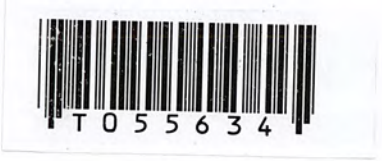
สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องพ่นทราย



นายฐปน เกษมพรมณี
นายสุวรรณ สาระเดช

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลขหมู่
เลขทะเบียน 55634
วัน,เดือน,ปี 20 มิ.ย. 2548

SAND BLASTING MACHINE

MR.THAPANA KASEMPORNMANEE

MR.SUWAN SARADET

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF ENGINEERING IN INDUSTRIAL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

หัวข้อปริญญานิพนธ์	เครื่องพ่นทราย SAND BLASTING MACHINE	
นักศึกษา	นายฐปน เกษมพรมณี	รหัสประจำตัว 44015732
	นายสุวรรณ สาระเดช	รหัสประจำตัว 44015763
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์		

(อ.พลชัย โชติปรายนกุล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	เครื่องพ่นทราย
นักศึกษา	นาย ฐปน เกษมพรมณี
	นาย สุวรรณ สาระเดช
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา	2546
อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	อ.พลชัย โชติปรายกุล

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ ฉบับนี้เป็นการศึกษา การออกแบบและการสร้างเครื่องพ่นทรายที่สามารถใช้งานได้จริง โดยมีการ ออกแบบตัวโครงเครื่อง ซึ่งหลักการทำงานของเครื่องพ่นทรายคือ การใช้หลักการของนิวแมติกส์(Pneumatic) เป็นตัวขนถ่ายทรายในการพ่นชิ้นงาน (หลักการขัดผิวโลหะ) ชนิดของทรายที่มีความแข็งโดยใช้ เป็นทรายซิลิกอนคาร์ไบด์ มีความแข็ง 9-10 MOH scale มีขนาดความละเอียดของเม็ดทราย 250 ไมโครเมตร เป็นตัวขัดผิวชิ้นงานให้ได้ตามแบบที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Sand Blasting Machine
Student	Mr. Thapana Kasempornmanee
	Mr. Suwan Sarsadet
Degree	Bachelor of Engineering in Industrial Engineering
	King Mongkut's Institute of Technology Lankrabang
Academic Year	2003
Thesis Advisor	Mr. Ponlachai Chotipraynakul

ABSTRACT

This thesis is the study of design and construction of sand blaster machine by using ergonomics concept. The pneumatic concept is used to transport the 250 μm siliconcarbide sand which has 9-10 MOH scale hardness.

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างดีด้วยความอนุเคราะห์จากอาจารย์ทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ โดยเฉพาะอย่างยิ่งความเมตาให้คำปรึกษาจากอาจารย์พลชัย โชติปรายนกุลและดูแลตลอดทั้งโครงงาน อาจารย์ ดร.สรรพสิทธิ์ ลิ่มนรรัตน์ที่กรุณาคอยเอาใจใส่ตลอดเวลาพร้อมทั้งให้คำปรึกษาการทำงานด้านเอกสารและการนำเสนอโครงงาน

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ที่คอยเป็นกำลังใจและให้การสนับสนุนเสมอมา

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ และผู้เกี่ยวข้อง

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ขอขอบคุณเพื่อนๆ และรุ่นน้องทุกคนที่ให้กำลังใจเสมอมา

ฐปน เกษมพรมณี

สุวรรณ สาระเดช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ก

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ข

กิตติกรรมประกาศ ..... ค

สารบัญ ..... ง

สารบัญตาราง ..... ช

สารบัญรูปภาพ ..... ฌ

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของโครงงาน 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการทำโครงงาน 1

1.3 ขอบเขตของโครงงาน 1

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 1

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีของระบบนิวแมติกส์ 2

2.1.1 คอมเพรสเซอร์ 2

2.1.1.1 คอมเพรสเซอร์แบบลูกสูบ 2

2.1.1.2 คอมเพรสเซอร์แบบไดอะแฟรม 3

2.1.1.3 คอมเพรสเซอร์แบบใบพัดพัดเลื่อน 3

2.1.1.4 คอมเพรสเซอร์แบบสกรู 4

2.1.1.5 คอมเพรสเซอร์แบบใบพัดหมุน 4

2.1.1.6 คอมเพรสเซอร์แบบกังหัน 4

2.1.2 การควบคุมคอมเพรสเซอร์ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

2.1.2.1 การควบคุมแบบ Stop-Start หรือ On-Off 5
2.1.2.2 การควบคุมแบบ Unloading Regulator..... 5
2.1.3 ถังเก็บลมอัด (Compressor Air Receiver) 5
2.1.4 การติดตั้งท่อส่งลมอัด (Installation of Pipeline) 6
2.1.5 การกำหนดขนาดท่อลม (Determination of Pipeline) 6
2.1.6 การเลือกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ (Choosing the Diameter)..... 7
2.1.7 การเตรียมลมอัด (Preparation of Compressed Air) 8
2.1.8 ตัวควบคุมความดันลมอัด (Compressor Air Regulator) 8
2.1.9 เกจความดัน (Pressure Gauge)..... 9
2.1.10 ชุดควบคุมและปรับปรุงคุณภาพลมอัด..... 10
2.1.11 การเลือกชุดควบคุมและปรับปรุงคุณภาพลมอัด..... 11
2.1.11.1 ปริมาณการใช้ลมอัด..... 11
2.1.11.2 แรงดันลม..... 11
2.1.12 ข้อต่อลมแบบจับยึดรวดเร็ว(Quick fitting)..... 11
2.2 ทฤษฎีชนิดและคุณสมบัติของทรายที่ใช้ในงานขัดผิวชิ้นงาน..... 11
2.3 หลักการกรองฝุ่นออกจากอากาศ..... 13
2.3.1 คุณสมบัติของถุงกรอง..... 13
2.3.2 ชนิดและขนาดถุงกรอง..... 13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทที่ 3 แผนการดำเนินงาน

3.1 การวางแผนการดำเนินงาน 14
3.1.1 ภาคการศึกษาแรก 14
3.1.2 ภาคการศึกษาที่สอง 15
3.2 การออกแบบและส่วนประกอบโครงเครื่องพ่นทราย 16
3.2.1 ประตูปิด-เปิดด้านหน้า 16
3.2.2 แผ่นกระจก 17
3.2.3 ตัวรับประตูปิด-เปิดด้านหน้า 17
3.2.4 แผ่นเหล็กปิดด้านข้าง 18
3.2.5 แผ่นเหล็กปิดด้านหลัง 18
3.2.6 แผ่นเหล็กปิดด้านบน 19
3.2.7 แผ่นเหล็กปิดด้านหน้า 19
3.2.8 แหวนยึดถุงมือ 20
3.2.9 แผ่นเหล็กตะแกรง 20
3.2.10 โครงรับตะแกรง 21
3.2.11 ถังบรรจุทราย 22
3.2.12 กล่องกรองฝุ่น 23
3.2.13 การประกอบตัวเครื่องพ่นทราย 24
3.2.14 ปืนพ่นทราย 24
3.3 แผนการทดสอบ 25

บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน

4.1 ผลการดำเนินงานการสร้างเครื่องผลทราย 26
4.2 ผลการดำเนินการทดลองการพ่นทราย 28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

4.2.1 รายละเอียดการทดลองพ่นทรายชิ้นงานทดลอง 28

4.2.1.1 ชิ้นงานทดลองพลาสติก 28

4.2.1.2 ชิ้นงานทดลองเหล็ก 30

4.2.1.3 ชิ้นงานทดลองอลูมิเนียม 32

4.2.1.4 ผลค่าความหยาบผิวชิ้นงานทดลองพ่นทราย 34

4.3 การพ่นทรายชิ้นงานตัวอย่าง 36

บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงานและอภิปรายผล

5.1 สรุปและวิเคราะห์ผลการดำเนินงาน 39

5.2 ปัญหาและข้อบกพร่องของเครื่องพ่นทราย 39

5.3 แนวทางในการพัฒนาและปรับปรุง 39

บรรณานุกรม 40

ภาคผนวก ผ1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ค่าเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ 8
ตารางที่ 2.2 ขนาดความละเอียดของเม็ดทราย 12
ตารางที่ 2.3 ค่าความเร็วลม 13
ตารางที่ 4.1 ค่าความหยาบผิวชิ้นงานทดสอบก่อนพ่นทราย 35
ตารางที่ 4.2 ค่าความหยาบผิวชิ้นงานทดสอบการพ่นทราย 35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 เครื่องอัดลมแบบลูกสูบชัก 2
รูปที่ 2.2 ลูกสูบแบบไดอะแฟรม 3
รูปที่ 2.3 คอมเพรสเซอร์แบบใบพัดพัดเลื่อน 3
รูปที่ 2.4 คอมเพรสเซอร์แบบสกรู 4
รูปที่ 2.5 คอมเพรสเซอร์แบบใบพัดหมุน 4
รูปที่ 2.6 คอมเพรสเซอร์แบบกังหัน 5
รูปที่ 2.7 ถังเก็บลมอัด 6
รูปที่ 2.8 การวางท่อหลัก 7
รูปที่ 2.9 ตัวควบคุมความดันลมอัด 9
รูปที่2.10 สัญลักษณ์เกจวัดความดัน 10
รูปที่2.11 ควบคุมและปรับปรุงคุณภาพลมอัด 10
รูปที่2.12 ทรายซิลิกอนคาร์ไบด์ 12
รูปที่ 3.1 การออกแบบและเขียนแบบเครื่องพ่นทราย 14
รูปที่ 3.2 การทำและประกอบชิ้นส่วนเครื่องพ่นทราย 15
รูปที่ 3.3 ประตูเครื่องพ่นทราย 16
รูปที่ 3.4 แผ่นกระจกประตูเครื่องพ่นทราย 17
รูปที่ 3.5 ตัวรับประตูเครื่องพ่นทราย 17
รูปที่ 3.6 แผ่นเหล็กปิดด้านข้าง 18
รูปที่ 3.7 แผ่นเหล็กปิดด้านหลัง 18
รูปที่ 3.8 แผ่นเหล็กปิดด้านบน 19
รูปที่ 3.9 แผ่นเหล็กปิดด้านหน้า 19
รูปที่3.10 แหวนยึดถุงมือ 20
รูปที่3.11 แผ่นเหล็กตะแกรง 20
รูปที่3.12 โครงรับตะแกรง 21
รูปที่3.13 ถังบรรจุทราย 22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่3.14 กล่องกรองฝุ่น 23
รูปที่3.15 เครื่องพ่นทราย 24
รูปที่3.16 ปืนพ่นทราย 24
รูปที่ 4.1 ด้านหน้าเครื่องพ่นทราย 26
รูปที่ 4.2 ด้านข้างเครื่องพ่นทราย 27
รูปที่ 4.3 ขณะปฏิบัติงาน 27
รูปที่4.4(a) ชิ้นงานพลาสติกผ่านการทดลองพ่นทราย 28
รูปที่4.4(b) ชิ้นงานพลาสติกผ่านการทดลองพ่นทราย 29
รูปที่4.4(c) ชิ้นงานพลาสติกผ่านการทดลองพ่นทราย 29
รูปที่4.4(d) ชิ้นงานพลาสติกผ่านการทดลองพ่นทราย 30
รูปที่4.5(a) ชิ้นงานเหล็กผ่านการทดลองพ่นทราย 30
รูปที่4.5(b) ชิ้นงานเหล็กผ่านการทดลองพ่นทราย 31
รูปที่4.5(c) ชิ้นงานเหล็กผ่านการทดลองพ่นทราย 31
รูปที่4.5(d) ชิ้นงานเหล็กผ่านการทดลองพ่นทราย 32
รูปที่4.6(a) ชิ้นงานอลูมิเนียมผ่านการทดลองพ่นทราย 32
รูปที่4.6(b) ชิ้นงานอลูมิเนียมผ่านการทดลองพ่นทราย 33
รูปที่4.6(c) ชิ้นงานอลูมิเนียมผ่านการทดลองพ่นทราย 33
รูปที่4.6(d) ชิ้นงานอลูมิเนียมผ่านการทดลองพ่นทราย 34
รูปที่ 4.7 ชิ้นงานก่อนทำการพ่นทราย 36
รูปที่ 4.8 ชิ้นงานหลังทำการพ่นทราย 36
รูปที่ 4.9 ชิ้นงานหลังทำการพ่นทราย 37
รูปที่4.10 ชิ้นงานก่อนทำการพ่นทราย 37
รูปที่4.11 ชิ้นงานหลังทำการพ่นทราย 38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของโครงงาน

ในปัจจุบันการผลิตสินค้าและการเพิ่มมูลค่าสินค้าเป็นสิ่งที่สำคัญต่อระบบการผลิตทางอุตสาหกรรม ดังนั้นแนวความคิดในการสร้างเครื่องพ่นทราย ที่มีความสามารถในการทำลวดลายหรือรูปแบบบนผิวชิ้นงานเช่น แก้ว กระจก โลหะและยังสามารถทำการขัดผิวชิ้นงานหรือชิ้นส่วนเครื่องจักรที่เกิดสนิมให้เรียบจึงเป็นหัวข้อของการศึกษาครั้งนี้ โดยได้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาการออกแบบและการสร้างเครื่องพ่นทรายที่สามารถใช้งานได้จริง โดยหลักการทำงานของระบบนิวแมติกส์ (Pneumatic) เป็นตัวขนถ่ายทรายในการพ่นชิ้นงาน เพื่อการขัดผิวโลหะหรือวัสดุแข็งให้เกิดลายที่ผิว โดยชนิดของทรายที่มีความแข็งเป็นทรายซิลิกอนคาร์ไบด์ มีความแข็ง 9-10 MOH scale หรือมีขนาดความละเอียดของเม็ดทราย 250 ไมโครเมตร เป็นตัวขัดผิวชิ้นงานให้ได้ตามแบบที่ต้องการ

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

วัตถุประสงค์ของโครงงานนี้ ได้แก่

1. เพื่อศึกษาการทำงานของเครื่องพ่นทรายและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง
2. เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องพ่นทราย

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

โครงงานนี้เป็นการสร้างเครื่องพ่นทราย ในขนาดช่องว่างชิ้นงานขนาด 450 × 500 มิลลิเมตร โดยใช้ปืนพ่นทรายขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร ช่องใส่ปลอกถุงมือขนาด 200 มิลลิเมตร และทรายขนาด 250 ไมโครเมตรเป็นทรายซิลิกอนคาร์ไบด์ ระบบมีการกรองฝุ่นด้วยผ้ากรองชนิด PE/PE550 ความหนา 1.9 มิลลิเมตร น้ำหนัก 500 กรัมต่อตารางเมตร ความหนาแน่น 0.29 กรัมต่อลูกบาศก์เมตรและความสามารถในการระบายอากาศ 120-168 ลิตรต่อตารางเดซิเมตร

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ประโยชน์ที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้คือการสร้างเครื่องพ่นทรายที่มีประสิทธิภาพในการทำงานได้จริงและเป็นต้นแบบของการทำงานอย่างเป็นระบบ อีกทั้งได้นำความรู้ที่ได้ศึกษามาประยุกต์ในการปฏิบัติงานและได้ค้นคว้าหาความรู้ในด้านการออกแบบเครื่องมือกล ระบบลม และการระบายอากาศ พร้อมทั้งการจัดสร้างเครื่องให้ทำงานตามขอบเขตที่กำหนดได้และเป็นแนวทางสำหรับพัฒนา กระบวนการงานขัดผิวด้วยการพ่นทรายต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีของระบบนิวแมติกส์

