สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องม้วนโลหะแผ่น

นายสิทธิ กูลวิสุตปีจิต

นายเอก มณีคำ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2546

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 55644
วัน,เดือน,ปี 20 พ.ค. 2548

ใบ.....
ใ.....

BENDING ROLLERS SHEET METAL

MR. SITTI KOOLVISUTJIT

MR. EAK MANEEKUM

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

BACRELOR OF ENGINEERING IN INDUSTRIAL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2003

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ เครื่องม้วนโลหะแผ่น

Bending Rollers Sheet Metal

นักศึกษา นาย สิทธิ กูลวิสุตป์จิต รหัสประจำตัว 44015761

นาย เอก มณีคำ รหัสประจำตัว 44015769

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์

(อ. พลชัย โชติปรายนกุล)

หัวข้อวิทยานิพนธ์ เครื่องม้วนโลหะแผ่น

นักศึกษา นาย สิทธิ กูลวิสุตป์จิต

นาย เอก มณีคำ

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2546

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์ อ.พลชัย โชติปรายนกุล

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ ฉบับนี้ เป็นการออกแบบและสร้าง เครื่องม้วนโลหะแผ่น ที่สามารถม้วนโลหะแผ่นโดยขนาดความหนาไม่เกิน 4 มิลลิเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางของโลหะแผ่นที่ทำการม้วนไม่น้อยกว่า 100 มิลลิเมตร การขึ้นรูปทำได้โดยการม้วนโลหะแผ่นซึ่งสามารถม้วนได้รูปร่าง 2 แบบ ได้แก่ รูปทรงกระบอกกลมและรูปทรงกระบอกสี่เหลี่ยม ที่มีมุมเป็นรัศมีโค้ง

การออกแบบเพื่อสร้างเครื่องม้วนโลหะแผ่นได้ใช้ทฤษฎีของวิชาการออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกลและวิชาอื่นๆที่เกี่ยวข้อง โดยการควบคุมการม้วนด้วยระบบไฟฟ้าโดยใช้มอเตอร์กระแสสลับ ขนาด 1 แรงม้าทำให้เครื่องจักรสามารถม้วนโลหะแผ่นได้ ผ่านการควบคุมจากวงจรรีเลย์และแมคเนติกส์คอนแทรคเตอร์โดยผลลัพธ์ที่ได้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ

Thesis	Bending Rollers Sheet Metal
Student	Mr. Sitti Koolvisutjit
	Mr. Eak Maneekum
Degree	Bachelor of Engineering in Industrial Engineering
	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Academic Year	2003
Advisor	Pholchai Chotiprayanakul

ABSTRACT

This thesis is a study of design and construction a sheet metal rolling machine. The machine can roll a sheet metal which is 4 Millimeter at large in thickness and 100 Millimeter at least of rolled inside diameter. It can make by 2 forms as a cylinder and a square cylinder shape.

A design for construction of a sheet metal rolling machine use machine design and related theory. The machine uses a 1 horse power AC. Motor and be controlled by electrical circuit which make from relays and magnetic contractors. At the result, the machine is tested to meet objective.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เรื่อง เครื่องม้วนโลหะแผ่น สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณ อ. พลชัย โชติปรายนกุล ที่ให้ความรู้ คำแนะนำ ความช่วยเหลือ และความเอาใจใส่ในทุกๆ ด้านตลอดเวลาที่ผ่านมา

อาจารย์ทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการที่ช่วยให้คำแนะนำในส่วนที่บกพร่อง และส่วนที่อาจจะเกิดปัญหาในขั้นตอนการทำงาน หรือให้ความรู้เพิ่มเติม และให้การช่วยเหลือเกี่ยวกับการทำงานที่ผ่านมา

พี่ๆและเพื่อนๆทุกคนที่ช่วยเหลือจนโครงงานนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี และคอยเป็นกำลังใจให้ตลอดมา

นายสิทธิ กูลวิสุตป์จิต

นายเอก มณีคำ

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	ปกใน (ภาษาไทย)	ก
	ปกใน (ภาษาอังกฤษ)	ข
	บทคัดย่อภาษาไทย	ค
	บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
	กิตติกรรมประกาศ	จ
	สารบัญ	ฉ
	สารบัญตาราง	ช
	สารบัญภาพ	ฌ
1	**บทนำ**	
	1.1 ความสำคัญของโครงงาน	1
	1.2 วัตถุประสงค์	1
	1.3 ขอบเขตปริญญานิพนธ์	1
	1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	1
2	**ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง**	
	2.1 ทฤษฎีโลหะแผ่น	2
	2.1.1 โลหะแผ่นเปลือย	2
	2.1.2 โลหะแผ่นเคลือบ	5
	2.1.3 ความหนาโลหะแผ่น	6
	2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับงานม้วน	7
	2.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับแบริ่ง	8
	2.3.1 โครงสร้างของตลับลูกปืน	8
	2.3.2 ประเภทของตลับลูกปืนและทิศทางการรับแรง	10
	2.3.3 คุณลักษณะเฉพาะของตลับลูกปืน	11
	2.3.4 อายุการใช้งานของแบริ่ง	11
	2.3.5 การประเมินค่าอายุใช้งาน	13

บทที่	เรื่อง	หน้า

2.3.6 ภาระของแบริ่ง 14
2.3.7 การเลือกแบริ่ง 14
2.3.8 แรงสมมูล 15
2.3.9 การเลือกแบริ่งให้มีโอกาสอยู่รอดมากกว่า 90% 16
2.3.10 การเลือกแบริ่งสำหรับแรงเปลี่ยนแปลง 17
2.4 ทฤษฎีเกี่ยวกับเฟืองตรง 17
2.5 ทฤษฎีเกี่ยวกับโซ่เฟือง 18
2.5.1 การใช้งานโซ่ 18
2.5.2 ชนิดของโซ่ 19
2.5.3 เฟืองโซ่ 20
2.5.4 การส่งกำลัง 22
2.6 ทฤษฎีเกี่ยวกับสายพาน 24
2.6.1 ชนิดสายพาน 24
2.6.2 ลักษณะการขับด้วยสายพาน 24
2.6.3 กลศาสตร์ของสายพานลิ่ม 25
2.6.4 การคำนวณหาขนาดสายพานลิ่ม 26

3 การออกแบบและการดำเนินงาน

3.1 การวางแผนการดำเนินการ 29
3.2 การออกแบบส่วนประกอบ 30
3.2.1 การคำนวณระบบสายพาน 30
3.2.2 การคำนวณระบบส่งกำลังด้วยเฟืองโซ่ 31
3.2.3 การคำนวณระบบเกลียว เกลียวส่งกำลัง 32
3.3 แบบเครื่องม้วนโลหะแผ่น 34
3.4 รายละเอียดการทำงาน 35
3.5 การออกแบบด้านระบบควบคุมมอเตอร์ 36
3.6 แผนการทดสอบเครื่องม้วนโลหะแผ่น 36

4 ผลการดำเนินงาน

4.1 ผลการสร้างเครื่องม้วนโลหะแผ่น 37
4.1.1 ผลการออแบบ 37
4.1.2 ผลการสร้าง 37
4.2 ผลการทดสอบ 43

บทที่	เรื่อง	หน้า
5	**สรุปและข้อเสนอแนะ**	
	5.1 สรุปผลของการออกแบบและจัดสร้างเครื่องม้วนโลหะแผ่น	52
	5.1.1 สรุปผลการทำงานทางด้านฮาร์ดแวร์	52
	5.1.2 ชุดควบคุม	52
	5.2 ปัญหาและแนวทางการแก้ไข	53
	5.2.1 ปัญหาที่พบจากการทดลอง	53
	5.2.2 แนวทางการแก้ไข	53
	5.2.3 ข้อเสนอแนะ	53
	บรรณานุกรม	54
	ภาคผนวก	55

สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
2.1	แสดงน้ำหนักต่อพื้นที่ 1 ตารางฟุตของโลหะแผ่นชนิดต่างๆ	7
2.2	แสดงค่า X และ Y	15

สารบัญภาพ

ภาพที่	ชื่อภาพ	หน้า
2.1	แสดงลักษณะการม้วนและแรงที่เกิดขึ้น	7
2.2	แสดงส่วนต่างๆของตลับลูกปืน (Ball Bearing)	9
2.3	แสดงส่วนต่างๆของลูกกลิ้งเม็ดยาว(Taper Roller Bearing)	9
2.4	แสดงถึงชนิดต่างๆของเม็ดลูกกลิ้ง	10
2.5	แสดงเส้นโค้งดาดคะเนอายุการใช้งานแบริ่ง	11
2.6	เป็นมาตรฐานบอกมิติของแบริ่ง	15
2.7	ตัวประกอบเรขาคณิตที่ใช้หาประรูปแบบของลูอิส	18
2.8	แสดงการขับหลายเพลาโดยการใช้โซ่เพียงหนึ่งเดียว	18
2.9	แสดงการวางเฟืองโซ่สองเฟืองที่ขับอย่างเหมาะสมและไม่เหมาะสม	19
2.10	โซ่โรลเลอร์ : 1 สลัก, 2 แผ่นต่อด้านนอกและด้านใน, 3 บูชที่อัดแน่นกับแผ่นต่อด้านใน, 4 โลเลอร์หมุนได้อิสระบนบูช 3	19
2.11	โซ่บูช	20
2.12	โซ่ฟัน	20
2.13	เฟืองโซ่สำหรับโซ่โรลเลอร์และโซ่บูช	21
2.14	การเคลื่อนที่ของโรลเลอร์ขณะส่งกำลัง	21
2.15	เฟืองโซ่สำหรับโซ่ฟัน	22
2.16	การส่งกำลังจากเฟืองโซ่ไปยังโซ่โรลเลอร์	22
2.17	ลักษณะการขับด้วยสายพาน (ก) โอพันไดรว์ (ข) ครอสไดรว์ (ค) ควอเตอร์เทรนไดรว์ (ง) มิวล์ไดรว์ (จ)แสดงการขับเคลื่อนโดยใช้ล้อช่วย (ฉ) ริเวอสไดรว์	25
2.18	แรงบนสายพานลิ่ม	26
3.1	แบบเครื่องม้วนโลหะแผ่น	34
3.2	วงจรการควบคุมมอเตอร์แบบ 3 เฟส	36
4.1	ส่วนประกอบต่างๆของเครื่อง	38
4.2	ด้านหลังเครื่องม้วนโลหะแผ่น	38
4.3	แสดงชุดกลไกโซ่เฟืองส่งกำลัง	39
4.4	แสดงชุดกลไกปรับระยะโลเลอร์	39
4.5	ชุดเกียร์ทด	40
4.6	มอเตอร์	40
4.7	พลูเล่ย์สายพาน	41
4.8	กล่องควบคุม	41

สารบัญภาพ

ภาพที่	ชื่อภาพ	หน้า
4.9	หลอดไฟแสดงสถานะ	42
4.10	วงจรควบคุมการทำงานมอเตอร์	42
4.11	สวิตซ์เท้าเหยียบ	43
4.12	เครื่องม้วนโลหะแผ่นก่อนทำการม้วน	43
4.13	การปรับระยะด้วยมือหมุน	44
4.14	เริ่มทำการม้วนชิ้นงาน	44
4.15	ปรับโลเลอร์ตัวที่ 3 ทำให้ชิ้นงานเริ่มเป็นส่วนโค้ง	45
4.16	ชิ้นงานเมื่อขณะทำการม้วน	45
4.17	ชิ้นงานที่ทำการม้วนใกล้ขนาดที่ต้องการ	46
4.18	ชิ้นงานที่ทำการม้วนได้ขนาดตามต้องการ	46
4.19	การควบคุมการทำงานของเครื่องด้วยสวิตซ์เท้าเหยียบ	47
4.20	ปลดล็อคโลเลอร์เพื่อถอดชิ้นงาน	47
4.21	โลเลอร์เพื่อถอดชิ้นงานที่ทำการม้วนออก	48
4.22	ยกโลเลอร์กลับเข้าประกอบเข้ากับฝาเครื่องหลังจากถอดชิ้นงาน	48
4.23	ชิ้นงานสำเร็จหลังจากทำการม้วน	49
4.24	ชิ้นงานที่ทำการม้วนความหนา 1 มิลลิเมตร	49
4.25	ชิ้นงานที่ทำการม้วนความหนา 1.5 มิลลิเมตร	50
4.26	ชิ้นงานที่ทำการม้วนความหนา 2 มิลลิเมตร	50
4.27	ชิ้นงานที่ทำการม้วนความหนา 4 มิลลิเมตร	51

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงงาน

เนื่องจากเหล็กท่อหรือเหล็กทรงกระบอกที่มีอยู่ตามท้องตลาดนั้นมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่จำกัด เมื่อเราต้องการที่จะใช้งานจึงเป็นปัญหาว่าเราไม่สามารถที่จะหาขนาดและความหนาของเหล็กท่อตามที่เราต้องการได้ ดังนั้นปัญหาที่เกิดขึ้นนี้เราจึงจะทำการแก้ไข โดยการนำเอาแผ่นเหล็กในท้องตลาดที่มีความหนาตามที่เราต้องการ แต่ความหนาของเหล็ก และความกว้างของแผ่นเหล็กจะต้องอยู่ในความสามารถที่เครื่องม้วนโลหะแผ่น(Bending Roller Sheet Metal) จะสามารถทำงานได้นำมาตัดแล้วม้วนให้ได้ตามต้องการและ เนื่องจากในท้องตลาดโดยทั่วไปแล้วยังไม่มี ท่อสี่เหลี่ยมที่มีมุมเป็นรัศมี ดั้งนั้นเมื่อเราต้องการที่จะใช้งานท่อที่มีลักษณะดังกล่าวข้างต้น เราสามารถที่จะกระทำได้โดยการนำเอาเหล็กแผ่นมาผ่านการม้วนเหล็กได้ และข้อสำคัญคือกรรมวิธีการผลิตท่อวิธีนี้มีต้นทุนที่ไม่แพงและสามารถทำได้ง่าย

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาหลักการและรายละเอียดเกี่ยวกับเครื่องม้วนโลหะแผ่น
2. เพื่อศึกษาหลักการทำงานของระบบโซ่ เฟืองทด
3. เพื่อศึกษาหลักการควบคุมเครื่องจักรด้วยวงจรไฟฟ้า
4. นำหลักการที่ได้ศึกษานำมาทำการสร้างเครื่องม้วนโลหะแผ่น

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1. เครื่องม้วนโลหะแผ่นขนาด 600 มิลลิเมตร
2. สามารถม้วนโลหะแผ่นได้หนา 4 มิลลิเมตร
3. สามารถม้วนโลหะแผ่นได้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางต่ำสุด 100 มิลลิเมตร
4. ควบคุมระยะการม้วนด้วยกลไกและวงจรไฟฟ้า

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เป็นการนำความรู้ต่าง ๆ ที่ได้ศึกษาและค้นคว้ามาใช้กับงานจริง
2. ทำให้เกิดทักษะในการใช้เครื่องมือต่าง ๆ ในโรงปฏิบัติงาน
3. ทำให้ได้รู้จักการวางแผนการทำงาน
4. ทำให้รู้จัก การทำงานร่วมกันในหมู่คณะ
5. ทำให้รู้จักการแก้ไขปัญหา และหาทางออกที่ดีกับการทำงานจริง
6. สร้างความเชื่อมันในการทำงานก่อนที่จะออกไปพบกับงานจริง
7. ทำให้รู้จักกับการเลือกเครื่องมือ เครื่องใช้ให้เหมาะสมกับงาน
8. ทำให้รู้จักกับการติดต่อและประสานงานกันในการทำงาน

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีโลหะแผ่น และ คุณสมบัติ

โลหะแผ่น หมายถึง โลหะแผ่นทุกชนิดที่มีความหนาไม่เกิน 3/16 นิ้ว

โลหะแผ่นโดยทั่วไป แบ่งเป็น 2 ประเภท ดังนี้คือ

- โลหะแผ่นเปลือย (Bare metal or uncoated metal)
- โลหะแผ่นเคลือบผิว (Coated metal)

โลหะแผ่นเปลือย ส่วนมากเป็นโลหะแผ่นนอกกลุ่มเหล็ก (Non ferrous metal) เช่น แผ่นทองแดง แผ่นอะลูมิเนียม แผ่นทองเหลือง เป็นต้น

โลหะแผ่นเคลือบ จะทำเป็นโลหะแผ่นในกลุ่มเหล็ก (Ferrous metal) เสียก่อนแล้วจึงนำไปเคลือบผิวด้วยโลหะตามที่ต้องการ เช่น เหล็กอาบสังกะสีหรือดีบุกเป็นต้น

วัตถุประสงค์ของการเคลือบผิวเพื่อป้องกันมิให้เกิดการกัดกร่อน ซึ่งจะทำให้โลหะนั้นมีอายุการใช้งานได้นานขึ้น

ดังนั้นการใช้งานโลหะแผ่นเคลือบกับโลหะแผ่นเปลือยจึงต่างกันมากการนำโลหะแผ่นเปลือยไปใช้งานอื่น ๆ เช่น นำไปเชื่อม ขัดผิว ตะไบ หรือกระบวนการอื่น ที่ต้องเสียผิวหน้าของงานแต่ไม่ทำให้เกิดผลเสียหายในการกัดกร่อน สำหรับโลหะเคลือบ ผิวหน้าของงานไม่ควรทำให้เกิดรอย เพราะถ้าผิวหน้าของโลหะเสียหายโลหะที่เคลือบผิวอยู่หลุดออกไปเป็นเหตุให้โลหะนั้นสูญเสียคุณสมบัติในด้านการคงทนต่อการกัดกร่อนไป

2.1.1 โลหะแผ่นเปลือย

อลูมิเนียม (Aluminium)

อลูมิเนียม เป็นโลหะแผ่นเปลือยประเภทโลหะนอกกลุ่มเหล็ก (Non ferrous metal) โดยปกติจะเป็นแผ่นอะลูมิเนียมที่มีความบริสุทธิ์ไม่ถึง 100% แต่จะเป็นอลูมิเนียมผสมโลหะหรือธาตุอื่น ๆ อีกเล็กน้อยเพื่อให้อะลูมิเนียมมีคุณสมบัติบางประการดีขึ้น อะลูมิเนียมบริสุทธิ์จะอ่อนมาก ในลักษณะที่เป็นแผ่นจะไม่ค่อยพบใช้งานบ่อยนัก

อลูมิเนียมแผ่นจะมีส่วนผสมของทองแดง ซิลิกอน เหล็ก และแมงกานีส ส่วนอะลูมิเนียมชนิดอื่น ๆ ที่ไม่ได้อยู่ในลักษณะที่เป็นแผ่น จะผสม นิเกิล แมกนีเซี่ยม และโครเมียม อย่างไรก็ตามอะลูมิเนียมผสมทุกชนิดจะต้องมีอลูมิเนียมผสมอยู่ ไม่น้อยกว่า 90% เสมอ

อะลูมิเนียมผสมมีอยู่หลายชนิด ชนิดต่าง ๆ เหล่านั้นมีคุณสมบัติแตกต่างกัน และมีความแข็งแรงที่แตกต่างกันออกไปอีกประมาณ 40 เกรด (Grades) ดังนั้นควรเลือกใช้ให้เหมาะสมกับงานแต่ละชนิด

อะลูมิเนียมผสมจะถูกกำหนดคุณสมบัติตาม Number ต่าง ๆ กัน สำหรับในโรงงานโลหะแผ่น จะใช้ Number 3003 แต่ทางการค้าจะนิยมเรียกเป็นตัวอักษร เช่น O, H เป็นต้น

"O" หมายถึงอะลูมิเนียมอ่อน (Soft) ใช้งานได้ดีเหมือนกับแผ่นสังกะสี

"H" หมายถึงอะลูมิเนียมแข็ง (Hard) บางชนิดดัดโค้งได้ แต่บางชนิดไม่สามารถที่จะดัดโค้งได้

"T" หมายถึงอะลูมิเนียมที่ต้องใช้งานที่เกี่ยวกับความร้อน (Heat treated) อยู่เสมอ

ตัวเลขตามอักษร H หรือ T จะบอกความแข็งเช่น Number 3003 ที่ใช้งานโลหะแผ่นทั่วไปจะเขียนเป็น H 14 เป็นต้น ซึ่งอะลูมิเนียม Number ดังกล่าวนี้มีความแข็งไม่มากนักสามารถดัดโค้ง หรือขึ้นรูปได้ดี

อะลูมิเนียมจะสังเกตได้ง่ายเพราะสีขาว น้ำหนักเบา บางชนิดจะมีสีใกล้เคียงกับสแตนเลส (Stainless steel) สามารถจะนำไปเชื่อมได้และจะต้องใช้น้ำยาประสาน (Flux) ชนิดพิเศษ สำหรับการบัดกรีก็สามารถกระทำได้เช่นเดียวกัน แต่ทั้งนี้จะต้องใช้น้ำยาประสาน ตะกั่วบัดกรี และความร้อนของหัวแร้งให้ถูกต้องมิฉะนั้นจะทำให้การบัดกรีไม่ได้ผล

อลูมิเนียมเป็นโลหะที่มีผิวเป็นมัน และทนต่อการกัดกร่อนได้ดีในบรรยากาศปกติ ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับใช้ทำเฟอร์นิเจอร์ และอุปกรณ์ต่าง ๆที่ต้องการความสวยงาม

ทองแดง (Copper)

ทองแดงเป็นโลหะแผ่นเปลือยประเภทโลหะนอกกลุ่มเหล็ก (Non ferrous metal) สังเกตได้ง่ายจากสีซึ่งเป็นสีแดงจนเกือบจะเป็นสีน้ำตาล ทองแดงเกิดออกไซด์ (Oxide) หรือทำปฏิกิริยากับออกซิเจน (Oxygen) ได้ง่าย ออกไซด์ (Oxide) ของทองแดงจะมีสีเขียวออมน้ำเงินเป็นตัวปกคลุมผิวหน้าของทองแดงไม่ให้เกิดออกไซด์ (Oxide) อีกต่อไป ดังนั้นทองแดงจึงทนการกัดกร่อนได้สูง

ทองแดงเป็นโลหะที่มีราคาค่อนข้างสูงและมีน้ำหนักมาก การป้องกันผิวหน้าของทองแดงให้พ้นจากการกัดกร่อนสามารถจะกระทำได้โดยใช้แลคเคอร์ (Lacquer) เคลือบผิวหน้าซึ่งจะทำให้ผิวของทองแดงแลดูเป็นเงา มัน และสุกใสอยู่เสมอ อย่างไรก็ตามเมื่อใช้ไปนาน ๆ ทองแดงก็จะเกิดออกไซด์ (Oxide) ได้อีก

การรีดทองแดงทำได้ 2 วิธีคือ รีดร้อน (Hot rolled) และรีดเย็น (Cold rolled)

- ทองแดงรีดร้อน (Hot rolled Copper) เป็นแผ่นทองแดงรีดร้อนที่ได้จากการรีดโดยใช้ความร้อนเข้าช่วยผิวของทองแดงชนิดนี้จะไม่เป็นมันสุกใส มีความอ่อนมากกว่าทองแดงชนิดรีดเย็น ดังนั้นจึงเหมาะกับงานที่ต้องการความยืดตัวมากในขณะขึ้นรูป

ขณะที่ขึ้นรูปแผ่นทองแดงรีดร้อน ความเค้นภายในจะทำให้ทองแดงมีความแข็งเพิ่มขึ้นจนใกล้เคียงกับทองแดงชนิดรีดเย็น เมื่อทองแดงมีความแข็งมากสามรจะนำไปอบให้อ่อน (Annealed) ลงได้ โดยให้ความร้อนแก่แผ่นทองแดง แล้วนำไปจุ่มน้ำหรือปล่อยให้เย็นตัวในอากาศ

- ทองแดงรีดเย็น (Cold rolled copper) เป็นแผ่นทองแดงรีดเย็น ซึ่งผลิตได้โดยการดึงและรีดออกมาในสภาพที่เย็น ผิวของทองแดงที่ได้จะเรียบและมีความแข็ง แต่ยังอ่อนกว่าเหล็กอาบสังกะสี สามารถนำไปดัดโค้งงอขึ้นรูปได้ง่าย

ความเครียดภายในแผ่นของทองแดงรีดเย็น จะมีมากกว่าชนิดรีดร้อน ความเค้นในแผ่นของทองแดงไม่สามารถจะคงรูปร่างได้ดีเหมือนแผ่นเหล็ก ในสภาพะงานเช่นเดียวกันถ้าจะใช้แผ่นทองแดงทำจะต้องใช้ความหนาที่มากกว่าแผ่นเหล็กเล็กน้อย

ความหนาของแผ่นทองแดงจะบอกเป็นออนซ์ (Ounce) ต่อตารางฟุต เช่น 18 ออนซ์ หมายความว่าทองแดงมีความหนาเป็นน้ำหนัก 18 ออนซ์ต่อตารางฟุต

เนื่องจากทองแดงถ่ายเทความร้อนได้รวดเร็ว ดังนั้นการบัดกรีจะต้องใช้หัวแร้งที่มีขนาดใหญ่ จึงจะให้ความร้อนได้อย่างพอเหมาะกับการหลอมละลายของตะกั่วบัดกรี การต่อทองแดงไม่นิยมใช้การเชื่อม แต่นิยมใช้การ Brazing เพราะทำได้อย่างรวดเร็ว และให้ความแข็งแรงได้มากกว่า

ทองเหลือง (Brass)

ทองเหลืองเป็นโลหะผสมระหว่างทองแดงกับสังกะสี ซึ่งมีส่วนผสมของสังกะสีอยู่ระหว่าง 32-50 % โดยน้ำหนัก ทองเหลืองสามารถดัดโค้ง งอ หรือขึ้นรูปได้ง่าย ผิวหน้าของทองเหลืองจะขุ่นมัวเนื่องจากการเกิด Oxide ได้ง่าย เช่นเดียวกับทองแดง ออกไซด์ (Oxide) ของทองเหลืองจะมีสีเขียวอ่อน

ผิวของทองเหลืองสังเกตได้ง่าย เนื่องจากเป็นสีเหลืองเมื่อขัดจะเป็นเงาแวววาว และสวยงาม การเกิดออกไซด์ (Oxide) ง่ายดังกล่าวจึงจำเป็นต้องมีการป้องกันมิให้เกิดออกไซด์ (Oxide) โดยการขัดและเคลือบผิวด้วยแลคเคอร์ (Lacquer) ทองเหลืองไม่นิยมนำมาใช้งานมากนัก นอกจากจะใช้ทำภาชนะต่าง ๆ และงานที่ต้องการความสวยงามบางชนิดเท่านั้น

สแตนเลส (Stainless steel)

สเตนเลส (Stainless steel) เป็นโลหะเปลือยประเภทโลหะกลุ่มเหล็ก (Ferrous metal) ซึ่งมีส่วนผสมประกอบด้วย เหล็ก โครเมี่ยม นิเกิล และธาตุอื่น ๆ อีกเล็กน้อย Stainless steel มีหลายชนิดสามารถที่จะเลือกใช้ให้เหมาะสมกับความต้องการได้ โดยปกติผิวของ Stainless steel จะมีสีคล้ายเงิน และมีลักษณะเป็นมัน

คุณสมบัติทางกายภาพของ Stainless steel ก็เหมือนโลหะชนิดอื่น ๆ ขึ้นอยู่กับส่วนผสมของธาตุต่าง ๆ ที่ผสมลงไปในขณะที่ยังหลอมละลายอยู่ ซึ่งต้องระมัดระวังควบคุมอุณหภูมิ และบรรยากาศของก๊าซต่าง ๆ ด้วย ธาตุต่าง ๆที่ผสมเข้าเป็น Stainless steel ได้แก่

นิเกิล (Nickel) จะเพิ่มความแข็งแรง ความเหนียว ป้องกันการกัดกร่อนได้ดี และเพิ่มความยืดตัวในขณะดัดโค้งไม่ให้ฉีกขาดหรือแตกร้าวได้ง่าย

แมงกานีส (Manganese) ช่วยเพิ่มความแข็งแรง ความเหนียวและทนต่อแรงดึงได้สูง

โครเมี่ยม (Chromium) จะเพิ่มความต้านทานการกัดกร่อน ความแข็งแรงและสามารถทนต่อแรงดึงได้สูง

วานาเดี่ยม (Vanadium) จะเพิ่มความเหนียวให้กับ Stainless steel

โมลิบดินั่มและโคลัมเบี่ยม (Molybdenum and Columbium) จะต้านทานการกัดกร่อน

ติตาเนี่ยม (Titanium) และแมกนีเซี่ยม (Magnesium) จะทำให้ Stainless steel มีน้ำหนักเบา

สเตนเลส (Stainless steel) มีอยู่หลายชนิด ขึ้นอยู่กับส่วนผสมของธาตุต่าง ๆที่กล่าวมาแล้ว โดยทั่วไปจะมีส่วนผสมหลักคือเหล็ก (Fe), นิเกิล (Nickel), และ โครเมี่ยม (Cr)

