

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องบดขวดแก้ว

Bottle Glass Grinder



นาย จีรวัฒน์ กกล้าเสื่อ
นาย นุญชัย นิตยภูติ
นาย สราวุฒิ แสนช่าง

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน **62030**
วัน,เดือน,ปี **25 ก.ค. 2549**

b.....
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องบดขวดแก้ว
Bottle Glass Grinder

โดย

นาย จิรวัดน์ กล้าเสือ
นาย บุญชัย นิตยภุติ
นาย สราวุฒิ แสนช่าง

อาจารย์ที่ปรึกษา

อ.ประสิทธิ์ คำพันธ์ อ.พงษ์ศักดิ์ คำมูล

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2547

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เรื่อง

เครื่องบดขวดแก้ว

Bottle Glass Grinder

ผู้จัดทำ

นาย จิรวุฒน์ กล้าเสื่อ รหัสประจำตัว 45015410

นาย บุญชัย นิตยภูติ รหัสประจำตัว 45015416

นาย สรวุฒิ แสนช่าง รหัสประจำตัว 45015438



อาจารย์ที่ปรึกษา
(อ.ประสิทธิ์ คำพันธ์)

(อ.พงษ์ศักดิ์ คำมูล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องบดขวดแก้ว

นาย จิรวัดน์ กล้าเสื่อ	45015410
นาย บุญชัย นิตยภูติ	45015416
นาย สรวุฒิ แสนช่าง	45015438
อ.ประสิทธิ์ คำพันธ์	อาจารย์ที่ปรึกษา
อ.พงษ์ศักดิ์ คำมูล	อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2547	

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการนำเสนอวิธีการออกแบบและสร้างเครื่องบดขวดแก้ว โดยสาเหตุที่ต้องสร้างเครื่องบดขวดแก้วก็มีเหตุผลเนื่องมาจาก การบดขวดแก้วเป็นขั้นตอนปฐมภูมิ ก่อนที่จะไปสู่กระบวนการต่อไปในการหลอมแก้วเพื่อที่จะนำแก้วที่ได้นำกลับมาใช้ในการทำผลิตภัณฑ์ต่างๆ ซึ่งในการบดขวดแก้ว นั้นก็ย่อมมีความจำเป็นที่จะต้องใช้เครื่องบดขวดแก้วเพื่อความสะดวกและรวดเร็วในการบดแก้ว เพราะฉะนั้นทางคณะผู้จัดทำจึงได้ทำการคิดออกแบบและสร้างเครื่องบดแก้วขึ้นมา โดยมีเงื่อนไขเบื้องต้น คือ ต้องการบดแก้วให้ได้ 3 ตัน ต่อ 1 วัน หรือมากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Bottle Glass Grinder

Jirawat Klumsui

Bunchai Nidtiyaputi

Sarawut Sanchang

Prasit kumpanyim Advisor

Pongsak Kummul Advisor

Abstract

This the work is presentation for designing and producing "Bottle Glass Grinder" by objective for producing "Bottle Glass Grinder" because it is the primary orders before go to the fused glass process for return the glass in produce the products not only it important for "Bottle Glass Grinder" but also using it for comfortable and quickly in grinding therefore the produced group think design and produce the "Bottle Glass Grinder" by initial are must grinding the glasses 3 ton per a day or more than

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติมากรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้คงไม่อาจเสร็จได้ด้วยดี หากไม่ได้รับความช่วยเหลือ และความร่วมมือจากหลายๆฝ่ายด้วยกัน บุคคลที่มีส่วนสำคัญที่ทำให้วิทยานิพนธ์นี้เสร็จลงได้ก็คือ อาจารย์ ประสิทธิ์ คำพันธ์, อาจารย์ พงษ์ศักดิ์ คำมูล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้ความเอาใจใส่ แนะนำและช่วยเหลือเสมอมา ซึ่งต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างมาก รวมถึงอาจารย์ท่านอื่นๆที่คอยให้คำปรึกษา

ขอขอบคุณ คุณ มณฑา ช่างเทคนิคประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล ที่คอยให้ความช่วยเหลือในด้านการทำงานทุกด้าน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญภาพ	VII
สารบัญตาราง	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของ โครงการงาน	2
1.3 ขอบเขตของงาน	2
1.4 ขั้นตอนการเตรียมการ	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ความรู้ทั่วไป	4
2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับแก้ว	4
2.1.1 ประวัติความเป็นมา	4
2.1.2 ส่วนประกอบ	4
2.1.3 คุณสมบัติของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตแก้ว	4
2.1.4 คุณสมบัติของแก้ว	6
2.1.5 ประโยชน์ในการใช้งาน	6
2.1.6 ชนิดและประเภทของแก้ว	7
2.2 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับขยะมูลฝอย	7
2.2.1 ประเภทของขยะมูลฝอย	7
2.2.2 มูลฝอยจากนิคมอุตสาหกรรม	9
2.3 ธุรกิจการซื้อขายแลกเปลี่ยนของเสีย	10
บทที่ 3 ลักษณะของเครื่องบดขวดแก้ว	12
3.1 ลักษณะโดยรวมของเครื่องบดขวดแก้ว	12
บทที่ 4 ทฤษฎีการคำนวณ	17
4.1 การออกแบบเพลลา	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
4.2 วัสดุเพลลา	18
4.3 ขนาดของเพลลา	18
4.4 การพิจารณาในการออกแบบเพลลา	18
4.5 การออกแบบเพลลาตามโค้ดของ AMSE	20
4.6 ความแข็งแรงทางด้านการบิด	23
4.7 โรลลิ่งแบร์ริง	24
4.8 ชนิดของแบร์ริง	26
4.9 การใช้แบร์ริงคู่	28
4.10 มิติมาตรฐานของโรลลิ่งแบร์ริง	31
4.11 ความเสียดทานของโรลลิ่งแบร์ริง	32
4.12 แรงสมมูล	33
4.13 สายพาน	38
4.14 สายพานลีม	39
4.15 การคำนวณหาขนาดของสายพานลีม	39
บทที่ 5 การออกแบบและการคำนวณ	41
5.1 การหาแรงที่ใช้ในการทำให้ขวดแตกจากแรงกระแทก	41
5.2 การหาขนาดของมอเตอร์	43
5.3 การหาขนาดเพลลา	43
5.4 การหาขนาดแขนตี	44
5.5 การหาขนาดแบร์ริง	44
5.6 การหาสายพานและล้อสายพาน	47
บทที่ 6 การทดสอบและผลการทดสอบเครื่องบดขวดแก้ว	48
6.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ	48
6.2 วัตถุประสงค์ของการทดสอบ	48
6.3 วิธีการทดสอบ	48
6.3.1 วิธีการทดสอบหาความเร็วรอบที่เหมาะสมกับขนาดของเศษแก้วใส	48
6.3.2 วิธีการทดสอบหาความเร็วรอบที่เหมาะสมกับขนาดของเศษแก้วสี	50
6.3.3 หาสมรรถนะของเครื่องบดขวดแก้ว	51
บทที่ 7 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง	52
7.1 สรุปผลการทดลอง	52
7.1.1 สรุปการทดสอบหาความเร็วรอบที่เหมาะสมกับขนาดของเศษแก้วใส	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
7.1.2 สรุปรูปการทดสอบหาความเร็วรอบที่เหมาะสมกับขนาดของเศษแก้วสี	53
7.1.3 ผลการทดสอบหาสมรรถนะของเครื่องบดขวดแก้ว	54
7.2 วิจารณ์และข้อเสนอแนะ	54
บรรณานุกรม	
ภาคผนวก	



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 1-1 แสดงรูปเศษแก้วที่เหลื่อใช้ก่อนจะนำมาบด	1
รูปที่ 2-1 แสดงกระบวนการผลิต	6
รูปที่ 2-2 แสดงการจำแนกชนิดของขยะมูลฝอย	8
รูปที่ 2-3 แผนภูมิแสดงการคาดการณ์ปริมาณมูลฝอยทั่วประเทศในอนาคต	9
รูปที่ 3-1 แสดงส่วนต้นกำลังของเครื่องบดขวดแก้ว	13
รูปที่ 3-2 แสดงส่วนของการส่งกำลัง	13
รูปที่ 3-3 ชิ้นส่วนภายในถังตีขวดแก้ว	14
รูปที่ 3-4 โครงสร้างของเครื่องบดขวดแก้ว	14
รูปที่ 3-5 ส่วนของช่องทางใส่ขวดแก้ว	15
รูปที่ 3-6 ส่วนของช่องทางออกของเครื่องบดขวดแก้ว	15
รูปที่ 3-7 เครื่องบดขวดแก้ว	16
รูปที่ 4-1 เพลที่อยู่ภายใต้แรงต่างๆ	20
รูปที่ 4-2 ส่วนต่างๆของบอลแบร์ริง	24
รูปที่ 4-3 บอลแบร์ริงชนิดต่างๆ	26
รูปที่ 4-4 โรลเลอร์แบร์ริงชนิดต่างๆ	28
รูปที่ 4-5 การติดตั้งแบร์ริงชนิด angular contact	29
รูปที่ 4-6 การติดตั้งแบร์ริงชนิด angular contact	30
รูปที่ 4-7 การติดตั้งแบร์ริงชนิด angular contact	30
รูปที่ 4-8 ขอบเขตของมิติ สำหรับอนุกรมมิติของแบร์ริงต่างๆ	31
รูปที่ 4-9 แสดงหน้าตัดสายพานลิ่ม และล้อสายพาน	39
รูปที่ 4-10 แสดงแผนภูมิที่ใช้ในการเลือกขนาดหน้าตัดของสายพานลิ่ม	40
รูปที่ 5-1 ความแตกต่างของกระแสที่ใช้ในการตีขวดให้แตก	41
รูปที่ 5-2 การนำมอเตอร์ไปทดสอบหาประสิทธิภาพ	42
รูปที่ 6-1 ผลการทดลองสำหรับขวดแก้วใส	49
รูปที่ 6-2 ผลการทดลองสำหรับขวดแก้วสี	50
รูปที่ 6-3 ผลการทดลองการหาสมรรถนะของเครื่องบดขวดแก้ว	51
รูปที่ 7-1 ผลการทดลองสำหรับขวดแก้วใส	52
รูปที่ 7-2 ผลการทดลองสำหรับขวดแก้วสี	53
รูปที่ 7-3 ผลการทดลองการหาสมรรถนะของเครื่องบดขวดแก้ว	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2-1 แสดงองค์ประกอบของมูลฝอยทางกายภาพ ณ โรงงานกำจัดมูลฝอยอ่อนนุช	10
ตารางที่ 2-2 ราคาขายวัสดุที่นำกลับมารีไซเคิลที่แหล่งทิ้งขยะมูลฝอย	11
ตารางที่ 4-1 ขนาดระบุของเพลามาตรฐาน ISO/R775-1969	18
ตารางที่ 4-2 ค่าตัวประกอบความล้า	22
ตารางที่ 4-3 ค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน	32
ตารางที่ 4-4 ตัวประกอบ X และ Y สำหรับบอลและโรลเลอร์แบร์ริง	35
ตารางที่ 4-4 ตัวประกอบ X และ Y สำหรับบอลและโรลเลอร์แบร์ริง (ต่อ)	36
ตารางที่ 4-5 แรงประเมินและตัวประกอบ X และ Y	37
ตารางที่ 4-6 ตัวประกอบของการกระแทก	38
ตารางที่ 4-7 ตัวประกอบของสายพาน	38
ตารางที่ 4-8 ตัวประกอบของเฟือง	38
ตารางที่ 6-1 ผลการทดลองสำหรับขวดแก้วใส	49
ตารางที่ 6-2 ผลการทดลองสำหรับขวดแก้วสี	50
ตารางที่ 6-3 ผลการทดลองการหาสมรรถนะของเครื่องบดขวดแก้ว	51
ตาราง ก.1 มิติมาตรฐานและแรงประเมินของโรลลิ่งแบร์ริง (C_0 , C เป็น KN)	
ตาราง ก.2 มิติมาตรฐานและแรงประเมินของโรลลิ่งแบร์ริง (C_0 , C เป็น KN)	
ตาราง ก.3 มิติมาตรฐานและแรงประเมินของโรลลิ่งแบร์ริง (C_0 , C เป็น KN)	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากในปัจจุบันภาชนะและอุปกรณ์ต่างๆที่ทำจากวัสดุประเภทแก้วได้มีการนำมาใช้ในชีวิตประจำวันอย่างแพร่หลาย เศษแก้วที่เหลือใช้นั้นเป็นเศษวัสดุที่ยากต่อการย่อยสลาย และต้องใช้เนื้อที่มากในการเก็บเศษแก้วเหล่านี้ วิธีที่จะบำบัดปัญหาเหล่านี้ได้วิธีหนึ่ง คือ นำเศษแก้วที่เหลือใช้ไปหลอม เพื่อที่จะนำกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งก่อนที่จะเข้าสู่กระบวนการของการหลอมแก้วนั้น ก็จะต้องนำเศษแก้วที่เหลือใช้มาบดให้ละเอียดเสียก่อน เศษแก้วที่ได้จากการบดเหล่านี้ก็จะช่วยลดปัญหาในการจัดเก็บอีกด้วย เพราะเศษแก้วที่บดแล้วนั้นได้ไปแทนที่ในส่วนของคุณสมบัติภายในขวดแก้ว เพราะฉะนั้นถ้าหากมีพื้นที่ในการจัดเก็บเท่ากัน เศษแก้วที่บดละเอียดแล้วก็จะจัดเก็บได้ในปริมาณที่มากกว่าขวดแก้วที่ยังไม่ได้บด ทางคณะผู้จัดทำจึงได้มีความคิดที่จะสร้างเครื่องบดขวดแก้วขึ้นมาซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของขั้นตอนที่จะช่วยลดปัญหาเศษแก้วที่เหลือใช้

เครื่องบดขวดแก้ว (Bottle Glass Grinder) จัดเป็นหนึ่งในเครื่องมือในกระบวนการนำเศษแก้วที่เหลือใช้กลับมารีไซเคิล (Recycle) เป็นเครื่องมือขั้นต้นในกระบวนการผลิตที่ใช้ในการลดขนาดของขวดแก้วก่อนที่จะนำไปหลอมและขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ



รูปที่ 1-1 แสดงรูปเศษแก้วที่เหลือใช้ก่อนจะนำมาบด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้การบดขูดแก้วยังเป็นการเสริมสร้างรายได้สำหรับผู้ประกอบการขนาดย่อม เพราะการบดขูดแก้วนั้นสามารถเพิ่มมูลค่าของขวดแก้วเปล่าได้จากราคาขวดแก้วเปล่ากิโลกรัมละ 1.30-1.80 บาท เมื่อนำมาบดแล้วจะทำให้มูลค่าของเศษแก้วพวกนี้เพิ่มขึ้น ประมาณกิโลกรัมละ 30 – 50 สตางค์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่าตั้งราคาของผู้ประกอบการผลิต

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 เพื่อออกแบบและจัดสร้างเครื่องบดขูดแก้วต้นแบบ ที่มีกำลังการผลิต 3 ตันต่อ 1 วัน
- 1.2.2. เพื่อให้ผู้ประกอบการธุรกิจซื้อ-ขายเศษขวดแก้วสามารถเพิ่มมูลค่าให้กับสินค้าได้
- 1.2.3 เพื่อลดปัญหาพื้นที่ที่จะต้องใช้ในการจัดเก็บขวดแก้ว

1.3 ขอบเขตของงาน

- 1.3.1 สร้างเครื่องบดขูดแก้วต้นแบบ
- 1.3.2. สามารถบดขูดแก้วได้ 3 ตัน ต่อ 1 วัน หรือมากกว่า
- 1.3.3. ขนาดของเศษแก้วที่บดออกมามีขนาด 2-3 ตารางเซนติเมตร

1.4 ขั้นตอนการเตรียมการ

- 1.4.1 ศึกษาและเก็บข้อมูลเบื้องต้น เกี่ยวกับกระบวนการผลิตแก้ว และการทำงานของเครื่องจักร
- 1.4.2 พิจารณาเลือกขอบเขตการทำงานของเครื่องจักร และลักษณะการทำงานของเครื่องจักร
- 1.4.3 คำนวณการใช้อุปกรณ์ต่างๆ ให้สอดคล้องกับขอบเขตการทำงานของเครื่องจักรที่พิจารณา
- 1.4.4 ออกแบบเครื่องจักร ตลอดจนส่วนต่างๆของเครื่องจักร
- 1.4.5 ดำเนินการจัดสร้าง
 - ขั้นตอนการเตรียมอุปกรณ์
 - ขั้นตอนการจัดสร้างระบบการทำงานต่างๆ
 - ขั้นตอนการประกอบเครื่องจักร
- 1.4.6 ออกแบบการทดสอบเพื่อหาสมรรถนะ และขอบเขตการทำงานของเครื่องจักร
- 1.4.7 การทดสอบและเก็บข้อมูลการทดสอบ
- 1.4.8 วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้พร้อมทั้งประเมินผล
- 1.4.9 สรุปผลข้อมูลนำเสนอ พร้อมข้อเสนอแนะในการที่จะปรับปรุงเครื่องจักร

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 เป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการปรับปรุงแก้ไขเครื่องจักรสำหรับบดขูดแก้วให้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1.5.2 เป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการตัดสินใจในการลงทุนทำธุรกิจซื้อขายเศษขวดแก้ว
- 1.5.3 ได้เครื่องบดขวดแก้วต้นแบบ
- 1.5.4 เป็นแนวทางในการศึกษาและพัฒนาเครื่องบดขวดแก้วต้นแบบที่มีสมรรถนะสูงขึ้น
- 1.5.5 สร้างเครื่องจักรขึ้นมาเพื่อทำงานตามวัตถุประสงค์ได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ความรู้ทั่วไป

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับแก้ว

2.1.1 ประวัติความเป็นมา

การกำเนิดแก้ว

แก้วนั้นถูกทำขึ้นครั้งแรกในดินแดนเมโสโปเตเมีย หรืออียิปต์ เมื่อหลายพันปีก่อนคริสต์ศักราช แต่แก้วได้รับความนิยมนำมาใช้สอยกันกว้างขวางเมื่อราว 3,500 ปีมานี้เอง แก้วในสมัยโบราณมีความแตกต่างจากแก้วในสมัยปัจจุบันมาก ชาวเมโสโปเตเมียและชาวอียิปต์มีวิธีการทำแก้วอยู่ 2 วิธีด้วยกัน คือ วิธีแรกนั้นใช้แม่พิมพ์ที่ข้างในทำด้วยทรายแล้วจึงหุ้มด้วยแก้วที่หลอมละลาย ส่วนวิธีที่ 1 นั้นต้องใช้แม่พิมพ์ 2 อันวางซ้อนกันด้านบนใหญ่กว่า เว้นช่องว่างระหว่างแม่พิมพ์ทั้งสองไว้ แล้วเทน้ำแก้วลงไป

2.1.2 ส่วนประกอบ

วัตถุดิบที่ใช้ผลิตแก้ว คือ หินควอตซ์ ฟลักซ์ (Flux) และสารที่ทำให้ทนต่อสารเคมีได้ดีขึ้น วัสดุที่ทำให้เกิดเป็นแก้วจริงๆ คือ ทรายซิลิกา (SiO_2) สำหรับฟลักซ์จะเป็นตัวที่ลดจุดหลอมเหลวของทรายซิลิกาฟลักซ์นี้ส่วนใหญ่เป็นสารประกอบประเภทต่าง เช่น โซดา หรือซิลิกาซัลเฟต (SiSO_4) ใส่ผสมเข้าไปเพื่อให้เกิดความแข็งแรง ความคงทนตามต้องการ และเพื่อให้แก้วเรียบเป็นมัน จะมีการเติมหินปูน ตะกั่วและสังกะสีเข้าไปอีก วัตถุดิบที่กล่าวมานี้จะถูกย่อยให้ละเอียดและผสมเข้าด้วยกัน แล้วนำไปเข้าเตาหลอมให้ละลายที่อุณหภูมิ 1400°C ถึง 1500°C ในระหว่างที่หลอมละลายสามารถเติมโลหะออกไซด์เข้าไปเพื่อข้อมสีให้ได้สีตามที่ต้องการ

ส่วนผสมของวัตถุดิบ

-ทรายแก้ว	45.5%
-โซดาแอช	11.8%
-โซเดียมซัลเฟต	1.2%
-หินโคโลไมท์	1.4%
-หินปูน	3.1%
-หินฟันม้า	9.7%
-เศษแก้ว	27.3%

2.1.3 คุณสมบัติของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตแก้ว

ทราย : ทรายที่จะนำมาใช้ในการทำแก้วนี้ ได้มาจากแหล่งวัตถุดิบที่จังหวัดระยอง อำเภอแกลง บริเวณช่องระหว่างแหลมแม่พิมพ์ กับวังแก้ว ซึ่งตามข้อกำหนดของ โรงงานจะต้องเป็นทรายที่มีซิลิกามากกว่า 99.4% และมีเหล็กออกไซด์น้อยกว่า 0.06% สำหรับปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในทรายยังไม่ได้กำหนดเป็นเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณความชื้นที่แน่นอน เมื่อใช้การทดสอบแบบธรรมดา แต่เมื่อนำมาใช้กับโรงผสมอัตโนมัติจะต้องมีความชื้นไม่มากกว่า 5% ทราซที่ใช้ได้จะมีสีค่อนข้างขาว เป็นเม็ดละเอียดผ่านตะแกรงร่อนมาตรฐาน เบอร์ 100

โซดาแอซ : เป็นส่วนผสมที่ทำให้เกิดในโตรเจนออกไซด์ ซึ่งทุกวันนี้ใช้เป็นส่วนผสมเพื่อเป็นตัวช่วยในการผสมวัตถุดิบ ช่วยให้ป็นเนื้อแก้ว

โซเดียมซัลเฟต : จะให้ Na_2O เป็นปริมาณ 43% และบางทีอาจพบว่ามีเหล็กมากกว่าปกติ ช่วยป้องกันการแยกชั้นที่ผิว

หินโดโลไมท์ : ประกอบด้วยแร่โดโลไมท์ ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) เป็นส่วนใหญ่ หินพวกนี้มักเกิดจากการที่มีสารละลาย ซึ่งมีแมกนีเซียมผสมอยู่เข้าไปทำปฏิกิริยากับหินปูน ทำให้เกิดเป็นโดโลไมท์ขึ้นมา มีเพียงเล็กน้อยที่เกิดจากการตกตะกอนทางเคมี