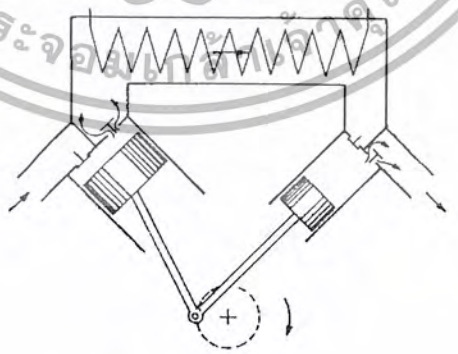
2.1.1 คอมเพรสเซอร์

คอมเพรสเซอร์มีหน้าที่อัดอากาศจากความดันปกติ (ความดันบรรยากาศ) ให้มีความดันสูงขึ้นตามความต้องการ การเลือกใช้คอมเพรสเซอร์ชนิดต่างๆจะขึ้นอยู่กับลักษณะงาน และจะต้องพิจารณาถึงความดันที่ใช้งานและปริมาณการจ่ายลมด้วย โดยทั่วไปคอมเพรสเซอร์มี 6 ประเภทได้แก่

1. คอมเพรสเซอร์แบบลูกสูบ (Piston Compressors)
2. คอมเพรสเซอร์แบบไดอะแฟรม (Diaphragm Compressor or Membrane Compressor)
3. คอมเพรสเซอร์แบบใบพัดพัดเลื่อน (Sliding Vane Rotary Compressor)
4. คอมเพรสเซอร์แบบสกรู (Screw Compressor)
5. คอมเพรสเซอร์แบบใบพัดหมุน (Roots Compressor)
6. คอมเพรสเซอร์แบบกังหัน (Turbo Compressor or Flow Compressor)

รายละเอียดของแต่ละประเภท มีดังต่อไปนี้

2.1.1.1 คอมเพรสเซอร์แบบลูกสูบ (Piston Compressors) จากรูปที่ 2.1 คอมเพรสเซอร์ประเภทลูกสูบมีทั้งแบบลูกสูบชัก (Reciprocating piston) และแบบลูกสูบหมุน (Rotary piston) ในปัจจุบันนี้นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางเพราะนี้เหมาะสำหรับความดันต่ำ ความดันปานกลาง และความดันสูงด้วยอัตราการจ่ายลมที่สามารถทำได้ตั้งแต่ 2-3 ลิตรต่อนาที จนถึง 500 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที



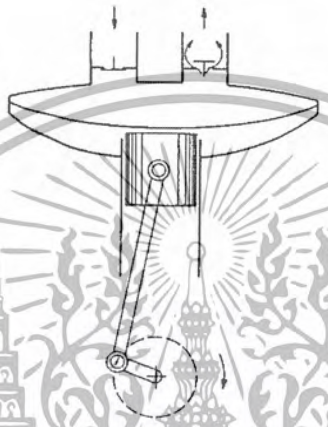
รูปที่ 2.1 เครื่องอัดลมแบบลูกสูบชัก

ถ้าต้องการความดันสูงๆควรจะเลือกใช้คอมเพรสเซอร์ลูกสูบชักแบบชักหลายขั้น(Multistage Compressor) อากาศจะถูกอัดโดยลูกสูบแรก และมีการหล่อเย็นภายในก่อนจะถูกอัดใหม่ในขั้นต่อไป จำนวนขั้นของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

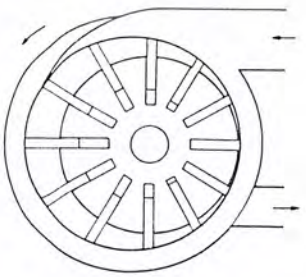
การอัดขึ้นอยู่กับความดันสุกท้ายที่ต้องการ ช่วงความดันที่เหมาะสมสำหรับคอมเพรสเซอร์ชนิดนี้คือความแข็งแรงของวัสดุให้สามารถรับความดันสูงๆได้

2.1.1.2 คอมเพรสเซอร์แบบไดอะแฟรม (Diaphragm Compressor or Membrane Compressor) คอมเพรสเซอร์ชนิดนี้จัดอยู่ในประเภทลูกสูบชักเช่นเดียวกัน แต่ห้องอัดอากาศกับลูกสูบจะถูกกั้นโดยแผ่นไดอะแฟรม ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ลมอัดจะสะอาดปราศจากน้ำมัน คอมเพรสเซอร์ชนิดนี้ส่วนใหญ่เหมาะสำหรับใช้ในโรงงานประเภทผลิตอาหารเคมีภัณฑ์และยารักษาโรค



รูปที่ 2.2 ลูกสูบแบบไดอะแฟรม

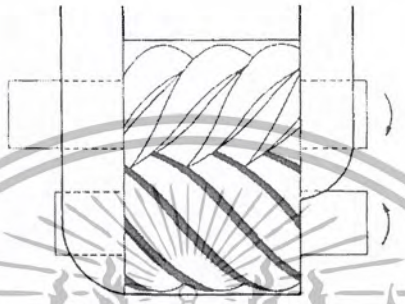
2.1.1.3 คอมเพรสเซอร์แบบใบพัดพัดเลื่อน (Sliding Vane Rotary Compressor) จากรูปที่ 2.3 คอมเพรสเซอร์ชนิดนี้จะมีตัวใบพัดเลื่อนขึ้นลงอยู่กับชุดตัวหมุน (Rotor) และวางเยื้องศูนย์อยู่กับเรือนสูบเมื่อชุดตัวหมุนเริ่มทำงาน ตัวใบพัดเลื่อนจะสามารถเลื่อนขึ้นลงอยู่ในร่องของตัวหมุน โดยปลายอีกด้านจะสัมผัสกับตัวเรือน ทำให้สามารถกวาดดูดอากาศจากด้านหนึ่งออกไปสู่อีกด้านหนึ่งได้ ปัจจุบันเริ่มนิยมใช้คอมเพรสเซอร์ชนิดนี้มากขึ้นข้อดีของคอมเพรสเซอร์ชนิดนี้ก็คือหมุนได้เรียบและไม่มีเสียงดัง การผลิตส่งลมอัดที่ไม่ห้วงๆเหมือนแบบลูกสูบชัก อัตราการจ่ายลมสามารถทำได้ตั้งแต่ 4-100 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที ความดันที่ทำได้หลายชนิดอัดขั้นเดียว 7บาร์ และชนิดอัดสองขั้น (Two Stage) ให้ความดันได้ถึง 10บาร์



รูปที่ 2.3 คอมเพรสเซอร์แบบใบพัดพัดเลื่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1.4 คอมเพรสเซอร์แบบสกรู (Screw Compressor) คอมเพรสเซอร์ชนิดนี้จะมีเพลาอยู่ 2แกนเพลาตัวหนึ่งจะมีสกรูซึ่งมีสันฟันนูนและเพลาอีกตัวจะมีสกรูที่มีสันฟันเว้า สกรูที่สองจะประกอบอยู่ภายในเรือนเดียวกันและวางขบกันอยู่ มีทิศทางการหมุนเข้าหากัน ซึ่งทำให้สามารถดูดอัดลมจากด้านหนึ่งไปสู่อีกด้านหนึ่งได้ อัตราการจ่ายลมสามารถผลิตได้ถึง 170ลูกบาศก์ต่อนาที และสร้างความดันได้ถึง 10บาร์ดังแสดงในรูปที่ 2.4



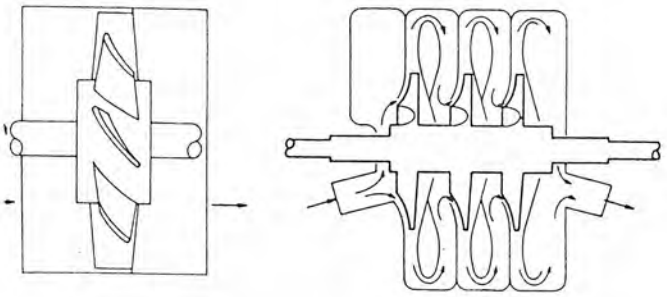
รูปที่ 2.4 คอมเพรสเซอร์แบบสกรู

2.1.1.5 คอมเพรสเซอร์แบบใบพัดหมุน (Roots Compressor) จากรูปที่ 2.5 คอมเพรสเซอร์ชนิดนี้ อากาศดูดจากด้านหนึ่งไปสู่ด้านหนึ่งโดยไม่ถูกเปลี่ยนแปลงปริมาตรนั่นคือ อากาศไม่ถูกอัดขณะถูกดูดจากด้านหนึ่งไปสู่อีกด้านหนึ่ง แต่อากาศจะถูกอัดตัวต้านกับความต้านทานที่เกิดขึ้นอีกด้านหนึ่ง ซึ่งหมายถึง อากาศที่ถูกอัดเก็บอยู่ภายในถังเก็บนั่นเอง

รูปที่ 2.5 คอมเพรสเซอร์แบบใบพัดหมุน

2.1.1.6 คอมเพรสเซอร์แบบกังหัน (Turbo Compressor or Flow Compressor) คอมเพรสเซอร์ชนิดนี้ใช้หลักการของกังหันใบพัด ซึ่งความเร็วของลมดูดไหลผ่านใบกังหันจะถูกเปลี่ยนจากพลังงานจลน์เป็นพลังงานลมอัด คอมเพรสเซอร์ชนิดนี้สามารถผลิตอัตราการจ่ายลมได้ตั้งแต่ 170 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีถึง 20000 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที ความต้องการที่สามารถทำได้ไม่สูงนักประมาณ 4-10 บาร์ดังแสดงในรูปที่ 2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 คอมเพรสเซอร์แบบถังหัน

2.1.2 การควบคุมคอมเพรสเซอร์ (Regulating of the Compressor)

การควบคุมความดันที่คอมเพรสเซอร์ผลิตลมอัดให้กับถังเก็บลม จำเป็นต้องใช้ตัวควบคุม (Regulator) การควบคุมทำได้หลายแบบ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของคอมเพรสเซอร์ คอมเพรสเซอร์ขนาดเล็กๆตามปกติจะใช้ตัวควบคุมแบบ stop-start หรือ On-Off ส่วนคอมเพรสเซอร์มีขนาดใหญ่ๆจะนิยมใช้ตัวควบคุมแบบ Unloading Regulator

รายละเอียดของแต่ละแบบ มีดังต่อไปนี้

2.1.2.1 การควบคุมแบบ Stop-Start หรือ On-Off การควบคุมแบบนี้มอเตอร์ของ คอมเพรสเซอร์จะถูกควบคุมให้เปิดหรือปิดตามความดันของลมอัดที่ได้ตั้งไว้ที่ถังเก็บลม คือเมื่อความดันสูงถึงจุดที่ตั้งไว้มอเตอร์ก็จะถูกตัดไฟและหยุดหมุนถ้าความดันภายในถังลมอัดลดลงจนถึงจุดต่ำสุดตามที่ตั้งไว้ มอเตอร์ก็จะเริ่มทำงานอีกช่วงระยะเวลาเปิดและปิดของมอเตอร์นี้ขึ้นอยู่กับขนาดของถังเก็บลมและปริมาณลม ถ้าปริมาณการใช้ลมมากและถังเก็บลมมีขนาดเล็กช่วงเวลาการเปิด และ ปิดของมอเตอร์ก็จะสั้นและถี่มาก ทำให้สิ้นเปลืองพลังงาน ไฟฟ้ามากเพราะการเริ่มทำงานของมอเตอร์ในแต่ล่ะครั้งจะต้องใช้กระแสไฟฟ้าสูงกว่าขณะวิ่งปกติ ถ้าเป็นคอมเพรสเซอร์ชนิดใหญ่ๆ ซึ่งต้องใช้มอเตอร์ขับขนาดใหญ่ก็ต้องใช้กระแสไฟฟ้ามากขึ้น ฉะนั้น การควบคุมวิธีนี้จึงเหมาะสม

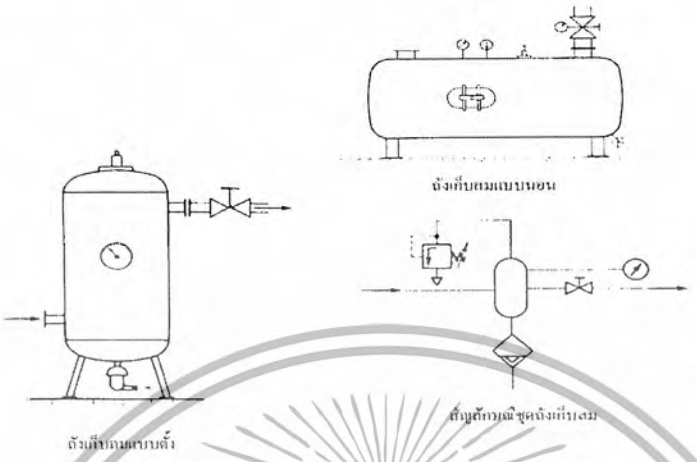
2.1.2.2 การควบคุมแบบ Unloading Regulator การควบคุมวิธีนี้เหมาะสำหรับคอมเพรสเซอร์ขนาดใหญ่ หลักการควบคุมความดันของลมอัดเช่นเดียวกันแต่จะผิดจากแบบ On-off ก็ตรงที่เมื่อความดันสูงถึงจุดที่กำหนดไว้ มอเตอร์จะไม่ถูกตัดวงจรไฟฟ้าให้หยุดหมุน แต่ยังคงหมุนอยู่ต่อไปโดยไม่มีภาระการทำงาน (Load) คือจะหมุนตัวเปล่าโดยไม่อัดลม

2.1.3 ถังเก็บลมอัด (Compressor Air Receiver)

รูปที่ 2.7 ถังเก็บลมอัดเป็นอุปกรณ์ที่ช่วยทำให้การจ่ายที่สม่ำเสมอ นอกจากนี้ยังช่วยทำให้มีปริมาณลมเพียงพอจ่ายไปสู่สายการผลิตทั้งวงจร และลมอัดยังสามารถระบายความร้อนให้กับพื้นผิวของถังเก็บลมซึ่งมีขนาดใหญ่ได้ด้วยดังนั้นไอน้ำที่มากับลมบางส่วนจะถูกกลั่นตัวเป็นหยดน้ำอยู่ภายในถังลมอัดนี้ นอกจากนี้ถังเก็บลมยังจำเป็นต้องมีลิ้นควบคุมความปลอดภัย (Safety Valve) เพื่อระบายความดันที่เกินออกสู่บรรยากาศได้ ลิ้นระบายน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่กลั่นตัวและเกจวัดความดันก็จำเป็นที่จะต้องติดตั้งอยู่ที่ถังเก็บลมอัดด้วย และท่อทางระหว่างคอมเพรสเซอร์มายังถังเก็บลมอัดควรจะมีลิ้นกลับติดอยู่ด้วย



