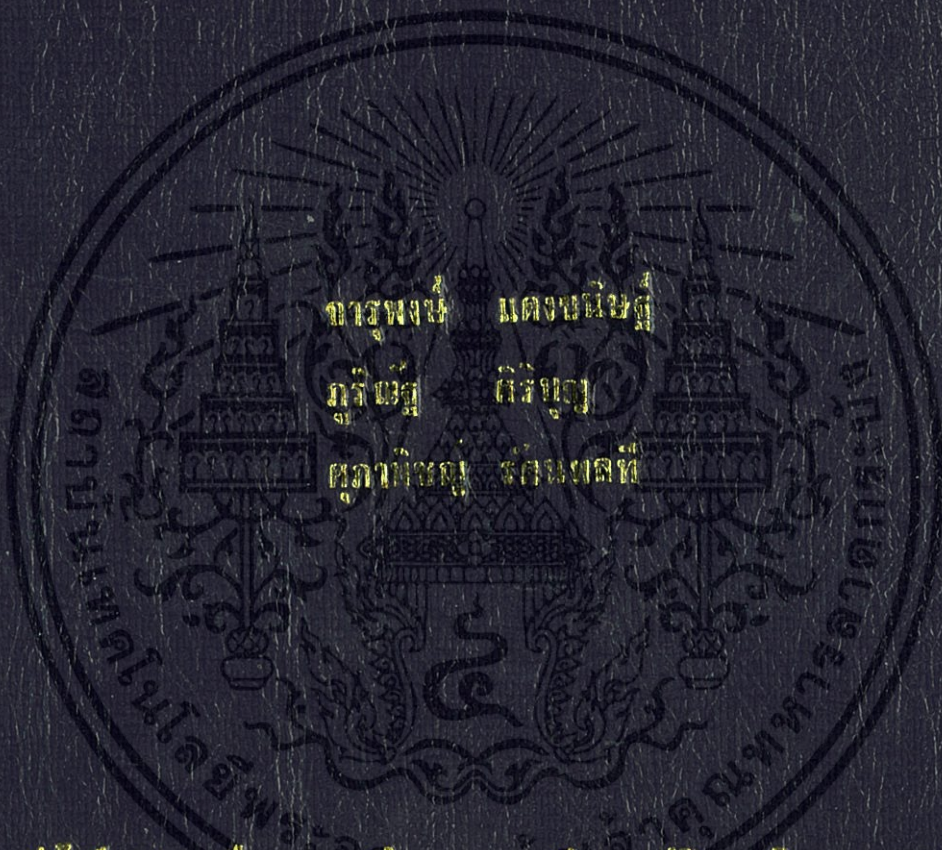


ระบบป้อนเชื้อเพลิงฝุ่นที่อุณหภูมิต่ำ

PULVERIZED FUEL FEEDING SYSTEM FOR BIOMASS COMBUSTOR



ปริญญาบัตรนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาของบัณฑิตศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

ระบบป้อนเชื้อเพลิงฝุ่นเข้าสู่หัวเผาไหม้ชีวมวล
Pulverized Fuel Feeding System for Biomass Combustor



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pulverized Fuel Feeding System for 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
2013

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2556
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบป้อนเชื้อเพลิงฝุ่นเข้าสู่เตาเผาไหม้ชีวมวล
Pulverized Fuel Feeding System for Biomass Combustor

ผู้จัดทำ

- | | | |
|--------------------|----------|-----------------------|
| 1. นายจรรพพงษ์ | แดงนิษฐ์ | รหัสประจำตัว 53010195 |
| 2. นาย ภูริณัฐ | ศิริบุญ | รหัสประจำตัว 53011280 |
| 3. นางสาวศุภาพิชญ์ | รัตนพลที | รหัสประจำตัว 53011614 |



อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร.จรรูวัตร เจริญสุข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบป้อนเชื้อเพลิงฝุ่นเข้าสู่หัวเผาไหม้ชีวมวล

นายจารุพงษ์	แดงขนิษฐ์	53010195
นายภูริณัฐ	ศิริบุญ	53011280
นางสาวศุภาพิชญ์	รัตนพลที	53011614
รศ.ดร.จารุวัตร	เจริญสุข	อาจารย์ที่ปรึกษา
ผศ.วีระชัย	ถิ์มพรชัยเจริญ	อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
ปีการศึกษา 2556		

บทคัดย่อ

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบสร้างระบบป้อนเชื้อเพลิงฝุ่นเข้าสู่เตาเผาชีวมวล ซึ่งรวมการออกแบบและสร้างไซโคลน การจับอนุภาคฝุ่นโดยในการออกแบบต้องคำนึงถึงเรื่องการปรับพื้นผิวด้านในไซโคลนให้เรียบและมีการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของไซโคลนแต่ละขนาดเพื่อหาขนาดของไซโคลนที่ให้ประสิทธิภาพในการดักฝุ่นสูงสุดหลักการทำงานในการออกแบบได้วิเคราะห์ข้อมูลและหาสมการที่ใช้ในการคำนวณแล้วนำผลการคำนวณที่ได้ไปออกแบบระบบป้อนเชื้อเพลิงอย่างต่อเนื่องซึ่งการออกแบบจะพิจารณาถึงค่าของอัตราการป้อนเชื้อเพลิงในช่วง 0.0157 - 0.063 kg/s ซึ่งจะคำนวณจากการใช้เชื้อเพลิงในการเผาไหม้ย่าน 0.25 - 1 MW ตามลำดับ สำหรับการทดสอบการเผาไหม้จะทำการทดสอบอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 30 นาที ดังนั้นในการออกแบบHopperเก็บเชื้อเพลิงจะต้องมีปริมาตรที่พอเหมาะจากการคำนวณคือ 1.465 ลูกบาศก์เมตรและจะต้องคำนึงถึงการคำนวณมุมกองของวัสดุ โดยมุมกองของวัสดุอยู่ที่ประมาณ 50 องศาซึ่งจะต้องใช้มุมของ Hopper ที่มีค่ามากกว่านี้เพื่อป้องกันการติดค้างของเชื้อเพลิงในHopper

Pulverized Fuel Feeding System for Biomass Combustor

Jarupong	Daengkhanit	53010195
Purinut	Siribuon	53011280
Supapitch	Rattanapoltee	53011614
Assc.Prof.Dr.Jaruwat	Charoensuk	Advisor
Asst.Prof.Weerachai	Limpornchaigareon	Co.Advisor
Year 2556		

ABSTRACT

The purpose of this project is to design a fuel feeding powder system in to the furnace burning biomass. It also included design and construction to capture the dust particles on the wall of the cyclone, by the smoothed inner surface of the unit cyclone. Comparing with the efficiency of each size to find the optimum size of the unit. The design principle is to analyses the data that suitable for this application together with algebraic equation that used in the calculation of size that lead to continuous fuel feeding system. The design condition consider the value of feeding rate that is in the range of 0.0157 - 0.063 kg/s which is calculated from fuel consumption for 0.25 - 1 MW respectively. The combustion test must be conducted continuously at 30 minutes. Thus, the hopper must have just right capacity with the test in the period of time aforementioned. The volume of hopper is obtained by calculation, 1.465 cubic meters. Moreover the stack corner of the inventory must be considered and it is given at about 50 degree. So the corner of a hopper must be more than stack corner of fuel to avoid fuel clogging.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดี ด้วยคำแนะนำและคำปรึกษา เกี่ยวกับการสร้างระบบป้องกันเชื้อเพลิงแบบฝุ่นเข้าสู่เตาเผาไหม้ชีวมวล จาก รศ.ดร. จารุวัตรเจริญสุข และ ผศ.วีระชัยลิ้มพรชัยเจริญ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านทั้งสองและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณท่านอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้แก่ลูกศิษย์ ขอขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่ง

ขอขอบพระคุณบิดา มารดาและญาติของผู้วิจัยที่ให้กำลังใจ เลี้ยงดูและคอยอบรมสั่งสอนให้ผู้วิจัยก้าวมาจนถึงวันนี้

ขอขอบคุณ พี่และเพื่อนๆ นักศึกษาทุกคนที่ช่วยให้คำแนะนำต่างๆ พร้อมทั้งช่วยตรวจสอบแก้ไขข้อผิดพลาด จนเสร็จสมบูรณ์ยิ่งขึ้น อีกทั้งยังให้กำลังใจต่อผู้ทำวิจัยอย่างใกล้ชิด

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล ที่ให้โอกาสผู้ทำวิจัยได้เข้ามารับการศึกษและทำปริญญานิพนธ์ในภาควิชาแห่งนี้

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากงานวิจัยฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

นายจารุพงษ์

แดงชินธุ์

นายภูริณัฐ

ศิริบุญ

นางสาวศุภาพิชญ์

รัตนพลที

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญภาพ.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ.....	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	2
1.5 ประโยชน์ที่จะได้รับจากโครงการ.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 สกรูชนถ่ายวัสดุ.....	6
2.2 อุปกรณ์ช่วยจ่ายวัสดุออกจากภาชนะบรรจุวัสดุปริมาณมวล.....	19
2.3 การไหลและการติดขัดที่ช่องปล่อยวัสดุ.....	21
2.4 อุปกรณ์ช่วยจ่ายวัสดุออกจากภาชนะบรรจุ.....	22
2.5 การออกแบบระบบการขนถ่ายวัสดุด้วยลม.....	27
2.6 มุมกองวัสดุ.....	27
2.7 การเชื่อม.....	39
2.8 การออกแบบไซโคลน.....	41
2.9 หล้าเนเปียร์.....	43
บทที่ 3 การออกแบบและคำนวณ.....	46
3.1 ระบบเติมเชื้อเพลิง.....	46
3.2 ระบบแยกเชื้อเพลิง.....	47
3.3 ระบบสะสมเชื้อเพลิง.....	50
3.4 ระบบลำเลียงเชื้อเพลิง.....	53
บทที่ 4 การทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	55
4.1 วัตถุประสงค์.....	55
4.2 แนวทางการทดลอง.....	55
4.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	55

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.4 ขั้นตอนการทดลอง.....	55
บทที่ 5 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง.....	68
5.1 วิเคราะห์ผลการทดลอง.....	68
5.2 สรุปผลการทดลอง.....	68
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	69
5.4 แนวทางการพัฒนาต่อ.....	69
บรรณานุกรม.....	70
ภาคผนวก.....	72
ภาคผนวก ก	73
ภาคผนวก ข	79



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงคุณสมบัติของวัสดุ.....	8
2.2 แפקเตอร์ระยะพิตซ์ไบสกรู.....	12
2.3 แפקเตอร์ชนิดไบสกรู F_r	14
2.4 แפקเตอร์ใบพัด F_p	16
2.5 แפקเตอร์วัสดุ (F_m).....	16
2.6 ค่าประมาณของแפקเตอร์ของวัสดุ.....	17
2.7 คุณสมบัติการไหลของวัสดุ.....	22
2.8 คุณสมบัติในการไหลของวัสดุ.....	37
2.9 แสดงสัดส่วนของไซโคลนมาตรฐานรูปแบบต่างๆ.....	44
3.1 ขนาดของไซโคลนที่ออกแบบ.....	49
3.2 แสดงสัดส่วนของขนาดเชื้อเพลิงในช่วงต่างๆ.....	50
3.3 แสดงอัตราส่วนขนาดตัดและประสิทธิภาพในแต่ละช่วง.....	50
4.1 อัตราการไหลเชิงมวลของรำหยาบที่ป้อนจากBlowerเข้าสู่Hopperที่ต่างๆ.....	57
4.2 แสดงอัตราการไหลเชิงมวลของรำหยาบที่ความเร็วรอบตั้งแต่ 10-100 รอบต่อนาทีที่ระยะเวลาต่างๆ.....	59
4.3 แสดงอัตราการไหลเชิงมวลของรำหยาบที่ความเร็วรอบตั้งแต่ 10-20รอบต่อนาทีที่ระยะเวลาต่างๆ.....	60
4.4 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างอัตราการขนถ่ายทางทฤษฎีกับอัตราการขนถ่ายจากการทดลอง.....	63
4.5 แสดงค่า K ที่ได้จากการทดลอง.....	65
4.6 แสดงผลการทดลองการหาอัตราการกินไฟที่ความเร็วรอบต่างๆของสกรู.....	66
4.7 แสดงผลการทดลองการหาอัตราการกินไฟของ Blower.....	66
4.8 แสดงผลการทดลองการหาอัตราการกินไฟเมื่อทำงานพร้อมกัน.....	67

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 แผนผังแบบกล่องวิธีการดำเนินการวิจัย.....	3
2.1 สกรูแบบระหัดเกลียวสำหรับขนถ่ายของเหลวและสิ่งปฏิกูล.....	6
2.2 ลักษณะการเคลื่อนที่ของวัสดุบนใบเกลียว.....	7
2.3 ขนาดก้นวัสดุใหญ่ที่สุดและขนาดของสกรูที่เหมาะสม.....	9
2.4 ลักษณะหน้าตัดของสกรูขนถ่าย.....	10
2.5 หน้าตัดของรางสกรูสำหรับการขนถ่ายวัสดุที่มีลักษณะเป็นก้อน.....	11
2.6 หลักการคำนวณหาอัตราการขนถ่ายวัสดุ.....	12
2.7 แพกเตอร์ความเต็มราง(k).....	13
2.8 ความเร็วรอบสูงสุดของสกรูขนถ่ายวัสดุ.....	14
2.9 แพกเตอร์ชนิดของใบสกรู.....	15
2.10 แพกเตอร์จำนวนใบพัด.....	15
2.11 อัตราการขนถ่ายวัสดุที่ลดลงจากการขนถ่ายวัสดุตามแนวเอียง.....	20
2.12 สกรูขนถ่ายวัสดุที่มีระยะทางขนถ่ายวัสดุ 9.13 เมตรและมุมเอียง 20 องศา.....	20
2.13 มุมกองวัสดุ.....	21
2.14 ลักษณะการไหลของวัสดุออกจากภาชนะบรรจุ.....	22
2.15 การเกิดซุ้มโค้งและเชื่อมแน่นเป็นทรงกระบอก.....	23
2.16 ลักษณะของอุปกรณ์ช่วยไหลแบบทำให้วัสดุอยู่ในสภาพของไหล (fluidize).....	24
2.17 ลักษณะของอุปกรณ์แบบใช้ลมผลักวัสดุ.....	25
2.18 ตำแหน่งการติดตั้งเพื่อไม่ให้เกิดการติดขัดแบบซุ้มโค้งและแบบเชื่อมแน่นเป็นท่อรูปร่างกระบอกตามลำดับ.....	25
2.19 ตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์การสั่นสะเทือน.....	26
2.20 การสั่นสะเทือน.....	26
2.21 อุปกรณ์ทางกลสำหรับจ่ายวัสดุออกจากภาชนะบรรจุชนิดต่างๆ.....	27
2.22 มุมกองวัสดุตามธรรมชาติ.....	28
2.23 ผลของรูปร่างวัสดุต่อมุมกองวัสดุ.....	30
2.24 การวัดมุมกองวัสดุโดยให้วัสดุไหลจากถังเก็บวัสดุ.....	31
2.25 การวัดมุมกองโดยการหมุนภาชนะบรรจุ.....	32
2.26 การวัดมุมกองวัสดุโดยให้วัสดุก่อตัวบนผนัง.....	32
2.27 การวัดมุมกองวัสดุโดยการให้อากาศไหลผ่าน.....	33
2.28 การวัดมุมกองวัสดุโดยวิธีการหมุน.....	33
2.29 การวัดมุมกองวัสดุโดยการสั่นสะเทือน.....	34
2.30 การวัดมุมกองวัสดุโดยการวัดมุมกองวัสดุที่เหลือจากการไหล.....	34

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.31 การวัดมุมกึ่งวงรีโดยวิธีการเทวีสตูดบนแผ่นวงกลม.....	35
2.32 การหาขนาดความสูงของไซโลเก็บวัสดุ.....	37
2.33 การหมุนหามุมเอียงของภาชนะบรรจุ.....	38
2.34 อุปกรณ์ช่วยให้วัสดุไหลออกจากภาชนะบรรจุได้หมด.....	38
2.35 การหาอัตราการขนถ่ายวัสดุด้วยสายพานลำเลียง.....	38
2.36 การหาแรงที่กระทำกับผนังของภาชนะบรรจุ.....	39
2.37 รอยเชื่อมแบบต่อชน.....	41
2.38 รอยเชื่อมมุมแบบแนวราบ.....	41
2.39 รอยเชื่อมมุมแบบแนวขวาง.....	42
2.40 องค์ประกอบของไซโคลอน.....	43
2.41 รูปแบบการผลิตพลังงานทดแทนจากหญ้าเนเปียร์.....	45
3.1 ส่วนประกอบของ Cyclone.....	48
3.2 ขนาด Hopper ที่จะออกแบบ.....	51
3.3 แสดงความสัมพันธ์เชิงเรขาคณิต.....	51
3.4 ปริมาตร Hopper.....	52
3.5 ปริมาตรของเชื้อเพลิงใน Hopper.....	53
4.1 แสดงอัตราการไหลเชิงมวลของรำหยาบเมื่อป้อนที่น้ำหนักใดๆจากแหล่งจ่ายลม.....	57
4.2 แสดงเวลาที่ใช้ในการขนถ่ายกับน้ำหนักรำหยาบเฉลี่ยที่ความเร็วรอบต่างๆ.....	61
4.3 แสดงอัตราการขนถ่ายกับความเร็วยรอบต่างๆ ที่เวลา 1-3 นาที.....	62
4.4 เปรียบเทียบอัตราขนถ่ายจริงกับทฤษฎี.....	64
4.5 แสดงอัตราการกินไฟของระบบที่ความเร็วรอบต่างๆ.....	67

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงการ

เนื่องจากในปัจจุบันนี้จะพบว่าเชื้อเพลิงที่มีใช้กันอยู่ในอุตสาหกรรมส่วนใหญ่จะเป็นเชื้อเพลิงที่ได้จากพวกฟอสซิล เช่น น้ำมันเชื้อเพลิง , ก๊าซธรรมชาติ, ถ่านหิน เป็นต้น ในกระบวนการเผาไหม้นั้นจะทำให้เชื้อเพลิงเหล่านี้ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนและจะได้พลังงานความร้อนออกมาซึ่งจะเห็นได้ว่าเชื้อเพลิงเหล่านี้จะหมดไปกับการเผาไหม้เนื่องจากโรงงานอุตสาหกรรมมีจำนวนเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องใช้เชื้อเพลิงจำนวนมากในการที่จะได้มาซึ่งพลังงานความร้อนที่ใช้ในกระบวนการผลิต ส่งผลให้ความต้องการทางด้านพลังงานความร้อนที่จะนำมาใช้ในกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรมมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นโดยที่เชื้อเพลิงพวกฟอสซิลเหล่านี้ต้องใช้เวลาในการสะสมและทับถมเพื่อเกิดการรวมตัวและเปลี่ยนแปลงรูปร่างทางเคมีกลายเป็นน้ำมันหรือก๊าซที่จะนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ซึ่งส่งผลในระยะยาวว่าจะมีเชื้อเพลิงเพียงพอหรือไม่ต่อความต้องการที่มีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นทำให้มีการหันมาสนใจในเรื่องของพลังงานชีวมวลกันมากขึ้นเพื่อตอบสนองความต้องการทางอุตสาหกรรมเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด (Wood Pellets) หรือที่อาจจะได้ยินตามชื่อเรียกต่างๆกัน เช่น เชื้อเพลิงแท่ง ตะเกียบ เชื้อเพลิงไม้อัดเม็ด เป็นเชื้อเพลิงที่ผลิตมาจากเศษวัสดุทางการเกษตร ซึ่งสามารถให้พลังงานความร้อนมากกว่าชีวมวลประเภทอื่น (High Heating Value) และเป็นพลังงานหมุนเวียนที่สะอาด รวมถึงมีราคาถูกเมื่อเทียบกับถ่านหิน หรือน้ำมันดิบ ชีวมวลจะเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมด้านเชื้อเพลิงในอนาคตหรือไม่เป็นสิ่งที่ทุกคนกำลังให้ความสนใจ เนื่องจากทั่วโลกกำลังประสบปัญหาสภาวะโลกร้อนอย่างรุนแรงที่มาจาก การเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล ดังนั้นจึงมีการวิจัยและพัฒนาด้านการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลอย่างจริงจัง [14] เพื่อให้ได้พลังงานจากเชื้อเพลิงชีวมวลที่มีประสิทธิภาพสูงสุด โดยการออกแบบระบบป้อนเชื้อเพลิงที่เหมาะสม และการออกแบบระบบการเผาไหม้ที่สมบูรณ์เพื่อลดการปล่อยมลพิษให้น้อยที่สุด โดยมลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้ส่วนใหญ่คือ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO), ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NOx), ก๊าซไฮโดรคาร์บอน (C_xH_y) และฝุ่นละออง เป็นสาเหตุหลักของการเกิดสภาวะโลกร้อน และทำลายสุขภาพของมนุษย์ ระบบการป้อนเชื้อเพลิงที่ประสบความสำเร็จจะส่งผลต่อประสิทธิภาพของการเผาไหม้เชื้อเพลิงโดยการออกแบบต้องคำนึงถึงองค์ประกอบทางเคมี คุณสมบัติทางกายภาพและความชื้นของวัตถุดิบเป็นหลัก ในการออกแบบกระบวนการป้อนเชื้อเพลิงชีวมวลส่วนใหญ่ มีมากมายหลายชนิด โดยเฉพาะอย่างยิ่งระบบของ Hopper หรือ Lock Hopper, สกรูขนถ่ายวัสดุ, วาล์วหมุนจ่าย, การป้อนด้วยลูกสูบ, และการป้อนด้วยลมอัด เป็นต้น ส่วนใหญ่ในการใช้งานจะนำระบบต่างๆมารวมกันมากกว่าใช้เพียงระบบเดียว อย่างเช่น ระบบการป้อน Hopper-Screw ซึ่งถูกออกแบบในระบบป้อนเชื้อเพลิงครั้งนี้ อุปกรณ์ในการป้อนเชื้อเพลิงของระบบนี้คือ การอุดตันที่เกิดขึ้นภายใน Hopper การออกแบบสกรูลำเลียงและคำนวณอัตราการไหลที่เหมาะสม [12,13] โดยส่วนใหญ่เมื่อเชื้อเพลิงที่ป้อนให้กับระบบมีขนาดอนุภาคเล็ก หรือเป็นเชื้อเพลิงฝุ่นและมีการขนถ่ายวัสดุด้วยลม จะต้องมีการบวนการมีการแยกวัสดุและลมออกจากกัน ด้วยระบบไซโคลน ซึ่งอาจส่งผลทำให้ระบบมีความสมบูรณ์หรือล้มเหลวได้ เพราะชุด

อุปกรณ์ชนิดนี้นับว่ามีอิทธิพลอย่างมากต่อสมรรถนะของระบบ[10] ระบบการขนถ่ายวัสดุด้วยลมที่ใช้ในการออกแบบในครั้งนี้คือ ชุดแยกฝุ่นละอองด้วยไซโคลน เชื้อเพลิงชีวมวลที่ได้รับความสนใจมากในปัจจุบันคือ เชื้อเพลิงเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด(Wood Pellets) หรือที่อาจจะได้ยินตามชื่อเรียกต่างๆกัน เช่น เชื้อเพลิงแท่งตะเกียบ เชื้อเพลิงไม้อัดเม็ด เป็นเชื้อเพลิงที่ผลิตมาจากเศษวัสดุทางการเกษตร ซึ่งสามารถให้พลังงานความร้อนมากกว่าชีวมวลประเภทอื่น (High Heating Value) และเป็นพลังงานหมุนเวียนที่สะอาดง่ายต่อการขนส่ง ดังนั้นเราจึงนำเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดนี้มาใช้ในระบบการป้อนเชื้อเพลิงในครั้งนี้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 สร้างระบบป้อนเชื้อเพลิง ชนิดที่เหมาะสมได้แก่ Silo, Cyclone, Screw Feed, สายพาน, มอเตอร์, Blower

1.2.2 สร้างระบบควบคุมอัตราการป้อนเชื้อเพลิง เข้าสู่ห้องเผาไหม้แบบต่อเนื่อง

1.2.3 ทดสอบผลการทำงานเพื่อหาตัวแปรควบคุมสำหรับอัตราป้อนเชื้อเพลิงลักษณะการป้อนเชื้อเพลิงต่างๆ

1.2.4 เพื่อเสริมสร้างประสบการณ์ ทักษะและการแก้ปัญหาในการทำโครงการ

1.3 ขอบเขตของโครงการ

1.3.1 ทำการออกแบบสร้างระบบป้อนเชื้อเพลิงฝุ่นเข้าสู่เตาเผาไหม้ชีวมวลในอัตราการไหลเชิงมวลอยู่ที่ประมาณ 0.0157-0.063 kg/s หรือ 0.942-3.78 kg/min

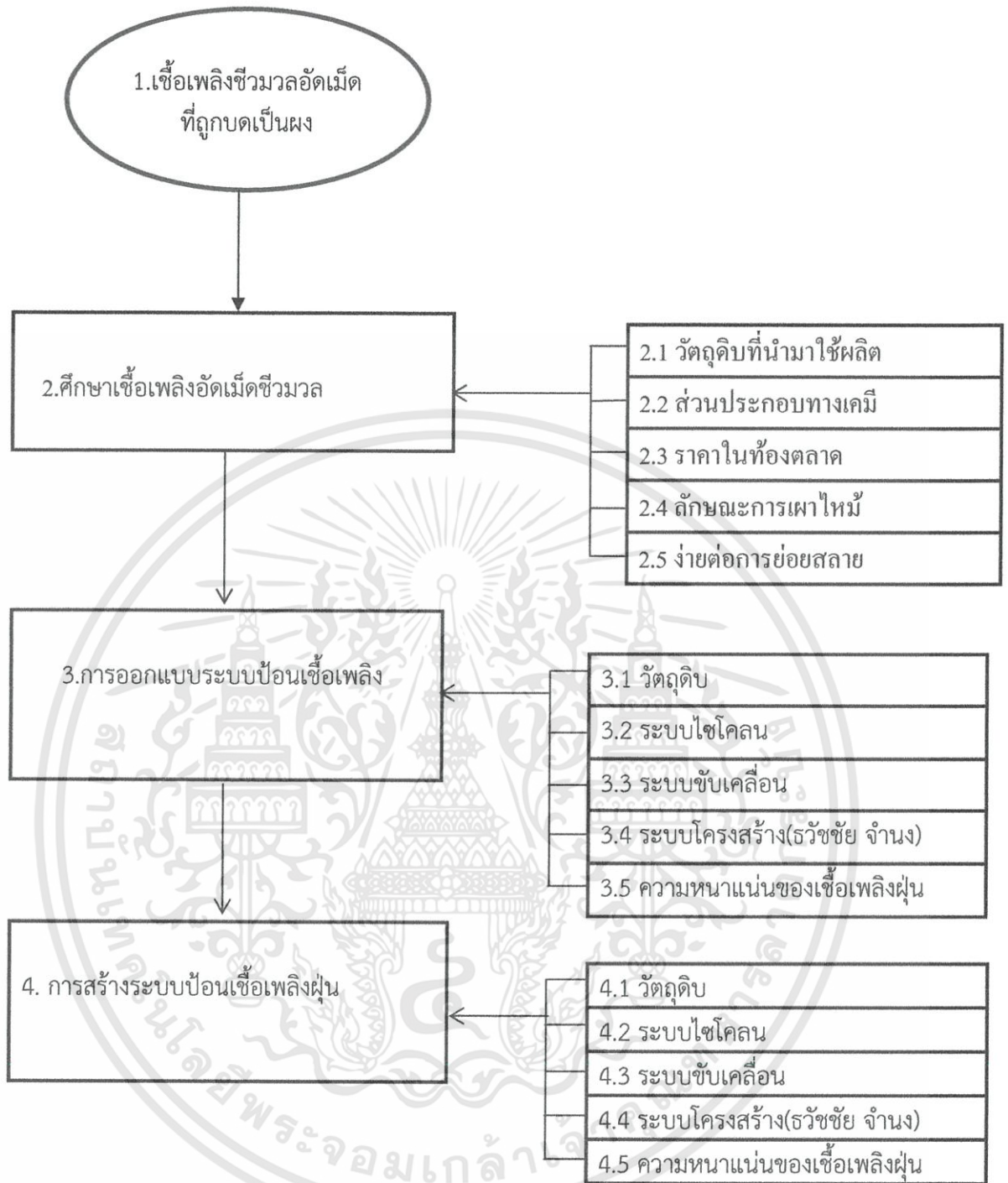
1.3.2 ระบบป้อนเชื้อเพลิงจะใช้กับชีวมวลแบบฝุ่น

1.3.3 จะต้องเชื้อเพลิงฝุ่นเข้าสู่เตาเผาทุกๆ 30 นาที

1.3.4 จะต้องออกแบบความจุของHopperไว้สำหรับกักเก็บเชื้อเพลิงฝุ่นที่ไหลเข้ามาในช่วงเวลาที่หยุดการป้อนเชื้อเพลิงเข้าสู่เตาเผา

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยโดยสังเขปนำมาเขียนเป็นแผนผังได้ดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 แผนผังแบบกล่องวิธีการดำเนินการวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ประโยชน์ที่จะได้รับจากโครงการ

- 1.5.1 สามารถสร้างระบบป้องกันเชื้อเพลิงฝุ่นได้จริงตามที่ได้ออกแบบไว้
- 1.5.2 สามารถนำระบบป้องกันเชื้อเพลิงฝุ่นไปใช้งานได้จริงลดต้นทุนเมื่อเทียบกับการซื้อในท้องตลาด
- 1.5.3 สามารถนำความรู้มาประยุกต์ใช้และเพิ่มทักษะในการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการทำงานได้
- 1.5.4 เข้าใจหลักการกระบวนการและใช้องค์ความรู้ต่างๆ ที่ได้เรียนมาผนวกรวมกันเพื่อสร้างชิ้นงานนี้ขึ้นมา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีต่อจากนี้ได้อ้างอิงจาก[10]

2.1 สกรูขนถ่ายวัสดุ

เป็นอุปกรณ์ขนถ่ายวัสดุที่มีใช้งานมานานกว่า 2,000 ปีแล้ว โดยมีชื่อเรียกทั่วไปว่า “ระหัดเกลียว” (Archimedean screws) ใช้สำหรับขนถ่ายของเหลวและสิ่งปฏิกูลประกอบด้วย รางสกรู และใบเกลียวกันหอยที่ยึดติดกันและหมุนไปพร้อมๆกัน ปลายด้านล่างจะจมอยู่ในน้ำ การหมุนจะทำให้ น้ำซึ่งอยู่ระหว่างช่องว่างของเกลียวเคลื่อนตัวขึ้น และเลื่อนไหลไปบนใบเกลียวดังแสดงในรูปที่ 2.1 ถึงแม้ว่าสกรูขนถ่ายวัสดุจะมีประสิทธิภาพทางกลสูง แต่จะมีขีดจำกัดในเรื่องของมุมเอียงที่ใช้ในการขนถ่ายวัสดุ ซึ่งถ้ามุมเอียงในการขนถ่ายมากเกินไปจะทำให้วัสดุไม่สามารถเคลื่อนที่ไปตามใบเกลียวของสกรูได้ ดังนั้นขนาดของใบเกลียวระยะพิทช์และมุมเอียงในการขนถ่ายวัสดุจะเป็นตัวแปรที่สำคัญต่อประสิทธิภาพการขนถ่ายวัสดุ



รูปที่ 2.1 สกรูแบบระหัดเกลียวสำหรับขนถ่ายของเหลวและสิ่งปฏิกูล

เพื่อให้การเลือกชนิดของอุปกรณ์ลำเลียงเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ และเหมาะสมกับการใช้งาน ดังนั้นจึงควรทราบถึงข้อดี-ข้อเสีย ของสกรูขนถ่ายวัสดุ ซึ่งมีดังต่อไปนี้

2.1.1 ข้อดี ของการขนถ่ายวัสดุด้วยสกรูขนถ่ายวัสดุ

- 1) ค่าใช้จ่ายในการขนถ่ายวัสดุต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับอุปกรณ์ขนถ่ายวัสดุนิดอื่น
- 2) เป็นการขนถ่ายวัสดุแบบปิดทำให้สามารถป้องกันความชื้น และฝุ่นละอองเข้าไปปนเปื้อนกับวัสดุนิดอื่น
- 3) การสร้างและการประกอบไม่ยุ่งยาก เพราะชิ้นส่วนต่างๆมีจำหน่ายตามท้องตลาดและมีขนาดเป็นไปตามมาตรฐาน
- 4) การบำรุงรักษาต่ำเนื่องจากมีชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่น้อย
- 5) สามารถนำไปขนถ่ายวัสดุได้หลายประเภท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 ข้อเสีย ของการขนถ่ายวัสดุด้วยสกรูขนถ่ายวัสดุ

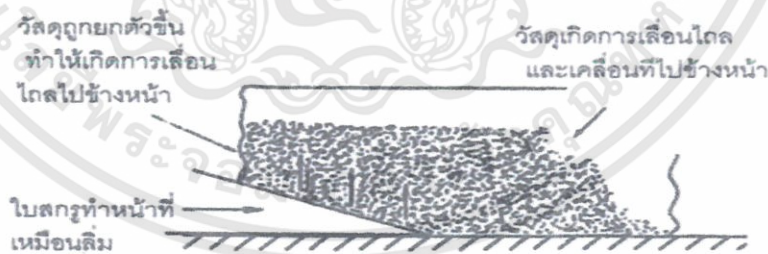
- 1) ไม่เหมาะสำหรับการขนถ่ายวัสดุที่มีขนาดใหญ่ มีลักษณะเป็นเส้นใย หรือ วัสดุเหนียวที่เกาะติดกัน
- 2) ระยะทางขนถ่ายวัสดุต่ำ
- 3) ถ้าวัสดุเกาะตัวกันเป็นกลุ่มก้อนจะทำให้ต้องใช้กำลังขับมา
- 4) ประสิทธิภาพการขนถ่ายวัสดุลดลงถ้าขนถ่ายวัสดุในแนวเอียงหรือแนวตั้ง