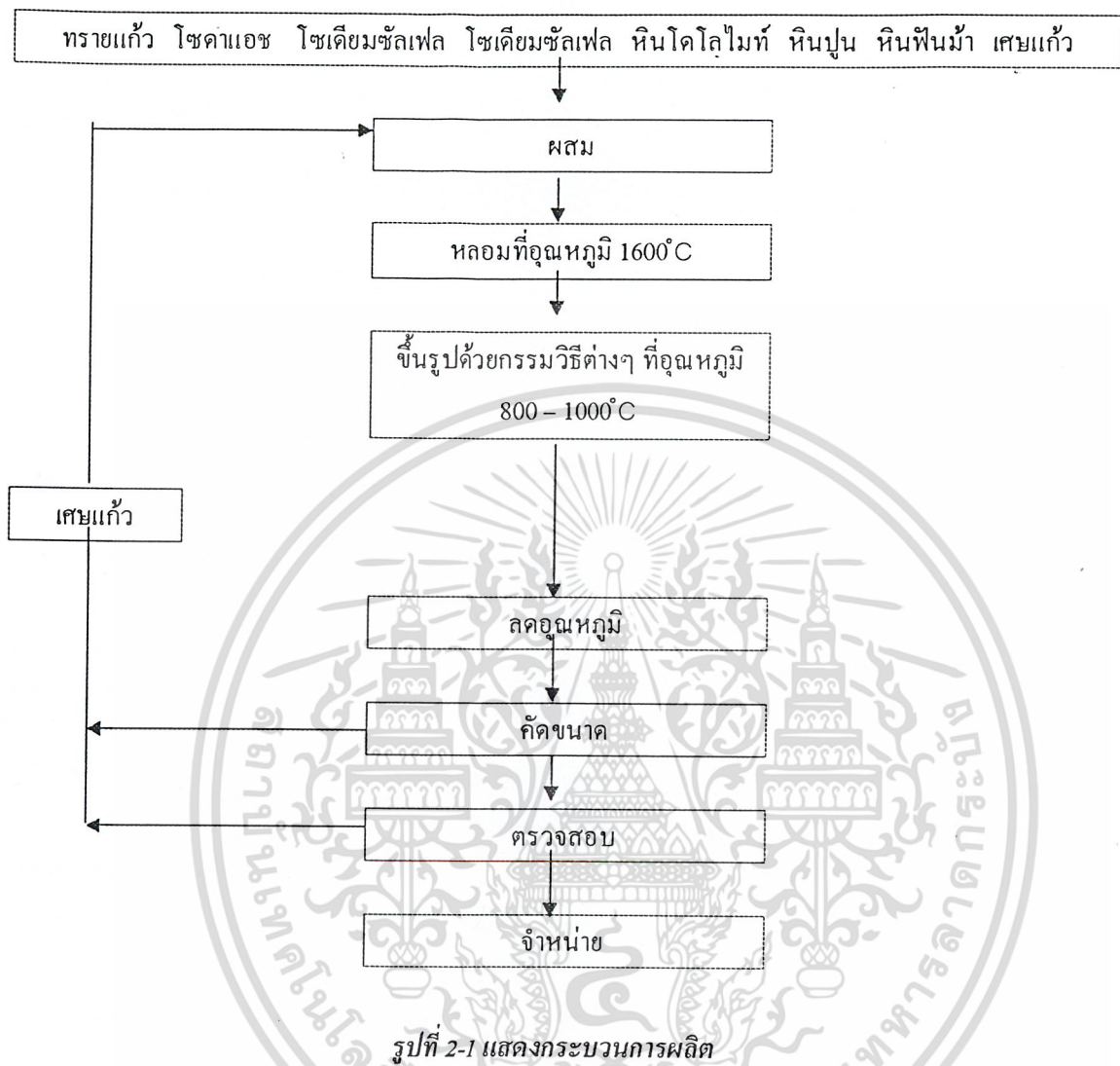
หินปูน : ประกอบด้วยแร่แคลไซต์ (CaCO_3) เป็นส่วนใหญ่ หินปูนเกิดในน้ำทะเลและเป็นหินเนื้อละเอียดอาจเกิดโดยวิธีทางอนินทรีย์เคมี หรือทางอินทรีย์เคมี คือมีสิ่งมีชีวิตเป็นตัวช่วยก็ได้ บางครั้งก็อาจจะเป็นเม็ดผสมอยู่ (Clastic Texture) หินปูนบางชนิดอาจประกอบด้วยซากพืช ซากสัตว์ ทับถมกันอยู่ เช่น (Chalk) เกิดจากสัตว์เซลล์เดียวทับถมกัน และแข็งตัวเป็นหิน โดยคิวยา เกิดจากเปลือกหอยหรือสัตว์อื่นๆ มีขนาดใหญ่ทับถมกัน นอกจากนี้หินปูนยังอาจเกิดในน้ำจืด เช่น ตามลำธาร ตามถ้ำหินปูน เรียกว่า “หินปูนน้ำจืด” (Dripstone)

คุณสมบัติ มีประกายเหมือนแก้ว หรือมุก แนวแตกสามทิศทางตีมากทำมุม 75° และ 105° เป็นฟองฟูเมื่อเกิดการเคลื่อนที่ของน้ำเป็นก้อน เนื้อแน่น หรือเป็นรูปขนนกเปียกปูนอันเกิดจากแนวแตกทั้งสามหรือ เป็นรูปผลึกคล้ายฟัน

เฟลด์สปาร์ : เป็นชุดของแร่ที่พบมากที่สุดในโลก คือ มีถึง 60% ของแร่ทั้งหมดบนเปลือกโลก

คุณสมบัติ เฟลด์สปาร์ประกอบด้วยในแร่ ออร์โทโครส ไมโครไลท์ สีขาว (เหลือง) งามๆ คริม ชมพู เขียว มีประกายใสเหมือนแก้ว แนวการแตกสองทิศทางตั้งฉากกัน โดยมากเกิดเป็นก้อนๆ เนื้อแน่น บางทีก็เกิดเป็นรูปผลึกสั้นๆ ผิวของแนวแตกเรียบเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า

ในการผลิตเฟลด์สปาร์เป็นวัตถุดิบตัวหนึ่งที่เป็นแหล่งของอลูมินา ซึ่งเป็นแหล่งสำคัญมากที่สุด ในขบวนการนำมาหลอมระหว่างอุณหภูมิ 1,100 – 1,200 องศาเซลเซียส



2.1.4 คุณสมบัติของแก้ว

แก้วจะทนต่อกรดและด่างได้ดี ทนความร้อน เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี มีข้อเสีย คือ เปราะ แก้วธรรมดาจะแตกเป็นเศษแหลมคมที่มีอันตรายมาก สำหรับใยแก้วสามารถดัดได้ และมีความต้านแรงดึงถึง 700 N/cm^2

2.1.5 ประโยชน์ในการใช้งาน

ในการผลิตแผ่นแก้ว (กระจก) เรียบสำหรับกระจกหน้าต่าง กระจกแผ่นและอื่นๆ จะผลิตในลักษณะที่แก้วอยู่ในสภาพเหนียวหนืดแล้วนำเข้าเครื่องรีด ดึง หรือถ้าเป็นกระจกชนิดหนา ก็จะหล่อขึ้นรูปหรืออัดแล้วรีดแก้วชนิดกลวง เช่น ขวด ภาชนะแก้ว หลอดแก้ว จะผลิตด้วยการเป่าขึ้นรูปหรืออัดขึ้นรูป ภาชนะแก้วหรือหลอดแก้วในห้องปฏิบัติการจะผลิตด้วยการดึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.6 ชนิดและประเภทของแก้ว

คำว่า“แก้ว”สิ่งแรกที่ทุกคนจะนึกถึงกัน คือ เครื่องแก้ว แต่ที่จริงแล้วคำว่าแก้วนั้นมีความหมายครอบคลุมถึงผลิตภัณฑ์ต่างๆมากมาย ตั้งแต่ ขวดแก้ว แผ่นกระจก รวมไปถึงผลิตภัณฑ์ใยแก้ว

ผลิตภัณฑ์แก้วสามาที่จะแบ่งแยกเป็นกลุ่มใหญ่ๆได้ดังนี้

1.ผลิตภัณฑ์เครื่องแก้ว ได้แก่

- 1.1 ภาชนะเครื่องแก้วที่ใช้ในชีวิตประจำวัน เช่น แก้ว ขวด เป็นต้น
- 1.2 แก้วสำหรับใช้ในการทดลอง และในทางการแพทย์ เช่น แก้วทนต์ไฟ หลอดขยาย
- 1.3 แก้วสำหรับงานไฟฟ้า และอิเล็กทรอนิกส์ เช่น หลอดไฟ หลอดวิทยุ
- 1.4 แก้วสำหรับงานทางด้านทัศนศาสตร์ เช่น เลนส์ และงานอื่นๆ

2.ผลิตภัณฑ์กระจกแผ่น ได้แก่

- 2.1 กระจกซีท
- 2.2 กระจกโฟลท
- 2.3 กระจกขัดผิว
- 2.4 กระจกคอกวาดลาย
- 2.5 กระจกลวด
- 2.6 กระจกตัดแสง
- 2.7 กระจกสะท้อนแสง
- 2.8 กระจกนิรภัยหลายชั้น
- 2.9 กระจกนิรภัยเทมเปอร์
- 2.10 กระจกฉนวน
- 2.11 กระจกเงา
- 2.12 และอื่นๆ

3.ผลิตภัณฑ์ใยแก้ว ได้แก่

- Continuous Fibers
- Short Fiber
- Optical Fiber
- Alkali – Resistant Fiber

2.2 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับขยะมูลฝอย

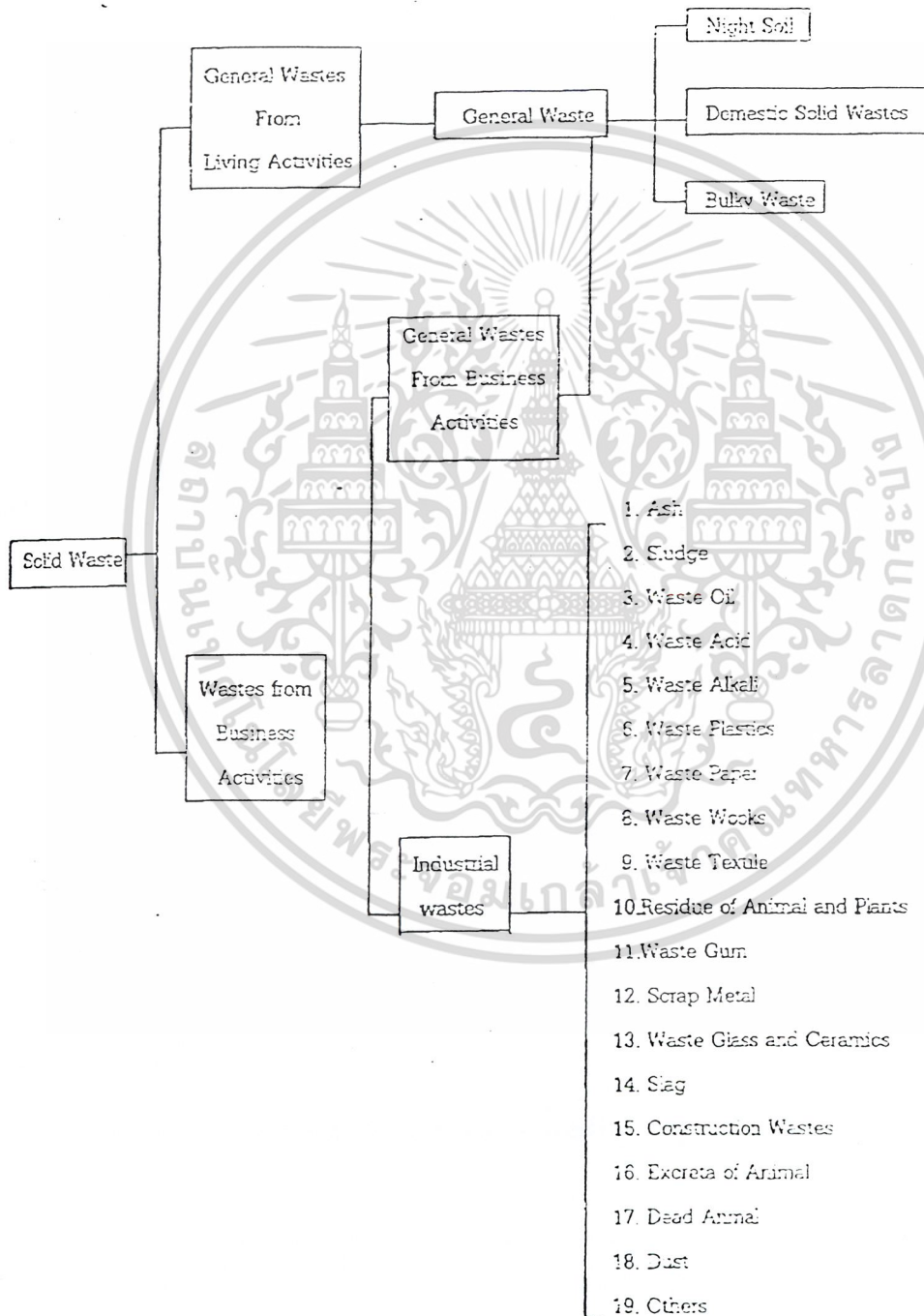
2.2.1 ประเภทของขยะมูลฝอย

มูลฝอยอาจจำแนกเป็น 2 ประเภทได้แก่ มูลฝอยโดยทั่วไป และมูลฝอยจากงานอุตสาหกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

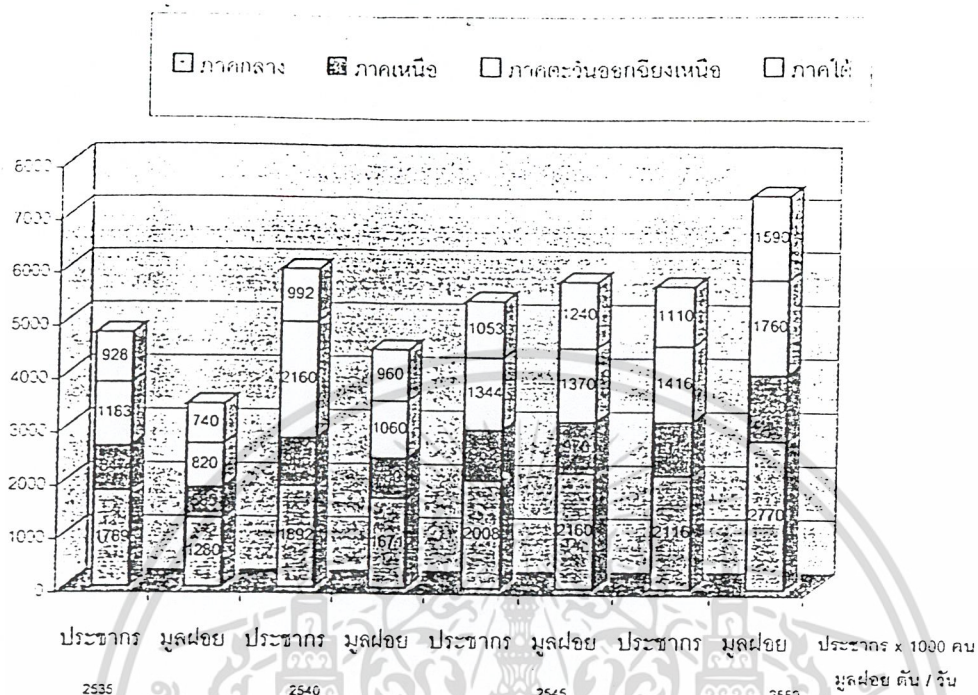
มูลฝอยโดยทั่วไป (General Wastes) ซึ่งเกิดขึ้นจากการดำรงชีพ (Living Activities) และการดำเนินธุรกิจ (Business Activities) ส่วนหนึ่ง

มูลฝอยจากงานอุตสาหกรรม (Industrial Wastes) ซึ่งเป็นอีกส่วนหนึ่งของมูลฝอยที่เกิดจากการดำเนินธุรกิจเช่นกัน



รูปที่ 2-2 แสดงการจำแนกชนิดของขยะมูลฝอย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-3 แผนภูมิแสดงการคาดการณ์ปริมาณมูลฝอยทั่วประเทศในอนาคต

2.2.2 มูลฝอยจากนิคมอุตสาหกรรม

ลักษณะการเกิดมูลฝอยในโครงการนิคมอุตสาหกรรมโดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ ได้แก่ มูลฝอยในเขตพื้นที่อุตสาหกรรม และมูลฝอยจากเขตพื้นที่ค้ำานพาณิชย์กรรมและเขตที่พักอาศัยสำหรับลักษณะมูลฝอยนั้น ในเขตพื้นที่ค้ำานพาณิชย์กรรมและเขตที่พักอาศัยจะมีลักษณะเหมือนกับมูลฝอยของชุมชนทั่วไป ส่วนลักษณะมูลฝอยในเขตอุตสาหกรรมจะแปรผันกับประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งอาจจะมีมูลฝอยหรือของเสียที่อันตราย (Hazardous Wastes) รวมอยู่ด้วย ในด้านปริมาณมูลฝอยที่เกิดขึ้นภายในนิคมอุตสาหกรรมที่ดำเนินการแล้วรวม 12 แห่ง จากการสำรวจคาดว่าปริมาณมูลฝอยที่เกิดขึ้นรวม 523 ตันต่อวัน และเมื่อนิคมอุตสาหกรรมทั้งหมด 18 แห่ง เปิดดำเนินการทุกโครงการ คาดว่าปริมาณมูลฝอยที่จะเกิดขึ้นรวม 678 ตันต่อวัน

สำหรับองค์ประกอบของมูลฝอยทางกายภาพ ที่โรงงานกำจัดมูลฝอยอ่อนนุช เมื่อวันที่ 18 สิงหาคม 2537 ที่สำรวจโดย บริษัท ซิคอนจำกัด พบว่าในมูลฝอยประเภทเผาไหม้ได้ กระดาษและผ้ามีจำนวนลดลง ในขณะที่พลาสติก ขาง หน้ก ผัก ผลไม้ และเศษอาหารมีจำนวนเพิ่มมากขึ้น ส่วนมูลฝอยประเภทที่เผาไม่ได้ แก้ว และโลหะ มีจำนวนเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่ไม้มีจำนวนลดลง รายละเอียดดังกล่าวถูกแสดงไว้ในตารางที่ 2-1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

องค์ประกอบของมูลฝอย	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ (โดยน้ำหนัก)
1.กระดาษ	132.5	17.75
2.พลาสติก	116.2	15.56
3.ผ้า	16.7	2.23
4.แก้ว	47.4	6.35
5.โลหะ	35.2	4.71
6.กระเบื้องเซรามิก	3.1	0.41
7.ไม้	3.4	0.45
8.ยาง,หนัง	38.4	5.14
9.ผัก,ผลไม้และเศษอาหาร	271.7	36.39
10.อื่นๆ	82.2	11.01
รวม	746.8	100

ตารางที่ 2-1 แสดงองค์ประกอบของมูลฝอยทางกายภาพ ณ โรงงานกำจัดมูลฝอยอ่อนนุช วันที่ 18 สิงหาคม 2537

2.3 ธุรกิจการซื้อขายแลกเปลี่ยนของเสีย

จากรายงานของเหตุพิช(2534)พบว่า ธุรกิจนี้มีได้มีเฉพาะประเทศไทยเท่านั้น แต่เป็นระบบที่มีการใช้ทั่วไป ทั้งในประเทศที่พัฒนาแล้ว เช่น ญี่ปุ่น และประเทศที่กำลังพัฒนา เช่น ฟิลิปปินส์ อินโดนีเซีย เป็นต้น การซื้อขายแลกเปลี่ยนของเสีย (Waste Material Exchange) ส่วนใหญ่จะดำเนินงานโดยเอกชน สำหรับในประเทศไทยดำเนินการ โดยกลุ่มเอกชน 5 กลุ่ม ได้แก่

1. ร้านรับซื้อของเสียย่อย (Small Scale Recycle Shop) ส่วนใหญ่จะตั้งอยู่ใกล้เคียงกับสถานที่ทิ้งมูลฝอยของเทศบาล หรือสุขาภิบาล จะทำหน้าที่รับซื้อวัสดุจากเจ้าหน้าที่เก็บขนมูลฝอย และผู้ซุกซุ่มมูลฝอย เช่น ขวดแก้ว เศษกระดาษ เศษพลาสติก เศษโลหะ ฯลฯ ที่คัดแยกมาจากกองมูลฝอย

2. สามล้อรับซื้อวัสดุเหลือใช้ตามบ้าน (3-Wheelers) ทำหน้าที่ รับซื้อวัสดุที่เหลือใช้จากตามบ้านต่างๆ แล้วนำไปขายต่อให้แก่ร้านรับซื้อของเก่าต่อไป

3. ร้านรับซื้อของเก่า (Junk Shops) จะมีการจดทะเบียนการค้าถูกต้องตามกฎหมาย เพื่อทำหน้าที่ รับซื้อ ขวด กระดาษ เศษพลาสติก เศษโลหะ จากสามล้อรับซื้อวัสดุเหลือใช้ และผู้ที่ซุกซุ่มมูลฝอยตามถังรองรับมูลฝอย แล้วนำมาปรับปรุงคุณภาพวัสดุดังกล่าวเล็กน้อย เช่น ล้างขวดให้สะอาด แยกกระดาษออกเป็นหมวดหมู่ ทำความสะอาดพลาสติก เป็นต้น หลังจากนั้นจะนำไปขายต่อให้แก่โรงงานอุตสาหกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.พ่อค้ารับซื้อของเก๋ารายใหญ่ (Wholesaler) จะทำสัญญากับโรงงานอุตสาหกรรม เช่น โรงงานผลิตเยื่อกระดาษ โรงงานผลิตแก้ว โรงงานผลิตเม็ดพลาสติก โรงงานผลิตเหล็กและลวดเหล็ก ฯลฯ ในการจัดหาขวด แก้ว กระดาษ พลาสติก โลหะ และอื่นๆ ตามปริมาณ ชนิด และคุณภาพที่โรงงานอุตสาหกรรมดังกล่าวต้องการ หลังจากนั้น wholesaler จะออกไปกว้านซื้อวัสดุดังกล่าวจากร้านรับซื้อของเสี่ยรายย่อย และร้านรับซื้อของเก่า พร้อมทั้งทำการปรับปรุงคุณภาพวัสดุนั้นจนได้ปริมาณ ชนิด และคุณภาพตามที่ต้องการแล้วจัดส่งให้โรงงานอุตสาหกรรม เพื่อนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตสินค้าต่อไป

5.โรงงานอุตสาหกรรม (Industry) โรงงานอุตสาหกรรมที่อยู่ในระบบ Waste Material Exchange จะทำหน้าที่รับซื้อวัสดุเหลือใช้ และของเสียจากกระบวนการผลิตมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตสินค้าหรือขายต่อไปยังโรงงานอื่นๆที่สามารถใช้ประโยชน์จากของเสียดังกล่าวได้

ในการนำขวดแก้วกลับมารีไซเคิลใหม่พบว่าไม่เพียงแต่จะเป็นการช่วยรักษาสภาพแวดล้อมและลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติลงเท่านั้น แต่ยังทำให้เกิดรายได้กับผู้ที่เกี่ยวข้องกับวงการธุรกิจซื้อขายแลกเปลี่ยนของเสียอีกด้วย จากรายงานของ Pimie (1989) พบว่าของเสี่ยที่นำกลับมารีไซเคิลได้จากที่พนักงานขนขยะมูลฝอยถูกกลับคืนมาได้อยู่ระหว่าง 50-150 กิโลกรัมต่อคนต่อวัน โดยรายได้ในแต่ละวันจะอยู่ระหว่าง 30-300 บาทต่อคน

สำหรับราคาขายวัสดุที่นำกลับมารีไซเคิลได้ที่แหล่งทิ้งขยะมูลฝอย ซึ่งสำรวจโดยสำนักรักษาความสะอาด กรุงเทพมหานคร ได้ถูกแสดงไว้ในตาราง 2-2

วัสดุต่อกิโลกรัม	ราคาขาย(บาท)
ขวดพลาสติก	4.00-5.50
ขวดแตก	0.20-0.30
ขวดแม่โขง(สีขาว)	0.70-0.80
ขวดเบียร์(สีน้ำตาล)	0.10-0.20
เหล็ก	1.50-1.60
อลูมิเนียม	14.70-17.70
ทองแดง	39.70-49.70
กระดาษที่ใช้เขียน	3.20-3.30
หนังสือพิมพ์	1.30-1.80
เศษกระดาษ	0.80-1.10
กระดาษแข็ง	1.20-1.40

ที่มา: สำนักรักษาความสะอาด กรุงเทพมหานคร (1992)

ตารางที่ 2-2 ราคาขายวัสดุที่นำกลับมารีไซเคิลที่แหล่งทิ้งขยะมูลฝอย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ลักษณะของเครื่องบดขวดแก้ว

3.1 ลักษณะโดยรวมของเครื่องบดขวดแก้ว

เครื่องบดขวดแก้วเป็นเครื่องที่นำหลักการของแรงกระแทก (Impact) มาใช้ในการทำให้ขวดแตก เพื่อให้ได้ขนาดก่อนที่จะไปสู่กระบวนการหลอมแก้วต่อไป โดยเครื่องบดขวดแก้ว มีส่วนประกอบหลักๆดังนี้