รูปที่ 2.7 ถังเก็บลมอัด

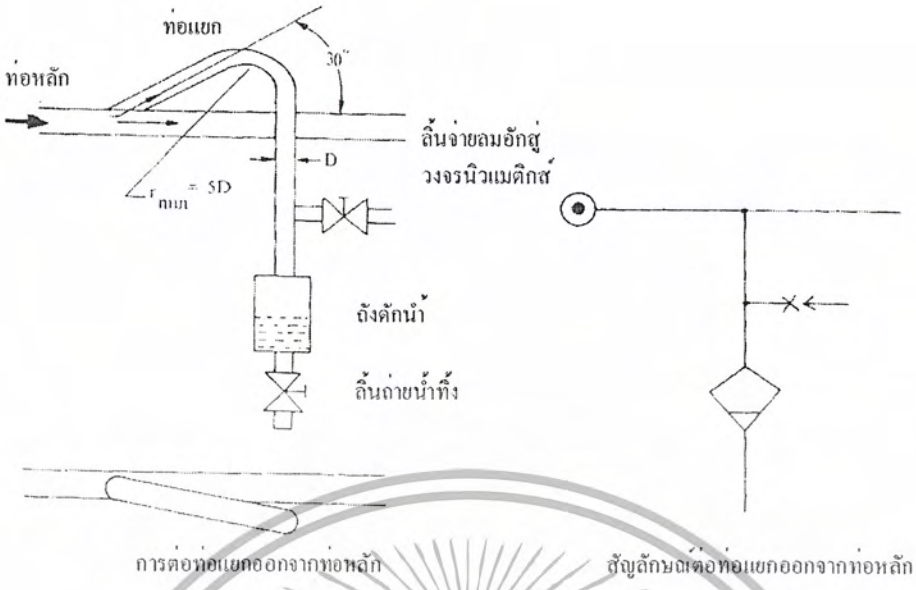
2.1.4 การติดตั้งท่อส่งลมอัด (Installation of Pipeline)

การวางท่อตามแนวนอนควรจะวางให้มีมุมลาดเอียงประมาณ 1-2 เปอร์เซ็นต์ และที่จุดปลายต่ำสุดของท่อควรจะติดวาล์วสำหรับระบายน้ำที่อาจตกค้างภายในท่อนี้ได้ ดังรูปท่อซึ่งต่อแยกออกจากท่อหลักควรต่อขึ้นทางด้านบนและงอโค้งลงมา ทั้งนี้เพื่อป้องกันน้ำกลั่นตัวที่มากับกระแสลมอัดไหลเข้าสู่อุปกรณ์นิวแมติกส์ โดยท่อซึ่งใช้ต่อภายในวงจรนิวแมติกส์เชื่อม โยงระหว่างอุปกรณ์ต่างๆเช่นวาล์วลูกสูบนิยมใช้ท่อพลาสติกอ่อน ข้อดีคือได้ต่อง่าย สะดวก ราคาถูก และบำรุงรักษาง่าย สำหรับจุดที่ต้องเคลื่อนไหวบ่อยๆ ควรจะใช้ท่อยาง ท่อพลาสติกอ่อน และข้อต่อแบบใหม่นี้เป็นท่อต่อที่ราคาถูก และต่อได้ง่ายรวดเร็วที่สุดในระบบนิวแมติกส์

2.1.5 การกำหนดขนาดท่อลม (Determination of Pipeline)

จากรูปที่ 2.8 แสดงถึงการวางท่อหลักลมอัดใหม่จะต้องพิจารณาถึงขนาดของท่อและปริมารการใช้ลม และเมื่อมีอัตราการใช้ลมภายในวงจรเต็มที่ ค่าความดันตกคร่อม (Pressure Drop) ไม่ควรมีค่าเกิน 5 เปอร์เซ็นต์ ในการเลือกใช้ท่อให้มีขนาดใหญ่ๆ พอเพียงกับความต้องการ ในตอนแรกๆถึงแม้ว่าจะมีการเพิ่มปริมาณการใช้ลมมากก็จะทำให้ประหยัดค่าใช่จ่ายมากกว่าที่จะต้องเปลี่ยนขนาดของท่อใหม่ทั้งหมดในภายหลัง นอกจากนี้ลมอัดจะสูญเสียพลังจากแรงเสียดทานถ้าใช้ท่อซึ่งมีขนาดเล็กเกิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 การวางท่อหลัก

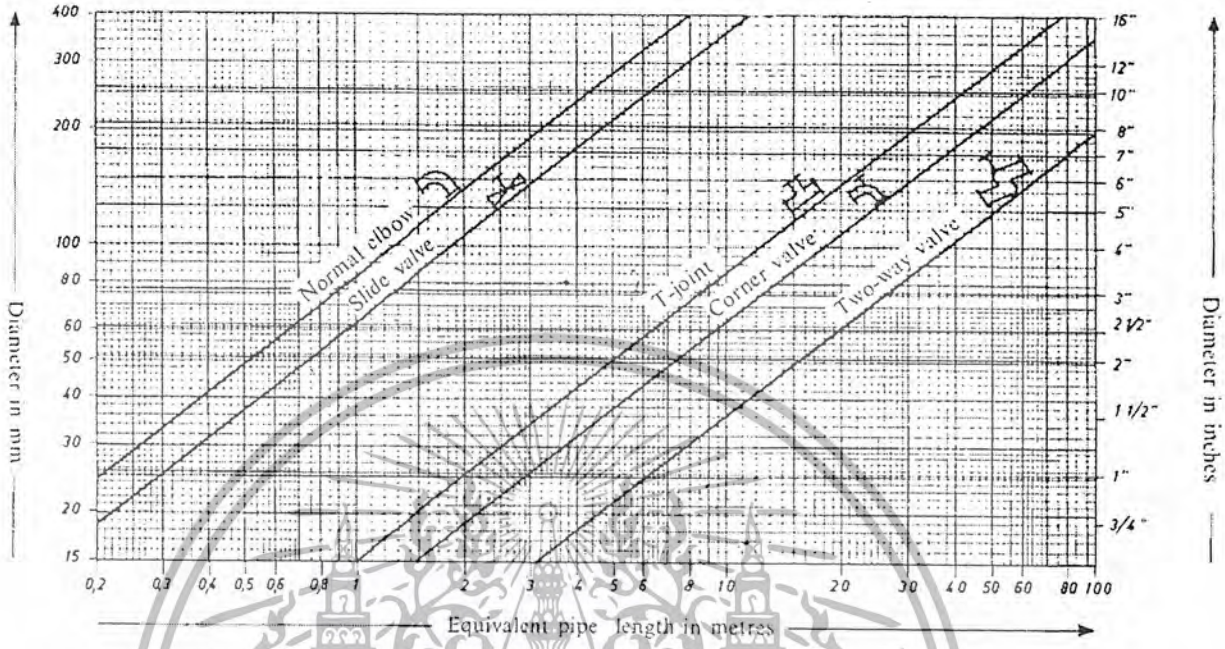
2.1.6 การเลือกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ (Choosing the Diameter)

การเลือกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อดังแสดงในตาราง 2.1 ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบต่างๆ ต่อไปนี้

1. ปริมาณการใช้ลมอัด (ลูกบาศก์เมตรต่อนาที)
2. ความยาวรวมของท่อทั้งหมด(เมตร)
3. ค่าความดันตกคร่อมที่อนุญาต(บาร์)
4. ค่าความดันใช้งาน(บาร์)
5. จำนวนวาล์วข้องอ ข้อต่อแบบต่างๆตลอดแนวท่อที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ



ตารางสำหรับหาการเปลี่ยนแปลงความดันลดเมื่อมีการหักงอของทางน้ำ ข้อต่อ และข้องอแบบต่างๆเป็นความยาวท่อ

2.1.7 การเตรียมลมอัด (Preparation of Compressed Air)

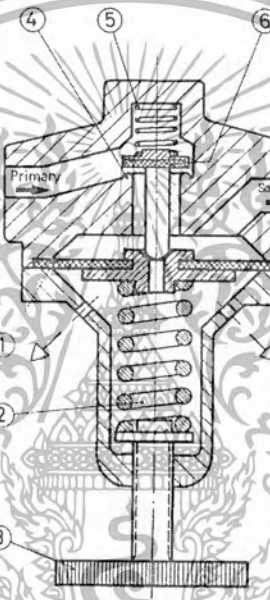
ตามปกติลมอัดจะมีความชื้นและละอองน้ำที่กลั่นตัวปะปน ซึ่งละอองน้ำจะมีผลทำให้ท่อข้อต่อวาล์ว และกระบอกสูบภายในอุปกรณ์ต่างๆ (เช่น ฝุ่นผง สนิมท่อ น้ำมันมันสกปรกจากคอมเพรสเซอร์ ฯลฯ)มีผลทำให้อุปกรณ์ที่เคลื่อนที่เสียดสีในระบบนิวแมติกส์เกิดการสึกหรอได้ง่ายและอายุการใช้งานของซีลกันรั่วและอุปกรณ์ต่างๆจะสั้นลงเป็นเหตุให้การทำงานของวงจรนิวแมติกส์ไม่ปกติ และอุปกรณ์ต่างๆเสียหายชำรุด เนื่องจากคอมเพรสเซอร์จะทำงานเป็นช่วงๆ จึงมีผลทำให้ความดันของลมอัดภายในถังเก็บมีค่าเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่างค่าสูงสุดและต่ำสุดระหว่าง 6-8 บาร์ความดันที่เปลี่ยนแปลงนี้มีผลต่อการควบคุมความเร็วของลูกสูบและกำลังของลูกสูบด้วย ของเสียต่างๆที่กล่าวมานี้มีผลทำให้การทำงานอุปกรณ์ต่างๆ ในวงจรนิวแมติกส์ไม่ปลอดภัยและไม่สมบูรณ์ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องเตรียมลมอัดให้มีคุณสมบัติตามต้องการก่อนที่จะนำไปใช้งานทางด้านนิวแมติกส์ เพื่อเป็นการลดความฝืดและการสึกหรอของอุปกรณ์ที่ขัดสีกัน รวมทั้งช่วยป้องกันการเกิดสนิม ลมอัดจึงจำเป็นต้องมีละอองน้ำมันหล่อลื่นอยู่ด้วย จากสาเหตุต่างๆเหล่านี้เหล่านี้ จึงความจำเป็นจะต้องมีชุดควบคุมและปรับปรุงคุณของลมอัดก่อนนำไปใช้งานในวงจรนิวแมติกส์

2.1.8 ตัวควบคุมความดันลมอัด (Compressor Air Regulator)

จากรูปที่ 2.9 แสดงตัวควบคุมความดันลมอัดมีหน้าที่รักษาความดันใช้งาน(ด้านออก)ให้คงที่อยู่เสมอโดยไม่ขึ้นอยู่กับความดันที่เปลี่ยนแปลงขึ้นๆลงๆ ทางด้านต้นทาง(ด้านเข้า)และปริมาณการใช้ลมทางด้านปลายทางแต่มีข้อแม้ว่าความดันทางด้านต้อนทาง (Primary) จะต้องสูงกว่าความดันทางด้านปลายทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Secondary)เสมอโดยมีหลักการทำงาน คือความดันจะถูกควบคุมโดยแผ่นไดอะแฟรม (1) ความดันใช้งานด้านออกจะกดลงบนแผ่นไดอะแฟรมด้านบน ส่วนด้านล่างจะมีสปริง (2) ด้านอยู่ แรงดันสปริงสามารถตั้งให้มากหรือน้อยได้โดยสกรู (3) เมื่อความดันใช้งานสูงขึ้น แผ่นไดอะแฟรมจะเลื่อนลงด้านแรงสปริง ซึ่งมีผลทำให้พื้นที่หน้าตัดด้านลมออกของบ่าลิ้น (4)แคบลงหรือถูกปิดสนิท ทำให้ความดันด้านใช้งานถูกควบคุมโดยการควบคุมปริมาตรของลมที่ไหลผ่าน และถ้าความดันด้านใช้งานยังสูงกว่าที่ตั้งไว้ความดันบางส่วนจะถูกระบายออกทางรูระบายลม เมื่อลมอัดถูกใช้ออกไปมากทำให้ความดันใช้งานลดลงแรงสปริงทางตอนล่างของแผ่นไดอะแฟรมจะดันวาล์วให้สูงขึ้นจึงมีผลทำให้บ่าลิ้น (4) เปิดกว้างขึ้นปริมาตรของลมที่ไหลเข้ามาก็เพิ่มขึ้น การควบคุมความดันใช้งานนี้จึงขึ้นอยู่กับการเปิดปิดบ่าวาล์ว (4) นี้พื้นที่บริเวณเหนือแผ่นวาล์ว (6) สำหรับเป็นห้องลมหรือสปริงกันกระแทก (5) เพื่อป้องกันการสั่นของวาล์ว การอ่านค่าความดันใช้งานทำได้โดยการติดเกจวัดความดันทางด้านลมออก (Secondary)

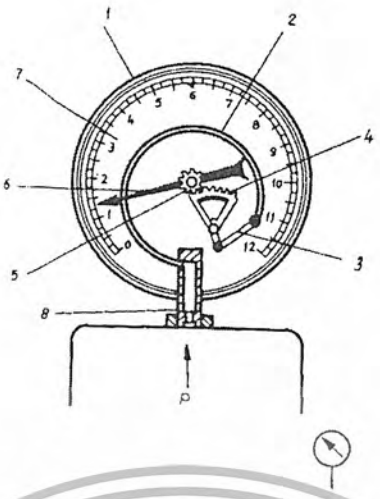


รูปที่ 2.9 ตัวควบคุมความดันลมอัด

2.1.9 เกจความดัน (Pressure Gauge)

เกจวัดความดันใช้สำหรับวัดความดันในงาจรนิวแมติกส์ ปกติจะติดตั้งอยู่ทางออกของตัวควบคุมความดันลมอัด (Compressed Air Regulator) เกจวัดความดันที่ใช้ในระบบนิวแมติกส์จะมีแบบสปริงแผ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

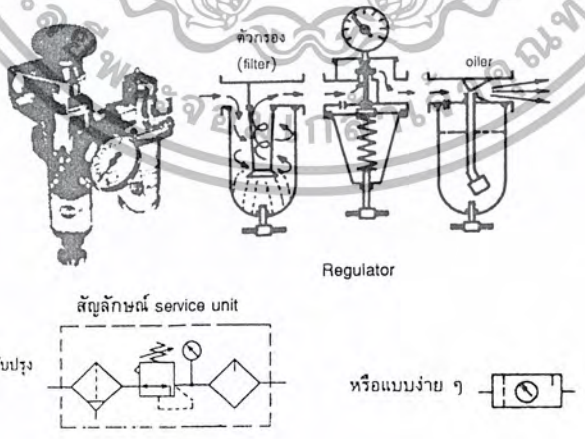


รูปที่ 2.10 สัญลักษณ์เกจวัดความดัน

จากรูปที่ 2.10 สปริงแผ่น (2) จะมีรูปร่างเป็นขดกลม และพื้นที่หน้าตัดเป็นสี่เหลี่ยมกลวง เมื่อปลายข้างหนึ่งยึดติดกับช่องที่ให้ความดันผ่านเข้ามาภายในขดสปริงได้ ความดันภายในขดสปริงก็จะพยายามดันให้ขดสปริงยืดตรง (สาเหตุเนื่องจากความแตกต่างของพื้นที่ของส่วนโค้งในและนอก) ส่วนปลายอีกด้านของขดสปริงจะยึดติดกับชุดเฟือง (3 4 และ 5) และเข็มชี้ (6) ซึ่งจะเป็นตัวแสดงการเคลื่อนไหวของสปริงขดหรือความดันภายในสปริงนั่นเอง