2.1.3 หลักการทำงานและการใช้งาน

สกรูขนถ่ายวัสดุเป็นอุปกรณ์ในการขนถ่ายวัสดุที่เหมาะสมสำหรับขนถ่ายวัสดุที่มีสมบัติในการไหลดี คุณสมบัติในการไหลของวัสดุนี้มีความสำคัญมากต่อการทำงานของสกรูขนถ่ายวัสดุเนื่องจากสกรูลำเลียง ที่ติดตั้งอยู่กับเพลลาหรือท่อตรงหมุนอยู่ภายในรางหรือท่อที่อยู่กับที่ผลักดันวัสดุไปตามส่วนล่างของรางดัง แสดงในรูปที่ 2.2 การหมุนของใบเกลียวจะทำให้เกิดการยกวัสดุขึ้นเหมือนลักษณะลิ้ม การเคลื่อนที่ขึ้นของวัสดุจะทำให้วัสดุเกิดการเลื่อนไหลไปข้างหน้าได้และการหมุนของใบเกลียวจะทำงานเสมือนลิ้มที่ทำหน้าที่ผลักดัน และตัดเฉือนวัสดุจากการหมุนของใบเกลียวทำให้วัสดุเคลื่อนที่ไปข้างหน้าได้อย่างต่อเนื่อง

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

สกรูขนถ่ายวัสดุเป็นอุปกรณ์ขนถ่ายวัสดุที่สามารถจ่ายวัสดุและรับวัสดุได้หลายตำแหน่งโดยการใช้วาล์วเป็นตัวควบคุมทิศทาง การไหลของวัสดุ และยังเป็นอุปกรณ์ขนถ่ายวัสดุที่สามารถควบคุมปริมาณการขนถ่ายวัสดุได้อย่างดีอีกด้วย



รูปที่ 2.2 ลักษณะการเคลื่อนที่ของวัสดุบนใบเกลียว

2.1.4 การพิจารณาออกแบบ

จากประสบการณ์พบว่าความสำเร็จในการออกแบบอุปกรณ์ขนถ่ายวัสดุ จะขึ้นอยู่กับความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับคุณสมบัติของวัสดุที่ขนถ่าย และหลักการทำงานของอุปกรณ์ขนถ่ายวัสดุชนิดต่างๆ ข้อ

สำคัญในการออกแบบของอุปกรณ์ขนถ่ายวัสดุใดๆ ก็คือ ความรู้ความเข้าใจถึงทิศทางที่วัสดุไหลผ่านและผลกระทบอื่นๆ ต่อการไหลของวัสดุ

อัตราการไหลขนถ่ายวัสดุปริมาณมวลส่วนมากมักจะมีหน่วยเป็นตันต่อชั่วโมง อัตราการขนถ่ายวัสดุสูงสุดมักจะมากกว่าอัตราการขนถ่ายวัสดุเฉลี่ยต่อวันหรือต่อชั่วโมง เนื่องจากในบางเวลาอาจมีอัตราการขนถ่ายวัสดุมากหรือน้อยกว่าค่าเฉลี่ยได้เช่น ในตอนเริ่มต้นและช่วงสุดท้ายของการขนถ่ายวัสดุ เป็นต้น นอกจากนี้ยังปรากฏว่าความหนาแน่นของวัสดุในขณะขนถ่ายวัสดุอาจมีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากขณะที่วัสดุกำลังเคลื่อน จะมีอากาศเข้าไปผสมกับวัสดุทำให้ปริมาตรของวัสดุเพิ่มขึ้น เป็นผลให้ความหนาแน่นของวัสดุลดลง ซึ่งอัตราการขนถ่ายวัสดุเชิงปริมาตรจะขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของวัสดุที่ขนถ่าย ดังนั้นการกำหนดอัตราการขนถ่ายวัสดุสูงสุดควรกำหนดจากความหนาแน่นของวัสดุในขณะขนถ่าย

ในระบบขนถ่ายวัสดุหลายๆ ระบบการจ่ายวัสดุเข้าไปในอุปกรณ์ขนถ่ายวัสดุอาจมีค่าที่ไม่คงที่ได้ เช่น ประตูเลื่อนด้านล่างของถังเก็บวัสดุ วัสดุจะไหลจากด้านล่างของถังเก็บวัสดุอย่างสม่ำเสมอไม่ตลอดเวลา ทำให้เกิดความไม่แน่นอน จึงทำให้อัตราการขนถ่ายวัสดุมีค่าไม่คงที่

2.1.5 การแบ่งประเภทของวัสดุ

การแบ่งประเภทของวัสดุจะช่วยให้การตัดสินใจเลือกสกรูขนถ่ายวัสดุและกำหนดอัตราการขนถ่ายวัสดุ วัสดุจะถูกแบ่งออกเป็นสี่ชนิดซึ่งแต่ละชนิดจะสามารถเขียนรหัสของวัสดุตามที่สมาคมผู้ผลิตอุปกรณ์ขนถ่ายวัสดุของอเมริกา (CEMA) ได้กำหนดไว้เพื่ออำนวยความสะดวกในการเลือกอุปกรณ์การขนถ่ายวัสดุ และการหาอัตราขนถ่ายวัสดุต่อไป

การบอกคุณสมบัติของวัสดุของสมาคมผู้ผลิตอุปกรณ์ขนถ่ายของอเมริกา (CEMA) ในที่นี้จะเริ่มด้วยตัวอักษรบอกขนาดวัสดุ A B C D หรือ E แล้วตามด้วยตัวเลขสองตัว ตัวเลขตัวแรกจะเป็นคุณ สมบัติในการไหลของวัสดุ ตัวเลขตัวต่อไปจะเป็นความคมของวัสดุดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงคุณสมบัติวัสดุ

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 ฝักข้าวโพด กราไฟต์ แปะหมี และอื่นๆ รหัสวัสดุของ CEMA คือ A15, A25, B15, B25, C15, C25

ประเภทที่ 2 วัสดุไม่มีความคม คุณสมบัติในการไหลได้น้อยกว่าวัสดุประเภทที่ 1 (วัสดุก้อนเล็ก ผสมกับวัสดุละเอียด) เช่น แปะอบขนมปัง ฝักข้าวบ่น ถ่านหินบดละเอียด ข้าวโพดบด รหัสวัสดุของ CEMA คือ A35, A45, B35, C35, C45, D45, D15, D25, D35, D45, E15, E25, E35, E45

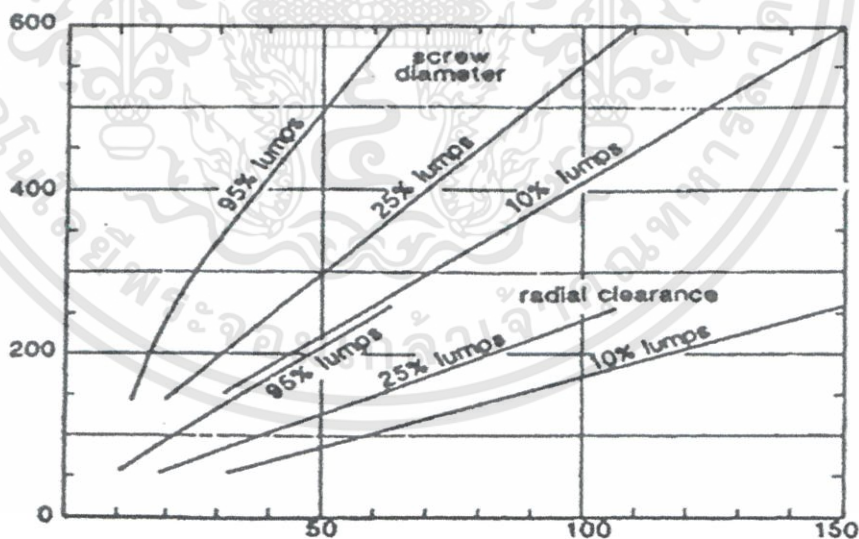
ประเภทที่ 3 คุณสมบัติการไหลคล้ายแบบประเภทที่ 2 แต่มีคมมากกว่า ต้องการความเร็วรอบของสกรูต่ำ เช่น ซีเมนต์ ปูนซีเมนต์ เกลือ ถ่านไม้ ซอล์คอบด์ และอื่นๆ วัสดุเหล่านี้จะรหัสน้ำหนัก 6 รหัสน้ำหนักของ CEMA คือ A16, A26, A36, A46, B16, B26, B36, B46, C16, C26, C36, C46, D16, D26, D36, D46, E16, A26, A36, A46

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

2.1.6 ข้อจำกัดเกี่ยวกับขนาดของวัสดุ

ขนาดของสกรูขนถ่ายวัสดุไม่เพียงแต่จะขึ้นอยู่กับอัตราการขนถ่ายวัสดุที่ต้องการเท่านั้นแต่ยังขึ้นอยู่กับขนาดของวัสดุที่จะขนถ่ายด้วย วัสดุบางชนิดมีก้อนแข็งไม่แตกตัวขณะผ่านสกรูขนถ่ายวัสดุ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีข้อจำกัดเรื่องขนาดของวัสดุ ที่ขนถ่ายด้วย ส่วนในกรณีที่ก้อนวัสดุสามารถแตกตัวได้ง่ายขณะผ่านสกรูขนถ่ายวัสดุ ซึ่งไม่จำเป็นต้องมีข้อจำกัดเรื่องขนาดของก้อนวัสดุที่จะขนถ่าย ขนาดของก้อนวัสดุสามารถแบ่งเป็นสามชนิดดังต่อไปนี้

1. วัสดุที่มีลักษณะเป็นก้อนปนอยู่กับวัสดุละเอียด โดยที่วัสดุก้อนใหญ่ที่สุดถึงขนาดครึ่งหนึ่งของขนาดก้อนใหญ่ที่สุดไม่เกิน 10% ของวัสดุทั้งหมด และเป็นวัสดุก้อนเล็กกว่าครึ่งหนึ่งของวัสดุขนาดใหญ่ที่สุดอีก 90% ของวัสดุทั้งหมด(เรียกว่า 10%lump)
2. วัสดุที่มีลักษณะเป็นก้อนปนอยู่กับวัสดุละเอียด โดยที่วัสดุก้อนใหญ่ที่สุดถึงขนาดครึ่งหนึ่งของขนาดก้อนใหญ่ที่สุดไม่เกิน 25% ของวัสดุทั้งหมด และเป็นวัสดุก้อนเล็กกว่าครึ่งหนึ่งของวัสดุขนาดใหญ่ที่สุดอีก 75% ของวัสดุทั้งหมด(เรียกว่า 25%lump)



รูปที่ 2.3 ขนาดก้อนวัสดุใหญ่ที่สุดและขนาดของสกรูที่เหมาะสม

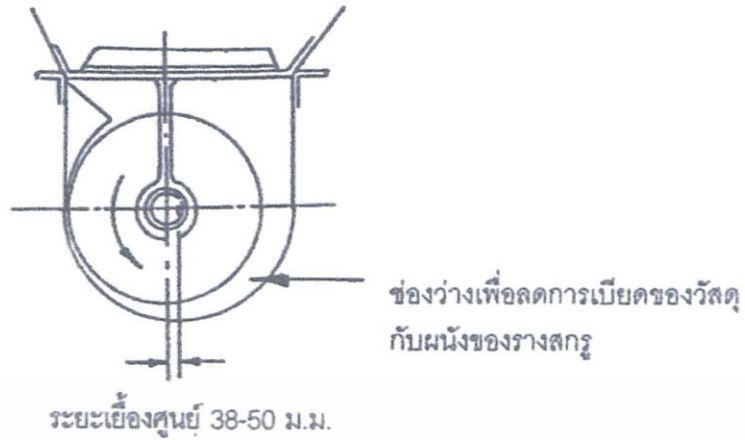
3. วัสดุที่มีลักษณะเป็นก้อนปนอยู่กับวัสดุละเอียด โดยที่วัสดุก้อนใหญ่สุดถึงขนาดครึ่งหนึ่งของขนาดก้อนใหญ่สุดไม่เกิน 95% ของวัสดุทั้งหมด และเป็นวัสดุก้อนเล็กมากกว่าครึ่งหนึ่งของวัสดุขนาดใหญ่สุดอีก 5% ของวัสดุทั้งหมด(เรียกว่า 95%lump)

รูปที่ 2.3 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 2.3 สำหรับกำหนดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบสกรูได้ โดยที่ช่องว่างระหว่างใบสกรูกับรางสกรูจะมีค่าประมาณ 12-15 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 2.4 และการคำนวณหาขนาดของเพลาสกรูจากข้อมูลเบื้องต้นจะแสดงให้เห็นจากตัวอย่างการคำนวณในหัวข้อที่ 7



รูปที่ 2.4 ลักษณะหน้าตัดของสกรูขนถ่าย

ในขณะที่สกรูขนถ่ายวัสดุทำการขนถ่ายวัสดุที่มีลักษณะเป็นก้อนจากถังเก็บวัสดุ วัสดุที่เป็นก้อนจะถูกเบียดให้ติดกับผนังราง ซึ่งอาจจะทำให้เกิดการเสียดสีกับผนังของรางสกรู ทำให้เกิดการสึกหรอและอาจทำให้วัสดุที่ถูกเบียดจนติดอยู่กับผนังของรางสกรู จึงต้องทำตัวสกรูให้มีระยะเยื้องศูนย์กลางกับรางสกรูขนาดประมาณ 38-50 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 หน้าตัดของรางสกรูสำหรับการขนถ่ายวัสดุที่มีลักษณะเป็นก้อน

2.1.7 การคำนวณหาอัตราการขนถ่ายวัสดุ

อัตราการขนถ่ายวัสดุของสกรูขนถ่ายวัสดุหรือสกรูป้อนวัสดุ จะขึ้นอยู่กับแฟกเตอร์ต่างๆ ดังต่อไปนี้

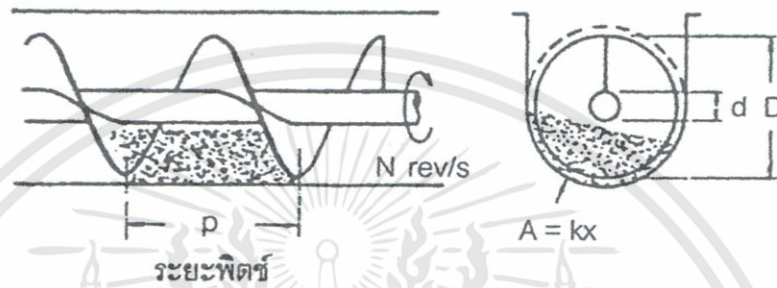
1. รูปร่างของใบสกรู
2. ความเร็วรอบของสกรู
3. มุมลาดเอียงในการขนถ่ายวัสดุ
4. รูปร่างของถังเก็บวัสดุและรางสกรูขนถ่ายวัสดุ
5. คุณสมบัติในการไหลของวัสดุ
6. สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของวัสดุบนใบสกรูและราง

สกรูขนถ่ายวัสดุที่มีแบริ่งแขวนอยู่ภายใน (internal hanger bearings) ส่วนใหญ่จะวัดปริมาณวัสดุจากอุปกรณ์ที่จ่ายวัสดุให้สกรูขนถ่ายวัสดุ ปริมาณวัสดุในรางสกรูจะขึ้นอยู่กับพื้นที่หน้าตัดของสกรูขนถ่ายวัสดุ ซึ่งจะถูกจำกัดไว้ไม่เกิน 45% ของพื้นที่หน้าตัดราง เพื่อป้องกันวัสดุเข้าไปทำความเสียหายกับแบริ่งและปริมาณวัสดุบนพื้นที่หน้าตัดจะลดลงอีกถ้าวัสดุมีความคมมากขึ้น

สมาคมผู้ผลิตอุปกรณ์ขนถ่ายวัสดุของอเมริกา (CEMA) ได้มีการพิมพ์ตารางอัตราการขนถ่ายวัสดุเชิงปริมาตรสำหรับพื้นที่หน้าตัดของวัสดุถึง 45% ซึ่งคิดตามพื้นที่หน้าตัดเต็มของใบเกลียวสกรูและไม่คำนึงถึงวัสดุที่อยู่ตรงช่องว่างระหว่างใบสกรูกับตัวรางสกรูภายใต้สภาพการใช้งานทั่วไป การที่ไม่คำนึงถึงปริมาตรของวัสดุดังกล่าวเป็นเรื่องไม่สำคัญนักในกรณีที่วัสดุเป็นผงละเอียด ส่วนใหญ่มักจะหยุดอยู่ตามช่องว่างนั้น หรืออาจจะเคลื่อนที่ช้ามากๆ อย่างไรก็ตามวัสดุบางชนิด เช่น วัสดุก้อนขนาดใหญ่ หรือวัสดุที่เป็นเส้นใยจะสามารถเคลื่อนที่ไปด้วยกันทั้งหมดในช่องว่าง ดังนี้

ตารางที่ 2.2 แฟกเตอร์ระยะพิตช์ใบสกรู

รายละเอียดของระยะพิตช์	CF_1
ระยะพิตช์ = เส้นผ่านศูนย์กลางของใบสกรู	1.00
ระยะพิตช์ = $2/3$ เส้นผ่านศูนย์กลางของใบสกรู	1.50
ระยะพิตช์ = $1/2$ เส้นผ่านศูนย์กลางของใบสกรู	2.00
ระยะพิตช์ = $3/2$ เส้นผ่านศูนย์กลางของใบสกรู	0.67



รูปที่ 2.6 หลักการคำนวณหาอัตราการขนถ่ายวัสดุ

การคำนวณหาอัตราการขนถ่ายวัสดุของสกรูขนถ่ายวัสดุสามารถหาได้จากรูปแบบการขนถ่ายวัสดุในรูปที่ 2.6 การหมุนของสกรูในรางจะทำให้วัสดุเคลื่อนที่ไปข้างหน้าอย่างต่อเนื่องในรางของสกรูขนถ่ายวัสดุ วัสดุจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วโดยประมาณเท่ากับความเร็วรอบของสกรูที่กำลังหมุนอยู่ในหนึ่งรอบการเคลื่อนที่ของสกรูจะเคลื่อนที่ไปได้หนึ่งเท่าของระยะพิตช์สกรู (p) ทำให้ความเร็วเฉลี่ยในการขนถ่ายวัสดุ (v) และความเร็วรอบของสกรูเป็นดังนี้

$$v = pN \quad \dots(1)$$

v คือความเร็วเฉลี่ยในการขนถ่ายวัสดุ

p คือระยะพิตช์สกรู

N คือความเร็วรอบของสกรูขนถ่ายวัสดุ

ดังนั้นอัตราการขนถ่ายวัสดุเชิงปริมาตร จะสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2)

$$v = pNA \quad \dots(2)$$

v = อัตราการขนถ่ายวัสดุเชิงปริมาตรและอัตราการขนถ่ายวัสดุเชิงมวล

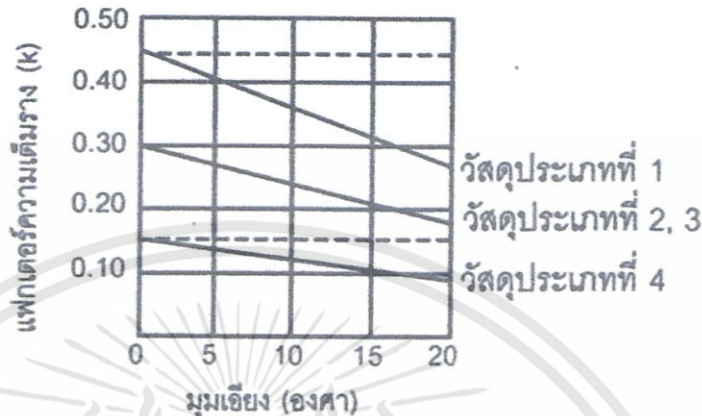
$$M_s = \rho pNA \quad \dots(3)$$

M_s คืออัตราการขนถ่ายวัสดุเชิงมวล

A คือพื้นที่หน้าตัดของใบสกรูขนถ่ายวัสดุ

ρ คือความหนาแน่นของวัสดุ

ในทางปฏิบัติ พื้นที่หน้าตัดของวัสดุจะมีค่าไม่เท่ากับพื้นที่หน้าตัดของรางสกรูที่ได้กล่าวมาแล้ว ดังนั้นจึงคูณพื้นที่หน้าตัดของสกรูขนถ่ายวัสดุด้วย “แฟกเตอร์ความเต็มราง”(k) ซึ่งแฟกเตอร์นี้สามารถดูได้จากรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แฟกเตอร์ความเต็มราง (k)

จากที่กล่าวมาแล้วว่าวัสดุจะแบ่งออกเป็นสี่ชนิดและจากรูปที่ 2.7 จะสามารถสรุปการนำสรุปแฟกเตอร์ความเต็มรางไปใช้ให้เหมาะสมกับชนิดของวัสดุได้ดังต่อไปนี้

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

ประเภทที่ 2 วัสดุไม่มี ความคม คุณสมบัติในการไหลได้น้อยกว่าวัสดุประเภทที่ 1 (วัสดุก้อนเล็ก ผสมกับวัสดุละเอียด) เช่น แป้งอบขนมปัง ผักข้าวป่น ถ่านหินละเอียด ข้าวโพดคุด แฟกเตอร์ความเต็มราง $k = 0.3$

ประเภทที่ 3 คุณสมบัติการไหลคล้ายแบบประเภทที่ 2 แต่มีความคมมากกว่า ต้องการความเร็วรอบของสกรูต่ำ เช่น ซีเมนต์แห้ง ปูนซีเมนต์ เกลือ ถ่านไม้ ซอล์คบด และอื่นๆ วัสดุเหล่านี้มีรหัส ความคม 6 แฟกเตอร์ความเต็มราง $k = 0.3$

ประเภทที่ 4 วัสดุมีความคมและคุณสมบัติการไหลไม่ดี เช่น ถ่านหิน, ถ่านหิน, ถ่านหิน, ถ่านหิน, ถ่านหิน, อลูมินา(alumina) แร่bauxiteบด ทรายแห้ง อื่นๆ วัสดุเหล่านี้มีรหัส ความคม 7 แฟกเตอร์ความเต็มราง $k = 0.15$

ค่าแฟกเตอร์ความเต็มรางนี้ ใช้สำหรับการขนถ่ายวัสดุด้วยสกรูขนถ่ายวัสดุตามแนวระดับ เท่านั้น สำหรับการขนถ่ายวัสดุตามแนวเอียง สามารถหาค่าแฟกเตอร์ความเต็มรางนี้ได้จากรูปที่ 2.7

ดังนั้นเมื่อแทนค่าพื้นที่หน้าตัดของใบสกรูขนถ่ายวัสดุ และรวมค่าแฟกเตอร์ความเต็มรางเข้าไป จะได้เป็นสมการที่ (4)

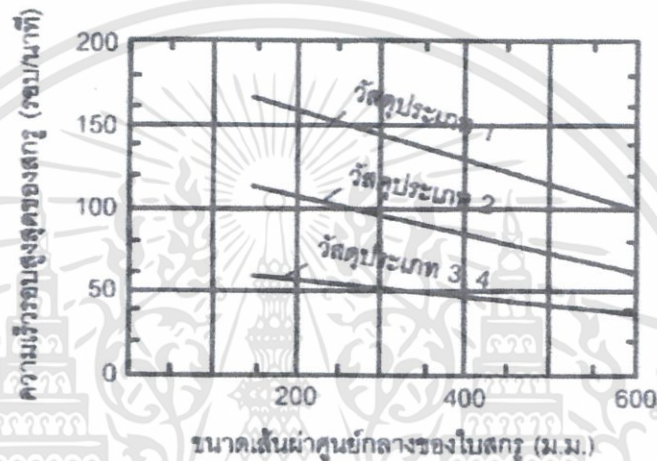
$$m_s = \frac{\rho_b \pi (D^2 - d^2) k p N}{4} \quad \dots(4)$$

D = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบสกรู

d = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเพลาสกรู

จากสมการที่ (4) จะสามารถใช้สำหรับการประมาณค่าอัตราการขนถ่ายวัสดุเท่านั้น เนื่องจากในทางปฏิบัติ การป้อนวัสดุเข้าสู่สกรูขนถ่ายวัสดุเท่านั้นจะมีอัตราการป้อนวัสดุไม่แน่นอน ทำให้แฟกเตอร์ความเต็มรางมีค่าไม่แน่นอนตามไปด้วย จึงอาจทำให้ไม่สามารถคำนวณหาอัตราการขนถ่ายวัสดุที่แน่นอนได้

ในการเลือกและการออกแบบสกรูขนถ่ายวัสดุ ความเร็วรอบสูงสุดที่สามารถทำงานได้นั้นจะขึ้นอยู่กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบสกรู ปริมาณวัสดุในรางสกรูและคุณสมบัติของวัสดุ ซึ่งสามารถค่าความเร็วรอบสูงสุดของสกรูขนถ่ายวัสดุได้จากรูปที่ 2.8

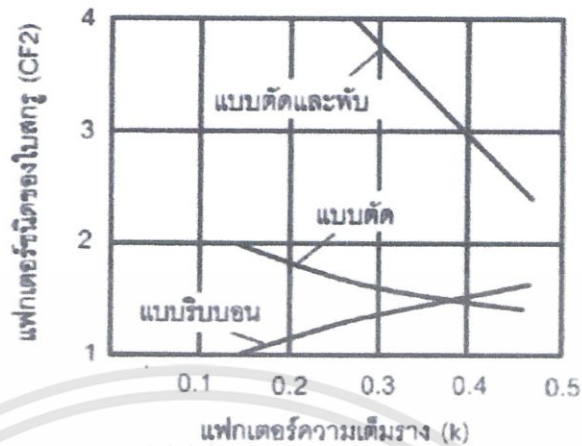


รูปที่ 2.8 ความเร็วรอบสูงสุดของสกรูขนถ่ายวัสดุ

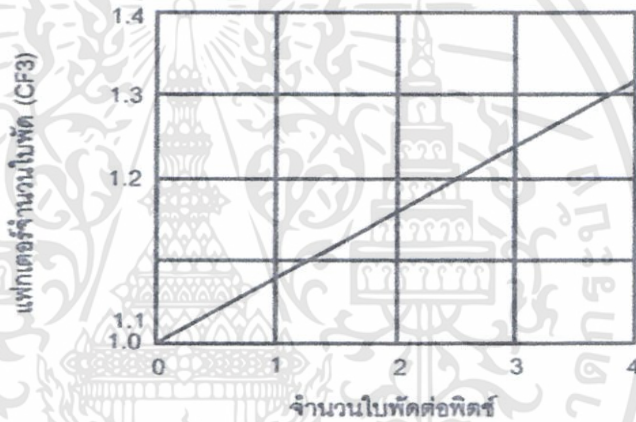
สำหรับระยะพิตช์ใบสกรูก็มีผลต่ออัตราการขนถ่ายวัสดุด้วย จากรูปที่ 2.6 เมื่อพิจารณาการหมุนของสกรู 1 รอบวัสดุจะเคลื่อนที่ไปข้างหน้าเท่าระยะพิตช์ ดังนั้นในกรณีที่สกรูหมุนไป 1 หมุนแต่วัสดุไม่ได้เคลื่อนที่ไปเท่ากับระยะพิตช์ ก็จะต้องคำนึงถึงระยะพิตช์ใบสกรูด้วย แฟกเตอร์ระยะพิตช์ใบสกรู (CF_1) ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 แฟกเตอร์ชนิดใบสกรู F_f

ชนิดของสกรู	แฟกเตอร์ชนิดใบสกรูตามขนาดของแฟกเตอร์ความเต็มราง			
	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	-



รูปที่ 2.9 แฟกเตอร์ชนิดของใบสกรู



รูปที่ 2.10 แฟกเตอร์จำนวนใบตัด

ชนิดของใบสกรูก็เป็นแฟกเตอร์ที่มีผลต่ออัตราการขนถ่ายวัสดุเช่นกัน ซึ่งแฟกเตอร์ชนิดของใบสกรูนี้จะขึ้นอยู่กับชนิดของใบสกรู (CF_2) และจำนวนใบตัดสำหรับการกวหรือผสมวัสดุต่อระยะพิตช์ (CF_3) โดยแฟกเตอร์ทั้งสองนี้ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.9 และรูปที่ 2.10 ตามลำดับ ดังนั้นการคำนวณหาอัตราการขนถ่ายวัสดุเมื่อรวมเอาแฟกเตอร์ต่างๆ ไว้แล้วจะคำนวณได้โดยใช้สมการที่ (5)

$$M_s = \frac{\rho_b \pi (D^2 - d^2) k p N}{4 C F_1 C F_2 C F_3} \quad \dots(5)$$

ในทำนองเดียวกัน จากสมการที่ (5) เมื่อกำหนดอัตราการขนถ่ายวัสดุและขนาดของใบสกรูมาแล้วก็จะสามารถคำนวณหาความเร็วรอบของสกรูได้จากสมการที่ (6)

$$N = \frac{4 m_s C F_1 C F_2 C F_3}{\rho_b \pi (D^2 - d^2) k p} \quad \dots(6)$$

สมาคมผู้ผลิตอุปกรณ์ขนถ่ายวัสดุของอเมริกา(CAMA) ได้พิมพ์ตารางอัตราการขนถ่ายวัสดุเชิงปริมาตรไว้ดังแสดงในตารางที่ 2.3 ซึ่งสามารถจะนำมาใช้สำหรับเปรียบเทียบกับวิธีการคำนวณด้วยสมการได้ โดยสามารถหาความเร็วรอบของสกรูได้จากสมการที่ 7

$$N = \frac{\text{อัตราการขนถ่ายวัสดุเชิงปริมาตร}}{\text{ปริมาณการขนถ่ายวัสดุต่อรอบในตารางที่ 3}} CF_1 CF_2 CF_3 \quad \dots(7)$$

โดยที่ความเร็วรอบของใบสกรุนั้นจะต้องมีค่าไม่เกินค่าความเร็วรอบสูงสุดที่แสดงไว้ในตารางที่ 2.3

- สำหรับขั้นตอนในการคำนวณออกแบบ และเลือกสกรูขนถ่ายวัสดุ จะมีขั้นตอนดังต่อไปนี้
1. ตรวจสอบคุณสมบัติของวัสดุที่จะขนถ่าย และชนิดของใบสกรูที่เหมาะสม พร้อมทั้งแฟกเตอร์ความเต็มราง
 2. ถ้าวัดวัสดุมีลักษณะเป็นก้อน จะสามารถเลือกขนาดของใบสกรูได้จากรูปที่ 2.3
 3. หาความเร็วรอบสูงสุดของเพลาสกรูจากรูปที่ 2.3
 4. แฟกเตอร์ของระยะพิตช์ ชนิดของใบสกรู และจำนวนใบพัดสำหรับการกวนหรือผสมวัสดุต่อระยะพิตช์(แฟกเตอร์ CF_1 CF_2 และ CF_3 ตามลำดับ) จากตารางที่ 2.2 รูปที่ 2.9 และรูปที่ 2.10

ตารางที่ 2.4 แฟกเตอร์ใบพัด F_p

จำนวนใบพัดต่อระยะพิตช์	0	1	2	3	4
แฟกเตอร์ใบพัด (F_p)	1.0	1.29	1.58	1.87	2.16

ตารางที่ 2.5 แฟกเตอร์วัสดุ (F_m)

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
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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 (ต่อ)

รายชื่อวัสดุ	ความหนาแน่นของวัสดุ (kg/m ³)	แฟกเตอร์วัสดุ (F _m)
Gypsum(fine)	960-1280	1.6
Ice(crushed or rolled)	560-720	0.6
Ice(flake)	640-720	0.6
Mica flake	270-350	1.0
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 2.6 ค่าประมาณของแฟกเตอร์ของวัสดุ

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

5. ทดสอบเลือกขนาดของใบสกรู แล้วคำนวณหาอัตราการขนถ่ายวัสดุจากสมการที่ (5) โดยใช้ความเร็วรอบสูงสุดจากข้อ 3 ซึ่งจะต้องได้อ่านค่าอัตราการขนถ่ายวัสดุมากกว่าที่โจทย์กำหนด จากนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณหาความเร็วรอบของสกรูขนถ่ายวัสดุจากตารางที่ 2.6 ความเร็วรอบที่คำนวณมากกว่าค่าสูงสุดให้เลือกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบสกรูที่โตขึ้น

2.1.8 การหาค่ากำลังขับ

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

กำลังขับสกรูขนถ่ายวัสดุโดยทั่วๆ ไปแล้วอาจแบ่งได้เป็นสามประเภทดังนี้

- กำลังขับสำหรับสัมประสิทธิ์ความเสียหายต่างๆ ของชิ้นส่วนสกรูขนถ่ายวัสดุที่เคลื่อนที่
- กำลังขับสำหรับขนถ่ายวัสดุ
- กำลังขับสำหรับการยกวัสดุขึ้นตามแนวตั้ง

กำลังขับสำหรับเอาชนะสัมประสิทธิ์ความเสียหายต่างๆ ของชิ้นส่วนสกรูขนถ่ายวัสดุที่เคลื่อนที่จะขึ้นอยู่กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบสกรู, ความยาวของสกรูขนถ่ายวัสดุ และความเร็วรอบของเพลาสกรูสมการที่ (8) ได้จากการทดลองซึ่งสามารถให้ผลการคำนวณที่เชื่อถือได้ และเป็นสมการรูปแบบที่ง่ายดังนี้

$$P_f = 75.7LND^{1.7} \quad \dots(8)$$

P_f คือกำลังขับสำหรับเอาชนะความเสียหาย(Watt)

L คือความยาวสกรูขนถ่ายวัสดุ(m)

N คือความเร็วรอบของเพลาสกรู(Hz)

D คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบสกรู(m)

เป็นการยากที่จะคำนวณกำลังขับสำหรับการขนถ่ายวัสดุที่ถูกต้องได้ เนื่องจากจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติตามธรรมชาติของวัสดุที่แตกต่างกันไป ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะขึ้นอยู่กับอัตราการขนถ่ายวัสดุ, ความหนาแน่นของวัสดุ และระยะทางขนถ่ายวัสดุ ดังนั้นจึงสามารถประมาณค่ากำลังขับสำหรับการขนถ่ายวัสดุได้จากสมการที่ (9)

$$P_m = F_f F_p F_m m_s g L \quad \dots(9)$$

P_m คือกำลังขับที่ใช้ขนถ่ายวัสดุ (watt)

F_f คือแฟกเตอร์ใบสกรู(ตารางที่ 2.3)

F_p คือแฟกเตอร์ใบพัด(ตารางที่ 2.4)

F_m คือแฟกเตอร์วัสดุ(ตารางที่ 2.5)

ρ_b คือความหนาแน่นวัสดุ(kg/m³)

V คืออัตราการขนถ่ายเชิงปริมาตร(m³/sec)

L คือระยะทางขนถ่ายวัสดุ(m)