สเตนเลส (Stainless steel) แบ่งเป็นประเภทใหญ่ ๆ ได้ 3 ประเภทตามชนิดของโครงสร้างได้แก่

- Austenitic Stainless steel จะประกอบไปด้วยส่วนผสมของธาตุโครเมียม 18% , นิเกิล 8% และธาตุอื่น ๆ ผสมอยู่อีกประมาณ 2-4% Stainless steel ประเภทนี้จะจัดอยู่ในหมู่ 300 และมีชื่อเรียกว่า Chrome-Nickel ซึ่งมีความแข็งแรงสูงมากแต่มีความเหนียวต่ำ และไม่มีความเป็นคุณสมบัติแม่เหล็กอยู่เลย

- Martensilic Stainless steel จะประกอบไปด้วยส่วนผสมของธาตุโครเมี่ยมอยู่ระหว่าง 11.5-17% และมีส่วนผสมของธาตุคาร์บอน (C) อีกไม่เกิน 1.2% Stainless steel ประเภทนี้จะมีความแข็งแรงอยู่มาก แต่มีความเปรอะมากอีกเช่นเดียวกัน

- Ferritic Stainless steel ซึ่งประกอบไปด้วยส่วนผสมของธาตุโครเมี่ยมอยู่ระหว่าง 17-27% และมีส่วนผสมของธาตุคาร์บอนไม่เกิน 0.2% Stainless steel ประเภทนี้จะมีคุณสมบัติอ่อนและเหนียวมาก

เหล็กแผ่นดำ (Black Iron)

เหล็กในรูปของโลหะแผ่นเปลือยไม่ค่อยนิยมใช้มากนักเพราะเกิดสนิมได้ง่ายเกิดการกัดกร่อนได้เร็ว การผลิตเหล็กแผ่น หลังจากได้เอาสินแร่เหล็กไปถลุงเป็น Ingot แต่เติมธาตุต่าง ๆ ได้ตามต้องการ ต่อจากนั้นจะนำ Ingot ไปอบให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นเพื่อนำไปรีดให้เป็นเหล็กชนิดต่าง ๆ และรูปต่าง ๆ กันโดยใช้ลูกกลิ้ง (Mills) แบบต่าง ๆ กันเช่น

- Blooming mills จะเปลี่ยนรูปร่างของ Ingot ให้เป็นเหล็กโครงสร้างรูปร่างต่าง ๆ เช่น รางรถไฟ แท่งเหล็กสี่เหลี่ยม เหล็กกลม เหล็กรูปตัวไอ (I beam) เป็นต้น

- Billet mills จะเปลี่ยนแท่ง Ingot ให้เป็นเส้นลวดและท่อ (Pipe) ชนิดต่าง ๆ

- Slabing mills จะเปลี่ยนแท่ง Ingot ให้เป็นเหล็กแผ่นที่มีความหนาแตกต่างกัน ซึ่งสามารถจะรีดให้เหล็กมีความหนาได้น้อยกว่า 1/8 นิ้ว การรีดเหล็กให้มีความหนาให้น้อยลง สามารถจะรีดได้ทั้งในขณะที่ยังร้อนแดง (Hot rolled) และในขณะที่เย็นตัวลงแล้ว (Cold rolled)

เหล็กรีดร้อนจะปรากฏสีที่ขอบเป็นสีเทาหรือน้ำตาล ตลอดแผ่นจะมีสีดำซึ่งเนื่องจากผลของความร้อน เหล็กชนิดนี้จะใช้ทำงานก่อนสร้างเป็นส่วนใหญ่ เหล็กรีดเย็นจะปรากฏเป็นสีน้ำตาลเทาบนผิวหน้าทั่วไป ใช้กับงานที่ต้องการผิวหน้าที่เรียบร้อย

2.1.2 โลหะแผ่นเคลือบ

เหล็กอาบสังกะสี (Galvanized steel)

ในสภาพบรรยากาศปกติสังกะสีเป็นโลหะที่ทนต่อการกัดกร่อนได้ดีมาก การผลิตเหล็กอาบสังกะสีสามารถกระทำได้ 2 วิธีดังนี้

- โดยวิธีจุ่ม (Hot dipped) นำเอาแผ่นเหล็กอ่อนที่ได้จากการรีดเย็นไปล้างไขมันในถังกรด แล้วนำไปล้างน้ำสะอาด จากนั้นจึงนำไปจุ่มลงในถังสังกะสีที่กำลังหลอมละลาย สังกะสีก็จะเกาะติดผิวหน้าของแผ่นเหล็กแล้วจึงนำไปรีดอีกครั้งหนึ่ง

- โดยวิธีเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า อาศัยหลักการเดียวกับการชุบโครเมี่ยมด้วยไฟฟ้า สังกะสีชนิดนี้มีชื่อเรียกว่า Zinegrip หรือ Paintgrip

เหล็กอาบสังกะสีที่ได้จากการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า ผิวที่เคลือบจะติดแน่น เรียบสม่ำเสมอมีลักษณะเป็นดอกสีเทา เหมาะอย่างยิ่งสำหรับงานที่ต้องการพ่นสี

เหล็กอาบสังกะสีสามารถสังเกตได้ง่าย จากลวดลายดอกที่ปรากฏบนผิวจะมีประกายแวววาวเห็นได้ชัดเจน ลวดลายนี้เกิดจากการเย็นตัวของสังกะสีบนผิวเหล็ก

ความคงทนต่อการกัดกร่อนของเหล็กอาบสังกะสี จะขึ้นอยู่กับคุณภาพของสังกะสีที่เกาะเคลือบผิวอยู่ ถ้ามีคุณภาพดีสามารถดัดโค้งงอ และพับให้เกิดความแข็งแรงได้โดยที่สังกะสีไม่ ร่อนออกจากผิวเหล็กได้ง่าย และไม่เกิดการฉีกขาดเมื่อพับหลาย ๆ ครั้ง

ตะกั่ว (Lead)

ตะกั่วเป็นโลหะที่อ่อนมากยืดได้ง่ายจนสามารถจะรีดได้โดยเครื่องที่ใช้มือหมุน การวัดขนาดความหนาของตะกั่ว จะวัดเป็นหน่วยปอนด์ต่อตารางฟุต

ดีบุก (Tin)

เป็นโลหะแผ่นเคลือบที่เกิดจากการนำเอาเหล็กรีดเย็นมาเคลือบผิวด้วยดีบุก ผิวหน้าของดีบุกจะขุ่นมัวไม่สะท้อนแสงหรือเป็นเงามันเหมือนกับโลหะชนิดอื่น มีความคงทนต่อไอน้ำหรือความชื้นได้

ขนาดความหนาของดีบุกจะกำหนดเป็นตัวเลขและตัวอักษร เช่น 1C , 1X หรือจะกำหนดเป็นขนาดน้ำหนักต่อกล่อง (Base box) เช่น 1 Base box หมายถึง แผ่นดีบุกขนาด 14 × 20 นิ้ว จำนวน 112 แผ่น ดับเบิ้ลบ็อก (Double box) ก็จะบรรจุแผ่นดีบุก จำนวน 112 แผ่น ชนิดที่เคลือบบางจนถึง 1 ปอนด์ ต่อ กล่อง (Box) เรียกว่าโค้กทินเพลท (Coke tin plate) ชนิดที่เคลือบหนากว่า 1 ปอนด์ขึ้นไปจนถึง 7 ปอนด์ ต่อกล่อง (Base box) เรียกว่าโชรโครมทินเพลท (Charcoal tin plate) ชนิดที่เคลือบผิวหนากว่า 7 ปอนด์ ขึ้นไปจนถึง 14 ปอนด์ ต่อกล่อง (Base box) เรียกว่า ไดรี่เพลท (Dairy plate)

ขนาดมาตรฐานของโลหะแผ่น (Standard size sheet)

โลหะแผ่นมีขนาดต่าง ๆ กัน ขนาดมาตรฐานของอเมริกา มีดังนี้คือ

30 × 96 นิ้ว , 36 × 96 นิ้ว

36 × 120 นิ้ว , 39 × 120 นิ้ว

ในท้องตลาดเมืองไทย จะใช้กันมากมี 2 ขนาดคือ 36 × 96 นิ้ว และ 48 × 96 นิ้ว หรือ เรียกอีกอย่างว่า 3 × 8 นิ้ว และ 4 × 8 นิ้ว

2.1.3 ความหนาโลหะแผ่น

การกำหนดขนาดความหนาของโลหะแผ่น กำหนดเป็นตัวเลข (Number) ทั้งนี้เพื่อความสะดวกและรวดเร็วในการวัดอ่านค่าความหนาของโลหะแผ่นได้อย่างละเอียดและถูกต้อง ตัวเลขต่าง ๆ บนเกจ์ จะบอกความหนาเป็น ทศนิยม หรือ เศษส่วน ของนิ้ว เกจ์(Gage) ที่ใช้เป็นมาตรฐานสำหรับวัดความหนาของโลหะแผ่น มีอยู่ 2 ชนิด คือ

- United States Standard Gage หรือ Manufacture's Gage ใช้สำหรับวัดความหนาของโลหะแผ่นที่เป็นเหล็ก (Ferrous metal) เช่น เหล็กดำ เหล็กอาบสังกะสีเป็นต้น
- American Standard Wire Gage และ Brown and Sharp Gage ใช้สำหรับวัดความหนาของโลหะแผ่น นอกกลุ่มเหล็ก (Non ferrous metal) เช่น อะลูมิเนียม ทองเหลือง ทองแดง ดีบุก สเตนเลส ฯลฯ เป็นต้น

ความหนาของโลหะแผ่นที่ใช้จะอยู่ระหว่าง 0.007 นิ้ว (36 Gage) ถึง 0.1876 นิ้ว (7 Gage) ถ้าตัวเลข (Number) ที่แสดงความหนาของโลหะเพิ่มขึ้นความหนาของโลหะแผ่นก็จะลดน้อยลง เช่น โลหะแผ่นเบอร์ 18 ก็จะมีความหนามากกว่าโลหะแผ่นเบอร์ 22 เป็นต้น

รูปร่างเกจ์ สำหรับความหนาของแผ่นโลหะจะเป็นแผ่นกลม ทำด้วยเหล็กแข็งอย่างดี มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 3/4 นิ้ว และหนา 1/8 นิ้ว ด้านหน้าของเกจ์ จะบอกความหนาเป็นตัวเลข 0 , 1 , 2 , 3 , ... ถึง 36 เมื่อต้องการที่จะดูจำนวนความหนาที่เป็นจำนวนทศนิยม ดูได้จากด้านหลังตรงช่องเดียวกับตัวเลขของเกจ์ ด้านหน้า เช่น

ความหนาโลหะแผ่นเบอร์ 16 จะหนาเท่ากับ 0.0625 หรือประมาณ 1/16 นิ้ว

ความหนาโลหะแผ่นเบอร์ 22 จะหนาเท่ากับ 0.0312 หรือประมาณ 1/32 นิ้ว

ความหนาโลหะแผ่นเบอร์ 28 จะหนาเท่ากับ 0.0156 หรือประมาณ 1/64 นิ้ว

การใช้ Gage วัดความหนาของโลหะแผ่นที่ไม่เคลือบผิว การอ่านค่าความหนาก็สามารถจะอ่านเป็นตัวเลขได้เลย โดยความหนาจะไม่ผิดพลาด แต่สำหรับโลหะแผ่นที่มีการเคลือบผิวนั้นจะต้องอ่านตัวเลขของเกจ์ (Gage Number) ลดลงมา 1 เกจ์ เสมอเสมอเช่น เมื่อวัดความหนาได้เท่าเกจ์ เบอร์ 24 ความหนาจริงจะเท่ากับเกจ์ เบอร์ 23 เป็นต้น

ขนาดน้ำหนักของโลหะแผ่น

น้ำหนักโลหะแผ่นโดยทั่ว ๆ ไปจะมีหน่วยวัดเป็น ปอนด์ต่อตารางฟุต โลหะแผ่นแต่ละชนิดก็จะมีน้ำหนักแตกต่างกันออกไปตามความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) ของโลหะนั้น ดังตาราง

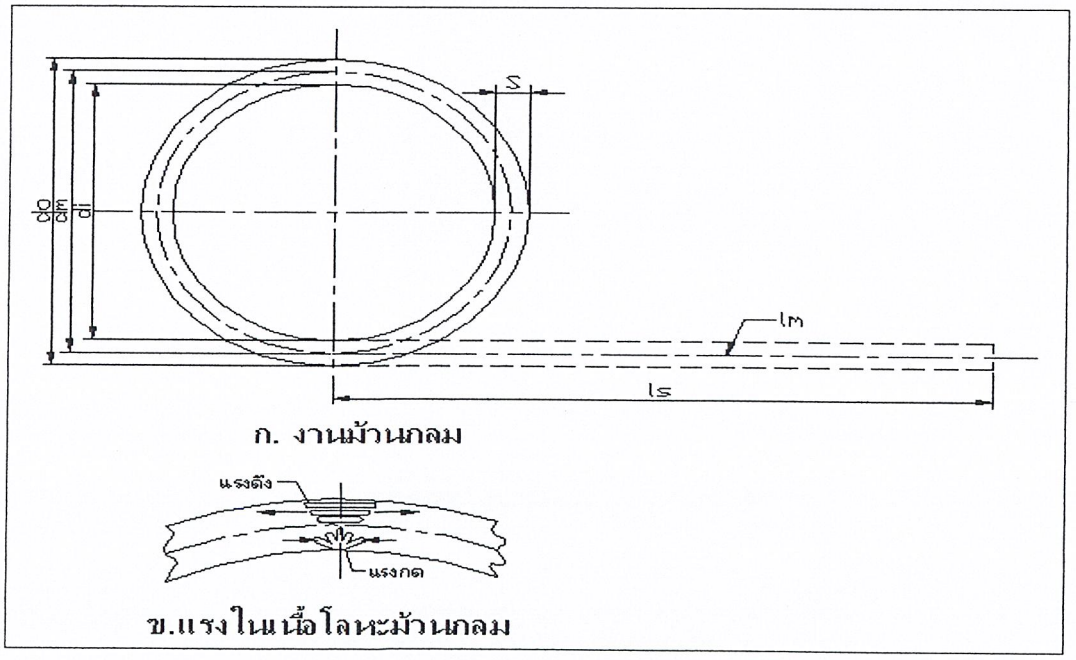
ตารางที่ 2.1 แสดงน้ำหนักต่อพื้นที่ 1 ตารางฟุตของโลหะแผ่นชนิดต่าง ๆ[4:หน้า172]

Gage NO.	Cold rolled steel	Stainless steel	Galvanized steel	Aluminium	Copper
30	0.500	0.525	0.656	0.141	-
28	0.625	0.656	0.781	0.177	-
26	0.750	0.788	0.906	0.224	14 oz.
24	1.000	1.050	1.156	0.282	16 oz.
22	1.250	1.313	1.406	0.352	20 oz.
20	1.500	1.575	1.656	0.451	28 oz.
18	2.000	2.100	2.156	0.563	36 oz.
16	2.500	2.625	2.656	0.718	48 oz.

2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับงานม้วน

งานม้วนกลมคืองานม้วนโลหะที่เป็นแผ่นหรือว่าเป็นแท่งให้กลม อย่างเช่นภาชนะกลมท่อหรือเป็นกรอบกลม วิธีการคำนวณความยาวชิ้นงานม้วนกลมที่มีความหนาไม่มากนัก ให้คำนวณจากความยาวแนวเส้นศูนย์กลาง

แผ่นโลหะขณะม้วนกลมเหนือเส้นศูนย์จะมีแรงดึง(Tension) ปรากฏอยู่ในเนื้อโลหะส่วนตอนล่างของเส้นศูนย์จะปรากฏแรงกด (Compression) ดังรูปประกอบข้างล่างนี้



รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะการม้วนและแรงที่เกิดขึ้น [1:หน้า 58]

กำหนดให้ s = ความหนาของโลหะแผ่น (มม.)

d_i = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางวัดใน(inside diameter) (มม.)

d_o = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางวัดนอก(outside diameter) (มม.)

d_m = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางวัดเส้นศูนย์ (outside diameter) (มม.)

l_s = ความยาวเหยียดตรงของชิ้นงาน (มม.)

l_m = ความยาวเหยียดตรงของเส้นศูนย์ (มม.)

ดังนั้น

$l_m = d_m \pi$ (mm.)

$dm = d_i + s$ (mm.)

$d_m = d_i - s$ (mm.)

$lm = l_s$ (mm.)

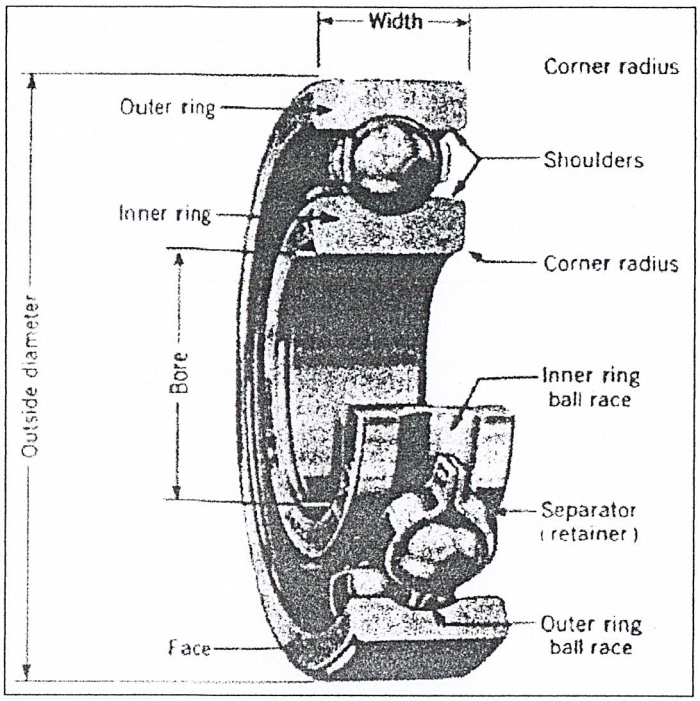
2.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับแบริ่ง

แบริ่ง (Bearing) คือชิ้นส่วนเครื่องกลที่ใช้รองรับเพลาเพื่อให้เพลารับโหลดและหมุนได้เป็นไปอย่างราบรื่น ปลอดภัยและมีอายุการใช้งานทนทาน โดยที่โรลลิ่งแบริ่ง (rolling bearing) รับแรงโดยอาศัยชิ้นส่วนของแบริ่งที่มีลักษณะเป็นผิวสัมผัสแบบกลิ้ง (Rolling Contact Bearing) เรียกอีกอย่างว่า แอนทิฟริคชั่นแบริ่ง (antifriction bearing) เช่น บอลแบริ่ง (ball bearing) หรือตลับลูกปืน

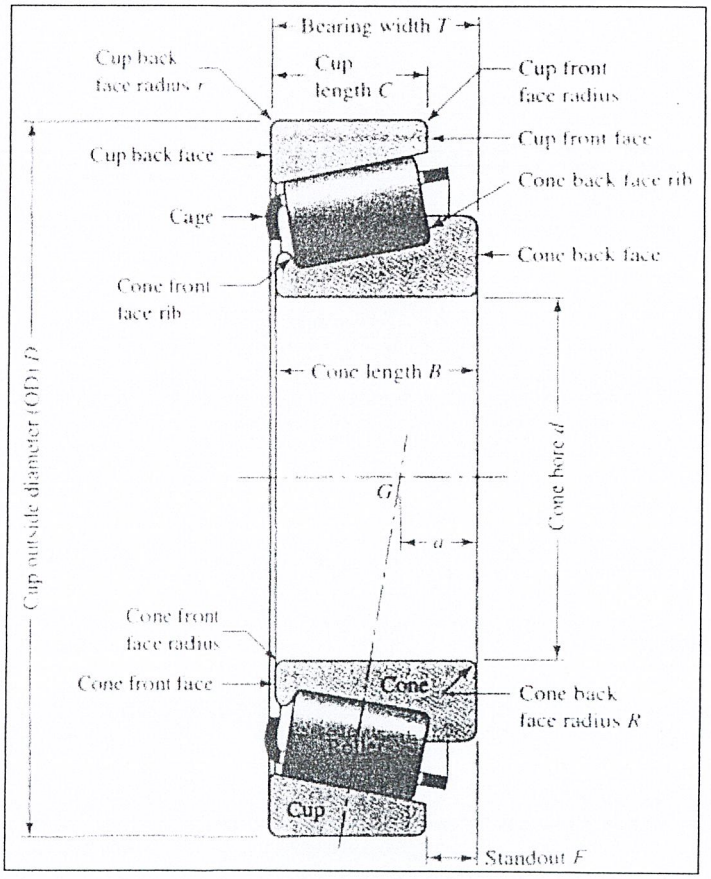
2.3.1โครงสร้างของตลับลูกปืน

ตลับลูกปืนโดยทั่วไปประกอบด้วย

- แหวนของตลับลูกปืน วงแหวนในหรือเปลือกในและวงแหวนนอกหรือเปลือกนอก
- ลูกกลิ้งหรือเม็ดลูกปืน อาจเป็นเม็ดกลม(Ball) หรือเม็ดยาว (rollers)
- โครงประคอง (retainer) หรือโลหะคั่น (separator) หรือรังลูกปืน โดยโครงประคองจะแยกส่วนของลูกกลิ้งซึ่งอยู่ระหว่างร่องกลิ้ง (Race way) ของวงแหวนในและวงแหวนนอกให้มีระยะห่างปกติที่จะยึดลูกกลิ้งไว้สามารถหมุนได้อย่างอิสระ

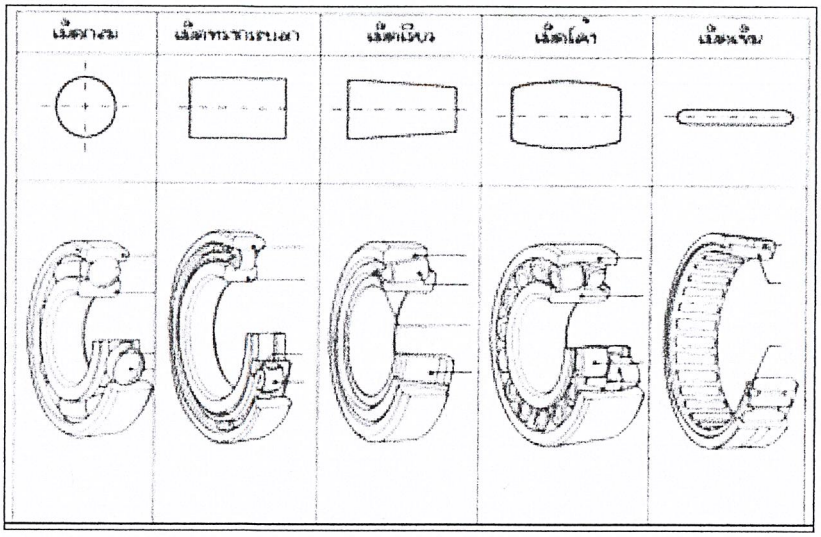


รูปที่ 2.2 แสดงส่วนต่างของตลับลูกปืน(Ball bearings)



รูปที่ 2.3 แสดงส่วนต่างๆของลูกกลิ้งเม็ดยาว(Taper roller bearings)

ลูกกลิ้ง มีรูปร่างลักษณะทั่วไปแบ่งเป็น 2 รูปแบบ คือ เม็ดกลมและเม็ดยาว โดยลูกกลิ้งแบบเม็ดยาวจะมีรูปลักษณะ 4 แบบได้แก่ แบบเม็ดทรงกระบอก(Cylindrical) เม็ดเรียว (Tapered) เม็ดโค้ง (Spherical) และเม็ดเข็ม (Needle)



รูปที่ 2.4 แสดงถึงชนิดต่างๆของเม็ดลูกกลิ้ง [2:หน้า287]

ลูกกลิ้งเม็ดกลม สัมผัสกับผิวของร่องกลิ้งในวงแหวนนอกและในเป็นจุด(Point) ของวงแหวนนอกและใน

ลูกกลิ้งเม็ดยาว สัมผัสกับผิวร่องกลิ้งในวงแหวนนอกและในเป็นแนว (Line) ของวงแหวนนอกและใน

ในทางทฤษฎี ตลับลูกปืนถูกสร้างให้ส่วนของลูกกลิ้งสามารถหมุนไปตามวิถีการหมุนและหมุนตามแกนของตัวมันเองในเวลาเดียวกัน และในส่วนของลูกกลิ้งและแหวนของตลับลูกปืน เมื่อมีแรงมากระทำใดๆ ต่อตลับลูกปืน (ที่ผิวสัมผัสระหว่างส่วนของลูกกลิ้งและผิวของร่องกลิ้ง) จะไม่มีแรงกระทำโดยตรงกับโครงประคองโดยที่โครงประคองทำหน้าที่เพียงยึดชุดลูกกลิ้งให้มีระยะห่างจากกันเท่ากันและป้องกันไม่ให้ชุดลูกกลิ้งหลุดออกจากกัน

2.3.2 ประเภทของตลับลูกปืนและทิศทางการรับแรง

- ตลับลูกปืนเม็ดกลม แบ่งย่อยตามรูปแบบของแหวนตลับลูกปืน เช่น เม็ดร่องลึก เม็ดกลมสัมผัสเชิงมุม และเม็ดกลมกันรุน

- ตลับลูกปืนเม็ดยาว แบ่งตามรูปแบบออกเป็น แบบเม็ดทรงกระบอก แบบเม็ดเข็ม แบบเรียวและแบบปรับแนวได้เอง

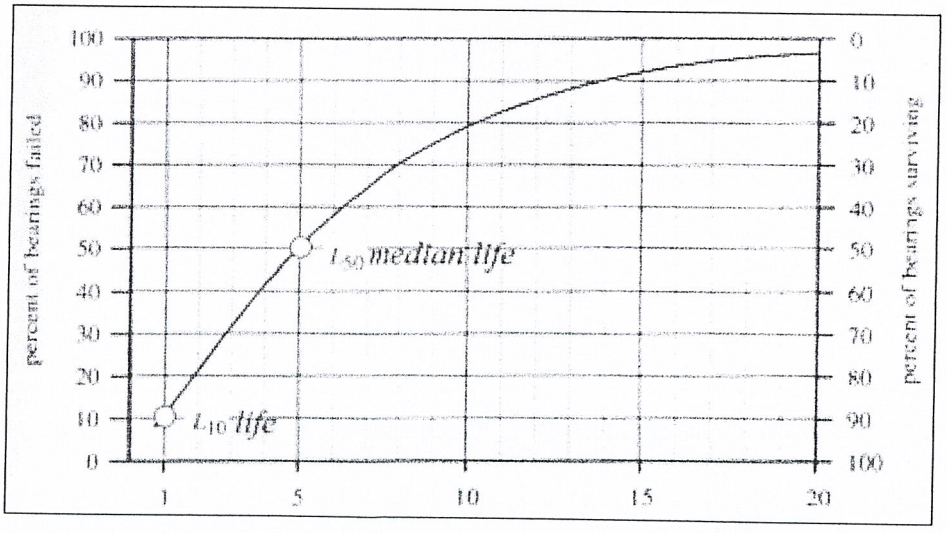
ตลับลูกปืนยังสามารถจำแนกออกตามทิศทางของแรงกระทำ เช่นแรงแนวรัศมีกระทำต่อตลับลูกปืนแนวรัศมี (Radial Bearing) และแรงแนวแกนกระทำต่อลูกปืนกัน(Thrust Bearing) และยังมีตลับลูกปืนที่ออกแบบมาเพื่อใช้งานพิเศษโดยเฉพาะ เช่นตลับลูกปืนที่ใช้ในล้อรถไฟ บอลสกรูตลับลูกปืนสำหรับแท่นหมุน (Turntable Bearing) เช่นเดียวกับตลับลูกปืน สำหรับการเคลื่อนที่แบบเชิงเส้น (Linear ball bearing) ตลับลูกปืนเม็ดยาวเชิงเส้น(Linear roller bearings) เป็นต้น

2.3.3 คุณลักษณะเฉพาะของตลับลูกปืน

- สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานขั้นต้นต่ำ และสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานพลวัติจะแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย
- ต่างเป็นผลิตภัณฑ์มาตรฐานสากล สามารถสับเปลี่ยนกันได้และหาซื้อได้ง่าย
- การหล่อลื่นง่ายและลดการสิ้นเปลืองของสารหล่อลื่นเพราะสารหล่อลื่นที่กักไว้ภายในด้วยซีลกันรั่ว(seal) ตลอดอายุการใช้งาน
- ความหนืดของสารหล่อลื่นไม่ขึ้นอยู่กับโหลดและความเร็วของการหมุน
- สามารถรับแรงได้ทั้งแนวแกนและแนวรัศมีในเวลาเดียวกัน
- ใช้งานได้ทั้งอุณหภูมิสูงหรืออุณหภูมิต่ำ
- ความแกร่งของตลับลูกปืนสามารถแก้ไขให้ดีขึ้นโดย การพรีโหลด(ให้แรงกระทำขั้นต้น)