2.1.10 ชุดควบคุมและปรับปรุงคุณภาพลมอัด (Service Unit)

ประกอบด้วยหม้อกรองลมอัดด้วลวบคุมความดันลมพร้อมเกจวัดความดัน และตัวผสมละอองน้ำมันดังแสดงในรูปที่ 2.11 เป็นการศึกษาค้นคว้าข้อมูลสำหรับใช้ในการออกแบบโครงสร้าง ชิ้นส่วนประกอบของเครื่องพ่นทรายและใช้ในการคำนวณ เลือกวัสดุอุปกรณ์ที่เหมาะสมในการทำงาน



รูปที่ 2.11 ควบคุมและปรับปรุงคุณภาพลมอัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.11 การเลือกชุดในการเลือกควบคุมและปรับปรุงคุณภาพของลมอัด

การเลือกชุดในการเลือกควบคุมและปรับปรุงคุณภาพของลมอัดจะต้องพิจารณาสิ่งต่อไปนี้

2.1.11.1 ปริมาณการใช้ลมอัด การใช้ลมอัดทั้งหมดเป็นลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง จะเป็นค่าที่กำหนดขนาดของระบบลม ถ้าอัตราการใช้ลมสูงเกินไป ความต้องการตกคร่อม(Pressure drop) ก็จะสูงไปด้วย ถ้าใช้ระบบ ขนาดเล็กเกินไป ดังนั้นจึงต้องพิจารณาสังเกตขนาดของมันตามที่ผู้ผลิตกำหนดก่อนซื้อมาใช้งาน

2.1.11.2 แรงดันลม การใช้งานของลมอัดจะต้องไม่สูงเกินกว่าที่อุปกรณ์ได้กำหนดไว้ ตามปกติไม่เกิน 10 บาร์ ถ้าความต้องการที่สูงกว่านี้ต้องเลือกใช้อุปกรณ์ชนิดพิเศษ ปัจจัยอื่นที่สำคัญคืออุณหภูมิของอากาศในบริเวณที่ใช้งาน จะต้องไม่สูงเกินกว่า 323 K (50 ° C) (เป็นอุณหภูมิสูงสุดของชิ้นส่วนพลาสติกของอุปกรณ์ที่สามารถทนได้)

2.1.12 ข้อต่อลมแบบจับยึดรวดเร็ว(Quick fitting)

โดยที่ท่อลมหลักจะใช้ท่อลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางนอก 6 มิลลิเมตร และต่อแยกเข้าวาล์วด้วยท่อลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางนอก 4 มิลลิเมตร

2.2 ทฤษฎีชนิดและคุณสมบัติของทรายที่ใช้ในงานขัดผิวชิ้นงาน

ทรายที่ใช้ในการขัดผิวชิ้นงาน มีลักษณะและคุณสมบัติสรุปได้ดังนี้

ชนิด : ทรายซิลิกอนคาร์ไบด์ (Silicon Carbide) เบอร์60

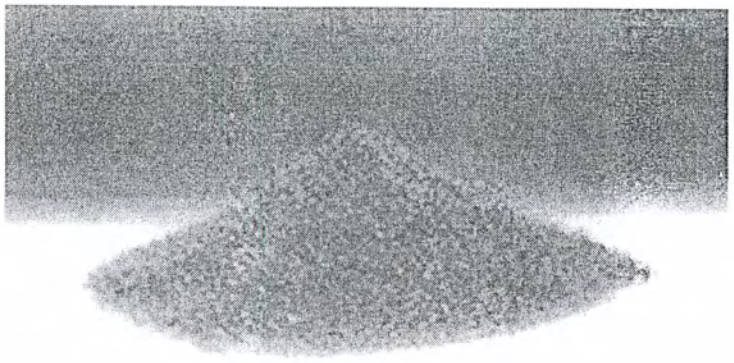
สัญลักษณ์ : SiC

คุณสมบัติทางกายภาพ : ความหนาแน่น 3.2 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
ความละเอียด 250 ไมโครเมตร
ความแข็ง 9- 10 MOH Scale (Rockwell RC)

คุณสมบัติ : เป็นสารที่สังเคราะห์ได้พร้อมๆกับอลูมิเนียม อ๊อกไซด์ที่มีความแข็งแต่เปราะ ทำงานได้อย่างรวดเร็ว ตัวสารมีความคมมากใช้แกะสลักกระจก, หินแกรนิตและงานที่ต้องการกัดเซาะลึกและใช้ทำความสะอาดผิวโลหะที่แข็ง หรือมีสนิมมาก ๆ ขนาดของเม็ดทรายจะแสดงด้วยตัวเลขซึ่งบอกถึงความละเอียดของเม็ดทรายตัวเลขน้อยจะแสดงถึงเม็ดทรายมีความละเอียดน้อย (หยาบ) ตัวเลขมากจะแสดงถึงเม็ดทรายมีความละเอียดมากดังแสดงในรูป 2.12

การใช้งาน : เหมาะสำหรับใช้ขัดชิ้นงานเช่น แก้ว โลหะที่ค่ามีความแข็งผิวสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 ทรายซิลิกอนคาร์ไบด์

ตารางที่ 2.2 แสดงขนาดความละเอียดของเม็ดทราย

เกรด (Mesh)	ขนาดความละเอียด (ไมโครเมตร)
30	600
36	480
40	425
46	326
60	250
80	180
90	150
100	150
120	125
150	100
180	83
220	68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 แสดงค่าความเร็วลม

ระดับขั้น	ชนิดตัวอย่าง	ความเร็วลม (m/s)
แก๊ส , ควัน , หมอก	แก๊สจากปฏิกิริยาเคมี , ควันจากการเชื่อม , ควันจากการเจียรนัย , ควันจากการตัด	≥ 7
ฝุ่น , ผงแห้งๆ	ฝุ่นไม้ยาง , ผงพลาสติก , ไฟเบอร์ , แป้งอาหาร , ฝุ่นกระดาษ , สีผง	≥ 12
ฝุ่นอุตสาหกรรม	ฝุ่นเจียรนัย , ทราย , โคลน , ซีเมนต์ , ผงโลหะ , ฝุ่นจากการหล่อ , ฝุ่นจากเตาหล่อ , ฝุ่นจากการขัดโลหะ	≥ 17

2.3 หลักการกรองฝุ่นออกจากอากาศ

2.3.1 คุณสมบัติของถุงกรอง

อนุภาคที่เล็กสุดที่แยกเก็บ ได้ 0.01 ไมโครเมตร อุณหภูมิใช้งานสูงสุด 250 $^{\circ}$ C ความดันสูญเสียประมาณ 200 มิลลิเมตรปรอท ความเร็วของการกรอง 0.5 –5 เมตรต่อนาที ความเข้มข้นทางเข้า 0.1-20 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร ประสิทธิภาพของถุงกรองฝุ่น 95-99 เปอร์เซ็นต์ โดยตารางที่ 2.3 แสดงถึงรายละเอียดเกี่ยวกับค่าความเร็วลมในระดับต่างๆ

2.3.2 ชนิดและขนาดถุงกรอง

ถุงกรองจะทำจากผ้าทอที่มีขนาดเมช (Mesh) ตั้งแต่ 50 ถึง10 ไมโครเมตร โดยทั่วไปจะเลือกใช้ เมช (Mesh) ขนาดโตกับผ้าทอเส้นใยธรรมชาติ และเมช (Mesh) ขนาดเล็กใช้กับผ้าทอเส้นใยสังเคราะห์ขนาดเมช (Mesh) ประมาณ 10 ไมโครเมตร จะใช้กันมากที่สุด ดังรายละเอียดแสดงในตาราง 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
แผนการดำเนินงาน

3.1 การวางแผนการดำเนินงาน

3.1.1 ภาคการศึกษาแรก

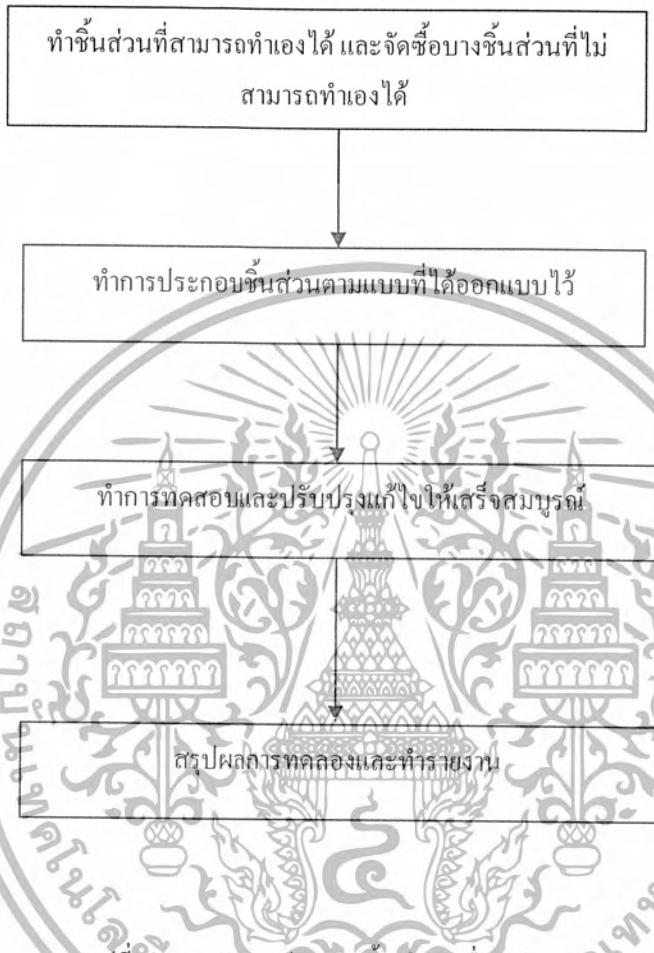
ทำการศึกษาค้นคว้าข้อมูล การออกแบบและเขียนแบบเครื่องพ่นทรายโดยมีขั้นตอนการดำเนินงาน ดังแสดงในรูปที่ 3.1

รูปที่ 3.1 การออกแบบและเขียนแบบเครื่องพ่นทราย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 ภาคการศึกษาที่สอง

การทำชิ้นส่วน และประกอบชิ้นส่วนโครงสร้างเครื่องพ่นทราย พร้อมจัดซื้ออุปกรณ์และทำโครงสร้าง ชิ้นส่วนเครื่องพ่นทรายโดยมีขั้นตอนการดำเนินงาน ดังแสดงในรูปที่ 3.2



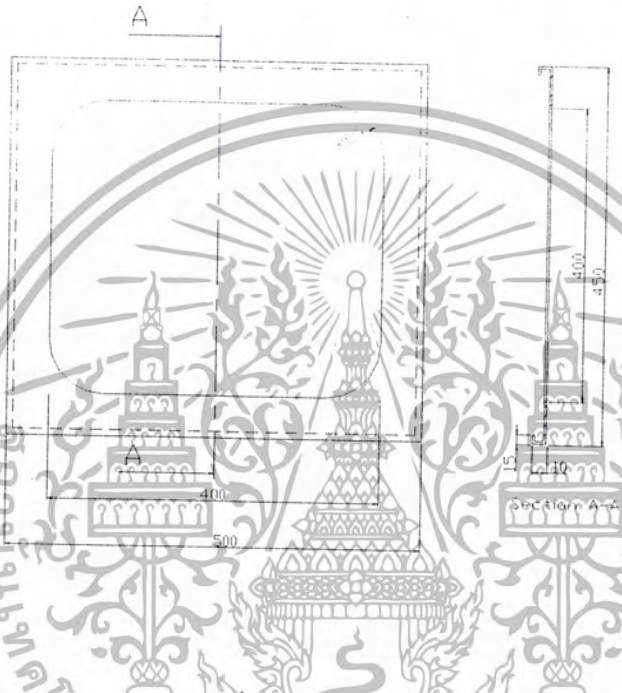
รูปที่ 3.2 การทำและประกอบชิ้นส่วนเครื่องพ่นทราย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การออกแบบและส่วนประกอบโครงเครื่องพ่นทราย

3.2.1 ประตูปิด-เปิดด้านหน้า

ตัดเหล็กหนา 2 มิลลิเมตรให้ได้ขนาดและทำการพับขอบทั้ง 4 ด้าน พร้อมทำการตัดแผ่นเหล็กตรงกลางเพื่อยึดแผ่นกระจกขนาด 400×400 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.3



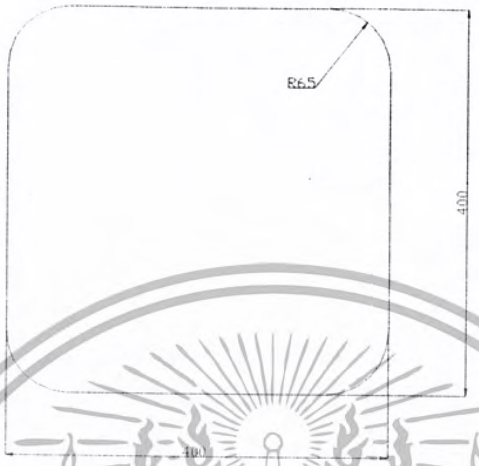
รูปที่ 3.3 ประตูเครื่องพ่นทราย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

3.2.2 แผ่นกระจก

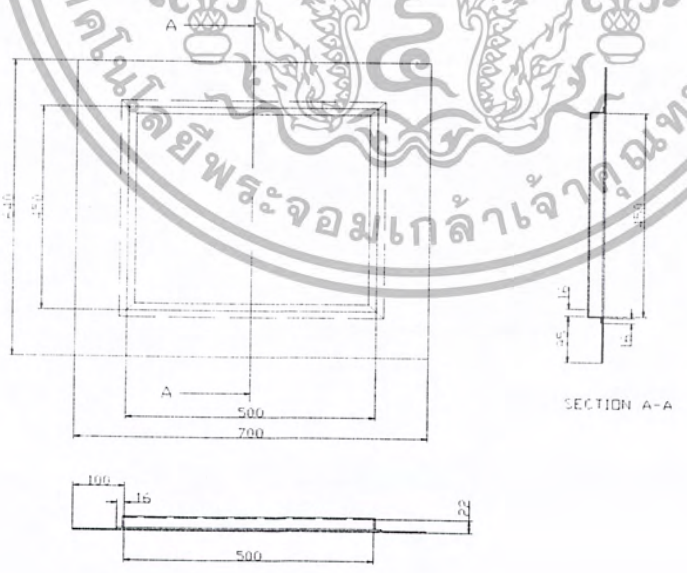
ตัดแผ่นกระจกหนา 2 มิลลิเมตรให้ได้ขนาดตามแบบแล้วนำไปติดกับตัวประตูโดยใช้ขอบยาง เพื่อสำหรับมองชิ้นงาน ดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แผ่นกระจกประตูเครื่องพ่นทราย