และจะสามารถทราบค่าโดยประมาณของแฟกเตอร์วัสดุได้จากชนิดของวัสดุ ซึ่งได้สรุปไว้ในตารางที่ 2.6 ส่วนกำลังขับสำหรับยกวัสดุขึ้นตามแนวตั้งสามารถหาได้จากสมการที่ (10)

$$P_v = m_v g H \quad \dots(10)$$

P_v คือกำลังขับสำหรับยกวัสดุขึ้นตามแนวตั้ง (Watt)

H คือ ระยะทางตามแนวตั้ง (m)

ดังนั้นกำลังขับรวมสำหรับสกรูขนถ่ายวัสดุ สามารถคำนวณได้จากการรวมกำลังขับทั้งสามประกอบเข้าด้วยกัน แล้วคูณด้วยแฟกเตอร์กำลังขับ(overload factor, F_o) และหารด้วยประสิทธิภาพการส่งกำลังขับ(h)

$$P = \frac{(P_f + P_m + P_v) F_o}{\eta} \quad \dots(11)$$

P คือกำลังขับรวม(watt)

F_o คือแฟกเตอร์กำลังขับ(รูปที่ 17)

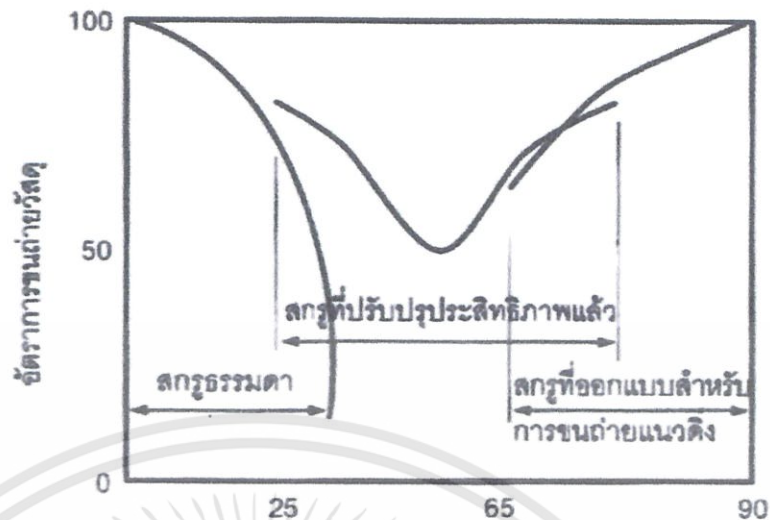
ถ้า $P_f + P_m$ มีค่ามากกว่า 4 kW ให้ใช้ค่า $F_o = 1.0$

η คือประสิทธิภาพการส่งรับกำลังขับ (โดยทั่วไปมีค่า 0.85-0.95)

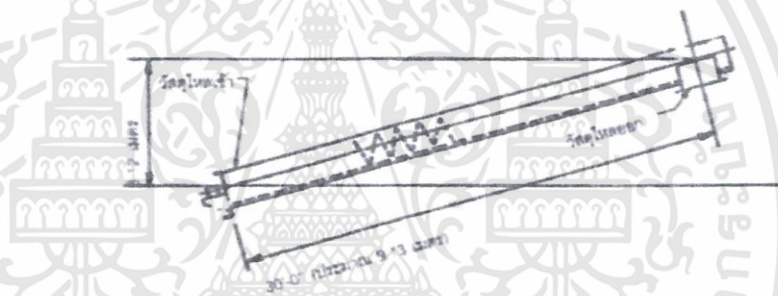
การนำเอาสกรูขนถ่ายวัสดุไปขนถ่ายวัสดุตามแนวเอียงนั้นจะสามารถทำได้เฉพาะวัสดุบางชนิดเท่านั้น ซึ่งสามารถดูค่ามุมเอียงสูงสุดที่สามารถขนถ่ายวัสดุได้จากตารางวัสดุได้ของสมาคมผู้ผลิตอุปกรณ์ขนถ่ายวัสดุของอเมริกา(CEMA) โดยทั่วไปแล้วมุมเอียงควรมีค่าไม่เกิน 20 องศา การขนถ่ายวัสดุตามแนวเอียงนี้จะมีประสิทธิภาพในการขนถ่ายวัสดุต่ำกว่าการขนถ่ายวัสดุตามแนวระดับ การที่ประสิทธิภาพการขนถ่ายวัสดุลดลง คือปริมาณการขนถ่ายวัสดุลดลง และต้องใช้กำลังในการขนถ่ายวัสดุสูงขึ้นด้วย ซึ่งมีสาเหตุมาจากการไหลของวัสดุเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก ปริมาณการขนถ่ายวัสดุที่ลดลงจากการขนถ่ายวัสดุตามแนวเอียงนั้นสามารถประมาณค่าได้จากรูปที่ 2.11

ดังนั้นการคำนวณหา กำลังที่ใช้ขับสกรูสำหรับการขนถ่ายวัสดุตามแนวเอียง ควรจะต้องเผื่ออัตราการขนถ่ายวัสดุที่ลดลงจากรูปที่ 2.12

การปรับปรุงสกรูขนถ่ายวัสดุสำหรับการขนถ่ายวัสดุตามแนวเอียงเพื่อให้มีประสิทธิภาพการขนถ่ายวัสดุสูงขึ้นดังรูปที่ 2.12 มีต่อไป



รูปที่ 2.11 อัตราการขนถ่ายวัสดุที่ลดลงจากการขนถ่ายวัสดุตามแนวเอียง



รูปที่ 2.12 สกรูขนถ่ายวัสดุที่มีระยะทางขนถ่ายวัสดุ 9.13 เมตรและมุมเอียง 20 องศา

1. จัดให้ช่องว่างระหว่างใบสกรูกับรางสกรูขนถ่ายวัสดุให้มีค่าน้อยที่สุด
2. ควรใช้รางสกรูขนถ่ายวัสดุแบบท่อกกลม
3. สดตัวแขวนเพลาสกรู(hanger) ให้น้อยที่สุดหรือไม่มีตัวแขวนเลย ถ้าระยะทางขนถ่ายวัสดุไม่ยาวมากนัก ในกรณีเพลายาวมากอาจทำให้เกิดการแกว่งของเพลาก็ได้
4. ใช้ใบสกรูที่มีระยะพิทช์สั้นตั้งแต่ 1.5, 2.0 หรือ 3.0 พิตช์ต่อรอบของสกรู เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการขนถ่ายวัสดุตามแนวเอียง

ทฤษฎีต่อจากนี้ได้อ้างอิงจาก[10]

2.2 อุปกรณ์ช่วยจ่ายวัสดุออกจากภาชนะบรรจุวัสดุปริมาณมวล

การหาขนาดของมุมเอียงของภาชนะบรรจุวัสดุปริมาณมวล(bulk materials) ซึ่งวัสดุจะอยู่ในรูปของผงหรือเม็ดจะต้องอาศัยเครื่องมือที่เรียกว่า “เครื่องทดสอบการเฉือน(shear tester)” ที่จะจำลอง

ลักษณะของแรงต่างๆ ที่กระทำวัสดุในขณะที่วัสดุอยู่ในภาชนะบรรจุ จากนั้นจึงนำเอาข้อมูลที่ได้อามาวิเคราะห์เพื่อหามุมเอียงของภาชนะบรรจุและขนาดของช่องทางปล่อยวัสดุที่เหมาะสม เพื่อให้วัสดุสามารถไหลออกจากภาชนะบรรจุได้เอง จะเห็นว่าการที่จะให้วัสดุไหลออกจากภาชนะบรรจุได้เองนั้น ต้องมีกระบวนการทดสอบและวิเคราะห์ซึ่งต้องใช้เครื่องมือเฉพาะด้าน และมีความยุ่งยากมากพอสมควร อีกทั้งในบางครั้งมุมเอียงและขนาดของช่องทางปล่อยวัสดุที่ได้ อาจจะไม่เหมาะสมในทางปฏิบัติ เช่น มุมเอียงของส่วนปล่อยวัสดุ อาจจะน้อยมากจนทำให้ภาชนะบรรจุมีลักษณะแหลม และภาชนะบรรจุมีความสูงมากในขณะที่มีปริมาตรสำหรับเก็บวัสดุน้อย หรือช่องทางปล่อยวัสดุใหญ่มากจนทำให้หาอุปกรณ์สำหรับปิดช่องทางปล่อยวัสดุที่เหมาะสมไม่ได้

จากปัญหาข้างต้นจะเห็นว่า ถ้าสามารถเพิ่มเติมอุปกรณ์ที่ช่วยให้วัสดุไหลออกจากภาชนะบรรจุได้ โดยไม่เกิดการติดขัดของวัสดุที่บริเวณช่องทางปล่อยวัสดุก็สามารถตัดปัญหาต่างๆ ออกไปได้โดยไม่ต้องจำเป็นต้องมีเครื่องมือทดสอบราคาแพงจากต่างประเทศ และไม่ต้องใช้กระบวนการวิเคราะห์ที่ยุ่งยากซับซ้อน อีกทั้งยังสามารถประยุกต์ใช้กับภาชนะบรรจุที่ใช้มานานแล้วและใช้ได้กับวัสดุที่อาจก่อเกิดปัญหาทางด้านการไหล คือ วัสดุที่มีมุมกองวัสดุตั้งแต่ประมาณ 45 องศาขึ้นไป รูปที่ 2.12 เป็นคุณสมบัติการไหลของวัสดุตามขนาดของมุมกองวัสดุ



รูปที่ 2.13 มุมกองวัสดุ

ทฤษฎีต่อจากนี้ได้อ้างอิงจาก[10]

2.3 การไหลและการติดขัดที่ช่องปล่อยวัสดุ

ลักษณะการไหลของวัสดุออกจากภาชนะบรรจุนั้นสามารถแบ่งได้เป็นสองลักษณะใหญ่ๆ คือ การไหลแบบสม่ำเสมอ(mass flow) และการไหลแบบเฉพาะที่(funnel flow) ดังแสดงรูปที่ 2.15 ซึ่งวัสดุจะมีลักษณะการไหลแบบใดนั้นจะขึ้นอยู่กับรูปร่างลักษณะของภาชนะบรรจุ เช่น มุมเอียงของส่วนปล่อยวัสดุ ขนาดของช่องทางปล่อยวัสดุและคุณสมบัติของวัสดุได้แก่ สัมประสิทธิ์ความเสียหายระหว่างวัสดุกับผนังของภาชนะบรรจุ

ตารางที่ 2.7 คุณสมบัติการไหลของวัสดุ

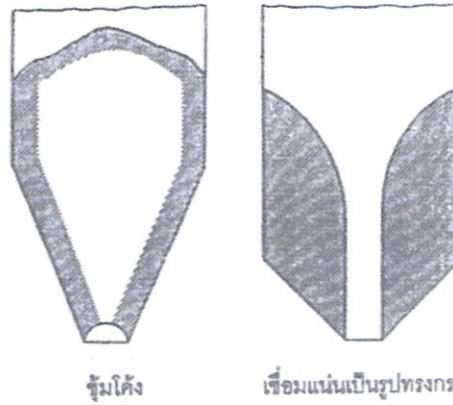
มุมกองวัสดุ (องศา)	คุณสมบัติในการไหล
25-30	ไหลได้ดีมาก
30-38	ไหลได้ดี
38-45	ไหลได้พอสมควร
45-55	วัสดุที่มีคุณสมบัติการเกาะติดไหลได้ยาก
55-70	วัสดุที่มีคุณสมบัติการเกาะติดสูงไหลได้ยากมาก

จากลักษณะการไหลของวัสดุทั้งสองลักษณะนั้นการเกิดการติดขัดของวัสดุที่ช่องทางปล่อยวัสดุสามารถที่จะเกิดได้เป็นสองลักษณะเช่นกัน คือลักษณะการไหลแบบสมำเสมอจะเกิดการติดขัดของวัสดุที่ช่องทางปล่อยวัสดุที่เรียกว่า “ขุมโค้ง” (arch หรือ bridging) ส่วนการไหลแบบเฉพาะที่จะมีการติดขัดของวัสดุที่เรียกว่า “เชื่อมแน่นเป็นรูปทรงกระบอก” (piping หรือ rathole)



รูปที่ 2.14 ลักษณะการไหลของวัสดุออกจากภาชนะบรรจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 การเกิดค้ำโค้งและเชื่อมแน่นเป็นทรงกระบอก

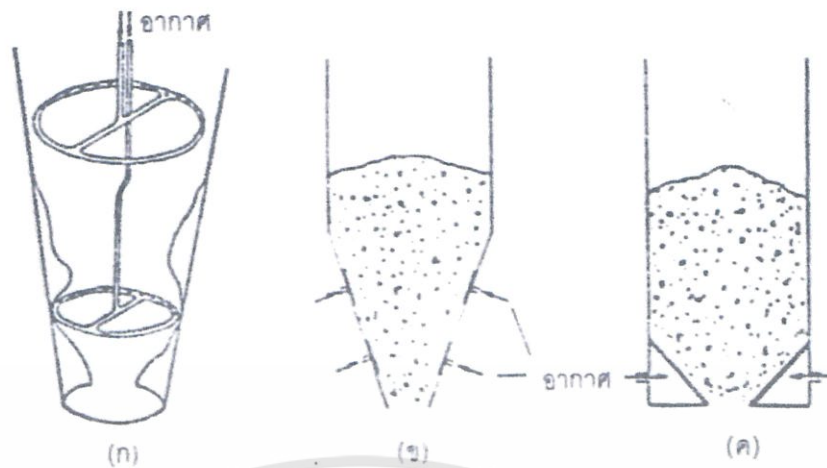
ดังแสดงในรูปที่ 2.15 ซึ่งการเกิดการติดขัดกันเองของวัสดุในกรณีที่วัสดุมีขนาดใหญ่ และเกิดจากคุณสมบัติของการเกาะตัวของวัสดุ (cohesive) ในกรณีที่วัสดุมีลักษณะเป็นผงละเอียด

ทฤษฎีต่อจากนี้ได้อ้างอิงจาก[10]

2.4 อุปกรณ์ช่วยจ่ายวัสดุออกจากภาชนะบรรจุ

จากปัญหาในการออกแบบมุมเอียงของส่วนปล่อยวัสดุและขนาดของช่องทางปล่อยวัสดุที่มีความยุ่งยากซับซ้อน หรือในบางครั้งอาจมีการออกแบบผิดพลาด ทำให้วัสดุไม่ไหลออกจากภาชนะบรรจุตามความต้องการ ในกรณีนี้ อุปกรณ์ช่วยจ่ายวัสดุจะสามารถช่วยแก้ปัญหาดังกล่าวข้างต้นได้ และสามารถแบ่งอุปกรณ์ช่วยจ่ายวัสดุออกได้เป็นห้าชนิดดังต่อไปนี้

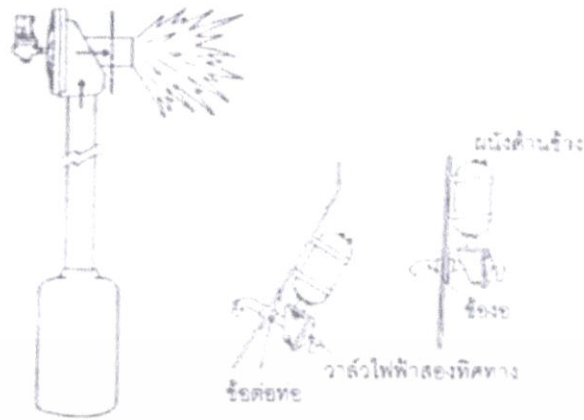
1. วิธีการที่ทำให้วัสดุอยู่ในสภาพของไหล
2. วิธีการใช้ลมผลักวัสดุ
3. วิธีการสั่นสะเทือน
4. วิธีการใช้อุปกรณ์ทางกล
5. วิธีการเคลือบผิวส่วนปล่อยวัสดุ



รูปที่ 2.16 ลักษณะของอุปกรณ์ช่วยไหลแบบทำให้วัสดุอยู่ในสภาพของไหล(fluidize)

1. วิธีการทำให้วัสดุอยู่ในสภาพของไหล(fluidization methods) เป็นวิธีที่ง่ายที่สุดและนิยมใช้กันมากที่สุด โดยมีหลักการเบื้องต้นที่จะให้ลมที่มีความดันต่ำเข้าไปผสมกับวัสดุเพื่อที่จะให้วัสดุสามารถไหลได้คล้ายของเหลวและมีการควบคุมลมให้อยู่ในปริมาณที่พอเหมาะ ในทางปฏิบัติสามารถทำได้หลายวิธี เช่น อาจใช้ท่อที่เจาะรูเล็กๆ รอบท่อแล้วหุ้มด้วยผ้าอีกชั้นหนึ่ง เพื่อกันไม่ให้วัสดุไหลเข้าไปในท่อได้ดังแสดงในรูปที่ 2.16(ก) อาจใช้วัสดุที่มีลักษณะเป็นแผ่นที่มีรูพรุนเพื่อให้ลมผ่านเข้าไปได้ดังแสดงในรูปที่ 2.16(ข) หรืออาจใช้ลมเป่าผ่านผ้ากรองฝุ่นที่มีรูพรุนก็ได้ดังแสดงในรูปที่ 2.16(ค)

2. วิธีการใช้ลมผลึกวัสดุ(air assisted methods) วิธีการใช้จะใช้ลมความดันสูงในปริมาณน้อยและทำให้เกิดการขยายตัวแบบทันทีทันใด เพื่อผลึกวัสดุให้ไหลออกจากภาชนะบรรจุ โดยการขยายตัวแบบทันทีทันใดของลมจะมีความดันประมาณ 7 เท่าของบรรยากาศจากถึงเก็บลมผ่านวาล์วที่มีคุณสมบัติให้ลมผ่านได้ในปริมาณมากๆ ไปทำลายส่วนที่ติดขัดของวัสดุที่ช่องทางปล่อยวัสดุดังแสดงในรูปที่ 2.17 โดยที่มีชื่อเรียกต่างๆ กัน เช่น air gun, air cannon, air blaster เป็นต้น ปริมาณลมที่ใช้สำหรับผลึกวัสดุจะขึ้นอยู่กับขนาดของถังเก็บลม(reservoirs) ส่วนจำนวนอุปกรณ์และความถี่ในการจ่ายลมเข้าไปในภาชนะบรรจุนั้น จะขึ้นกับลักษณะของภาชนะบรรจุและการสังเกตระยะเวลาในการหยุดไหลของวัสดุในแต่ละครั้งซึ่งอาจจะใช้เวลาตั้งแต่ 4 วินาทีต่อครั้ง ไปจนถึงหลายชั่วโมงต่อครั้งก็ได้ ข้อควรระวังก็คือถ้าวัสดุมีลักษณะเป็นฝุ่นผง ลมที่มีความดันสูงอาจทำให้ฝุ่นละอองที่ช่องทางปล่อยวัสดุกระจายได้ ส่วนรูปที่ 2.18 เป็นตำแหน่งการติดตั้งเพื่อไม่ให้เกิดการติดขัดแบบขั้วค้ำและแบบเชื่อมแน่นเป็นท่อบรรจุกะบอตามลำดับ



รูปที่ 2.17 ลักษณะของอุปกรณ์แบบใช้ลมผลึกควอตซ์



รูปที่ 2.18 ตำแหน่งการติดตั้งเพื่อไม่ให้เกิดการติดขัดแบบชุ่มโคลงและแบบเชื่อมแน่นเป็นท่อบรูปทรงกระบอกตามลำดับ

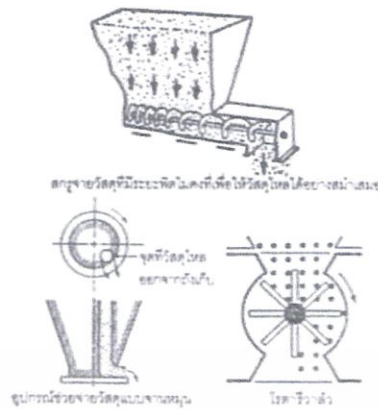
3. วิธีการสั่นสะเทือน(vibration methods) การใช้การสั่นสะเทือนเพื่อให้วัสดุไหลออกจากภาชนะบรรจุ เป็นวิธีหนึ่งที่นิยมกันทั่วไป หน้าที่หลักของการสั่นสะเทือนก็คือ การลดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างวัสดุ เพื่อให้วัสดุแยกตัวออกจากกันและไหลได้ การสั่นสะเทือนที่นิยมใช้มีอยู่สองชนิด คือการเลียนแบบการใช้ด้วยการเคาะที่ผนังของภาชนะบรรจุ โดยติดตั้งอุปกรณ์ที่สามารถเคาะได้เหมือนกับการใช้ค้อน (knocker) ซึ่งตัวอุปกรณ์อาจใช้ไฟฟ้าหรือลมเป็นตัวดันกำลังก็ได้ โดยการทำงานจะไม่ทำให้ผนังของถังเก็บวัสดุเกิดความเสียหายหรือเสียรูปทรงไปเหมือนการใช้ค้อนทุบ หลักการพื้นฐานที่ทำให้เกิดการสั่นสะเทือนมีอยู่สี่ชนิดดังนี้คือ

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

รูปที่ 2.19 ได้แสดงตำแหน่งที่ติดตั้งอุปกรณ์การสันสะเทือน ข้อดีของวิธีนี้ก็คือ มีราคาถูก สามารถติดตั้งที่ตำแหน่งใดๆ ก็ได้โดยไม่ต้องปรับปรุงตัวภาชนะบรรจุ แต่ข้อเสียก็คือ ไม่สามารถทำให้เกิดการสันสะเทือนอย่างทั่วถึงที่ตัววัสดุด้วย จึงอาจมีวัสดุติดขัดตรงตำแหน่งใดๆ ได้ เพื่อแก้ไขปัญหานี้จึงได้มีการพัฒนาอุปกรณ์ที่สามารถสร้างการสันสะเทือนขึ้นโดยตรงกับวัสดุชนิดใหม่ขึ้นมาที่เรียกว่า “กรวยสันสะเทือน”(bin activator) ซึ่งมีลักษณะทั่วไปดังแสดงในรูปที่ 2.20 โดยมีลักษณะเป็นกรวยที่ทำด้วยวัสดุที่ยืดหยุ่นได้ และสามารถเคลื่อนที่ไปมาได้โดยมอเตอร์เขย่า ซึ่งทำให้กรวยเกิดการเคลื่อนที่ทำให้วัสดุที่อยู่ในภาชนะบรรจุได้รับการสันสะเทือนโดยตรง

4. วิธีการใช้อุปกรณ์ทางกล(mechanical method) อุปกรณ์ทางกลที่ใช้จ่ายวัสดุออกจากภาชนะบรรจุ โดยทั่วไปจะใช้จานหมุน, สกรู, แผ่นกวาด, โรตารีวาล์ว ซึ่งโดยส่วนมากจะใช้กับภาชนะบรรจุขนาดใหญ่ และควรจะนับเป็นอุปกรณ์ช่วยให้เกิดการไหลอุปกรณ์ทางกลสำหรับจ่ายวัสดุออกจากภาชนะบรรจุชนิดต่างๆ ดังรูปที่ 2.21





รูปที่ 2.21 อุปกรณ์ทางกลสำหรับจ่ายวัสดุออกจากภาชนะบรรจุชนิดต่างๆ

5. วิธีการเคลือบผิวส่วนปล่อยวัสดุ(hopper liners methods) การใช้วัสดุที่มีสัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่ำเคลือบผิวด้านในของภาชนะบรรจุก็เพื่อให้วัสดุสามารถไหลได้ง่าย และเป็นเทคนิคที่ยอมรับว่าถูกต้องตามหลักเศรษฐศาสตร์ การเลือกวัสดุสำหรับเคลือบผิวนั้นต้องคำนึงถึงองค์ประกอบต่างๆ ดังนี้

1. การกัดกร่อนและการดูดซึมความชื้น
2. อุณหภูมิ
3. การติดตั้งและการบำรุงรักษา
4. ความปลอดภัย เช่น สารพิษที่อาจเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาเคมีและเปลวไฟ
5. การทนทานต่อการกระแทก
6. การเกิดประจุไฟฟ้าสถิตย์
7. ขนาดของวัสดุและความแข็งแรงของวัสดุ
8. อิทธิพลต่างๆ จากโครงสร้างของถังเก็บวัสดุ

วัสดุที่ใช้เคลือบผิวนั้นจะนิยมใช้ UHMW(Ultra High Molecular Weight) ซึ่งมีราคาค่อนข้างถูก ส่วนวัสดุอื่นๆ ที่ใช้กัน ได้แก่ เทฟลอน, สแตนเลส, โพลียูรีเทน และเซรามิกส์ ซึ่งเป็นวัสดุที่มีความคงทนต่อการกัดกร่อนและการสึกหรอจากวัสดุที่มีคมได้ดี

การออกแบบภาชนะบรรจุเพื่อให้วัสดุสามารถไหลได้เองนั้น มีกระบวนการที่ยุ่งยากซับซ้อน และต้องใช้เครื่องมือเฉพาะด้านลักษณะการไหลของวัสดุออกจากภาชนะบรรจุจะแบ่งออกเป็นสองลักษณะ คือ การไหลแบบสม่ำเสมอ และการไหลแบบเฉพาะที่ ถ้าวัสดุที่มีคุณสมบัติในการไหลไม่ดีนักโดยทั่วไปจะเป็นวัสดุที่มีมุมกองตั้งแต่ 45 องศาขึ้นไป การใช้อุปกรณ์ช่วยจ่ายวัสดุเพื่อให้วัสดุสามารถไหลออกจากภาชนะบรรจุได้นั้นจะเป็นวิธีที่ง่ายและแน่นอนในการออกแบบที่ยุ่งยากซับซ้อน

อุปกรณ์ช่วยจ่ายวัสดุออกจากภาชนะบรรจุจะแบ่งออกเป็นห้าชนิด ได้แก่ วิธีที่ทำให้วัสดุอยู่ในสภาพของไหล วิธีการใช้ลมผลักวัสดุ วิธีการสั่นสะเทือน วิธีการใช้อุปกรณ์ทางกล และวิธีการเคลือบผิว

ส่วนปล่อยวัสดุ การจะพิจารณาเลือกใช้อุปกรณ์ช่วยจ่ายวัสดุแบบใดก็จะต้องพิจารณาด้วยความระมัดระวังและคำนึงถึงค่าใช้จ่ายที่ประหยัดด้วย

ทฤษฎีต่อจากนี้ได้อ้างอิงจาก[10]

2.5 การออกแบบระบบการขนถ่ายวัสดุด้วยลม

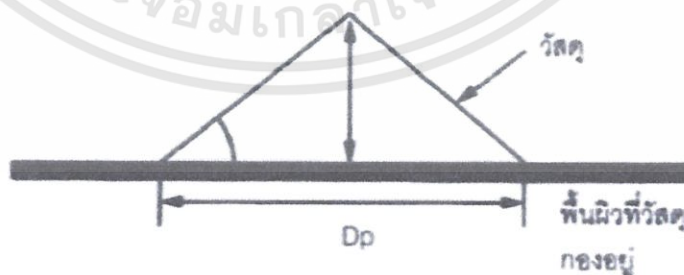
การคำนวณโดยใช้พื้นฐานทางด้านกลศาสตร์ของไทย การคำนวณโดยใช้กราฟและการคำนวณเมื่อมีข้อมูลเดิมอยู่ก่อน ซึ่งเป็นวิธีการออกแบบระบบขนถ่ายวัสดุด้วยลมโดยวิธีประมาณค่าการออกแบบระบบการขนถ่ายวัสดุด้วยลมในเบื้องต้นนั้น ผู้ออกแบบควรจะมีความรู้ ความเข้าใจในหลักการการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบก่อน เพื่อจะได้สามารถเลือกใช้อุปกรณ์ได้อย่างถูกต้องและเหมาะสม ถ้าหากอุปกรณ์ในระบบไม่สามารถทำงานได้หรือเลือกใช้อุปกรณ์เหมาะสมก็จะทำให้ระบบไม่สามารถทำงานได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุปกรณ์จ่ายวัสดุเข้าไปในระบบ ซึ่งถือได้ว่าเป็นหัวใจของการทำงานในระบบการขนถ่ายวัสดุด้วยลมเลยทีเดียว ที่ต้องพิจารณาเลือกอย่างรอบคอบก็เพื่อต้องการให้ระบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ทฤษฎีต่อจากนี้ได้อ้างอิงจาก[10]

2.6 มุมกองวัสดุ

วัสดุปริมาณมวลเมื่อถูกเทออกจากภาชนะบรรจุก็จะเกิดการเลื่อนไหลกลายเป็นกองวัสดุตามธรรมชาติ มุมที่พื้นผิวของวัสดุกระทำกับพื้นราบจะ เรียกว่า “มุมกองวัสดุ”(angle of repose) ซึ่งมุมกองวัสดุนี้จะสามารถนำไปใช้ในการออกแบบอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบการขนถ่ายวัสดุได้ มุมกองวัสดุนี้จะสามารถบอกถึงคุณสมบัติในการไหลของวัสดุ สามารถนำไปคำนวณหาปริมาตรของวัสดุที่อยู่บนอุปกรณ์ขนถ่ายวัสดุและในถังเก็บวัสดุได้อีกด้วย

มุมกองวัสดุโดยทั่วไปจะมีมุมกองสถิตยของวัสดุและมุมกองพลศาสตร์ของวัสดุ มุมกองสถิตยของวัสดุจะหมายถึงมุมกองวัสดุบนพื้นผิวที่อยู่กับที่ ส่วนมุมกองพลศาสตร์ของวัสดุจะหมายถึงมุมกองวัสดุบนพื้นผิวที่กำลังเคลื่อนที่ เช่น ในกรณีที่วัสดุที่อยู่บนสายพานลำเลียงจะมีมุมกองวัสดุลดลง ในบทความนี้จะใช้คำว่า “มุมกองวัสดุ” แทน “มุมกองสถิตยของวัสดุ” เพื่อให้ง่ายต่อการกล่าวถึงมุมกองวัสดุ



รูปที่ 2.22 มุมกองวัสดุตามธรรมชาติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.1 ตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อมุกองวัสดุ




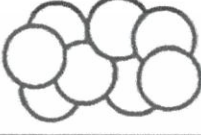
การวัดค่าของมุกองวัสดุซึ่งอาจจะคิดว่าเป็นเรื่องง่ายๆ แต่ความจริงแล้วมีความยุ่งยากซับซ้อนพอสมควร เช่น การวัดมุกองวัสดุที่ถูกเคลงบนพื้นผิวที่มีสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างวัสดุกับพื้นผิวที่แตกต่างกันก็จะได้ค่ามุกองวัสดุที่แตกต่างกันไปด้วย จากผลการวิจัยที่ผ่านมาพบว่า ค่ามุกองวัสดุที่วัดได้จากพื้นผิวที่มีสัมประสิทธิ์ความเสียดทานแตกต่างกันไป จะได้ค่ามุกองวัสดุที่แตกต่างกันถึง 5 องศา ดังนั้นจึงต้องมีการพิจารณาถึงตัวแปรต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อค่ามุกองวัสดุด้วย ขนาดของมุกองวัสดุจะขึ้นอยู่กับตัวแปรต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. สัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างวัสดุกับพื้นผิว
2. ขนาดของวัสดุและการกระจายของขนาดวัสดุ
3. รูปร่างของวัสดุ
4. ขนาดของกองวัสดุ
5. ความชื้นสัมพัทธ์ของวัสดุ
6. การเคลื่อนที่ของพื้นผิว

1. สัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างวัสดุกับพื้นผิว ถ้าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างวัสดุกับพื้นผิวมีค่าต่ำ ก็จะได้ค่ามุกองวัสดุที่ต่ำด้วย แต่ถ้าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างวัสดุกับพื้นผิวมีค่ามาก ก็จะได้ค่ามุกองวัสดุที่มากขึ้นตามไปด้วย จากการทดลองหาค่ามุกองวัสดุของโปแตสเซียมซัลเฟต (potassium sulfate) บนพื้นผิวที่แตกต่างกันพบว่า มุกองโดยเฉลี่ยที่วัดได้มีค่าแตกต่างกันถึง 5 องศา

2. ขนาดของวัสดุและการกระจายของขนาดวัสดุ จากการทดลองพบว่าขนาดวัสดุจะมีผลอย่างมากกับพื้นผิวที่มีสัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่ำ และมุกองวัสดุจะมีค่าน้อยลงเมื่อขนาดของวัสดุโตขึ้น ในขณะที่ผลของการทดลองยังไม่สามารถสรุปผลได้ เนื่องจากมีตัวแปรที่เกี่ยวข้องมาก และมีการแยกตัวของวัสดุขณะถูกเทด้วย

3. รูปร่างของวัสดุ โดยปกติแล้วรูปร่างของวัสดุจะเป็นตัวกำหนดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างวัสดุซึ่งจะมีผลต่อมุกองวัสดุ ดังแสดงในรูปที่ 2.23 จากการทดลองวัสดุที่เป็นน้ำตาล และแก้วที่มีรูปร่างแตกต่างกัน เช่น น้ำตาลที่มีลักษณะเป็นเหลี่ยม (spangle) จะมีแรงยึดเหนี่ยวภายในวัสดุสูง เนื่องจากการขัดตัวกันเองของวัสดุ จึงมีมุกองวัสดุมากถึง 50 องศา ในขณะที่น้ำตาลที่มีลักษณะเป็นผลึก และมีแรงยึดเหนี่ยวภายในวัสดุต่ำกว่าจึงมีมุกองวัสดุเพียง 37 องศา

น้ำตาล	ลักษณะผลึก 	ลักษณะเลื่อม 
มุมองวัด	37°	24°
50°	แก้ว 	ลักษณะหลายเหลี่ยม 
ลักษณะทรงกลม	มุมองวัด	21°

รูปที่ 2.23 ผลของรูปทรงวัสดุต่อมุมองวัด

4. **ขนาดขององวัด** จากการทดลองพบว่าในขณะที่เทวัสดุจนกองทับถมกันเป็นกอง ถ้าองวัดยิ่งเล็กอยู่จะทำให้มุมยอดขององวัดแหลมมาก นั่นหมายถึงมุมองวัดจะมีค่ามาก แต่เมื่อเทวัสดุเพิ่มมากขึ้นจนองวัดโตขึ้น มุมยอดขององวัดจะมีค่าน้อยลง หรือมุมองวัดมีค่าน้อยลงไปด้วย ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ถ้าวัสดุกองโตขึ้นจะมีมุมองวัดน้อยลง