2.3.4 อายุการใช้งานของแบริ่ง

แบริ่งได้รับการติดตั้ง และหล่อลื่นอย่างดี ตลอดจนดูแลรักษา ให้ปราศจากฝุ่นหรือผงต่าง ๆ และไม่อยู่ภายใต้แรงกระทำที่มีค่าสูงจนเกินความสามารถที่แบริ่งจะรับได้แล้วแบริ่งจะเสียหายเนื่องจากความล้าที่เกิดขึ้นวัสดุแบริ่งเท่านั้น ดังจะเห็นได้ว่าแบริ่งเสียจะมีโลหะอุดอยู่เป็นจำนวนมาก ทั้งนี้เพราะพื้นที่สัมผัสระหว่างลูกกลิ้ง และวงแหวนมีค่าน้อย ดังนั้นความแค้นที่เกิดขึ้นในลูกกลิ้งหรือวงแหวนจึงมีค่าสูงเข้าใกล้ความเค้นของเฮิร์ช ในขณะที่ลูกกลิ้งหมุนรอบวงแหวน วัสดุที่รับแรงของแบริ่งจะอยู่ภายใต้ความแค้นที่เป็นศูนย์ไปยังค่าสูงสุด และกลับมายังศูนย์ (Respected stress) อยู่ตลอดเวลา แต่เนื่องจากความเค้นสูงกว่าขีดจำกัดความทนทาน (Endurance limit) ของวัสดุแบริ่ง ดังนั้นจึงเกิดการเสียหายโดยความล้า ซึ่งก็แสดงว่าอายุการใช้งานของแบริ่งจะมีอายุเวลาจำกัด ขึ้นอยู่กับค่าของความเค้นที่กระทำซ้ำ ๆ จากผลการทดลอง Lunderg และ Palmgren ซึ่งได้ใช้พื้นฐานสำหรับการประเมินค่ามาตรฐานของ AFBMA พบว่าอายุการใช้งาน L แปรผันเป็นสัดส่วนกับแรงในแนวรัศมี P (ในกรณีที่แรงทั้งสองในแนวรัศมีและแรงรุน P จะเป็นแรงในแนวรัศมีสมมูล ซึ่งจะกล่าวถึงต่อไป นั้น คือ (Equivalent radial load)



รูปที่ 2.5 แสดงเส้นโค้งคาดคะเนอายุการใช้งานแบริ่ง [4:หน้า155]

การกระจายความล้าบนแบริ่งสามารถประมาณได้โดยใช้ Weibull distribution โดยจากฟังก์ชันการกระจายสะสม คือ

$$F(x) = \int_{x0}^{x} f(x)dx = 1 \quad \exp\left(\frac{x \quad x0}{\theta \quad x0} \right)^{b}$$

กำหนดให้ R=1-F และ $X=\frac{L}{L_{10}}$ แทนค่าในสมการได้

$$R=\exp \left(\frac{\frac{L}{L_{10}} \quad x_0}{\theta \quad x_0} \right)^{b}$$

$$R= \exp \left(\frac{\frac{L}{L_{10}} \quad 0.02}{4.91} \right)^{1.40}$$

$$R=\exp \left(\frac{L}{6.84 L_{10}} \right)^{1.17}$$

$$L = \alpha \ 1 / P^{k} \qquad (2.1)$$

โดยที่ค่าคงที่ k = 3 สำหรับบอลแบริ่ง

K = $10/3 \cong 3.33$ สำหรับโรลเลอร์

อายุใช้งาน L นี้มักจะนับเป็นจำนวนชั่วโมงที่ความเร็วรอบของเพลาอันหนึ่ง หรือเป็นจำนวนล้านรอบ mr (Millions of revolution) จากสมการที่ 2.1 จะได้ว่า

$$L_1 / L_2 = (P_2 / P_1)^{k} \qquad (2.2)$$

จากสมการที่ 2.2 จะเห็นได้ว่าถ้าแรงลดลง 1 เท่านั้นแล้วอายุการใช้งานของบอลแบริ่งจะเพิ่มขึ้นมีค่าเท่ากับ

$$L_1 / L_2 = 2^{3} = 8 \text{ เท่า}$$

สำหรับโรลเลอร์แบริ่ง อายุใช้งานจะเพิ่มขึ้นอีก

$$L_1 / L_2 = 2^{3.33} = 10.06 \text{ เท่า}$$

ดังนั้นผู้ใช้โรลเลอร์แบริ่งจึงต้องระมัดระวังในการคำนวณหาขนาดของแรงที่กระทำต่อแบริ่งให้ใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด

2.3.5 การประเมินค่าอายุใช้งานและแรง

ถึงแม้ว่าจะมีวิธีการการผลิต และควบคุมคุณภาพของโรลเลอร์แบริ่งอย่างทันสมัย แต่ก็ปรากฏว่าแบริ่งชนิดเดียวกัน จะมีอายุใช้งานแตกต่างกันไปมาก ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความยากลำบากในการควบคุมความกลมของลูกกลิ้งเป็นต้น ดังนั้นอายุที่ทางผู้ผลิตอ้างถึงจึงมีรากฐานมาจากการใช้หลักวิชาทางด้านสถิติเข้าช่วยทางสมาคม AFBMA จึงได้ตั้งนิยามและวิธีการเลือกแบริ่งขึ้น ซึ่งมีดังต่อไปนี้คือ

- อายุการใช้งานของโรลเลอร์แบริ่งหมายถึงจำนวนรอบ หรือ (หรือจำนวนชั่วโมงที่ความเร็ว คงที่) ซึ่งแบริ่งหมุนได้ก่อนที่จะเริ่มเกิดความกล้าขึ้นในวงแหวน หรือลูกกลิ้ง

- อายุประเมิน (Rating life) ของโรลเลอร์แบริ่งจำนวนหนึ่ง ซึ่งมีลักษณะเหมือนกันทุกประการ หมายถึงจำนวนรอบ (หรือจำนวนชั่วโมงที่ความเร็วคงที่) ซึ่งแบริ่ง 90 % จากจำนวนนี้สามารถหมุนได้โดยไม่เกิดความเสียหายเนื่องความล้า และใช้งานด้วยอายุใช้งาน L_{10} ผู้ผลิตบางบริษัทอาจจะใช้อายุใช้งานโดยเฉลี่ยเป็นอายุประเมินก็ได้ อายุใช้งานเฉลี่ยนี้ หมายถึงจำนวนรอบที่ 50 % ของแบริ่งเหมือนกันจำนวนหนึ่งสามารถหมุนได้โดยไม่เกิดความล้าขึ้นและใช้แทนอายุใช้งาน ซึ่งมีความสัมพันธ์กับ L_{50} โดยประมาณ คือ L_{10}

$$L_{50} \approx L_{10}$$

- แรงสถิตประเมิน (Basic static load rating) หมายถึงแนวในรัศมีทำให้เกิดระยะยุบตัวของลูกกลิ้ง และใช้แทนด้วย C0 ค่าของ C_0 สำหรับอนุกรมมิติต่าง ๆ ดูได้จากตาราง

โดยปกติแล้วแรงสถิตประเมินไม่ค่อยจะมีผลต่อการเลือกแบริ่งมากนัก แต่ถ้าแบริ่งรับแรงสูงอยู่นิ่งเป็นระยะเวลานานก็อาจจะทำให้เกิดการยุบตัวอย่างถาวร (Permanent deformation) เป็นแห่ง ๆ ได้ ดังนั้นจึงต้องมีการตรวจสอบว่า แรงที่มากระทำมีมากเกิน C_0 หรือไม่

- แรงพลวัตประเมิน (Basic dynamic load rating) บางครั้งอาจจะเรียกว่า สมรรถนะแรงพลวัต Basic dynamic capictity) ของโรลลิ่งแบริ่ง หมายถึงแรงที่กระทำในแนวรัศมี ซึ่งแบริ่งมีลักษณะเหมือนกันจำนวนหนึ่งจะรับได้ โดยมีอายุประเมิน L_{10} เท่ากับหนึ่งล้านรอบเมื่อวงแหวนอันในเป็นตัวหมุน และวงแหวนอันนอกหยุดนิ่ง และใช้แทนด้วย c ซึ่งแสดงอยู่ในตารางที่ 2.1, 2.2, และ 2.3

แรงพลวัตประเมิน c นี้เป็นค่าใช้เลือกขนาดของแบริ่งเพื่อให้รับแรง และอายุการใช้งานตามความต้องการ โดยการเปลี่ยนแรง และอายุการใช้งานจริงมาเป็นแรง อายุการใช้งานที่แสดงไว้ในแค็ตตาล็อก (คือแรงในแนวรัศมีที่ทำให้อายุประเมินเท่ากับหนึ่งล้านรอบ) หรือ ในทางกลับกันคือ เลือกแบริ่งจากแค็ตตาล็อกแล้วเปลี่ยนให้รับแรงตามความต้องการใช้ทำงานจริงและดูว่าอายุการใช้งานได้ตามที่ต้องการหรือไม่ ซึ่งสามารถทำได้โดยใช้สมการที่ 2.4 ดังนี้

ให้ L_{10} เป็นอายุการใช้งานจริงมีหน่วยเป็นล้านรอบ (mr) และ P เป็นแรงในแนวรัศมีที่แบริ่งจะต้องรับขณะใช้งานจริงจากสมการที่ 2.4 จะเห็นว่า

$$L_1 = L_{10} \qquad P_1 = P$$

$$L_2 = 1\ \text{mr} \qquad P_2 = C$$

ดังนั้น

$$L_{10} = (C / P)^k \qquad (2.4)$$

จากสมการที่ 2.1 ทำให้ทราบว่าแบริ่งที่เลือกมาจากอายุประเมินจำนวนหนึ่งล้านรอบนั้น จะสามารถทำงานได้กี่ล้านรอบขณะใช้งานจริง

2.3.6 ภาระของแบริ่ง (Bearing Load)

ความสามารถในการรับภาระของแบริ่ง 2กลุ่ม จากการทดลองทดสอบแบริ่ง 2กลุ่มโดยให้รับภาระต่างกันคือ F_1 และ F_2 ทำให้อายุการใช้งาน L_1 และ L_2ตามลำดับซึ่งนำไปสู่ความสัมพันธ์ คือ

$$\frac{L_1}{L_2} = \frac{F_2}{F_1}^{a}$$

เมื่อ a = 3 สำหรับ ball bearings

a = $^{10}/_{3}$ สำหรับ roller bearings

เมื่อแบริ่งหรือตลับลูกปืนอยู่กับที่ จะรับภาระทางสถิตย์ ตลับลูกปืนจะเสียหายเนื่องจากการเสียรูปแบบถึงถาวรที่บริเวณผิวสัมผัสเม็ดลูกปืนกับร่องกลิ้ง ปริมาณการขยายตัวจะเพิ่มขึ้นตามภาระที่เพิ่มขึ้น และเมื่อเพิ่มภาระมากเกินกว่าที่ตลับลูกปืนจะสามารถรับได้ ตลับลูกปืนก็จะเสียหาย

2.3.7 การเลือกแบริ่ง

โดยปกติบอลแบริ่งจะรับภาระรวมระหว่างภาระในแนวรัศมีและภาระในแนวแกนยกเว้นบอลแบริ่งกันรุน (Thrust ball bearings) ที่รับเฉพาะแรงในแนวแกนเท่านั้น และถ้ามีแรงแนวรัศมีมากระทำร่วมด้วย ก็ต้องเลือกใช้แบริ่งชนิดอื่นช่วยรับแรงนี้ ดังนั้นกรณีที่มีแรงทั้งสองชนิดอยู่พร้อมกันแล้วก็ควรจะเลือกแบริ่ง แบบสัมผัสทำมุม (angular contact)

การใช้งานโดยทั่วไปบอลแบริ่ง (Ball bearings) จะทำงานภายใต้ภาระร่วมแต่ค่าใน แคตตาล็อค (catalog) มีเพียงแรงในแนวรัศมี เพื่อความสะดวกจะกำหนดให้แรงที่กระทำต่อแบริ่งคือ แรงสมมูล

แรงสมมูล (Equivalent radial load: Fe) หมายถึงภาระเทียบในแนวรัศมีซึ่งถ้าให้กระทำต่อโรลลิ่งแบริ่งที่วงแหวนในหมุน และวงแหวนนอกอยู่กับที่แล้วจะทำให้อายุการใช้งาน เท่ากับอายุของแบริ่งที่รับแรงจริง ซึ่งอาจรวมทั้งแรงในแนวรัศมีและแนวแกน

แรงสมมูล (Equivalent radial load: Fe) ของแบริ่งมีค่าสูงสุดอยู่ 2 ค่าคือ

$$Fe = VFr$$

$$Fe = XVFr + YFa$$

เมื่อ Fe = แรงสมมูล

Fr = แรงตามรัศมี

Fa = แรงตามแนวแกน

V = ตัวประกอบการหมุน (Rotation Factor) ตัวประกอการหมุน และ 1.2 เมื่อวงแหวนนอกหมุน ถ้าเป็นบอลแบริ่งชนิด self – aligning ให้ใช้ค่าเท่ากับ 1 เสมอ

X = ตัวประกอบแรงในแนวรัศมี

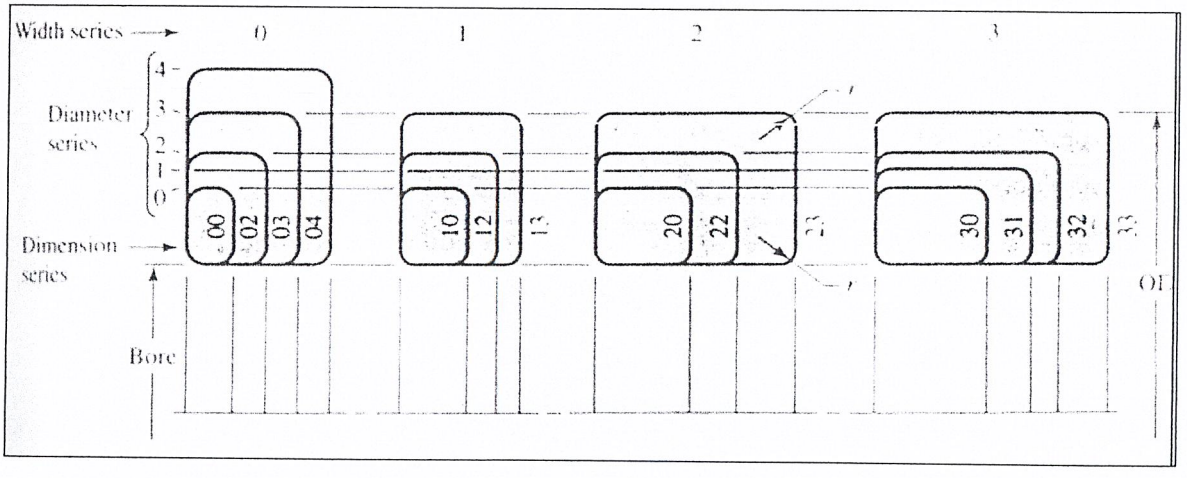
Y = ตัวประกอบแรงในแนวแกน

ตารางที่ 2.2 แสดงค่า X และ Y [2:หน้า 152]

Bearing type	X_1	Y_1	X_2	Y_2
Radial-contact ball bearings	1	0	0.5	1.4
Angular-contact ball bearings with shallow angle	1	1.25	0.45	1.2
Angular-contact ball bearings with steep angle	1	0.75	0.4	0.75
Double-row and duplex ball bearings (type DB or DF)	1	0.75	0.63	1.25

ค่าแรงสมมูลที่ใช้เลือกขนาดแบริ่ง ให้ใช้ค่าที่ได้จากสมการที่ 2.5 หรือ2.6 แล้วแต่ว่าค่าไหนจะมากกว่า สำหรับบอลแบริ่งกันรุน และแบริ่งกันรุน แล้วให้คำนวณค่าสมมูลจากสมการที่ 2.5 โดยให้ V = 1 ส่วนแบริ่งแบบลูกปืนทรงกระบอก (Straight roller bearing) นั้นจะใช้รับในแนวรัศมีเท่านั้น จึงให้คำนวณแรงสมมูลจากสมการที่ 2.4, 2.5 และ 2.5

ให้สังเกตว่าค่า X, Yและ e ในตารางที่ 2.6 ใช้ได้กับแบริ่งทุกขนาด ส่วนในค่าใช้จ่ายตารางที่ 2.7 และ 2.8 จะเปลี่ยนไปตามขนาดแบริ่ง และค่า e กับ Y ในตารางที่ 2.6 มีค่าลดลงตามลำดับจึงทำให้สามารถประมาณค่าแบบเชิงเส้นในตารางได้



รูปที่ 2.6 เป็นมาตรฐานบอกมิติของแบริ่ง [2:หน้า153]

2.3.8 แรงสมมูล

ในการใช้งานจริง โรลลิ่งแบริ่งอาจจะรับทั้งแรงในแนวรัศมี แนวแกน และวงแหวนในหรือนอกจะเป็นอันที่หมุนก็ได้ ซึ่งก็แล้วแต่ผู้ออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกล อีกประการหนึ่งแคตตาล็อกของผู้ผลิตจะกำหนดให้เฉพาะอายุประเมินในเทอมของแรงในแนวรัศมีเท่านั้น ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องเปลี่ยนแรง และเงื่อนไขจากที่ใช้ทำงานจริงๆ มาให้เป็นแรงในแนวรัศมีโดยมีวงแหวนในเป็นตัวหมุน เรียกว่า แรงสมมูล (Equivalent force) เพื่อจะได้ใช้ในการเลือกแบริ่งจากแคตตาล็อกได้ สมาคม AFBMA ได้ทำความนิยมของแรงสมมูลไว้ดังนี้

แรงสมมูล หมายถึง แรงในแนวรัศมีซึ่งถ้าให้การกระทำต่อโรลลิ่งแบริ่ง โดยที่วงแหวนในหมุน และวงแหวนนอกอยู่นิ่งแล้ว จะทำให้แบริ่งมีอายุใช้งานเท่ากับอายุใช้งานของแบริ่งที่รับแรงจริง (ซึ่งอาจจะมีแรงในแนวรัศมี และแนวแกนพร้อมกัน) และให้คำนวณได้จากสมการ

2.3.9 การเลือกแบริ่งให้มีโอกาสอยู่รอดมากกว่า 90 %

ในตอนที่ผ่านมาได้แสดงถึงการเลือกแบริ่งให้มีอายุใช้งาน หรืออายุประเมินโดยให้มีโอกาสอยู่รอด 90 % (L_{10}) ซึ่งเป็นค่าประเมินไว้ในแค็ตตาล็อกแบริ่งทั่วไป แต่ยังมีเครื่องจักรอีกจำนวนมากที่ต้องการให้มีโอกาสอยู่รอดมากกว่า 90 % เช่นอุปกรณ์ สำหรับโรงพยาบาล โรงพยาบาล โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ และยานอวกาศ เป็นต้น เพราะอุปกรณ์เหล่านี้เกี่ยวข้องกับการเสียทรัพย์สิน และเสียชีวิตเป็นจำนวนมาก จึงจำเป็นที่จะต้องมีวิธีการใช้แบริ่งให้มีอายุใช้งานมากกว่า (L_{10})

Weibull เป็นผู้พบว่า โอกาสอยู่รอด R สำหรับอายุใช้งาน L สามารถทำนานได้ใกล้เคียงด้วยสมการ

$$\ln R = -(L/a)\, b \qquad (2.7)$$

โดยที่ a และ b เป็นค่าคงที่ ซึ่งสามารถหาค่าได้ดังนี้

ให้ R_{10} เป็นโอกาสอยู่รอดของการประเมิน L10 ดังนี้

$$\ln R10 = -(L_{10}/a)^b$$

$$\ln R / \ln R_{10} = (L/L10)^b \qquad (2.8)$$

จากที่ได้กล่าวมาแล้วว่า ทางสมาคม AFBMA แนะนำให้ใช้ $L_{50} = 5L_{10}$ และในที่นี้ $R_{10} = 0.90$ และ $R_{50} = 0.50$

ดังนั้นสมการที่ 2.8 จึงเขียนได้เป็น

$$\ln 0.5 / \ln 0.9 = 5b$$

$$b = 1.17$$

แทนค่า R

$$R1_{10} = 0.90 \quad L$$

$$L10 = 1 \text{ mr } 2.9$$

$$\ln 0.9 = -(1/a)^{1.170}$$

$$a = 6.84$$

ในการเลือกแบริ่ง ซึ่ง R มากกว่า R10 นี้อาจกระทำได้โดยการเปลี่ยนค่าให้มาเป็นค่าใน แคตตาล็อค โดยอาศัยสมการที่ 2.8 มาเทียบอัตราส่วนและจัดรูปใหม่ได้ดังนี้ คือ

$$L_{10}/L = (\ln R_{10} / \ln R)^{1/1.17} \qquad (2.9)$$

เมื่อทราบอายุการใช้งาน L_{10} แล้ว ก็ทำให้การเลือกแบริ่งตามวิธีการที่กล่าวมาแล้ว

ผู้เลือกแบริ่งควรที่จะนึกถึงความสำคัญที่จะอยู่รอดนี้ให้มาก จากทฤษฎีของความน่าจะเป็นพบว่า ถ้าอยู่ในระบบหนึ่งมีแบริ่งแต่ละตัวที่มีโอกาสอยู่รอด R และในระบบนี้มีแบริ่งอยู่ทั้งหมด X ตัวโอกาสอยู่รอดของระบบอันเนื่องมาจากแบริ่ง X ตัวเพื่อให้มีอายุใช้งานตามต้องการคือ

$$R_x = R^x \qquad (2.10)$$

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

2.3.10 การเลือกแบริ่งสำหรับแรงเปลี่ยนแปลง

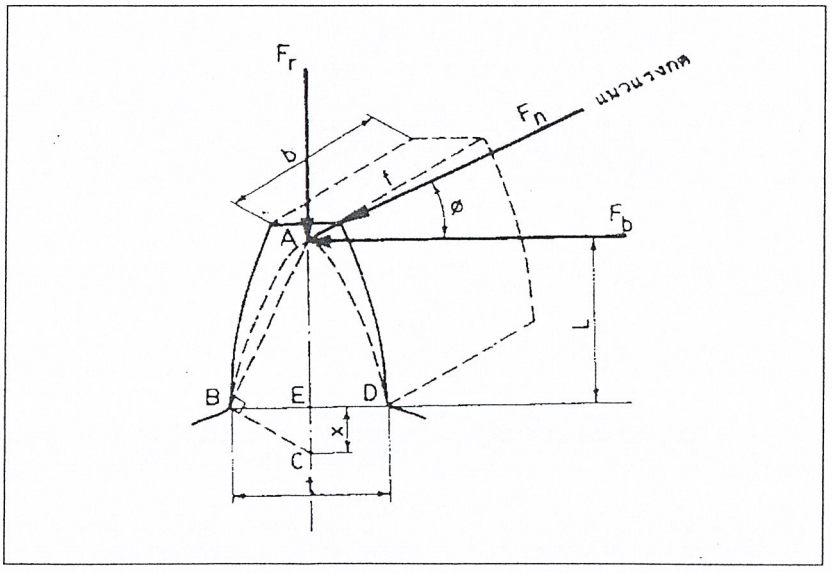
ในเครื่องจักรกลจำนวนมากจะใช้งานอยู่ภายใต้แรงมีค่าเปลี่ยนแลปงไปตามช่วงระยะเวลาการทำงาน นอกจากนี้ความเร็วรอบของเพลาก็อาจจะเปลี่ยนไปด้วย เช่น เครื่องซับผ้าเป็นต้น ในทางปฏิบัติผู้เลือกใช้แบริ่ง โดยนำเอาแรงสูงสุดในระยะเวลาทั้งหมดมาคิด ซึ่งอาจจะทำให้ได้แบริ่งที่มีขนาดใหญ่เกินความต้องการ ถ้าเป็นการผลิตเครื่องจักรกลจำนวนมาก ก็จะทำให้เป็นการสิ้นเปลืองไปโดยใช่เหตุ ในกรณีเช่นนี้การเลือกแบริ่งควรจะคิดถึงการเปลี่ยนแปลงแรง และความเร็วด้วย ในการคำนวณมักใช้แรงเฉลี่ยกำลังสาม โดยการสมมุติให้อายุการใช้งานแปรผันเป็นส่วนกลับกับแรงยกกำลังสาม ดังต่อไปนี้

ให้แรงสมมูล P_1 กระทำกับแบริ่งจำนวน N_1 รอบ
แรงสมมูล P_2 กระทำกับแบริ่งจำนวน N_2 รอบ
แรงสมมูล P_3 กระทำกับแบริ่งจำนวน N_3 รอบ
ไปเรื่อย ๆ แรงเฉลี่ยกำลังสาม

2.4 ทฤษฎีเกี่ยวกับเฟืองตรง (Spur gear)

การออกแบบเฟืองเป็นปัญหาที่ค่อนข้างยาก ทั้งนี้เพราะการออกแบบขั้นตอนต้องกระทำแบบใช้การทดลองดูการออกแบบขนาดของฟันเฟือง มีอยู่หลายวิธี ที่จะกล่าวต่อไปนี้ก็คือการใช้สมการของลูอิส (Lewis)

ลูอิสได้หาสมการสำหรับการคำนวณขนาดของฟันเฟือง โดยสมมติให้ฟันเฟืองมี ลักษณะเป็นคานยื่น (Cantilever beam) และรับแรงดังในรูปที่ 2.7 ถ้าคิดให้แรงกระทำที่ปลายฟันแรง F_N จะตั้งฉากกับผิวของฟันไปตามแนวแรงกด ซึ่งสามารถแยกออกเป็นสองแรงตั้งฉากกันคือ F_b และ F_r สมมุติให้แรงนี้กระจายออกไปสม่ำเสมอตลอดความหนาของฟัน b ให้คำนวณหาความแข็งแรงของฟัน โดยที่ไม่คิดค่าแรงกดในแนวรัศมี F_r



รูปที่ 2.7 ตัวประกอบเรขาคณิตที่ใช้หาประรูปแบบของลูอิส [2:หน้า 34]

55644

จากสมการความเค้นในคาน

$$\sigma = Mc/I = ((F_bL)(t/2))/(bt^3/12)$$

$$= 6F_bL/bt^2$$

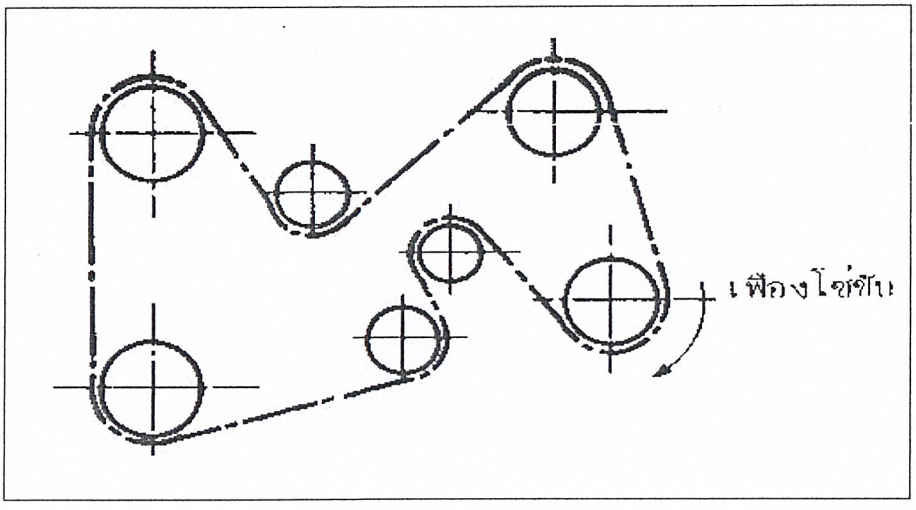
$$F_b = \sigma bt^2/6L \qquad (2.11)$$

2.5 ทฤษฎีเกี่ยวกับโซ่เฟือง

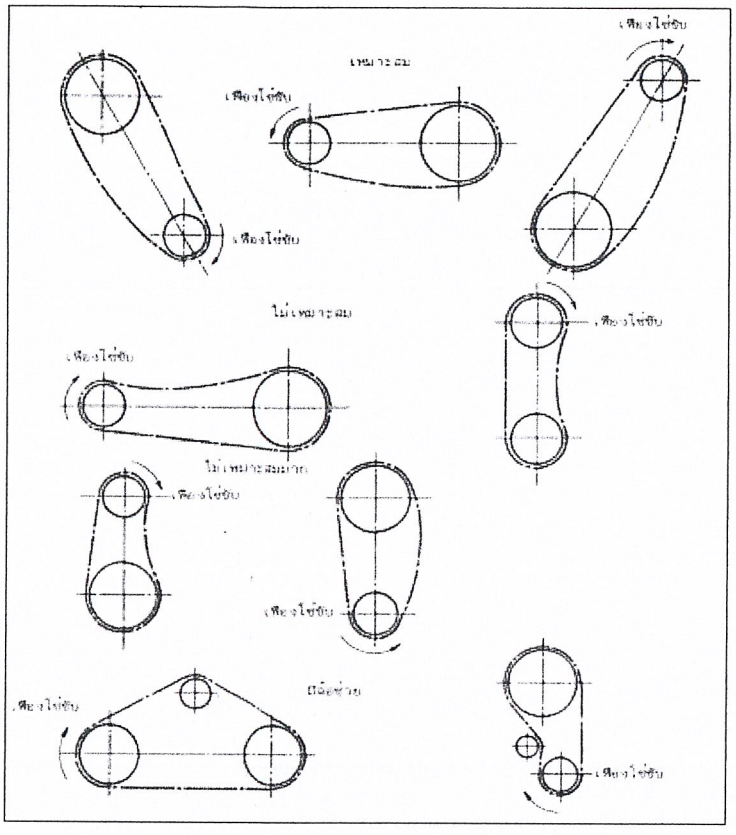
การขับด้วยโซ่มีใช้อยู่มากทางด้านงานเครื่องกล เนื่องจากมีลักษณะที่คล้ายกับการขับด้วยสายพาน โซ่จะคล้องอยู่กับล้อโซ่หรือเฟืองโซ่(Sprocket) ซึ่งติดอยู่บนเพลาขับและเพลาตาม อัตราทดของการขับจะขึ้นอยู่กับขนาดของเฟืองโซ่ทั้งสอง และการขับด้วยโซ่นี้จะไม่มีการสลิปเกิดขึ้นระหว่างโซ่กับเฟืองโซ่