3.2.3 ตัวรับประตูปิด-เปิดด้านหน้า

ตัดเหล็กหนา 2 มิลลิเมตรให้ได้ขนาดและทำการตัดแผ่นเหล็กขนาด 450 × 500 มิลลิเมตร พร้อมทั้งพับเหล็กแผ่นตัวรับประตูจำนวน 4 ชิ้นแล้วทำการเชื่อมประกอบกับตัวแผ่นเหล็ก ดังแสดงในรูปที่ 3.5



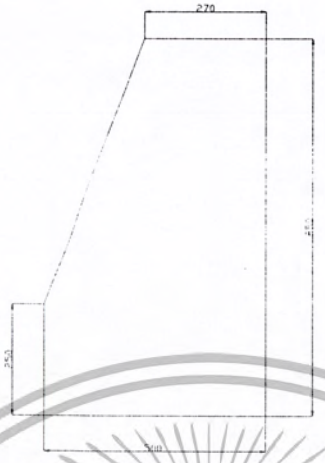
รูปที่ 3.5 ตัวรับประตูเครื่องพ่นทราย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

55634

3.2.4 แผ่นเหล็กปิดด้านข้าง

จากรูปที่ 3.6 แสดงภาพตัดแผ่นเหล็กหนา 2 มิลลิเมตรให้ได้ขนาดตามแบบ จำนวน 2 ชิ้น



รูปที่ 3.6 แผ่นเหล็กปิดด้านข้าง

3.2.5 แผ่นเหล็กปิดด้านหลัง

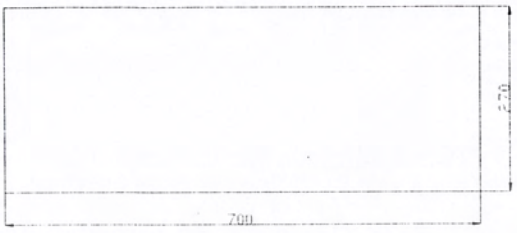
ตัดแผ่นเหล็กหนา 2 มิลลิเมตรให้ได้ขนาดความกว้าง 700 มิลลิเมตร ความยาว 850 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.7

รูปที่ 3.7 แผ่นเหล็กปิดด้านหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.6 แผ่นเหล็กปิดด้านบน

ตัดเหล็กหนา 2 มิลลิเมตรให้ได้ตามขนาดความกว้าง 270 มิลลิเมตร ความยาว 700 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 แผ่นเหล็กปิดด้านบน

3.2.7 แผ่นเหล็กปิดด้านหน้า

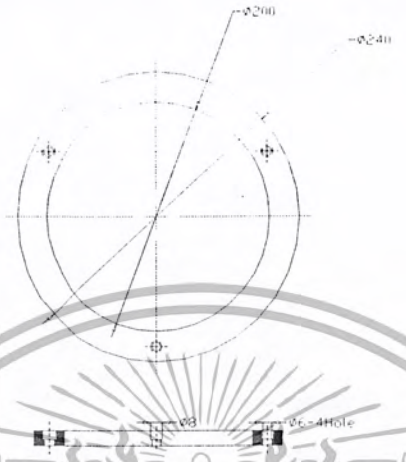
ตัดแผ่นเหล็กเป็นรูปสี่เหลี่ยมตามแบบและเจาะรูสำหรับใส่ถุงมือขนาด ∅ 200 มิลลิเมตร จำนวน 2 รู ระยะห่างระหว่างรู 410 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.9

รูปที่ 3.9 แผ่นเหล็กปิดด้านหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.8 แหวนยึดถุงมือ

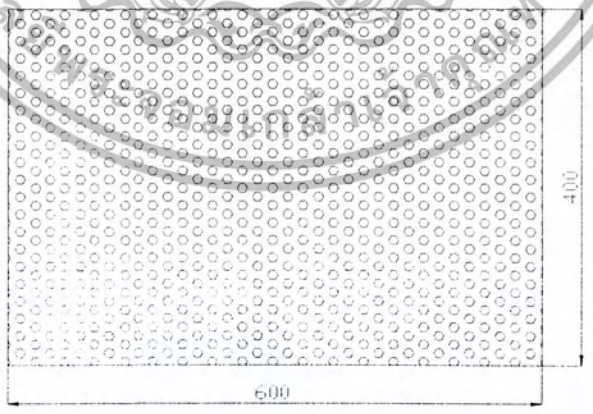
ตัดแผ่นเหล็กหนา 15 มิลลิเมตรเป็นวงกลมแล้วทำการกลึงปอกและคว้านแผ่นเหล็กได้ให้วงกลม ขนาด เส้นผ่าศูนย์กลางนอก 240 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใน 200 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 แหวนยึดถุงมือ

3.2.9 แผ่นเหล็กตะแกรง

ตัดเหล็กแผ่นตะแกรงให้ได้ขนาดความกว้าง 400 มิลลิเมตร ความยาว 600 มิลลิเมตร ขนาด รู∅ 3 มิลลิเมตร หนา 1 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.11

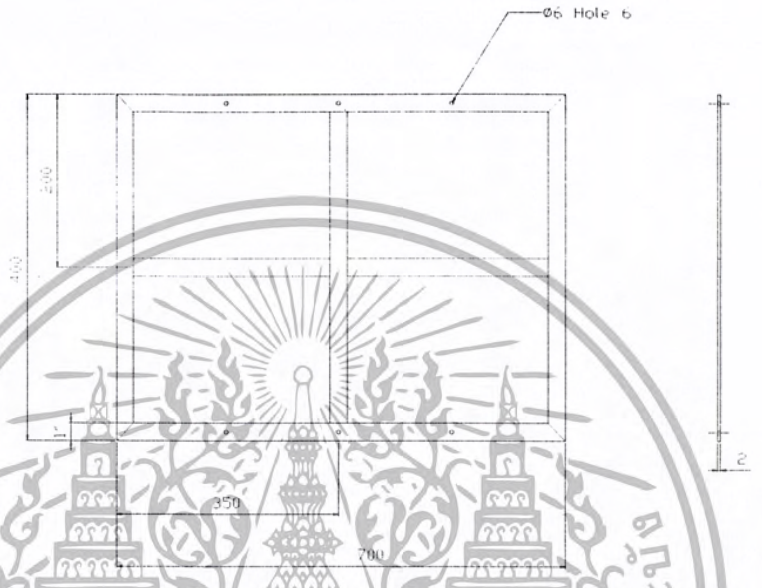


รูปที่ 3.11 แผ่นเหล็กตะแกรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.10 โครงรับตะแกรง

ตัดแผ่นเหล็กเส้นแบน ความกว้าง 1 นิ้ว หนา 2 มิลลิเมตรให้ได้ขนาดความกว้าง 400 มิลลิเมตร ความยาว 700 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.12

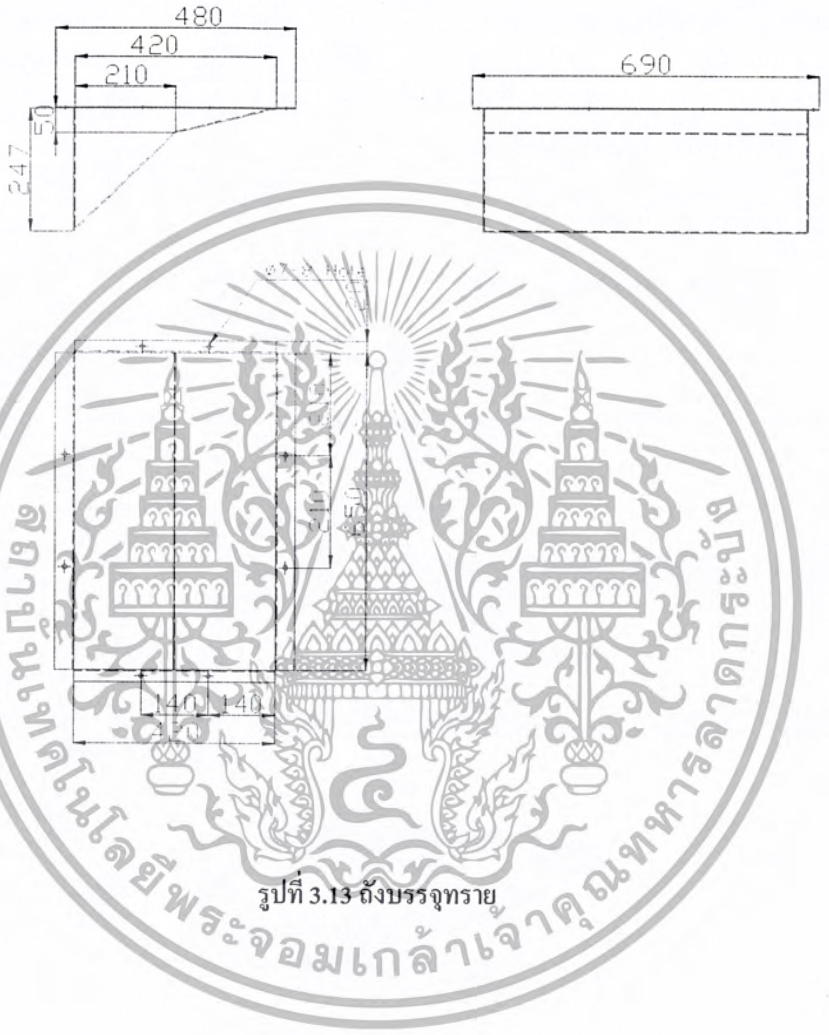


รูปที่ 3.12 โครงรับตะแกรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.11 ถังบรรจุทราย

ตัดแผ่นเหล็กหนา 2 มิลลิเมตร พับตัวแผ่นเหล็กด้านข้างและตัดแผ่นเหล็กด้านล่างรับทรายให้ได้ขนาดพร้อมทำหน้าแปลนเพื่อยึดกับโครงเครื่อง จากนั้นนำมาเชื่อมประกอบตามแบบ ดังรูปที่ 3.13.

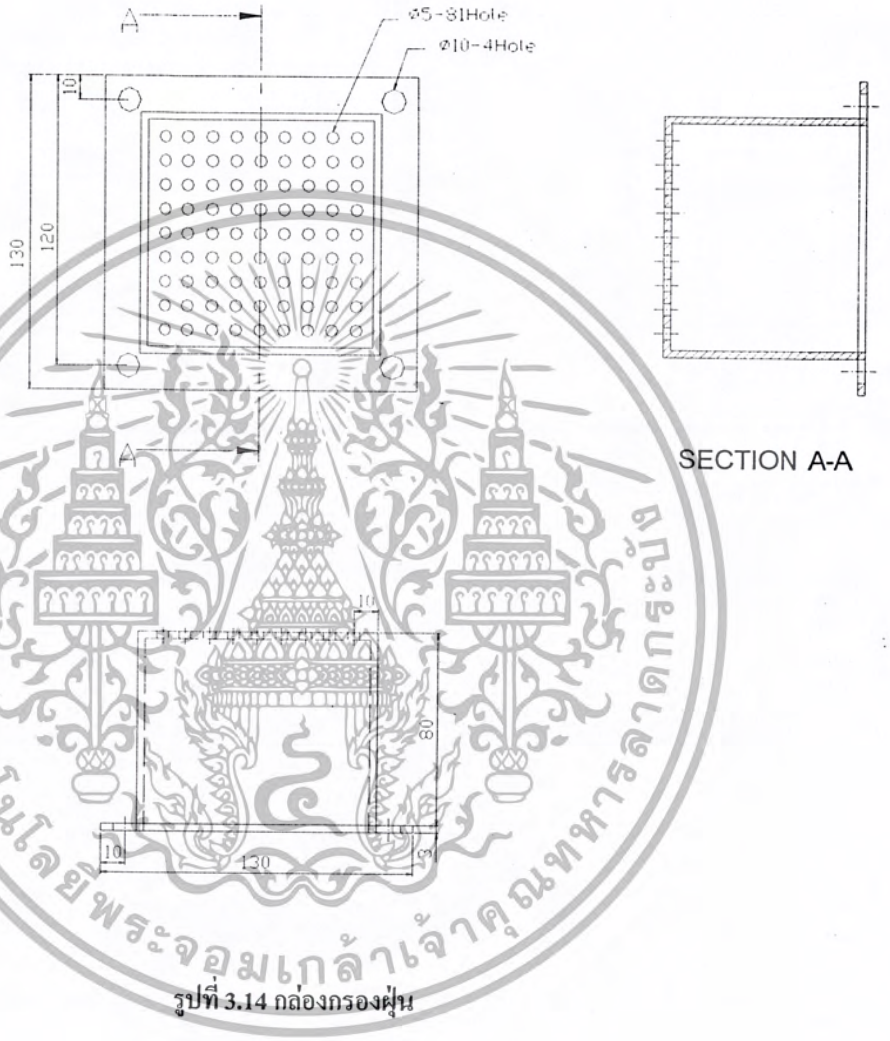


รูปที่ 3.13 ถังบรรจุทราย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.12 กล่องกรองฝุ่น

ตัดแผ่นเหล็กหนา 2 มิลลิเมตร พับแผ่นเหล็กเป็นตัวกล่องพร้อมทำการพับหน้าแปลนเพื่อยึดติดด้านหลังโครงเครื่อง จากนั้นทำการเชื่อมประกอบตามแบบ ดังรูปที่ 3.14

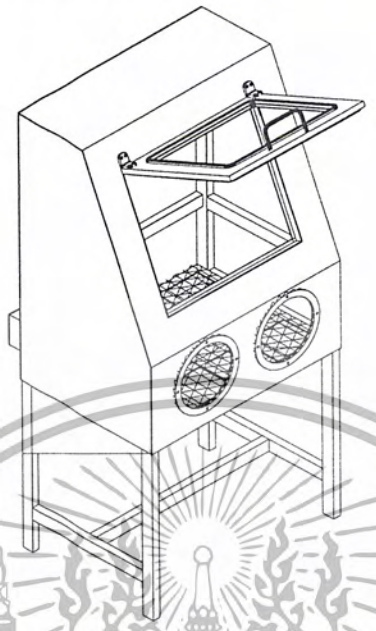


รูปที่ 3.14 กล่องกรองฝุ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช

3.2.13 การประกอบตัวเครื่องพ่นทราย

รูปที่ 3.15 แสดงการประกอบตัวเครื่องพ่นทราย



รูปที่ 3.15 เครื่องพ่นทราย

3.2.14 ปืนพ่นทราย

ปืนพ่นทรายที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ออกแบบให้มีลักษณะดังรูปที่ 3.16

รูปที่ 3.16 ปืนพ่นทราย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 แผนการทดสอบ

เพื่อเป็นการทดลองการทำงานของเครื่องพ่นทรายจึงได้มีการออกแบบการทดลองโดยให้มีการแยกปัจจัยที่มีผลต่อความหยาบผิวของชิ้นงาน ได้แก่