5. **ความชื้นสัมพัทธ์ของวัสดุ** การเกาะตัวกันของวัสดุโดยปกติแล้วจะเกิดจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างวัสดุ ซึ่งเกิดขึ้นจากไฟฟ้าสถิต และความชื้นสัมพัทธ์ของวัสดุเมื่อวัสดุได้รับความชื้นจะทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างวัสดุเพิ่มมากขึ้น จึงทำให้มุมองวัดมีค่าเพิ่มมากขึ้นด้วย และเมื่อน้ำในวัสดุ ระเหยออกไปจนวัสดุแห้งก็จะเกิดการก่อตัวของวัสดุใหม่เป็นก้อน ทำให้คุณสมบัติในการไหลของวัสดุเกิดการเปลี่ยนแปลงแต่ในบางกรณีความชื้นสัมพัทธ์ของวัสดุจะทำหน้าที่สารหล่อลื่นจึงทำให้วัสดุไหลได้ดียิ่งขึ้น

6. **มุมองวัดในขณะที่วัสดุกองอยู่บนพื้นผิวที่กำลังเคลื่อนที่** ถ้าพื้นผิวที่วัสดุกองทับถมกันมีการเคลื่อนที่ ก็จะทำให้วัสดุที่อยู่พื้นผิวบนสุดขององวัดเกิดการเคลื่อนที่แล้วไหลลงมายู่ที่ฐานขององวัด ทำให้มุมองวัดที่กองอยู่บนพื้นผิวที่เคลื่อนที่มีค่าน้อยกว่ามุมองวัดที่กองอยู่บนพื้นผิวกับที่ จากการทดลองพบว่ามีความแตกต่างกันประมาณ 3-5 องศา มุมองวัดบนพื้นผิวที่เคลื่อนที่นี้ เรียกว่า “มุมองวัดพลศาสตร์ของวัสดุ” (Dynamic angle of repose) และเป็นค่าที่มีความสำคัญในการคำนวณหาปริมาณวัสดุที่อยู่บนอุปกรณ์ขนถ่ายวัสดุ เช่น ปริมาณวัสดุที่ถูกขนถ่ายโดยใช้สายพานลำเลียง เป็นต้น

2.6.2 วิธีการวัดมุมองวัด

วิธีการวัดมุมองวัดมีอยู่หลายวิธีที่ใช้วัดค่า “มุมองวัดพลศาสตร์ของวัสดุ” ซึ่งแต่ละวิธีอาจให้ค่าของมุมองวัดที่แตกต่างกันซึ่งมีผลต่อค่ามุมองวัด ได้แก่ เครื่องมือ อุปกรณ์ ประสบการณ์หรือความชำนาญของผู้ทดลอง และแพ็คเกจต่างๆ วิธีการวัดมุมองวัดโดยทั่วไปจะอยู่แปดวิธีดังต่อไปนี้

1. การวัดมุมองวัดโดยให้วัสดุไหลออกจากตัวถังเก็บวัสดุ (discharge method)
2. การวัดมุมองวัดโดยการหมุนภาชนะบรรจุ (sliding method)
3. การวัดมุมองวัดโดยให้วัสดุก่อตัวบนผนัง (settlement method)

4. การวัดมุมกองวัสดุโดยการให้อากาศไหลผ่าน (method by ventilation)
5. การวัดมุมกองวัสดุโดยวิธีการหมุน (rotation method)
6. การวัดมุมกองวัสดุโดยการสั่นสะเทือน (vibration method)
7. การวัดมุมกองวัสดุโดยวัดมุมกองวัสดุที่เหลือจากการไหล (method by immersion in powder)
8. การวัดมุมกองวัสดุโดยวิธีการเทวัสดุลงบนแผ่นวงกลม (pouring method)

1. การวัดมุมกองวัสดุโดยวัสดุไหลออกจากตัวถังเก็บวัสดุจากรูปที่ 2.24 เติมวัสดุจนเต็มถึงเก็บวัสดุรูปทรงกระบอกแล้วเปิดรูเล็กๆ ด้านล่างของถังเก็บวัสดุเพื่อให้วัสดุไหลออกจนกระทั่งวัสดุหยุดไหล ก็จะสามารถหามุมกองวัสดุได้จากสมการต่อไปนี้

$$\tan \theta = \frac{L}{l} \quad \dots(12)$$

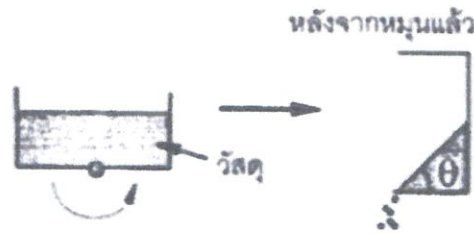
θ คือ มุมกองวัสดุ (drain angle of repose)

วิธีการนี้ไม่สามารถใช้ได้กับวัสดุที่มีคุณสมบัติในการเกาะตัวกันดี (วัสดุชนิด C หรือ cohesive materials จากการแบ่งชนิดวัสดุของเกลดดาห์ท (Geldart))



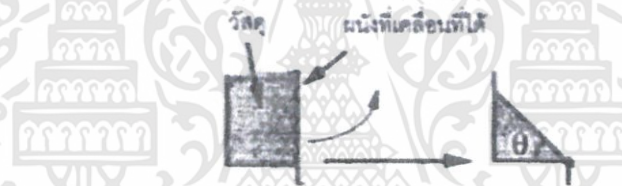
รูปที่ 2.24 การวัดมุมกองวัสดุโดยให้วัสดุไหลจากถังเก็บวัสดุ

2. การวัดมุมกองวัสดุโดยการหมุนภาชนะบรรจุ เติมวัสดุจนเต็มภาชนะบรรจุดังแสดงในรูปที่ 2.25 แล้วหมุนภาชนะบรรจุ 90 องศา เพื่อให้ภาชนะบรรจุตั้งฉากกับแนวตั้ง ปล่อยให้วัสดุไหลจนหยุดไหล ก็จะสามารถวัดมุมกองวัสดุได้



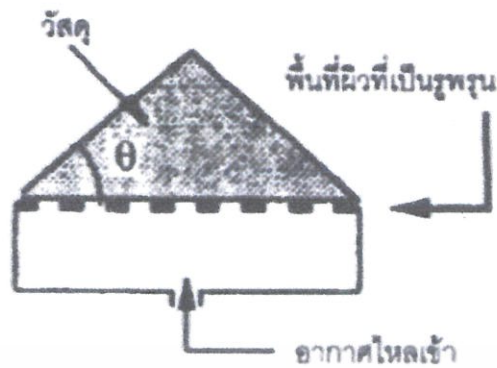
รูปที่ 2.25 การวัดมุมกองโดยการหมุนภาชนะบรรจุ

3. การวัดมุมกองวัสดุโดยให้วัสดุก่อตัวบนผนัง วิธีการวัดลักษณะนี้สามารถใช้ได้กับวัสดุที่อยู่ภายใต้แรงกดดัน โดยการเติมวัสดุลงในภาชนะบรรจุดังแสดงในรูปที่ 2.26 ซึ่งฝาผนังด้านหนึ่งของภาชนะบรรจุสามารถเปิดออกได้หลังจากเติมวัสดุลงในภาชนะวัสดุแล้ว ก็วางตุ้มน้ำหนักทับที่ด้านบนของวัสดุเพื่อสร้างแรงกดดันให้กับวัสดุเมื่อเปิดฝาผนังด้านข้างของภาชนะบรรจุ แล้วปล่อยให้วัสดุไหลจนหยุดไหลก็จะสามารถวัดมุมกองวัสดุได้



รูปที่ 2.26 การวัดมุมกองวัสดุโดยให้วัสดุก่อตัวบนผนัง

4. การวัดมุมกองวัสดุโดยการให้อากาศไหลผ่านวิธีนี้เป็นการวัดมุมกองพลศาสตร์ของวัสดุ (dynamic angle of repose) โดยการวางวัสดุบนพื้นผิวที่เป็นรูปพูนที่อากาศสามารถไหลผ่านได้ดังแสดงในรูปที่ 2.27 จากนั้นปล่อยให้อากาศไหลผ่านวัสดุในแนวตั้ง โดยใช้ปริมาณอากาศและความดันเพียงเล็กน้อย เพื่อให้วัสดุเกิดการเลื่อนไหลเมื่อหยุดปล่อยอากาศก็จะสามารถวัดมุมกองวัสดุได้ วิธีนี้จะเสียค่าใช้จ่ายสูง และได้ค่ามุมกองพลศาสตร์ของวัสดุที่มีค่าน้อยกว่าวิธีอื่น



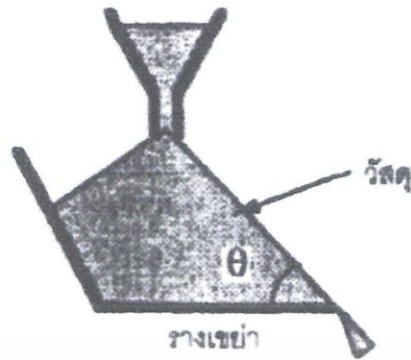
รูปที่ 2.27 การวัดมูมกองวัสดุโดยการให้อากาศไหลผ่าน

5. การวัดมูมกองวัสดุโดยวิธีการหมุนวิธีนี้เป็นวิธีการวัดมูมกองผลศาสตร์ของวัสดุ โดยการเติมวัสดุลงในภาชนะทรงกระบอกในปริมาณครึ่งหนึ่งของภาชนะบรรจุ จากนั้นก็หมุนภาชนะบรรจุเมื่อหยุดหมุนก็จะสามารถวัดค่ามูมกองผลศาสตร์ของวัสดุได้ดังแสดงในรูปที่ 2.28 ผิวภายในของภาชนะบรรจุจะต้องมีสัมประสิทธิ์ความเสียดทานมากพอ ที่วัสดุจะสามารถกองอยู่ได้ ต้องมีขนาดใหญ่และมีความแข็งแรงเพียงพอ ค่าของมูมกองวัสดุที่วัดได้จะมีค่ามากกว่าวิธีอื่น และค่าของมูมกองวัสดุนี้ยังขึ้นอยู่กับความเร็วในการหมุน ความหนืดและความดันของอากาศในภาชนะบรรจุด้วย



รูปที่ 2.28 การวัดมูมกองวัสดุโดยวิธีการหมุน

6. การวัดมูมกองวัสดุโดยการสั่นสะเทือน วิธีนี้ทำโดยการนำเอาวัสดุมาเทลงบนรางเขย่า ดังแสดงในรูปที่ 2.29 วัสดุจะเกิดการไหลเมื่อบังคับให้รางเขย่าทำงาน เมื่อรางเขย่าหยุดทำงานก็จะสามารถวัดมูมกองผลศาสตร์ของวัสดุได้



รูปที่ 2.29 การวัดมุมกองวัสดุโดยการสั่นสะเทือน

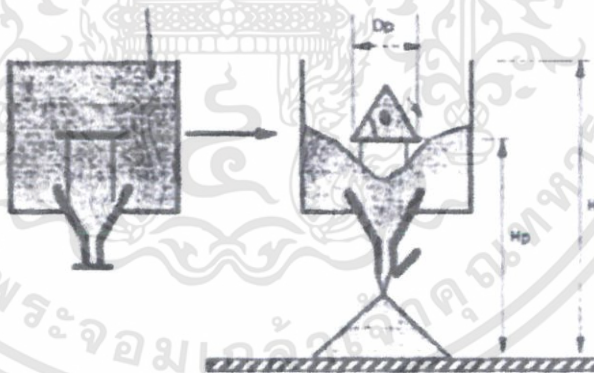
7. การวัดมุมกองวัสดุโดยวัดมุมกองวัสดุที่เหลือจากการไหล วิธีการนี้จะมีแผ่นวงกลมวางในระดับในภาชนะบรรจุ เมื่อเติมวัสดุจนเต็มภาชนะบรรจุ จากนั้นก็ปล่อยให้วัสดุไหลออกจากภาชนะบรรจุอย่างช้าๆ จนเหลือวัสดุที่กองอยู่บนแผ่นวงกลมดังแสดงในรูปที่ 2.30 โดยค่ามุมกองวัสดุจะคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$\tan\theta = \frac{2(H_c - H_p)}{D_p} \quad \dots(13)$$

H_c คือความสูงของกองวัสดุบนแผ่นวงกลม

H_p คือความสูงของแผ่นวงกลม

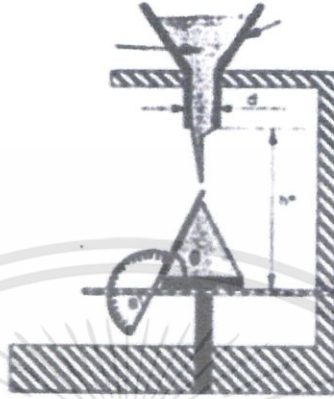
D_p คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแผ่นวงกลม



รูปที่ 2.30 การวัดมุมกองวัสดุโดยการวัดมุมกองวัสดุที่เหลือจากการไหล

8. การวัดมุมกองวัสดุโดยวิธีการเทวัสดุลงบนแผ่นวงกลม วิธีการนี้จะมีแผ่นวงกลมวางห่างจากปากกรวยเทวัสดุเป็นระยะทาง h ดังแสดงในรูปที่ 2.31 เมื่อเทวัสดุใส่ภาชนะบรรจุก็จะไหลลงสู่แผ่นวงกลมที่วางไว้ด้านล่าง ดังนั้นจึงสามารถวัดมุมกองวัสดุจากวัสดุที่กองอยู่บนแผ่นวงกลมได้โดยตรง มุมกองวัสดุที่วัดได้นี้เรียกว่า “poured angle of repose” วิธีการนี้สามารถใช้กับวัสดุทุกชนิด สิ่งที่ต้องระวังก็คือตำแหน่งในการเทวัสดุควรเทวัสดุลงตรงจุดศูนย์กลางของแผ่นวงกลม เพื่อให้ค่าที่วัดได้มีความเที่ยงตรง

แม่นยำยิ่งขึ้น สำหรับความสูง h ซึ่งตามมาตรฐานแล้วควรใช้ระยะ $h = 110$ ม.ม. และขนาดของแผ่นวงกลมควรมีเส้นผ่านศูนย์กลาง $D_p = 120$ ม.ม.



รูปที่ 2.31 การวัดมุมของวัสดุโดยวิธีการเทวีสดลงบนแผ่นวงกลม

2.6.3 การประยุกต์ใช้มุมของวัสดุสำหรับการออกแบบในงานอุตสาหกรรม

การนำเอามุมของวัสดุไปใช้สำหรับออกแบบในงานอุตสาหกรรมจะต้องพิจารณาอย่างรอบคอบ เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดแต่ยังคงมีการนำเอามุมของวัสดุไปใช้อย่างไม่เหมาะสม เช่น การนำเอามุมของวัสดุไปใช้เป็นมุมเอียงของภาชนะบรรจุ หรือนำไปใช้แทนมุมของความเสียดทานภายใน (internal friction angle) สำหรับหามุมเอียงของภาชนะบรรจุ

ประโยชน์ของมุมของวัสดุมีหลายกรณีดังต่อไปนี้

1. ใช้บอกคุณสมบัติในการไหลของวัสดุ
2. ใช้คำนวณหาปริมาตรของกองวัสดุ
3. ใช้คำนวณหาความสูงของภาชนะบรรจุ
4. ใช้กำหนดมุมเอียงของภาชนะบรรจุที่เหมาะสม
5. ใช้คำนวณหาอัตราการขนถ่ายวัสดุด้วยสายพานลำเลียง
6. ใช้คำนวณหาแรงที่กระทำกับผนังของภาชนะบรรจุ

1. บอกคุณสมบัติในการไหลของวัสดุมุมของวัสดุสามารถใช้แสดงถึงคุณสมบัติในการไหลของวัสดุได้ โดยที่วัสดุไม่ได้อยู่ภายใต้แรงกดดันหรืออยู่ภายใต้แรงกดดันต่ำๆ เท่านั้น แต่เมื่อวัสดุอยู่ภายใต้แรงกดดันสูง เช่น อยู่ในภาชนะบรรจุที่มีแรงกดดันวัสดุสูง มุมของวัสดุจะไม่สามารถแสดงคุณสมบัติในการไหลของวัสดุได้ สำหรับในกรณีที่วัสดุไม่อยู่ภายใต้แรงกดดันต่ำๆ มุมของวัสดุจะแสดงคุณสมบัติในการไหลของวัสดุดังแสดงในตารางที่ 2.8

2. คำนวณหาปริมาตรของกรวยวัสดุ ในกรณีที่วัสดุกองอยู่บนพื้นผิวจะสามารถคำนวณหาปริมาตรของกรวยวัสดุ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของกรวยวัสดุ และความสูงของกรวยวัสดุได้จากสมการต่อไปนี้

$$D_p = 2 \left(\frac{3V}{\pi \tan \theta} \right)^{\frac{1}{3}} \quad \dots(14)$$

$$h = \frac{D_p \cdot \tan \theta}{2} \quad \dots(15)$$

V คือปริมาตรของกรวยวัสดุ

D_p คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของกรวยวัสดุ

h คือความสูงของกรวยวัสดุ

θ คือมุมกรวยวัสดุ

3. คำนวณหาขนาดความสูงของไซโลเก็บวัสดุ ไซโลเก็บวัสดุโดยทั่วๆ ไปจะออกแบบให้เติมวัสดุจากด้านบนของไซโลและเพื่อให้สามารถเก็บวัสดุได้มากที่สุด ความสูงของไซโลทั้งหมด H จะต้องรวมความสูง h ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดของมุมกรวยวัสดุเขาไปด้วย และจะสามารถคำนวณหาค่า H ได้จากสมการต่อไปนี้

$$H = h + h' \quad \dots(16)$$

สำหรับไซโลหน้าตัดวงกลม

$$h = \frac{D \cdot \tan \theta}{2} \quad \dots(17)$$

สำหรับไซโลหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส

$$h' = \frac{a \cdot \tan \theta}{2} \quad \dots(18)$$

D คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไซโล

a คือขนาดความกว้างไซโล

ตารางที่ 2.8 คุณสมบัติในการไหลของวัสดุ

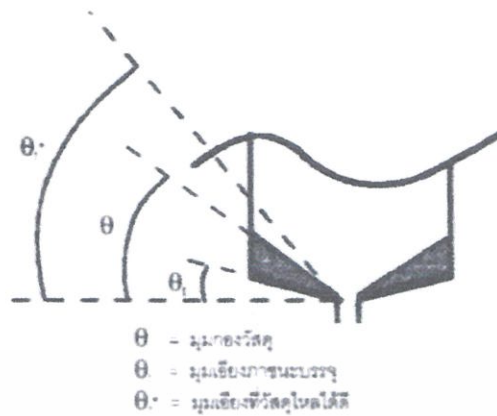
มุมกองวัสดุ (องศา)	คุณสมบัติในการไหลของวัสดุ
25-30	ไหลได้ดีมาก
30-38	ไหลได้ดี
38-45	พอไหลได้
45-55	ไหลได้ยาก
>55	ไหลได้ยากมาก



รูปที่ 2.32 การหาขนาดความสูงของไซโลเก็บวัสดุ

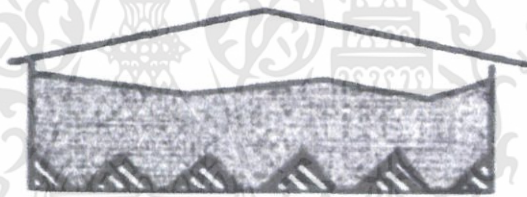
จากรูปที่ 2.32 จะเห็นว่ามุมเอียงไซโลที่ด้านบนจะมีค่าน้อยกว่ามุมกองวัสดุ ทั้งนี้เพราะเมื่อเติมวัสดุลงในไซโลก็จะเกิดการอัดตัวของวัสดุ ทำให้มุมเอียงของกองวัสดุมีค่าน้อยลง

4. กำหนดมุมเอียงของภาชนะบรรจุ การหามุมเอียงตรงส่วนปล่อยวัสดุของไซโลเก็บวัสดุนั้น ต้องใช้วิธีการเจไนค์ (Jenike's Method) เพื่อให้วัสดุไหลออกจากไซโลได้ดี แต่สำหรับภาชนะบรรจุขนาดเล็กที่ใช้เก็บวัสดุชั่วคราว เช่น ภาชนะบรรจุที่อยู่บนอุปกรณ์ขนถ่ายวัสดุ ถ้าหามุมเอียงของภาชนะบรรจุด้วยวิธีของเจไนค์จะทำให้วัสดุไหลได้ดี (θ) ในกรณีที่มีมุมเอียงตรงส่วนปล่อยวัสดุมีค่าน้อยลง ก็จะทำให้วัสดุไหลออกจากภาชนะบรรจุมีค่าน้อยลงก็จะทำให้วัสดุไหลออกจากภาชนะบรรจุไม่หมด หรือมีวัสดุตกค้างอยู่ในภาชนะบรรจุ ดังนั้นเพื่อให้วัสดุตกค้างในภาชนะบรรจุน้อยที่สุด โดยยังมีปริมาณมากเพียงพอสำหรับการเก็บวัสดุจึงควรใช้มุมกองวัสดุ θ ดังแสดงในรูปที่ 2.33 ซึ่งเป็นมุมกองวัสดุที่มีค่าน้อยที่สุดจากการทดลองมาเป็นมุมเอียงตรงส่วนปล่อยวัสดุ



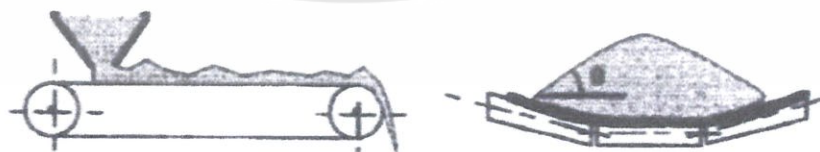
รูปที่ 2.33 การหมุนทามุมเอียงของภาชนะบรรจุ

และวิธีนี้ใช้ได้กับวัสดุที่มีคุณสมบัติในการไหลได้ดีเท่านั้น เพราะถ้าเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติในการไหลไม่ดีก็อาจจะเกิดการติดขัดของวัสดุ ทำให้วัสดุไม่ไหลออกจากภาชนะบรรจุก็ได้ สำหรับในกรณีที่ภาชนะบรรจุมีขนาดใหญ่ ก็สามารถสร้างอุปกรณ์ดังแสดงในรูปที่ 2.34 มาช่วยให้วัสดุไหลออกจากภาชนะบรรจุได้หมด โดยอุปกรณ์ที่ติดตั้งจะต้องมีมุมเอียงมากกว่ามุมของวัสดุเล็กน้อย



รูปที่ 2.34 อุปกรณ์ช่วยให้วัสดุไหลออกจากภาชนะบรรจุได้หมด

5. คำแนะนำอัตราการขนถ่ายวัสดุด้วยสายพานลำเลียง ในขณะที่ขนถ่ายวัสดุด้วยสายพานลำเลียง โดยวัสดุจะไหลออกจากภาชนะบรรจุลงบนสายพานลำเลียง ที่มีหน้าตัดดังแสดงในรูปที่ 2.35 การหาปริมาตรของวัสดุบนสายพานลำเลียงจำเป็นต้องใช้มุมของวัสดุเพื่อคำนวณหาพื้นที่หน้าตัดของวัสดุ สำหรับค่ามุมของวัสดุที่เหมาะสมการคำนวณนี้ คือการหาค่ามุมของวัสดุโดยวิธีการสั้นสะเทือน และวิธีการให้อากาศไหลผ่าน



รูปที่ 2.35 การหาอัตราการขนถ่ายวัสดุด้วยสายพานลำเลียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. คำนวณหาแรงที่กระทำกับผนังของภาชนะบรรจุ จากรูปที่ 2.36 บริเวณพื้นที่วัสดุส่วนที่ 3 จะไม่มีแรงเนื่องจากวัสดุกระทำกับผนังของภาชนะบรรจุ ดังนั้นจึงเหลือพื้นที่วัสดุส่วนที่ 1 และ 2 เท่านั้นที่จะมีแรงเนื่องจากวัสดุกระทำกับผนังของภาชนะบรรจุ และจะสามารถคำนวณหาแรงที่กระทำกับผนังของภาชนะบรรจุได้จากสมการต่อไปนี้

$$P = \frac{\rho gh^2}{2} \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\theta}{3} \right) \quad \dots(19)$$

P คือแรงที่วัสดุกระทำกับผนังของภาชนะบรรจุ (N/m)

ρ คือความหนาแน่นของวัสดุที่ปรากฏ (kg/m^3)

h คือระดับความสูงของวัสดุในภาชนะบรรจุ (m)

g คือความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก ($9.81 m/s^2$)



รูปที่ 2.36 การหาแรงที่กระทำกับผนังของภาชนะบรรจุ

มุมกอนวัสดุจะเป็นมุมกอนที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติของวัสดุ สามารถจำแนกออกเป็นสองชนิด คือ มุมกอนสถิตยของวัสดุ และมุมกอนพลศาสตร์ของวัสดุ ตัวแปรที่มีผลต่อมุมกอนวัสดุ ได้แก่ สัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างวัสดุกับพื้นผิวขนาดของวัสดุและการกระจายของขนาดวัสดุ รูปทรงของวัสดุ ขนาดของกอนวัสดุ ความชื้นสัมพัทธ์ของวัสดุ และการเคลื่อนที่ของพื้นผิว สำหรับวิธีการวัดมุมกอนวัสดุโดยทั่วไปจะมีอยู่แปดวิธี ได้แก่ การวัดมุมกอนวัสดุโดยให้วัสดุไหลออกจากถังเก็บวัสดุ การวัดมุมกอนวัสดุโดยการหมุนภาชนะบรรจุ การวัดมุมกอนวัสดุโดยให้วัสดุก่อตัวบนผนัง การวัดมุมกอนวัสดุโดยการให้อากาศไหลผ่าน การวัดมุมกอนวัสดุโดยการสั่นสะเทือน การวัดมุมกอนวัสดุที่ไหลจากการไหล และการวัดมุมกอนวัสดุโดยวิธีการเทวัสดุลงบนแผ่นวงกลมส่วนประโยชน์ของมุมกอนวัสดุ ได้แก่ บอกคุณสมบัติในการไหลของวัสดุ คำนวณหาปริมาตรของกอนวัสดุ คำนวณหาความสูงของภาชนะบรรจุ กำหนดมุมเอียงของภาชนะบรรจุที่เหมาะสม คำนวณหาอัตราการขนถ่ายวัสดุด้วยสายพานลำเลียง และคำนวณหาแรงที่กระทำกับผนังของภาชนะบรรจุ

มุมกอนวัสดุในที่นี้จะหมายถึง มุมกอนสถิตยของวัสดุ ซึ่งนิยมนำไปใช้สำหรับบอกคุณสมบัติในการไหลของวัสดุในขณะที่ไม่อยู่ภายใต้แรงกดดัน และยังสามารนำไปประยุกต์ใช้สำหรับการออกแบบในงาน

อุตสาหกรรมได้อีกด้วย ค่ามุมองวัสดุที่วัดได้ของแต่ละวิธีโดยปกติจะมีค่า แตกต่างกันไปตั้งแต่ค่ามุมองวัสดุสูงสุดไปถึงค่ามุมองวัสดุต่ำสุด ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหาค่าเฉลี่ยเพื่อนำไปใช้งาน

ทฤษฎีต่อจากนี้ได้อ้างอิงจาก[1]

2.7 การเชื่อม (Welding)

มีลักษณะของการเชื่อมอยู่หลายลักษณะที่มีความสำคัญและถูกนำไปใช้พิจารณากับการออกแบบเครื่องจักร ปัญหาที่มักเกิดขึ้นกับผู้ออกแบบ คือ ต้องคำนวณหาขนาดของแนวเชื่อม ให้เพียงพอกับการใช้งานโดยจะวิเคราะห์ถึงแรงที่มากระทำตรงรอยเชื่อมว่ามีความเค้นเกิดขึ้นเท่าไร โดยแรงที่มากระทำอาจเป็นแรงสถิตยคงที่หรือเป็นแรงที่มีค่าแปรปรวน การวิเคราะห์จะอ้างอิงจากการแนะนำจาก American Welding Society (AWS) และมีการปรับเปลี่ยนโดยบริษัท Lincoln Electric จำกัด

ผู้ออกแบบจำเป็นต้องหาและกำหนดความเค้นที่ออกแบบ และวิธีการที่เหมาะสมเพื่อหาค่าต่างๆ ตามประเภทของการเชื่อม การเชื่อมถูกนำมาใช้ในโครงสร้างต่างๆ ไป สะพาน หรือถึงเก็บความดันซึ่งการออกแบบถึงเก็บความดันต้องออกแบบให้มีความปลอดภัยมากที่สุด

2.7.1 ประเภทของรอยเชื่อม

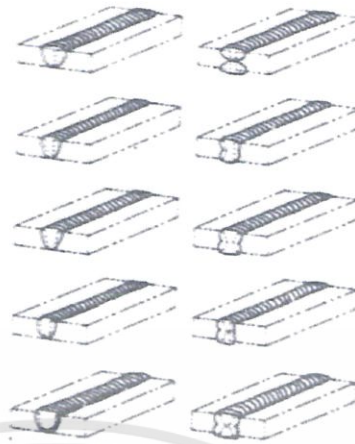
1. รอยเชื่อมแบบต่อชน(Butt Welds)

ดูรูป 2.37 ประกอบ ถ้าเชื่อมด้วยวิธีการที่ถูกต้องจากการศึกษาของบริษัท Lincoln Electric จำกัด พบว่าจะมีความเค้นเท่ากับหรือมากกว่าความเค้นที่ยอมให้ได้ของชิ้นงาน ดังนั้นไม่จำเป็นที่จะต้องคำนวณหาความเค้นที่เกิดบนรอยเชื่อมหรือหาขนาดของรอยเชื่อม แต่ถ้าเราจะเชื่อมเหล็กอัลลอยด์จำเป็นที่จะต้องใช้ค่า Electrode strength มีค่าใกล้เคียงกับค่าความแข็งแรงของชิ้นงาน

เมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพของรอยเชื่อมต่อ มีการแนะนำ code หลากๆ code ที่ลดค่าความแข็งแรง ของรอยเชื่อมลง เนื่องจากปัจจัยต่างๆ

เมื่อค่าความแข็งแรงถูกทำให้ลดลงเราจะได้สมการของการหาแรงที่ยอมให้ได้บนรอยเชื่อมแบบต่อชน (Butt weld) ได้ดังนี้

$$F_{all} = s_{tt}L \quad \dots(20)$$



รูปที่ 2.37 รอยเชื่อมแบบต่อชน

เมื่อ F_{all} คือแรงที่ยอมให้ได้, หน่วยเป็น N

S_t คือความเค้นที่ยอมให้ได้ของรอยเชื่อม, หน่วยเป็น N/m^2

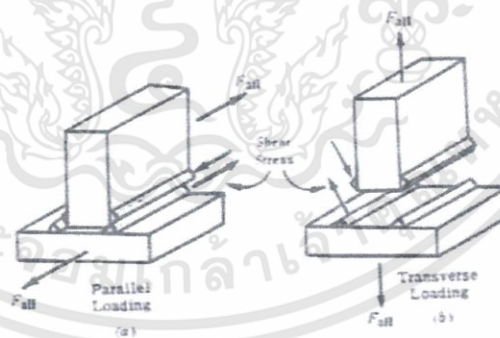
t คือความหนาของแผ่นชิ้นงาน, หน่วยเป็น m

L คือความยาวของรอยเชื่อม, หน่วยเป็น m

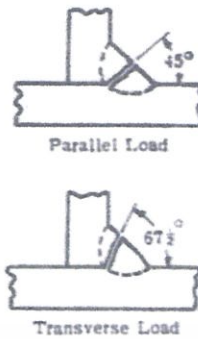
e คือประสิทธิภาพ

2. รอยเชื่อมมุม (Fillet welds)

รอยเชื่อมแบบนี้สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทตามลักษณะทิศทางของภาระงานที่มากกระทำ คือ (ก) ภาระงานแนวราบ (ข) ภาระงานแนวขวาง ดังรูป 2.38 และ 2.39



รูปที่ 2.38 รอยเชื่อมมุมแบบแนวราบ



รูปที่ 2.39 รอยเชื่อมมุมแบบแนวขวาง

ทฤษฎีต่อจากนี้ได้อ้างอิงจาก[2]

2.8 การออกแบบไซโคลน

โดยทั่วไปแล้ว การออกแบบไซโคลนจะหมายถึง การหาขนาดหรือสัดส่วนของไซโคลนที่ เหมาะสม การประเมินค่าความดันตกไซโคลนตามขนาดที่ ออกแบบไว้รวมถึงการประเมิน ประสิทธิภาพการแยกฝุ่น ของไซโคลน ซึ่งทั้งสามสิ่งที่ต้องการทราบนี้ล้วนมีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน

ขนาดหรือสัดส่วนของไซโคลนที่ใช้จะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายตัว เช่น ขนาดของพื้นที่ติดตั้ง หรืออัตราไหลของอากาศที่เข้าสู่ไซโคลน(Q) ซึ่งโดยปกติจะหาได้ในขั้นตอนของการออกแบบระบบระบายความร้อน อากาศเฉพาะจุด ส่วนความดันตกก็ถือเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องทราบ เนื่องจากความดันตกของการอากาศที่ ไหลผ่านไซโคลนจะส่งผลต่อขนาดของพัดลมที่ใช้ในระบบ โดยค่าความดันตกที่หาได้นี้จะถูกนำไปรวมกับ ความดันตกหรือความต้านทานการไหลในระบบท่อซึ่งหาได้ในขั้นตอนการออกแบบระบบท่อ ส่วน ประสิทธิภาพการแยกฝุ่นของไซโคลนจะเป็นตัวบ่งบอก ให้ทราบว่าไซโคลนที่ออกแบบมานั้นสามารถดัก ฝุ่นได้ดีตามที่ต้องการหรือไม่

โดยปกติการออกแบบไซโคลนสามารถกระทำได้หลายลักษณะซึ่งขึ้นอยู่กับความต้องการของระบบ เงื่อนไขหรือข้อจำกัดต่างๆ เช่น เงื่อนไขด้านมลพิษทางอากาศ หรือเงื่อนไขด้านพื้นที่ติดตั้ง ในที่นี้สามารถ แบ่งการออกแบบไซโคลนออกได้เป็น 3 ลักษณะ คือ