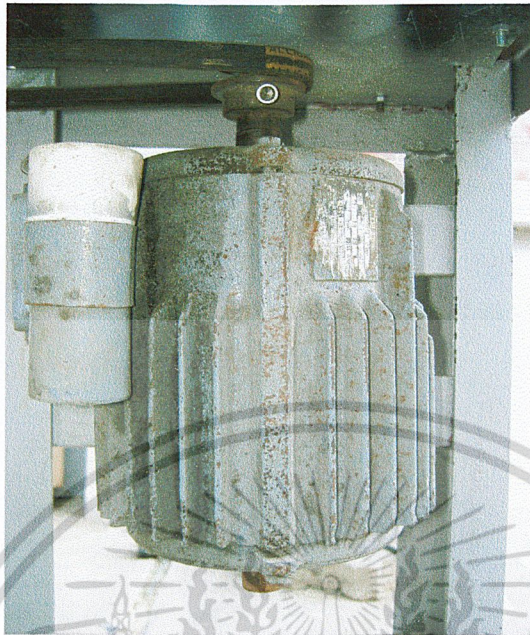
1. ส่วนต้นกำลัง เป็นส่วนที่ทำให้กำลังกับเครื่องจักร สามารถแบ่งออกตามประเภทต่างๆคือ
 - 1.1 ชุดต้นกำลังจากคน เป็นการใช้แรงคนในการบดขวดแก้วเข้าสู่เครื่อง
 - 1.2 ชุดต้นกำลังจากพลังงาน ไฟฟ้า ซึ่งก็คือ มอเตอร์ไฟฟ้า
2. ส่วนส่งกำลัง เป็นส่วนที่ใช้ในการส่งกำลังจากส่วนต้นกำลัง ไปยังส่วนของถังตีขวดแก้ว โดยใช้การส่งกำลังผ่านสายพาน มู่เลย์ เป็นต้น
3. ส่วนถังตีขวดแก้ว เป็นส่วนที่ทำให้ขวดแก้วแตก ด้วยวิธีการกระแทก ประกอบด้วยเขนตี และเพลารองรับเขนตี
4. ส่วนของโครงสร้าง เป็นโครงสร้างเหล็กที่รองรับส่วนประกอบต่างๆของเครื่อง
5. ส่วนช่องทางใส่ขวดแก้ว เป็นช่องทางสำหรับใส่ขวดแก้ว โดยมีกลไกป้องกันขวดกระเด็นออก
6. ส่วนช่องทางออกของเศษแก้ว เป็นส่วนของช่องทางสำหรับเศษแก้วที่ได้รับการบดแล้ว

โดยแต่ละส่วนมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ส่วนต้นกำลัง

เครื่องบดขวดแก้ว จะใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นส่วนต้นกำลัง ทั้งนี้เนื่องจากปัจจุบันนี้พลังงานไฟฟ้าสามารถนำมาใช้ได้ง่าย และสะดวกกว่าการใช้ต้นกำลังแบบอื่นๆ เช่น มอเตอร์ไฮดรอลิกส์

สำหรับการเลือกขนาดมอเตอร์ไฟฟ้านั้น ได้แสดงไว้ในส่วนของการคำนวณซึ่งเลือกใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 1 แรงม้า ความถี่ 50 Hz แรงเคลื่อน 220 โวลต์



รูปที่ 3-1 แสดงส่วนต้นกำลังของเครื่องบดขูดแก้ว

2. ส่วนส่งกำลัง

การส่งกำลังจะใช้สายพานและมู่เลย์ในการส่งกำลัง ซึ่งมีอัตราทดตั้งที่แสดงไว้ในส่วนของการคำนวณ

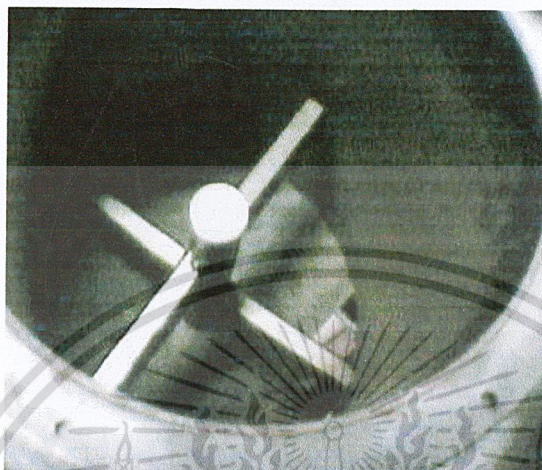


รูปที่ 3-2 แสดงส่วนของการส่งกำลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ส่วนตั้งตีขวดแก้ว

เป็นส่วนที่ทำให้ขวดแก้วแตก ด้วยวิธีการกระแทก ประกอบด้วยแขนตี และเพลารองรับแขนตี



รูปที่ 3-3 ชิ้นส่วนภายในตั้งตีขวดแก้ว

4. ส่วนของโครงสร้าง

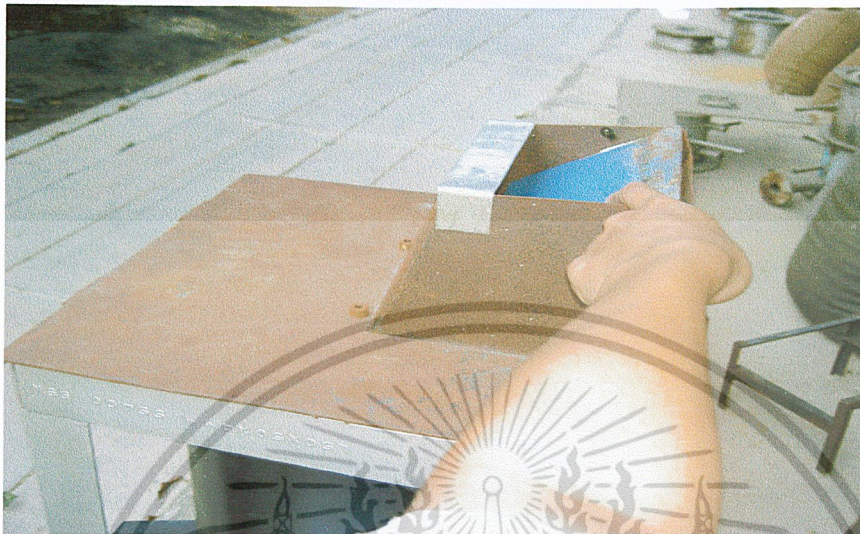
เป็นส่วนที่ยึดชิ้นส่วนต่างๆ ไว้



รูปที่ 3-4 โครงสร้างของเครื่องบดขวดแก้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ส่วนช่องทางใส่ขวดแก้ว



รูปที่ 3-5 ส่วนของช่องทางใส่ขวดแก้ว

6. ส่วนช่องทางออกของเศษแก้ว



รูปที่ 3-6 ส่วนของช่องทางออกของเครื่องบดขวดแก้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3-7 เครื่องบดขวดแก้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ทฤษฎีการคำนวณ

4.1 การออกแบบเพลลา

แม้ว่าจะได้กล่าวถึงทฤษฎีในการออกแบบเพลลามมาแล้วในบทความก่อนแล้ว ในบทความนี้เราจะมาพูดถึงการออกแบบเพลลาเป็นชิ้นส่วนที่มีอยู่ในเครื่องจักรเกือบทุกชนิด ดังนั้นจึงสมควรที่จะได้พิจารณาถึงการออกแบบเพลลาโดยเฉพาะ เพลลาอาจมีชื่อเรียกต่างกันไปตามลักษณะของการใช้งานดังต่อไปนี้คือ

เพลลา (Shaft) เป็นชิ้นส่วนที่หมุนและใช้ในการส่งกำลัง

แกน (Axle) เป็นชิ้นส่วนลักษณะเดียวกับเพลลาแต่ไม่หมุน ส่วนมากเป็นตัวรองรับชิ้นส่วนที่หมุน เช่น ล้อ ล้อสายพาน เป็นต้น อย่างไรก็ตามทั้งเพลลาและแกนก็นิยมเรียกรวมกันว่าเพลลาไม่ว่าชิ้นส่วนนั้นจะหมุนหรืออยู่กับที่ก็ตาม

สปินเดิล (Spindle) เป็นเพลลาขนาดสั้นไม่หมุน เช่น เพลลาที่หัวแท่นกลึง (Head-stock spindle) เป็นต้น สตัมป์ชาฟต์ (Stub Shaft) หรือบางครั้งเรียกว่าเฮดชาฟต์ (Head Shaft) เป็นเพลลาที่คิดเป็นชิ้นส่วนต่อเนื่องกับเครื่องยนต์ มอเตอร์ หรือเครื่องต้นกำลังอื่นๆ มีขนาด รูปร่าง และส่วนยื่นออกมาสำหรับใช้ต่อกับเพลลาอื่นๆ

เพลลาแนว (Line Shaft) หรือเพลลาส่งกำลัง (Power Transmission Shaft) หรือเพลลาเมน (Main Shaft) เป็นเพลลาซึ่งต่อตรงจากเครื่องต้นกำลัง และใช้ในการส่งกำลังไปยังเครื่องจักรกลอื่นๆ โดยเฉพาะ

แจ็กชาฟต์ (Jackshaft) หรือเคาน์เตอร์ชาฟต์ (Counter Shaft) เป็นเพลลาขนาดสั้นที่ต่อระหว่างเครื่องต้นกำลังกับเพลลาเมนหรือเครื่องจักรกล

เพลลาอ่อน (Flexible Shaft) เป็นเพลลาที่สามารถอ่อนตัวหรืองอโค้งได้ เพลลาประเภทนี้ทำด้วยสายลวดใหญ่ (Cable) ลวดสปริงหรือลวดเกลียว (Wire Rope) ใช้ในการส่งกำลังในลักษณะที่แกนหมุนทำมุมกันได้ แต่ส่งกำลังได้น้อย

เพลลาอาจจะรับแรงดึง แรงกด แรงบิด หรือแรงคัต หรือแรงหลายอย่างรวมกันก็ได้ ดังนั้น การคำนวณจึงต้องใช้ความเค้นผสมเข้าช่วย แรงเหล่านี้ยังอาจจะมีผลเปลี่ยนแปลงขนาดตลอดเวลาทำให้เพลลาเสียหาย เพราะความล้าได้ ฉะนั้นจึงต้องออกแบบเพลลาให้มีความแข็งแรงเพียงพอสำหรับการใช้งานในลักษณะนี้ นอกจากนั้นเพลลาจะต้องมีความแข็งแกร่ง (Rigidity) เพียงพอเพื่อลดมุมบิดภายในเพลลาให้อยู่ในขีดจำกัดที่พอเหมาะ ระยะโก่ง (Deflection) ของเพลลาเป็นสิ่งสำคัญในการกำหนดขนาดเพลลาเช่นเดียวกัน เพราะถ้าเพลลา มีระยะโก่งมากก็จะเกิดการแกว่งขณะหมุน ทำให้ความเร็ววิกฤต (Critical Speed) ของเพลลาลดลง ซึ่งอาจทำให้เพลลาเกิดการสั่นอย่างรุนแรงในขณะที่ความเร็วของเพลลาเข้าใกล้ความเร็ววิกฤตนี้ได้ ระยะโก่งนี้ยังมีผลต่อการเลือกชนิดของที่รองรับเพลลา เช่น บอลเบริง (Ball Bearing) ก็ต้องมีการเลือกแนวในการใช้งานที่พอเหมาะกับเพลลาด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 62030
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากจะเสียความเที่ยงตรงทางด้านตำแหน่งแล้วยังอาจจะก่อให้เกิดความสั่นสะเทือนซึ่งมีผลทำให้เฟืองและแบร์ริงที่รองรับเพลายู่อเกิดความเสียหายได้ง่ายขึ้น

ถึงแม้ว่าจะไม่มีมาตรฐานสำหรับพิกัดมุมบิดของเพลาก็ตาม ในทางปฏิบัติแล้วมักจะใช้มุมบิดของเพลานในเครื่องจักรกลทั่วไปไม่เกิน 0.3° ต่อความยาวเพลาน 1 m. [1] สำหรับเพลานส่งกำลังทั่วไปอาจจะให้มีมุมบิดได้ถึง 1° ต่อความยาวเพลาน 20 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพลาน ในกรณีของเพลานลูกเบี้ยวสำหรับเครื่องยนต์สันดาปภายในแล้วจะให้ให้มีมุมบิดได้ไม่เกิน 0.5° ตลอดความยาวของเพลาน

ความแข็งแรงที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งก็คือ ความแข็งแรงทางด้านระยะโก่ง เพราะจะต้องใช้ระยะโก่งของเพลานที่อยู่ภายใต้แรงภายนอกเป็นตัวสำคัญในการกำหนดระยะเบียด (Clearance) ระหว่างล้อยาสพานเฟือง โครงของเครื่องจักร ตลอดจนการเลือกชนิดของแบร์ริงสำหรับรองรับเพลานให้เหมาะสม ถ้าเพลานมีระยะโก่งมากเกินไปจะทำให้ความยาวของฟันเฟืองส่วนที่สัมผัสหรือขบกันลดลงเป็นผลทำให้อัตราส่วนการขบ (Contact Ratio) ของเฟืองลดลงด้วย ทำให้การส่งกำลังของเฟืองไม่ราบเรียบเท่าที่ควร การเลือกแบร์ริงมารองรับเพลานก็เช่นกันจำเป็นจะต้องเลือกแบร์ริงชนิดที่อนุญาตให้มีการเอียงแนวสำหรับการใช้งานได้พอเหมาะกับระยะโก่งของเพลานที่จะเกิดขึ้น ซึ่งอาจจะเป็นแบร์ริงแบบธรรมดาหรือแบร์ริงแบบปรับแนวตัวเอง (Self-Aligning Bearing) ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับค่าระยะโก่งเป็นสำคัญ

ระยะโก่งดังที่กล่าวมานี้ก็ไม่มีมาตรฐานกำหนดเป็นแนวทางไว้ โดยทั่วไปแล้วผู้ออกแบบอาจจะถือค่าต่อไปนี้เป็นแนวทางในการกำหนดความแข็งแรงทางด้านระยะโก่งได้ดังนี้คือ

สำหรับเพลานเครื่องจักรทั่วไป ค่าระยะโก่งระหว่างจุดที่รองรับด้วยแบร์ริงควรจะไม่เกิน 0.08 mm/m

สำหรับเพลานที่มีเฟืองตรง (Spur Gear) คุณภาพดีอยู่ด้วย ระยะโก่ง ณ ตำแหน่งที่มีเฟืองขบกันไม่ควรเกิน 0.125 mm และความลาดเอียงของเพลาน ณ ตำแหน่งนี้ควรจะน้อยกว่า 0.0286°

สำหรับเพลานที่มีเฟืองคอกจอก (Bevel Gear) คุณภาพดีคืออยู่ ระยะโก่ง ณ ตำแหน่งที่เฟืองขบกัน ไม่ควรเกิน 0.075 mm

จากเหตุผลดังกล่าวจะเห็นว่าขนาดของเพลานอาจจะหามาได้โดยใช้ความแข็งแรงที่ต้องการแทนที่จะเป็นความแข็งแรงในการรับแรงภายนอกได้ การหาระยะโก่งของเพลานที่มีขนาดเท่ากันตลอดอาจทำได้โดยใช้วิธีที่ได้เรียนรู้อมาแล้วในวิชากลศาสตร์วัสดุ เช่น วิธีอินทิเกรตสองครั้ง (Double Integration) วิธีพื้นที่ของโมเมนต์ดัด (Moment Area) เป็นต้น

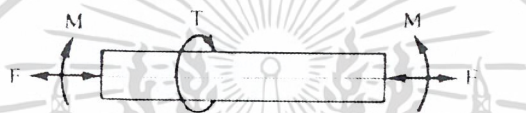
สำหรับเพลานที่มีขนาดไม่เท่ากันตลอด (Stepped Shaft) การใช้วิธีดังกล่าวมาแล้วอาจจะล่าช้าและเสียเวลา โดยเฉพาะวิธีอินทิเกรตสองครั้งเพราะต้องใช้สภาพของขอบเขต (Boundary Condition) ใหม่ทุกครั้งทีเพลานเปลี่ยนขนาด วิธีที่นิยมใช้กัน (แต่ก็ยังใช้เวลามาก) คือวิธี Graphical Integration และ Numerical Integration

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 การออกแบบเพลตามัดของ AMSE

ก่อนปี พ.ศ.2497 ได้มีการยอมรับวิธีการคำนวณหาขนาดของเพลส่างกำลังซึ่งกำหนดเป็นโค้ด (Code) โดยสมาคมวิศวกรเครื่องกลแห่งสหรัฐอเมริกา (ASME) ถึงแม้ว่าเวลาจะล่วงเลยมานานแล้วก็ตาม วิธีการออกแบบเพลตามัดของ ASME ก็ยังมีความสะดวกและง่ายต่อการใช้งาน ซึ่งจะได้กล่าวถึงต่อไป

วิธีดังกล่าวนี้ใช้ทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด และไม่พิจารณาถึงความล้าหรือความเค้นหนาแน่นที่เกิดขึ้นบนเพลลา ซึ่งเป็นการออกแบบโดยวิธีสถิตยศาสตร์ (Static Design Method) ในการหาสมการสำหรับออกแบบเพลลาให้พิจารณาเพลลาในรูปที่ 4-1 ให้เพลลาเป็นแบบกลมและกลวง โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในและภายนอกเท่ากับ d_i และ d ตามลำดับ ความเค้นต่างๆที่เกิดขึ้นบนเพลลามัดต่อไปนี้คือ



รูปที่ 4-1 เพลที่อยู่ภายใต้แรงต่างๆ

ความเค้นแรงดึงหรือกด
$$\sigma_a = \frac{4F}{\pi(d^2 - d_i^2)} \quad (4-1)$$

ความเค้นดัด
$$\sigma_b = \frac{Mc}{I} = \frac{32Md}{\pi(d^4 - d_i^4)} \quad (4-2)$$

ความเค้นเฉือน
$$\tau_{xy} = \frac{Tr}{J} = \frac{16Td}{\pi(d^4 - d_i^4)} \quad (4-3)$$

ในกรณีที่เป็นแรงกด อาจมีผลต่อการโก่งงอ (Buckling) ได้ ดังนั้นสมการที่ (4-1) จะกลายเป็น

$$\sigma_a = \frac{4\alpha F}{\pi(d^2 - d_i^2)} \quad (4-4)$$

เพลลาส่วนมากจะอยู่ภายใต้ความเค้นที่เป็นวัฏจักร ทั้งนี้เพราะเพลลาหมุนอยู่ตลอดเวลา นอกจากนั้นแรงที่กระทำยังอาจจะเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาได้ ดังนั้นเพลลาจึงเกิดความเสียหายเนื่องมาจากความล้าเป็นส่วนใหญ่ สำหรับวิธีการคำนวณของ ASME ใช้วิธีการแบบสถิตยศาสตร์ ดังนั้นจึงต้องมีตัวประกอบความล้า (Fatigue Factor) มาเกี่ยวข้องด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าให้ C_m = ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการค้ำ
 C_t = ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการบิด
 ดังนั้นสมการที่ 4-2 และ 4-3 จึงกลายเป็น

$$\sigma_b = \frac{32C_m M d}{\pi(d^4 - d_i^4)} \quad (4-5)$$

$$\tau_{xy} = \frac{16C_t T d}{\pi(d^4 - d_i^4)} \quad (4-6)$$

ความเค้นกดหรือความเค้นดึงรวมคือ

$$\sigma = \sigma_a + \sigma_b \quad (4-7)$$

จากทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด

$$\tau = \left[\tau_{xy}^2 + \left[\frac{\sigma}{2} \right]^2 \right]^{1/2}$$

แทนค่าสมการที่ (4-4), (4-5), (4-6) และสมการที่ (4-7) ลงในสมการข้างบนนี้แล้วจัดรูปใหม่จะได้

$$d^3 = \frac{16}{\pi\tau(1-K^4)} \left[(C_t T)^2 + \left[\frac{\alpha F d (1+K^2)}{8} + C_m M \right]^2 \right]^{1/2} \quad (4-8)$$

โดยที่ $K=d_i/d$

ในกรณีที่ไม่มีแรง F กระทำอยู่ด้วย สมการที่ (4-8) จะลดรูปเหลือเพียง

$$d^3 = \frac{16}{\pi\tau(1-K^4)} \left[(C_t T)^2 + (C_m M)^2 \right]^{1/2} \quad (4-9)$$

หรือในกรณีเพลาดัน $K=d_i/d=0$ เมื่อแทนค่าลงในสมการที่ (4-9) จะลดรูปเหลือเพียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$d^3 = \frac{16}{\pi \tau} [(C_t T)^2 + (C_m M)^2]^{1/2} \quad (4-10)$$

ค่าตัวประกอบความล้าสามารถเลือกใช้ตามลักษณะของแรงที่มากกระทำ ซึ่งหาได้จากตารางที่ 4-2

ชนิดของแรง	C_m	C_t
เพลายูนิ่ง :		
แรงสม่ำเสมอหรือเพิ่มขึ้นช้า	1.0	1.0
แรงกระตุก	1.5-2.0	1.5-2.0
เพลาม้วน :		
แรงสม่ำเสมอหรือเพิ่มขึ้นช้า	1.5	1.0
แรงกระตุกอย่างเบา	1.5-2.0	1.0-1.5
แรงกระตุกอย่างแรง	2.0-3.0	1.5-3.0

ตารางที่ 4-2 ค่าตัวประกอบความล้า

สำหรับตัวประกอบของการโค้งงอ ASME ได้แนะนำให้ใช้ค่าดังนี้

$$\alpha = 1 \quad \text{เมื่อ } F \text{ เป็นแรงดึง} \quad (4-11)$$

$$\alpha = \frac{1}{1 - 0.0044(L/K)} \quad \text{เมื่อ } L/K \leq 115 \quad (4-12)$$

$$\alpha = \frac{\sigma_y (L/K)^2}{\pi^2 n E} \quad \text{เมื่อ } L/K > 115 \quad (4-13)$$

โดยที่ $n = 1.00$ เมื่อปลายเป็นแบบ SS

$n = 2.25$ เมื่อปลายเป็นแบบ CC

$n = 1.60$ เมื่อปลายเพลายึดขึ้นเป็นบางส่วน (Partially Restrained)

L = ความยาวจริงของเพลลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นได้ว่าสมการที่ (4-12) เป็นสมการของสูตรเส้นตรง (Straight Line Formula) และสมการที่ (4-13) เป็นสมการของออยเลอร์ ซึ่งแก้ไขค่าคงที่ใหม่

นอกจากนี้โค้ดของ ASME ยังได้ระบุเอาไว้ว่าเพลลาซึ่งมีโซ่อยู่ในงานธรรมดาทั่วไป ควรจะมีค่าความเค้นเฉือนใช้งานดังนี้

$$\tau_d = 55 \text{ N/mm}^2 \quad \text{สำหรับเพลลาที่ไม่มีร่องลิ้ม}$$

$$\tau_d = 41 \text{ N/mm}^2 \quad \text{สำหรับเพลลาที่มีร่องลิ้ม}$$

แต่ถ้ากำหนดวัสดุของเพลลาที่บอกถึงหมายเลขของโลหะ หรือส่วนผสมของโลหะ ให้ใช้ค่าความเค้นเฉือนใช้งานจากสมการที่ (4-14) โดยเลือกใช้ค่าน้อยมาคำนวณคือ

$$\tau_d = 0.3\sigma_y \quad \text{หรือ} \quad \tau_d = 0.18\sigma_u \quad (4-14)$$

และถ้าเพลลามีร่องลิ้มให้ลดค่าความเค้นเฉือนใช้งาน โดยใช้เพียง 75% ของค่าในสมการที่ (4-14)

4.6 ความแข็งเกร็งทางด้านการบิด

สำหรับเพลลาที่มีขนาดสม่ำเสมอ มุมบิดเป็น rad จะหาค่าได้จากสมการ

$$\theta = \frac{TL}{GJ} \quad (4-15)$$

สำหรับเพลลากลมตัน $J = \frac{\pi}{32} d^4$ ดังนั้นจึงหาค่ามุมบิดเป็นองศาได้จากสมการ

$$\theta = \frac{584TL}{Gd^4} \quad (4-16)$$

ถ้าเป็นเพลลากลมกลวง

$$\theta = \frac{584TL}{(1 - K^4)Gd^4} \quad (4-17)$$

ฉะนั้นถ้าต้องการให้เพลลามีความแข็งเกร็งตามลักษณะการใช้งานแล้ว ก็ควรที่จะใช้สมการที่ (4-17) นี้