1.วัสดุที่ทำชิ้นงาน

2 ระยะห่างในการพ่นทราย

3. ระยะเวลาที่ทำการพ่นทราย

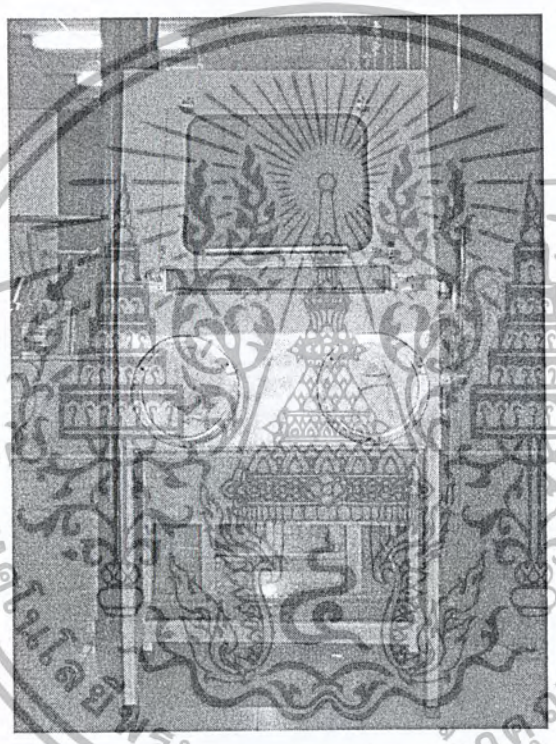
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการดำเนินงาน

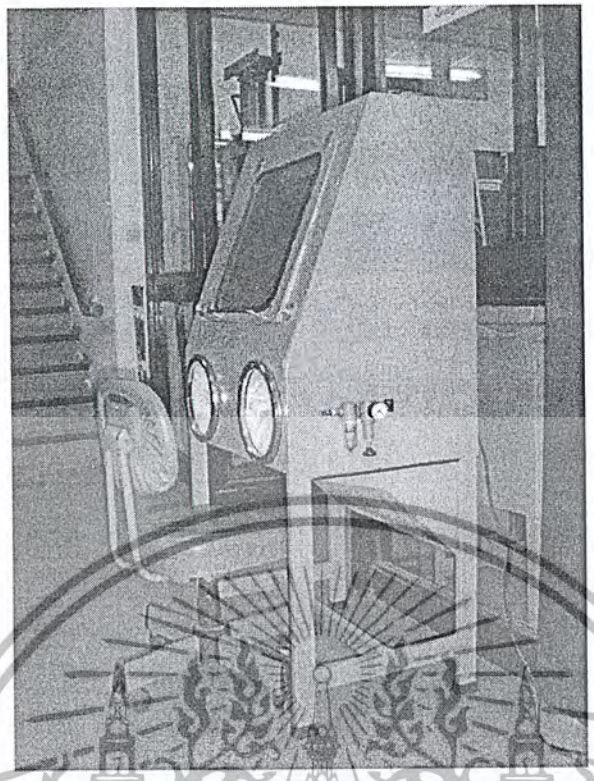
4.1 ผลการดำเนินงานการสร้างเครื่องผลทราย

ในการดำเนินการสร้างเครื่องพ่นทรายที่ผ่านมา ได้เครื่องพ่นทรายที่มีช่องใส่ชิ้นงาน 500 × 450 มิลลิเมตร ช่องใส่ปลอกถุงมือเส้นผ่าศูนย์กลาง 200 มิลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.1 4.2 และ 4.3

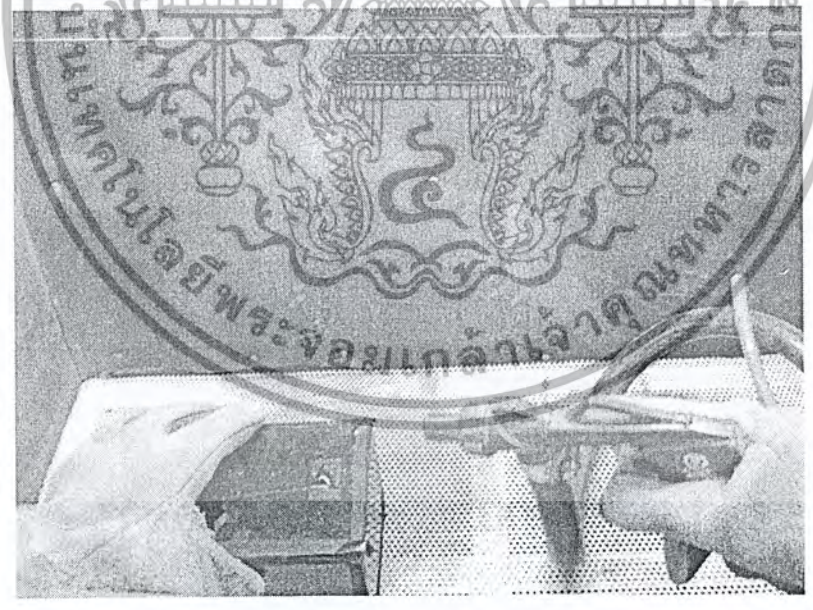


รูปที่ 4.1 ด้านหน้าเครื่องพ่นทราย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 ด้านข้างเครื่องพ่นทราย



รูปที่ 4.3 ขณะปฏิบัติงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อกำหนดการทดลองพ่นชิ้นงานด้วยเครื่องพ่นทราย

ข้อกำหนดการทดลองพ่นชิ้นงานด้วยเครื่องพ่นทราย ได้แก่

1.เลือกใช้ทรายซิลิกอนคาร์ไบด์เบอร์ 100

2.เลือกแรงดันลม 5 บาร์

3.เวลาใช้ในการพ่นทราย 10 วินาทีและ 15 วินาที

4.ระยะห่างหัวพ่นกับชิ้นงาน 3 เซนติเมตรและ 5 เซนติเมตร

5.ชิ้นงานทดลองในการพ่นทรายคือ พลาสติก อลูมิเนียม แก้ว เหล็ก

4.2 ผลการดำเนินการทดลองการพ่นทราย

4.2.1 รายละเอียดการทดลองพ่นทรายชิ้นงานทดลอง

4.2.1.1 ชิ้นงานทดลองพลาสติก

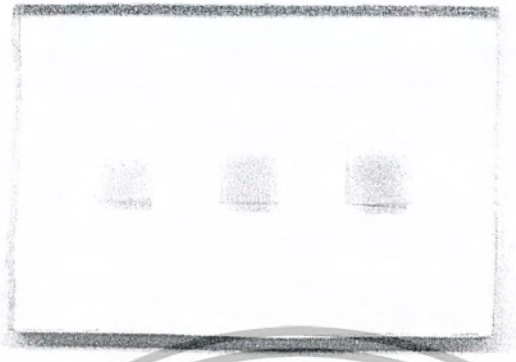
1.ขนาดชิ้นงานทดลอง 50×75 มิลลิเมตร

2.เวลาการพ่นทราย 10 วินาทีและระยะหัวพ่นทรายกับชิ้นงาน 3 มิลลิเมตร จะได้ผลแสดงดังรูปที่ 4.4(a)

รูปที่ 4.4(a) ชิ้นงานพลาสติกผ่านการทดลองพ่นทราย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เวลาการพ่นทราย 10 วินาทีและระยะห่างหัวพ่นทรายกับชิ้นงาน 5 เซนติเมตรจะได้ผลแสดงดังรูปที่4.4(b)



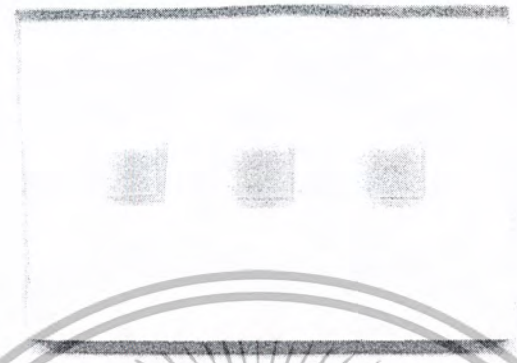
รูปที่ 4.4(b) ชิ้นงานพลาสติกผ่านการทดลองพ่นทราย

4. เวลาการพ่นทราย 15 วินาทีและระยะห่างหัวพ่นทรายกับชิ้นงาน 3 เซนติเมตรจะได้ผลแสดงดังรูปที่4.4(c)

รูปที่ 4.4(c) ชิ้นงานพลาสติกผ่านการทดลองพ่นทราย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เวลาการพ่นทราย 15 วินาทีและระยะห่างหัวพ่นทรายกับชิ้นงานทดสอบ 5 เซนติเมตรจะได้ผลแสดงดังรูปที่4.4(d)



รูปที่ 4.4(d) ชิ้นงานพลาสติกผ่านการทดลองพ่นทราย

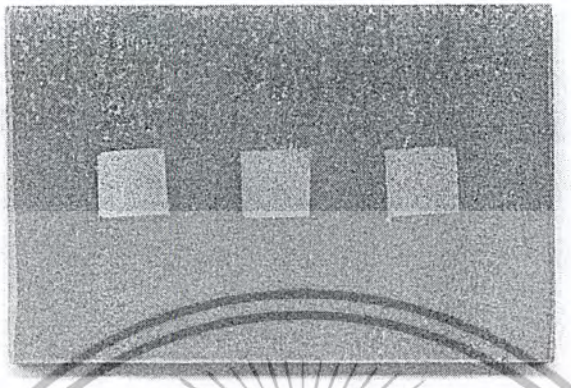
4.2.1.2 ชิ้นงานทดลองเหล็ก

1. ขนาดชิ้นงานทดลอง 50×75 มิลลิเมตร
2. เวลาการพ่นทราย 10 วินาทีและระยะห่างหัวพ่นทรายกับชิ้นงาน 3 เซนติเมตรจะได้ผลแสดงดังรูปที่4.5(a)

รูปที่ 4.5(a) ชิ้นงานเหล็กผ่านการทดลองพ่นทราย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เวลาการพ่นทราย 10 วินาทีและระยะห่างหัวพ่นทรายกับชิ้นงาน 5 เซนติเมตรจะได้ผลแสดงดังรูปที่4.5(b)



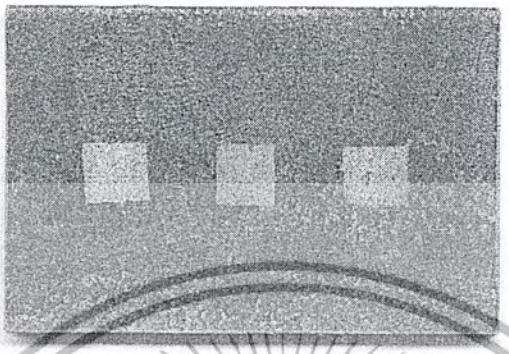
รูปที่ 4.5(b) ชิ้นงานเหล็กผ่านการทดลองพ่นทราย

4. เวลาการพ่นทราย 15 วินาทีและระยะห่างหัวพ่นทรายกับชิ้นงาน 3 เซนติเมตร จะได้ผลแสดงดังรูปที่4.5(c)

รูปที่ 4.5(c) ชิ้นงานเหล็กผ่านการทดลองพ่นทราย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เวลาการพ่นทราย 15 วินาทีและระยะห่างหัวพ่นทรายกับชิ้นงาน 5 เซนติเมตรจะได้ผลแสดงดังรูปที่4.5(d)



รูปที่ 4.5(d) ชิ้นงานเหล็กผ่านการทดลองพ่นทราย

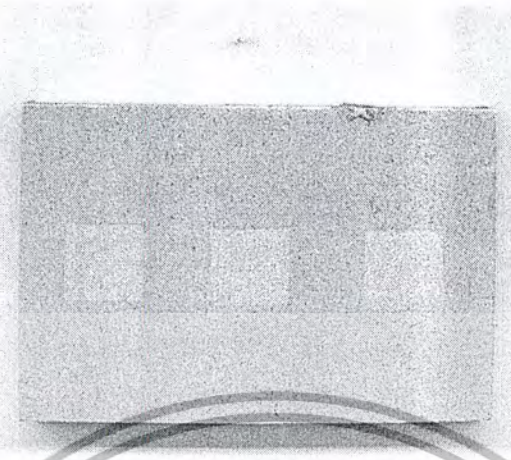
4.2.1.3 ชิ้นงานทดลองอลูมิเนียม

1. ขนาดชิ้นงาน 40×55 มิลลิเมตร
2. เวลาการพ่นทราย 10 วินาทีและระยะห่างหัวพ่นทรายกับชิ้นงาน 3 เซนติเมตรจะได้ผลแสดงดัง รูปที่4.6 (a)

รูปที่ 4.6(a) ชิ้นงานอลูมิเนียมผ่านการทดลองพ่นทราย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เวลาการพ่นทราย 10 วินาทีและระยะห่างหัวพ่นทรายกับชิ้นงาน 5 เซนติเมตรจะได้ผลแสดงดังรูปที่4.6(b)



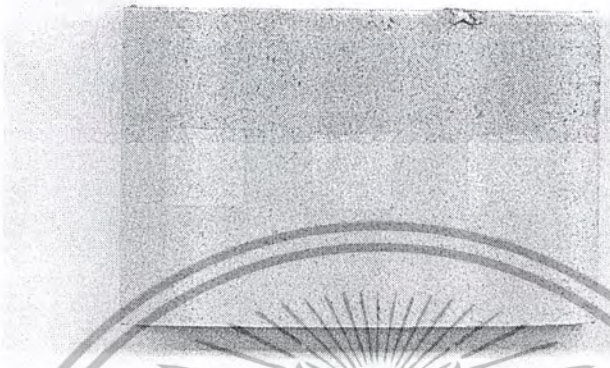
รูปที่ 4.6(b) ชิ้นงานอลูมิเนียมผ่านการทดลองพ่นทราย

4. เวลาการพ่นทราย 15 วินาทีและระยะห่างหัวพ่นทรายกับชิ้นงาน 3 เซนติเมตรจะได้ผลแสดงดังรูปที่4.6(c)

รูปที่ 4.6(c) ชิ้นงานอลูมิเนียมผ่านการทดลองพ่นทราย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เวลาการพ่นทราย 15 วินาทีและระยะห่างหัวพ่นทรายกับชิ้นงาน 5 เซนติเมตรจะได้ผลแสดงดังรูปที่4.4(d)



รูปที่ 4.6(d) ชิ้นงานอลูมิเนียมผ่านการทดลองพ่นทราย

4.2.1.4 ผลค่าความหยาบผิวชิ้นงานทดลองพ่นทราย ผลการทดลองการพ่นทรายชิ้นงานคือ พลาสติก เหล็ก และอลูมิเนียม ทำการเตรียมชิ้นงานทดลองแล้วทำการทดลองพ่นทรายชิ้นงานตามข้อกำหนด นำชิ้นงานทดลองผ่านการพ่นทรายมาหาค่าความหยาบผิวชิ้นงานทดลองโดยเครื่องทดสอบความหยาบผิว (Surf meter) การวัดหาค่าความหยาบผิวชิ้นงานแต่ละครั้งทำการวัดชิ้นงานละ3 ครั้ง ดังที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.1และ4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าความหยาบผิวชิ้นงานทดสอบก่อนพ่นทราย (ไมโครเมตร)

วัสดุที่	ชิ้นงาน	ตำแหน่งทดลอง				
		1	2	3	4	5
พลาสติก	1	0.04	0.03	0.03	0.04	0.03
	2	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04
เหล็ก	1	4.69	3.10	3.48	4.81	3.54
	2	3.06	3.20	3.39	3.99	3.30
อลูมิเนียม	1	1.48	1.13	1.64	1.01	1.04
	2	1.16	1.25	0.93	0.96	1.07