2.5.1 การใช้งานโซ่

ในการขับด้วยโซ่อาจขับเพียงหนึ่งเฟืองโซ่หรือหลายเฟืองโซ่ก็ได้ และอาจหมุนทิศทางเดียวกันกับเฟืองโซ่ขับหรือสวนทางกันก็ได้ แต่มีข้อสมมุติฐานว่าโซ่จะต้องอยู่ในระนาบเดียวกันและเพลาจะต้องขนานกันและอยู่ในแนวระดับด้วย ความเร็วขอบของเฟืองโซ่สามารถใช้ได้ถึง 20-25 m/s



รูปที่ 2.8 แสดงการขับหลายเพลาโดยการใช้โซ่เพียงหนึ่งเส้น [2:หน้า309]



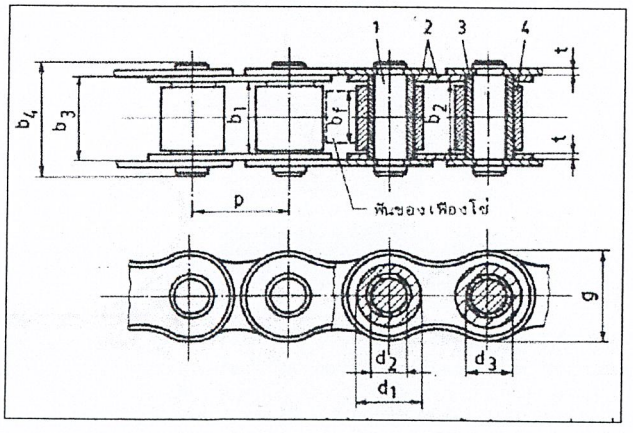
รูปที่ 2.9 แสดงการวางเฟืองโซ่สองเฟืองที่ขับอย่างเหมาะสมและไม่เหมาะสม เพลาของเฟืองโซ่อยู่ในระดับ [2:หน้า309]

2.5.2 ชนิดของโซ่

โซ่แบ่งออกเป็นชนิดใหญ่ ๆ ได้ 3 ชนิดคือ

- โซ่โรลเล่อร์ (Roller chains)

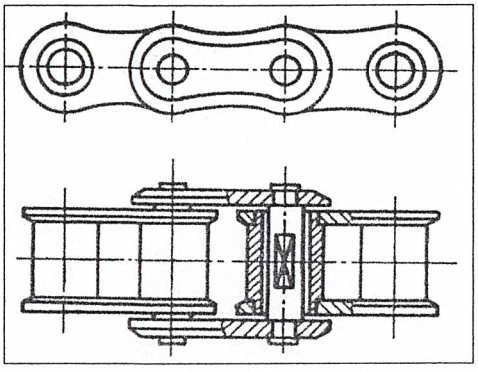
โซ่ชนิดนี้ประกอบด้วยแผ่นต่อ (Link) ด้านในและด้านนอกยึดติดกันด้วยสลักและบูช (bushes) โรลเล่อร์กลวงสวมอยู่กับบูชเมื่อใช้รับแรงอาจจะใช้แบบสองชั้นและสามชั้น



รูปที่ 2.10 โซ่โรลเลอร์ : 1 สลัก, 2 แผ่นต่อด้านนอกและด้านใน, 3 บูชที่อัดแน่นกับแผ่นต่อด้านใน 4 โลเลอร์หมุนได้อิสระบนบูช 3 [2:หน้า310]

- โซ่บูช (Bushed chains)

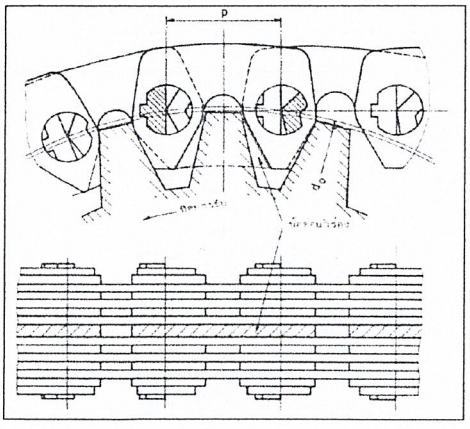
โซ่ชนิดนี้แตกต่างกับโซ่โรลเลอร์ก็ตรงที่ไม่มีโรลเลอร์ ดังนั้นจึงมีการออกแบบให้บูชและสลักมีขนาดใหญ่มากกว่าโซ่โรลเลอร์โดยที่มีระยะพิตช์เท่ากัน



รูปที่ 2.11 โซ่บูช [2:หน้า311]

- โซ่ฟัน (Toothed chains)

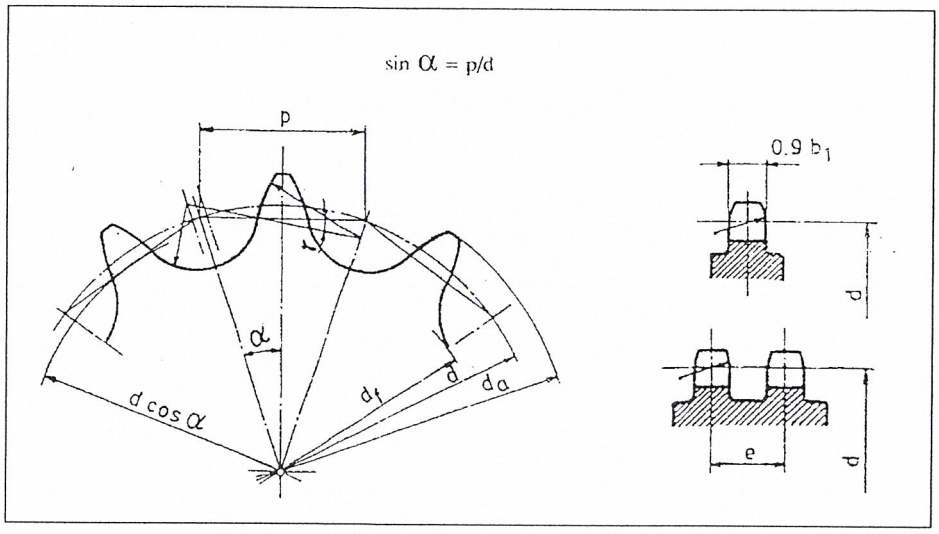
อาจเรียกว่า Silent chain ก็ได้ โซ่ฟันประกอบด้วยแผ่นต่อหลายแผ่นเรียงซ้อนกันและยึดติดกันด้วยแผ่นต่อสองแผ่นแต่ละแผ่นจะมีฟันสองฟัน ข้อต่อจะทำหน้าที่เป็นจุดหมุนของโซ่ ทำให้โซ่แนบสนิทกับฟันบนโซ่เฟือง จึงมีการสึกหรอน้อย



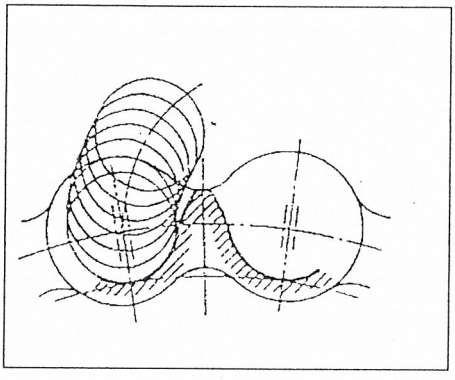
รูปที่ 2.12 โซ่ฟัน [2:หน้า312]

2.5.3 เฟืองโซ่

เส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์ของโซ่เฟือง d ดังรูปที่ 2.13 คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของวงกลมที่ลากผ่านจุดศูนย์กลางของข้อต่อโซ่ที่คล้องอยู่บนเฟืองโซ่ ซึ่งก็คือ วงกลมที่ลากผ่านมุมของรูปหลายเหลี่ยมที่เกิดขึ้นเนื่องจากโซ่คล้องบนเฟืองโซ่ เซอร์คิวลาพิตช์ Pc ของวงพิตช์ซึ่งวัดตามส่วนโค้งของวงกลมพิตช์ จึงมีค่ามากกว่าระยะพิตช์ p ของโซ่ ของโซ่สำหรับเฟืองโซ่หนึ่งจะมีมุมพิตช์ α เป็นค่าคงที่ ซึ่ง



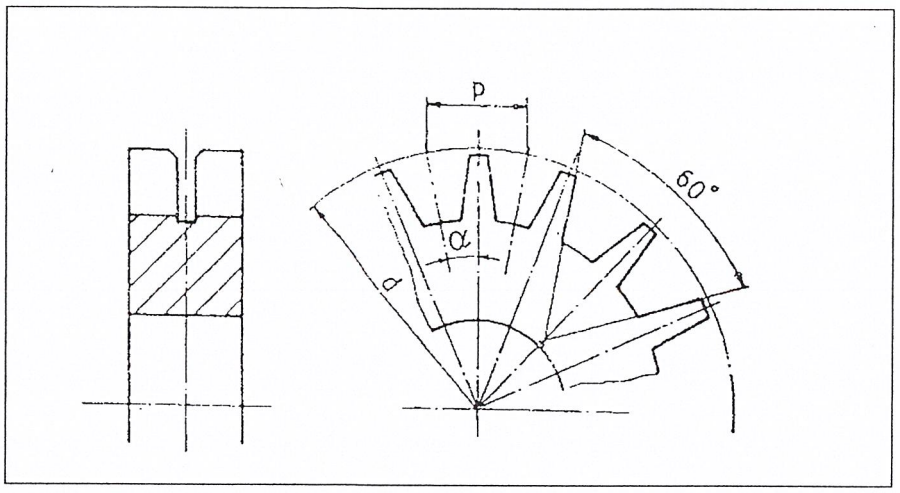
รูปที่ 2.13 เฟืองโซ่สำหรับโซ่โรลเลอร์และโซ่บูช [2:หน้า313]



รูปที่ 2.14 การเคลื่อนที่ของโรลเลอร์ขณะส่งกำลัง [2:หน้า314]

ลักษณะของฟันเฟืองโซ่จะต้องทำให้การเคลื่อนที่ของโรลเลอร์เคลื่อนที่ไปได้อย่างสะดวก ซึ่งจะเห็นการเคลื่อนที่ของโรลเลอร์ได้ดังรูปที่ 2.8 นอกจากนี้อาจจะมีลักษณะที่แตกต่างไปอีกความต้องการของบริษัทผลิต เพื่อให้โซ่มีมุม γ ตามความต้องการ

เฟืองโซ่สำหรับโซ่โรลเลอร์ และโซ่บูช จะมีมุมกดต่างกันไปมาก ถ้ามุมกด γ โตมากจะทำให้โซ่ยืดออกใกล้เคียงกันทุกข้อ แต่จะทำให้โซ่ด้านหย่อนตึงขึ้น และทำให้เกิดเสียงดังในขณะขับมากขึ้น



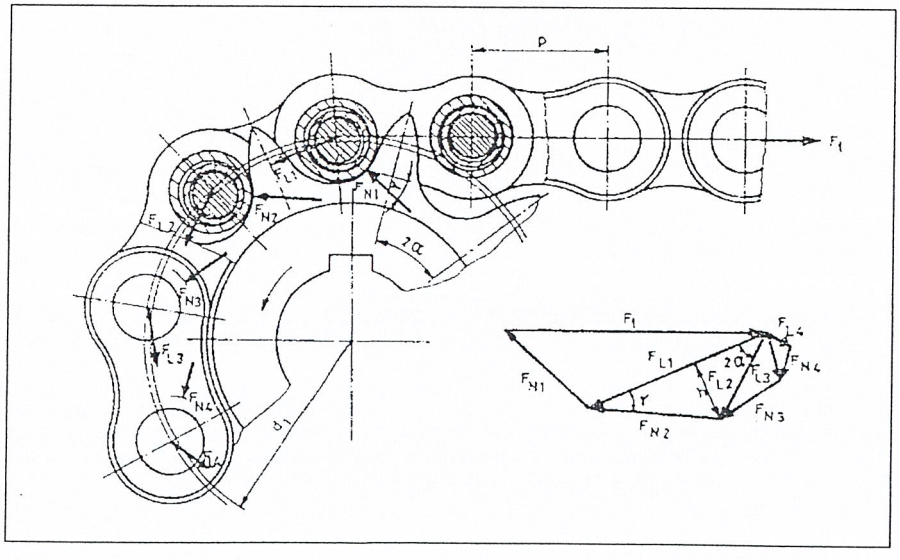
รูปที่ 2.15 เฟืองโซ่สำหรับโซ่ฟัน [2:หน้า314]

เฟืองโซ่สำหรับโซ่ฟัน มีฟันเป็นเส้นตรง มุมระหว่างฟันเท่ากัน 60° ปลายฟันจะทำให้มน เพื่อป้องกันการสึกหรอในขณะขับ

2.5.4 การส่งกำลัง

ในขณะส่งกำลังแรงในแนวแกนเส้นสัมผัส F_t ที่เกิดจากโซ่กระทำกับเฟืองโซ่มีลักษณะดังรูปที่ 2.11 ซึ่งจะเห็นได้ว่าแรงตามแนวยาวของโซ่ F_L จะลดลงจากฟันหนึ่งไปอีกฟันหนึ่ง แผนภาพของแรง สร้างขึ้นได้โดยถือว่าที่ข้อผลรวมของแรงบนข้อต่อตามความยาว F_L และในแนวตั้งฉาก F_N จะต้องเท่ากับศูนย์ จะเห็นได้ว่ามุมสัมผัสโซ่กับเฟืองโซ่มีค่าน้อย และมุม γ มีค่ามาก จะมีแรงเหลืออยู่ทางด้านหย่อนมาก (คือ แรง FL ดังรูปที่ 2.11) แรงตามแนวยาวของโซ่ F_L เป็นแรงที่ทำให้โซ่ยืดน้อยลง

มุมที่ข้อต่อโซ่หมุนไปในขณะขับโดยเฟืองโซ่มีค่าเท่ากับ 180 องศาหารด้วยจำนวนฟัน Z ของเฟืองโซ่ ดังนั้น ถ้าเฟืองโซ่มีจำนวนฟันน้อย มุมหมุนของข้อต่อโซ่จะมีมาก ทำให้เกิดการสึกหรอที่บูช และสลักมากขึ้น และถ้าเฟืองโซ่มีระยะพิตช์เท่ากัน เฟืองโซ่ที่โตกว่าจะส่งกำลังได้น้อยกว่าเฟืองโซ่เล็ก ดังนั้นในทางปฏิบัติจึงมีข้อแนะนำสำหรับการเลือกใช้จำนวนฟันของเฟืองดังนี้



รูปที่ 2.16 การส่งกำลังจากเฟืองโซ่ไปยังโซ่โรลเลอร์ [2:หน้า315]

ความเร็วต่ำมาก	Z_{min}	=	12	ฟัน
ความเร็วต่ำ	Z_{min}	=	17	ฟัน
ความเร็วปานกลาง	Z_{min}	=	21	ฟัน
ความเร็วสูง	Z_{min}	=	25	ฟัน
สำหรับขับเพื่อทดสอบความเร็ว ให้ใช้	Z_{min}	=	23	ฟัน

โดยปกติมักจุใช้จำนวนฟันของเฟืองโซ่เป็นเลขคี่ และจำนวนข้อต่อโซ่เป็นเลขคู่เพื่อช่วยให้ความถี่ในการสัมผัสระหว่างฟันของเฟืองโซ่น้อยลง ช่วยให้โซ่มีการสึกหรอสม่ำเสมอ

- แรงในแนวเส้นสัมผัสในการส่งกำลัง ถ้าโซ่รับแรงสม่ำเสมอและเฟืองโซ่หมุนด้วยความเร็วคงที่ โซ่จะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ Vและมีแรงในแนวเส้นสัมผัส F_t ซึ่งจะมีค่าได้จากกำลังที่ส่ง W_pหรือโมเมนต์บิดที่ต้องการส่ง T ความเร็วของโซ่หาได้จาก

$$V = \pi dn = P_c * z * n = p * z * n$$

ดังนั้นแรงในแนวเส้นสัมผัส

$$F_t = W_P / V \qquad (2.12)$$

หรือ $$F_t = 2\pi Tn / V = 2\pi Tn / pzn = 2\pi T / pz = 2T / d \qquad (2.13)$$

โดยที่ F_t = แรงในแนวเส้นสัมผัส

W_p = กำลังคน

T = โมเมนต์บิด

V = ความเร็วขอบของเฟืองโซ่

z = จำนวนฟันของเฟืองโซ่

n = ความเร็วรอบของเฟืองโซ่

- แรงดึงชั้นต้นในโซ่ด้านหย่อนที่เหมาะสมควรมีค่าเท่ากับแรงที่เหลืออยู่ในด้านหย่อน คือแรง F_{L4} ซึ่งคำนวณหาค่าได้โดย

$$h = F_{L2} \sin 2\alpha = F_{N2} \sin \gamma$$

และ $$F_{L1} = F_{L2} \cos 2\alpha + F_{N2} \cos \gamma$$

ดังนั้น $$F_{L1} = F_{L2} \left(\cos 2\alpha + \frac{\sin 2\alpha \cos \gamma}{\sin \gamma} \right)$$

$$= F_{L2} \frac{\sin(2\alpha + \gamma)}{\sin \gamma} \qquad (2.14)$$

และ $$F_{L2} = F_{L1}\frac{\sin\gamma}{\sin(2\alpha+\gamma)} = F_{L1} = \frac{\sin\gamma}{\sin\ \frac{360}{z}+\gamma} \qquad (2.15)$$

ถ้าให้ Z_b เป็นจำนวนฟันทั้งหมดในส่วนโค้งสัมผัสระหว่างโซ่กับเฟืองโซ่ ดังนั้นแรงที่อยู่ในโซ่จะเท่ากับ

$$F_i = F_t \quad \frac{\sin\gamma}{\sin\left(\frac{360}{z}+\gamma\right)}^{Z_b}$$

โดยที่ F_i = แรงดึงชั้นต้น

เมื่อให้ β เป็นมุมสัมผัสจะได้ว่า

$$Z_b = \frac{\beta Z}{360} \qquad (2.16)$$

2.6 ทฤษฎีเกี่ยวกับสายพาน

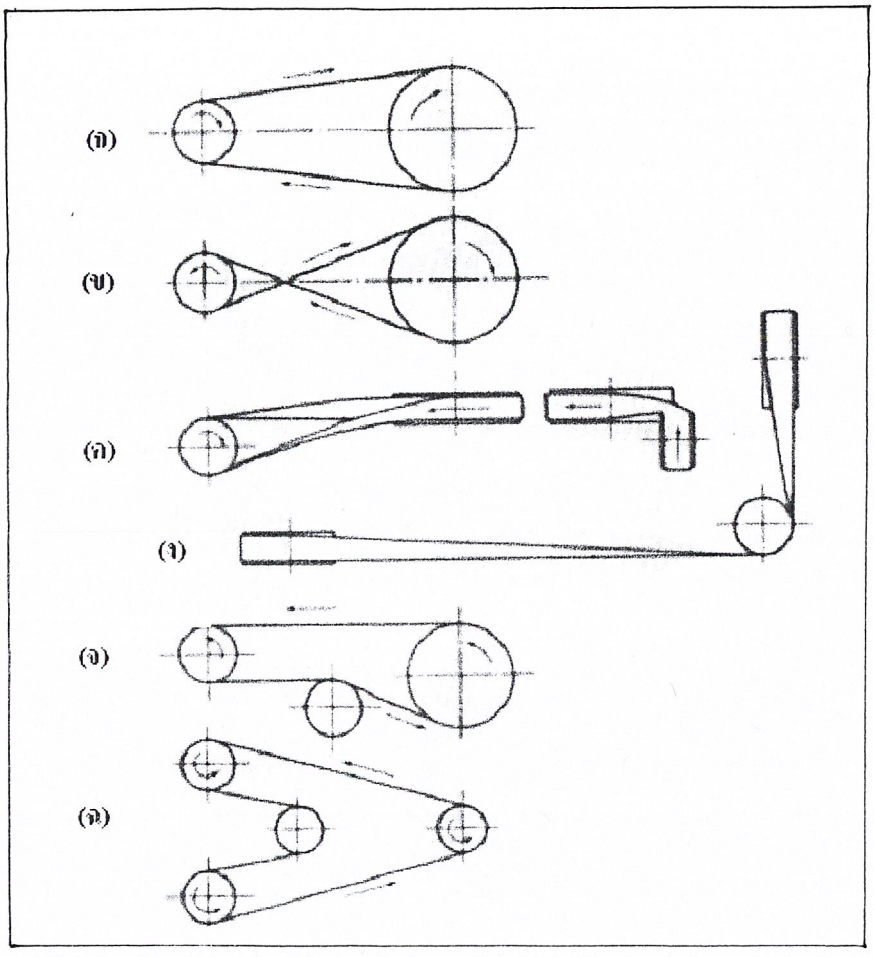
การส่งกำลังทางกลจากเพลาอันหนึ่งไปยังเพลาอีกอันหนึ่ง โดยสายพานเป็นการส่งกำลังแบบอ่อนตัวได้ (Flexible) ซึ่งมีข้อดีและข้อเสียหลายประการเมื่อเปรียบเทียบกับการส่งกำลังโดยใช้เฟือง ข้อดีก็คือ มีราคาถูกและใช้งานง่าย รับแรงกระตุกและการสั่นสะเทือนได้ดี ขณะใช้งานไม่มีเสียงดังและค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาต่ำ ข้อเสียคือ อัตราทดไม่แน่นอนนักเนื่องจากการสลิป (slip) และการครีพ (creep) ของสายพาน และต้องมีการปรับระยะห่างระหว่างเพลาหรือปรับแรงดึงในสายพานระหว่างการใช้งาน นอกจากนั้นยังไม่อาจใช้งานที่อัตราทดสูงมากได้

2.6.1 ชนิดสายพาน

สายพานแบ่งออกเป็นสี่ชนิดตามลักษณะหน้าตัดของสายพาน คือ สายพานแบน(flat belts) มีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า สายพานลิ่ม (V-belts) มีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู สายพานกลม (ropes) มีหน้าตัดเป็นรูปวงกลม และไทม์มิงเบ็ลท์ (timing belts)มีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมูแต่จะทำเป็นร่องคล้ายฟันเฟืองตลอดความยาวสายพาน สายพานแต่ละชนิดจะมีการใช้งานต่างกัน

2.6.2 ลักษณะการขับด้วยสายพาน

เนื่องจากคุณสมบัติในการอ่อนตัวของสายพาน จึงอาจจัดลักษณะการขับของสายพานได้ต่าง ๆ กัน ดูได้จากรูป



รูปที่ 2.17 ลักษณะการขับด้วยสายพาน (ก)โอพีนไดรว์ (ข) ครอสไดรว์ (ค) ควอเตอร์เทรนไดรว์ (ง) มิวล์ไดรว์ (จ)แสดงการขับเคลื่อนโดยใช้ล้อช่วย (ฉ) ริเวอสไดรว์ [2:หน้า253]

2.6.3 กลศาสตร์ของสายพานลิ่ม

ในการขับด้วยสายพานลิ่ม แรง)ปฏิกิริยาระหว่างสายพานกับล้อสายพานจะอยู่ในทิศทางตั้งฉากกับผิวสัมผัส ให้ Fn เป็นแรงปฏิกิริยาในแนวตั้งฉากระหว่างผิวสัมผัสของสายพานกับร่องล้อสายพาน ดังนั้นสมการของสายพานแบนในกรณีของสายพานลิ่มจะกลายเป็น

$$2fFn = dF$$

แรงปฏิกิริยารวมของแรง Fn ทั้งสองแรงคือ

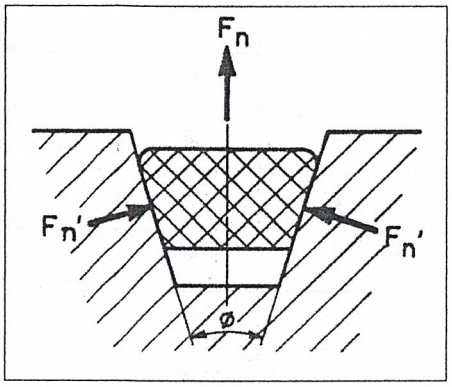
$$Fn = 2Fn \sin\frac{\phi}{2}$$

หรือ

$$Fn = \frac{Fn}{2\sin\frac{\phi}{2}}$$

แทนค่า Fn จะได้

$$\frac{fF_n}{\sin\frac{\phi}{2}} = dF$$



รูปที่ 2.18 แรงบนสายพานลิ่ม [2: หน้า 284]

กำลังที่สายพานส่งได้

$$W_p = z(F_1 - F_2)v$$

2.6.4 การคำนวณหาขนาดของสายพานลิ่ม

การเลือกขนาดของสายพานลิ่มจะแตกต่างไปจากสายพานแบนเล็กน้อย คือ จะใช้วิธีการคำนวณหาจำนวนเส้นของสายพานลิ่มที่ต้องการใช้งานจากกำลังงานที่ต้องการขับ และตัวประกอบที่ใช้แก้ไขต่าง ๆ จำนวนเส้นของสายพานลิ่มหาได้จากสมการ

$$Z = \frac{W_P \times N_s}{P_R \times N_a \times N_1} \qquad (2.14)$$

โดยที่ Z = จำนวนเส้นของสายพานลิ่ม

W_p = กำลังงานที่ต้องการส่ง

N_S = ตัวประกอบใช้งานหาค่าได้จากตาราง ฌ.

N_a = ตัวประกอบแก้ไขส่วนโค้งสัมผัส หาค่าได้จากตาราง ฎ.

N_1 = ตัวประกอบแก้ไขความยาวสายพาน (belt length correction factor) หาค่าได้จากตาราง

P_R = กำลังที่สายพานลิ่มหนึ่งเส้นส่งได้ หาได้จากตาราง

สำหรับระยะห่างระหว่างศูนย์กลาง (c) หาได้จาก

$$C = p + \sqrt{p^a - q} \qquad (2.15)$$

โดยที่ $p = 0.25 L_p - 0.393 (D_p + d_p)$

$q = 0.125 (D_p - d_p)^a$

L_p = ความยาวพิตช์โดยประมาณ

D_p = ขนาดล้อสายพานตาม

d_p = ขนาดล้อสายพานขับ

สำหรับการหาแรงดึงชั้นต้นในสายพาน

$$Fi = (kiF + zk_2 V^2) \sin \frac{\alpha}{2} \quad (2.16)$$

โดยที่ F = แรงดึงในสายพานขณะส่งกำลัง

k = ตัวประกบการใช้งานดูได้จากตาราง.