ตรวจสอบมุมบิดให้อยู่ในค่าที่ต้องการ

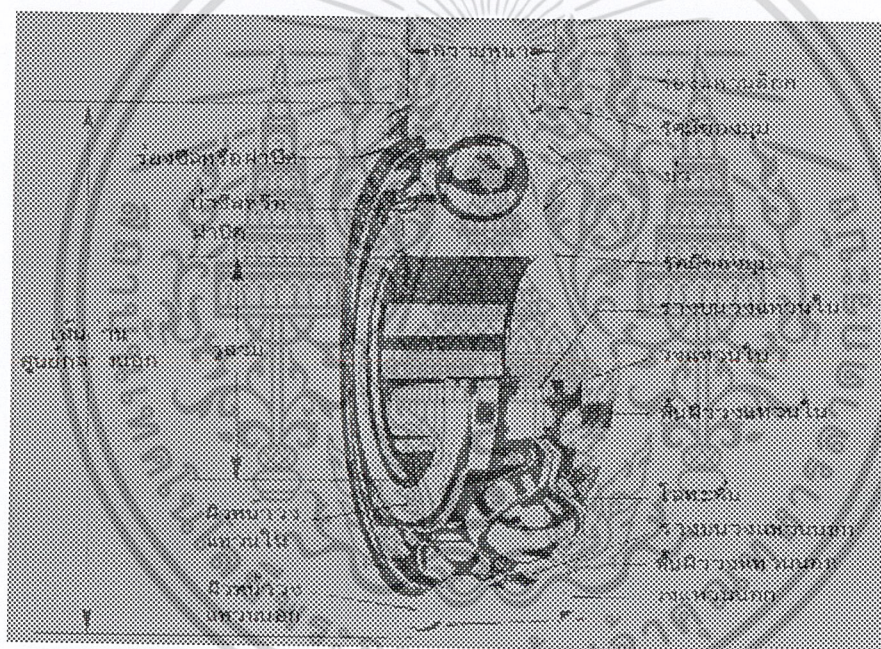
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7 โรลลิ่งแบร์ริง

บทนำ

โรลลิ่งแบร์ริง (Rolling Bearing) หมายถึงแบร์ริงชนิดที่รับแรงโดยอาศัยชิ้นส่วนของแบร์ริงที่มีลักษณะเป็นผิวสัมผัสแบบกลิ้ง (Rolling Contact) แทนที่จะเป็นผิวสัมผัสแบบเลื่อน (Sliding Contact) เนื่องจากแบร์ริงชนิดนี้มีค่าความเสียดทานน้อยมาก ดังนั้นจึงมีชื่อเรียกอีกชื่อหนึ่งที่นิยมใช้กันทั่วไปในวงการอุตสาหกรรมว่า แอนติฟริกชันแบร์ริง (Anti Friction Bearing) ตัวอย่าง เช่น (Ball Bearing) หรือตลับลูกปืน ดังรูป 4-2 ซึ่งประกอบด้วยวงแหวนเหล็กกล้าสองวงที่แยกออกจากกันด้วยลูกกลิ้งทรงกลม ลูกกลิ้งเหล่านี้รับแรงมาจากวงแหวนหนึ่งแล้วส่งแรงนี้ผ่านไปยังวงแหวนอีกวงหนึ่ง โดยการกลิ้งไปบนวงแหวน



รูปที่ 4-2 ส่วนต่างๆของบอลแบร์ริง

เนื่องจากการใช้โรลลิ่งแบร์ริงกันอย่างแพร่หลายทั่วไป สมาคมผู้ผลิตโรลลิ่งแบร์ริง (AFBMA (1): Anti-Friction Bearing Manufacturers Association) จึงได้วางมาตรฐานการกำหนดขนาดและลักษณะที่จะใช้ในการเลือกแบร์ริงเหล่านี้ขึ้น จากมาตรฐานนี้ทำให้ผู้ออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรสามารถเลือกแบร์ริงจากแค็ตตาล็อกของผู้ผลิตหนึ่ง และทำการเปลี่ยนแบร์ริงนี้โดยการเลือกจากอีกผู้ผลิตหนึ่งได้ โดยที่แบร์ริงที่เลือกจากผู้ผลิตทั้งสองยังคงมีขนาดเท่ากัน ถึงแม้ว่าสมาคม AFBMA ได้วางมาตรฐานวิธีการเลือกแบร์ริงตามความต้องการของการรับแรงและอายุการใช้งานเอาไว้ แต่ก็ยังมีผู้ผลิตที่มีการวางมาตรฐานการเลือกแบร์ริงของตนเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อนที่จะตัดสินใจเลือกใช้โรลลิงแบร์ริง ผู้ออกแบบก็ควรที่จะพิจารณาลักษณะข้อดีและข้อเสีย เมื่อเปรียบเทียบกับเจอร์นัลแบร์ริงดังต่อไปนี้ คือ

ข้อดีของโรลลิงแบร์ริงเปรียบเทียบกับเจอร์นัลแบร์ริง

1. มีความเสียดทานขณะสตาร์ทน้อย จึงเหมาะสำหรับเครื่องจักรกลที่มีการเดินเครื่องและหยุดเครื่องบ่อยครั้ง
2. ง่ายต่อการหล่อลื่นและดูแลรักษา โดยเฉพาะชนิดที่อัดด้วยไขมัน หรือจารบีมาจากโรงงานด้วยแล้ว เกือบจะไม่ต้องดูแลเกี่ยวกับการหล่อลื่นอีกเลย
3. ใช้ปริมาณสารหล่อลื่นน้อย
4. ใช้เนื้อที่ทางด้านแกนน้อย (Axial Space) น้อย
5. สามารถรับแรงรูน (Thrust Load) และแรงในแนวรัศมี (Radial Load) ได้พร้อมกัน ยกเว้นโรลลิงแบร์ริงแบบลูกกลิ้งทรงกระบอกตรง (Straight Roller Bearing) สำหรับเจอร์นัลแบร์ริงรับแรงได้เฉพาะในแนวรัศมีเท่านั้น
6. สามารถที่จะทราบได้ว่าแบร์ริงกำลังจะเสีย โดยกระสังเกตุจากเสียงดัง ซึ่งผิดไปจากปกติ
7. มีเคลือบชั้นน้อยมาก จึงเหมาะที่จะใช้กับเครื่องจักรกลที่ต้องการความละเอียดแม่นยำในการทำงาน เช่น เฟืองและลูกเบี้ยว เป็นต้น
8. สามารถรองรับเพลานในตำแหน่งใดๆ ได้ เช่น ใช้รองรับเพลาน ซึ่งวางเรียงเป็นมุมกับแนวระดับ เป็นต้น
9. ทำการติดตั้งได้ง่าย

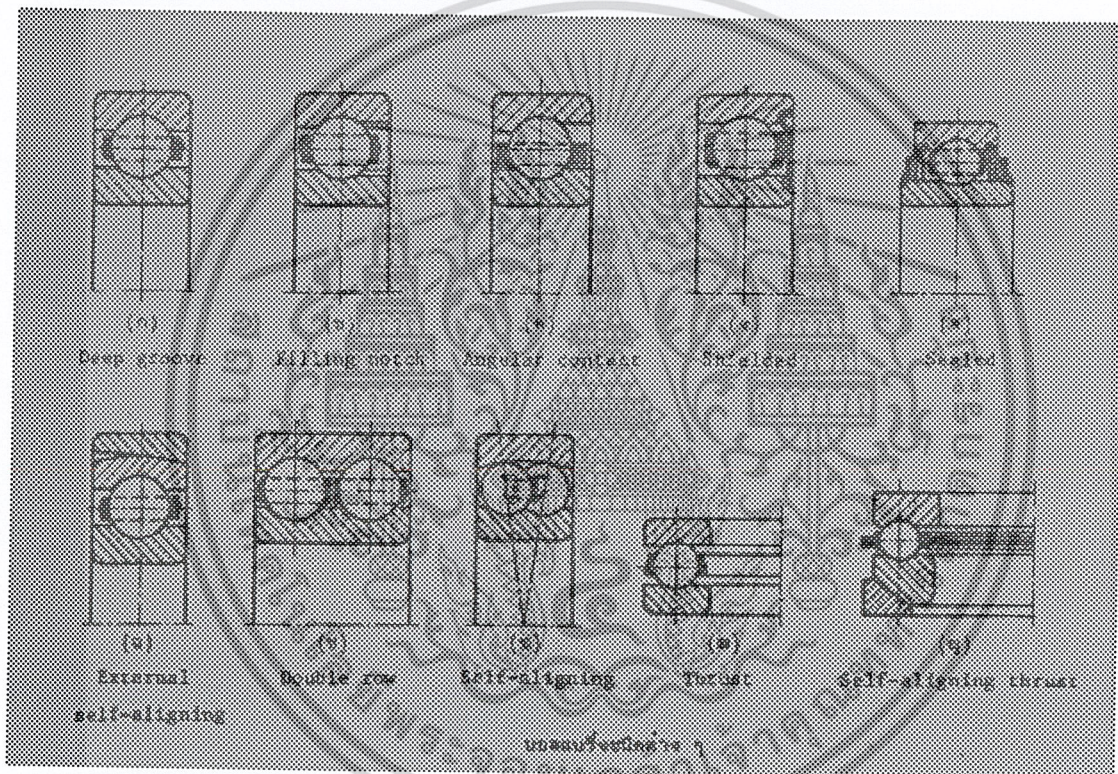
ข้อเสียของโรลลิงแบร์ริงเปรียบเทียบกับเจอร์นัลแบร์ริง

1. ใช้เนื้อที่ทางด้านรัศมี (Radial Space) มากกว่า
2. โดยปกติแล้วราคาแพง
3. ขณะทำงานจะมีเสียงดังกว่า เนื่องจากมีการสัมผัสระหว่างผิวของลูกกลิ้งและวงแหวนบ้างในบางขณะ
4. อายุการใช้งานสั้นกว่า ทั้งนี้เนื่องมาจากความเค้นที่เกิดขึ้นมีค่าสูงและกระทำซ้ำกัน (Repeated Load) จึงทำให้วัสดุเกิดความล้า
5. เมื่อมีแรงกระแทกทำให้อายุการใช้งานลดลงได้มาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8 ชนิดของแบริ่ง

โดยทั่วไปแล้วโรลลิ่งแบริ่งจะแบ่งออกได้เป็นสองพวกใหญ่ๆ คือ บอลแบริ่งซึ่งมีลูกกลิ้ง (Rolling Element) เป็นรูปทรงกลม และโรลเลอร์แบริ่ง (Roller Bearing) ซึ่งมีลูกกลิ้งเป็นรูปทรงกระบอกตรง (Straight Roller) หรือเป็นทรงกระบอกเรียว (Tapered Roller) ก็ได้ โดยปกติแล้วแบริ่งเหล่านี้จะรับแรงได้ทั้งแรงในแนวรัศมี และแรงรุนได้ ยกเว้นโรลลิ่งแบริ่งแบบลูกกลิ้งทรงกระบอกตรงเท่านั้น แบริ่งทั้งสองพวกนี้ยังแยกออกเป็นชนิดต่างๆ ดังที่แสดงไว้ดังรูป 4-3 และ 4-4 ซึ่งจะกล่าวถึงคุณลักษณะของแบริ่งแต่ละชนิดโดยสังเขปดังต่อไปนี้



รูปที่ 4-3 บอลแบริ่งชนิดต่างๆ

บอลแบริ่งชนิดมีลูกกลิ้งหนึ่งแถวร่องลึก (Single – row deep – groove) เป็นแบริ่งชนิดที่มีการใช้งานมากที่สุด ประกอบด้วยร่องลึกเป็นทางกลิ้งสำหรับลูกกลิ้งทรงกลม ดังรูป 4-3(ก) สามารถรับแรงได้ทั้งในแนวรัศมีและในแนวแกน (แรงรุน) อัตราส่วนของแรงในแนวแกนต่อแรงในแนวรัศมีที่รับได้ประมาณ 0.70 และสามารถรับการเอียงแนวของเพลาคิดได้ประมาณ ± 0 องศา 15 ลิปดา เมื่อต้องการเพิ่มความสามารถในการรับแรงในแนวรัศมีขึ้นไปอีก ก็อาจทำได้โดยการเพิ่มจำนวนลูกกลิ้งที่บรรจุในรางให้มากขึ้น ซึ่งจำเป็นที่จะต้องตัดผิวหน้าวงแหวนด้านหนึ่งให้มีช่องสำหรับใส่ลูกกลิ้ง (Filling Notch) เพิ่มขึ้นดังในรูป 4-3(ข) การทำเช่นนี้จะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้แบร์ริงสามารถรับแรงในแนวรัศมีเพิ่มขึ้นอีกประมาณ 20 – 40 % แต่ความสามารถในการรับแรงในแนวแกนจะลดลง ทั้งนี้เนื่องมาจากพื้นที่สำหรับรับแรงในแนวนี้ลดลงนั่นเอง

สำหรับแบร์ริงชนิดนี้และแบร์ริงชนิดที่จะได้กล่าวต่อไปก็ยังมีการใช้แผ่นโลหะปิด (Shield) ไว้ระหว่างช่องว่างของวงแหวนเพื่อป้องกันสิ่งสกปรกรวมทั้งช่วยรักษาปริมาณของไขมันมิให้รั่วไหลออกมาจากแบร์ริงดังในรูป 4-3(ง) ส่วนในรูป 4-3(จ) ก็เป็นการใช้แผ่นโลหะปิดเพื่อจุดประสงค์เดียวกันแต่เป็นการปิดแบบตายตัว

บอลแบร์ริงชนิด Angular Contact ดังรูป 4-3(ค) เป็นแบร์ริงที่ออกแบบสำหรับใช้รับแรงในแนวแกนซึ่งมีค่าสูง โดยมีมุมสัมผัส (Contact Angle) ต่างๆกัน เมื่อมุมสัมผัสเพิ่มขึ้น แบร์ริงก็สามารถที่จะรับแรงในแนวแกนเพิ่มขึ้นด้วย แต่จะรับแรงในแนวรัศมีได้น้อยลง ในกรณีที่ต้องการใช้รับแรงในแนวแกนสองทิศทางก็ให้ใช้แบบมีลูกกลิ้งสองแถว (Double – Row) ดังรูป 4-3(ข) หรือใช้แบร์ริงแบบสองอันหันหน้าเข้าหากัน

บอลแบร์ริงชนิดปรับแนวตัวเอง (Self – Aligning) ออกแบบสำหรับใช้ในกรณีที่เพลอาจจะมีการเอียงแนวเป็นมุมที่ค่อนข้างมาก ดังแสดงในรูป 4-3(ด) และ 4-3(ข) แบร์ริงในรูป 4-3(ข) เป็นแบบปรับแนวตัวเองภายใน ซึ่งอาศัยผิวทรงกลมของวงแหวนนอกในการช่วยปรับมุมได้ถึงประมาณ ± 2 องศา 30 ลิปดา ส่วนแบร์ริงในรูป 4-3(ด) เป็นแบบปรับแนวตัวเองภายนอก สามารถปรับมุมได้สูงมากโดยการเจาะรูในผิวด้านนอกของวงแหวนนอกให้รับกับผิวหน้าของตัวรับแบร์ริง (Bearing Housing)

บอลแบร์ริงกันรุน (Thrust Ball Bearing) ดังรูป 4-3(ฉ) ออกแบบสำหรับรับแรงในแนวแกนโดยเฉพาะ ถ้ามีแรงในแนวรัศมีอยู่ด้วยแล้วจะต้องใช้แบร์ริงชนิดอื่นช่วยรับแรงนี้ ดังนั้นในกรณีที่มิมีแรงทั้งสองชนิดอยู่พร้อมกันแล้วก็ควรที่จะเลือกใช้บอลแบร์ริงชนิด Angular Contact

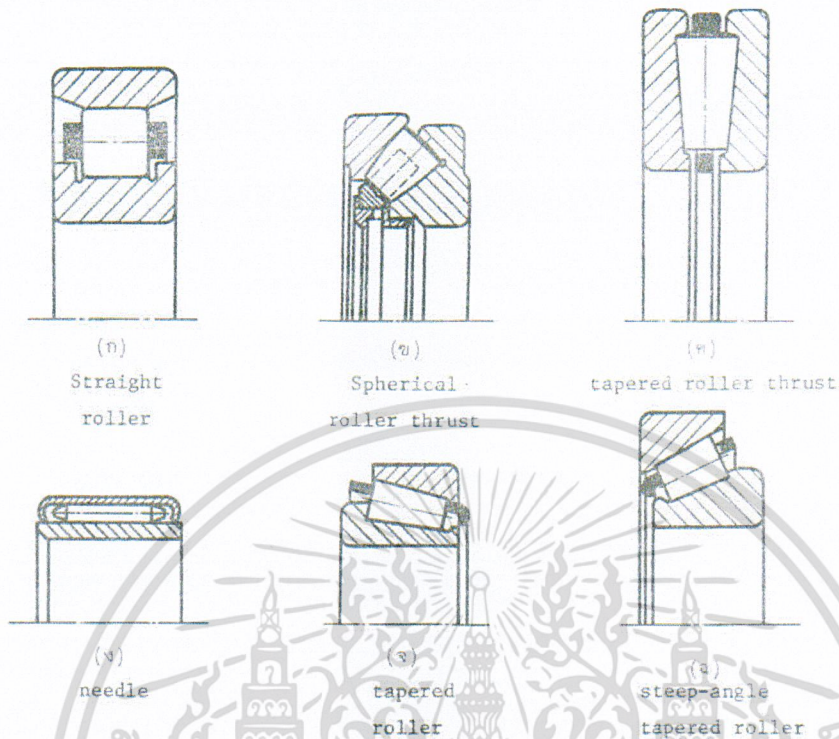
บอลแบร์ริงกันรุนปรับแนวตัวเอง (Self – Aligning Thrust) ดังรูป 4-3(ญ) ออกแบบสำหรับใช้รับแรงในแนวแกน ในกรณีที่เพลอาจมีการเอียงแนวเกิดขึ้น

Cylindrical หรือ Straight Roller Bearing ประกอบด้วยลูกกลิ้งทรงกระบอกกลมตรง ดังรูป 4-4(ก) โรลเลอร์แบร์ริงแบบนี้รับแรงในแนวรัศมีได้มากกว่าบอลแบร์ริง เพราะมีพื้นที่รับแรงมากกว่า แต่ไม่สามารถจะรับแรงในแนวแกนได้ หรือถ้ารับได้ก็รับได้ไม่มากนัก ในกรณีที่ต้องการใช้รับแรงทั้งสองแนวซึ่งมีค่ามากก็ควรที่จะเลือกใช้ Tapered – Roller Bearing ดังในรูป 4-4(จ) และ 4-4(ฉ)

Spherical Roller Thrust Bearing ดังรูป 4-4(ข) และ Tapered – Roller Thrust Bearing ดังรูป 4-4 (ค) มีประโยชน์สำหรับใช้รับแรงในแนวแกนที่มีค่ามากและในที่ซึ่งอาจจะมีการเอียงแนวได้บ้าง

นีเดิลแบร์ริง (Needle Bearing) หรือตลับลูกปืนเข็ม ทำหน้าที่เช่นเดียวกับ Straight Roller Bearing แต่เหมาะสำหรับใช้ในที่มีเนื้อที่ในแนวรัศมีจำกัด ดังในรูป 4-4 (ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-4 โรลเลอร์เบริงชนิดต่างๆ

เบริงที่กล่าวมาแล้วนี้เป็นเพียงส่วนหนึ่งของชนิดต่างๆ ที่มีใช้อยู่ในชิ้นส่วนของเครื่องจักรกลทั่วไป เท่านั้น ผู้อ่านที่มีความสนใจละเอียดยิ่งขึ้นอีก อาจจะหาดูได้จากแค็ตตาล็อกของผู้ผลิตทั่วไป เช่น NTN STEYR KOYO SKF FAG RHP และ TIMKEN เป็นต้น

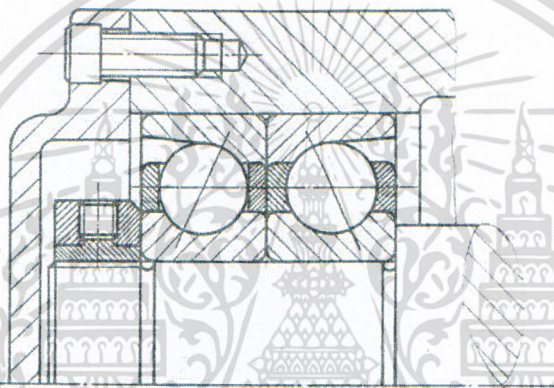
4.9 การใช้เบริงคู่

เมื่อนำเบริงไปใช้รับแรงจะมีระยะขยุบตัว (Deformation) จำนวนหนึ่งเกิดขึ้นทั้งนี้เนื่องมาจากค่าความเค้นสูงที่เกิดขึ้นระหว่างลูกกลิ้งและวงแหวน ซึ่งมีพื้นที่สัมผัสเพียงเล็กน้อย ระยะขยุบตัวนี้เป็นผลให้ตำแหน่งของชิ้นงานของเครื่องจักรกลผิดไป สำหรับเครื่องจักรกลที่ต้องการความละเอียดแม่นยำมาก ก็จำเป็นต้องลดความผิดพลาดอันเนื่องมาจากระยะขยุบตัวนี้ให้เหลือน้อยที่สุด หรืออีกนัยหนึ่งเป็นการเพิ่มความแข็งแกร่ง (Rigidity) ให้แก่เพลานั้นเอง วิธีการก็คือพรีโหลด (Preload) เบริงเพื่อให้เกิดระยะขยุบตัวก่อนที่จะใช้รับแรงภายนอกที่มาจากเพลาดังรูป 4.5 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงวิธีการติดตั้งเบริงคู่ (Duplex Bearing) เพื่อทำการพรีโหลดเบริงก่อนใช้งาน ซึ่งทำได้ 3 วิธีคือ

1. ติดตั้งหันหลังชนกัน (DB: Duplex back – to – back style)
2. ติดตั้งหันหน้าชนกัน (DF: Duplex face – to – face style)
3. ติดตั้งเรียงตามกัน (DT: Duplex tandem style)

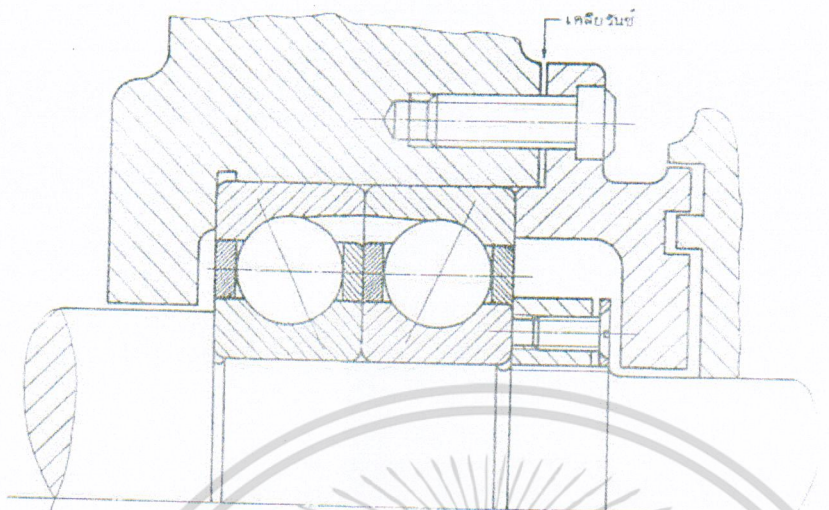
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การติดตั้งเบริงคู่แบบนี้ เบริงแต่ละตัวจะมีผิวหน้าวงแหวนยื่นออกมาเป็นระยะ A และการฟรีโหลดเบริงก็จะกระทำได้โดยออกแรงในแนวแกนกดเบริงทั้งสองจนผิวหน้าชนกัน ซึ่งเป็นผลให้ลูกกลิ้งได้รับแรงกดอัดตามแนวแกน ดังในรูป 4.5 จนเกิดระยะยุบตัวตามที่ต้องการขนาดของ A ขึ้นอยู่กับขนาดของแรงที่ใช้ฟรีโหลดเบริง ถ้าต้องการให้การติดตั้งชิ้นส่วนเครื่องจักรกลมีความละเอียดมากก็ต้องให้ค่า A มากขึ้นด้วย (ต้องทำการฟรีโหลดเบริงมาก) สิ่งสำคัญก็คือจะต้องใช้คู่ของเบริงที่ได้จัดทำมาโดยเฉพาะจากโรงงานผู้ผลิตเบริง โดยการบอกความต้องการว่าจะต้องการแบบฟรีโหลดน้อย ปานกลาง หรือ ฟรีโหลดมาก ตัวอย่างการติดตั้งแบบหันหลังชนกัน หันหน้าชนกัน และเรียงตามกัน แสดงอยู่ในรูป 4.6 4.7 และ 4.8 ตามลำดับ