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าความหยาบผิวชิ้นงานทดสอบการพ่นทราย(ไมโครเมตร)

วัสดุ	ตำแหน่ง			เวลา(วินาที)	ระยะห่างหัวพ่น(เซนติเมตร)
	1	2	3		
พลาสติก	3.71	3.45	3.73	10	3
	1.23	1.00	1.04	10	5
	2.89	2.96	2.84	15	3
	0.86	0.94	0.80	15	5
เหล็ก	2.75	2.79	2.85	10	3
	3.13	3.44	3.50	10	5
	2.64	2.80	2.68	15	3
	4.32	4.07	3.69	15	5
อลูมิเนียม	2.34	2.24	2.32	10	3
	1.86	1.92	1.72	10	5
	3.15	3.25	3.02	15	3
	1.95	2.05	2.17	15	5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การพ่นทรายชิ้นงานตัวอย่าง

การพ่นทรายชิ้นงานที่เป็นแก้ว ให้ผลการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 4.7 4.8 4.9 และสำหรับชิ้นงานที่เป็นโลหะจะได้ผลทดสอบดังแสดงในรูปที่ 4.10และ4.11

รูปที่ 4.7 ชิ้นงานก่อนทำการพ่นทราย

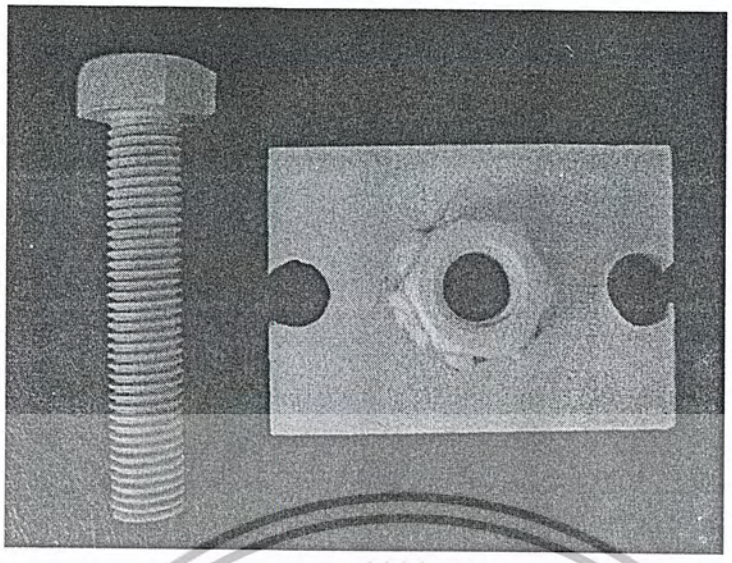
รูปที่ 4.8 ชิ้นงานหลังทำการพ่นทราย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.9 ชิ้นงานหลังทำการพ่นทราย

รูปที่ 4.10 ชิ้นงานก่อนทำการพ่นทราย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 ชิ้นงานหลังทำการพ่นทราย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการดำเนินงานและอภิปรายผล

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นการศึกษาและสร้างเครื่องพ่นทรายที่มีประสิทธิภาพในการขัดผิวชิ้นงานและทำลวดลายได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยใช้ความรู้ที่ได้เคยศึกษามาในการเรียนการสอนตามหลักสูตรวิศวกรรมอุตสาหการมาประยุกต์ในการออกแบบและสร้างเครื่อง

5.1 สรุปและวิเคราะห์ผลการดำเนินงาน

ผลการดำเนินงานที่ผ่านมาของโครงการนั้น ในการเริ่มต้นของโครงการต้องทำการศึกษาระบบการทำงานของปืนพ่นทรายและ ระบบการกรองฝุ่นซึ่งจะมีส่วนในการวางแผนและ ช่วยในการออกแบบกำหนดกรรมวิธีการทำงานลักษณะการทำงานหรือส่วนอื่นๆที่มีผลต่อการปฏิบัติงาน เนื่องด้วยโครงงานนี้เป็นการสร้างเครื่องพ่นทรายที่ใช้ลมเป็นการขนถ่ายเม็ดทรายไปกระทบกับผิวชิ้นงานด้วยความเร็วสูง ซึ่งมีประสิทธิภาพในการขัดผิวชิ้นงานและทำลวดลายได้หลายประเภทซึ่งกรรมวิธีการนี้เรียกว่าการขัดแห้ง โครงงานนี้ได้ทำการทดสอบพ่นพื้นผิวชิ้นงานที่ทำจาก เหล็ก กระจก อลูมิเนียม พลาสติก ตามที่ได้ออกแบบการทดลองไว้ซึ่งองค์ประกอบที่มีผลต่อลวดลายความละเอียดผิวของชิ้นงานนั้นได้แก่ ระยะห่างระหว่างปลายปืนพ่นทรายกับวัสดุ ระยะเวลาของการพ่น ชนิดของวัสดุ โดยทรายที่ใช้นั้นมีความสามารถในการขัดผิวชิ้นงานวัสดุทดลองอย่างมีประสิทธิภาพให้ความละเอียดและ ความรวดเร็ว

5.2 ปัญหาและข้อบกพร่องของเครื่องพ่นทราย

1. การไหลวนของทรายในเครื่องพ่นทรายไม่สม่ำเสมอเนื่องจากมุมเหลาของกระบะที่รองรับทรายนั้นมีมุมน้อยเกินไป

2.ใช้เวลานานกว่าจะเปิดเครื่องพ่นทรายเพื่อที่จะนำชิ้นงานออกจากเครื่องเมื่อพ่นเสร็จแล้ว

5.3 แนวทางในการพัฒนาและปรับปรุง

จากการศึกษาครั้งนี้ พบว่าแนวทางในการเสนอแนะปรับปรุง ควรจะมีรายละเอียดดังนี้

1. ควรใช้ไซโคลนในการกำจัดฝุ่นเพราะเหมาะกับการพ่นทรายแบบแห้งเนื่องฝุ่นที่เกิดจากการตัวเม็ดทรายเองและ เกิดจากการขัดสีระหว่างงานกับชิ้นงานนั้นมีขนาดเล็กมากถ้าไม่มีระบบการกำจัดฝุ่นแล้วจะฟุ้งและจะใช้เวลานานมากกว่ารอให้เปิดเครื่องเพื่อนำชิ้นงานออกมาได้

2. ควรพิจารณาออกแบบตัวเครื่องและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องให้มีความเหมาะสมกับสภาพการใช้งานจริง ควรวางแผนการทำงานให้มีประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1. ดร.ชาญวุติ ตั้งจิตวิทยา และสาโรช ฐิติเกียรติ, 2541. วัสดุในงานวิศวกรรม. : บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด(มหาชน)

2. รศ.บรรเลง ศรนิลประเสริฐ ก๊วยสมบูรณ์,2524. ตารางงานโลหะ. : สำนักพิมพ์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

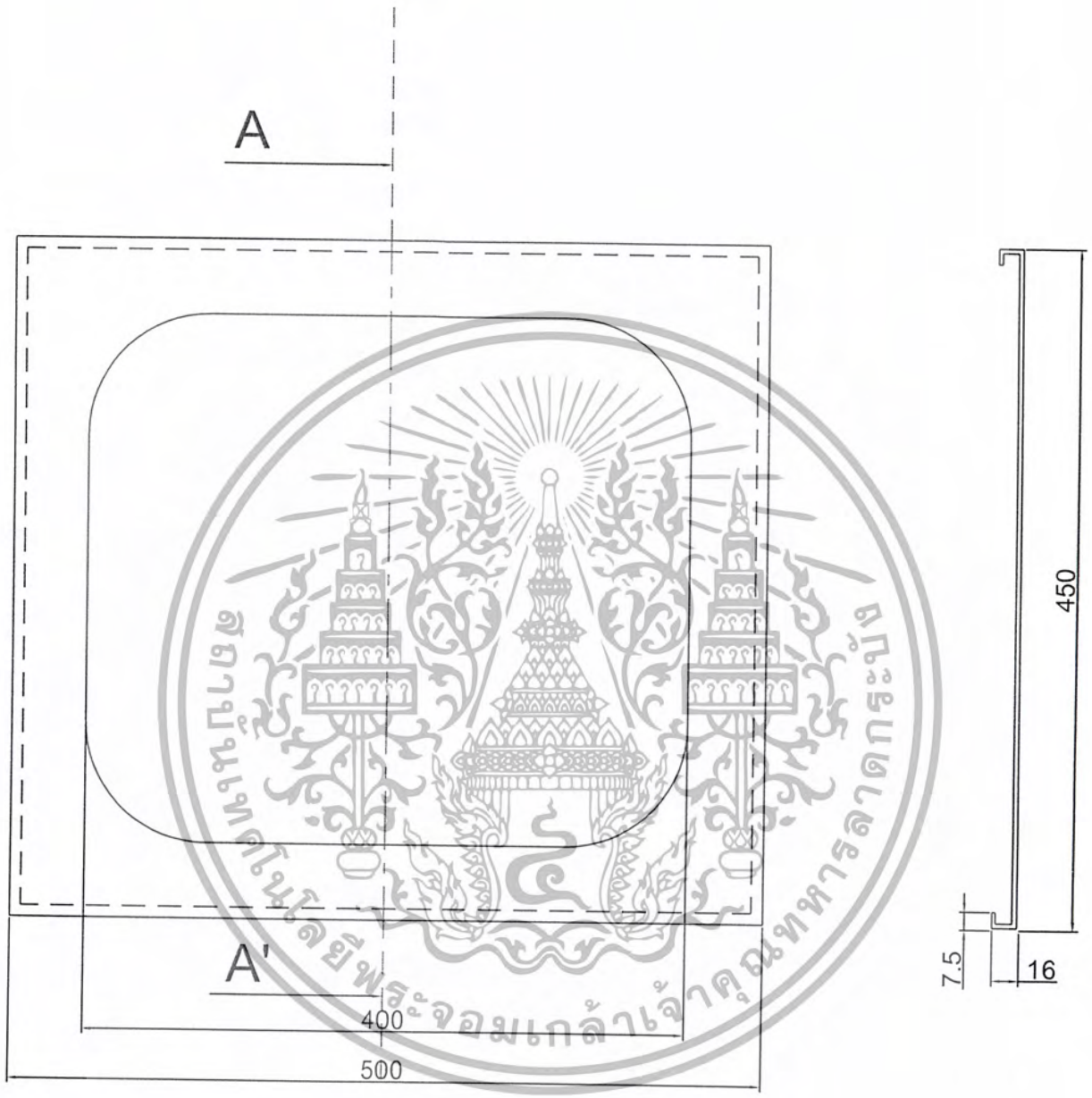
3. ประวัตร ลิมประวัฒนะ,2527. นิวแมติกส์. : บริษัทเอ็ดยูเคชั่นจำกัด(มหาชน)

4. พรจิตร ประทุมสุวรรณ,2521. การควบคุมนิวแมติกส์. : เรือนแก้วการพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Thickness = 3

No.	DESCRIPTION	SIZE OF MATERIAL	MATERIAL	STANDARD	2 TOTAL
DRAWING BY	Thapana Kasempornmanee		KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG		
INSPEC BY	Suwan Saradet				
APPROVE BY					
DESIGN BY					
SCALE 1:1	NAME OF PART		DRAWING No.		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

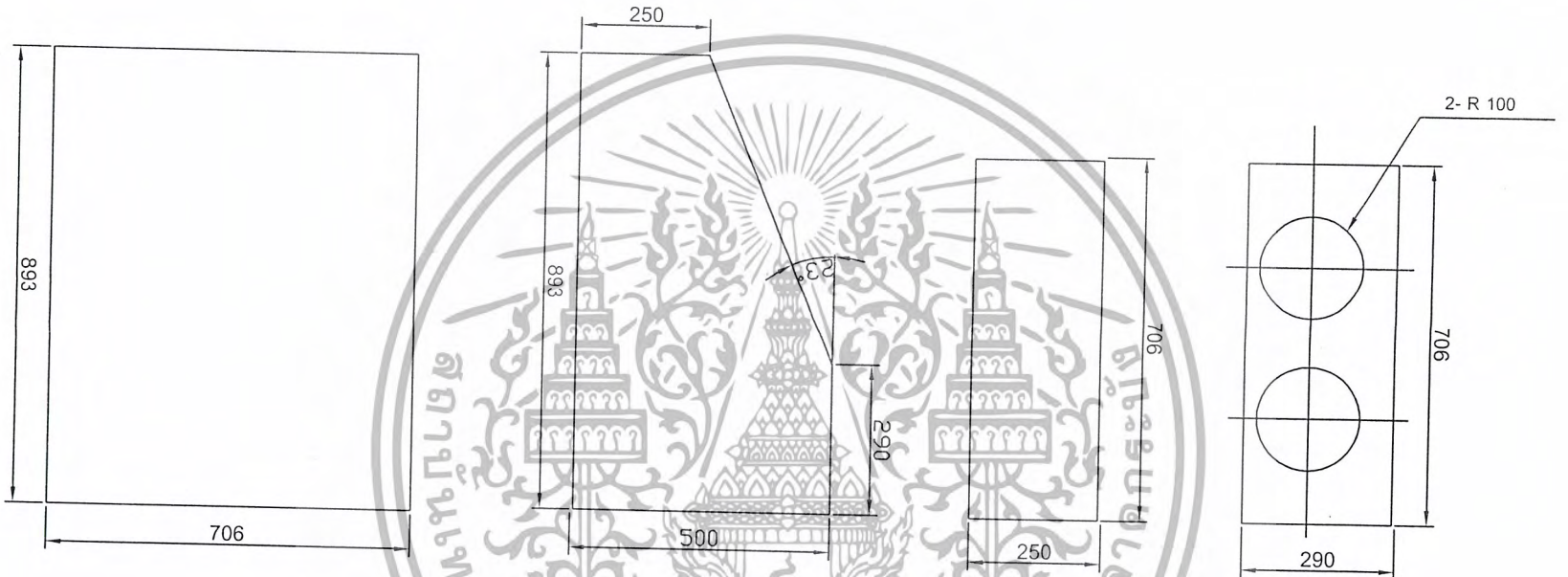
No.	DESCRIPTION	SIZE OF MATERIAL	MATERIAL	STANDARD	TOTAL
DRAWING BY	Thapana Kasempornmanee				
INSPEC BY	Suwan Saradet				
APPROVE BY					
DESIGN BY					
SCALE	NAME OF PART			DRAWING No.	

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

THICKNESS=2

No.	DESCRIPTION	SIZE OF MATERIAL	MATERIAL	STANDARD	TOTAL
DRAWING BY	Thapana Kasempommanee		KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG		
INSPEC BY	Suwan Saradet				
APPROVE BY					
DESIGN BY					
SCALE 1:1	NAME OF PART		DRAWING No.		