1. ออกแบบโดยกำหนดขนาดของไซโคลนที่ต้องการ การออกแบบลักษณะนี้จะเหมาะ กับกรณีที่มี ข้อจำกัดด้านพื้นที่ติดตั้ง
2. ออกแบบโดยกำหนดความดันตกที่ต้องการ การออกแบบลักษณะนี้จะกระทำเมื่อต้องการให้ ความดันตกที่เกิดขึ้นมีค่าไม่เกินจากที่กำหนด
3. ออกแบบโดยกำหนดประสิทธิภาพการแยกฝุ่น การออกแบบลักษณะนี้จะกระทำเมื่อมีข้อจำกัด ด้านมลพิษทางอากาศซึ่งปริมาณของฝุ่นที่สามารถเล็ดลอดออกจากไซโคลนไปพร้อมกับอากาศต้องมี ความเข้มข้นไม่เกินค่าที่กฎหมายกำหนดในแต่ละท้องถิ่นกำหนด

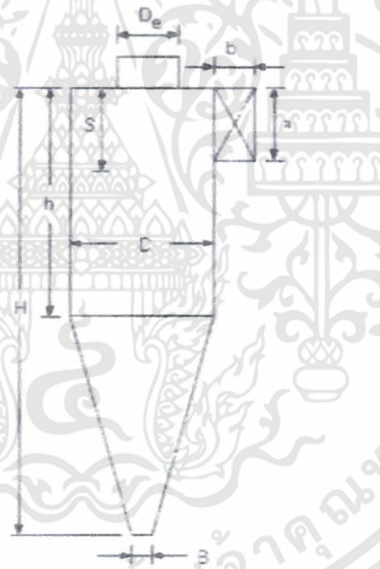
2.8.1 ขนาดหรือสัดส่วนของไซโคลน

ในอดีตได้มีนักวิจัยจำนวนไม่น้อยที่พยายามค้นคว้าหาขนาดและรูปร่างของไซโคลนที่สามารถ ทำงานได้ดีหรือเหมาะสมต่อภาระการทำงานที่กำหนด โดยผลการวิจัยส่วนหนึ่งจากจำนวนหลายงาน

ได้รับการยอมรับและถูกนำมาใช้ในการออกแบบซึ่งพบว่าไซโคลนที่ออกแบบตามผลการวิจัยที่นำเสนอเป็นขนาดมาตรฐาน ซึ่งโดยทั่วไปอาจเรียกไซโคลนดังกล่าวว่า ไซโคลนมาตรฐาน(standard cyclone) โดยมีอยู่หลายลักษณะ (เรียกตามชื่อผู้วิจัย) รูปที่แสดงถึงขนาดของไซโคลนมาตรฐาน ซึ่งขนาดของแต่ละส่วนจะสัมพันธ์กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตัวเรือนไซโคลน(cyclone body) หรือ โดยจากรูปจะพบว่า

- a คือความสูงของช่องทางเข้า
- b คือความกว้างของช่องทางเข้า
- S คือความยาวของช่องทางออก
- D_e คือเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องทางออก
- h คือความสูงของไซโคลนช่วงที่เป็นทรงกระบอก
- H คือความสูงทั้งหมดของไซโคลน
- B คือเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องระบายฝุ่น

ในที่นี้ได้แบ่งไซโคลนมาตรฐานออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ ไซโคลนประสิทธิภาพสูง และไซโคลนสำหรับงานทั่วไป โดยไซโคลนประสิทธิภาพสูงจะประกอบไปด้วยไซโคลนของ Stairmand และ Swift ส่วนไซโคลนสำหรับงานทั่วไปจะประกอบไปด้วยไซโคลนของ Lapple, Swift และ Peterson &Whitby



รูปที่ 2.40 องค์ประกอบของไซโคลน

ตารางที่ 2.9 แสดงสัดส่วนของไซโคลนมาตรฐานรูปแบบต่างๆ

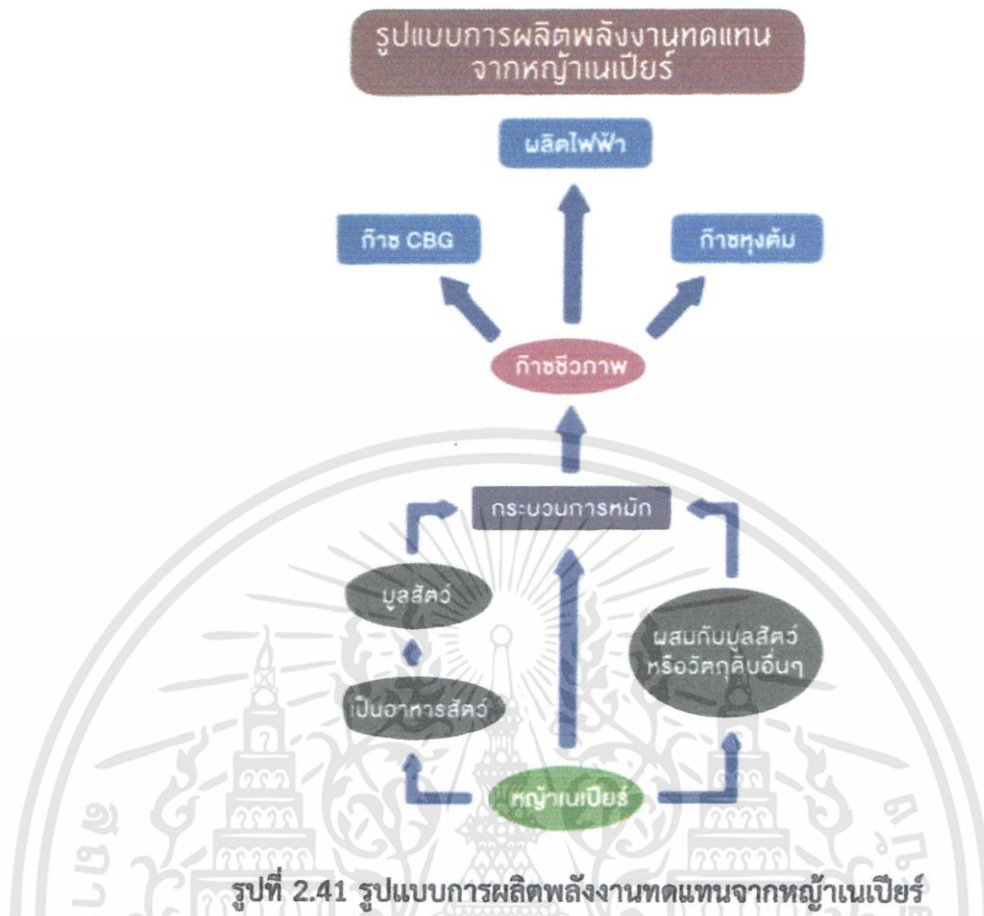
ขนาด	ไซโคลนประสิทธิภาพสูง		ไซโคลนสำหรับงานทั่วไป		
	Stairmand	Swift	Lapple	Swift	Peterson&Whitby
D	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
A	0.5	0.44	0.5	0.5	0.583
B	0.2	0.21	0.25	0.25	0.208
S	0.5	0.5	0.625	0.6	0.583
D _e	0.5	0.4	0.5	0.5	0.5
H	1.5	1.4	2.0	1.75	1.333
H	4.0	3.9	4.0	3.75	3.17
B	0.375	0.4	0.25	0.4	0.5
N _H	6.4	9.24	8	8	7.76
N _e	5.5	6.02	6	5.5	3.86

2.9 หญ้าเนเปียร์

หญ้าเนเปียร์ เป็นหญ้าในเขตร้อน มีใบหนาและกว้าง มีมากกว่า 130 สายพันธุ์ สายพันธุ์ที่นิยมในประเทศไทยมี 3 สายพันธุ์ คือ หญ้าเนเปียร์ธรรมดา หญ้าเนเปียร์ยักษ์ (King Grass) หญ้าเนเปียร์แคระ (Mott Dwarf Elephant Grass) เป็นหญ้าที่ดอกไม่ติดเมล็ด จึงไม่เป็นปัญหาการเป็นวัชพืช เกษตรกรนิยมปลูกไว้ให้สัตว์เคี้ยวเอื้อง มีผลผลิตสูงเฉลี่ย 40-80 ตันสดต่อไร่ต่อปี และมีคุณค่าทางอาหารสูงเป็นพืชชอบแสงเต็มที่ ดินดี มีน้ำเพียงพอแต่ไม่ท่วมขัง

ทำไม หญ้าเนเปียร์ จึงกลายมาเป็นพืชพลังงานแห่งอนาคต

สถานการณ์ด้านพลังงานที่เกิดขึ้นในช่วงหลายปีที่ผ่านมา ทำให้หลายภาคส่วนทำการศึกษาวิจัยเรื่องพลังงานทางเลือกและพลังงานทดแทน โดยเฉพาะพลังงานทดแทน เพื่อผลิตไฟฟ้า เช่น สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน ร่วมกับ สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จัดทำโครงการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซชีวภาพจากหญ้าต่างๆ ภายในประเทศเพื่อเสาะหาพืชพลังงานที่มีความเหมาะสม



ผลการวิจัยพันธุ์หมูกว่า 20 ชนิดพบว่าหมูเนเปียร์ปากช่อง 1 มีอัตราการผลิตก๊าซมีเทนสูงกว่าหมูชนิดอื่น เนื่องจากมีโครงสร้างของสารอาหารที่เหมาะสมแก่การเจริญเติบโตของ จุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดก๊าซ โดยการอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพประมาณ 6,860-7,840 ลบ.ม./ไร่/ปี สามารถผลิตเป็นก๊าซไปโอมีเทนอัด (Compression Bio Gas : CBG) ได้ประมาณ 3,118-3,563 กก./ปี สามารถนำมาใช้ทดแทนก๊าซ LPG และก๊าซ NGV ได้อีกทั้งเมื่อพิจารณาพร้อมกับคุณลักษณะอื่นๆ เช่น ง่ายต่อการเพราะปลูกให้ผลผลิตต่อไร่สูงกว่าหมูชนิดอื่นเกือบ 7 เท่าจึงทำให้ได้รับความสนใจมากขึ้นในฐานะพืชพลังงาน

การนำหมูเนเปียร์มาผลิตพลังงานสามารถทำได้ 2 รูปแบบคือ

1. การเผาโดยตรงหลังผ่านกระบวนการลดความชื้น
2. การผลิตเป็นก๊าซชีวภาพ ด้วยการหมักซึ่งจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าและเป็นที่ยอมรับมากกว่าหมูเนเปียร์สดปริมาณ 1 ตันอายุ 60 วันเมื่อเก็บเกี่ยวและผ่านกระบวนการหมักจะเกิดการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Digestion) สามารถผลิตเป็นก๊าซชีวภาพได้ 90 ลบ.ม. เปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าได้ประมาณ 170 กิโลวัตต์ต่อวัน

ขณะนี้มีหน่วยงานและองค์กรธุรกิจหลายแห่งดำเนินการผลิตพลังงานทดแทนจากหมูเนเปียร์เป็นผลสำเร็จแล้วหลายรูปแบบเช่น บริษัทเชียงใหม่เฟรชมิลค์จำกัด จ.ลำพูนปลูกหมูเนเปียร์ปากช่อง 1 เพื่อ

เป็นอาหารโคนม 3,000 ตัวแล้วนำมูลโคมาหมักเป็นก๊าซชีวภาพใช้เป็นเชื้อเพลิงผลิตกระแสไฟฟ้าในฟาร์มสามารถลดค่าไฟฟ้าได้ถึงเดือนละ 315,000 บาท ทั้งยังสามารถนำกากจากบ่อหมักไปทำปุ๋ยอินทรีย์ใช้ในไร่น้ำได้อีกด้วย

บริษัทยูเอซีจำกัด (มหาชน) จ.เชียงใหม่ผลิตก๊าซชีวภาพอัดโดยใช้มูลสุกรร่วมกับน้ำล้างคอกและหญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1 หมักเป็นก๊าซชีวภาพนำไปผ่านเครื่องทำความสะอาด และอัดเป็นก๊าซ CBG จำหน่ายเป็นเชื้อเพลิงในรถยนต์ เป็นต้น

ด้วยเล็งเห็นถึงศักยภาพในฐานะพืชพลังงานทดแทนการผลิตไฟฟ้าจากหญ้าเนเปียร์ จึงกลายเป็นหนึ่งในยุทธศาสตร์สำคัญของกระทรวงพลังงานโดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน(พพ.) ได้จัดตั้งคณะกรรมการเพื่อศึกษาโครงการวิสาหกิจชุมชนพลังงานสีเขียวจากพืชพลังงานร่วมกับกระทรวงเกษตรและสหกรณ์คัดเลือกพื้นที่นำร่องปลูกหญ้าเนเปียร์ 10 แห่ง พร้อมตั้งโรงไฟฟ้าก๊าซชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์ ซึ่งคาดว่าจะสามารถผลิตไฟฟ้าได้ 10 เมกะวัตต์ด้วยกัน

ในส่วนของปตท. มีการศึกษาศักยภาพพลังงานทดแทนจากหญ้าเนเปียร์เช่นกันโดยคัดเลือกพื้นที่ศึกษาวิจัยร่วมกับชุมชน 3 แห่งคือตำบลนาโบสถ์จังหวัดตากตำบลป่าเต็งจังหวัดเพชรบุรีและตำบลสะตองจังหวัดจันทบุรี ซึ่งมีการปลูกหญ้าเนเปียร์เพื่อใช้เลี้ยงสัตว์อยู่แล้วโดยวิจัยร่วมกับชุมชนและขยายผลสู่พื้นที่จุดเรียนรู้พลังงานชุมชนต่อไป

ด้วยนโยบายของกระทรวงพลังงานที่มีเป้าหมายการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนให้ได้ถึง 10,000 เมกะวัตต์ภายใน 10 ปี รวมทั้งคุณสมบัติที่สามารถนำมาผลิตพลังงานได้หลากหลายทั้งไฟฟ้าก๊าซชีวภาพและก๊าซ CBG ทำให้หญ้าเนเปียร์มีแนวโน้มที่จะถูกพัฒนาในฐานะพืชพลังงานได้อย่างน่าจับตามอง

บทที่ 3

การคำนวณและการออกแบบ

เราแบ่งระบบป้อนเชื้อเพลิงเข้าสู่เตาเผาไหม้ชีวมวลออกเป็น 4 ระบบ คือ

1. ระบบเติมเชื้อเพลิง
2. ระบบแยกเชื้อเพลิง
3. ระบบเก็บสะสมเชื้อเพลิง
4. ระบบลำเลียงเชื้อเพลิง

เชื้อเพลิงในที่นี้คือผงถ่านเปียร์ที่มีความหนาแน่น 232 kg/m^3 , ความยาวเฉลี่ย 0.224 mm และหน้าตัดเฉลี่ย $7.85 \text{ }\mu\text{m}$

3.1 ระบบเติมเชื้อเพลิง

เป็นระบบที่จะส่งเชื้อเพลิงเข้าไปเก็บสะสมไว้ใน Hopper ประกอบด้วย Blower ที่เป็นแหล่งจ่ายลม, กรวยที่เป็นแหล่งจ่ายวัสดุ และท่อส่งอากาศเป็นเส้นทางให้เชื้อเพลิงไหลเข้าสู่ Cyclone การออกแบบระบบนี้ได้แนวคิดมาจากเครื่องขนถ่ายวัสดุด้วยลมจากสาขาวิศวกรรมเกษตร ซึ่งเป็นการขนถ่ายวัสดุด้วยลมที่ใช้ระบบความดันในการขนถ่ายและใช้ตัวจ่ายวัสดุแบบคอคอด

3.1.1 คำนวณหาอัตราส่วนระหว่างเชื้อเพลิงและอากาศ(μ)

เมื่ออัตราการขนถ่ายเชื้อเพลิงมีค่า 0.136 kg/s และอัตราการไหลของอากาศมีค่า 0.0478 kg/s จากสมการ

$$\begin{aligned}\mu &= \frac{m_s}{m_f} \\ \mu &= \frac{0.0260}{0.0478} \\ \mu &= 0.544\end{aligned}$$

3.1.2 คำนวณหาความเร็วต่ำสุดที่จะขนถ่ายวัสดุในแนวนอน(vst)

เมื่อท่ออากาศมีขนาด 76.2 mm และ

$$x = 1.44d + 1.96 = 1.44(0.007852) + 1.96 = 1.97$$

$$y = 1.1d + 2.5 = 1.1(0.007852) + 2.5 = 2.51$$

จากสมการ

$$\begin{aligned}\mu &= \frac{1}{10^x} \left(\frac{vst}{\sqrt{g \times D}} \right)^y \\ 0.544 &= \frac{1}{10^{1.97}} \left(\frac{vst}{\sqrt{9.81 \times 0.0762}} \right)^{2.51} \\ vst &= 14.1 \text{ m/s}\end{aligned}$$

3.1.3 คำนวณความเร็วในการขนถ่ายเชื้อเพลิง

กำหนดให้ค่าแฟกเตอร์ความเผื่อมีค่า 1.8 จากสมการ

$$v = vst \times f$$

$$v = 14.1 \times 1.8 = 25.4 \text{ m/s}$$

3.2 ระบบแยกเชื้อเพลิง

เป็นระบบที่ใช้ Cyclone ในการแยกของผสมระหว่างเชื้อเพลิงและอากาศที่ไหลมาจากระบบเดิม เชื้อเพลิงด้วยแรงเหวี่ยง โดยที่เชื้อเพลิงจะตกลงสู่ระบบเก็บสะสมเชื้อเพลิงส่วนอากาศจะหมุนวนออกทางด้านบนของ Cyclone

การออกแบบ Cyclone จะออกแบบตามไซโคลนมาตรฐานของ Stairmand เพราะมีประสิทธิภาพในการแยกสารสูงสุด ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 3.1 และตารางที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ส่วนประกอบของ Cyclone

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2ขนาดของไซโคลนที่ออกแบบ

ชิ้นส่วน	ขนาด (m)
D	0.300
a	0.150
b	0.060
S	0.150
D _e	0.150
h	0.450
H	1.200
b	0.1125

3.2.1 คำนวณหาจำนวนการหมุนประสิทธิภาพ(N_e)

จากสมการ

$$N_e = \frac{1}{a} \left(h + \frac{H-h}{2} \right)$$

$$N_e = \frac{1}{0.15} \left(0.45 + \frac{1.20 - 0.45}{2} \right)$$

$$N_e = 5.5$$

3.2.2 คำนวณหาขนาดตัดของอนุภาคเชื้อเพลิง(d_{pc})

เมื่ออากาศมีความหนืด 1.82×10⁻⁵ kg/m-s และความหนาแน่นของอากาศและเชื้อเพลิงอยู่ที่ 1.20 และ 232 kg/m³ ตามลำดับจากสมการ

$$d_{pc} = \left(\frac{9\mu_g b}{2\pi N_e V_i (\rho_p - \rho_g)} \right)^{1/2}$$

$$d_{pc} = \left(\frac{9 \times 1.82 \times 10^{-5} \times 0.060}{2\pi \times 5.5 \times 45.8 (232 - 1.20)} \right)^{1/2}$$

$$d_{pc} = 5.19 \mu\text{m}$$

หมายความว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของเชื้อเพลิงที่สามารถถูกแยกออกจากอากาศภายใน Cyclone ด้วยประสิทธิภาพการแยก 50% โดยเชื้อเพลิงซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโตกว่า 5.19 μm จะมีโอกาสถูกแยกออกจากอากาศได้มากกว่า 50% ในขณะที่เชื้อเพลิงซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่า 5.19 μm จะมีโอกาสถูกแยกออกจากอากาศได้น้อยกว่า 50%

3.2.3 คำนวณหาประสิทธิภาพในทารทำงานของ Cyclone

จากการศึกษาสมมติให้ขนาดของอนุภาคจัดอยู่ในช่วงต่างๆตามปริมาณดังนี้

ตารางที่ 3.1 แสดงสัดส่วนของขนาดเชื้อเพลิงในช่วงต่างๆ

ช่วงที่(j)	ขนาด, μm	ขนาดเฉลี่ย(d_{pj}), μm	สัดส่วนมวล(f_j), %
1	0-10	5.00	15
2	10-25	17.50	25
3	25-40	32.50	20
4	40-75	57.50	20
5	75-100	87.50	20

จากนั้น คำนวณหาประสิทธิภาพในการแยกฝุ่นของเชื้อเพลิงในแต่ละช่วงจากสมการ

$$\eta_j = \frac{1}{1 + \left(\frac{d_{pc}}{d_{pj}}\right)^2}$$

ได้ค่าแสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 แสดงอัตราส่วนขนาดตัดและประสิทธิภาพในแต่ละช่วง

ช่วง (j)	d_{pc}/d_{pj}	η_j
1	1.31	0.481
2	0.297	0.919
3	0.160	0.975
4	0.0903	0.992
5	0.0593	0.996

และจะได้ประสิทธิภาพในแยกเชื้อเพลิงของไซโคลน จากสมการ

$$\eta = \sum \eta_j f_j$$

$$\eta = (0.481 \times 0.15) + (0.919 \times 0.25) + (0.975 \times 0.2) + (0.992 \times 0.2) + (0.996 \times 0.2)$$

$$\eta = 0.894 = 89.4 \%$$

จากการออกแบบระบบนี้สามารถแยกเชื้อเพลิงออกจากอากาศได้ ร้อยละ 89.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ระบบสะสมเชื้อเพลิง

ในระบบนี้จะใช้ Hopper เป็นตัวเก็บสะสมเชื้อเพลิงในขณะเดียวกันสามารถส่งเชื้อเพลิงเข้าสู่ระบบลำเลียงเชื้อเพลิงได้อย่างต่อเนื่อง การออกแบบ Hopper จะออกแบบภายใต้เงื่อนไขที่สามารถบรรจุเชื้อเพลิงได้มากกว่าเชื้อเพลิงที่มีอัตราการขนถ่าย 30 นาที ที่ความหนาแน่น 232 kg/m^3

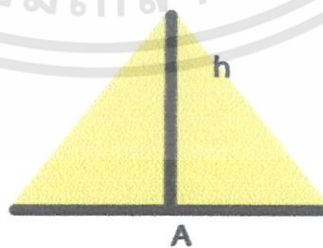
3.3.1 ออกแบบขนาดของHopper

เชื้อเพลิงมีอัตราการไหล 3.78 kg/min หรือ 113 kg/ 30 min หรือ $0.489 \text{ m}^3 / 30 \text{ min}$ ต้องการให้ Hopper มีปริมาตร $0.489 \times 1.5 = 0.733 \text{ m}^3$



รูปที่ 3.2 ขนาด Hopper ที่จะออกแบบ

จากรูปกำหนดให้ $A=B=1 \text{ m}$, $a = 0.2 \text{ m}$ และ $b = 0.12 \text{ m}$ ปริมาตรส่วนบนของ Hopper ($V_{\text{Hop,Top}}$) มีปริมาตรเป็นร้อยละ 60 ของปริมาตรทั้งหมด คือ 0.440 m^3 และปริมาตรส่วนล่างของ Hopper ($V_{\text{Hop,bott}}$) จะมีปริมาตรเป็น 0.293 m^3 หากความสูงของ h_{bott} จากรูป จะได้ความสัมพันธ์ดังนี้



รูปที่ 3.3 แสดงความสัมพันธ์เชิงเรขาคณิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\tan \theta = \frac{h}{A/2}$$

เนื่องจากเชื้อเพลิงมีมุมความเสียดทานสถิตสูงสุดอยู่ที่ 50° จะได้ $h = 0.383$ m

หาความสูงของ h_{Top} จากรูปจะได้ความสัมพันธ์ ดังนี้ (เนื่องจากต้องการใช้ความสูงของ h_2 ไม่เกิน 2 ใน 3)

$$h_{Top} = \frac{V_{top}}{L \times W} + \frac{2h}{3}$$

ซึ่งจะได้ $h_1 = 0.685$ m

หาความสูงของ h_{bott} จากรูปจะได้ความสัมพันธ์ ดังนี้

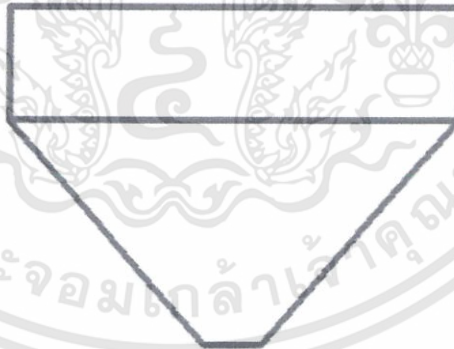
$$V_{Hop,Bott} = \frac{h_{bott}}{3} \times [(WL) + (bl) + \sqrt{WLbl}]$$

ซึ่งจะได้ $h_{bott} = 0.745$ m

ดังนั้นความสูงทั้งหมดของ Hopper คือ $h_{top} + h_{bott} = 0.685 + 0.745 = 1.440$ m แต่ในการ

ออกแบบจะใช้ $h_{top} = 0.4$ m และ $h_{bott} = 0.75$ m

3.3.2 หาปริมาตรของ Hopper



รูปที่ 3.4 ปริมาตร Hopper

ปริมาตรส่วนบน

$$V_{Hop,Top} = A \times B \times h_{Top}$$

$$V_{Hop,Top} = 1 \times 1 \times 0.4$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_{Hop,Top} = 0.400 \text{ m}^3$$

ปริมาตรส่วนล่าง

$$V_{Hop,Bott} = \frac{h_{Bott}}{3} \left(\frac{a(AB-ab)}{A-a} + AB \right)$$

$$V_{Hop,Bott} = \frac{0.75}{3} \left(\frac{0.2((1 \times 1) - (0.2 \times 0.12))}{1 - 0.2} + (1 \times 1) \right)$$

$$V_{Hop,Bott} = 0.311 \text{ m}^3$$

ปริมาตรทั้งหมด

$$V_{Hop} = V_{Hop,Top} + V_{Hop,Bott}$$

$$V_{Hop} = 0.400 + 0.311$$

$$V_{Hop} = 0.711 \text{ m}^3$$

ดังนั้น Hopper มีความจุทั้งหมด 0.711 ลูกบาศก์เมตร

3.3.3 หาปริมาตรของเชื้อเพลิงใน Hopper



รูปที่ 3.5 ปริมาตรของเชื้อเพลิงใน Hopper

จากสมการ

$$V_{Fuel} = V_{Fuel,Top} + V_{Fuel,Bott}$$

$$V_{Fuel} = \left(\frac{1}{3} \times A \times B \times h_{Top} \right) + V_{Hop,Bott}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_{Fuel} = \left(\frac{1}{3} \times 1 \times 1 \times 0.4 \right) + 0.311$$

$$V_{Fuel} = 0.133 + 0.311$$

$$V_{Fuel} = 0.444 \text{ m}^3$$

ดังนั้น Hopper สามารถจุเชื้อเพลิงได้ 0.444 ลูกบาศก์เมตร

3.3.4 หาน้ำหนักของเชื้อเพลิงในHopper

จากสมการ

$$m = \rho \times V$$

$$m = 232 \times 0.444$$

$$m = 103 \text{ kg}$$

ดังนั้นมีเชื้อเพลิงใน Hopper มวล 103 กิโลกรัม

3.4 ระบบลำเลียงเชื้อเพลิง

ระบบนี้ต้องการให้เชื้อเพลิงที่ถูกสะสมใน Hopper มีอัตราการขนถ่ายที่คงที่แน่นอน โดยต้องการให้มีอัตราการขนถ่าย 3.78 kg/min ประกอบด้วย Invertor ที่ทำหน้าที่ปรับความถี่ของ Gear Motor ให้มีความเร็วรอบที่สามารถทำให้เพลลาของสกรูลำเลียงหมุนได้อัตราขนถ่ายที่ต้องการการออกแบบต้องการให้สกรูมีทั้งหมด 5 ใบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.1 m ระยะพิตช์ 0.1 m เพลามีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.03 m

3.4.1 ความเร็วรอบของเพลลาสกรู (N)

หาความเร็วรอบของสกรูที่อัตราการไหล 3.78 kg/min และมีแฟกเตอร์ความเต็มรางอยู่ที่ 0.3 จากสมการ

$$m_s = \frac{\rho \pi (D^2 - d^2) k p N}{4 C F_1 C F_2 C F_3}$$

$$N = \frac{4 m_s C F_1 C F_2 C F_3}{\rho \pi (D^2 - d^2) k p}$$

$$N = \frac{4 \times 3.78 \times 1 \times 1 \times 1}{232 \pi (0.1^2 - 0.03^2) \times 0.3 \times 0.1}$$

$$N = 76.0 \text{ RPM}$$

ดังนั้น มีความเร็วรอบ 76.0 รอบต่อนาทีที่ทำให้สกรูมีอัตราการไหล 3.78 กิโลกรัมต่อนาที

3.4.2 หาความเร็วเชิงมุม (ω)

จากสมการ

$$\begin{aligned}\omega &= N \times \frac{2\pi}{60} \\ \omega &= 76 \times \frac{2\pi}{60} \\ \omega &= 7.96 \text{ rad/s}\end{aligned}$$

3.4.3 ความเร็วเฉลี่ยในการขนถ่าย (v)

จากสมการ

$$\begin{aligned}v &= pN \\ v &= 0.1 \times 76.0 \\ v &= 7.60 \text{ m/min} = 0.127 \text{ m/s}\end{aligned}$$

ดังนั้น เชื้อเพลิงเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเฉลี่ย 0.127 เมตรต่อวินาที

3.4.4 หากำลังขับเคลื่อนของสกรูขนถ่าย (P)

กำลังขับเคลื่อนของสกรู (P_f) เมื่อสกรูมีความยาว 0.5 m จากสมการ

$$\begin{aligned}P_f &= \frac{75.7LND^{1.7}}{60} \\ P_f &= \frac{75.7 \times 0.5 \times 76 \times 0.1^{1.7}}{60} \\ P_f &= 0.0126 \text{ watt}\end{aligned}$$

กำลังขับเคลื่อนที่ใช้ขนถ่ายวัสดุ (P_m) จากสมการ

$$\begin{aligned}P_m &= F_t F_p F_m m_s g L \\ P_m &= 1 \times 1.29 \times 0.4 \times \frac{3.78}{60} \times 9.81 \times 0.5 \\ P_m &= 0.159 \text{ watt}\end{aligned}$$

กำลังขับเคลื่อนในแนวตั้ง (P_v) ไม่มีเพราะสกรูลำเลียงวางในแนวระดับ

กำลังขับเคลื่อนรวม (P) เมื่อแฟกเตอร์กำลังขับเคลื่อนมีค่า 3 และประสิทธิภาพการส่งกำลังเป็น 0.85 จาก

สมการ

$$P = \frac{(P_f + P_m + P_v)E_o}{\eta}$$

$$P = \frac{(0.0126 + 0.159 + 0) \times 3}{0.85}$$

$$P = 0.607 \text{ watt}$$

ดังนั้น เพลาสกรูมีกำลังขับ 0.607 วัตต์

3.4.5 หา Torque แกนเพลานในสกรู

จากสมการ

$$T = \frac{P}{\omega}$$

$$T = \frac{0.607}{7.96}$$

$$T = 0.0763 \text{ Nm}$$

ดังนั้น เพลาสกรูมี Torque เท่ากับ 0.0763 นิวตันเมตร



บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 วัตถุประสงค์

1. เพื่อทดสอบขีดจำกัดในการเป่าเชื้อเพลิงของ Blower
2. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของอัตราการขนถ่ายกับความเร็รรอบใบเกลียว
3. เพื่อทดสอบผลจากการคำนวณกับการออกแบบเพื่อนำมาใช้งานจริง
4. เพื่อหาความเร็รรอบของชุดสกรูขนถ่ายให้สัมพันธ์กับอัตราการขนถ่ายที่ต้องการ

4.2 แนวทางการทดลอง

1. ทดลองหาขีดจำกัดในการเป่าเชื้อเพลิงของ Blower
2. ทดลองหาอัตราการขนถ่ายตามที่ต้องการ โดยปรับความเร็รรอบมอเตอร์
3. ทดลองหาอัตราการขนถ่ายที่ความเร็รรอบมอเตอร์ต่างกัน

4.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องลำเลียงเชื้อเพลิงฝุ่น
2. เชื้อเพลิงฝุ่น
3. เครื่องชั่งน้ำหนัก
4. นาฬิกาจับเวลา
5. Blower
6. Invertor

4.4 ขั้นตอนการทดลอง

4.4.1 การทดลองหาขีดจำกัดในการเป่าเชื้อเพลิงของ Blower

1. เปิด Switch Blower
2. เทเชื้อเพลิงฝุ่นลงกรวยทางเข้าครั้งละ 1 กิโลกรัมให้หมดภายใน 1 นาที 2 นาที และ 3 นาที ตามลำดับ โดยทำการทดลองซ้ำกันค่าละ 3 ครั้ง
3. สังเกตลักษณะการไหลของเชื้อเพลิงผ่านท่อเจ็ท
4. บันทึกผลการทดลอง

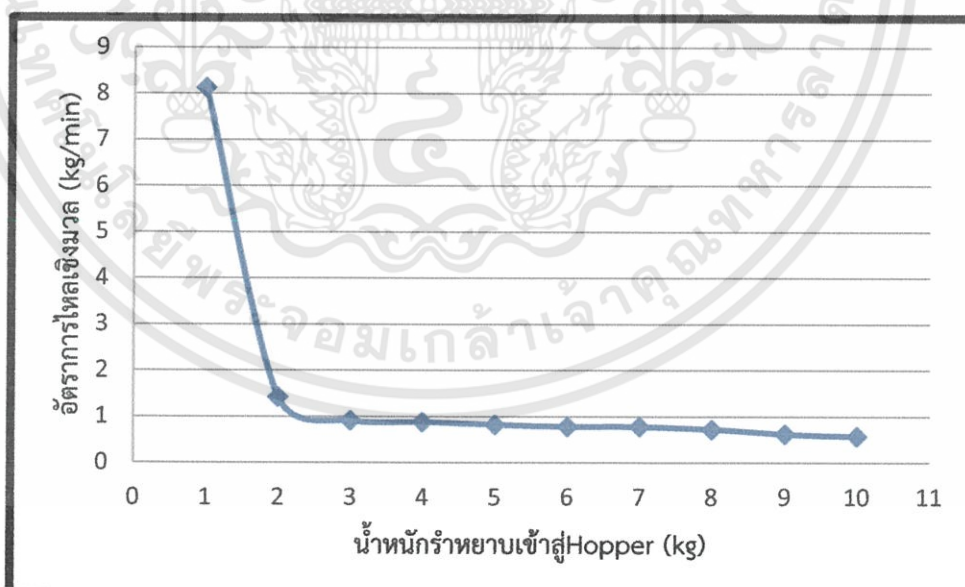
ผลการทดลองที่ 1

เมื่อ Hopper มีปริมาตร 0.7 ลูกบาศก์เมตร แต่สามารถบรรจุร่าหยาบได้ 0.4 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีความหนาแน่น 320 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ร่าหยาบจึงมีมวลทั้งหมด 128 กิโลกรัมที่อยู่ใน Hopper เหตุผลที่ร่าหยาบแทนเนื่องจากผงหยาบเนเปียร์ประสบปัญหาด้านการขนส่ง จึงใช้ร่าหยาบแทน เพราะมีคุณสมบัติคล้ายๆ กัน