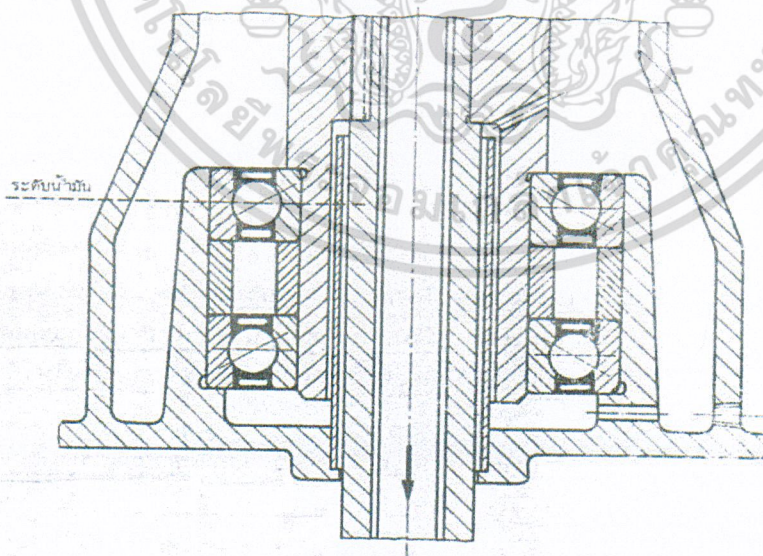
รูปที่ 4-5 การติดตั้งเบริงชนิด angular contact หันหลังชนกันของชุดเบริงเครื่องตัวได้ในแนวแกนภายในกล่องเบริง การฟรีโหลดทำได้โดยสื่อกวแหวนในชนกัน

ในรูป 4-6 ทำให้เกิดการฟรีโหลดได้โดยการหมุนแป้นเกลียว (Nut) เข้าไปกดให้วงแหวนในชนกัน และไปติดอยู่ที่บ่าของเพลลา การติดตั้งเบริงคู่ในลักษณะนี้ทำให้เพลลา และเบริงเคลื่อนตัวได้ในแนวแกนของเพลลา ซึ่งถ้าติดตั้งแบบหันหน้าชนกัน เพลลาและเบริงจะเคลื่อนตัวในแนวแกนไม่ได้ แต่สิ่งที่ควรสังเกตคือความแข็งแรงของการติดตั้งเบริงคู่วิธีนี้จะขึ้นอยู่กับความแม่นยำของแนวรูสวมในกล่องเบริง (Bearing Housing) ด้วยเป็นสำคัญ พร้อมทั้งบ่าเพลลาจะต้องตั้งได้ฉากอีกด้วย



รูปที่ 4-6 การติดตั้งเบร้งชนิด angular contact หันหน้าชนกัน จุดเบร้งจะยึดอยู่ระหว่างบ่าเพลากับแป้นเกลียว การฟรีโหลดทำได้โดยการขันหมุนเกลียวจนกระทั่งวงแหวนนอกชนกัน

ในรูป 4-7 เป็นการติดตั้งเบร้งคู่หันหน้าชนกัน การฟรีโหลดทำได้โดยการขันหมุนเกลียวเพื่อกดให้วงแหวนนอกชนกัน การติดตั้งเบร้งคู่วิธีนี้ยอมให้มีการเอียงแนวได้มากกว่าการติดตั้งเบร้งคู่หันหลังชนกันเล็กน้อย เมื่อต้องการให้มีการอำนวยประโยชน์ในการใช้งานมากที่สุด ก็จะต้องจัดการเอียงแนวให้เหลือน้อยที่สุด



รูปที่ 4-7 การติดตั้งเบร้งชนิด angular contact เรียงตามกัน มีจุดประสงค์เพื่อใช้รับแรงที่มีค่าสูงในทิศทางเดียว(ทิศทางตามลูกศร)เมื่อติดตั้งถูกต้องและแม่นยำ เบร้งทั้งสองจะรับแรงเท่ากัน

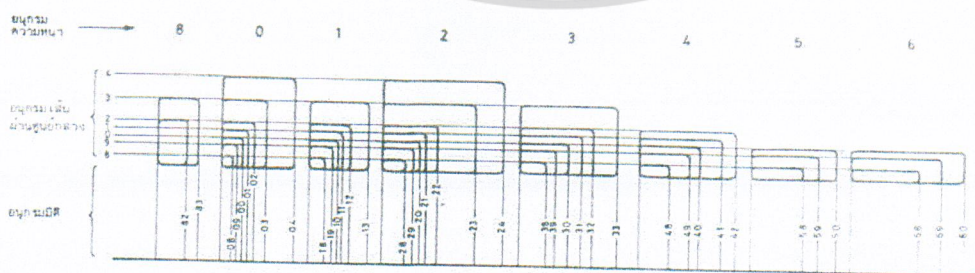
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูป 4-8 เป็นการติดตั้งแบริ่งคู่เรียงตามกันเพื่อใช้รับแรงรูดที่มีค่าสูงในแนวแกน ในการใช้งาน โดยมากมักจะฟรีโพลดในทิศทางตรงข้ามกับทิศทางที่มี Angular Contact แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อติดตั้งใน แนวตั้ง ดังรูป 4-8 และรับแรงรูดในทิศทางเดียว ก็อาจไม่จำเป็นต้องทำการฟรีโพลด ทั้งนี้เพราะน้ำหนักที่เบ ริ่งรองรับอยู่ในแนวตั้ง อาจจะมีน้ำหนักพอสำหรับการฟรีโพลดแล้ว

4.10 มิติมาตรฐานของโรลลิงแบริ่ง

การกำหนดมาตรฐานของแบริ่ง ทำให้ผู้ผลิตสามารถที่จะผลิตแบริ่งได้ราคาถูกลง ทำให้ผู้ออกแบบ สามารถเลือกใช้ได้สะดวก และการทำให้การดูแลรักษาตลอดจนการเก็บแบริ่งสำรองกระทำได้ง่ายขึ้น ด้วยเหตุ นี้เอง สมาคม AFBMA ซึ่งเป็นผู้รับผิดชอบในการจัดพิมพ์มาตรฐานของแบริ่งชนิดต่างๆ จึงร่วมกับสมาคม เกี่ยวกับโรลลิงแบริ่งอื่นๆ จัดทำมาตรฐานให้เข้ากับขององค์การมาตรฐานระหว่างประเทศ (ISO) มาตรฐานนี้ จะบอกถึงมิติภายนอกของแบริ่งคือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก – ภายในและความหนา ส่วนมิติภายใน แบริ่งให้เป็นไปตามที่ผู้ผลิตจะออกแบบ

มาตรฐานดังกล่าวนี้จะเห็นได้จากรูป 4-9 ซึ่งประกอบด้วยอนุกรมเส้นผ่านศูนย์กลาง (Diameter Series) เรียงเบอร์จาก 8 9 0 1 2 3 และ 4 โดยที่อนุกรม 8 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กที่สุดและอนุกรม 4 มี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโตสุด ส่วนความหนาจะบอกได้ด้วยอนุกรมความหนา (Width Series) เรียงเบอร์จาก 8 0 1 2 3 4 5 และ 6 โดยที่อนุกรม 8 บางที่สุด และอนุกรม 6 หนาที่สุด ดังนั้นมาตรฐานของแบริ่งจึงบอกได้ โดยรวมเบอร์ของอนุกรมเส้นผ่านศูนย์กลาง กับอนุกรมความหนาเข้าด้วยกัน เรียกว่า อนุกรมมิติ (Dimension Series) โดยที่เลขตัวแรกแทนอนุกรมความหนา และเลขตัวที่สองแทนอนุกรมเส้นผ่านศูนย์กลาง เช่น แบริ ริงที่อยู่ในอนุกรมมิติ 03 หมายถึง แบริ่งที่มีอนุกรมความหนา 0 และอนุกรมเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 เป็นต้น จากรูป 4-9 จะเห็นได้ว่าผู้ออกแบบเครื่องจักรกลสามารถที่จะเลือกใช้แบริ่งที่มีความหนาตามต้องการได้ โดยที่ขนาด เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกเปลี่ยนไปเป็นขนาดต่างๆกัน ในทางกลับกัน ถ้ากำหนดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ๖ ก็คือการกำหนดอนุกรมเส้นผ่านศูนย์กลาง) ก็สามารถที่จะเลือกแบริ่งที่มีความหนาต่างๆกันได้



รูปที่ 4-8 ขอบเขตของมิติ สำหรับอนุกรมมิติของแบริ่งต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.11 ความเสียหายของโรลลิงแบร์ริง

ความเสียหายในโรลลิงแบร์ริงส่วนใหญ่เกิดจากการเสียดสีกันระหว่างลูกกลิ้งและรางบนวงแหวน ค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์ความเสียหายสำหรับแบร์ริงบางชนิด ดูได้จากตาราง 4-3

ชนิดของแบร์ริง	ขณะ เริ่มทำงาน		ขณะทำงาน	
	ในแนวรัศมี	ในแนวแกน	ในแนวรัศมี	ในแนวแกน
บอลแบร์ริง	0.0025	0.0060	0.0015	0.0040
spherical roller bearing	0.0030	0.1200	0.0018	0.0080
cylindrical roller bearing	0.0020	-	0.0011	-

ตารางที่ 4-3 ค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์ความเสียหาย

โดยปกติแล้วค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายจะเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิ แรง ความเร็ว การหล่อลื่น และ ซีลของแบร์ริง (Bearing Seal) ดังนั้น ในกรณีที่ผู้ออกแบบเห็นว่า ความเสียหายในแบร์ริงเป็นข้อผิดพลาดที่สำคัญ สำหรับเครื่องจักรกลที่กำลังออกแบบอยู่ ก็ควรจะปรึกษากับผู้ผลิตโดยตรง

ถึงแม้ว่าค่าความเสียหายนี้จะมีความสำคัญน้อยมากสำหรับงานทั่วไป แต่สมการทางทฤษฎีที่ใช้สำหรับคำนวณกำลังงานที่สูญเสียไปเนื่องจากความเสียหาย ซึ่งควรทราบไว้คือ

$$W_p = \frac{2\pi n T}{60} = \frac{\pi F_a d n}{60} \quad (4-18ก)$$

$$W_p = \frac{\pi F_a d n}{60} \quad (4-18ข)$$

โดยที่ W_p = กำลังงานเป็น W

T = โมเมนต์บิดเนื่องจากความเสียหายเป็น Nm

n = ความเร็วรอบของเพลาเป็น rpm

d = ขนาดรูสวม (Bore) ของแบร์ริงเป็น m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

F_a = แรงที่กระทำกับเบริงในแนวแกนเป็น N

f = ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

สำหรับงานที่มีหน่วยเป็นกำลังม้าซึ่งยังมีการใช้กันอยู่อย่างแพร่หลาย ก็จะคำนวณได้จากสมการ

$$h_p = \frac{Tn}{63,000} = \frac{fF_r dn}{126,000} \tag{4-19}$$

โดยที่ F_r มีหน่วยเป็น lb และ d มีหน่วยเป็น in

4.12 แรงสมมูล

ในการใช้งานจริง โรตลิ่งเบริงอาจจะรับแรงทั้งแรงในแนวรัศมีและแนวแกน และวงแหวนในหรือนอกจะเป็นอันที่หมุนก็ได้ ซึ่งก็แล้วแต่ผู้ออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกล อีกประการหนึ่ง แต่ตาคีอ็อกของผู้ผลิต จะกำหนดให้เฉพาะอายุประเมิน ในเทอมของแรงในแนวรัศมีเท่านั้น ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องเปลี่ยนแรงและเงื่อนไขจากที่ใช้ทำงานจริงๆมาให้เป็นแรงในแนวรัศมีโดยมีวงแหวนในเป็นตัวหมุน เรียกว่า แรงสมมูล (Equivalent Force) เพื่อจะได้ใช้ในการเลือกเบริงจากเค็ตตาคีอ็อกได้ สมาคม AFBMA ได้กำหนดคณิขามของแรงสมมูลไว้ดังนี้

แรงสมมูลหมายถึง แรงในแนวรัศมีซึ่งถ้าให้กระทำต่อโรตลิ่งเบริง โดยที่วงแหวนในหมุนและวงแหวนนอกอยู่นิ่งแล้ว จะทำให้เบริงมีอายุการใช้งานเท่ากับอายุการใช้งานของเบริงที่ได้รับแรงจริง (ซึ่งอาจจะมีทั้งแรงในแนวรัศมีและแนวแกนพร้อมกัน) และให้คำนวณได้จากสมการ

$$P = XVF_r + YF_a \tag{4.20}$$

$$P = VF_r \tag{4.21}$$

โดยที่ P = แรงสมมูล

F_r = แรงในแนวรัศมี

F_a = แรงในแนวแกนหรือแรงรุน

V = ตัวประกอบการหมุน (Rotating Factor): มีค่าเท่ากับ 1 เมื่อวงแหวนในหมุน และ 1.2 เมื่อวงแหวนนอกหมุน ถ้าเป็นบอลเบริงชนิด Self-Aligning ให้ใช้ค่าเท่ากับ 1 เสมอ

X = ตัวประกอบแรงในแนวรัศมี (Radial Load Factor)

Y = ตัวประกอบแรงรุน (Thrust Load Factor)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าแรงสมมูลที่ใช้ในการเลือกขนาดของเบริง ให้ใช้ค่าที่ได้จากสมการ (4-20) หรือ (4-21) แล้วแต่ที่ค่าไหนจะมากกว่า สำหรับบอลเบริงกันรุนและโรลเลอร์เบริงกันรุน แล้วให้คำนวณค่าแรงสมมูลจากสมการ (4-20) โดยให้ $V = 1$ ส่วน Straight Roller Bearing นั้นจะใช้รับเฉพาะแรงในแนวรัศมีเท่านั้น จึงให้คำนวณแรงสมมูลจากสมการ (4-21) ค่า X และ Y สำหรับเบริงบางชนิดแสดงอยู่ในตาราง

ให้สังเกตว่า ค่า X Y และ e ในตาราง จะเปลี่ยนไปตามขนาดเบริง และค่า e และ Y มีค่าลดลงตามลำดับ จึงทำให้สามารถใช้ค่าการประมาณแบบเชิงเส้น (Linear Interpolation) ในตารางได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Contact Angle α , deg	$\frac{fF_a^1}{C_o}$	Single-Row Bearing ² $F_a/VF_r > e$		Double-Row Bearing ³				e	
		X	Y	$F_a/VF_r \leq e$		$F_a/VF_r > e$			
				X	Y	X	Y		
Deep groove ball bearing ⁴									
	0.014		2.30				2.30	0.19	
	0.028		1.99				1.99	0.22	
	0.056		1.71				1.71	0.26	
	0.084		1.55				1.55	0.28	
	0.11	0.56	1.45	1.0	0	0.56	1.45	0.30	
	0.17		1.31				1.31	0.34	
	0.28		1.15				1.15	0.38	
	0.42		1.04				1.04	0.42	
	0.56		1.00				1.00	0.44	
Angular-Contact groove ball bearing ⁴									
5	0.014		Use X, Y				2.78	3.74	0.23
	0.028		and e				2.40	3.23	0.26
	0.056		values				2.07	2.78	0.30
	0.085		appli-				1.87	2.52	0.34
	0.11	0.56	cable	1.0	1.75	0.78	2.36	2.36	0.36
	0.17		to sin-				1.58	2.13	0.40
	0.28		gle-row				1.39	1.87	0.45
	0.42		deep				1.26	1.69	0.50
0.56		groove				1.21	1.63	0.52	
			bear-						
			ings						
10	0.014		1.88				2.18	3.06	0.29
	0.029		1.71				1.98	2.78	0.32
	0.057		1.52				1.76	2.47	0.36
	0.086	0.46	1.41	1.0	1.63	0.75	2.29	2.29	0.38
	0.11		1.34				1.55	2.18	0.40
	0.17		1.23				1.42	2.00	0.44
	0.29		1.10				1.27	1.79	0.49
	0.43		1.01				1.17	1.64	0.54
0.57		1.00				1.16	1.63	0.54	

ตารางที่ 4-4 ตัวประกอบ X และ Y สำหรับบอลและโรลเลอร์เบริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Contact Angle α , deg	$\frac{iF_a^1}{C_o}$	Single-Row Bearing ² $Fa/VF_r > e$		Double-Row Bearing ³				e
				$Fa/VF_r \leq e$		$Fa/VF_r > e$		
		X	Y	X	Y	X	Y	
Angular-Contact groove ball bearing ⁴								
15	0.015		1.47		1.65		2.39	0.38
	0.029		1.40		1.57		2.28	0.40
	0.058		1.30		1.46		2.11	0.43
	0.087		1.23		1.38		2.00	0.46
	0.12	0.44	1.19	1.0	1.34	0.72	1.93	0.47
	0.17		1.12		1.26		1.82	0.50
	0.29		1.02		1.14		1.66	0.55
	0.44		1.00		1.12		1.63	0.56
0.58		1.00		1.12		1.63	0.56	
20		0.43	1.00	1.0	1.09	0.70	1.63	0.57
25		0.41	0.87	1.0	0.92	0.67	1.41	0.68
30		0.39	0.76	1.0	0.78	0.63	1.24	0.80
35		0.37	0.66	1.0	0.66	0.60	1.07	0.95
40		0.35	0.57	1.0	0.55	0.57	0.93	1.14
Self-aligning ball bearings								
		0.40	0.4 cot α	1.0	0.42 cot α	0.65	0.65 cot α	1.5 tan α
Roller-bearings, self-aligning, tapered ⁵								
$\alpha \neq 90$		0.4	0.4 cot α	1.0	0.45 cot α	0.67	0.67 cot α	1.5 tan α

ที่มา : Frank W.Wilson : Tool Engineers Handbook, 2nd, ed. McGraw-Hill Book Co.

ตารางที่ 4-4 ตัวประกอบ X และ Y สำหรับบอลและโรลเลอร์เบริง (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูสวม mm	O.D mm	ความหนา mm	e	$\frac{F_a}{VF_r} > e^*$		C _o kN	C kN
				X	Y		
25	60	19	0.51	0.40	1.17	20	27
30	67	21	0.48		1.25	25	32
35	72	17	0.44		1.37	28	34
40	80	21	0.47		1.27	33	41
45	85	21	0.45		1.34	38	47
50	90	20	0.40		1.49	43	49
50	100	21	0.45		1.34	60	70
50	110	27	0.48		1.24	75	85
55	100	21	0.40		1.49	57	61
60	110	22	0.38		1.60	69	73
65	113	24	0.37		1.61	79	83
65	127	28	0.42		1.44	90	101

ตาราง 4-5 แรงประหมินและตัวประกอบ X และ Y สำหรับ single – row, spherical roller bearing

รูสวม mm	O.D mm	ความหนา mm	e	$\frac{F_a}{VF_r} > e^*$		C _o kN	C kN
				X	Y		
70	150	30	0.40	0.40	1.49	116	133
75	130	27	0.38		1.59	92	97
80	150	28	0.38		1.57	115	117
85	150	28	0.38		1.57	115	117
90	190	36	0.38		1.60	225	214
95	180	34	0.36		1.67	177	181
100	180	38	0.36		1.67	177	181
105	190	36	0.38		1.60	225	214
120	215	44	0.37		1.63	274	265

* สำหรับ $\frac{F_a}{VF_r} \leq e$, X = 1 และ Y = 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดของแรง	N _s		
	บอลเบริง	โรลเลอร์เบริง	ตัวอย่าง
แรงเรียบสมน้ำเสมอ	1.0	1.0	มอเตอร์ไฟฟ้า เครื่องอัดอากาศ
แรงกระแทกเล็กน้อย	1.5	1.0	เครื่องตัดโลหะ บินจัน
แรงกระแทกอย่างหนัก	2.0-3.0	1.3-2.0	เครื่องบดแร่ เครื่องเขย่า

ตารางที่ 4-6 ตัวประกอบของการกระแทก

ชนิดของสายพาน	N _s
สายพานลิ่ม (V-belts)	1.5-2.0
สายพานแบน	2.0-4.0

ตารางที่ 4-7 ตัวประกอบของสายพาน

คุณภาพของเฟือง	N _s
เฟืองซึ่งตัดฟันอย่างดีมาก	1.05 1.10
เฟืองที่ใช้ทั่วไป	1.10 1.30

ตารางที่ 4-8 ตัวประกอบของเฟือง

4.13 สายพาน

การส่งกำลังใช้ มอเตอร์ไฟฟ้า 1 แรงม้า ควบคุมการส่งกำลังด้วยสายพาน 1 เส้น หมุนเพลลาที่มีจาน หมุนติดอยู่

เลือกใช้สายพานในการส่งกำลังเพราะว่า สายพานมีความปลอดภัยในตัวเองขณะส่งกำลัง หมายถึงว่า ขณะทำงานเมื่อมีการะเก็น สายพานจะมีการลื่นไถลนั่นเอง ประกอบกับสายพานมีราคาถูก หาซื้อได้ง่าย การ บำรุงรักษาง่าย จึงเลือกใช้สายพานชนิดสายพานลิ่ม

สายพานลิ่มใช้ส่งกำลังได้มากโดยต้องการแรงดึงขั้นต้นในสายพานน้อย ทั้งนี้เพราะผลจากการยึด เกาะกันระหว่างด้านข้างของสายพานที่เรียวก กับร่องลิ่มของสายพาน ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ แม้ว่าจะมี เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

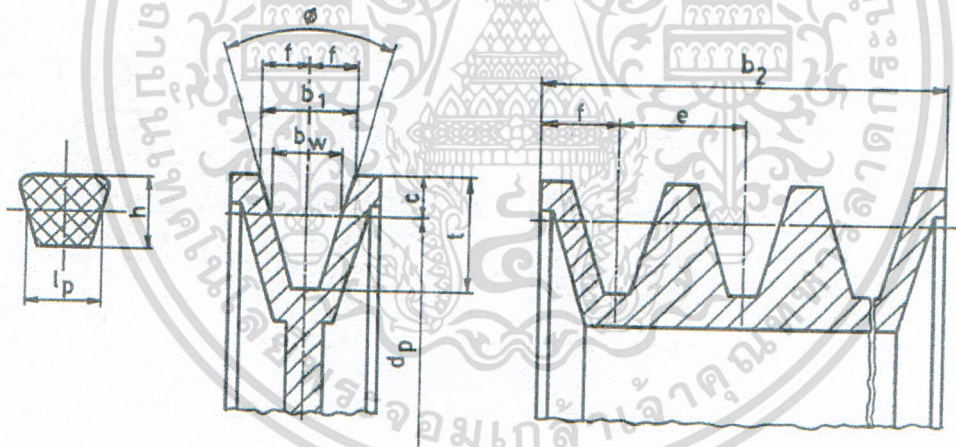
ส่วนสัมผัสน้อย และมีแรงดึงชั้นด้นต่ำ เหมาะกับการใช้งานในกรณีที่อยู่ห่างระหว่างศูนย์กลางของล้อ สายพานน้อย

การส่งกำลังด้วยสายพานลิ่ม มีข้อดีคือ เจริญ สะอาด และสามารถรับแรงกระตุกได้ดี นอกจากนี้ยังมีขนาดกระทัดรัด ประสิทธิภาพดี และแบร์ริงของเพลไม่ต้องรับแรงมากเกินไป จึงมักจะใช้ในการส่งกำลังด้านอุตสาหกรรมทั่วไป สายพานชนิดนี้สามารถส่งกำลังได้โดยมีอัตราทดสูง ประมาณ 7: 1 หรืออาจใช้ได้สูงถึง 10:1