V = ความเร็วสายพาน

d = มุมโค้งของสายพาน

สำหรับการหาอัตราทด

$$\text{อัตราทด} = \frac{\text{ความเร็วรอบของล้อขับ}}{\text{ความเร็วรอบของล้อตาม}} \quad ; M_W = \frac{N_i}{N_z} \quad (2.17)$$

สำหรับการหาความยาวพิตช์

$$L_p \approx 2C + 1.57 (D_{p+} d_p) + \frac{(D_p - d_p)^2}{C} \quad (2.18)$$

L_p = ความยาวพิตช์

C = ระยะห่างระหว่างศูนย์กลาง

D_p = ขนาดล้อสายพานตาม

D_p = ขนาดล้อสายพานขับ

สำหรับระยะห่างระหว่างศูนย์กลาง

$$q = 0.125 (D_{p-} d_p)^a \quad (2.19)$$

$$P = 0.25 L_p - 0.393 (D_p + d_p) \quad (2.20)$$

สำหรับส่วนโค้งสัมผัส

$$\frac{D_p - d_p}{C} \quad (2.21)$$

สำหรับมุมโอบของสายพาน

$$\alpha = r\text{ -2Sin}-1 \frac{(D_p - d_p)}{2C} \text{ red} \quad (2.22)$$

α = มุมโอบของสายพาน

D_p = ขนาดล้อสายพานตาม

d_p ขนาดล้อสายพานขับ

C = ระยะห่างระหว่างศูนย์กลาง

สำหรับความเร็วสายพาน

$V = rd_p n$

V = ความเร็วของสายพาน

d_p = ขนาดล้อสายพานขับ

n = ความเร็วรอบ

สำหรับแรงดึงสายพานขณะส่งกำลัง

$F = W_p/V$

F = แรงดึงสายพาน

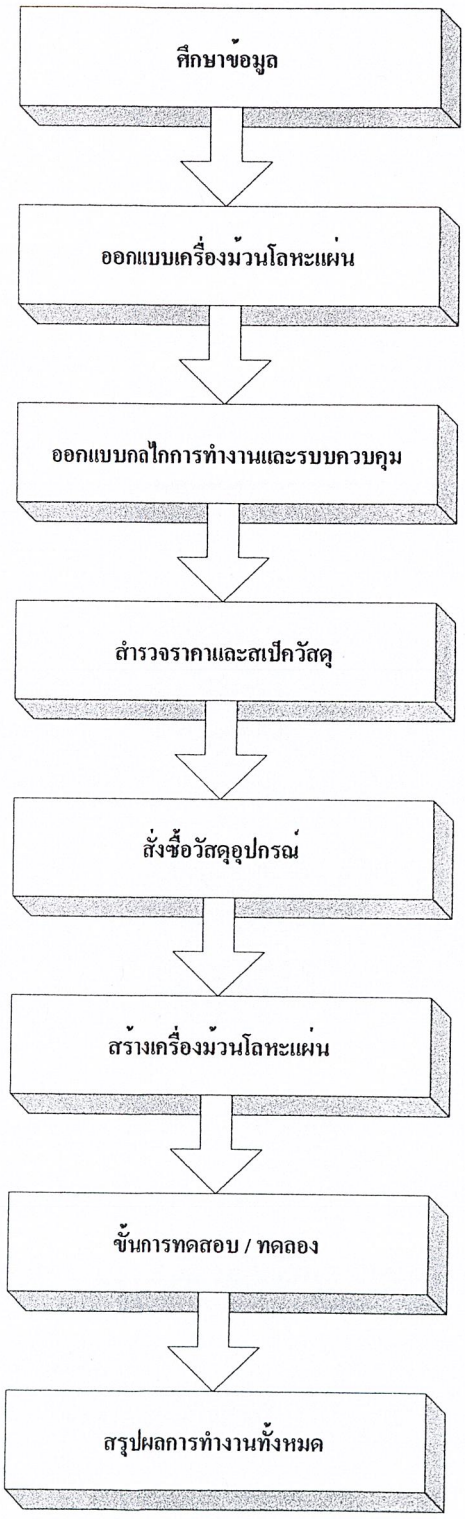
W_p = กำลังที่ต้องการส่ง

V = ความเร็วของสายพาน

บทที่ 3

การออกแบบ / การดำเนินงาน

3.1 การวางแผนการดำเนินงาน



3.2 การออกแบบ / ส่วนประกอบ

3.2.1 การคำนวณระบบสายพาน

การเลือกขนาดของสายพานลิ่มจะแตกต่างไปจากสายพานแบนเล็กน้อย คือ จะใช้วิธีการคำนวณหาจำนวนเส้นของสายพานลิ่มที่ต้องการใช้งานจากกำลังงานที่ต้องการขับ และตัวประกอบที่ใช้แก้ไขต่าง ๆ จำนวนเส้นของสายพานหาได้จากสมการ

$$Z = \frac{W_P \times N_s}{P_r \times N_a \times N_l}$$

$$= 2 \text{ เส้น}$$

ระยะห่างระหว่างศูนย์กลาง (c) หาได้จาก

$$C = p + \sqrt{p^2 - q}$$

$$= 316.2 \text{ mm.}$$

โดยที่ $p = 0.25Lp - 0.393(Dp + dp)$

$= 159.4806$ mm.

$q = 0.125 (Dp - dp)2$

$= 886.205$

Lp = ความยาวพิตช์โดยประมาณ

Dp = ขนาดล้อสายพานตาม

dp = ขนาดล้อสายพานขับ

การหาแรงดึงชั้นต้นในสายพาน

$$Fi = (kiF + zk_2 V^2) \sin \frac{\alpha}{2}$$

$$= 406.270 \text{ N.}$$

โดยที่

F = แรงดึงในสายพานขณะส่งกำลัง

k = ตัวประกบการใช้งานดูได้จากตาราง.

V = ความเร็วสายพาน

d = มุมโค้งของสายพาน

การหาอัตราทด

$$\text{อัตราทด} = \frac{\text{ความเร็วรอบของล้อขับ}}{\text{ความเร็วรอบของล้อตาม}} \quad ; \quad M_\omega = \frac{N_i}{N_z}$$

สำหรับการหาความยาวพิตช์ $\frac{(D_p - d_p)^2}{C}$

LP	≈	2C + 1.57 (Dp+dp) +
	=	898 mm.
Lp	=	ความยาวพิตช์
C	=	ระยะห่างระหว่างศูนย์กลาง
Dp	=	ขนาดล้อสายพานตาม
Dp	=	ขนาดล้อสายพานขับ

มุมโอบของสายพาน

$$\alpha = r - 2\sin\frac{(D_p - d_p)}{2C}$$

= 164.687 องศา

Dp	=	ขนาดล้อสายพานตาม
dp	=	ขนาดล้อสายพานขับ
C	=	ระยะห่างระหว่างศูนย์กลาง

ความเร็วสายพาน

$$V = \pi\, dp\, n$$

= 3.72 m/s

V	=	ความเร็วของสายพาน
dp	=	ขนาดล้อสายพานขับ
n	=	ความเร็วรอบ

แรงดึงสายพานขณะส่งกำลัง

$$F = Wp/V$$

= 201.405 N.

F	=	แรงดึงสายพาน
Wp	=	กำลังที่ต้องการส่ง
V	=	ความเร็วของสายพาน

3.2.2 การคำนวณระบบส่งกำลังด้วยเฟือง/โซ่

$$\text{อัตราทด} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{10.54}{5} = 2.10$$

เลือกจำนวนฟันบนเฟืองโซ่ และจำนวนฟันบนพีเนียน Z = 13ฟัน

อุปกรณ์ขับเป็นประเภท มอเตอร์ไฟฟ้าหรือกังหันได้ Ns = 1.1หากำลังที่ใช้เลือกโซ่

$$P = Wp * Ns$$

$$= 0.825 \text{ Kw.}$$

เลือกใช้โซ่หนึ่งชั้น มีระยะพิตช์ 15.875 mm.ซึ่งให้ชื่อเป็นมาตรฐานว่า โซ่โรลเลอร์ ISO/R 606 10A-1 ซึ่งมีแรงแตกหัก 21.78 และมีมวล 0.98 Kg/m

ตรวจสอบความสามารถในการรับแรงของโซ่

ความเร็วโซ่ v = p * z * n = 0.0466 m/s

แรงในแนวเส้นสัมผัส

$$= \frac{W_P}{V} = 17.70 \text{ kN.}$$

แรงหนีศูนย์กลาง

$$= \frac{W * V^2}{g} = 0.267 \text{ kN}$$

แรงดึงในโซ่

$$F = Ft + Fct = 17.97 \text{ kN.}$$

ค่าความปลอดภัยใช้งาน

$$= \frac{F_b}{F} = 1.24 \text{ ใช้งานได้}$$

หาจำนวนข้อโซ่

$$X = \frac{2C}{P} + \frac{Z_2 + Z_1}{2} + \left(\frac{Z_2 - Z_1}{2\pi}\right)^2 \left(\frac{P}{C}\right) = 106 \text{ ข้อ}$$

เลือกใช้ 106 ข้อ

หาระยะระหว่างศูนย์กลางที่แท้จริง

$$C = \frac{P}{4}\left(x - \frac{Z_2 + Z_1}{2} + \sqrt{x - \frac{Z_2 + Z_1}{2} - \frac{2(Z_2 - Z_1)^2}{\pi}}\right) = 656 \text{ mm.}$$

∴ เลือกใช้โซ่โรลเลอร์ ISO/R606 10A-1 จำนวน 106 ข้อ

3.2.3 การคำนวณระบบเกลียว/เกลียวส่งกำลัง

พิจารณาโมเมนต์บิดที่เกิดขึ้นที่เกลียวส่งกำลังจะได้

$$T_R = \frac{Wd_m}{2}\left(\frac{f_s + \cos\Phi \tan\alpha}{\cos\Phi - f_s \tan\alpha}\right) + r_{mc} f_c W \quad \text{กรณีเลื่อนขึ้น}$$

Rollers B = 22.91 N

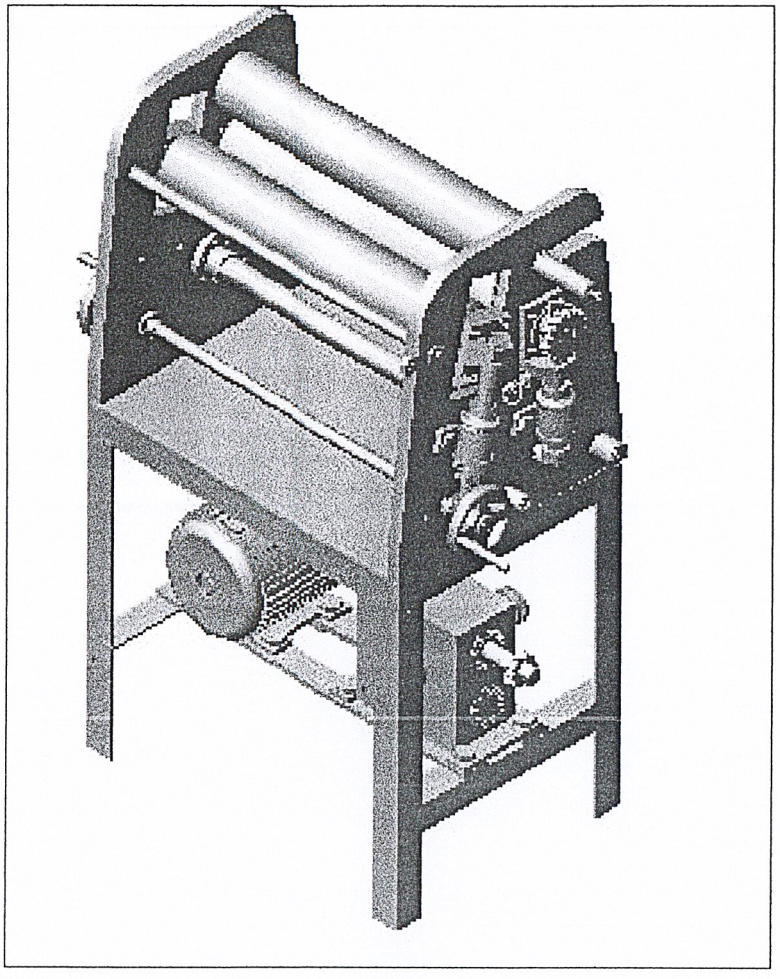
Rollers C = 18 N

$$T_l = \frac{Wd_m}{2}\left(\frac{f_s - \cos\Phi \tan\alpha}{\cos\Phi - f_s \tan\alpha}\right) + r_{mc} f_c W$$ กรณีเลื่อนลง

Rollers B = 17.66 N

Rollers C = 12.80 N

3.3 แบบเครื่องม้วนโลหะแผ่น



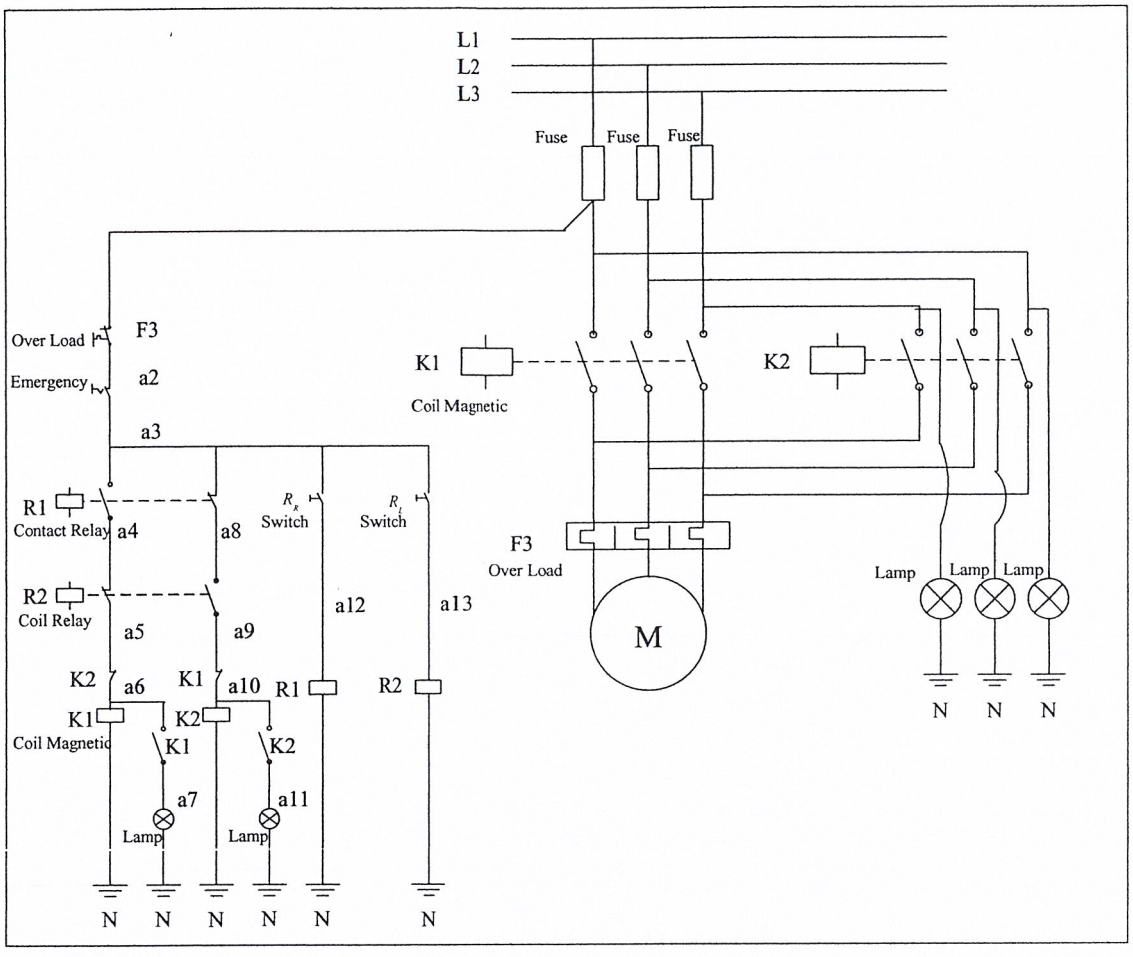
รูปที่ 3.1 แบบเครื่องม้วนโลหะแผ่น

3.4 รายละเอียดการทำงาน

รายละเอียดการทำงานในการออกแบบและสร้างเครื่องม้วนโลหะแผ่นมีรายละเอียด ดังนี้

1. ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับเครื่องม้วนโลหะชนิดต่างๆ และข้อดีข้อเสียของแต่ละชนิด
2. เลือกแบบที่เหมาะสมที่สุด โดยคำนึงถึงขอบเขตการทำงาน ความเป็นไปได้ในการออกแบบและสร้าง
3. ทำการออกแบบและศึกษาชิ้นส่วนและวัสดุอุปกรณ์ต่างๆที่ต้องใช้ในเครื่องม้วนโลหะ
4. นำแบบและข้อมูลที่ได้ทำการศึกษาไปปรึกษาอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการเพื่อขอคำแนะนำและข้อบกพร่อง
5. ทำการหาข้อมูลของชิ้นส่วนมาตรฐาน รวมถึงวัสดุอุปกรณ์ต่างๆที่ต้องใช้ในการสร้างเครื่องม้วนโลหะ
6. ทำการเขียนแบบชิ้นส่วนที่ได้ออกแบบไว้
7. ทำการสำรวจราคาของชิ้นส่วนและวัสดุอุปกรณ์ต่างๆ รวมถึงระบบในการควบคุมเครื่องตามที่ได้ออกแบบไว้
8. วางแผนขั้นตอนการดำเนินงานและทำการปรึกษาอาจารย์ที่ปรึกษาว่าชิ้นส่วนใดมีความจำเป็นที่จะต้องซื้อหรือชิ้นส่วนใดควรทำเอง
9. ทำการสร้างชิ้นส่วนที่สามารถทำเองได้ เช่น ชิ้นส่วนโครงสร้างเครื่องม้วนโลหะ ลูกกลิ้งหรือตัวโลเลอร์และวงจรที่ใช้ในการควบคุม
10. ทำการประกอบชิ้นส่วนต่างๆตามที่ได้สร้างไว้
11. ตรวจดูความเรียบร้อยต่าง ๆ ของเครื่องม้วนโลหะแผ่น
12. ทำการทดลองเพื่อดูผล บันทึก และวิเคราะห์ เพื่อการแก้ไข
13. สรุปผลของโครงการ

3.5 การออกแบบด้านระบบควบคุมมอเตอร์



รูปที่ 3.2 วงจรการควบคุมมอเตอร์แบบ 3 เฟส

3.6 แผนการทดสอบเครื่องม้วนโลหะแผ่น

แผนการทดสอบเครื่องมีดังนี้

1. ใช้โลหะแผ่นขนาดความหนา 1 มิลลิเมตร 2 มิลลิเมตรและขนาด 4 มิลลิเมตร
2. ใช้โลหะแผ่นขนาดหน้ากว้าง 50 มิลลิเมตร 130 มิลลิเมตรและ 230 มิลลิเมตร
3. ทำการม้วนโลหะแผ่นตามความหนาที่ได้กำหนดไว้ข้างต้นให้ได้รูปทรงกระบอกเหมือนรูปทรงท่อน้ำประปา

บทที่ 4
ผลการดำเนินงาน

ในการจัดทำโครงงานเรื่องเครื่องม้วนโลหะแผ่น ส่วนนี้เป็นส่วนแสดงผลการจัดสร้างและทดลอง เพื่อให้สอดคล้องวัตถุประสงค์ที่วางไว้ โดยการจัดสร้างและทดลองเครื่องจักรรวมถึงรายละเอียดต่างๆของชิ้นส่วนเครื่องจักร เพื่อประโยชน์ในการนำไปเป็นแนวทางในการนำไปดัดแปลงประยุกต์ใช้กับงานประเภทอื่นๆ

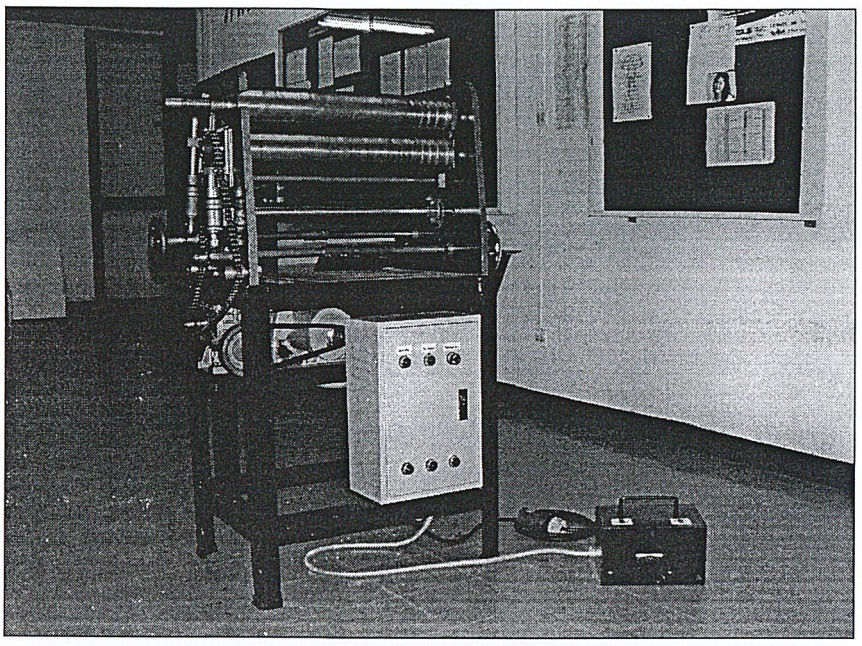
4.1 ผลการสร้างเครื่องม้วนโลหะแผ่น

4.1.1 ผลการออกแบบ

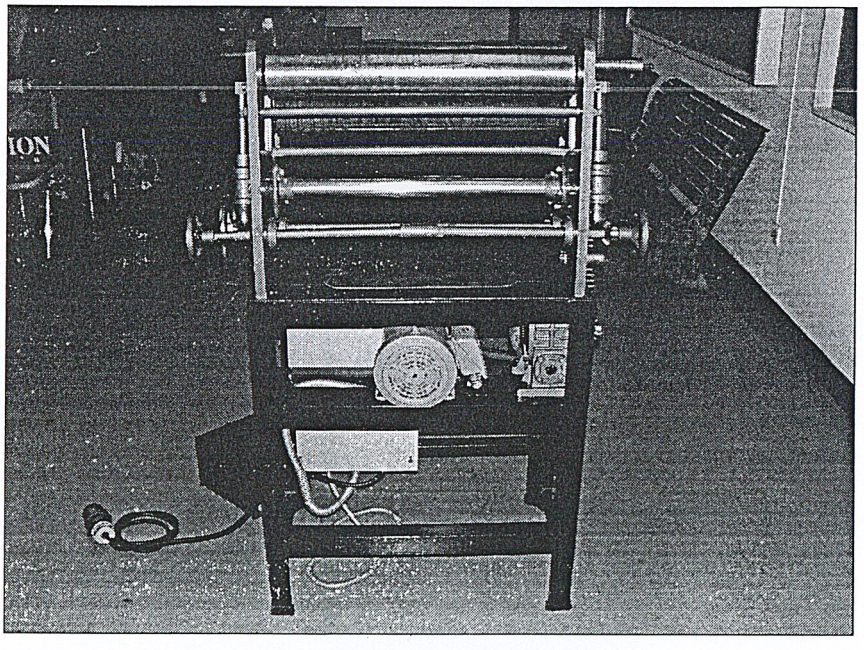
การออกแบบเครื่องม้วนโลหะแผ่นโดยนำหลักการของเครื่องม้วนโลหะแผ่น ที่ใช้ตามโรงงานมาเป็นพื้นฐานของการออกแบบ โดยใช้ โลเลอร์ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 100 มิลลิเมตร ยาว 600 มิลลิเมตร เป็นส่วนที่ใช้ทำการม้วนโลหะแผ่น ส่วนชุดปรับระยะโลเลอร์ใช้เกลียวคางหมู (Tr) M30×5 มิลลิเมตร โดยการปรับระยะนี้จะทำการปรับระยะโดยมือหมุนส่งกำลังไปยังเฟืองดอกจอกที่ขบกับเฟืองดอกจอกอีกตัวหนึ่งที่ยึดติดกับเกลียวคางหมู ส่วนชุดส่งกำลังไปยังโลเลอร์ใช้การส่งกำลังโดยโซ่เฟืองและใช้มอเตอร์ต้นกำลัง 3 เฟส ขนาด 0.75 กิโลวัตต์ ความเร็วรอบ 1400 รอบต่อนาที ต่อวงจรใช้งานแบบสตาร์ โดยกำหนดความเร็วรอบในการทำงาน 12 รอบต่อนาที จึงมีการทดรอบโดยใช้พูเล่ย์ และชุดเกียร์ทด ซึ่งมีอัตราทดรอบ 1:50 วัสดุที่ใช้ในการทดสอบเป็นโลหะแผ่นขนาดความหนา 1 มิลลิเมตร 2 มิลลิเมตรและ 4 มิลลิเมตรในการทดลองนี้ก่อนที่จะทำการม้วนโลหะแผ่นต้องทำการคำนวณขนาดเส้นรอบวงก่อนเพื่อจะได้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางรูในของชิ้นงานที่ต้องการก่อนทำการม้วน จากทฤษฎีที่ได้ใช้ในการออกแบบผลที่ได้คือชิ้นงานที่ถูกม้วนเป็นรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางรูใน 100.5 มิลลิเมตร 130.5 มิลลิเมตร 220 มิลลิเมตร เนื่องจากการยืดตัว

4.1.2 ผลการสร้าง

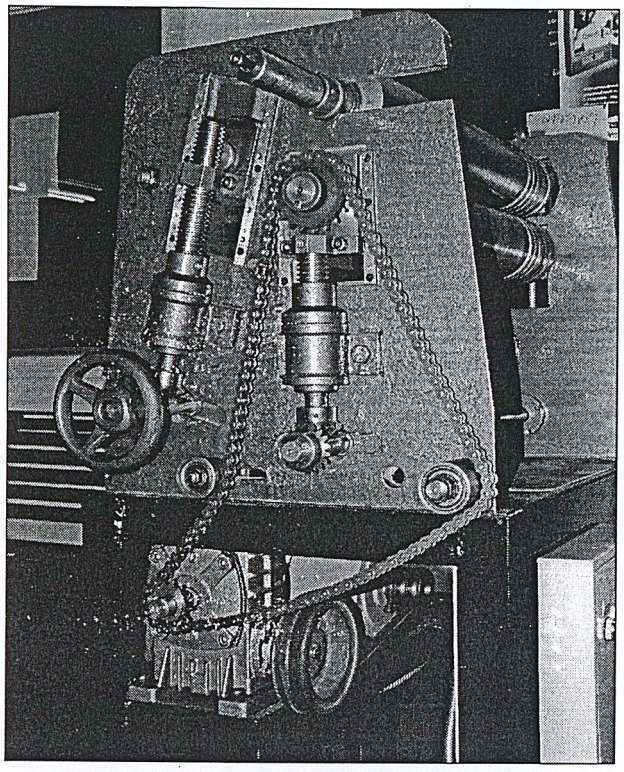
ดำเนินการสร้างเครื่องม้วนโลหะแผ่น ตามที่ได้ออกแบบไว้จนแล้วเสร็จ และได้ทำการทดลองผลการทดลองที่ได้ตรงกับที่ตั้งข้อสมมติฐานไว้ คือ ชิ้นงานถูกม้วนผ่านโลเลอร์เป็นรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางได้ตามขนาดที่ได้ทำการคำนวณไว้ก่อนทำการม้วน เนื่องจากการยืดตัวของโลหะแผ่น โดยผลการสร้างเครื่องม้วนโลหะแผ่น แสดงไว้ดังรูปต่อไปนี้ (ดูรายละเอียดแบบงานได้ที่ภาคผนวก)