ตารางที่ 4.1 อัตราการไหลเชิงมวลของรำหยาบที่ป้อนจาก Blower เข้าสู่ Hopper ที่ต่างๆ

น้ำหนักรำหยาบ (kg)	เวลาในการป้อนเชื้อเพลิง (min)				เวลาต่อมวล (min/kg)	อัตราไหล (kg/min)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย		
1	0.125	0.121	0.124	0.123	0.123	8.130
2	1.404	1.391	1.400	1.398	0.699	1.431
3	3.516	3.126	3.148	3.263	1.088	0.919
4	4.524	4.527	4.526	4.526	1.131	0.884
5	6.263	6.004	5.775	6.014	1.203	0.831
6	7.545	7.502	7.778	7.608	1.268	0.789
7	9.193	9.063	8.465	8.907	1.272	0.786
8	10.233	10.555	12.216	11.001	1.375	0.727
9	14.202	14.447	14.504	14.384	1.598	0.626
10	17.180	17.262	17.473	17.305	1.731	0.578

สามารถสร้างกราฟหาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของรำหยาบและและอัตราการไหลเชิงมวลของรำหยาบเข้าสู่ Hopper ได้ดังนี้



รูปที่ 4.1 แสดงอัตราการไหลเชิงมวลของรำหยาบเมื่อป้อนที่น้ำหนักใดๆจากแหล่งจ่ายลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2 การทดลองหาอัตราการขนถ่ายเชื้อเพลิง

1. ใส่เชื้อเพลิงลงใน Hopper
2. เปิด Switch motor
3. ปรับความเร็วรอบมอเตอร์โดยการปรับกระแสไฟของมอเตอร์ โดยใช้ Invertor โดยเริ่มจากความเร็รรอบ 10 รอบ / นาที
4. นำภาชนะมารองรับแกลบที่ออกมาจากเครื่องป้อนแกลบพร้อมทั้งจับเวลาที่เวลา 1 นาที 2 นาที และ 3 นาที ตามลำดับ
5. นำแกลบที่ออกไปชั่งน้ำหนักแล้วบันทึกค่าลงในตาราง
6. ทำการทดลองตามข้อ 3-5 โดยทำจนถึงความเร็รรอบ 100 รอบ / นาทีโดยที่แต่ละความเร็รรอบทำการทดลอง 3 ครั้งแล้วหาค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่ได้แต่ละค่า

ผลการทดลองที่ 2 หาอัตราการไหลเชิงมวลของรำหยาบที่ถูกป้อนออกจากสกรูลำเลียง ในช่วงความเร็รรอบ 10-100 รอบต่อนาทีของสกรูลำเลียง จากการออกแบบคำนวณ จะใช้ความเร็รรอบ 76.0 รอบต่อนาที



ตารางที่ 4.2 แสดงอัตราการไหลเชิงมวลของรำหยาบที่ความเร็วรอบตั้งแต่ 10-100 รอบต่อนาทีที่
ระยะเวลาต่างๆ

ความเร็วรอบ (rpm)	เวลา (min)	น้ำหนักแกลบ (kg)				อัตราการไหล (kg/min)	อัตราการไหลเฉลี่ย	
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย		(kg/min)	(kg/s)
10	1	2.434	2.376	2.407	2.406	2.406	2.374	0.040
	2	4.934	4.885	4.843	4.887	2.444		
	3	7.394	6.605	6.444	6.814	2.271		
20	1	5.294	5.301	5.301	5.299	5.299	4.743	0.079
	2	8.861	8.91	9.073	8.948	4.474		
	3	13.211	13.521	13.384	13.372	4.457		
30	1	8.19	8.653	8.368	8.404	8.404	7.682	0.128
	2	14.313	14.273	14.608	14.398	7.199		
	3	22.184	22.761	22.053	22.333	7.444		
40	1	9.517	9.357	9.004	9.293	9.293	9.824	0.164
	2	20.644	19.736	20.223	20.201	10.101		
	3	29.89	30.661	30.158	30.236	10.079		
50	1	12.137	11.315	11.116	11.523	11.523	12.405	0.207
	2	25.415	25.396	25.301	25.371	12.685		
	3	39.368	38.577	39.125	39.023	13.008		
60	1	14.099	14.201	14.043	14.114	14.114	14.445	0.241
	2	29.697	30.189	29.21	29.699	14.849		
	3	42.454	43.769	43.128	43.117	14.372		
70	1	16.595	16.676	16.362	16.544	16.544	16.647	0.277
	2	33.68	30.185	31.996	31.954	15.977		
	3	52.719	51.973	52.099	52.264	17.421		
80	1	18.199	18.734	18.822	18.585	18.585	19.578	0.326
	2	40.303	39.873	40.097	40.091	20.046		
	3	60.654	60.832	59.449	60.312	20.104		
90	1	20.843	20.542	19.768	20.384	20.384	21.162	0.353
	2	42.912	43.328	42.574	42.938	21.469		
	3	65.868	64.732	64.081	64.894	21.631		
100	1	23.322	23.387	22.257	22.989	22.989	23.605	0.393
	2	48.018	47.831	47.549	47.799	23.900		
	3	71.153	72.186	72.009	71.783	23.928		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

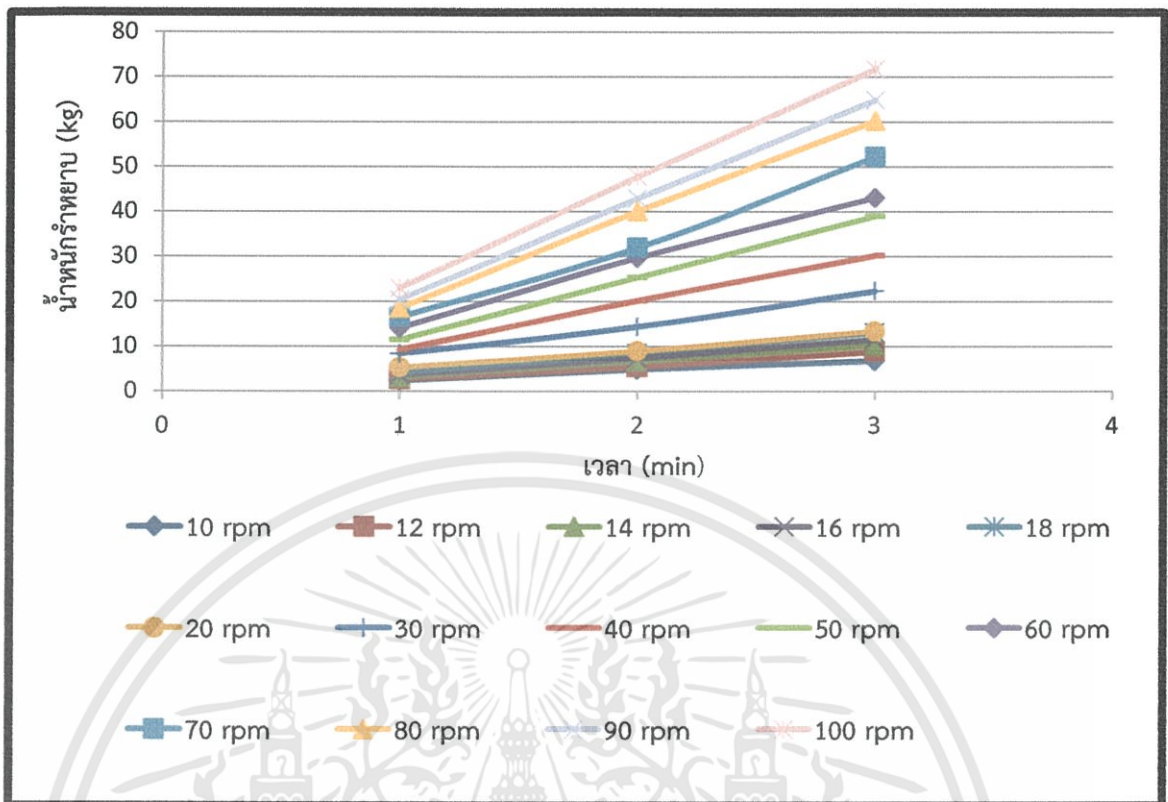
แต่เนื่องจากต้องการให้รำหยาบมีอัตราการไหลเชิงมวลออกมาอยู่ที่ 0.063 กิโลกรัมต่อวินาที หรือ 3.780 กิโลกรัมต่อนาที ซึ่งอยู่ในช่วงความเร็วรอบ 10-20 รอบต่อนาที ดังนั้นจึงทดลองอีกครั้ง แต่ใช้ความเร็วรอบในช่วง 10-20 รอบต่อนาที

ผลการทดลองที่ 3 หาอัตราการไหลเชิงมวลของรำหยาบที่ถูกบ้อนออกจากสกรูลำเลียง ในช่วงความเร็วรอบ 10-20รอบต่อนาทีของสกรูลำเลียง

ตารางที่ 4.3 แสดงอัตราการไหลเชิงมวลของรำหยาบที่ความเร็วรอบตั้งแต่ 10-20รอบต่อนาที ที่ระยะเวลาต่างๆ

ความเร็วรอบ (rpm)	เวลา (min)	น้ำหนักแกลบ (kg)				อัตราการไหล (kg/min)	อัตราการไหลเฉลี่ย	
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย		(kg/min)	(kg/s)
10	1	2.434	2.376	2.407	2.406	2.406	2.374	0.040
	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	2.793	0.047
	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	3.333	0.056
	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	3.746	0.062
	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	4.279	0.071
	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	4.743	0.079
	2	8.861	8.91	9.073	8.948	4.474		
	3	13.211	13.521	13.384	13.372	4.457		

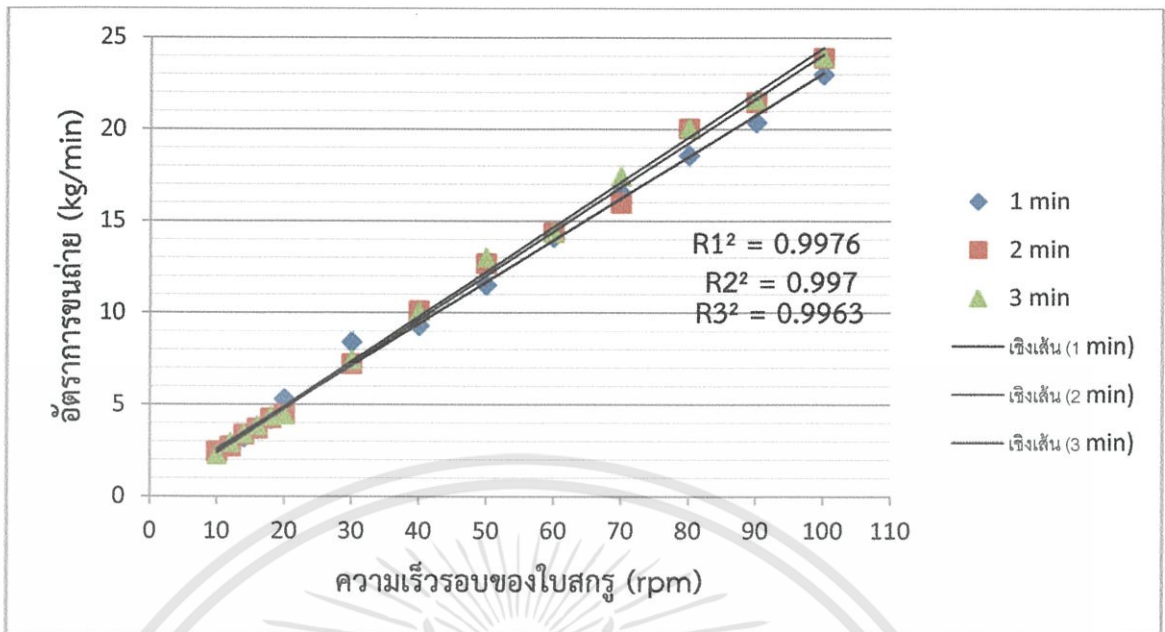
จากตารางที่ 4.3 จะเห็นว่าความเร็วรอบที่ให้ค่าอัตราการไหลเชิงมวลของรำหยาบได้ใกล้เคียงกับอัตราการไหลเชิงมวลที่ต้องการอยู่ที่ 16 รอบต่อนาที



รูปที่ 4.2 แสดงเวลาที่ใช้ในการขนถ่ายกับน้ำหนักน้ำที่หยาบเฉลี่ยที่ความเร็วรอบต่างๆ

จากรูปที่ 4.2 จะเห็นว่ากราฟที่ได้มีลักษณะค่อนข้างเป็นเส้นตรงแสดงว่าอัตราการลำเลียงน้ำหยาบค่อนข้างสม่ำเสมอ เนื่องจากน้ำหนักแกลบที่ออกมาจะแปรผันตามเวลาที่ใช้ในการขนถ่าย น้ำหนักน้ำหยาบที่ซั้งจากการทดลองที่เวลาเพิ่มขึ้นทุกๆ 1 นาที ที่ความเร็วรอบต่างๆจะมีน้ำหนักของน้ำหยาบเพิ่มขึ้นขนาดใกล้เคียงกัน

จากตารางผลการทดลองที่ 4.2 และ 4.3 สร้างกราฟเพื่อหาอัตราการไหลในแต่ละความเร็วรอบที่ช่วงเวลา 1 นาที, 2 นาที และ 3 นาที ดังนี้



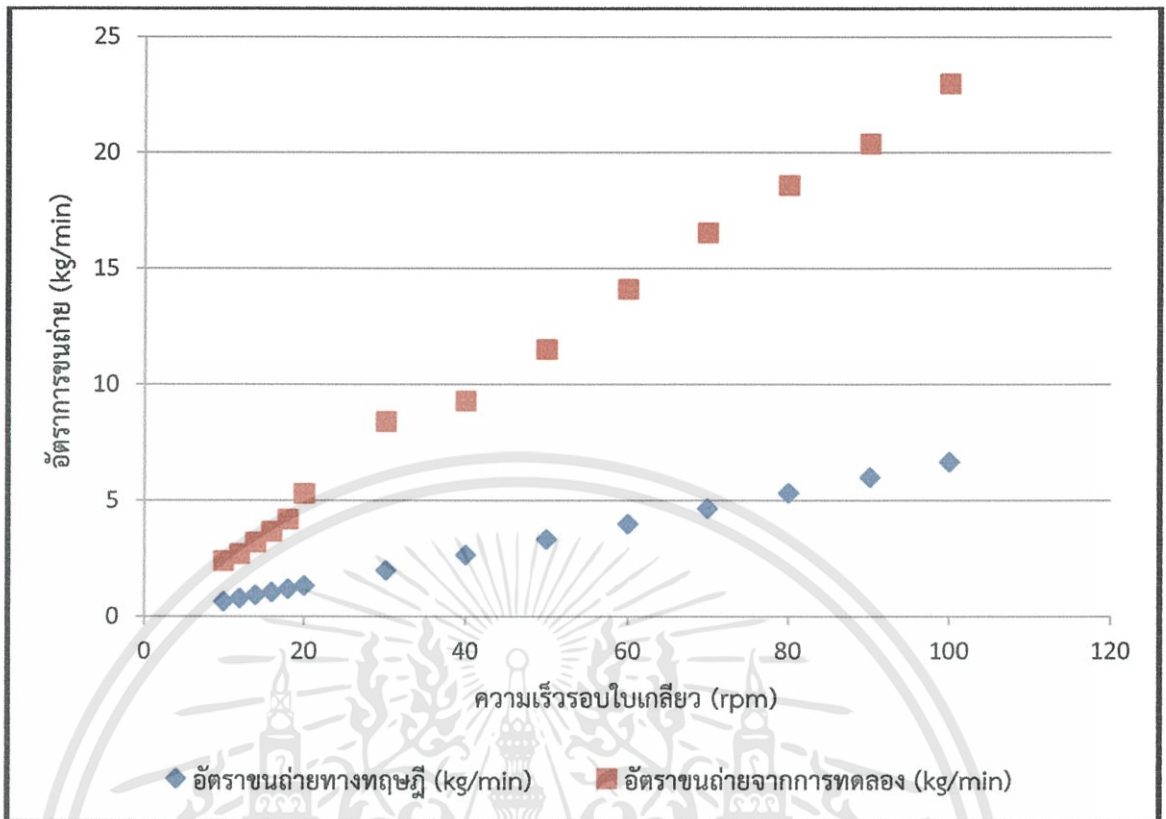
รูปที่ 4.3 แสดงอัตราการขนำถ้ำกับความเร็วรอบต่างๆ ที่เวลา 1-3 นาที

จากรูปที่ 4.3 จะเห็นว่าเมื่อความเร็วรอบของสกรูล้ำเลียงเพิ่มขึ้นอัตราการขนำถ้ำก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วยแต่จากการทดลอง จะพบว่าเส้นกราฟอัตราการขนำถ้ำที่ได้มีลักษณะเส้นที่ขึ้นไม่สมำเสมอ เนื่องจากความผิดพลาดบางอย่างเช่น ระยะพิตช์ของใบเกลียวบางช่วงไม่เท่ากัน เป็นผลทำให้อัตราการขนำถ้ำไม่ค้ำยสมำเสมอ คุณสมบัติของเชื้อเพลิงที่เกิดจากการใช้ร้ำหยาบเป็นวัสดุทดแทน

ผลการทดลองที่ 4 การเปรียบเทียบอัตราขนถ่ายทางทฤษฎีกับอัตราขนถ่ายจากการทดลองของสกรูลำเลียงที่ความเร็วรอบต่าง โดยคำนวณอัตราการขนถ่ายทางทฤษฎีจากสมการ $C = ApV$ ซึ่งได้ผลดังตาราง

ตารางที่ 4.4 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างอัตราการขนถ่ายทางทฤษฎีกับอัตราการขนถ่ายจากการทดลอง

ความเร็วรอบใบเกลียว (rpm)	อัตราขนถ่ายทางทฤษฎี (kg/min)	อัตราขนถ่ายเฉลี่ยจากการ ทดลอง (kg/min)
10	0.667	2.406
12	0.800	2.706
14	0.934	3.207
16	1.067	3.671
18	1.200	4.199
20	1.334	5.299
30	2.000	8.404
40	2.667	9.293
50	3.334	11.523
60	4.001	14.114
70	4.668	16.544
80	5.335	18.585
90	6.001	20.384
100	6.668	22.989



รูปที่ 4.4 เปรียบเทียบอัตราการขนถ่ายจริงกับทฤษฎี

วิเคราะห์ผลการทดลองการป้อนเชื้อเพลิงฝุ่นชีวมวลจากการทดลองจะเห็นว่า เมื่อใช้ความเร็วรอบเท่ากันค่าที่ได้จากการทดลองจะมีค่าอัตราการขนถ่ายมากกว่าค่าที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎี ปัจจัยที่มีผลต่อการทดลองคือ ค่าแฟกเตอร์เต็มรางของวัสดุ (K) ที่ใช้ในการคำนวณ มีค่าเท่ากับ 0.3 ซึ่งเป็นตัวบ่งบอกถึงประสิทธิภาพการขนถ่ายถ้าค่า K ยิ่งมากจะทำให้วัสดุขนถ่ายไหลตัวได้ดี มีผลทำให้อัตราการขนถ่ายสูงขึ้นด้วย จากการทดลองเราสามารถหาแฟกเตอร์ของวัสดุลำเลียงนี้ได้จากสมการอัตราการขนถ่ายดังนี้ $C = ApV$ เมื่อ $A = \frac{K\pi D^2}{4}$ และ $V = Np$ จะได้สมการ $C = \left(\frac{K\pi D^2}{4}\rho Np\right)$ หรือสมการ $K = \left(\frac{4C}{\pi D^2 \rho Np}\right)$ จากนั้นแทนค่าอัตราการขนถ่ายเท่ากับความเร็วรอบลงในสมการ จะได้ค่า K ดังแสดงในตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4.5 แสดงค่า K ที่ได้จากการทดลอง

ความเร็วรอบใบเกลียว (rpm)	อัตราขนถ่าย (kg/min)	ค่า K
10	2.406	0.958
12	2.706	0.898
14	3.207	0.912
16	3.671	0.913
18	4.199	0.929
20	5.299	1.055
30	8.404	1.115
40	9.293	0.925
50	11.523	0.917
60	14.114	0.936
70	16.544	0.941
80	18.585	0.925
90	20.384	0.902
100	22.989	0.915
เฉลี่ย		0.946

จากตารางที่ 4.5 จะได้ค่า K เฉลี่ยของรำหยาบเท่ากับ 0.946 แสดงว่ารำเป็นวัสดุที่เบาและไหลได้ดีกว่าวัสดุที่ได้นำมาใช้ในการคำนวณ ซึ่งมีค่า K เท่ากับ 0.3

นอกจากนี้ค่า ความหนาแน่นรำหยาบ (ρ) ก็มีผลต่อการทดลอง เนื่องจากว่ารำหยาบในแต่ละภาคของประเทศไทยมีลักษณะต่างกันตามสภาพภูมิอากาศทำให้ความหนาแน่นต่างกันจึงมีผลต่อการทดลอง ในขณะที่รำหยาบกำลังลำเลียงจะเกิดการตกค้างของรำหยาบที่ระยะระหว่างใบเกลียวกับตัวราง รวมถึงประสิทธิภาพของมอเตอร์ก็มีผลต่อการทดลองเช่นกัน

4.4.3 คำนวณค่าไฟ

1. วัดกำลังไฟฟ้าของสกรูที่ Inverter ที่ความเร็วรอบต่างๆ
2. วัดกำลังไฟฟ้าของ Blower
3. คำนวณหา Specific Consumption เมื่อทำงานเฉพาะสกรู และสกรูกับ Blower ทำงานร่วมกัน
4. คำนวณหาค่าไฟในหนึ่งเดือน เมื่อทำงานเฉพาะสกรู และสกรูกับ Blower ทำงานร่วมกัน เมื่อกำหนดค่าไฟหน่วยละ 3 บาท ทำงานทุกวันวันละ 8 ชั่วโมง
5. บันทึกค่าทั้งหมดลงในตาราง

ผลการทดลองที่ 5

ตารางที่ 4.6 แสดงผลการทดลองการหาอัตราการกินไฟที่ความเร็วรอบต่างๆ ของสกรู

ความเร็วรอบ (rpm)	อัตราการไหล (kg/s)	กำลังไฟฟ้าสูงสุด (watt)				กำลังไฟฟ้าต่ำสุด (watt)				กำลังไฟฟ้รวม (watt)	อัตราการกินไฟ (unit/h)
		1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย		
10	2.37	141.7	140.3	140.9	141.0	38.1	38.2	38.5	38.3	179	0.179
12	2.79	142.8	142.5	142.9	142.7	40.8	40.3	40.1	40.4	183	0.183
14	3.33	144.1	144.0	144.3	144.1	41.1	40.8	40.9	40.9	185	0.185
16	3.75	145.8	145.4	145.1	145.4	42.0	42.1	41.8	42.0	187	0.187
18	4.28	146.1	146.9	146.0	146.3	42.1	42.2	42.0	42.1	188	0.188
20	4.74	147.6	147.7	147.8	147.7	42.3	42.4	42.5	42.4	190	0.190
30	7.69	158.2	158.4	158.5	158.4	48.1	48.0	47.9	48.0	206	0.206
40	9.82	162.2	162.7	162.0	162.3	53.6	53.7	53.5	53.6	216	0.216
50	12.4	166.7	166.1	166.2	166.3	59.5	59.6	59.7	59.6	226	0.226
60	14.44	169.6	169.5	169.8	169.6	63.2	63.4	63.1	63.2	233	0.233
70	16.65	173.2	172.9	173.0	173.0	67.6	66.9	67.2	67.2	240	0.240
80	19.58	175.9	175.8	175.7	175.8	70.2	70.3	70.4	70.3	246	0.246
90	21.11	178.8	178.9	178.7	178.8	77.5	77.3	77.0	77.3	256	0.256
100	23.6	180.8	181.0	181.1	181.0	82.5	82.6	82.3	82.5	263	0.263

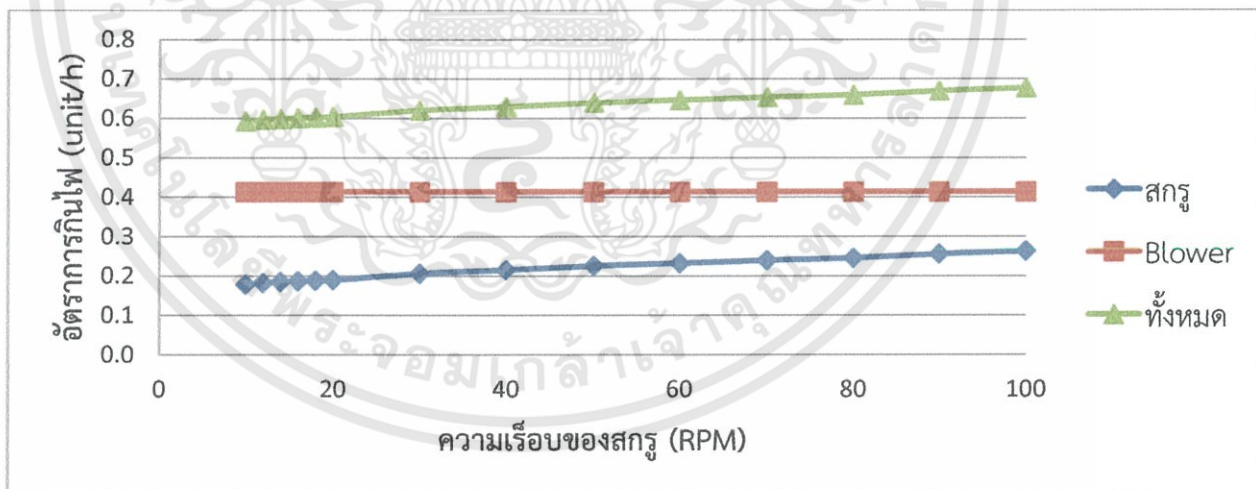
ตารางที่ 4.7 แสดงผลการทดลองการหาอัตราการกินไฟของ Blower

กำลังไฟฟ้าสูงสุด (watt)	กำลังไฟฟ้าต่ำสุด (watt)	กำลังไฟรวม (watt)	อัตราการกินไฟ (unit/h)
213.0	200.6	413.6	0.414

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 แสดงผลการทดลองการหาอัตราการกินไฟเมื่อทำงานพร้อมกัน

ความเร็วรอบ (rpm)	กำลังไฟรวม (watt)			อัตราการกินไฟ (unit/h)
	สกรู	Blower	ทั้งหมด	
10	179	414	593	0.593
12	183	414	597	0.597
14	185	414	599	0.599
16	187	414	601	0.601
18	188	414	602	0.602
20	190	414	604	0.604
30	206	414	620	0.620
40	216	414	630	0.630
50	226	414	640	0.640
60	233	414	647	0.647
70	240	414	654	0.654
80	246	414	660	0.660
90	256	414	670	0.670
100	263	414	677	0.677



รูปที่ 4.5 แสดงอัตราการกินไฟของระบบที่ความเร็วรอบต่างๆ

จากการทดลองจะพบว่า อัตราการกินไฟจะแปรผันตรงกับความเร็วรอบ และที่ความเร็วรอบ 16 RPM ที่ให้อัตราขนถ่ายที่ต้องการคือ 3.75 มีอัตราการกินไฟอยู่ที่ 0.601 unit/h

บทที่ 5

วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

5.1 วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองจะวิเคราะห์ผลจะพบว่าเครื่องป้อนเชื้อเพลิงฝุ่นชีวมวลนั้นสามารถที่จะปรับความเร็วรอบตามอัตราการขนถ่ายที่ต้องการได้จากการออกแบบและการคำนวณทางทฤษฎีทำให้ทราบว่า อัตราการขนถ่ายมีความสัมพันธ์กับความเร็วรอบของสกรูลำเลียง ในลักษณะคงที่หรือจากกราฟที่ผ่านมาเส้นกราฟมีลักษณะเป็นเชิงเส้นซึ่งแตกต่างจากผลการทดลองจริงที่ทำให้พบว่า อัตราการขนถ่ายจะสัมพันธ์กับความเร็วรอบของสกรูลำเลียงในลักษณะคงที่ คือมีลักษณะเส้นกราฟเป็นเชิงเส้นเช่นเดียวกันกับการออกแบบและการคำนวณทางทฤษฎีแต่จะให้อัตราการขนถ่ายที่มากกว่าเมื่อใช้ความเร็วรอบสกรูลำเลียงขนาดเท่ากัน ปัจจัยที่ทำให้อัตราการขนถ่ายมากขึ้นคือค่าแฟกเตอร์ความเต็มรางของวัสดุโดยจากการคำนวณเราเลือกวัสดุประเภทที่ 2 ซึ่งเป็นวัสดุไม่มีความคม เป็นวัสดุก้อนเล็กผสมกับวัสดุละเอียด เช่น แป้งอบขนมปัง ผักข้าวป่น ถ่านหินบดละเอียด ข้าวโพดบด แต่รำหยาบซึ่งนำมาใช้เป็นวัสดุขนถ่ายจะเป็นวัสดุที่ร่วนกว่าวัสดุประเภทที่ 2 ทำให้รำหยาบมีลักษณะการไหลที่ดีกว่า และเกิดแรงเสียดทานในระหว่างขนถ่ายน้อยกว่า ซึ่งมีผลทำให้อัตราการขนถ่ายเพิ่มขึ้น และอัตราการขนถ่ายที่จากการทดลองในกราฟค่อนข้างสม่ำเสมอ ซึ่งปัจจัยที่ทำให้ได้อัตราการขนถ่ายที่ค่อนข้างสม่ำเสมอขึ้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างเช่น ระยะเวลาพักของสกรูลำเลียงโดยเน้นการทำระยะเวลาพักให้มีค่าเท่ากันให้มากที่สุด การตำแหน่งของเพลลาให้ได้ระดับที่เหมาะสม ก็จะทำให้การขนถ่ายสม่ำเสมอ นอกจากนั้นประสิทธิภาพของมอเตอร์ก็มีผลทำให้การขนถ่ายสม่ำเสมอด้วยเช่นกัน

5.2 สรุปผลการทดลอง

จากการลำเลียงเชื้อเพลิงฝุ่นไปเก็บยังHopper ผลการทดลองพบว่าย่านความปลอดภัยในการลำเลียงเชื้อเพลิงเข้าสู่Hopper ที่ดีที่สุดจะอยู่ในช่วง 1-2 กิโลกรัม ซึ่งใช้เวลา0.123-0.699 นาที เนื่องจากเป็นพฤติกรรมของวัสดุโดยการจับตัวเป็นก้อน ทำให้อัตราการไหลเชิงมวลของรำหยาบน้อยลง เมื่อป้อนรำหยาบที่น้ำหนักมากขึ้น

ผลการทดลองที่ได้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ได้ตั้งไว้คือ สามารถป้อนเชื้อเพลิงฝุ่นให้สม่ำเสมอในระยะเวลา 30 นาที ที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิงในช่วง 0.942 – 3.78 kg/min ซึ่งอยู่ในความเร็วรอบ 16 รอบต่อนาทีของสกรูลำเลียง จะสังเกตได้ว่าเมื่อเวลาผ่านไปมากขึ้นปริมาณรำหยาบที่ป้อนออกมาจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างคงที่

ที่ความเร็วรอบต่างๆของสกรูลำเลียงไม่ว่าจะให้เวลาทำงานนานเท่าใดก็ตาม จะให้อัตราการขนถ่ายใกล้เคียงกันมากที่ความเร็วรอบนั้นๆ

เครื่องป้อนเชื้อเพลิงฝุ่นเครื่องนี้ให้อัตราการขนถ่ายจากการทดลองมากกว่าอัตราการขนถ่ายจากทฤษฎี เป็นเพราะว่าวัสดุหรือรำหยาบที่ใช้ลำเลียง มีแฟกเตอร์เต็มรางสูงถึง 0.946 ซึ่งในทางทฤษฎีจะใช้เพียงแค่ 0.3 เท่านั้น

เครื่องนี้มีอัตราการกินไฟอยู่ที่ 0.601 หน่วยต่อชั่วโมง

5.3 ข้อเสนอแนะ

ในกระบวนการส่งผลิต จะมีข้อผิดพลาดเกิดขึ้นได้ถ้าหากการเขียนแบบหรือการให้รายละเอียดไม่มีความชัดเจนที่มากพอ เช่น ขนาดของหน้าแปลนที่มีระยะไม่สัมพันธ์กัน องศาในการเชื่อมมุมต่างๆที่ต้องการ วัสดุไม่ตรงตามแบบที่ออกแบบไว้ ซึ่งสิ่งเหล่านี้ในการออกแบบแต่ละครั้งจะมีความผิดพลาดเกิดขึ้นได้ง่าย ดังนั้นควรให้ความใส่ใจและควบคุมกระบวนการผลิตให้ดีที่สุด หรือในการออกแบบต้องเผื่อระยะความผิดพลาดไว้เสมอ

5.4 แนวทางการพัฒนาต่อ

การพัฒนาเครื่องป้อนเกลบในอนาคตอาจมีการพัฒนาในด้านของประสิทธิภาพในการขนถ่ายที่เพิ่มขึ้น โดยศึกษาถึงลักษณะการทำงานต่างๆ รวมถึงปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการขนถ่ายที่ได้จากเครื่องต้นแบบนี้ การเพิ่มประสิทธิภาพนั้นอาจเพิ่มขนาดกำลังขับของมอเตอร์ให้มากขึ้น ในส่วนของการพัฒนาด้านต่อไปอาจมีการเปลี่ยน Blower ขนาดเล็ก 1 แรงซึ่งมีอายุการใช้งานมายาวนาน ให้มีขนาดใหญ่และมีกำลังขับที่เพิ่มมากขึ้น เพื่อที่จะทำให้การป้อนเชื้อเพลิงเข้าสู่ไซโคลนมีความรวดเร็วมากขึ้น