4.14 สายพานลิ่ม

สายพานลิ่มมีการกำหนดขนาดโดยใช้ความกว้างพิทช์ (Pitch Width) และความหนาของสายพาน โดยใช้รหัสตัวอักษร สายพานลิ่มแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ สายพานลิ่มแบบแคบ (Narrow V – Belt) และสายพานลิ่มแบบธรรมดา สำหรับสายพานลิ่มแบบธรรมดามีขนาดความหนาโดยแทนด้วยรหัสตัวอักษร คือ Y Z A B C D และ E ซึ่งในที่นี้เลือกใช้สายพานลิ่มแบบธรรมดา

รูปร่างหน้าตัดของสายพานลิ่ม และล้อสายพาน ดังแสดงในรูป 4-10



รูปที่ 4-9 แสดงหน้าตัดสายพานลิ่ม และล้อสายพาน

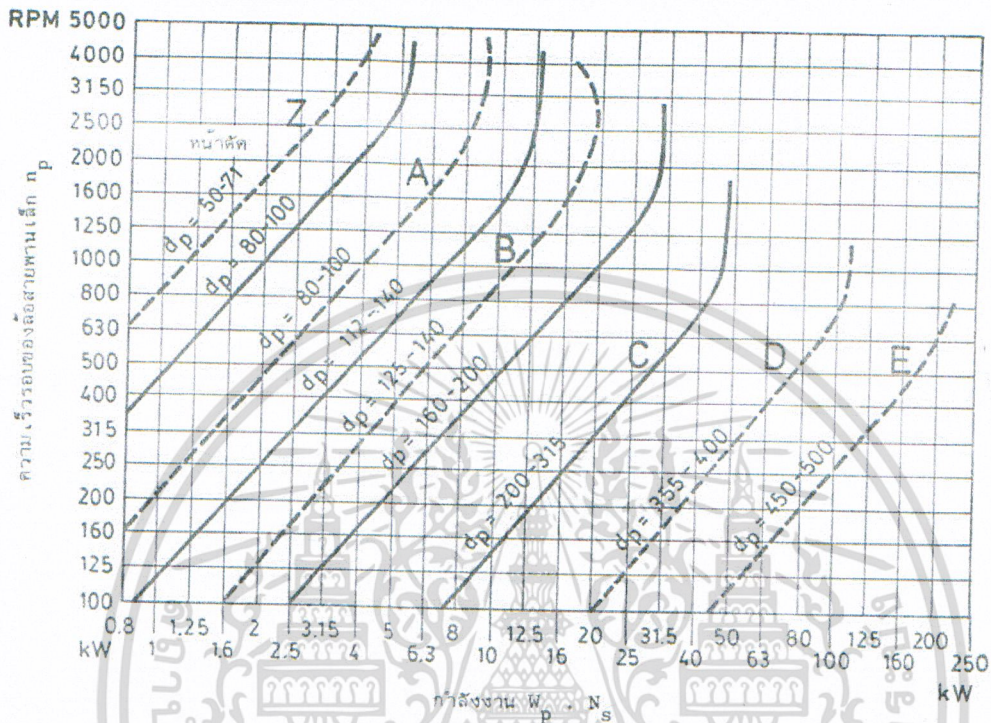
4.15 การคำนวณหาขนาดของสายพานลิ่ม

การคำนวณทางด้าน การส่งกำลัง โดยใช้สายพานลิ่มจะใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางพิทช์ของล้อสายพาน D_p เป็นพื้นฐาน และในที่นี้ก็จะแสดงวิธีการเลือกขนาดของสายพานลิ่มตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต

ในการเลือกขนาดของล้อสายพาน บริษัทผู้ผลิตได้แนะนำให้เลือกขนาดของล้อสายพาน ไม่ควรเล็กกว่าค่าที่กำหนดไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาขนาดหน้าตัดโดยประมาณของสายพานลิ่มสำหรับการส่งกำลัง อาจทำได้โดยใช้รูป 4-11



รูปที่ 4-10 แสดงแผนภูมิที่ใช้ในการเลือกขนาดหน้าตัดของสายพานลิ่ม

การเลือกขนาดของสายพานลิ่ม จะใช้วิธีการคำนวณหาจำนวนเส้นของสายพานลิ่มที่ต้องการใช้งาน จากกำลังงานที่ต้องการขับ และตัวประกอบที่ใช้แก้ไขต่างๆ จำนวนเส้นของสายพานลิ่มหาได้จากสมการ

$$Z = \frac{W_p \cdot N_s}{P_R N_a N_1} \quad (4-22)$$

โดยที่ Z = จำนวนเส้นของสายพานลิ่ม

W_p = กำลังงานที่ต้องการส่ง

N_s = ตัวประกอบใช้งานหาค่าได้จากตาราง 4-4

N_a = ตัวประกอบแก้ไขส่วนโค้งสัมผัส หาค่าได้จากตาราง 4-5

N_1 = ตัวประกอบแก้ไขความยาวสายพาน หาค่าได้จากตาราง 4-6 ถึง 4-12

P_R = กำลังที่สายพานลิ่มหนึ่งเส้นส่งได้ หาค่าได้จากตาราง 4-6 ถึง 4-12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การออกแบบและการคำนวณ

5.1 การหาแรงที่ใช้ในการทำให้ขดแตกจากแรงกระแทก

เนื่องจากเครื่องบดขูดแก้วให้หลักการของแรงกระแทกทำให้ขดแตก เพราะฉะนั้นจะหาแรงได้ดังนี้

$$P = \frac{2\pi NT}{60} \quad (5-1)$$

$$T = F \cdot r \quad (5-2)$$

$$P = IE \cos \theta \quad (5-3)$$

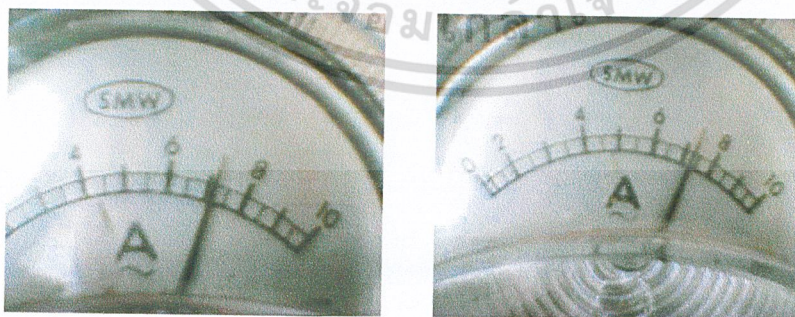
นำสมการที่ (5-2) และ (5-3) ไปรวมกับสมการที่ (5-1) แล้วจัดรูปใหม่จะได้

$$F = \frac{60IE \cos \theta}{2\pi Nr} \quad (5-4)$$

จากการทดสอบได้ค่าต่างๆดังต่อไปนี้

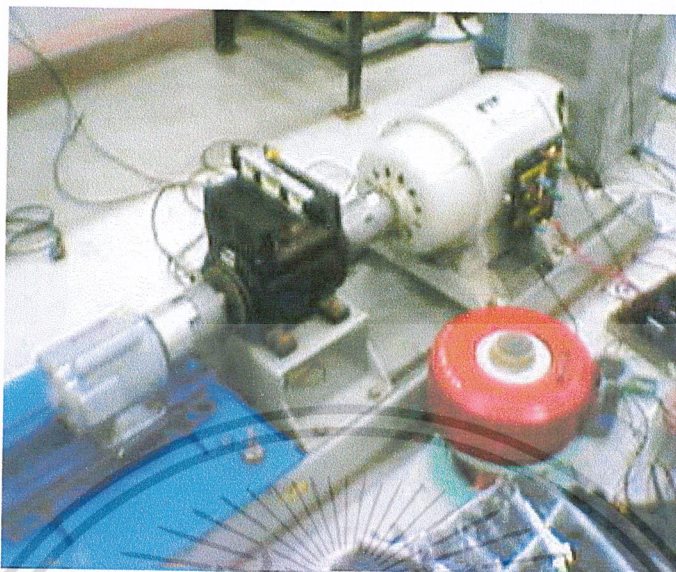
กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการทำให้ขดแตก = 0.28 A

$\cos \theta = 0.69$



รูปที่ 5-1 ความแตกต่างของกระแสที่ใช้ในการตีขดให้แตก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5-2 การนำมอเตอร์ไปทดสอบหาประสิทธิภาพ

ความเร็วรอบแกนตี = $\frac{\text{เส้นผ่านศูนย์กลางของล้อยางพานมอเตอร์} \times \text{ความเร็วรอบของมอเตอร์}}{\text{เส้นผ่านศูนย์กลางของล้อยางพานแกนตี}}$ (5-5)

$$\begin{aligned} \text{ความเร็วรอบแกนตี} &= \frac{2" \times 1450}{5.5"} \\ &= 527.27 \text{ rpm} \end{aligned}$$

รัศมีแกนตี = 0.15 เมตร

แทนค่าลงในสมการที่ (5-4) จะได้

$$F = \frac{60 \times 0.28 \times 220 \times 0.69}{2\pi \times 527.27 \times 0.15}$$

$$F = 5.13 \quad \text{นิวตัน}$$

∴ แรงที่ใช้ในการทำให้ขวดแตกจากแรงกระแทกมีขนาด 5.13 นิวตัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 การหาขนาดของมอเตอร์

เมื่อ จำนวนแกนตี = 4 แกน
รัศมีแกนตี = 0.15 เมตร

$$\begin{aligned} \text{แรงบิดที่ชุดตีแก้ว} &= \text{แรงที่กระทำกับแกนตีทั้งหมด} \times \text{รัศมีแกนตี} \\ &= (4 \times 5.13) \times (0.15) \\ &= 3.078 \quad \text{นิวตัน - เมตร} \end{aligned} \quad (5-6)$$

แทนค่าต่างๆลงในสมการที่ (5-1) จะได้

$$P = \frac{2\pi \times 3.078 \times 527.27}{60}$$

$$P = 169.87$$

$$P = 0.227$$

∴ กำลังมอเตอร์ไฟฟ้าที่คำนวณได้ = 0.227 แรงม้า

∴ เลือกใช้มอเตอร์ขนาด 1 แรงม้า

5.3 การหาขนาดเพล

$$\omega = 527.27 \left(\frac{\text{rev}}{\text{min}} \right) \times 2\pi \left(\frac{\text{rad}}{\text{min}} \right) \times \frac{1}{60} \left(\frac{\text{min}}{\text{sec}} \right) = 55.18 \frac{\text{rad}}{\text{sec}}$$

$$P = T\omega$$

(5-7)

เลือกใช้มอเตอร์ 1 HP = 746 Watt

แทนค่าในสมการ (5-7) จะได้

$$T_3 = 13.55 \text{ N-m}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{1}{N} = \left[\left(\frac{\sigma_m}{\sigma_y} + K_f \frac{\sigma_a}{\sigma_n} \right)^2 + \left(\frac{\tau_m}{\tau_y} + K_{fs} \frac{\tau_a}{\tau_n} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (5-8)$$

ไม่เกิดแรงกระทำตามแนวแกน Y ดังนั้น $\sigma_a = \sigma_m = 0$

สูตรเพลาดัน $\tau_m = \frac{16T_m}{\pi d^3}$; $T_m = 13.55 N.m = 13550 N.mm$

$$\tau_m = \frac{69009}{d^3}$$

เนื่องจากโมเมนต์บิดมีค่าคงที่ทำให้ความเค้นเฉือนที่เกิดขึ้นมีค่าเท่ากันตลอดรอบผิวของเพลาดัน ดังนั้น $\tau_a = 0$

จากตารางโลหะเหล็กเหนียว ST 33 - 2 จะได้ $\sigma_u = 320 - 490 MPa$
 $\sigma_y = 185 MPa$

ใช้ทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด $\tau_y = 0.5\sigma_y = 0.5(185) = 92.5 MPa$

เลือกใช้ Safety Factor สำหรับรับแรงกระทำ ให้ $N = 7$ สำหรับใช้กับ σ_y
 แทนค่าต่างๆลงในสมการที่ (5-8) แล้วจัดรูปใหม่ จะได้

$$d^3 = \frac{69009(7)}{92.5} = 5222.302 mm^3$$

$$d^3 = 17.5 mm \quad (\text{ช่วง B-C})$$

∴ เนื่องจากแบร็งท์ทั่วไปมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 38 มิลลิเมตร จึงเลือกใช้เพลาดันขนาด 38 มิลลิเมตร
 และช่วง A-B ใช้เส้นผ่านศูนย์กลาง 40 มิลลิเมตร สำหรับเป็นบารองรับ

5.4 การหาขนาดแกนตี

$$\begin{aligned} \text{โมเมนต์ดัดที่แกนตี} &= \text{แรงที่กระทำกับแกนตี} \times \text{ระยะแกนตี} \\ &= 5.13 \times 0.15 \\ &= 0.77 \quad N.m \\ &= 770 \quad N.mm \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางโลหะเหล็กเหนียว ST 33-2 $\sigma_y = 185MPa$

$$\sigma = \frac{MC}{I} \quad (5-9)$$

$$I = \frac{\pi d^4}{64} \quad \text{เมื่อ} \quad C = \frac{d}{2} \quad (5-10)$$

นำสมการที่ (5-10) แทนลงในสมการที่ (5-9) แล้วจัดรูปใหม่จะได้

$$\sigma = \frac{32M}{\pi d^3}$$

ใช้ $N = 7$ เนื่องจากเป็นแรงกระทำอย่างหนัก

แทนค่า

$$\frac{185}{7} = \frac{32(770)}{\pi d^3}$$

$$d = 6.67mm$$

$$d \approx 7mm$$

เลือกใช้เหล็กกลมเหล็ยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร

5.5 การหาขนาดแบริ่ง

เลือกแบริ่งขนาดรูสวมเข้ากับเพลขขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 38 มิลลิเมตร โดยใช้แบริ่งแบบ Single – Row, Deep – Groove ball bearing จากตารางภาคผนวก ก.1

จะได้ $C_0 = 15KN$

$$C = 21.36KN$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P = XV F_r + Y F_a \quad (5-11)$$

เมื่อ วงแหวนในหมุน $V = 1$

$$F_r \text{ ได้จากแรงดึงสายพาน จากสูตร } P = \frac{2\pi NT}{60}$$

$$T = \frac{60W_p}{2\pi N}$$

$$T = \frac{60(746)}{2\pi(527.27)}$$

$$T = 13.517 \text{ N.m}$$

แรงในแนวรัศมี $F_r = \frac{T}{r} = \frac{13.517}{0.15} = 90.113 \text{ N} = 0.09 \text{ KN}$

แรงในแนวแกน $F_a = (\text{น้ำหนักเพลลา} + \text{น้ำหนักแขนตี}) \times g$

$$F_a = 6.67 \times 9.81$$

$$F_a = 65.43 \text{ N}$$

$$\frac{IF_a}{C_0} = \frac{1(0.06543)}{15} = 0.004362$$

$$\frac{F_a}{VF_r} = \frac{0.06543}{1(0.09)} = 0.73$$

$$\frac{F_a}{VF_r} \leq e$$

จากตาราง $X = 0.56$ $Y = 3.5$

$$P = 0.56(1)(0.09) + 3.5(0.06543) = 0.2794 \text{ KN}$$

จากตัวประกอบของสายพาน ใช้สายพานลิ่ม V - Belts $N_s = 1.5 - 2$ เลือกใช้ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^K = \left(\frac{21.36}{0.2794(2)}\right)^3 = 55,851mr$$

$$L_{10} = \frac{55,851(10^6)}{527.27(60)} = 1,765,414hr$$

∴ เลือกใช้เบร้งขนาดรูสวน 38 มิลลิเมตร 2 อัน เป็นแบบ Single – Row deep groove ball bearing

5.6 การหาสายพานและล้อสายพาน

กำหนด $D_p = 139.7mm = 5.5"$

$d_p = 50.8mm = 2"$

เลือกใช้สายพาน 1 เส้นในการส่งกำลัง

ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางล้อสายพาน ที่ใช้คือ 370 mm

$$\text{จาก } L_p = 2C + 1.57(D_p + d_p) + \left(\frac{D_p - d_p}{4C}\right)^2 \quad (5-12)$$

$$L_p = 2(370) + 1.57(139.7 + 50.8) + \left(\frac{139.7 - 50.8}{4(370)}\right)^2$$

$$L_p = 1039mm$$

$$L_p = 40.9in$$

∴ เลือกใช้สายพานยาว 41 นิ้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

การทดสอบและผลการทดสอบเครื่องบดขูดแก้ว

6.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1. ขวดแก้วชนิดใส
2. ขวดแก้วชนิดสี
3. เครื่องมือวัดค่ากระแสไฟฟ้า (Watt-hour Meter)
4. นาฬิกาจับเวลา
5. เครื่องชั่งน้ำหนัก
6. เครื่องบดขูดแก้ว

6.2 วัตถุประสงค์ของการทดสอบ

1. เพื่อหาความเร็วรอบที่เหมาะสมกับขนาดของเศษแก้วที่ออกมา
2. เพื่อหาสมรรถนะของเครื่องบดขูดแก้ว

6.3 วิธีการทดสอบ

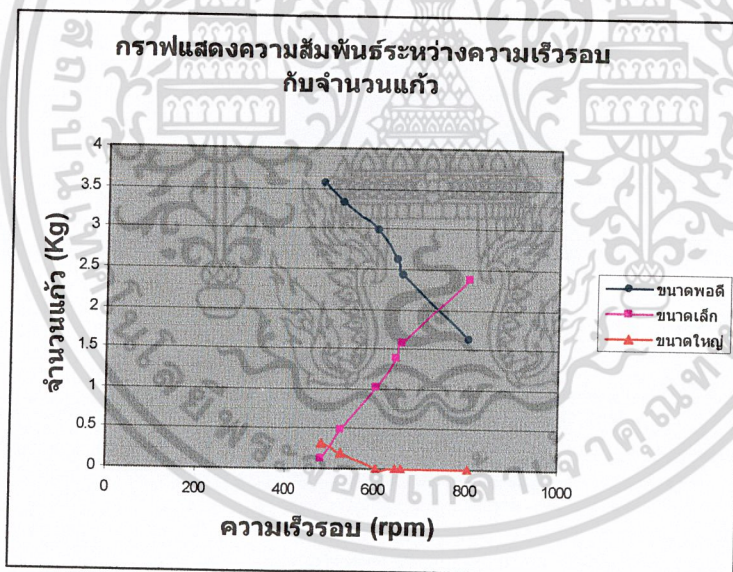
6.3.1 วิธีการทดสอบหาความเร็วรอบที่เหมาะสมกับขนาดของเศษแก้วใส

1. เตรียมขวดแก้วใส 16 ขวด (4 กิโลกรัม)
2. นำขวดแก้วที่เตรียมมาใส่ลงในเครื่องบดแก้ว
3. นำเศษแก้วที่ผ่านการบดเรียบร้อยแล้วมาทำการคัดแยกขนาด (ขนาดเล็ก, ขนาดพอดี, ขนาดใหญ่)
4. นำเศษแก้วขนาดต่างๆ ไปชั่งน้ำหนักเพื่อการวิเคราะห์
5. ทำการบดขวดแก้วซ้ำโดยการเปลี่ยนความเร็วรอบต่างๆ
6. บันทึกผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนาดมู่เลย์ (ขั้ว,ตาม)	ความเร็วแวนติ (rpm)	ขนาดพอดี (kg)	ขนาดเล็ก (kg)	ขนาดใหญ่ (kg)	น้ำหนักรวม (kg)
2",6"	483	3.56	0.13	0.31	4
2",5.5"	527	3.32	0.48	0.20	4
2.5",6"	604	2.97	1.03	-	4
2",4.5"	645	2.61	1.39	-	4
2.5",5.5"	660	2.43	1.57	-	4
2.5",4.5"	805	1.62	2.38	-	4

ตารางที่ 6-1 ผลการทดลองสำหรับขวดแก้วใส



รูปที่ 6-1 ผลการทดลองสำหรับขวดแก้วใส

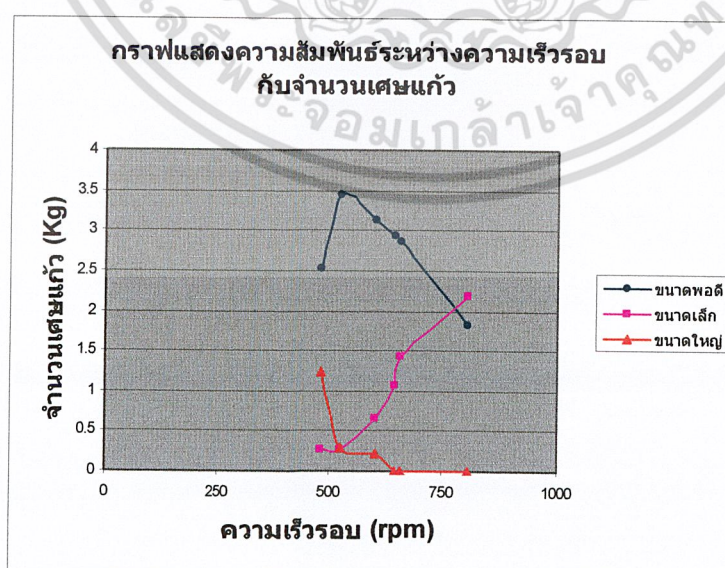
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.3.2 วิธีการทดสอบหาความเร็วรอบที่เหมาะสมกับขนาดของเศษแก้วสี

1. เตรียมขวดแก้วสี 16 ขวด (4 กิโลกรัม)
2. นำขวดแก้วที่เตรียมมาใส่ลงไปในเครื่องบดแก้ว
3. นำเศษแก้วที่ผ่านการบดเรียบร้อยแล้วมาทำการคัดแยกขนาด (ขนาดเล็ก, ขนาดพอดี, ขนาดใหญ่)
4. นำเศษแก้วขนาดต่างๆ ไปชั่งน้ำหนักเพื่อการวิเคราะห์
5. ทำการบดขวดแก้วซ้ำ โดยการเปลี่ยนความเร็วรอบต่างๆ
6. บันทึกผลการทดลอง

ขนาดมูเลย์ (ซัป,ตาม)	ความเร็วแชนตี (rpm)	ขนาดพอดี (kg)	ขนาดเล็ก (kg)	ขนาดใหญ่ (kg)	น้ำหนักรวม (kg)
2",6"	483	2.51	0.26	1.23	4
2",5.5"	527	3.45	0.27	0.28	4
2.5",6"	604	3.12	0.65	0.23	4
2",4.5"	645	2.93	1.07	-	4
2.5",5.5"	660	2.86	1.44	-	4
2.5",4.5"	805	1.83	2.17	-	4

ตารางที่ 6-2 ผลการทดลองสำหรับขวดแก้วสี



รูปที่ 6-2 ผลการทดลองสำหรับขวดแก้วสี

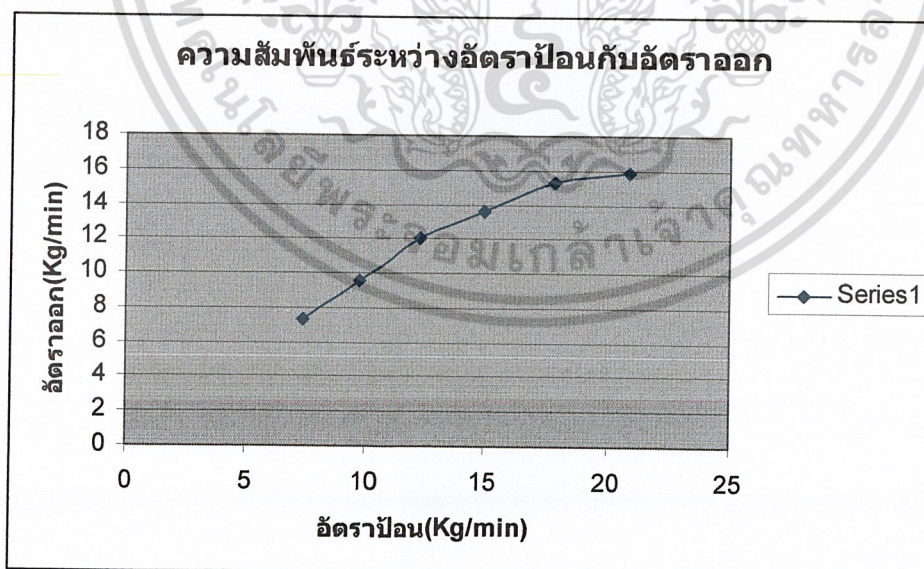
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.3.3 หาสมรรถนะของเครื่องบดขวดแก้ว