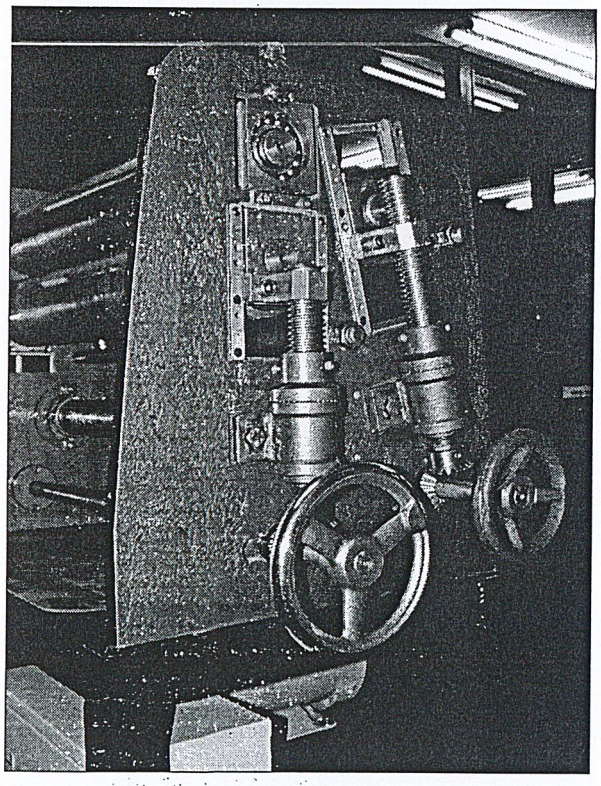
รูปที่ 4.1 ส่วนประกอบต่างๆของเครื่อง



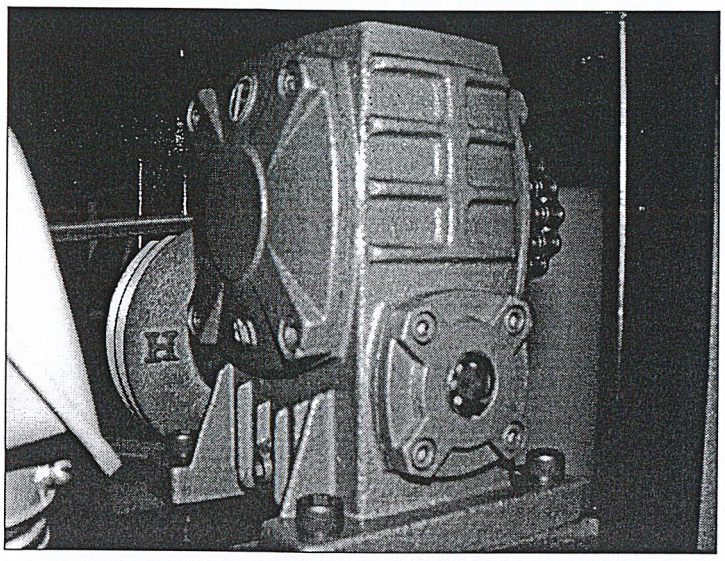
รูปที่ 4.2 ด้านหลังเครื่องม้วนโลหะแผ่น



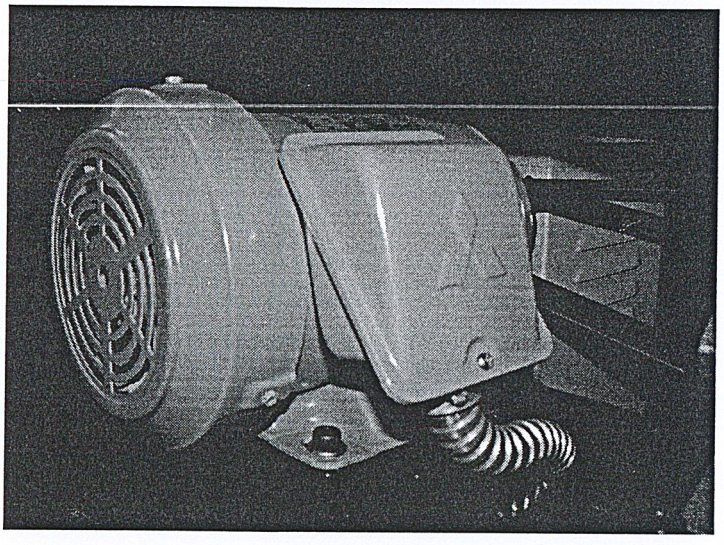
รูปที่ 4.3 แสดงชุดกลไกโซ่เฟืองส่งกำลัง



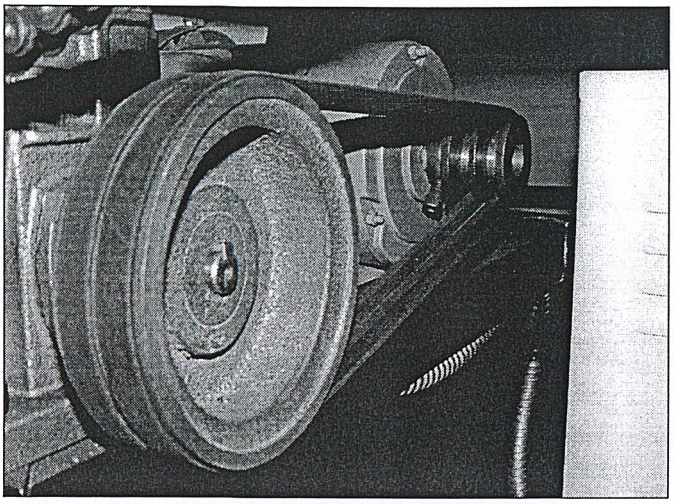
รูปที่ 4.4 แสดงชุดกลไกปรับระยะโลเลอร์



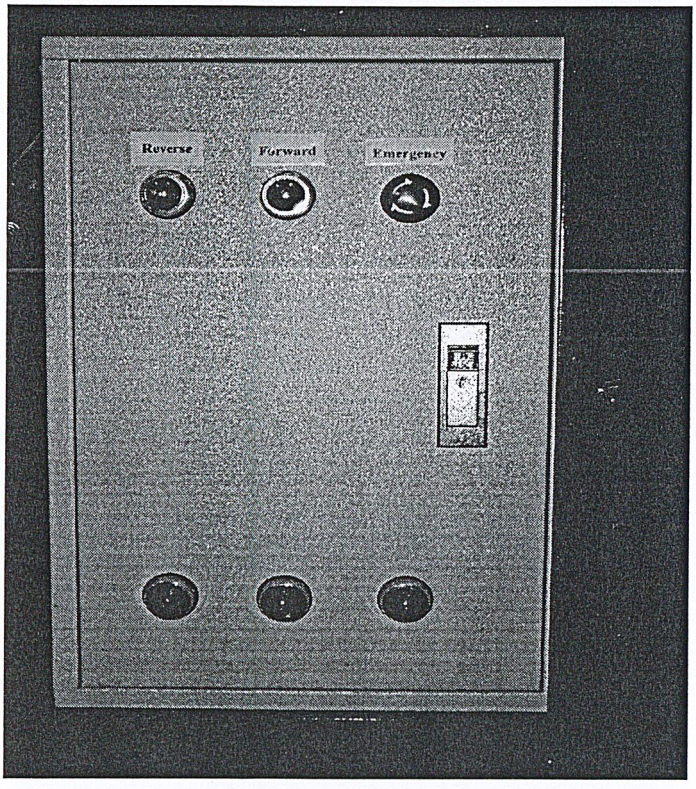
รูปที่ 4.5 ชุดเกียร์ทด



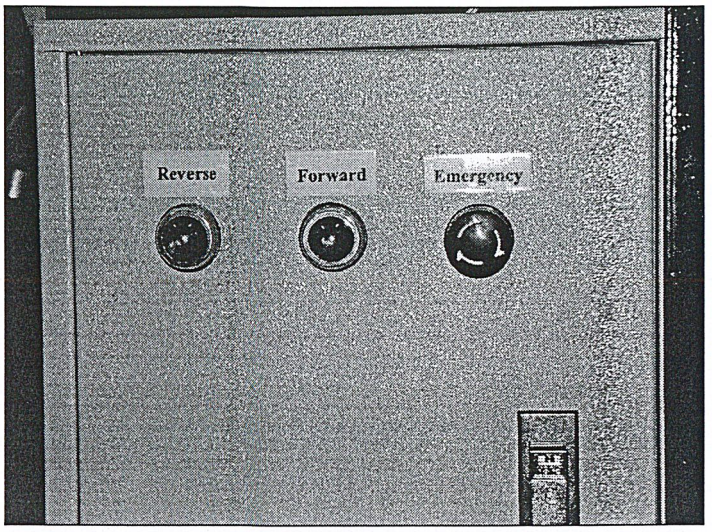
รูปที่ 4.6 มอเตอร์



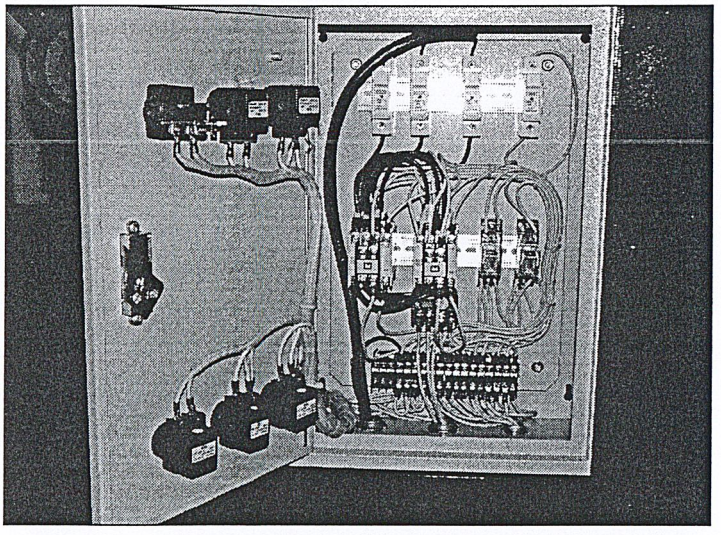
รูปที่ 4.7 พลูเล่ย์สายพาน



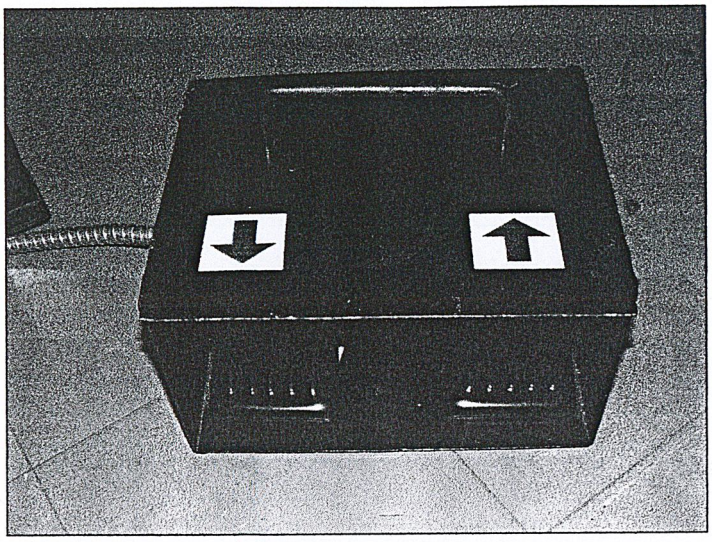
รูปที่ 4.8 กล่องควบคุม



รูปที่ 4.9 หลอดไฟแสดงสถานะ



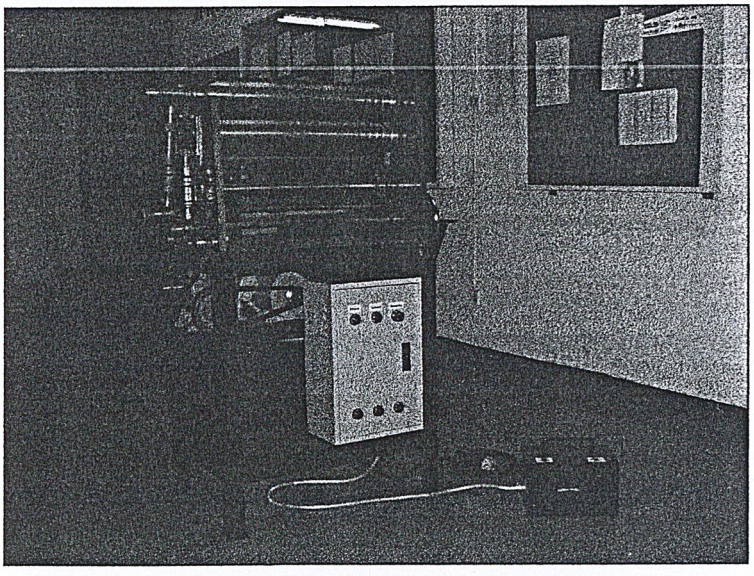
รูปที่ 4.10 วงจรควบคุมการทำงานมอเตอร์



รูปที่ 4.11 สวิตซ์เท้าเหยียบ

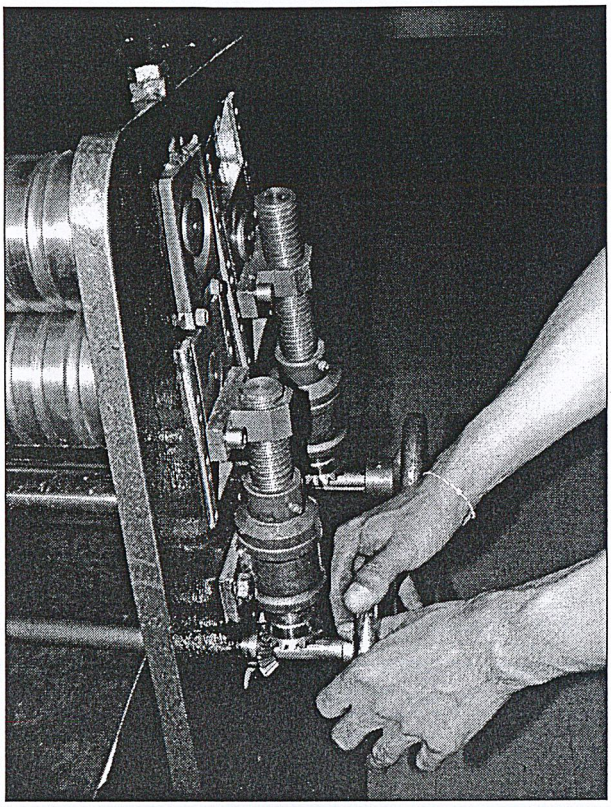
4.2 ผลการทดสอบ

ภาพแสดงเครื่องม้วนโลหะแผ่นก่อนทำการม้วน

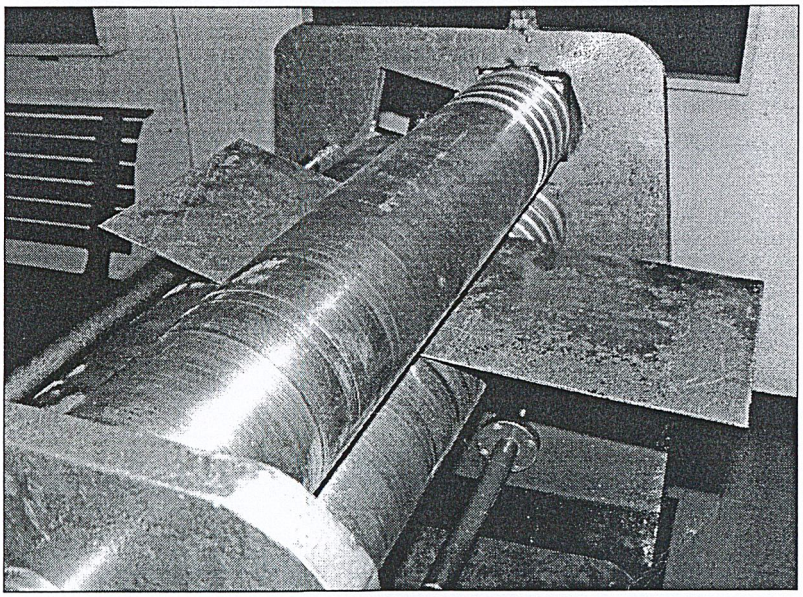


รูปที่ 4.12 เครื่องม้วนโลหะแผ่นก่อนทำการม้วน

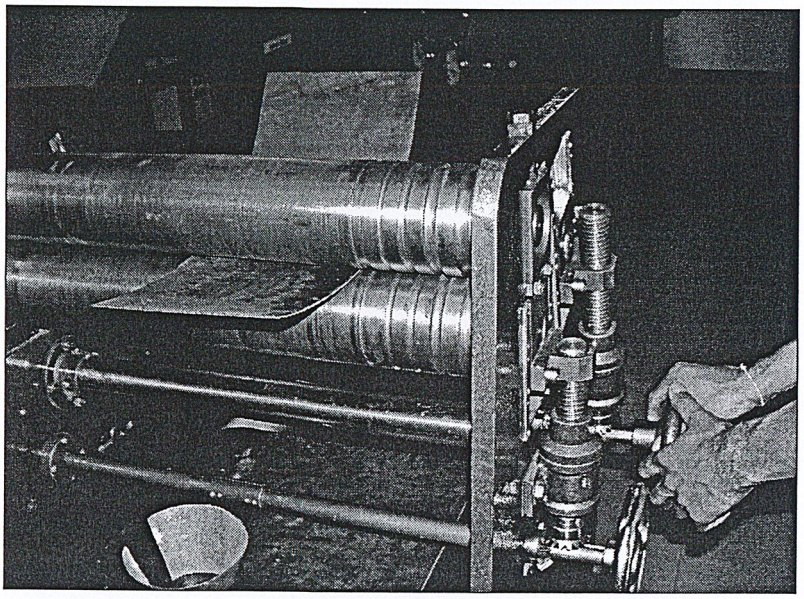
ภาพแสดงการปรับระยะด้วยมือหมุน



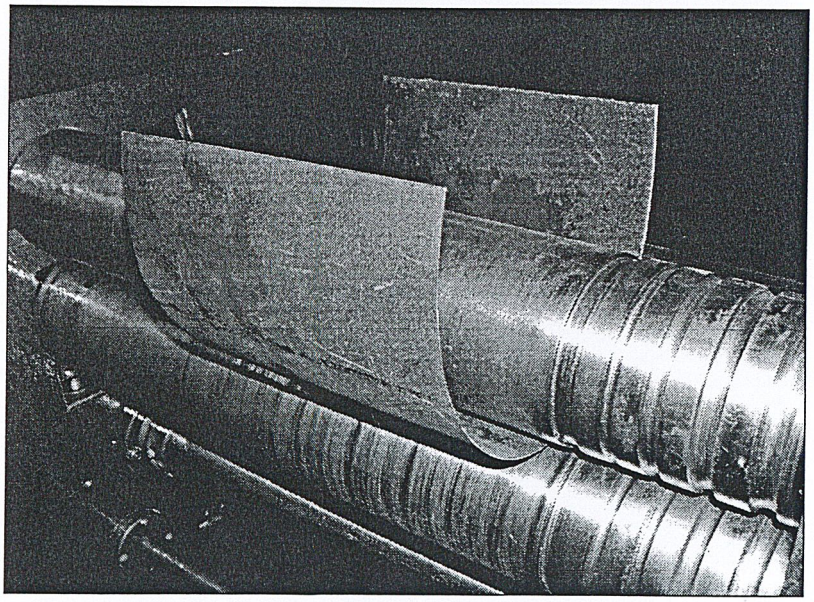
รูปที่ 4.13 การปรับระยะด้วยมือหมุน



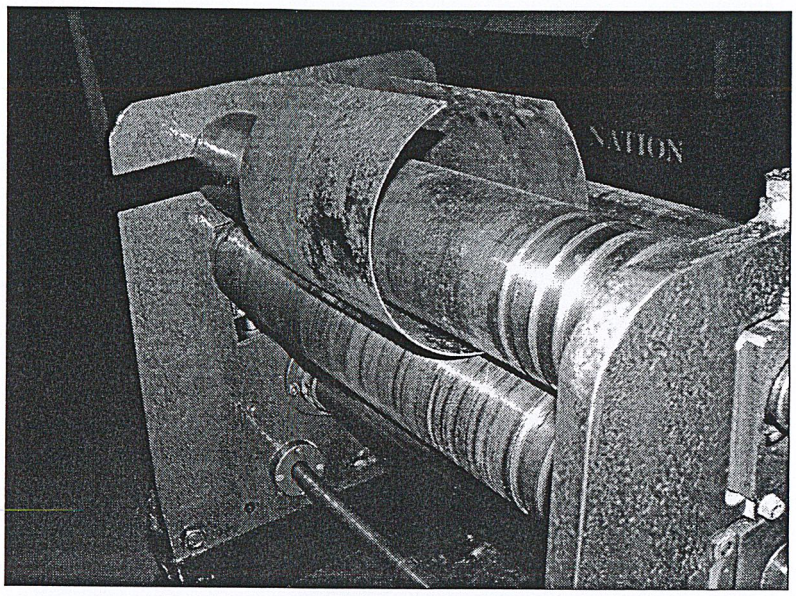
รูปที่ 4.14 เริ่มทำการม้วนชิ้นงาน



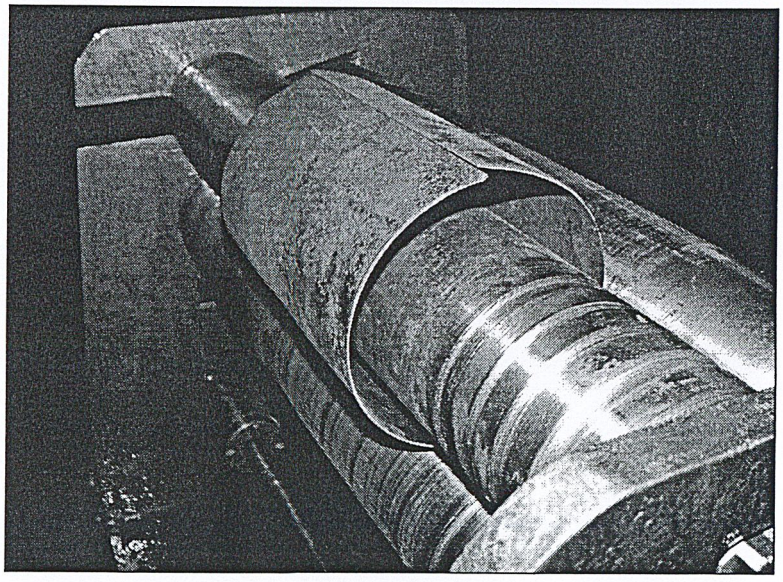
รูปที่ 4.15 ปรับโลเลอร์ตัวที่ 3 ทำให้ชิ้นงานเริ่มเป็นส่วนโค้ง



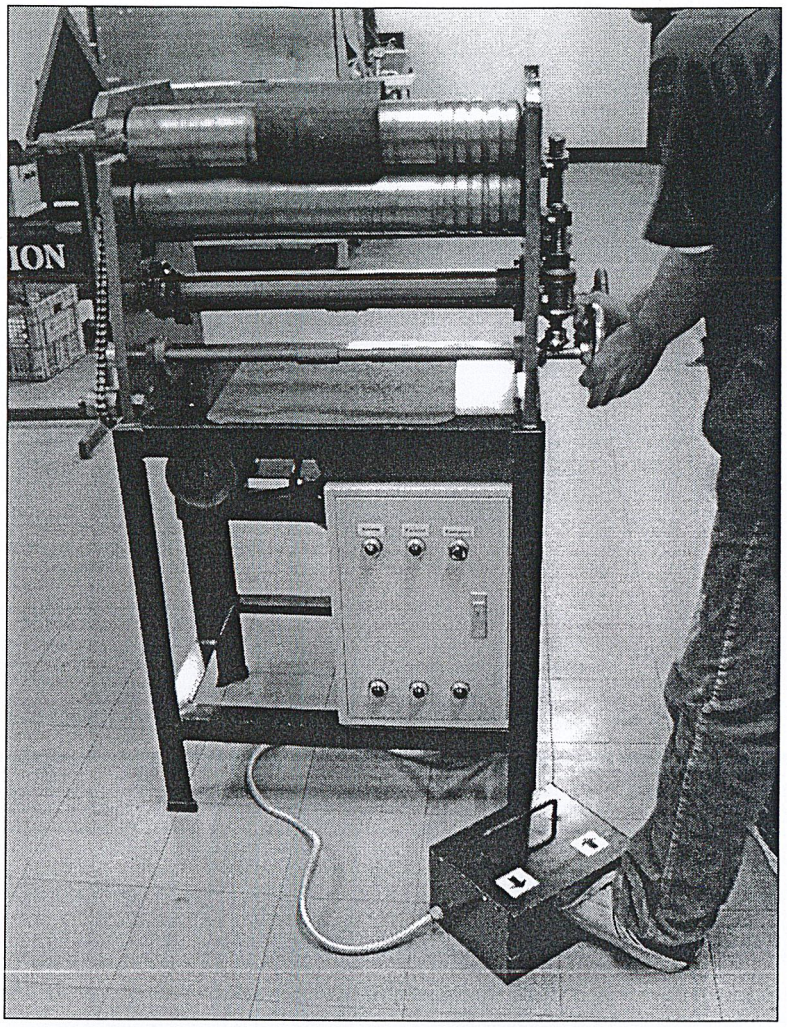
รูปที่ 4.16 ชิ้นงานเมื่อขณะทำการม้วน



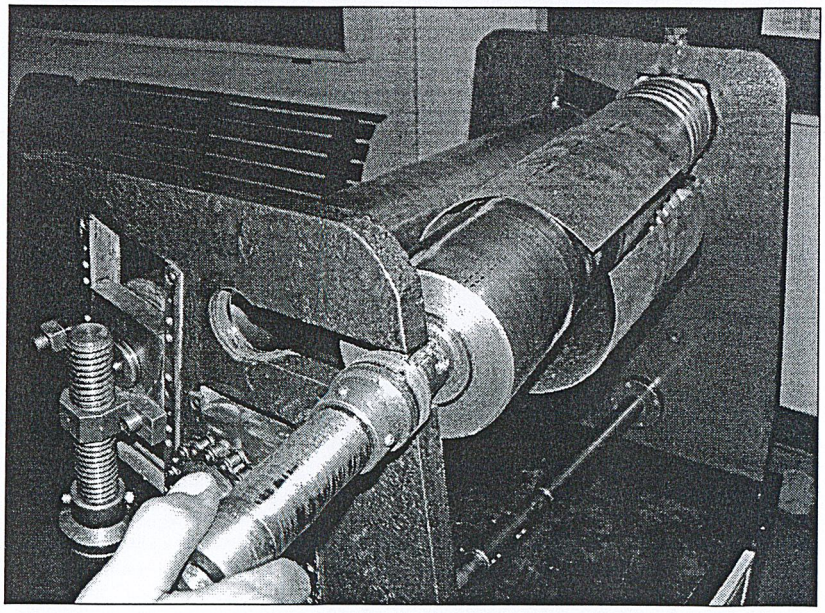
รูปที่ 4.17 ชิ้นงานที่ทำการม้วนใกล้ขนาดที่ต้องการ



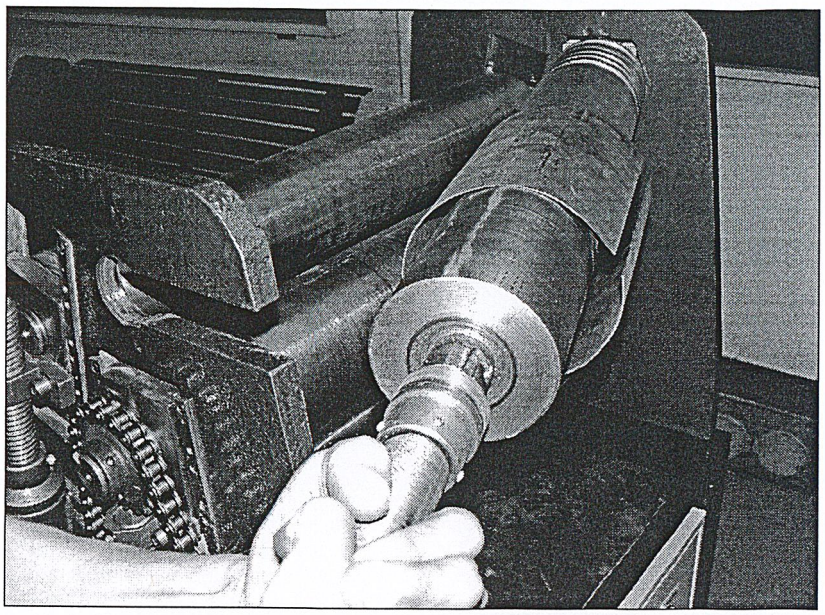
รูปที่ 4.18 ชิ้นงานที่ทำการม้วนได้ขนาดตามต้องการ



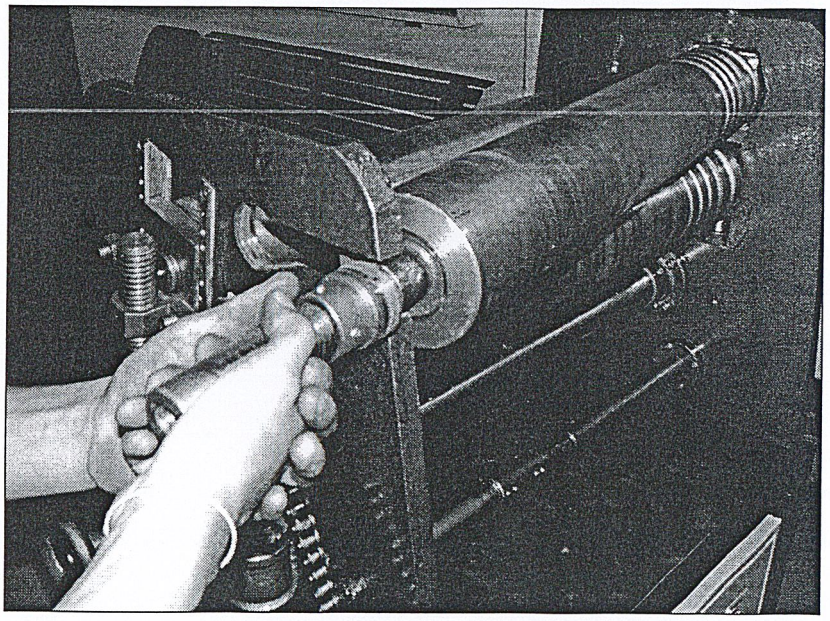
รูปที่ 4.19 การควบคุมการทำงานของเครื่องด้วยสวิตซ์เท้าเหยียบ