บรรณานุกรม

- [1] กรรมมันต์ ชูประเสริฐ, อนันต์ ออกนิษฐาชาติ และทีวี งามวิไลกร. 2539. การออกแบบเครื่องจักรกล. ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : แมคโคร-ฮิล อินเตอร์เนชั่นแนล เอ็นเตอร์ไพรส์.
- [2] ฉัตรชัย นิยมมล. 2548. ระบบกำจัดฝุ่นและการระบายอากาศ. ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น).
- [3] พฤกษ์ ตีเหล็ก, ขจร มิถาวรวัลย์, ภูมิศักดิ์ นา เทียมเขต และนายมีนาวรรษ บุตรนิล. 2553. เครื่องอัดปุ๋ยเม็ดจากเศษใบไม้แห้ง. วิทยานิพนธ์ ปริญญาบัณฑิต สาขาวิชาเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- [4] นิรุตต์ ร่วมกระโทก, บุญธรรม บัวลา และนายพิชิต เป็ลยีสี่. 2545. เครื่องย่อยเศษฟองน้ำ. วิทยานิพนธ์ ปริญญาบัณฑิต สาขาวิชาเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [5] รัตน์พล แดงไสว, สามารถ จริยคุณ และอรุณ ชิวคำ. 2544. เครื่องป้อนแกลบบัดโนมตี. วิทยานิพนธ์ ปริญญาบัณฑิต สาขาวิชาเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [6] พรรณพิลาศ ประเคนรี และสรุศักดิ์ โคลงฉันท. 2545. เครื่องป้อนอาหารปลาอัตโนมัติ. วิทยานิพนธ์ ปริญญาบัณฑิต สาขาวิชาเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [7] ศิราวุธ สาระพันธ์. 2553. การศึกษาแนวทางที่เหมาะสมในการผลิตและใช้เชื้อเพลิง. วิทยานิพนธ์ขมหาบัณฑิต สาขาวิชาเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- [8] สุภัทร กาลวันตวานิช, ชยณัฐ ทิพย์จันทร์, เกษสินทร์ จุ่นหัวโชน และสรวิศ ลีลาวานิชกิจ. 2549. การพัฒนา
- [9] เครื่องอัดถ่านจากซังข้าวโพด. วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต สาขาวิชาเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. เอกพล นามคำ, วัชรพงศ์ ไทโกคิน, นิวัตร มูลปา และทวีศักดิ์ มหาวรรณ. 2555. การออกแบบวิศวกรรมสำหรับไซโลเก็บเมล็ดข้าวเปลือก. การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13 วันที่ 4-5 เมษายน 2555 จังหวัดเชียงใหม่. ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด(มหาชน).
- [10] 34 เรื่องน่ารู้ การขนถ่ายวัสดุด้วยลม, สายพานลำเลียง ระบบขนถ่ายวัสดุทั่วไป, *ขนถ่ายวัสดุ 2*. 2546. ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด (มหาชน).
- [11] Bridgwater, A.V., 2011. Review of fast pyrolysis of biomass and product upgrading. Science Direct, 2012(38), 68-94.
- [12] Dai, J. & Grace, J.R. 2010. Biomass granular screw feeding: An experimental investigation. Science Direct, 2011(35), 942-955.
- [13] Dai, J. Cui, H. and Grace, J.R. 2012. Biomass Feeding for Thermochemical Reactors. Journal, 2012(38), 716-736.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [14] Hall, D.O. & Scrase, J.I. 1998. **Will fuel biomass be the environmentally friendly of the future?**. Biomass and bioenergy, 1998(15), 357-367.
- [15] Richard G. Budynas and J. Keith Nisbett, **Shigley's Mechanical Engineering Design**, Eight edition, McGraw Hill companies 2008.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัสดุกับการออกแบบ

คุณสมบัติของหญ้าเนเปียร์

พิจารณาหญ้าเนเปียร์จากคุณสมบัติที่ได้ส่งไปทดสอบ โดยวิธีการ ASTM E 870, D 4239, D 5373 and D 5865

ตารางที่ ก.1 ผลการทดสอบและวิเคราะห์ชีวมวลอัดแห้งจากหญ้าเนเปียร์

คุณสมบัติ	สภาพนำส่ง	สภาพน้ำหนักแห้ง
ความชื้น,%	4.57	-
สารระเหย,%	66.91	70.11
ถ่านคงตัว,%	20.22	21.19
เถ้า,%	8.30	8.70
ไฮโดรเจน,%	6.58	6.36
คาร์บอน,%	45.92	48.12
ไนโตรเจน,%	0.00	0.00
ออกซิเจน,%	39.09	36.71
ซิลเฟอร์,%	0.11	0.11
ค่าความร้อนสูง, กิโลแคลอรี/กก.	4,120	4,320
ค่าความร้อนต่ำ, กิโลแคลอรี/กก.	3,790	3,970

รำข้าว

เป็นผลพลอยได้จากการสีข้าว ซึ่งจะได้ส่วนของปลายข้าว ประมาณ 15% ปลายข้าวจัดได้ว่าเป็นวัตถุดิบให้พลังงานที่มีความสำคัญยิ่ง มีอยู่ทั่วทุกภาคของประเทศไทย

คุณสมบัติ

- ให้พลังงานสูง มีพลังงานใช้ประโยชน์ได้ในสุกรและสัตว์ปีก เท่ากับ 3,596 และ 3,500 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม
- มีโปรตีน ประมาณ 8%
- มีไขมัน และเยื่อใยต่ำ เก็บไว้ใช้ได้นานโดยไม่หืน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 ส่วนประกอบทางเคมีของรำข้าว

ส่วนประกอบ (%)	
ความชื้น	12
โปรตีน	8
ไขมัน	0.9
เยื่อใย	1.0
เถ้า	0.7
แคลเซียม	0.03
ฟอสฟอรัส	0.04

ผงหญาเนเปียร์ VS รำข้าว

ตารางที่ ก.3 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของผงหญาเนเปียร์และรำข้าว

คุณสมบัติ	ผงหญาเนเปียร์	รำข้าว
ความหนาแน่น (kg/m^3)	232	320
ขนาดอนุภาค (μm)	244	210
การไหล	ไหลราบเรียบ	ไหลราบเรียบ
การเสียดสี	ไม่ความคม	ไม่มีความคม
น้ำหนัก	เบามาก เป็นปุย	เบามาก เป็นปุย

หลักในการคำนวณของระบบHopper

หลักการออกแบบนั้น สิ่งที่เราคำนึงถึงคือมุมกองของวัสดุเพื่อให้เชื้อเพลิงมีการไหลได้ดีขึ้น ซึ่งสามารถพิจารณาได้ดังรูปที่ ก.1 และ ก.2 ตามลำดับ



รูปที่ ก.1 ลักษณะของ Hopper

รูปที่ ก.2 มุมกองของวัสดุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของCycloneมาตรฐาน

จากตารางสัดส่วนของไซโคลนมาตรฐาน ถ้ากำหนดให้เส้นผ่านศูนย์กลางของไซโคลนมีขนาด 0.300 เมตร จะได้ขนาดส่วนอื่นๆของไซโคลนได้ดังนี้ ให้ทุกๆ ค่ามีหน่วยเป็นเมตร

ตารางที่ ก.4 ขนาดของCyclone ชนิดต่างๆ ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเป็น 0.300 เมตร

ขนาด	ไซโคลนประสิทธิภาพสูง		ไซโคลนสำหรับงานทั่วไป		
	Stairmand	Swift	Lapple	Swift	Peterson &Whitby
D	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300
a	0.150	0.132	0.150	0.150	0.175
b	0.060	0.063	0.075	0.075	0.062
S	0.150	0.150	0.188	0.180	0.175
D _e	0.150	0.120	0.150	0.150	0.150
h	0.450	0.420	0.600	0.525	0.400
H	1.200	1.170	1.200	1.125	0.951
B	0.113	0.120	0.075	0.120	0.150

กำหนดให้สมบัติของอากาศและเชื้อเพลิงเป็นดังนี้

ให้ความเร็วของอากาศที่ไหลเข้า(v)มีค่า 25.4 m/s

ความหนืดของอากาศที่อุณหภูมิ 70 °F (μ_a) เท่ากับ อากาศมีความหนืด 1.82×10^{-5} kg/m-s

ความหนาแน่นของอากาศของอากาศ(ρ_a) มีค่า 1.176 kg/m³

ความหนาแน่นของเชื้อเพลิง(ρ_f) มีค่า 232 kg/m³

ต่อไปจะคำนวณหาอัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศที่ไหลเข้าสู่ไซโคลน(\dot{V}_m), จำนวนเฮดความเร็วที่ทางเข้า(N_H) และจำนวนการหมุนประสิทธิภาพ(N_e) โดยใช้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$\dot{V}_m = vab$$

$$N_H = K \frac{ab}{(D_c)^2}$$

โดยที่ K = ค่าคงที่ซึ่งมีค่าเป็น 16

$$N_e = \frac{1}{a} \left(h + \frac{H-h}{2} \right)$$

จะได้ค่าต่างๆดังต่อไปนี้

ตารางที่ ก.5 แสดงพารามิเตอร์ต่างๆในไซโคลนแต่ละชนิด

พารามิเตอร์	ไซโคลนประสิทธิภาพสูง		ไซโคลนสำหรับงานทั่วไป		
	Stairmand	Swift	Lapple	Swift	Peterson &Whitby
$\dot{V}_{in}, m^3/s$	0.229	0.211	0.286	0.286	0.277
N_H	6.40	9.24	8.00	8.00	7.76
N_e	5.50	6.02	6.00	5.50	3.86

จากการศึกษาสมมติให้ขนาดของอนุภาคจัดอยู่ในช่วงต่างๆตามปริมาณดังนี้

ตารางที่ ก.6 แสดงข้อมูลขนาดและสัดส่วนของอนุภาคเชื้อเพลิง

ช่วงที่ (j)	ขนาด, μm	ขนาดเฉลี่ย(d_{pj}), μm	สัดส่วนมวล(f_j), %
1	0-10	5.00	15
2	10-25	17.50	25
3	25-40	32.50	20
4	40-75	57.50	20
5	75-100	87.50	20

จากนั้นจะข้อมูลที่ได้ออกไปหาขนาดตัด(d_{pc}), อัตราส่วนระหว่างขนาดตัดต่อขนาดเฉลี่ย(d_{pc}/d_{pj}), และ ประสิทธิภาพการแยกฝุ่นในช่วงขนาดย่อย(η_j) โดยใช้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$d_{pc} = \left(\frac{9\mu_a b}{2\pi N_e v (\rho_f - \rho_a)} \right)^{1/2}$$

$$\eta_j = \frac{1}{1 + \left(\frac{d_{pc}}{d_{pj}} \right)^2}$$

ตารางที่ ก.7 แสดงต่างๆ เพื่อจะใช้ในการหาประสิทธิภาพในการทำงานของไซโคลน

j	ไซโคลนประสิทธิภาพสูง						ไซโคลนสำหรับงานทั่วไป								
	Stairmand			Swift			Lapple			Swift			Peterson &Whitby		
	d_{pc}	d_{pc}/d_{pj}	η_j	d_{pc}	d_{pc}/d_{pj}	η_j	d_{pc}	d_{pc}/d_{pj}	η_j	d_{pc}	d_{pc}/d_{pj}	η_j	d_{pc}	d_{pc}/d_{pj}	η_j
1	6.97	1.394	0.340	6.82	1.365	0.349	7.46	1.492	0.310	7.79	1.558	0.292	8.48	1.696	0.258
2	6.97	0.398	0.863	6.82	0.390	0.868	7.46	0.26	0.846	7.79	0.445	0.835	8.48	0.485	0.810
3	6.97	0.214	0.956	6.82	0.210	0.958	7.46	0.229	0.950	7.79	0.240	0.946	8.48	0.261	0.936
4	6.97	0.121	0.986	6.82	0.119	0.986	7.46	0.130	0.983	7.79	0.135	0.982	8.48	0.147	0.979
5	6.97	0.080	0.994	6.82	0.078	0.994	7.46	0.085	0.993	7.79	0.089	0.992	8.48	0.097	0.991

ดังนั้นนำค่าต่างๆจากตารางทั้งหมดมาหาค่าประสิทธิภาพ(η_o)ในการทำงานของไซโคลนในแต่ละชนิด โดยใช้ความสมการดังนี้

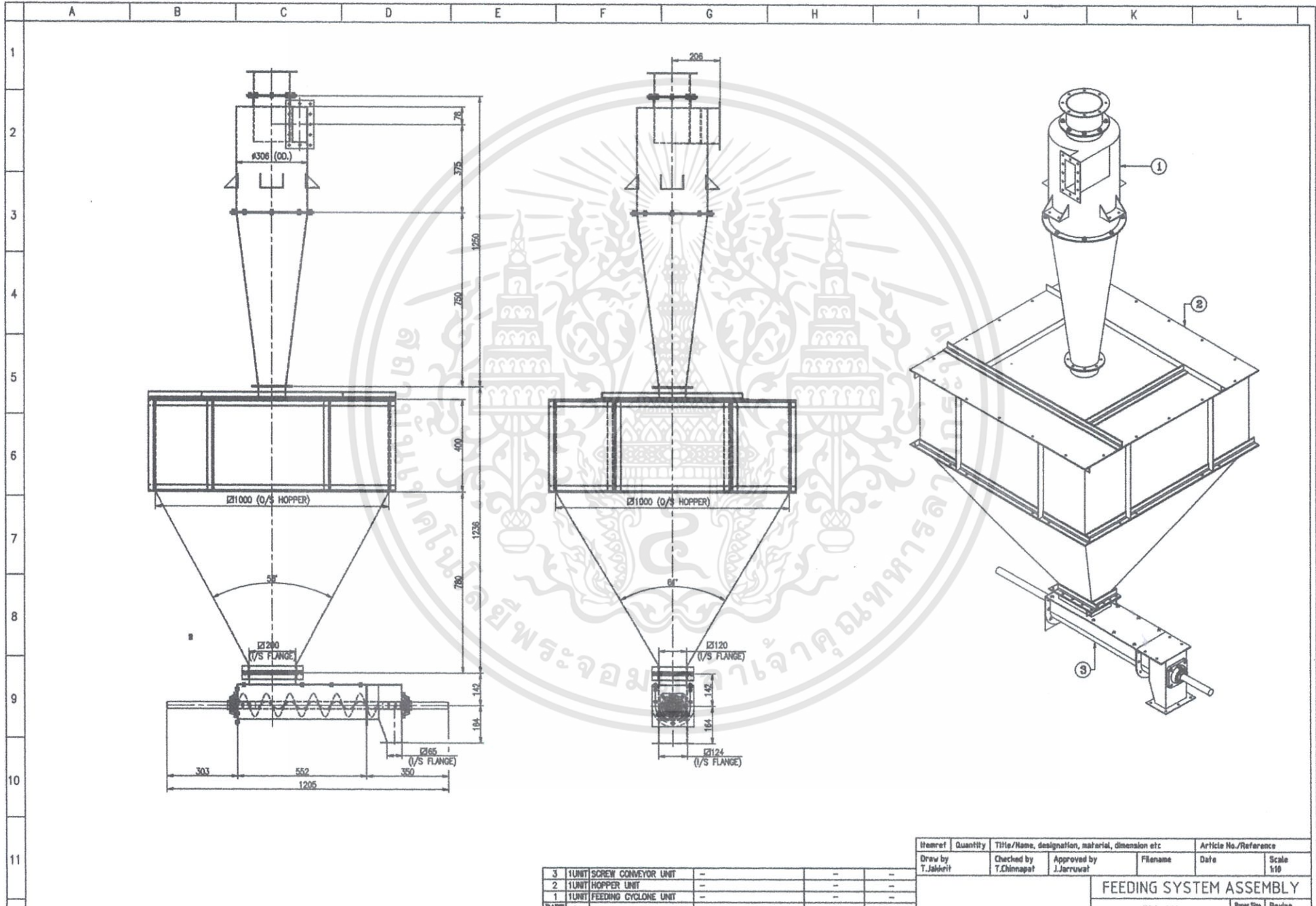
$$\eta_o = \sum \eta_j f_j \quad \text{ซึ่งจะได้ผลดังตาราง}$$

ตารางที่ ก.8 ประสิทธิภาพการแยกฝุ่นของCycloneชนิดต่างๆ

	ไซโคลนประสิทธิภาพสูง		ไซโคลนสำหรับงานทั่วไป		
	Stairmand	Swift	Lapple	Swift	Peterson &Whitby
η_o (%)	85.4	78.0	72.5	68.1	63.8

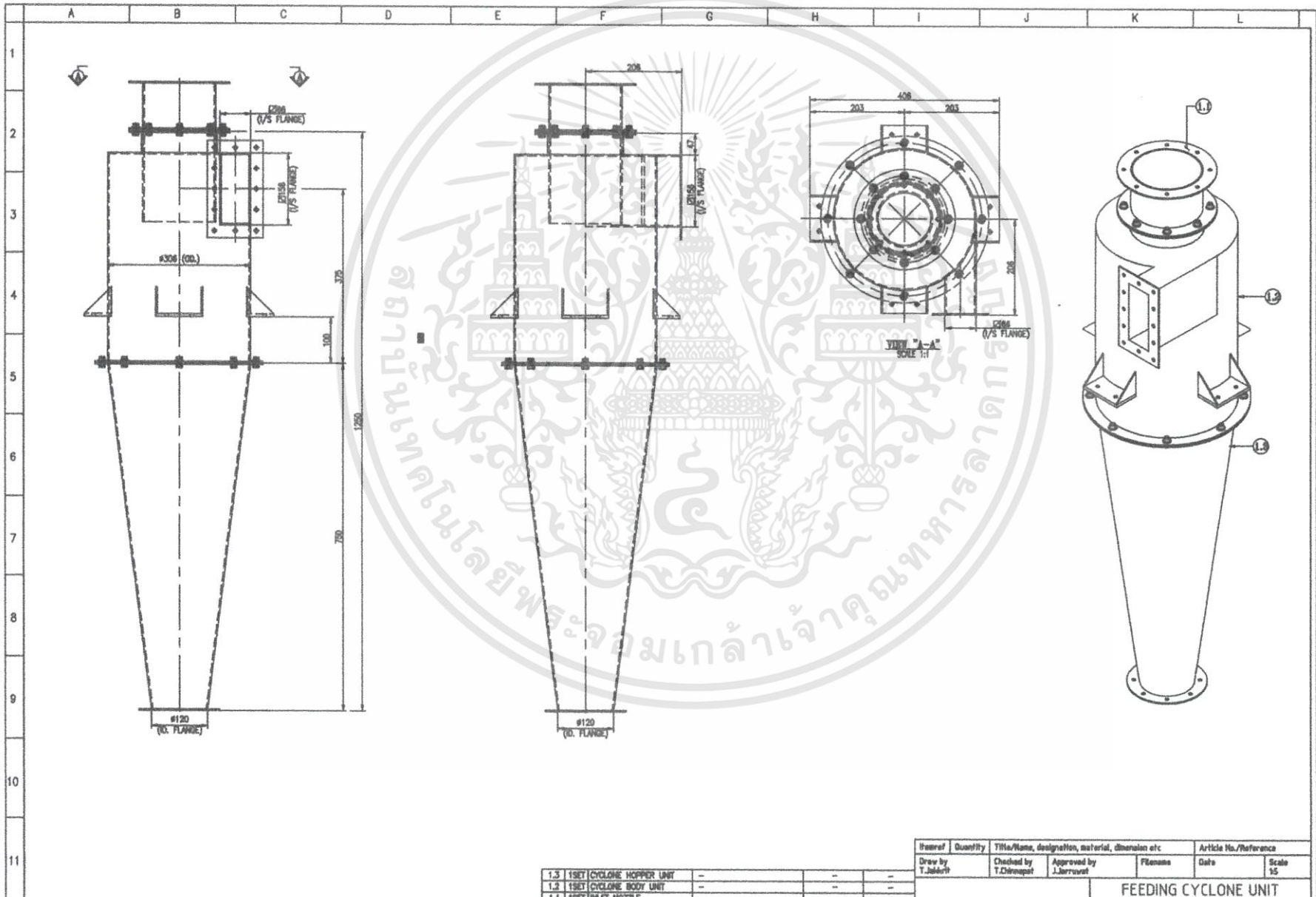


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



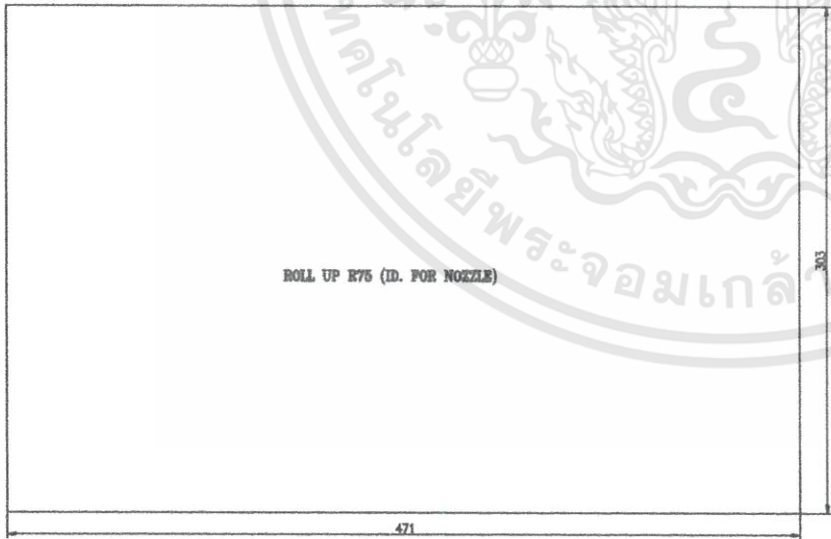
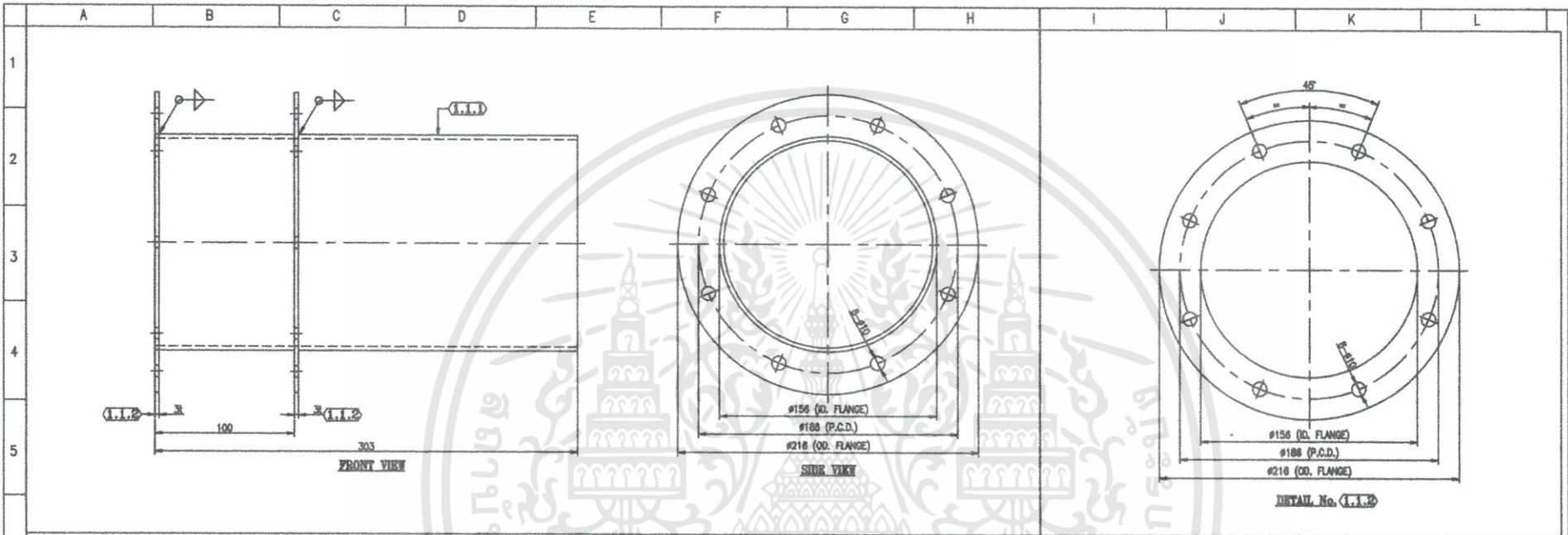
Item#	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc	Article No./Reference
3	1 UNIT	SCREW CONVEYOR UNIT	-
2	1 UNIT	HOPPER UNIT	-
1	1 UNIT	FEEDING CYCLONE UNIT	-

Item#	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc	Article No./Reference
Draw by	Checked by	Approved by	Filename
T.Jakkrit	T.Chinnapat	J.Jarurwat	Date
FEEDING SYSTEM ASSEMBLY			Scale 1:10
Date			Revision



Item Ref	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc	Article No./Reference		
1.3		1SET CYCLONE HOPPER UNIT	Flange	Date	Scale
1.2		1SET CYCLONE BODY UNIT			15
Draw by: T.Mahap Checked by: T.Chanapet Approved by: J.Sarrosat					

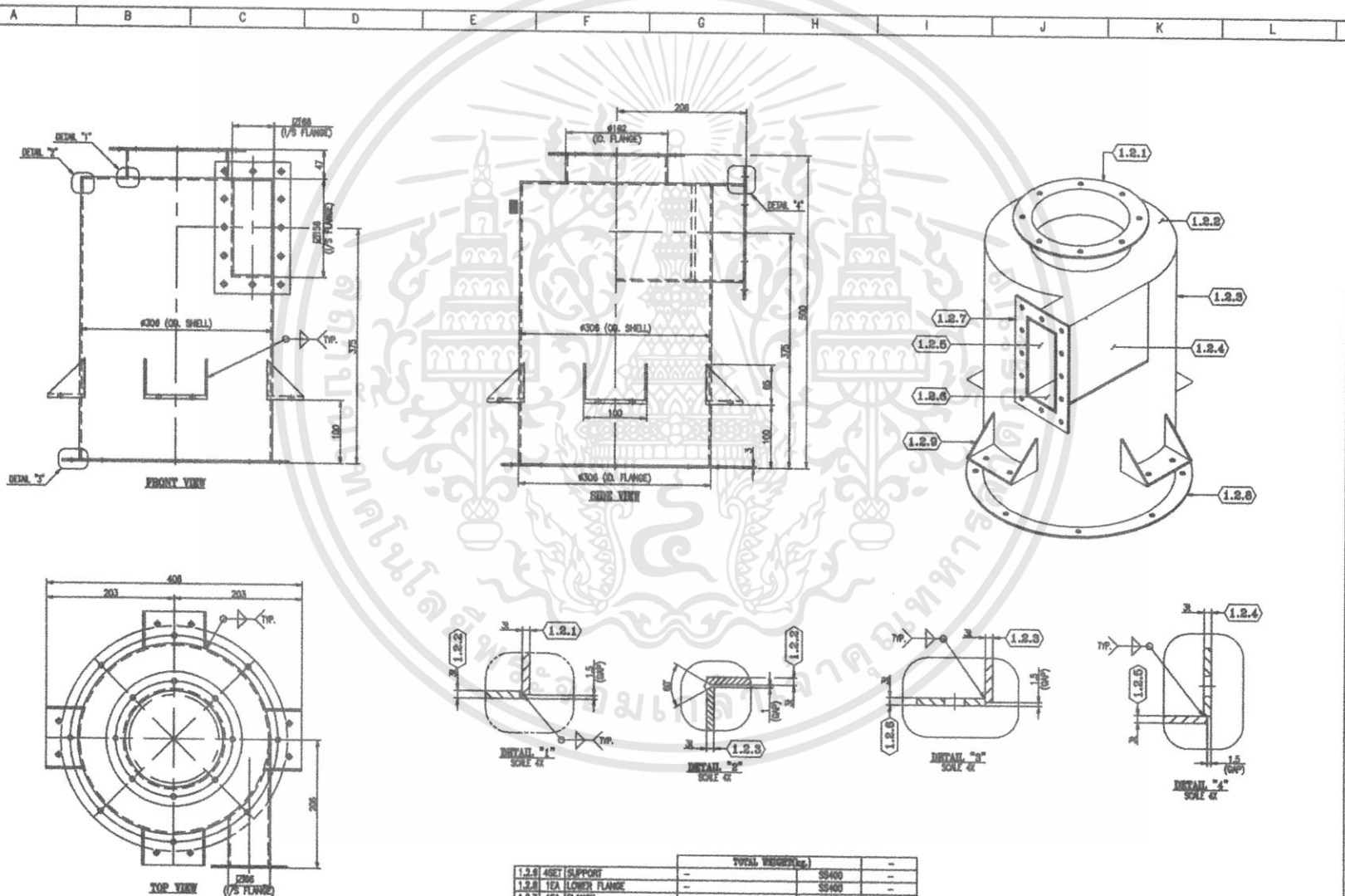
FEEDING CYCLONE UNIT



Part No.	Qty	Description	Dimension	Material	Weight (kg.)
1.1.2	2EA	FLANGE	PL-3c-#156(O.D.)#216(O.D.)	SS400	1
1.1.1	1EA	NOZZLE	PL-3c-303x471L	SS400	3.4
				TOTAL WEIGHT(kg.)	4.4

Revise/	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc	Article No./Reference
Draw by T.Jahelit	Checked by T.Chirupat	Approved by J.Jarurat	Filename Date

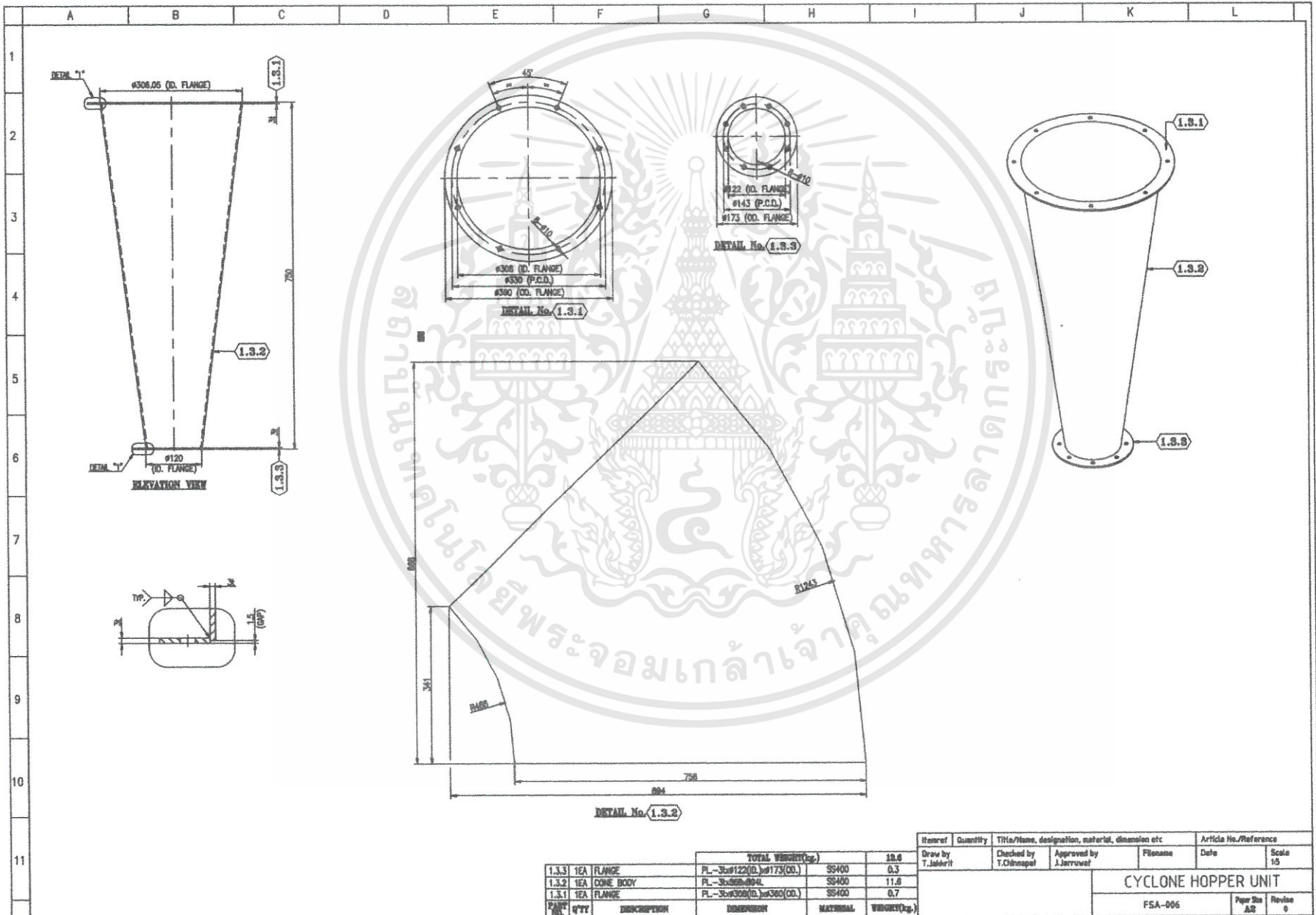
CYCLONE OUTLET			
FSA-003		Page Size A2	Revise 0