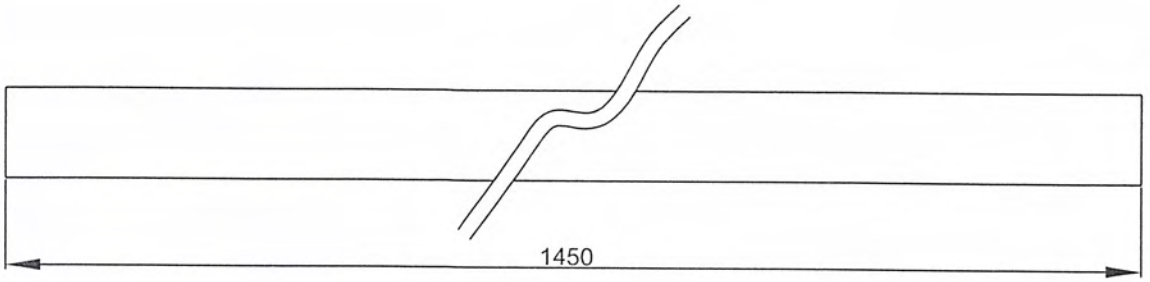
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

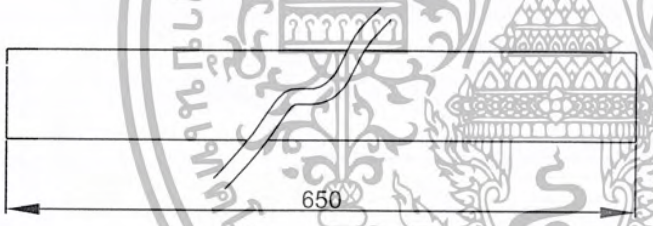


Thickness = 3 mm.

No.	DESCRIPTION	SIZE OF MATERIAL	MATERIAL	STANDARD	TOTAL
DRAWING BY	Thapana Kasempornmanee				
INSPEC BY	Suwan Saradet				
APPROVE BY					
DESIGN BY					
SCALE	NAME OF PART			DRAWING No.	

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG



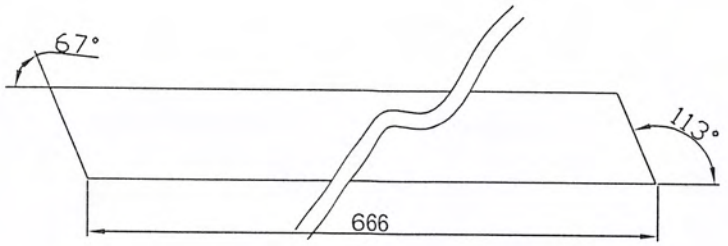


สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

No.	DESCRIPTION	SIZE OF MATERIAL	MATERIAL	STANDARD	TOTAL

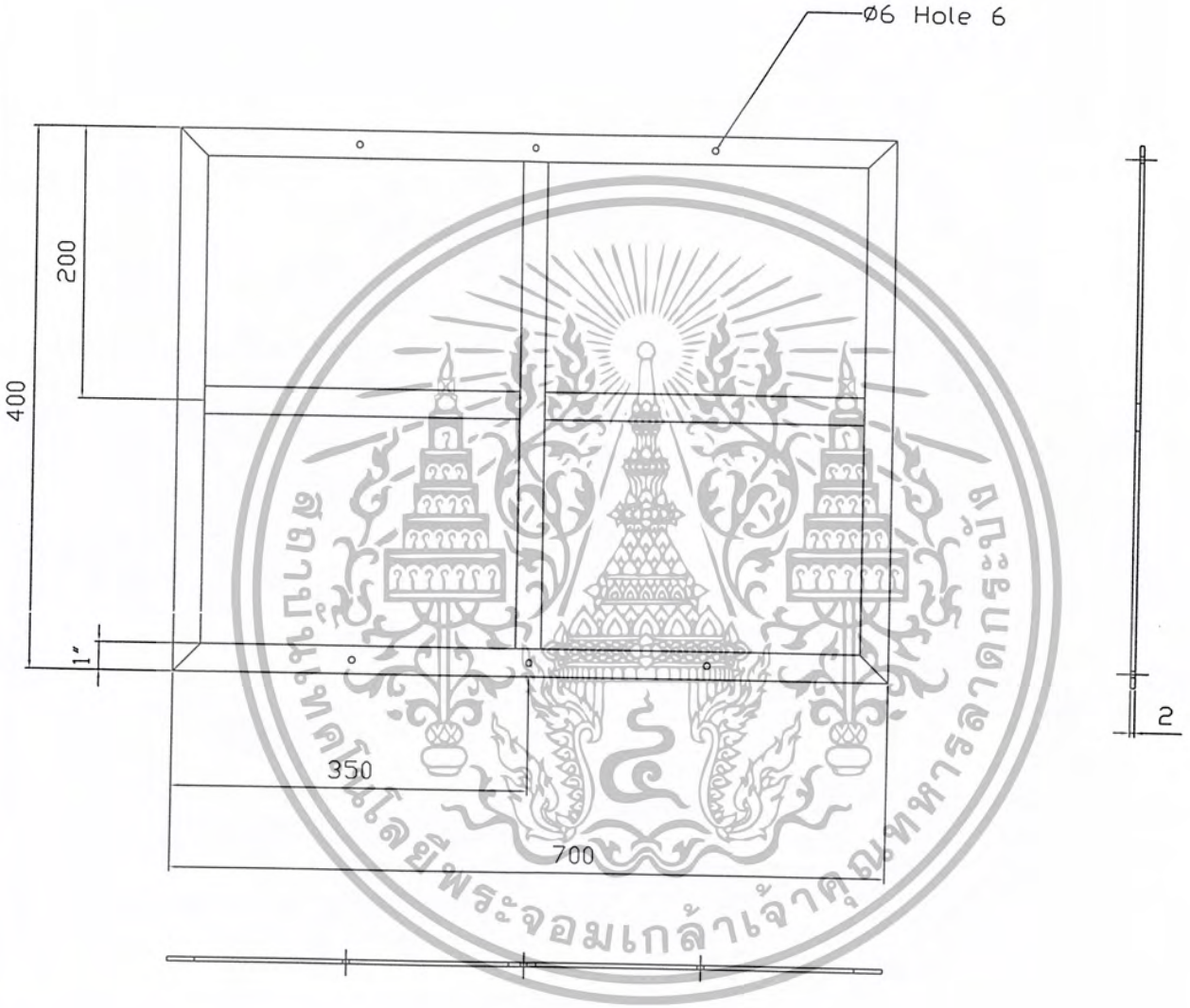
DRAWING BY	Thapana Kasempornmanee		KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
INSPEC BY	Suwan Saradet		
APPROVE BY			
DESIGN BY			
SCALE	NAME OF PART		DRAWING No.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



No.	DESCRIPTION	SIZE OF MATERIAL	MATERIAL	STANDARD	TOTAL
DRAWING BY	Thapana Kasempornmanee		KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG		
INSPEC BY	Suwan Saradet				
APPROVE BY					
DESIGN BY					
SCALE	NAME OF PART		DRAWING No.		

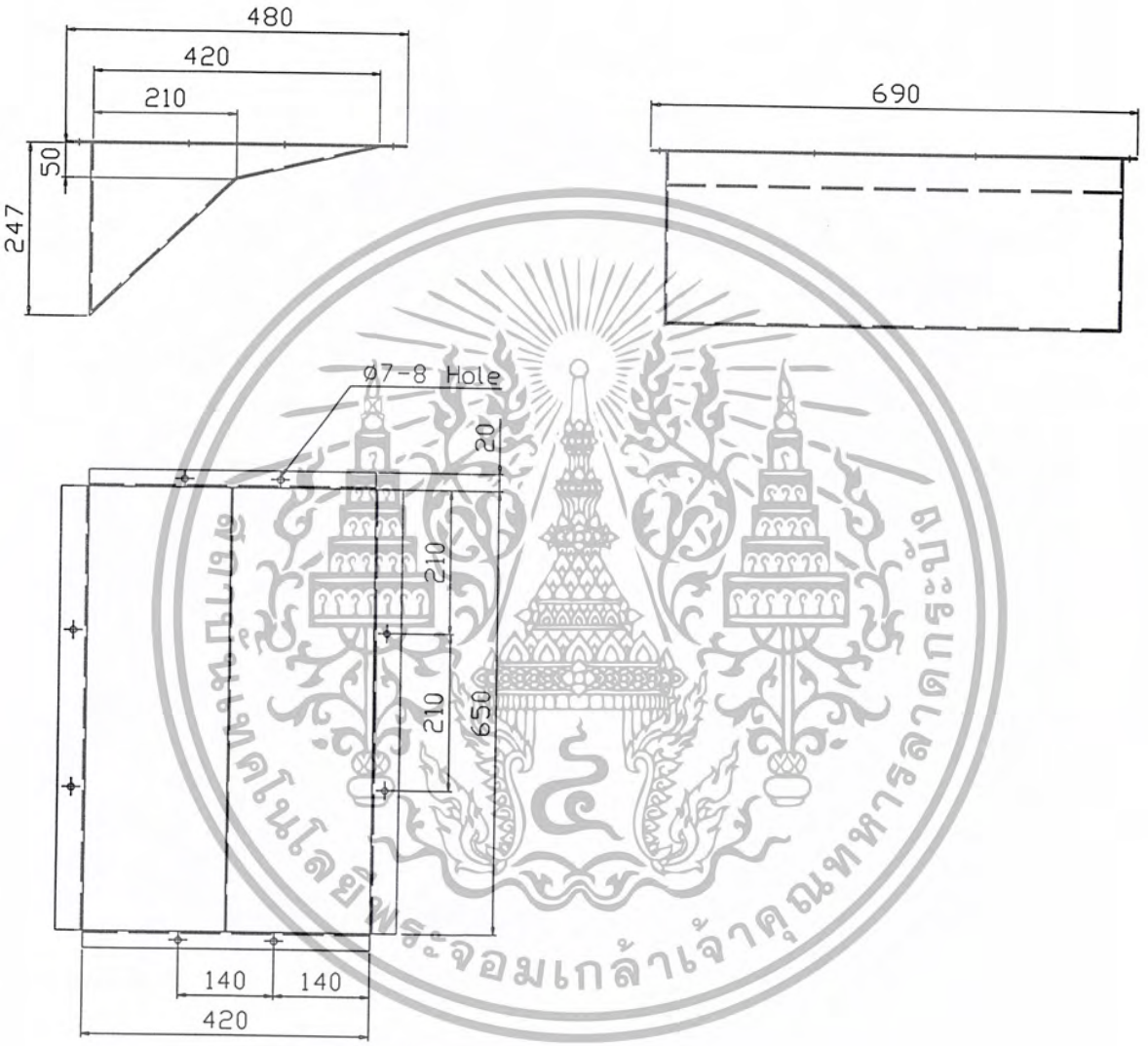
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



No.	DESCRIPTION	SIZE OF MATERIAL	MATERIAL	STANDARD	TOTAL
DRAWING BY	Suwan Saradet				
INSPEC BY	Thapana Kasempornmanee				
APPROVE BY					
DESIGN BY					
SCALE 1:2	NAME OF PART			DRAWING No.	

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

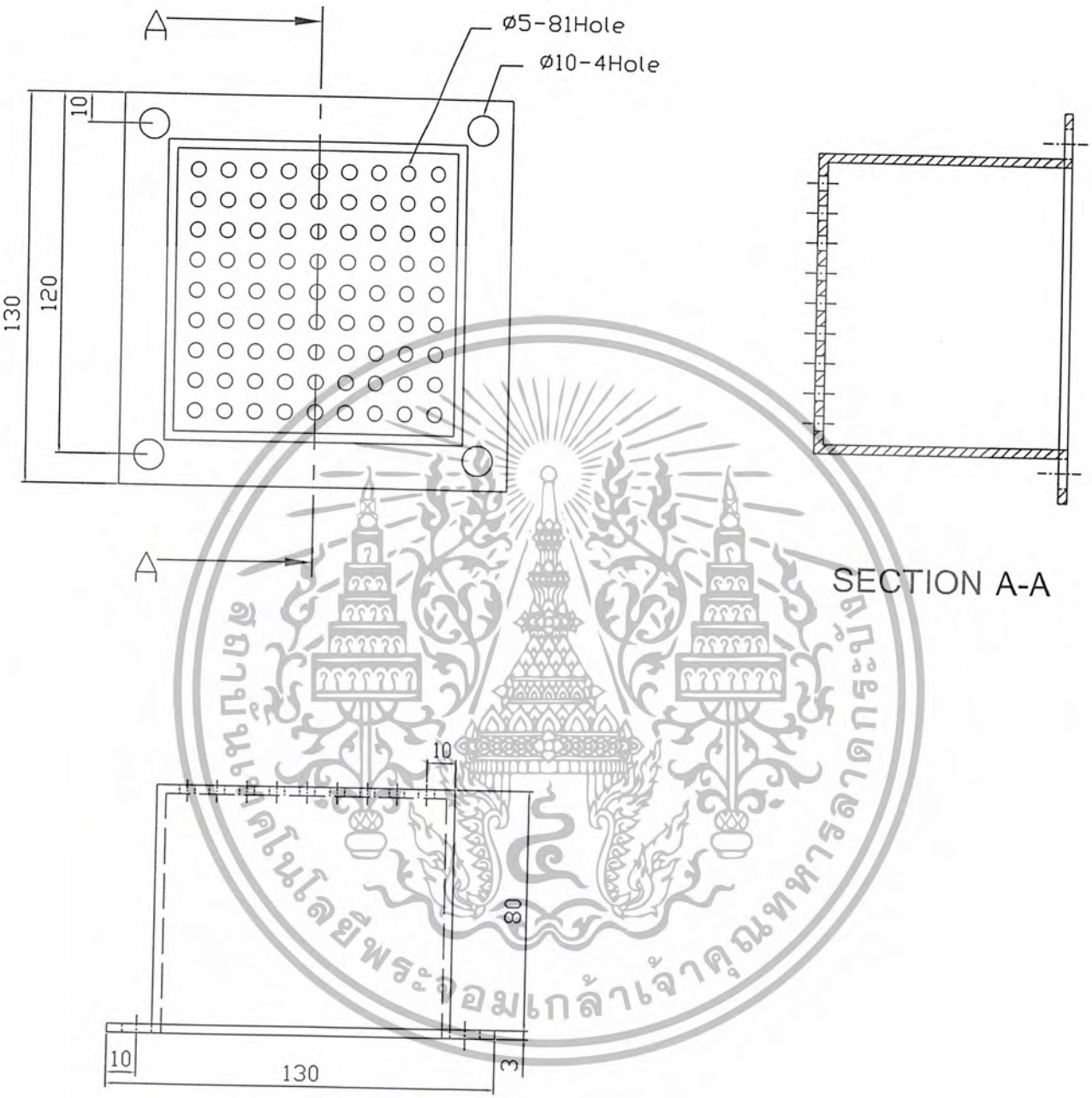


Thickness= 2

No.	DESCRIPTION	SIZE OF MATERIAL	MATERIAL	STANDARD	TOTAL
DRAWING BY	Suwan Saradet				
INSPEC BY	Thapana Kasempommanee				
APPROVE BY					
DESIGN BY					
SCALE 1:5	NAME OF PART			DRAWING No.	

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



No.	DESCRIPTION	SIZE OF MATERIAL	MATERIAL	STANDARD	TOTAL

DRAWING BY	Suwan Saradet		KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
INSPEC BY	Thapana Kasempornmanee		
APPROVE BY			
DESIGN BY			
SCALE 1:2	NAME OF PART	DRAWING No.	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้