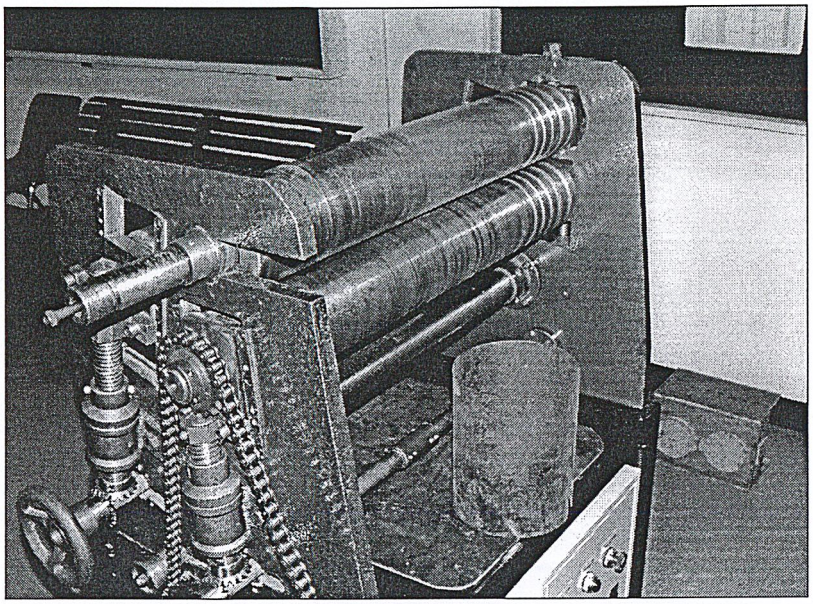
รูปที่ 4.20 ปลดล็อคโลเลอร์เพื่อถอดชิ้นงาน



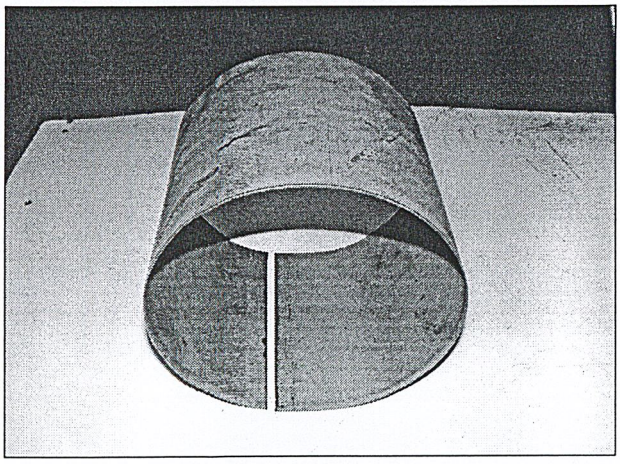
รูปที่ 4.21 ยกโลเลอร์เพื่อถอดชิ้นงานที่ทำการม้วนออก



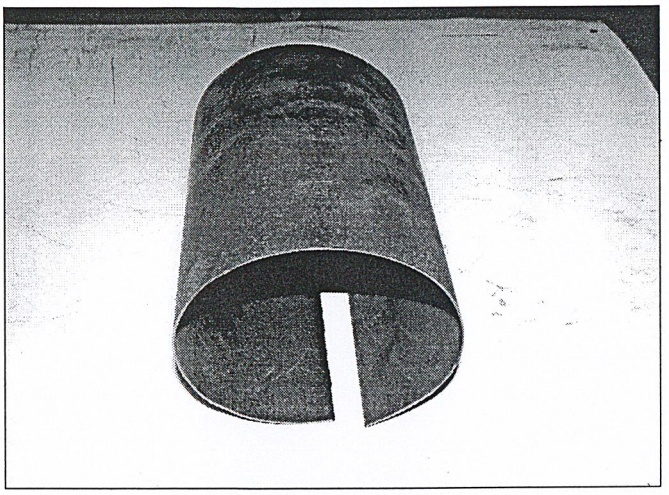
รูปที่ 4.22 ยกโลเลอร์กลับเข้าประกอบเข้ากับฝาเครื่องหลังจากถอดชิ้นงาน



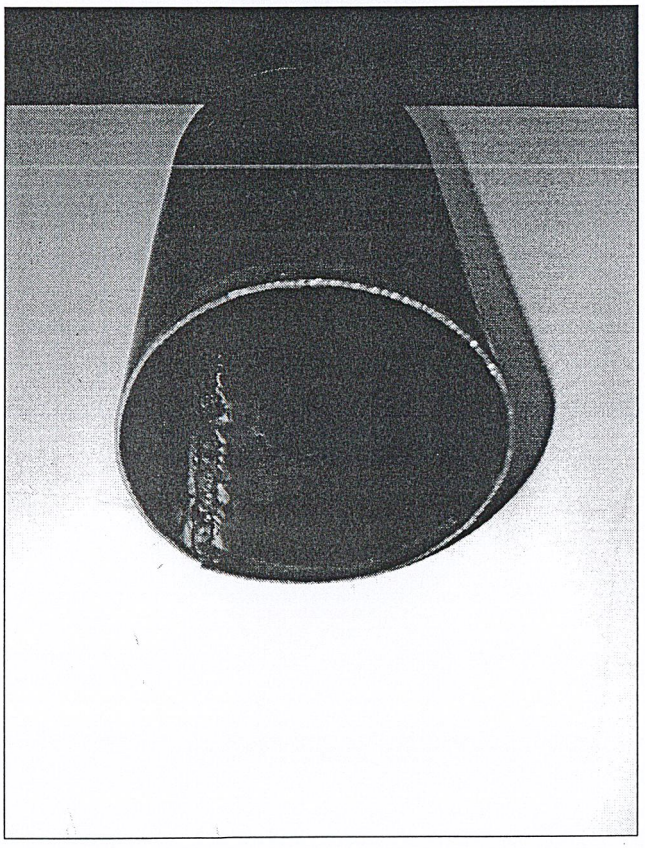
รูปที่ 4.23 ชิ้นงานสำเร็จหลังจากทำการม้วน



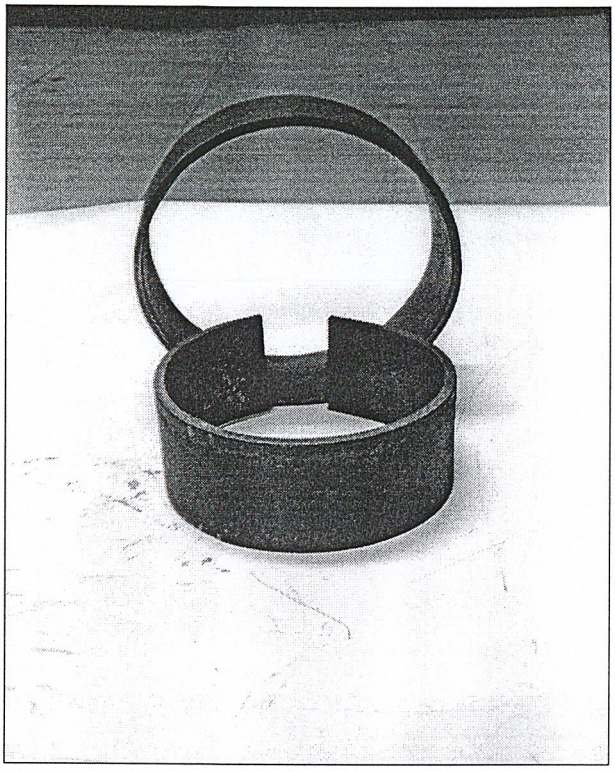
รูปที่ 4.24 ชิ้นงานที่ทำการม้วนความหนา 1 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.25 ชิ้นงานที่ทำการม้วนความหนา 1.5 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.26 ชิ้นงานที่ทำการม้วนความหนา 2 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.27 ชิ้นงานที่ทำการม้วนความหนา 4 มิลลิเมตร

บทที่ 5
สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลของการออกแบบและจัดสร้างเครื่องม้วนโลหะแผ่น

จากการศึกษาในการออกแบบเครื่องม้วนโลหะแผ่น ได้ผลดังนี้ เครื่องม้วนโลหะแผ่นมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของลูกกลิ้งทั้ง 3 ตัว คือ 100 มิลลิเมตร ความยาวของลูกกลิ้ง 600 มิลลิเมตร หมุนในทิศทางตามเข็มนาฬิกาและทวนเข็มนาฬิกา ในส่วนของห้องแบริ่งชุดหมุนป้อนปรับเลื่อนขึ้นลงของห้องแบริ่ง ชุดป้อนจะมีเกลียวคางหมูเป็นตัวส่งกำลังหมุนปรับขึ้นลง ซึ่งจะหมุนปรับขึ้นลงพร้อมกันทั้ง 2 ด้าน โดยใช้เฟืองดอกจอกในการส่งกำลังผ่านเพลา การปรับชุดหมุนปรับจะใช้มือหมุนช่วยในการปรับขึ้นลง เพื่อรีดแผ่นโลหะให้เป็นทรงกระบอก เป็นชิ้นงานตามขนาดและความหนาที่ต้องการ ในการทำงานได้ต่อวงจรควบคุมการทำงานการหมุนของลูกกลิ้ง โดยมีชุดควบคุมโดยใช้หน้าคอนแทคแมกเนติกเบรกเกอร์ เปิด-ปิด วงจรทำงานของมอเตอร์ส่งกำลังโดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้าต้นกำลังขนาด 1 แรงม้า ความเร็วรอบ 1400 รอบ/นาที ส่งผ่านกำลังโดยใช้สายพานร่อง V มายังชุดเกียรทด ซึ่งจะทำหน้าที่ลดความเร็วรอบ มีอัตราทดรอบ 1:50 ดังนั้นความเร็วรอบที่ผ่านชุดเกียร์ทดจะได้ 11.2 รอบ/นาที ส่งผ่านกำลังไปยัง เฟืองโซ่และโซ่ส่งกำลังไปขับลูกกลิ้งให้หมุนให้หมุนที่ความเร็วรอบ 7 รอบ/นาที โดยมีลูกกดโซ่ส่งกำลังทำให้โซ่ตึงไม่หย่อนและสั่นในการส่งกำลัง

5.1.1 สรุปผลการทำงานทางด้านฮาร์ดแวร์

จากการทดสอบการทำงานของเครื่องตั้งแต่ระบบส่งกำลังจนถึงการหมุนลูกกลิ้งม้วนแผ่นโลหะแผ่นเริ่มต้นการทดลองกดปุ่มอิมเมอร์เจนซี่ (Emergency) เหยียบสวิทซ์เท้าเหยียบ มอเตอร์ต้นกำลังจะทำงานและหมุนตามทิศทางที่ออกแบบไว้ จากนั้น ส่งผ่านกำลังมาจนถึงเฟืองโซ่หมุนลูกกลิ้ง การหมุนของลูกกลิ้งราบเรียบดีไม่มีเสียงผิดปกติ จากนั้นทำการนำชิ้นงานทดสอบใส่ระหว่างช่องว่างลูกกลิ้งที่ทำหน้าที่กดและหมุนมือหมุน ให้ลูกกลิ้งเลื่อนกดขึ้นงานทดลองเลื่อนไปตามทิศทางการหมุน ปรับมือหมุนดันขึ้นให้ดัดแผ่นโลหะชิ้นงานทดสอบทีละน้อยๆจนได้ชิ้นงานเป็นรูปทรงกระบอก ตามที่ต้องได้คำนวณแผ่นคลี่ของแผ่นโลหะมาก่อนทำการทดลอง จากการสังเกตในขั้นตอนการม้วนนี้จะเร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับความหนาและความกว้างของชิ้นงานทดสอบเนื่องจากชิ้นงานทดสอบที่มีความหนาและความกว้างไม่เท่ากัน จะทำให้ใช้เวลาในการม้วนที่แตกต่างกัน ชิ้นงานที่มีความหนา 1-2 มิลลิเมตร จะใช้เวลาในการม้วน 10-15 นาที โดยประมาณในการม้วน ชิ้นงานที่หนา 3-4 มิลลิเมตร แต่ไม่เกิน 4 มิลลิเมตร จะใช้เวลา 25-40 นาที โดยประมาณ ชิ้นงานที่ม้วนออกมาจะเป็นทรงกระบอกกลม ตามที่ต้องการ

5.1.2 ชุดควบคุม

จากการทดลองชุดควบคุมการทำงานของมอเตอร์ต้นกำลัง การทำงานที่ได้ ตรงตามที่ออกแบบไว้ คือ เมื่อต่อปลั๊กเข้ากับสายเมนต์ (Main) กดปุ่มอิมเมอร์เจนซี่ (Emergency) แล้วใช้เท้าเหยียบสวิตซ์แบบเท้าเหยียบ มอเตอร์ต้นกำลังทำงานส่งกำลังหมุนลูกกลิ้งในทิศทางตามเข็มและทวนเข็มตามที่ออกแบบไว้เมื่อเหยียบสวิตซ์พร้อมกันจะไม่ทำงาน และเมื่อยกเท้าออกก็จะหยุดการทำงาน และเมื่อยกเท้าออกจะหยุดการทำงานของมอเตอร์ต้นกำลัง ตามที่ออกแบบไว้

5.2 ปัญหาและแนวทางการแก้ไข

5.2.1 ปัญหาที่พบจากการทดลอง

จากการทดลองได้มีอุปสรรค์ที่เกิดขึ้นจาการทดลองเป็นข้อดังนี้

- ภารตั้งระยะช่องว่างลูกกลิ้งไม่เท่ากันจึงทำให้ขอบกระบอกเหลื่อมกัน
- เกิดการติดขัดระหว่างเกลียวส่งกำลังห้องแบริ่งชุดป้อน
- ลูกกลิ้งตัวกดและตัวหมุนไม่แนบกันทำให้ชิ้นงานบางไม่สามารถม้วนได้
- แผ่นโครงเครื่องทั้งสองเคลื่อนห่างจากกันทำให้ ลูกกลิ้งเคลื่อนออกจากห้องแบริ่ง
-

5.2.2 แนวทางแก้ไข

จากการทดลองได้ทำการแก้ปัญหาดังนี้

- ทำการหมุนเกลียวส่งกำลังแต่ละด้านโดยใช้ความหนาบรรทัดเหล็กเป็นแผ่นเกจวัดช่องห่างของลูกกลิ้งทั้งคู่
- ทำการตั้งชุดเกลียวส่งกำลัง และห้องแบริ่งใหม่โดยการใช้แหวนรองชุดเกลียวให้สูงขึ้น
- ทำการกัดช่องใส่ห้องแบริ่งให้มีความสูงใกล้ชุดแบริ่งตัวบน อีก 5 มิลลิเมตร
- ทำการเจาะรูแผ่นโครงเครื่องแล้วยึดด้วยเพลาผ่านทั้งสองตัวโดยตั้งระยะห่างแผ่นโครงทั้งสองตามที่ออกแบบไว้

5.2.3 ข้อเสนอแนะ

เครื่องม้วนโลหะที่ได้จัดทำขึ้นนี้ยังจัดอยู่ในเครื่องต้นแบบ ทำให้การทำงานของเครื่องอาจจะอยู่ในช่วงเวลาการทำงานที่จำกัด สามารถที่จะนำเครื่องนี้ไปใช้งานในการม้วนที่มีความหนาชิ้นงานได้ไม่เกิน 4 มิลลิเมตร แต่หากจะทำการม้วนที่เกิน 4 มิลลิเมตร ก็อาจจะมารองทำการคำนวณแรงและติดตั้งมอเตอร์ที่มีขนาดแรงม้าเพิ่มขึ้นเพิ่มโซ่ส่งกำลังและทำการเปลี่ยนมือหมุนให้มีขนาดใหญ่ เพื่อช่วยผ่อนแรงในการหมุน ชุดเกลียวส่งกำลัง เพิ่มเติม

เอกสารอ้างอิง

1. ดร.วรวิทธิ์ อึ๊งภากรณ์ , ชาญ ถนัดงาน(2541)," การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม 1 ", บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด.

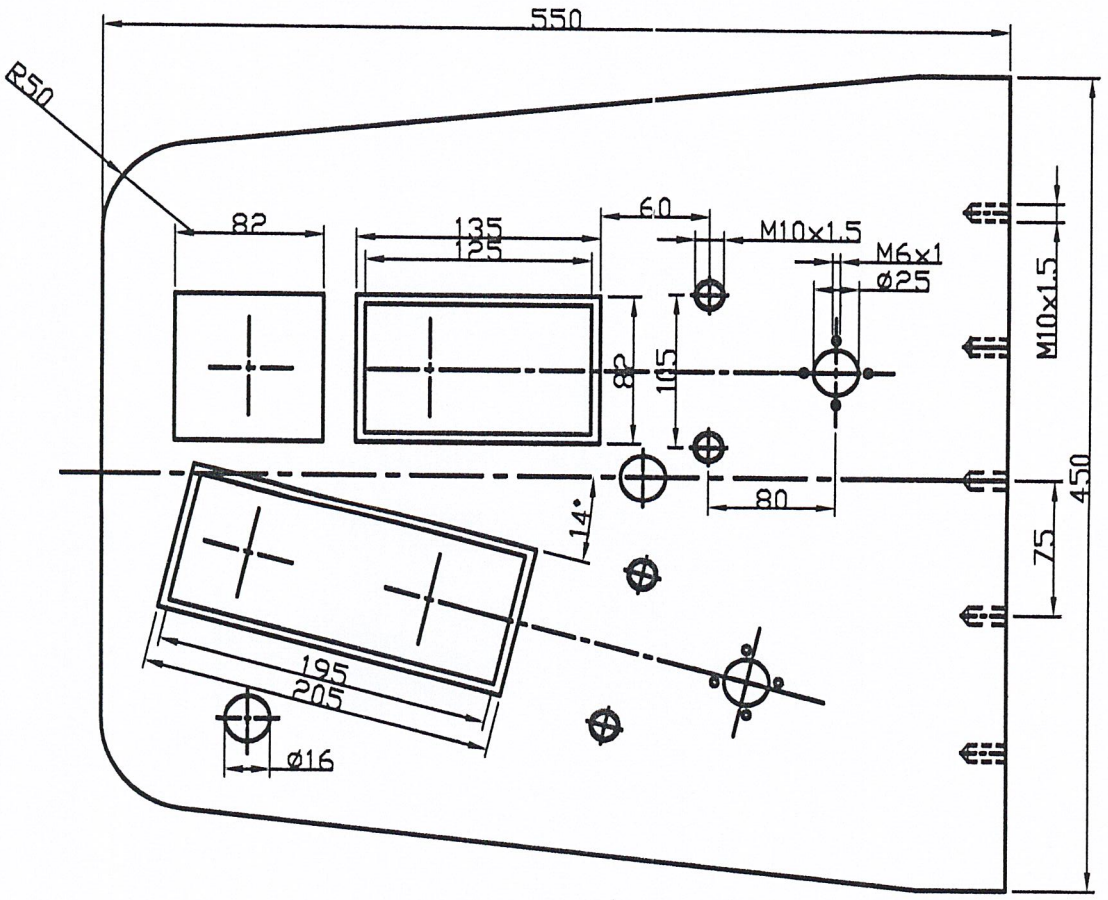
2. ดร.วรวิทธิ์ อึ๊งภากรณ์ , ชาญ ถนัดงาน(2541)," การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม 2 ", บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด.

3. รองศาสตราจารย์บรรเลง ศรนิล , ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประเสริฐ ก๊วยสมบูรณ์,"ตารางงานโลหะ"สำนักพิมพ์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

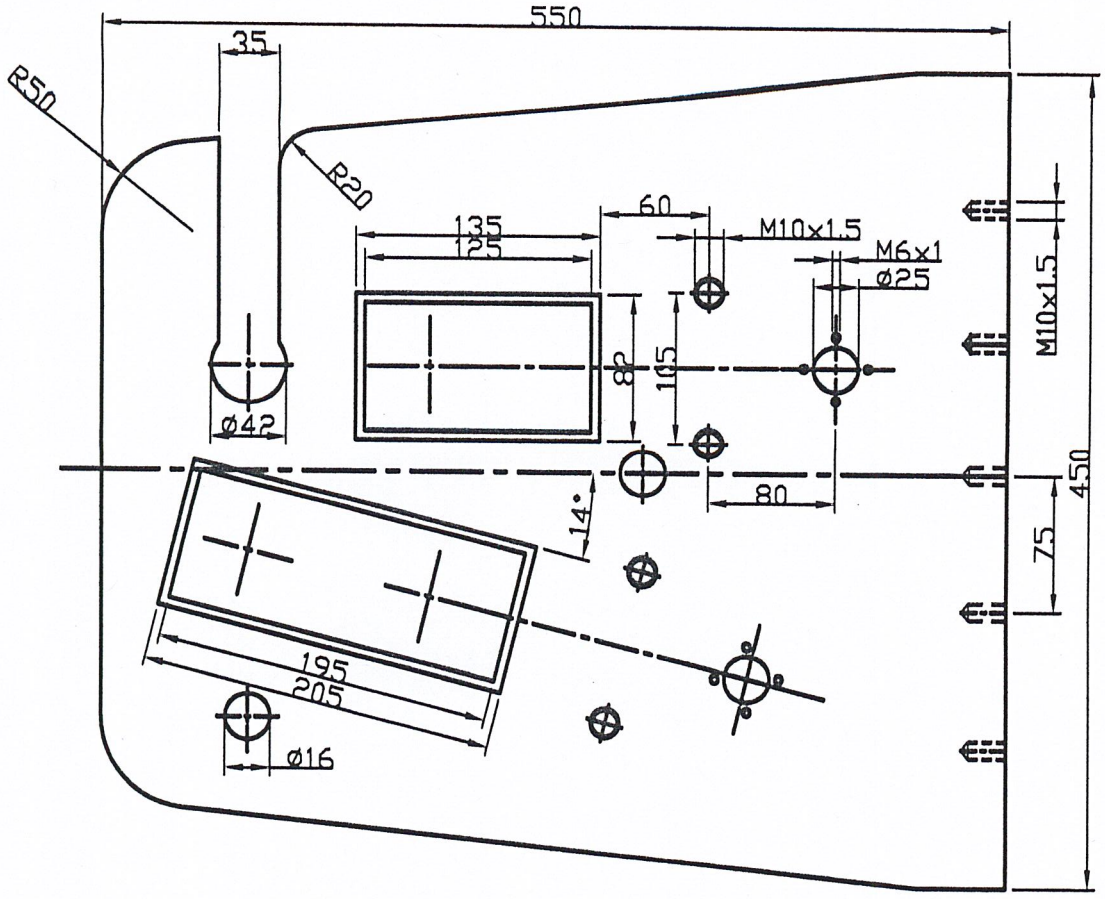
4. รองศาสตราจารย์มนตรี พิรุณเกษตร," กลศาสตร์ของวัสดุ", บริษัทวิทยพัฒน์

5. ผู้ช่วยศาสตราจารย์อำนาจ ทองผาสุข , ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิทยา ประยงค์พันธ์,"การควบคุมมอเตอร์", สำนักพิมพ์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ภาคผนวก



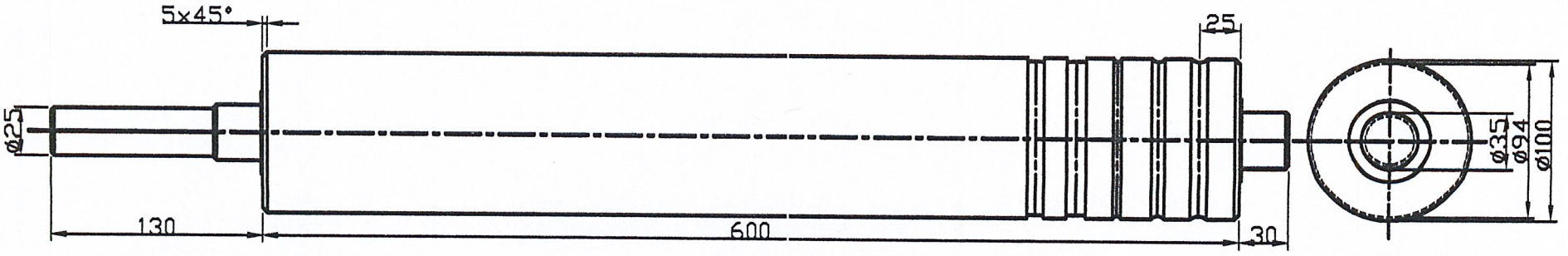
1	โครงเครื่องด้านขวา	1	St.37	450x500x19
ชิ้นที่	รายการ	จำนวน	วัสดุ	ขนาด
ผู้เขียน	นายเอก มณีคำ	KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG FACULTY OF ENGINEERING DEPARTMENT OF INDUSTRIAL ENGINEERING		
ผู้ออกแบบ	นายเอก มณีคำ			
ผู้ตรวจ	อ.พลชัย โชติปรายณกุล			
อัตราส่วน 1:1	ชื่อชิ้นงาน โครงเครื่อง			



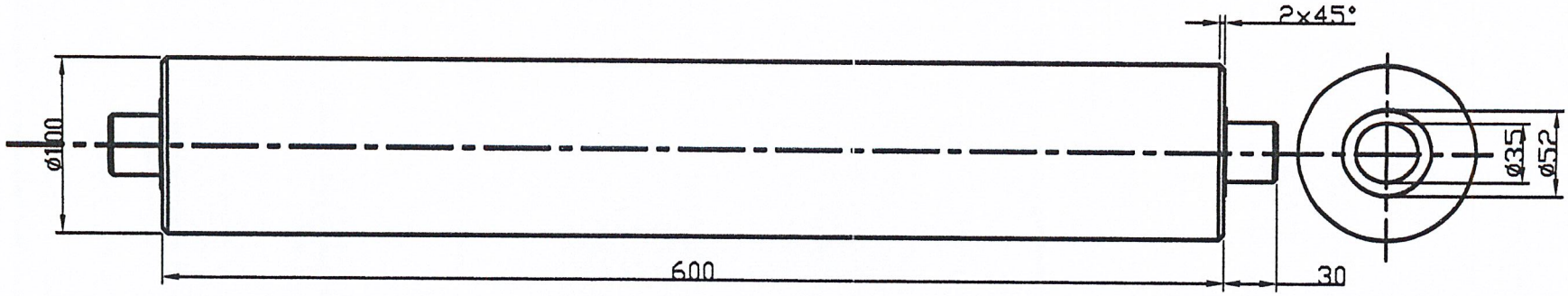
2	โครงเครื่องด้านซ้าย	1	St.37	450x550x19
ชิ้นที่	รายการ	จำนวน	วัสดุ	ขนาด

ผู้เขียน	นายเอก มณีคำ
ผู้ออกแบบ	นายเอก มณีคำ
ผู้ตรวจ	อ.พลชัย โชติปรายณกุล
อัตราส่วน 1:1	ชื่อชิ้นงาน กระบอกยึดกันโคลง

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
FACULTY OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF INDUSTRIAL ENGINEERING



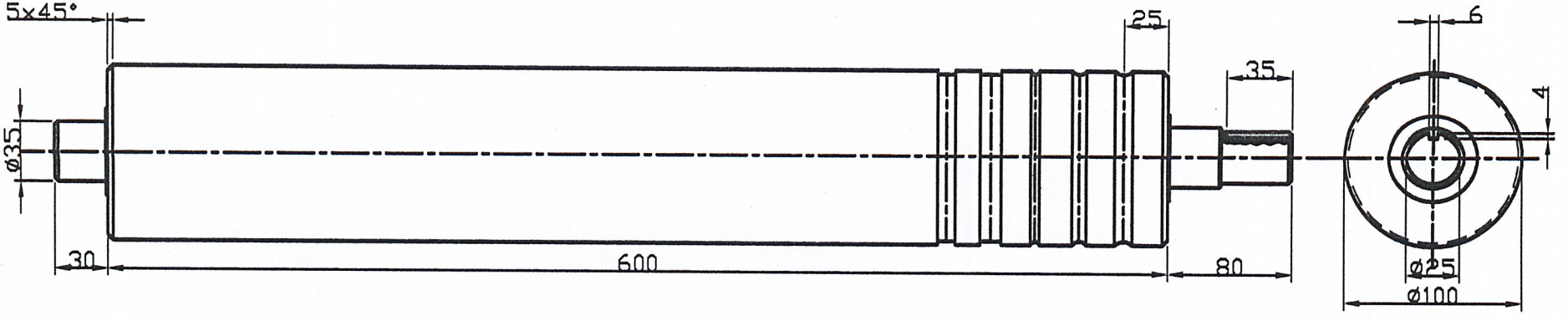
3	ลูกกลิ้งตัวที่ 1	1	St.37	ø100x760
ชิ้นที่	รายการ	จำนวน	วัสดุ	ขนาด
ผู้เขียน	นายเอก มณีคำ	KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG FACULTY OF ENGINEERING DEPARTMENT OF INDUSTRIAL ENGINEERING		
ผู้ออกแบบ	นายเอก มณีคำ			
ผู้ตรวจ	อ.พลชัย โชติปรายณกุล			
อัตราส่วน 1:1	ชื่อชิ้นงาน ลูกกลิ้ง			