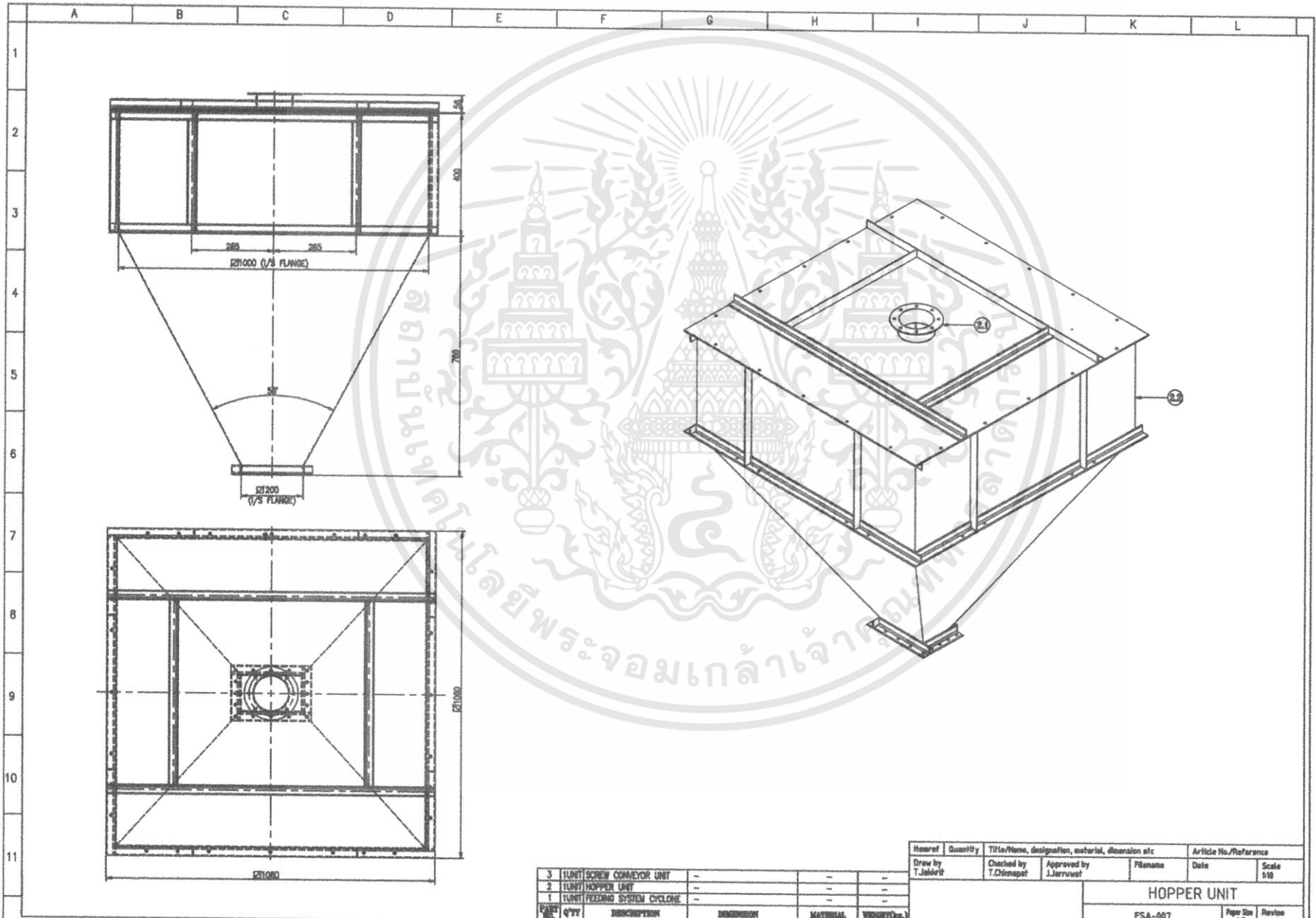


		TOTAL WEIGHT (kg.)	
1.2.6	AGET SUPPORT	--	SH400
1.2.8	TEA LOWER FLANGE	--	SH400
1.2.7	TEA FLANGE	--	SH400
1.2.8	TEA BOTTOM PLATE	--	SH400
1.2.5	TEA SIDE PLATE II	--	SH400
1.2.4	TEA SIDE PLATE I	--	SH400
1.2.3	TEA SHELL	--	SH400
1.2.5	TEA UPPER PLATE	--	SH400
1.2.1	TEA INLET NOZZLE	--	SH400

Drawn by	Quantity	Title/Name, Designation, material, dimension etc	Article No./Reference
T.Jaharjit		Checked by T.Chhooapat	Flanone
		Approved by J.Jarvruet	Date
			Scale 1:1

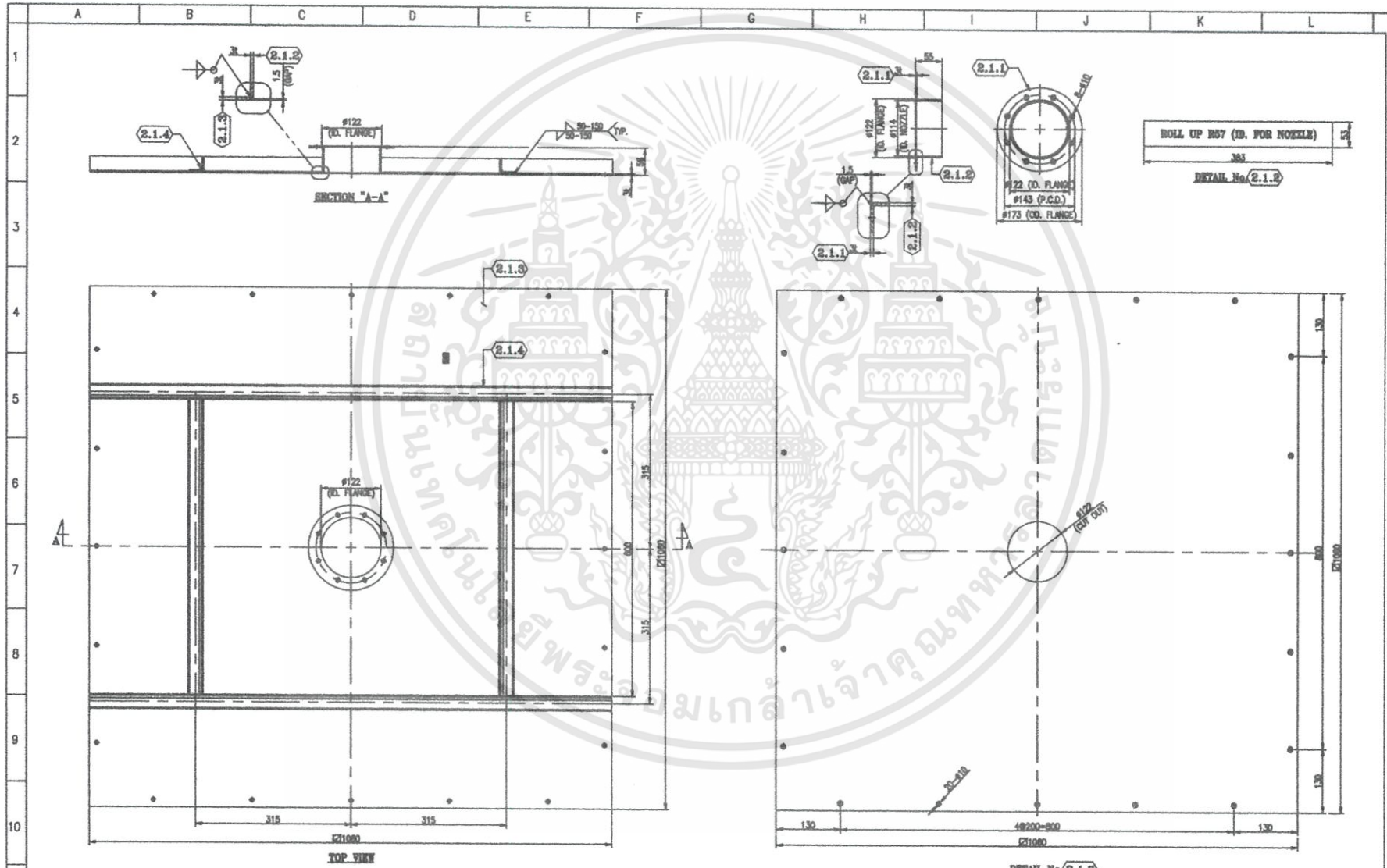
CYCLONE BODY UNIT





ITEM NO.	QTY	DESCRIPTION	DIMENSION	MATERIAL	WEIGHT(Kg.)
3		UNIT SCREW CONVEYOR UNIT	--	--	--
2		UNIT HOPPER UNIT	--	--	--
1		UNIT FEEDING SYSTEM CYCLONE	--	--	--

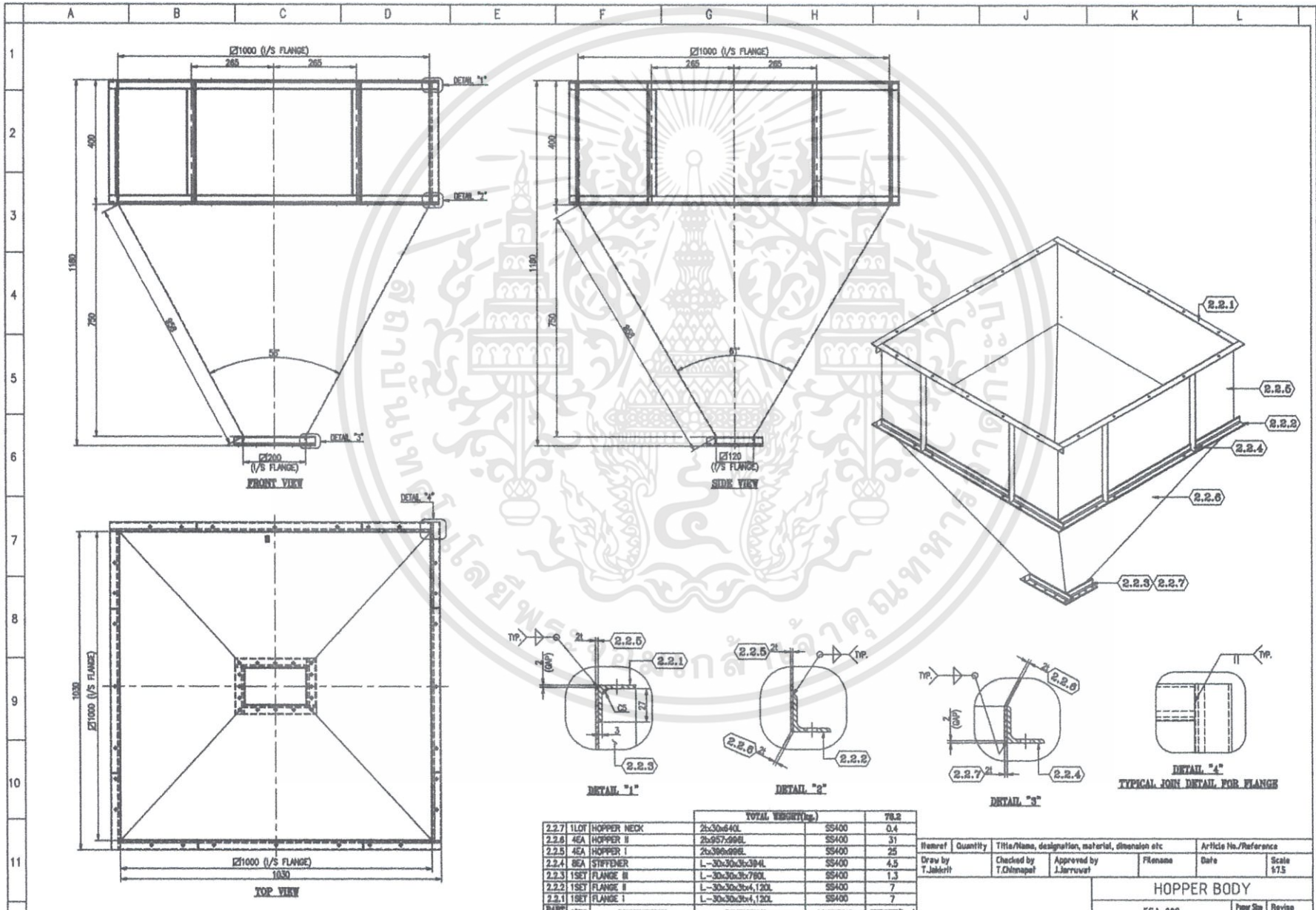
Revised	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc	Article No./Reference						
Draw by T.Jakrit	Checked by T.Chinapat	Approved by J.Jaruvut	<table border="1"> <tr> <td>Pibname</td> <td>Date</td> <td>Scale</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>1:10</td> </tr> </table>	Pibname	Date	Scale			1:10
Pibname	Date	Scale							
		1:10							
HOPPER UNIT									
FSA-007			Page 3 of 3 Revise						

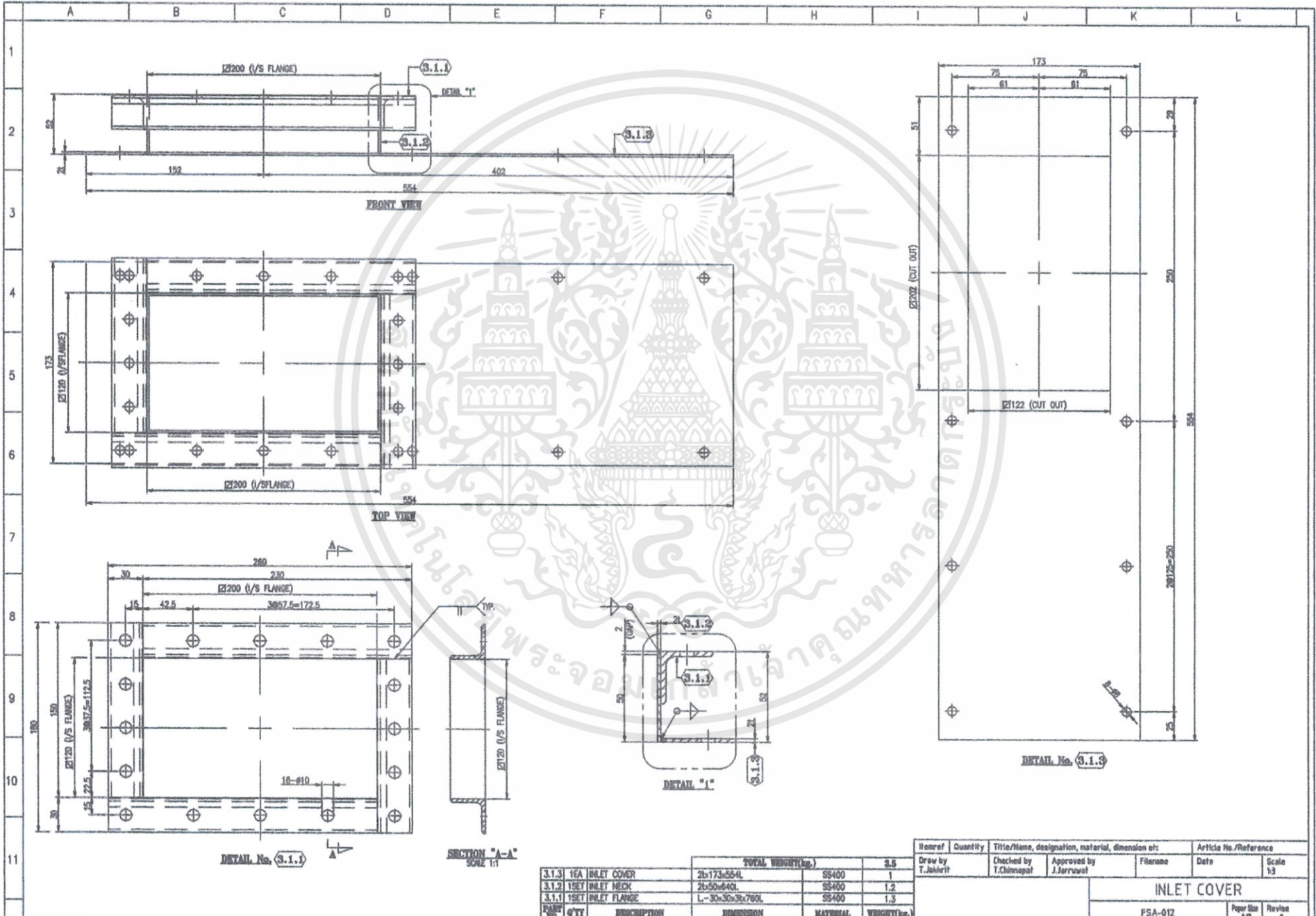


TOTAL WEIGHT (kg.)				BILLS OF MATERIAL			
Item No.	Quantity	Unit	Weight	Item No.	Quantity	Unit	Weight
2.1.4	1	Lot	4.5	2.1.1	1	Flange	0.3
2.1.3	1	Plate	53	2.1.2	1	Neck	0.5
2.1.2	1	Plate	53	2.1.3	1	Cover Plate	53
2.1.1	1	Flange	0.3	2.1.4	1	Stiffener	4.5

Drawn by	Checked by	Approved by - date	Filename	Date	Scale
T.Jakkrit	T.Chirapat	J.Jirruvat			1:1

TOP HOPPER	
PC-A-008	Page 08 of 08

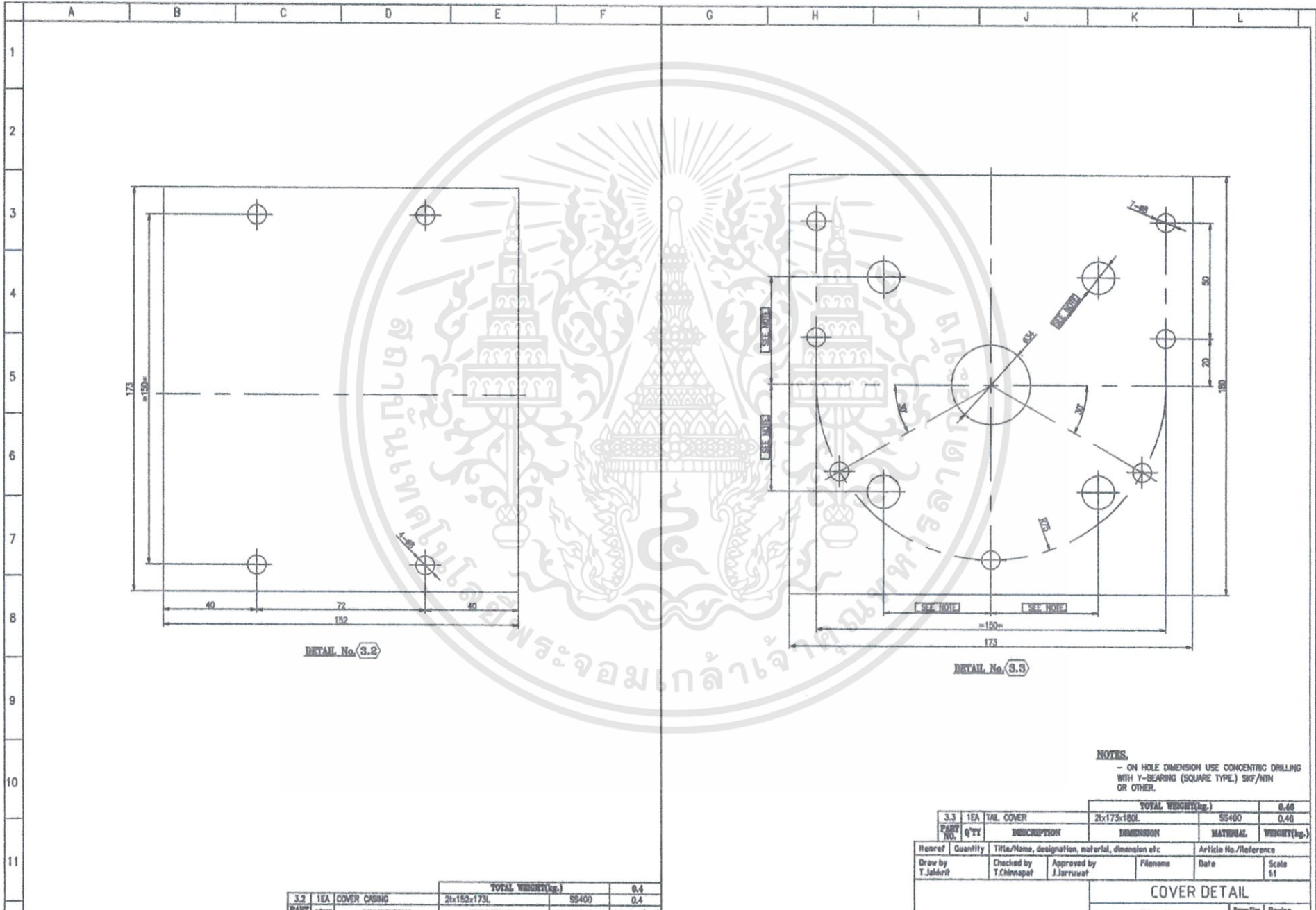




Item No.	QTY	DESCRIPTION	DIMENSION	MATERIAL	WEIGHT(kg.)
3.1.3	1EA	INLET COVER	2b173x554L	SS400	3.5
3.1.2	1SET	INLET HECK	2b50x40L	SS400	1.2
3.1.1	1SET	INLET FLANGE	L-30x30x3b700L	SS400	1.3
TOTAL WEIGHT(kg.)					5.5

Itemref	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc.	Article No./Reference
3.1.3	1EA	INLET COVER	3.5
3.1.2	1SET	INLET HECK	1.2
3.1.1	1SET	INLET FLANGE	1.3

Draw by T.Jakrit	Checked by T.Chinapat	Approved by J.Jaruvut	Filename	Date	Scale 1:3
INLET COVER					
FSA-012				Page No A/1	Revised 0



DETAIL No. (3.2)

DETAIL No. (3.3)

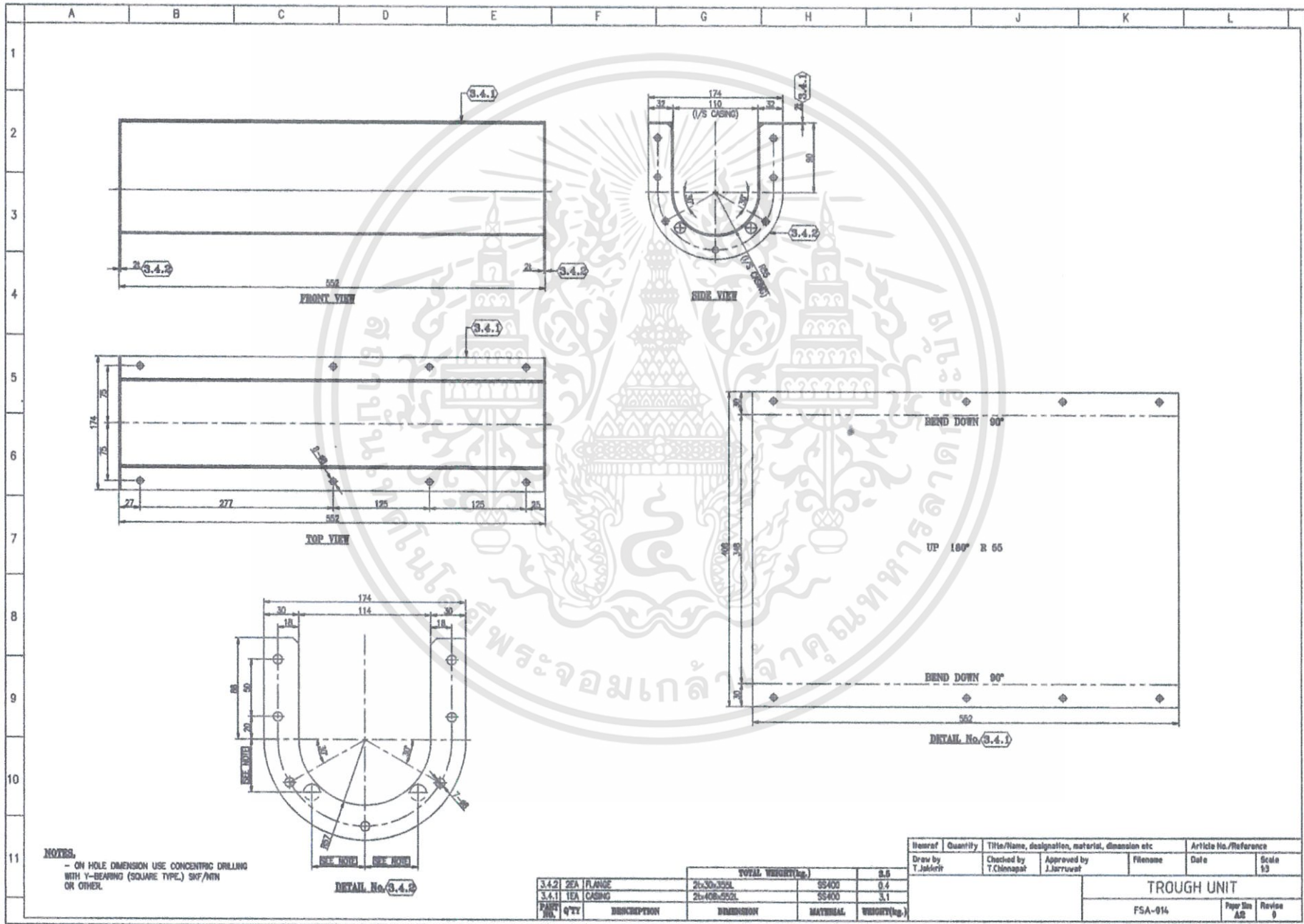
NOTES
 - ON HOLE DIMENSION USE CONCENTRIC DRILLING WITH Y-BEARING (SQUARE TYPE) SKF/WIN OR OTHER.

		TOTAL WEIGHT(kg.)	
3.2	1EA COVER CASING	2x152x173L	SS400
			0.4

		TOTAL WEIGHT(kg.)	
3.3	1EA TAL COVER	2x173x180L	SS400
			0.48

REFER	QTY	DESCRIPTION	DIMENSION	MATERIAL	WEIGHT(kg.)
Draw by	Checked by	Approved by	Filename	Date	Scale
T.Jaldrit	T.Chinnapat	J.Jaruwet			1:1

COVER DETAIL

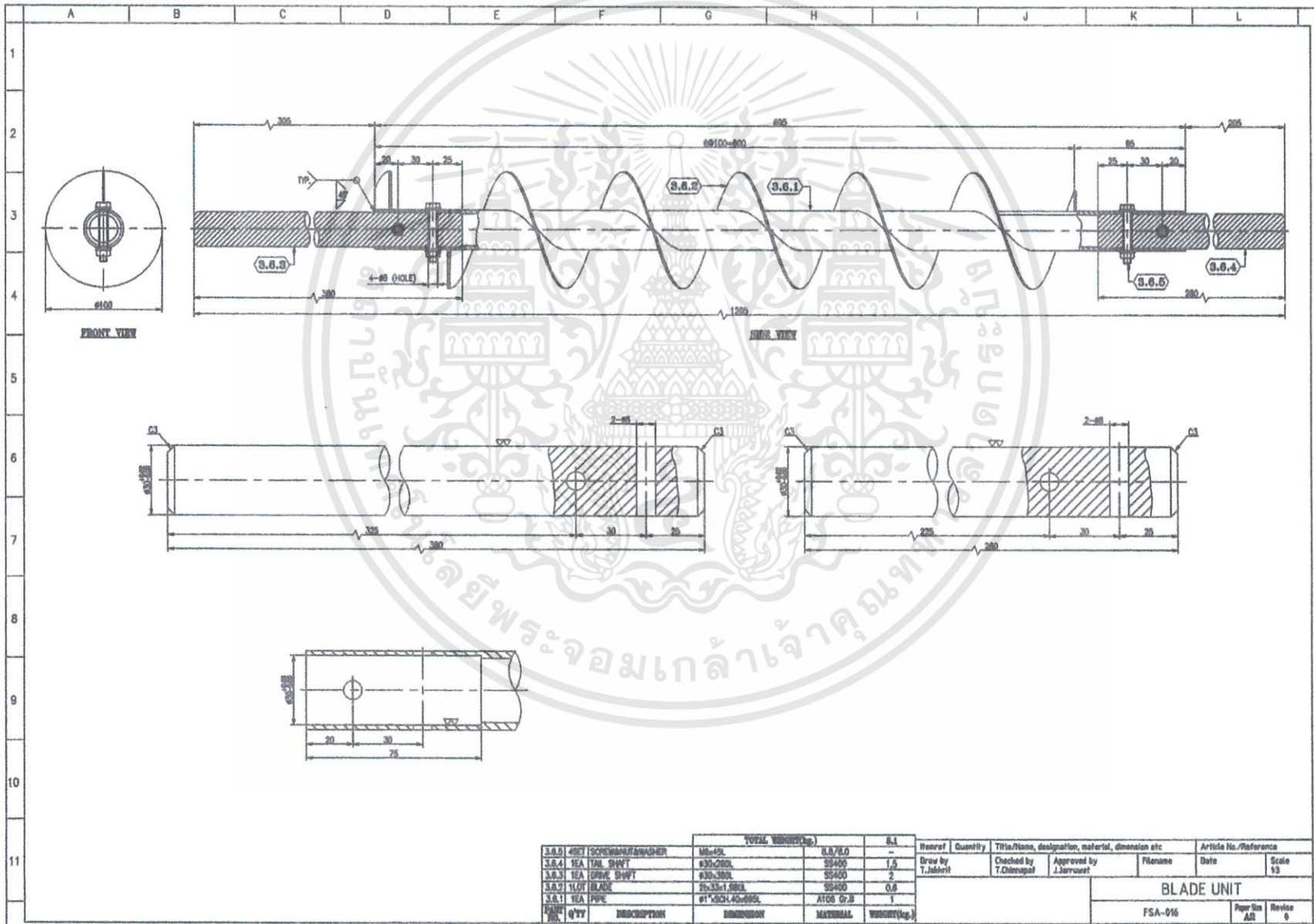


NOTES.
 - ON HOLE DIMENSION USE CONCENTRIC DRILLING WITH Y-BEARING (SQUARE TYPE.) SKF/MTN OR OTHER.

DETAIL No. (3.4.2)

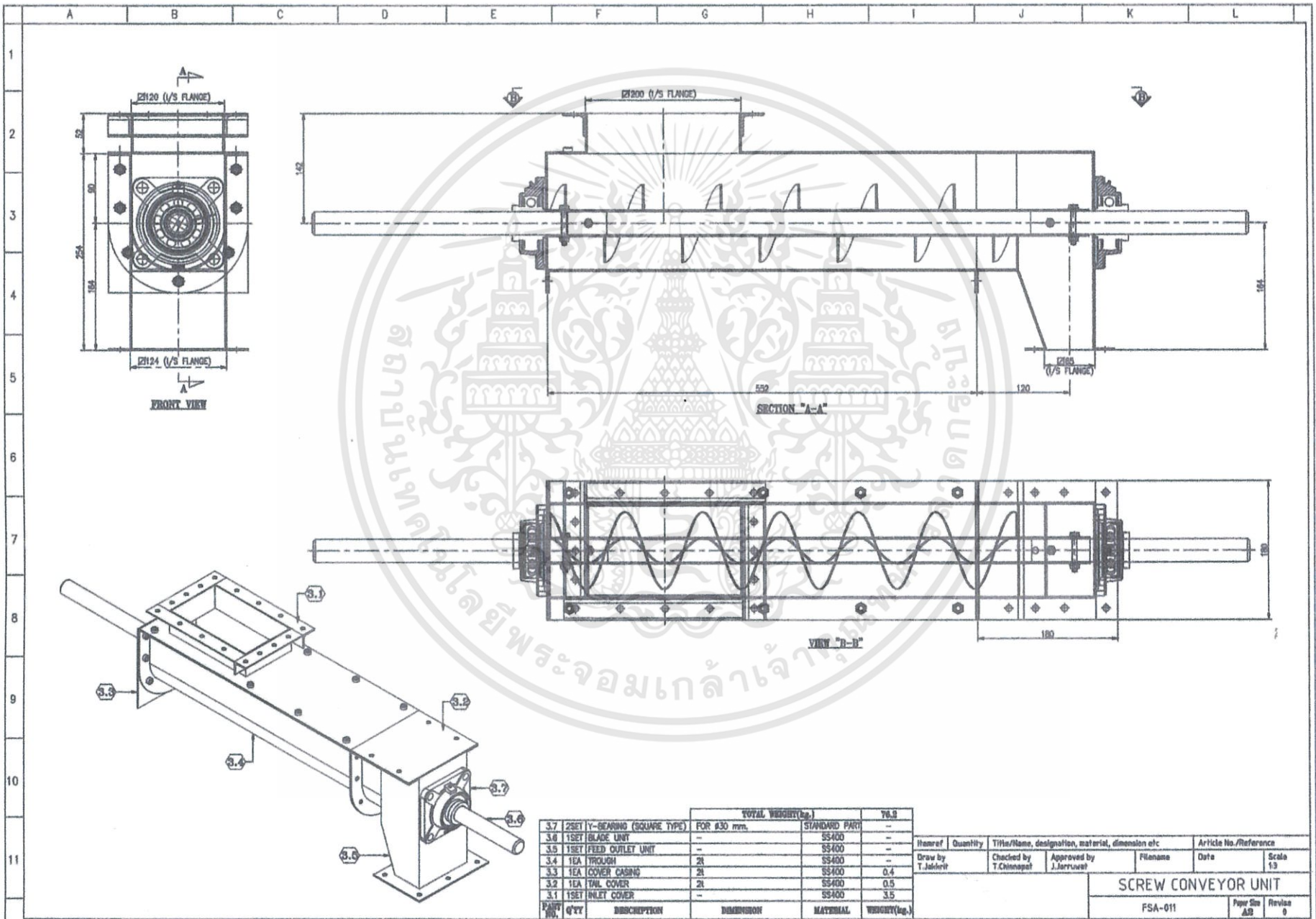
		TOTAL WEIGHT(kg.)		0.5	
3.4.2	2EA FLANGE	2x30x30x4	SS400	0.4	
3.4.1	1EA CASING	2x40x55x2	SS400	3.1	
PART NO.	QTY	DESCRIPTION	DIMENSION	MATERIAL	WEIGHT(kg.)

Drawn by	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc	Article No./Reference		
T.Jaldarik			Filename	Date	Scale
					5:3
			TROUGH UNIT		
			FSA-014	Page 2in	Revised
			AS	0	



PART NO.	QTY	DESCRIPTION	TOTAL WEIGHT(kg)		B.1	Drawn by	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc	Article No./Reference	
			NUMBER	MATERIAL					Filename	Date
3.6.3	4851	SCHEMATAWASHER	M8-40L	3.6.7.0	-	T.Jahelit	1			13
3.6.4	1	TEA TIRE SHFT	$\phi 30 \times 300L$	SS400	1.5	T.Chenapat	2			
3.6.2	1	TEA URNH SHFT	$\phi 30 \times 300L$	SS400	2					
3.6.5	1	TILUT BLADE	$25 \times 35 \times 1.800L$	SS400	0.6					
3.6.1	1	TEA PIPE	$\phi 1 \times 50 \times 1.40 \times 600L$	AT08 Gr.B	1					

BLADE UNIT



ITEM NO.	QTY	DESCRIPTION	DIMENSION	MATERIAL	WEIGHT(kg.)	TOTAL WEIGHT(kg.)	
						FOR 330 mm.	STANDARD PART
3.7	2SET	Y-BEARING (SQUARE TYPE)		SS400	--	--	--
3.6	1SET	BLADE UNIT		SS400	--	--	--
3.5	1SET	FEED OUTLET UNIT		SS400	--	--	--
3.4	1EA	TROUGH	2t	SS400	--	--	--
3.3	1EA	COVER CASING	2t	SS400	0.4	--	--
3.2	1EA	TAIL COVER	2t	SS400	0.5	--	--
3.1	1SET	INLET COVER	--	SS400	3.5	--	--

Item ref	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc		Article No./Reference	
Drawn by T.Jelkrit		Checked by T.Kinnopot	Approved by J.Jarruwat	Filename	Date
SCREW CONVEYOR UNIT					
				Page No AS	Revision 0

FSA-011