1. เตรียมขวดแก้ว
2. ทำการใส่ขวดลงไปโดยที่ กำหนดให้ จำนวนรอบของ Watthour Meter หมุนคงที่ (ที่ 1 รอบ)
3. ทำการจับเวลาโดยหยุดจับเมื่อ Watthour Meter หมุน 1 รอบ
4. ทำการจดบันทึกข้อมูล

จำนวนรอบ ของ Watthour Meter	จำนวนขวด แก้ว	น้ำหนักขวด แก้ว (Kg)	เวลา (sec)	เวลาคายหมด (sec)	อัตราป้อน (kg/min)	อัตราออก (Kg/min)	Output/input
1	4	1	8.11	8.20	7.39	7.31	0.99
1	5	1.25	7.67	7.83	9.77	9.57	0.98
1	6	1.5	7.31	7.47	12.31	12.05	0.97
1	7	1.75	7.02	7.74	14.95	13.60	0.91
1	8	2	6.74	7.84	17.80	15.30	0.86
1	9	2.25	6.48	8.52	20.83	15.83	0.76

ตารางที่ 6-3 ผลการทดลองการหาสมรรถนะของเครื่องบดขวดแก้ว



รูปที่ 6-3 ผลการทดลองการหาสมรรถนะของเครื่องบดขวดแก้ว

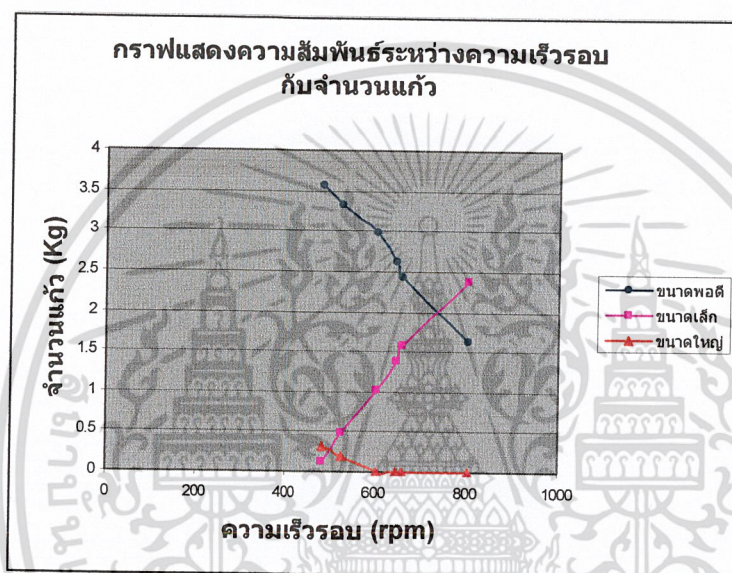
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

7.1 สรุปผลการทดลอง

7.1.1 สรุปการทดสอบหาความเร็วรอบที่เหมาะสมกับขนาดของเศษแก้วใส

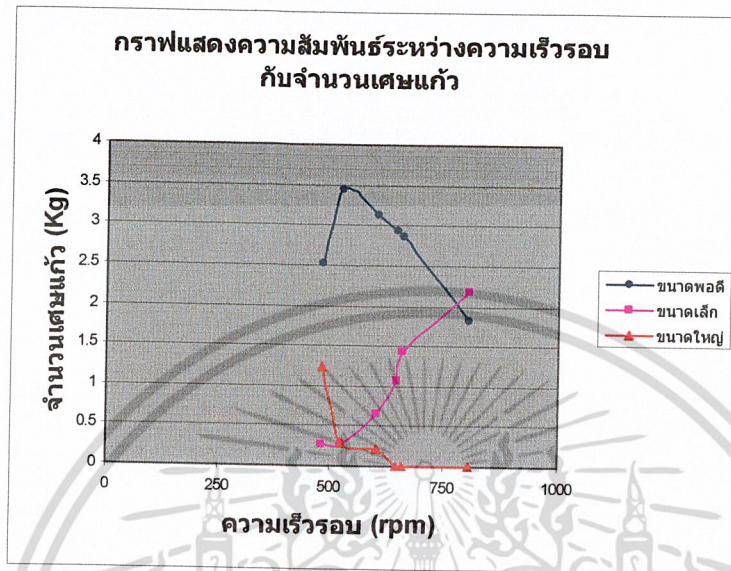


รูปที่ 7-1 ผลการทดลองสำหรับขวดแก้วใส

จากการทดลองจะเห็นว่าปริมาณเศษแก้วที่มีขนาดพอดีจะมีปริมาณแปรผันกับความเร็วรอบของแขนดี คือ ยิ่งที่ความเร็วรอบต่ำๆมากเท่าไร ปริมาณเศษแก้วที่มีขนาดพอดีก็จะมีปริมาณมากขึ้นตามไปด้วย

จากการทดลองจะเห็นว่าความเร็วรอบที่ดีที่สุดสำหรับขวดแก้วใส คือ ที่ความเร็วรอบ 483 rpm โดยที่จากการใส่ขวดแก้วลงไป 4 กิโลกรัม จะได้เศษแก้วที่มีขนาดพอดีถึง 3.56 กิโลกรัม

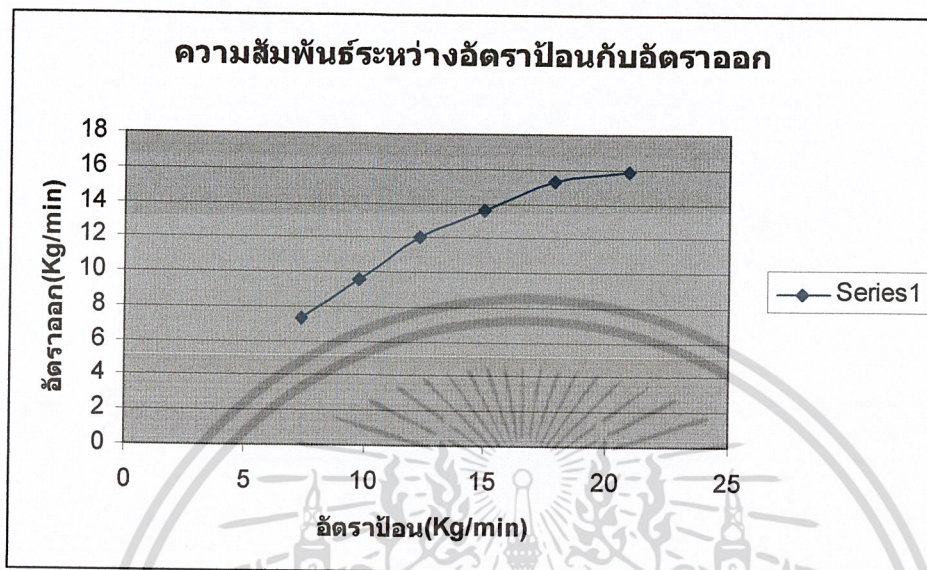
7.1.2 สรุปการทดสอบหาความเร็วรอบที่เหมาะสมกับขนาดของเศษแก้วสี



รูปที่ 7-2 ผลการทดลองสำหรับขนาดแก้วสี

จากกราฟนี้จะเห็นว่าความเร็วที่มากหรือน้อยเกินไปจะทำให้ขนาดแก้วสีนั้นมีขนาดที่ไม่พอดี โดยความเร็วรอบที่ดีที่สุดในการทดสอบครั้งนี้ คือ 527 rpm

7.1.3 ผลการทดสอบหาสมรรถนะของเครื่องบดขูดแก้ว



รูปที่ 7-3 ผลการทดลองการหาสมรรถนะของเครื่องบดขูดแก้ว

จากผลการทดลองจะเห็นว่าถ้าเพิ่มอัตราป้อนขูดแก้วไปเรื่อยๆ อัตราออกของเศษแก้วก็จะมากขึ้นไปด้วย แต่ถ้าป้อนมากเกินไปจะสังเกตเห็นว่าอัตราออกจะเริ่มไม่เพิ่มมากขึ้นเท่าไร (เมื่อประสิทธิภาพของเครื่องบดขูดแก้วเท่ากับ Output/Input) ถ้าเรายังคงเพิ่มอัตราการป้อนอีกประสิทธิภาพของเครื่องก็จะต่ำ ดังนั้นอัตราการป้อนขูดแก้วที่ดีที่สุดในการทดลองครั้งนี้ คือ 12.31 kg/min

เนื่องจาก Watthour Meter หมุน 1,200 รอบ เสียค่าไฟฟ้า 4 บาท (ค่าไฟฟ้าตามโรงงานอุตสาหกรรม) ดังนั้นถ้า Watthour Meter หมุน 1 รอบ จะเสียค่าไฟฟ้า 0.0033 บาท

ที่อัตราป้อนขูดแก้ว 12.31 Kg/min จะมีอัตราออกของเศษแก้ว 12.05 Kg/min ดังนั้นภายใน 1 วัน จะบดขูดแก้วได้ 5.78 ตัน และเสียค่าไฟฟ้า 13.13 บาท

7.2 วิจัยและข้อเสนอแนะ

1. ในการป้อนขูดแก้วเข้าเครื่องบดขูดแก้วนั้นเราทำการใส่ขูดแก้วด้วยมือ ฉะนั้นอัตราการป้อนจะขึ้นอยู่กับความเร็วของมือซึ่งจะทำให้อัตราการป้อนไม่แน่นอน ควรแก้ไขโดยการทำระบบป้อนขูดแก้วอัตโนมัติ

2. เนื่องจากขนาดของเศษแก้วที่ออกมาจะขึ้นอยู่กับความเร็วรอบของแกนตี ดังนั้นการปรับความเร็วรอบควรทำได้ง่ายโดยการติดตั้ง Investor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1] รศ.ชาญ อดันงาน และ ศ.ดร.วริทธิ์ อึ้งภากรณ์, "การออกแบบเครื่องจักรกลเล่น 1", พิมพ์ครั้งที่ 10 ปี พ.ศ.2544
- [2] รศ.ชาญ อดันงาน และ ศ.ดร.วริทธิ์ อึ้งภากรณ์, "การออกแบบเครื่องจักรกลเล่น 2", ปี พ.ศ.2541
- [3] ร.ศ.บรรเลง ศรีนิต, "ตารางโลหะ, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพฯ, 2524
- [4] มานพ ต้นตระกูลบัณฑิตย์ และ สำลีแสงห้าว, "วัสดุช่างอุตสาหกรรม", โครงการความร่วมมือจัดพิมพ์ ตำราตามหลักสูตรของกรมอาชีวศึกษาระหว่าง กรมอาชีวศึกษา - กระทรวงศึกษาธิการและสมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย - ญี่ปุ่น)
- [5] รศ.ดร.พิภพ สุนทรสมัย, "วัสดุวิศวกรรมก่อสร้าง", ส่วนตำราสนับสนุนเทคนิคอุตสาหกรรม สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย - ญี่ปุ่น)
- [6] สมชัย นรเศรษฐโสภณ, "กลศาสตร์ของแข็ง", ภาควิชาเครื่องกลคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ, 2533
- [7] รศ.วุฒิชัย กปิลาญจน์, "กลศาสตร์และพลศาสตร์ของเครื่องจักรกล", ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ, ปี พ.ศ. 2533
- [8] J.L.Meriam, L.G.Kraige, "Engineering Mechanics Dynamics", 4th.ed, John Wiley & Sons, Inc., 1998, pp.17 -26
- [9] R.C.Hibbeler, "Mechanics of Material", 4th.ed, Prentice Hall, 1999, pp. 24 -40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.1 มิติมาตรฐานและแรงประเมินของโรลลิงเบริง (C₀, C เป็น KN)

ขนาด รูกลม d	O.D. dia. D mm	ขนาด D2										ขนาด D2			ขนาด D2			
		ความหนา B mm	Self-aligning Ball Bearing		Single-Row Deep-Groove Ball Bearing		Angular Contact Small Angle Ball Bearing		Angular Contact Steep Angle Ball Bearing		Cylindrical Roller Bearing		ความหนา B mm	Spherical Roller Bearing		ความหนา B mm	Double-Row Non-Filling Notch Ball Bearing	
			C ₀	C	C ₀	C	C ₀	C	C ₀	C	C ₀	C		C ₀	C		C ₀	C
4	13	5	-	-	0.57	1.19												
5	16	5	-	-	0.94	1.85												
6	19	6	0.53	1.94	0.94	1.85												
7	22	7	0.66	2.05	1.35	2.51												
8	-	-	0.66	2.05	1.35	2.51												
9	26	8	0.93	2.07	1.96	3.49												
10	30	9	1.34	4.23	1.96	3.58												
12	32	10	1.48	4.30	3.05	5.25	3.97	5.52								14.3	3.56	5.52
15	35	11	2.01	5.74	3.51	5.87	4.09	6.54								15.9	5.56	8.10
17	40	12	2.43	6.10	4.45	7.34	5.25	8.19								17.5	6.36	9.03
20	47	14	3.18	7.61	6.18	9.89	7.25	11.00								20.6	8.19	11.30
25	52	15	4.03	9.34	6.44	10.27	8.72	12.55	7.70	11.39						20.6	11.30	15.17
30	62	16	5.83	12.06	10.00	14.95	12.55	17.34	11.08	15.80	9.86	17.67				23.8	16.46	22.87
35	72	17	6.68	12.19	13.66	19.76	17.09	22.94	15.08	20.87	15.35	26.25				27.0	22.87	30.57
40	80	18	8.59	14.82	15.66	22.43	21.27	27.41	18.64	24.74	20.74	34.13	23	33.92	60.52	30.2	34.17	41.30
45	85	19	9.61	16.82	17.84	25.19	24.21	30.79	21.23	27.72	22.29	35.91	23	30.28	63.19	30.2	38.36	41.30
50	90	20	10.95	17.49	19.80	27.01	26.03	32.31	22.74	28.79	23.90	37.56	23	33.40	65.41	30.2	41.03	41.30
55	100	21	13.40	20.60	25.05	33.38	32.97	39.96	28.79	35.64	29.86	45.84	25	46.75	81.43	33.3	50.73	50.73
60	110	22	15.53	23.14	30.94	40.36	40.72	48.50	35.55	43.16	37.65	56.87	28	53.21	99.23	36.5	61.41	61.41
65	120	23	17.22	25.85	34.11	44.05	44.95	52.51	41.83	48.95	45.39	66.30	31	59.68	116.60	38.1	66.75	66.75
70	125	24	18.78	26.63	37.42	48.06	49.40	57.90	45.84	53.40	45.59	74.76	31	105.91	121.00	39.7	72.53	72.53
75	130	25	21.40	29.86	41.16	50.73	56.51	62.30	48.95	56.73	56.96	81.00	31	111.70	125.50	41.3	77.00	77.00
80	140	26	25.54	30.33	44.50	56.07	62.74	69.86	54.73	61.85	60.96	87.22	33	129.00	143.70	44.4	85.00	85.00
85	150	28	28.43	37.82	53.40	64.08	72.53	78.76	62.74	68.97	70.75	99.68	36	149.50	166.40	49.2	87.66	87.66
90	160	30	31.97	43.79	60.82	73.81	85.44	92.56	74.31	82.32	81.67	127.27	40	179.80	195.80	52.4	100.60	100.60
95	170	32	36.85	48.95	69.42	83.66	91.67	100.00	77.87	87.86	101.46	139.73	44	221.10	235.80	55.6	127.30	127.30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.2 มิติมาตรฐานและแรงประเมินของโรลลิ่งเบริง (C₀, C เป็น KN)

ขนาด ด mm	O.D. D mm	ความ หนา B mm	ชุดแบบ 03												ชุดแบบ 23				ชุดแบบ 33				
			Self-aligning Ball Bearing		Single-Row Deep-Groove Ball-Bearing		Angular Contact Steep Angle Ball Bearing		Cylindrical Roller Bearing		Spherical Roller Bearing		ความหนา B mm	Self-aligning Ball Bearing		Spherical Roller Bearing		ความหนา B mm	Single-Row Deep-Groove Ball Bearing		Double-Row Nonfilling - Notch Ball Bearing		
			C ₀	C	C ₀	C	C ₀	C	C ₀	C	C ₀	C		C ₀	C	C ₀	C		C ₀	C	C ₀	C	
4	16	0.30	5																				
5	19	0.30	6																				
6																							
7																							
8																							
9																							
10	35	0.61	11	-	-	1.76	6.23																
12	37	1	12	2.36	7.25	4.61	7.48																
15	42	1	13	2.63	7.84	5.43	8.73																
17	47	1	14	3.65	9.66	6.54	10.43																
20	52	1	15	4.60	9.57	7.79	12.24	8.54	13.35					19	3.98	11.12	-	-	22.2	-	-	11.97	16.15
25	62	1	17	6.01	13.84	10.64	16.29	14.77	18.47	12.77	22.81	26.70	29.81	24	7.48	18.73	-	-	25.4	10.64	16.29	19.40	25.19
30	72	1	19	7.74	16.46	14.89	21.58	17.09	23.90	17.53	30.08	37.82	44.27	27	10.01	24.12	-	-	30.2	14.86	21.58	27.14	33.33
35	80	1.50	21	9.83	19.16	17.89	25.59	20.56	28.21	23.90	39.39	43.61	48.06	31	17.77	30.35	-	-	34.9	17.89	25.59	32.66	39.41
40	90	1.50	23	12.19	22.74	22.15	31.73	25.68	34.44	28.21	45.83	57.40	60.94	33	15.71	34.49	71.64	90.78	36.5	22.34	31.93	40.81	48.06
45	100	1.50	25	15.93	29.37	29.95	40.58	34.40	44.94	40.18	63.19	76.98	85.85	36	19.89	44.96	91.67	111.25	39.7	29.95	40.58	54.73	62.74
50	110	2	27	17.49	35.42	35.64	47.61	40.94	52.91	49.39	75.65	81.43	85.88	40	23.50	49.39	117.92	140.62	44.4	35.64	47.61	64.97	73.42
55	120	2	29	22.52	39.16	41.83	55.18	48.06	60.32	60.55	72.11	96.12	101.46	43	28.03	57.85	145.07	168.21	49.2	41.83	55.18	76.54	84.53
60	130	2	31	26.61	43.88	46.50	62.74	55.69	69.42	68.97	103.68	111.25	115.70	46	32.43	64.19	171.79	197.13	54.0	48.50	62.74	88.55	97.01
65	140	2	33	29.37	47.61	50.82	71.20	64.08	78.42	76.09	113.92	135.73	137.99	48	38.63	73.87	187.94	216.04	58.7	-	-	101.90	109.47
70	150	2	35	35.31	57.50	61.19	80.11	73.98	88.41	92.39	127.94	151.30	151.52	51	44.50	84.10	220.27	248.31	63.5	-	-	115.70	123.26
75	160	2	37	38.36	60.96	64.64	87.22	82.32	98.67	113.92	136.42	169.10	173.55	55	46.72	87.17	250.09	277.68	68.3	-	-	130.83	134.39
80	170	1	39	42.23	68.08	70.11	95.78	92.11	109.68	113.92	162.92	191.33	191.35	58	57.85	106.15	266.58	317.73	68.3	-	-	146.40	145.51
85	180	2.50	41	48.50	73.20	89.44	101.90	102.39	112.34	135.73	190.40			60	61.41	108.13	306.16	339.98	73.0	-	-	142.40	132.86
90	190	2.50	43	46.07	69.89	92.41	109.94	113.92	126.15	148.18	205.92			64	68.53	117.48	379.14	408.17	73.0	-	-	158.42	153.97



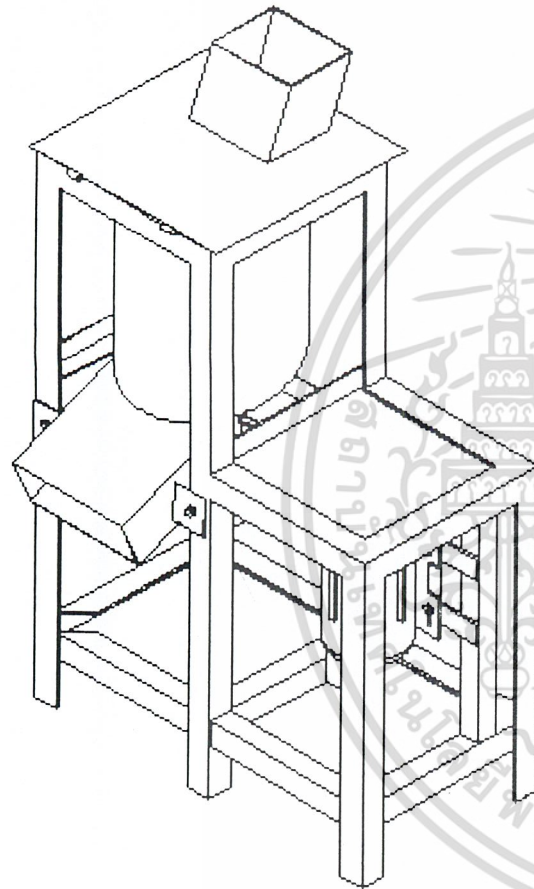
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.3 มิติมาตรฐานและแรงประหมื่นของโรลิ่งเบริง (C₀, C เป็น KN)

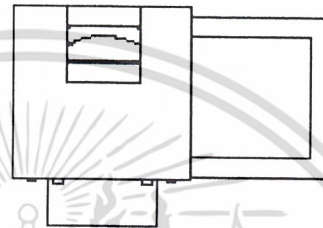
รูปร่าง d mm	อนุกรมเส้นผ่านศูนย์กลาง 0										อนุกรมเส้นผ่านศูนย์กลาง 1							
	O.D. D mm	รัศมี fillet r mm	อนุกรมชนิด 10				อนุกรมชนิด 30				O.D. D mm	รัศมี fillet r mm	อนุกรมชนิด 31					
			ความหนา B mm	Single-Row Deep-Groove Ball Bearing		Angular Contact Small-Angle Ball Bearing		ความหนา B mm	Double-Row Cylindrical Roller Bearing				Spherical* Roller Bearing					
				C ₀	C	C ₀	C		C ₀	C			C ₀	C				
4																		
5																		
6																		
7	19	0.30	6	-	1.51													
8	22	0.30	7	-	2.51													
9	24	0.30	7	-	2.60													
10	26	0.30	8	1.96	3.51													
12	28	0.30	8	2.22	3.92													
15	32	0.30	9	2.51	4.29													
17	35	0.30	10	2.78	4.63													
20	42	0.60	12	4.45	7.21													
25	47	0.60	12	4.94	7.74													
30	55	1	13	6.90	10.19													
35	62	1	14	8.50	12.28	10.90	14.26	16	18.96	16.42								
40	68	1	15	9.30	12.90	12.37	15.53	19	14.06	20.51								
45	75	1	16	12.15	16.15	14.95	18.42	20	19.52	27.01								
50	80	1	16	13.08	16.78	16.73	19.62	21	24.07	32.31								
55	90	1	18	17.00	21.76	22.12	25.81	23	28.97	32.96								
60	95	1	18	18.29	22.65	23.36	26.43	23	31.86	40.27								
65	100	1	18	19.62	23.50	25.81	27.99	26	42.45	52.51								
70	110	1	20	26.16	29.28	31.06	36.18	26	46.28	55.82								
75	115	1	20	26.12	30.39	34.35	36.22	26	50.26	58.74								
80	125	1	22	31.28	36.67	42.01	44.28	30	66.75	75.65								
85	130	1	22	33.55	38.09	44.10	45.39	30	66.75	75.20								
90	140	1.50	24	39.11	44.50	52.31	54.39	34	82.77	92.56								
95	145	1.50	24	41.87	46.72	55.18	55.62	34	89.44	97.01								
100	150	1.50	24	43.87	48.28	57.85	56.96	37	103.68	114.03								
								37	111.25	118.81								
								37	119.26	126.15								

* สำหรับ Single Row Ball Bearing อนุกรมชนิด 30 ความหนา B = 10, 12, 15, 17, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90, 95, 100, 110, 120, 130, 140, 150

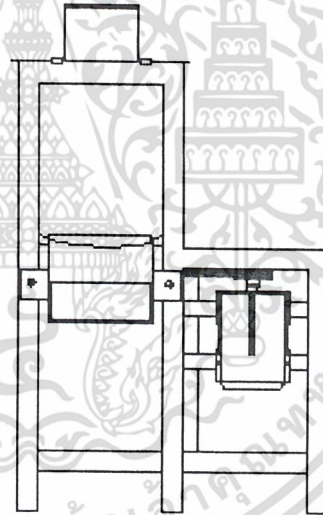
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



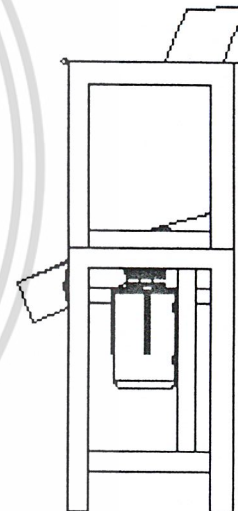
top view



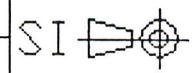
front view

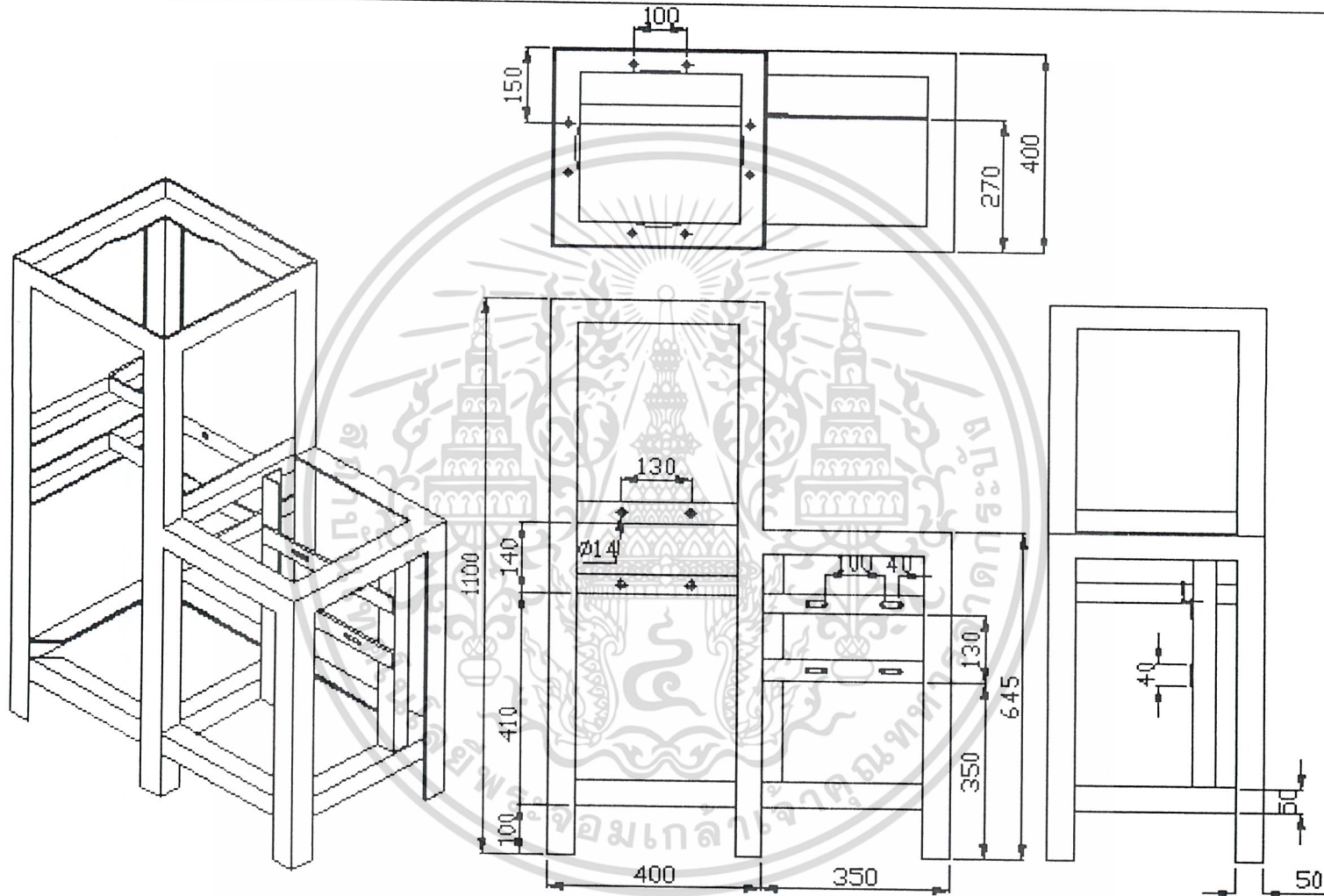



side view

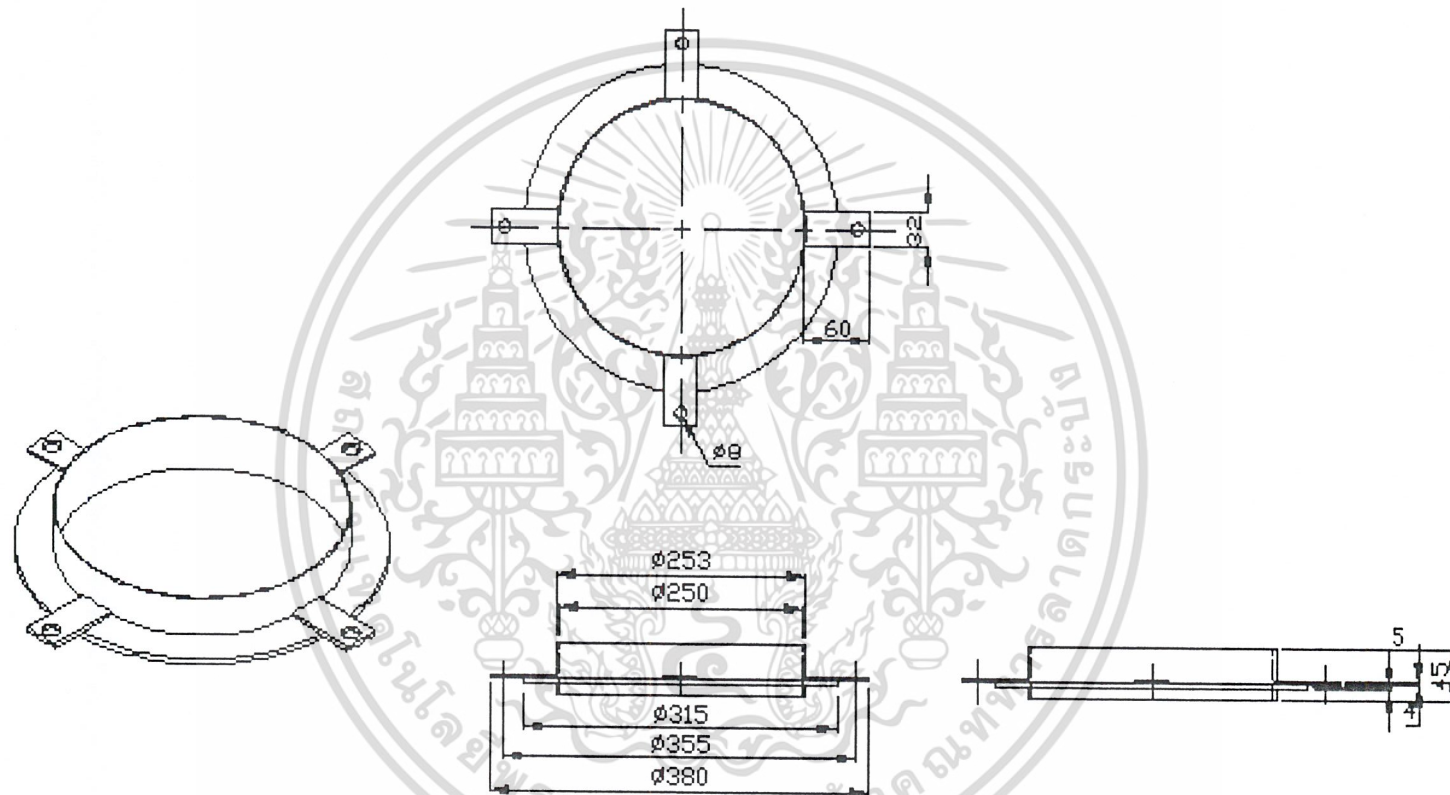


PART NAME: BUTTOM GLASS GRIDER		KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
DRAWN BY: BOONCHAI		
DATE: MARCH 1, 2005		SHEET:
SCALE: 1:20		QUANTITY: 1 PCS



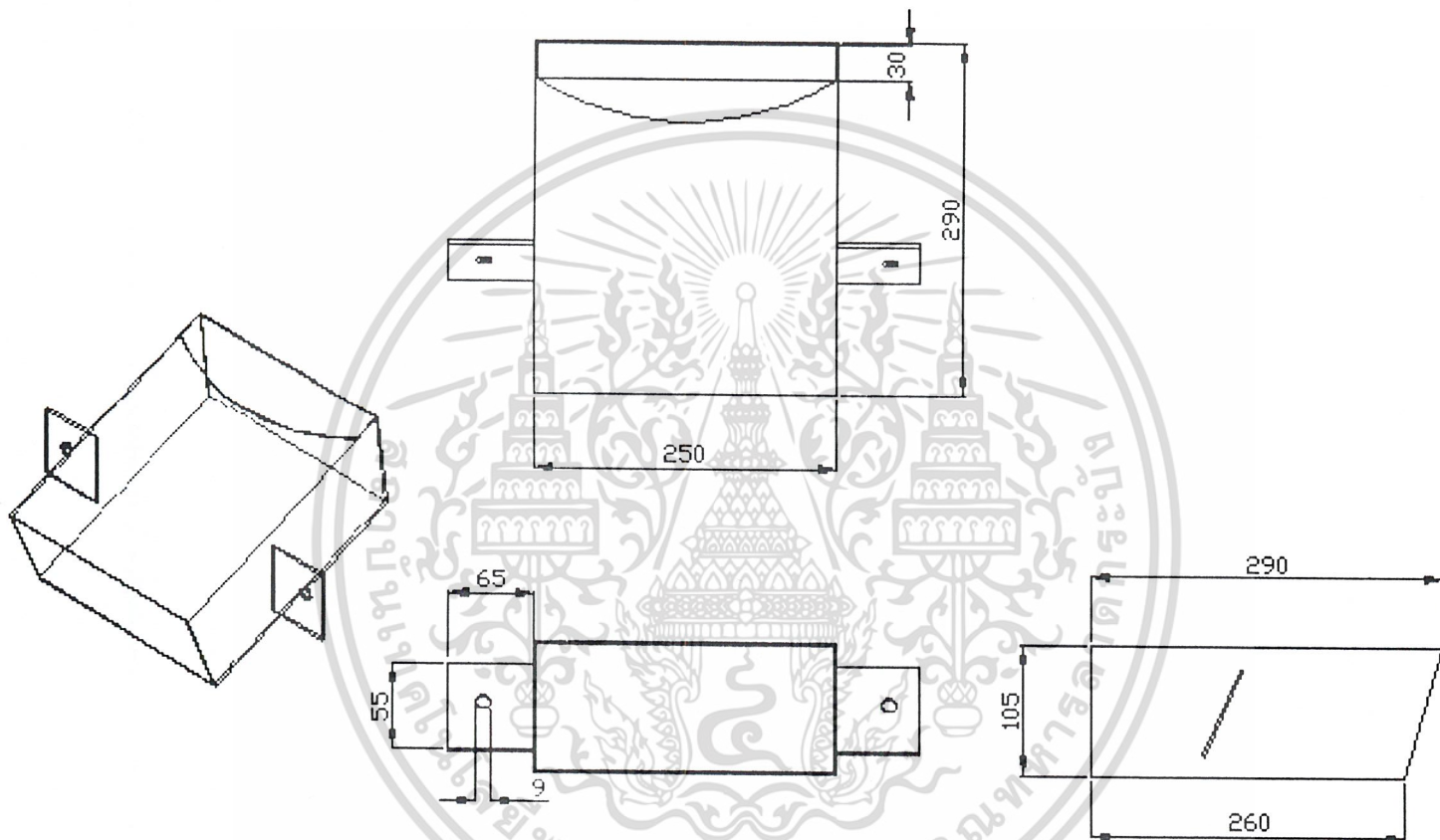


PART NAME: STRUCTURES	KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG	
DRAWN BY: BOONCHAI		
DATE: MARCH 1, 2005	SHEET:	SI 
SCALE: 1:1	QUANTITY: 1 PCS	

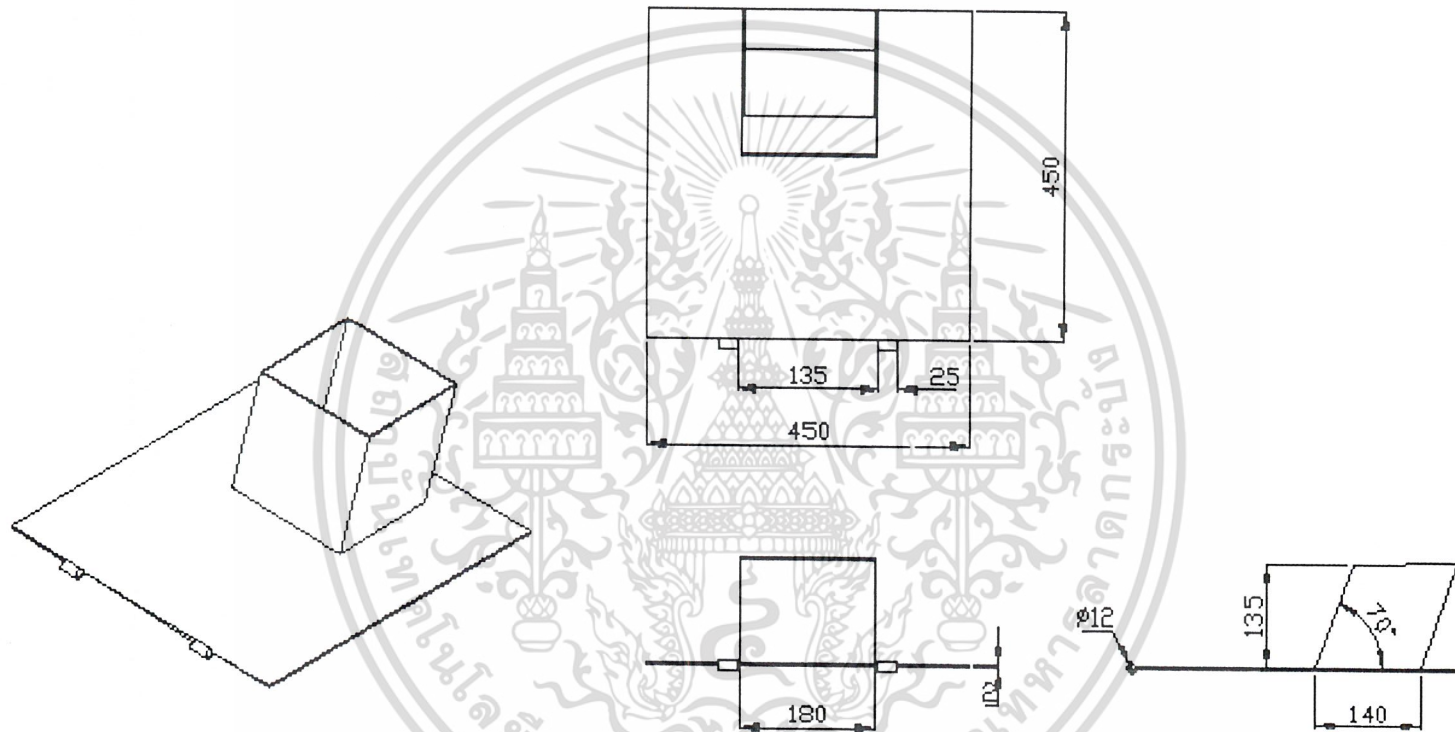


PART NAME: COVER 2.		KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG	
DRAWN BY: BOONCHAI		SHEET:	
DATE: MARCH 1, 2005		QUANTITY:	
SCALE: 1:1		1 PCS	

SI



PART NAME: OUTLET		KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LAJKRABANG	
DRAWN BY: BOONCHAI		SHEET: 1	
DATE: MARCH 1, 2005		QUANTITY: 1 PCS	SI
SCALE: 1:1			



PART NAME:COVER

DRAWN BY: BOONCHAI

DATE:MARCH 1,2005

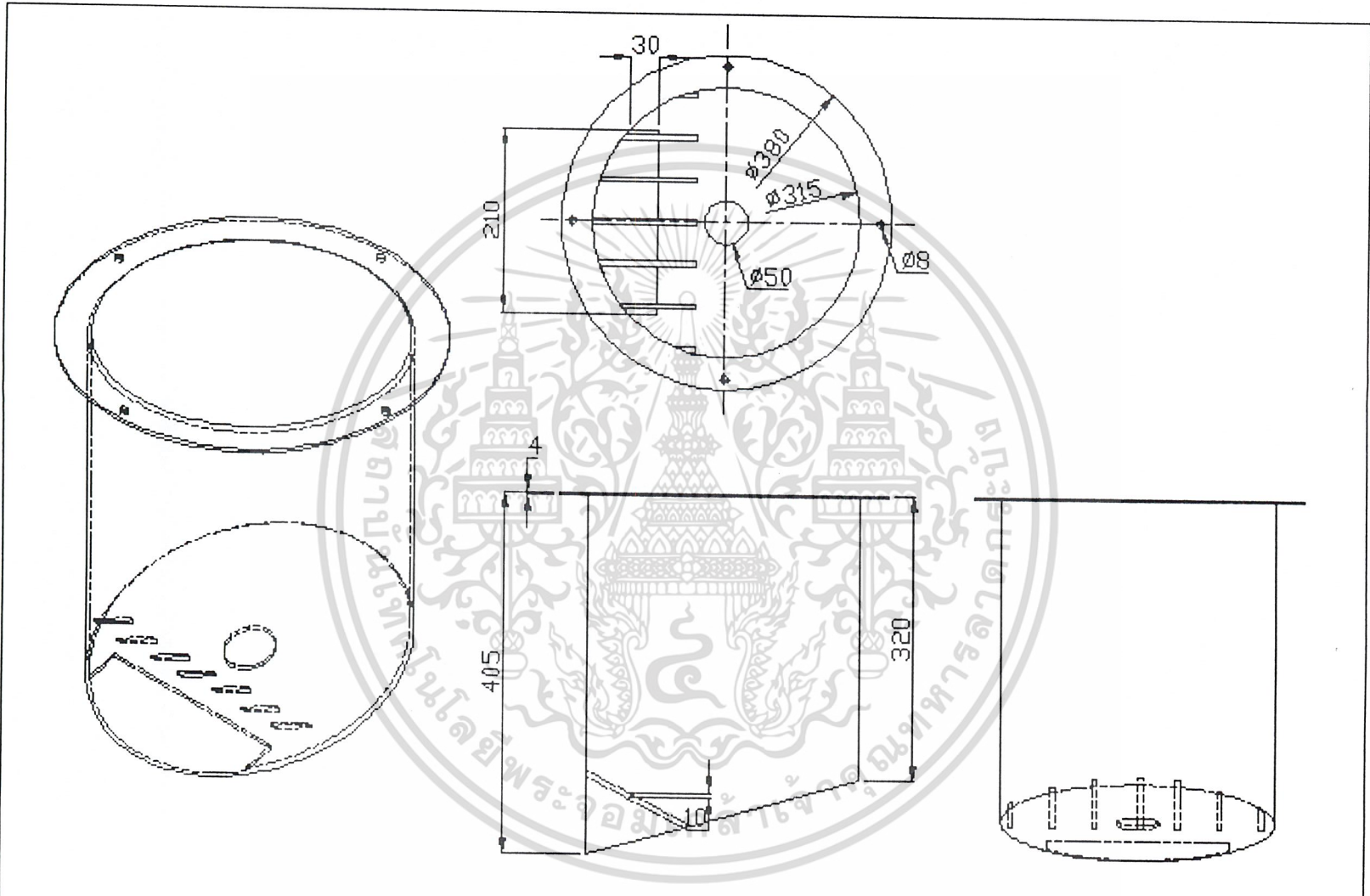
SCALE: 1:1

KING MONGKUT'S INSTITUTE
OF TECHNOLOGY
LADKRABANG

SHEET:

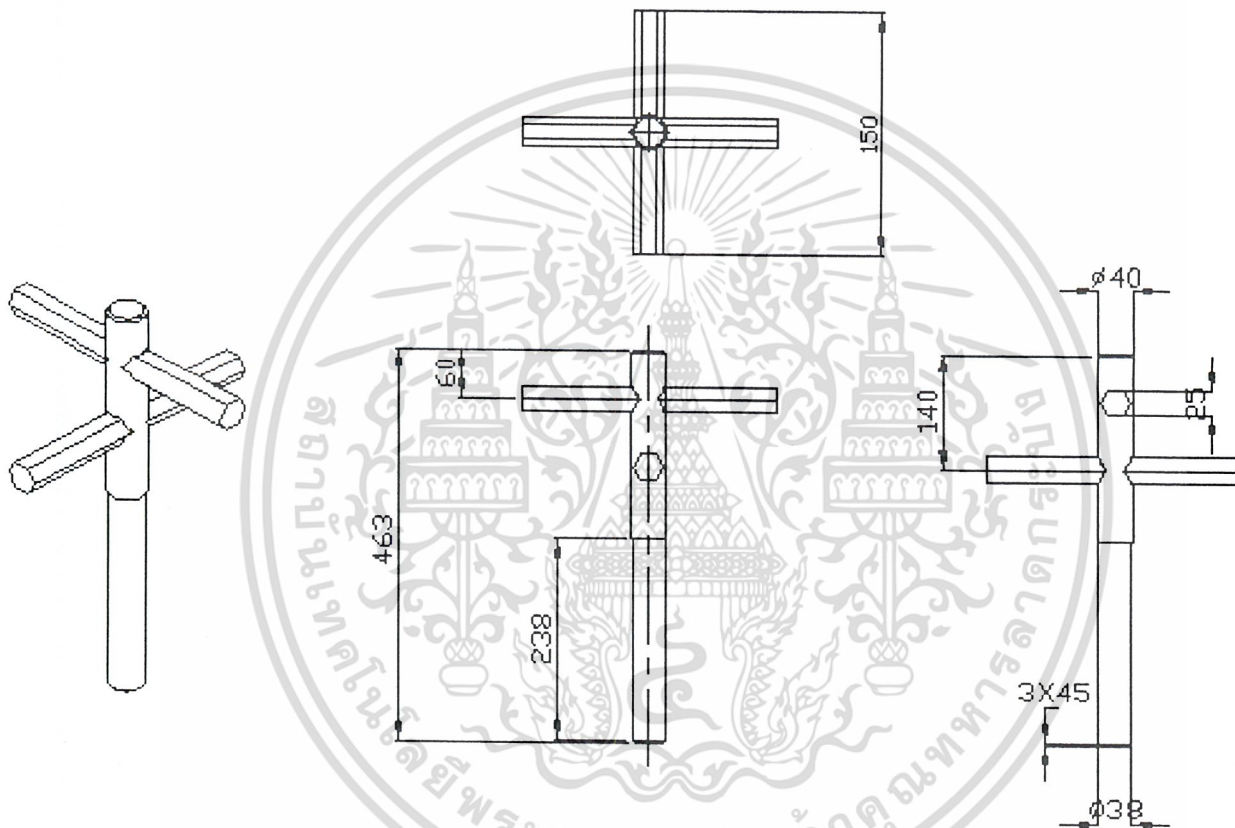
QUANTITY:
1 PCS







PART NAME: TANK		KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
DRAWN BY: BOONCHAI		
DATE: MARCH 1, 2005		SHEET: 1
SCALE: 1:1		QUANTITY: 1 PCS

SI



PART NAME: HIT ARM	KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG	
DRAWN BY: BOONCHAI		
DATE: MARCH 1, 2005	SHEET:	SI  
SCALE: 1:1	QUANTITY: 1 PCS	