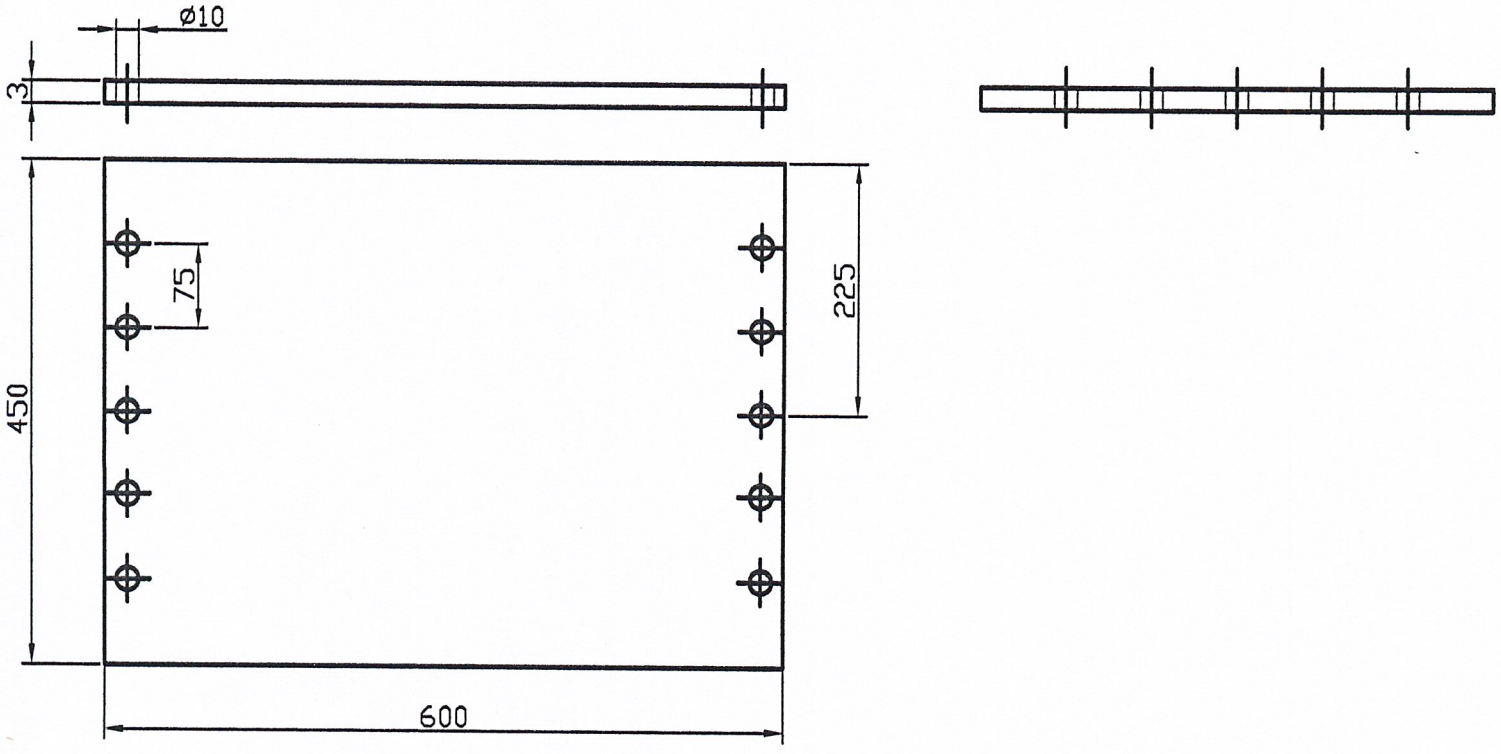
4	ลูกกลิ้งตัวที่ 2	1	St.37	ø100x660
ชิ้นที่	รายการ	จำนวน	วัสดุ	ขนาด

ผู้เขียน	นายเอก มณีคำ
ผู้ออกแบบ	นายเอก มณีคำ
ผู้ตรวจ	อ.พลชัย โชติปรายณกุล
อัตราส่วน 1:1	ชื่อชิ้นงาน ลูกกลิ้ง

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF
TECHNOLOGY LADKRABANG
FACULTY OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF INDUSTRIAL ENGINEERING



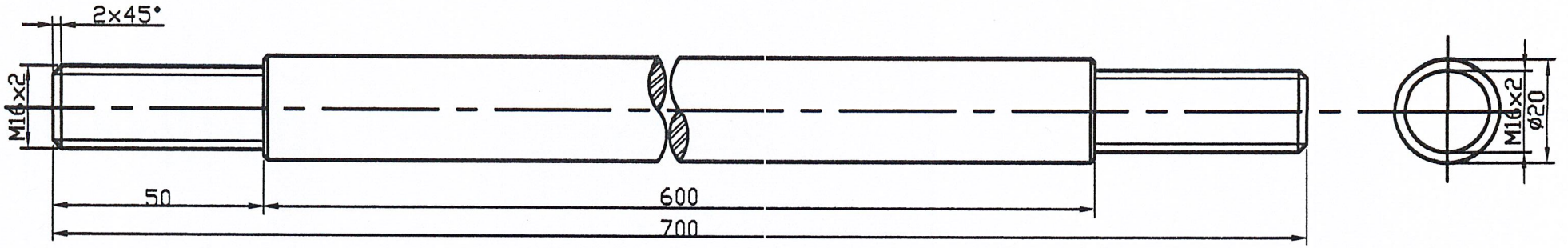
5	ลูกกลิ้งตัวที่ 3	1	St.37	ø100x710
ชิ้นที่	รายการ	จำนวน	วัสดุ	ขนาด
ผู้เขียน	นายเอก มณีคำ	KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG FACULTY OF ENGINEERING DEPARTMENT OF INDUSTRIAL ENGINEERING		
ผู้ออกแบบ	นายเอก มณีคำ			
ผู้ตรวจ	อ.พลชัย โชติปรายณกุล			
อัตราส่วน 1:1	ชื่อชิ้นงาน ลูกกลิ้ง			



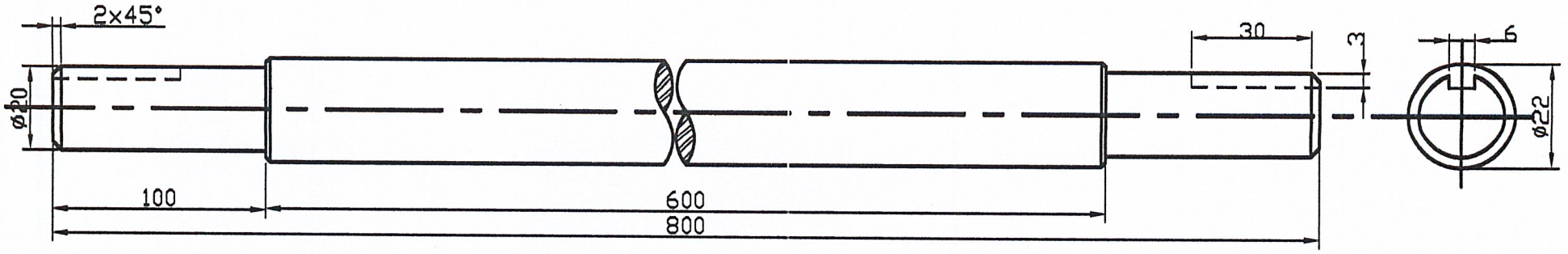
6	แผ่นรองฐาน	1	st.37	600x450
ชิ้นที่	รายการ	จำนวน	วัสดุ	ขนาด

ผู้เขียน	นายเอก มณีคำ
ผู้ออกแบบ	นายเอก มณีคำ
ผู้ตรวจ	อ.พลชัย โชติปรายณกุล
อัตราส่วน 10:1	ชื่อชิ้นงาน แผ่นรองฐาน

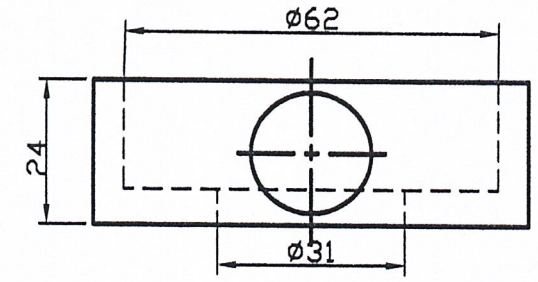
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
FACULTY OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF INDUSTRIAL ENGINEERING

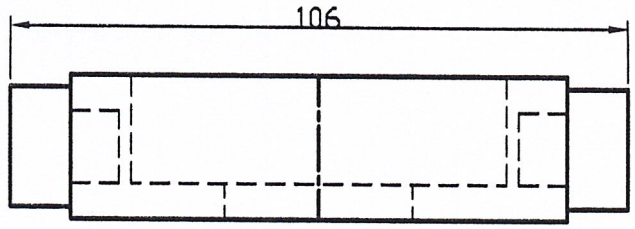


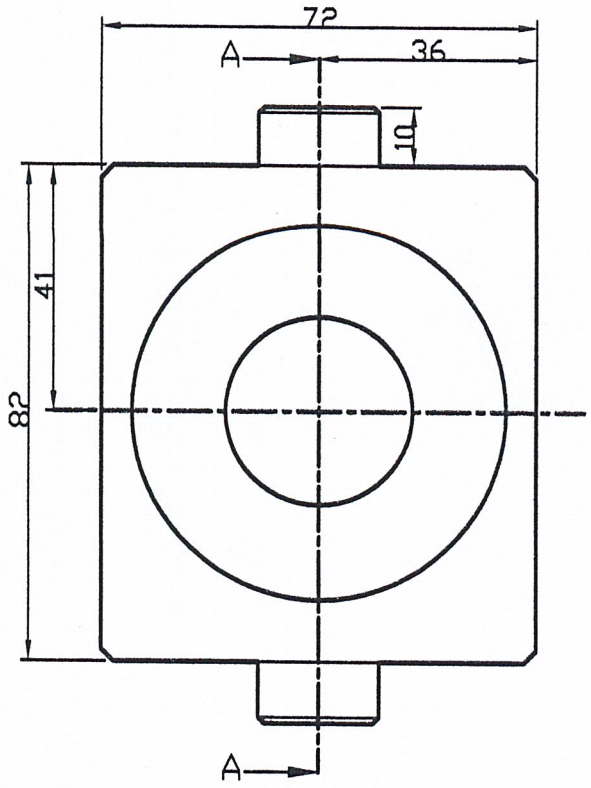
7	เพลาต้น	2	st.37	Ø20x700
ชิ้นที่	รายการ	จำนวน	วัสดุ	ขนาด
ผู้เขียน	นายเอก มณีคำ	KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG FACULTY OF ENGINEERING DEPARTMENT OF INDUSTRIAL ENGINEERING		
ผู้ออกแบบ	นายเอก มณีคำ			
ผู้ตรวจ	อ.พลชัย โชติปรายณกุล			
อัตราส่วน 1:1	ชื่อชิ้นงาน เพลา			

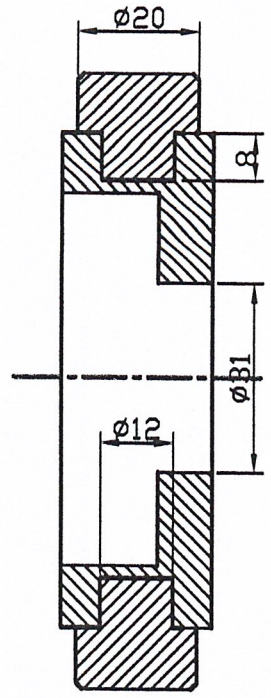


8	เพลาส่งกำลัง		2	st.37	ø22x800
ชิ้นที่	รายการ		จำนวน	วัสดุ	ขนาด
ผู้เขียน	นายเอก มณีคำ	KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG FACULTY OF ENGINEERING DEPARTMENT OF INDUSTRIAL ENGINEERING			
ผู้ออกแบบ	นายเอก มณีคำ				
ผู้ตรวจ	อ.พลชัย โชติปรายณกุล				
อัตราส่วน 1:1	ชื่อชิ้นงาน เพลาส่งกำลัง				



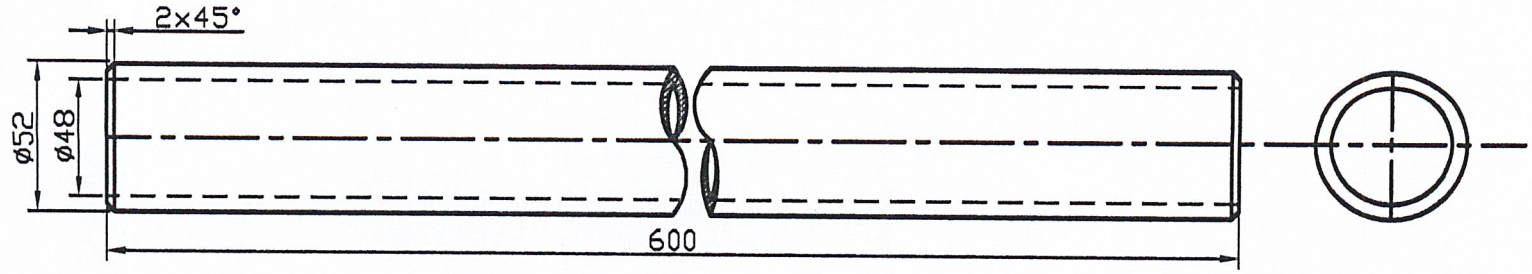




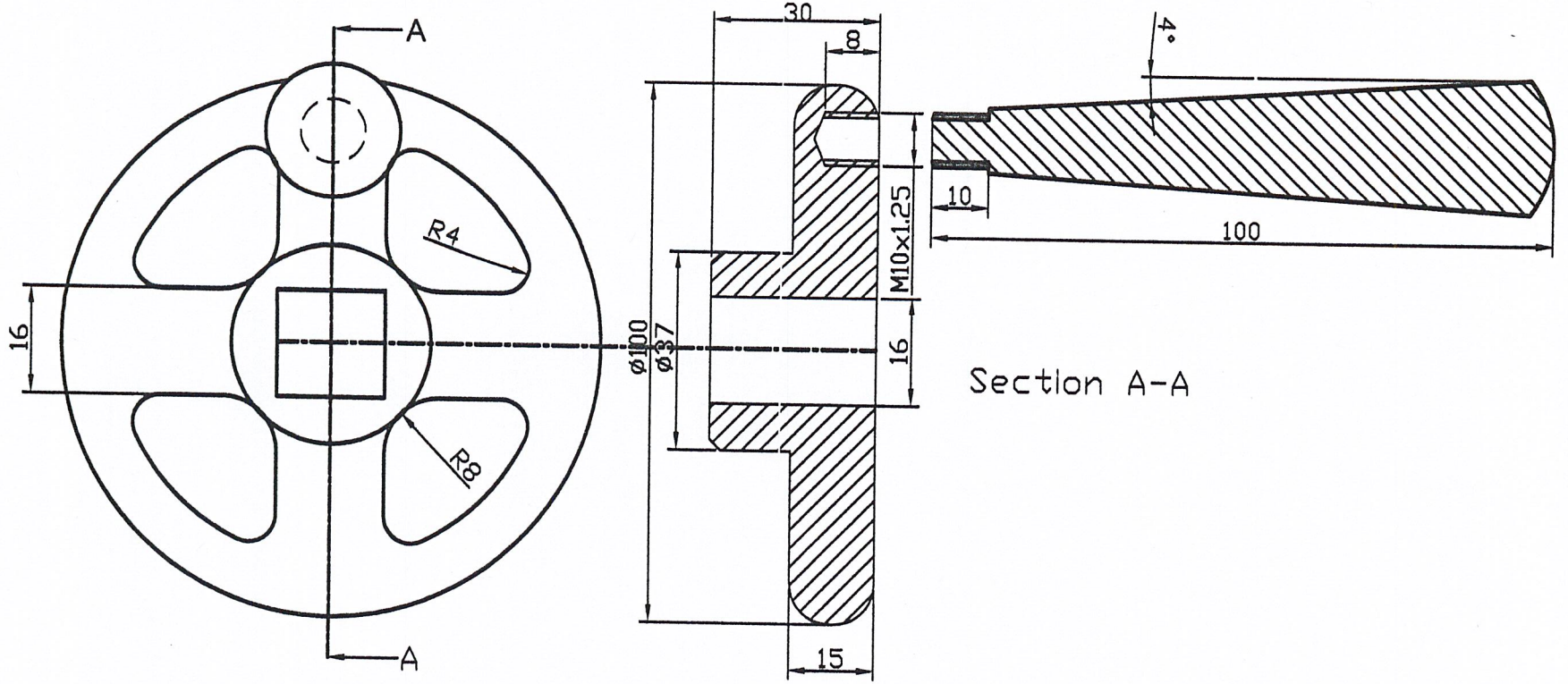


Section A-A

9	ปลอกริ่ง	1	st.37	82x72
ชิ้นที่	รายการ	จำนวน	วัสดุ	ขนาด
ผู้เขียน	นายเอก มณีคำ	KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG FACULTY OF ENGINEERING DEPARTMENT OF INDUSTRIAL ENGINEERING		
ผู้ออกแบบ	นายเอก มณีคำ			
ผู้ตรวจ	อ.พลชัย โชติปรายณกุล			
อัตราส่วน 10:1	ชื่อชิ้นงาน ปลอกแบริ่ง			

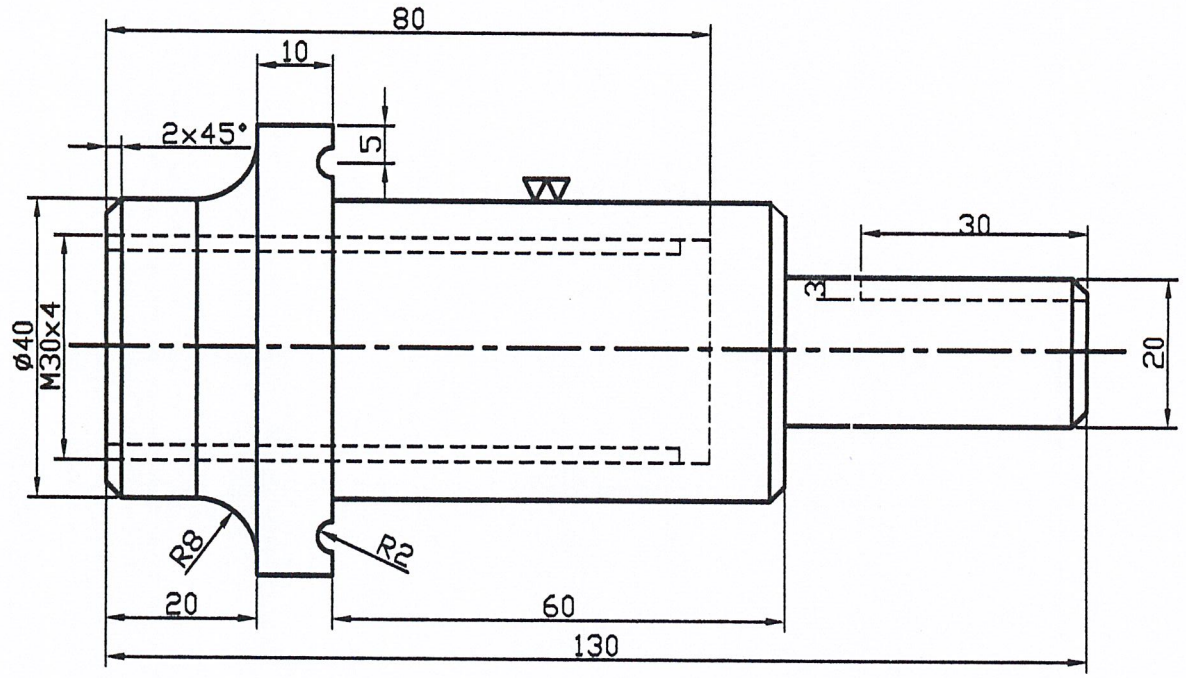


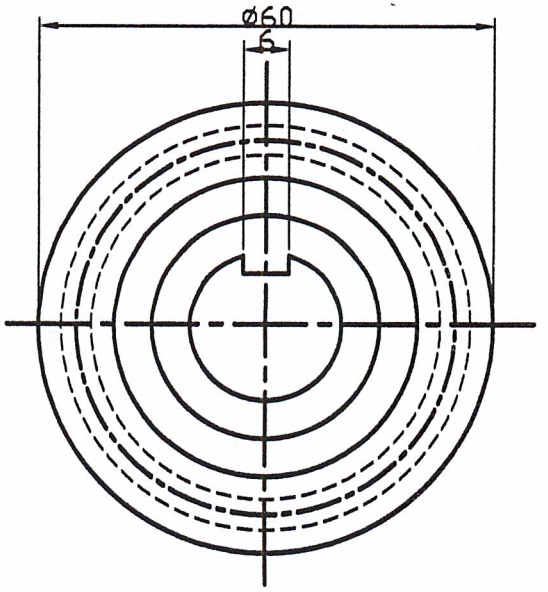
10	กระบอกยึดกันโครง	1	St.37	ø52x600
ชิ้นที่	รายการ	จำนวน	วัสดุ	ขนาด
ผู้เขียน	นายเอก มณีคำ	KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG FACULTY OF ENGINEERING DEPARTMENT OF INDUSTRIAL ENGINEERING		
ผู้ออกแบบ	นายเอก มณีคำ			
ผู้ตรวจ	อ.พลชัย โชติปรายณกุล			
อัตราส่วน 1:1	ชื่อชิ้นงาน กระบอกยึดกันโคลง			



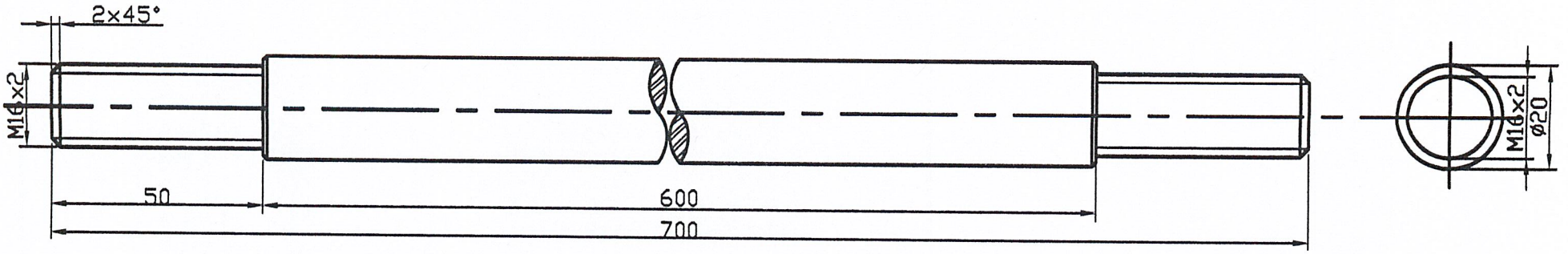
Section A-A

11	แป้นยึดกันโครง	3	Cast Iron	ø100x30
ชิ้นที่	รายการ	จำนวน	วัสดุ	ขนาด
ผู้เขียน	นายเอก มณีคำ	KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG FACULTY OF ENGINEERING DEPARTMENT OF INDUSTRIAL ENGINEERING		
ผู้ออกแบบ	นายเอก มณีคำ			
ผู้ตรวจ	อ.พลชัย โชติปรายณกุล			
อัตราส่วน 10:1	ชื่อชิ้นงาน แป้นยึดกันโครง			





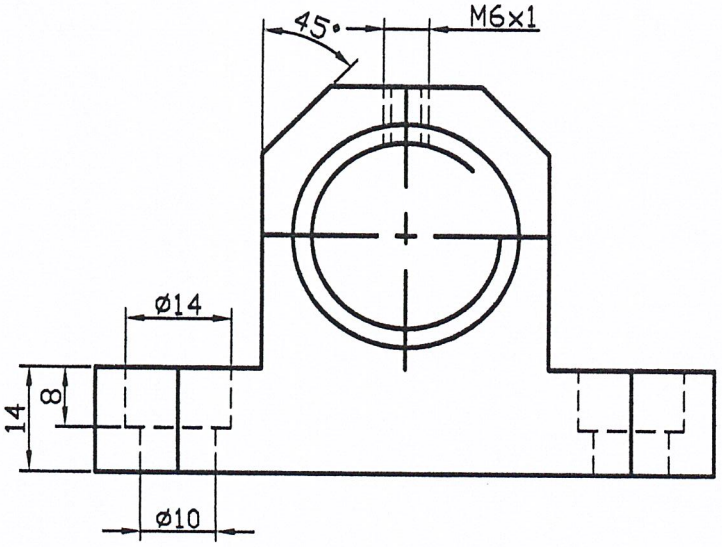
12	กระบอกเกลียวส่งกำลัง	4	st.37	ø60x130
ชิ้นที่	รายการ	จำนวน	วัสดุ	ขนาด
ผู้เขียน	นายเอก มณีคำ	KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG FACULTY OF ENGINEERING DEPARTMENT OF INDUSTRIAL ENGINEERING		
ผู้ออกแบบ	นายเอก มณีคำ			
ผู้ตรวจ	อ.พลชัย โชติปรายณกุล			
อัตราส่วน 1:1	ชื่อชิ้นงาน กระบอกเกลียว			

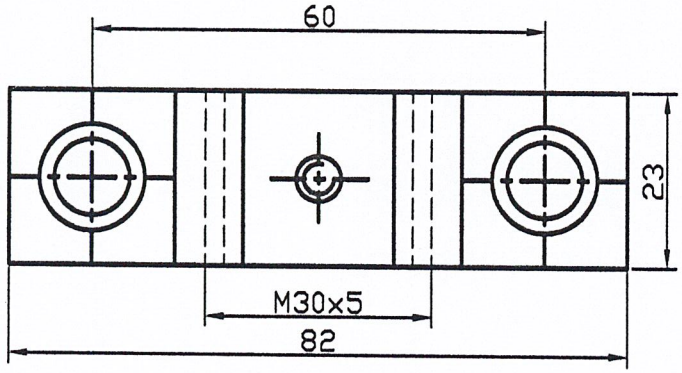


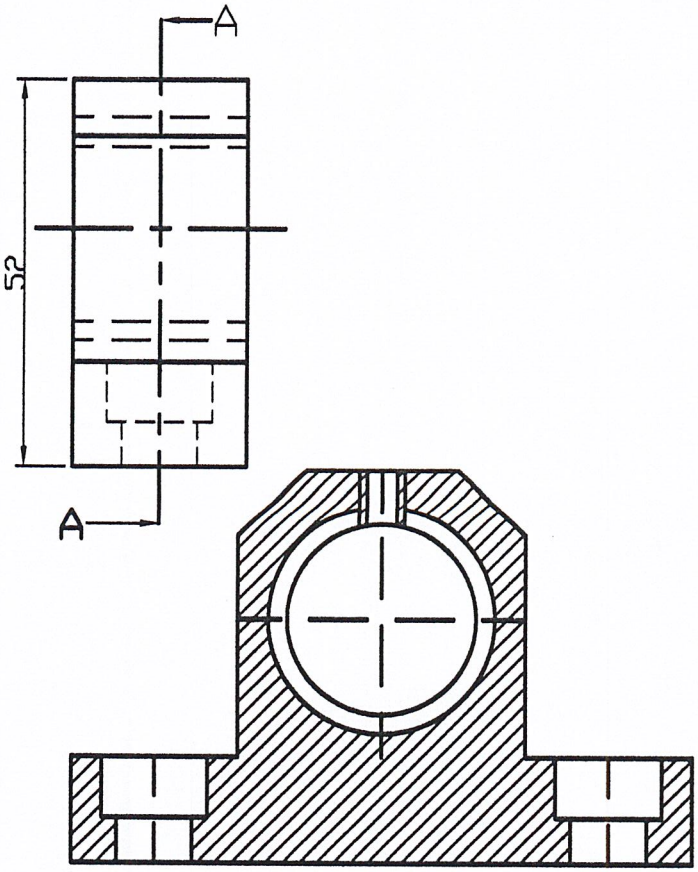
14	เพลา	2	st.37	Ø20x700
ชิ้นที่	รายการ	จำนวน	วัสดุ	ขนาด

ผู้เขียน	นายเอก มณีคำ
ผู้ออกแบบ	นายเอก มณีคำ
ผู้ตรวจ	อ.พลชัย โชติปรายณกุล
อัตราส่วน 1:1	ชื่อชิ้นงาน เพลา

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF
TECHNOLOGY LADKRABANG
FACULTY OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF INDUSTRIAL ENGINEERING

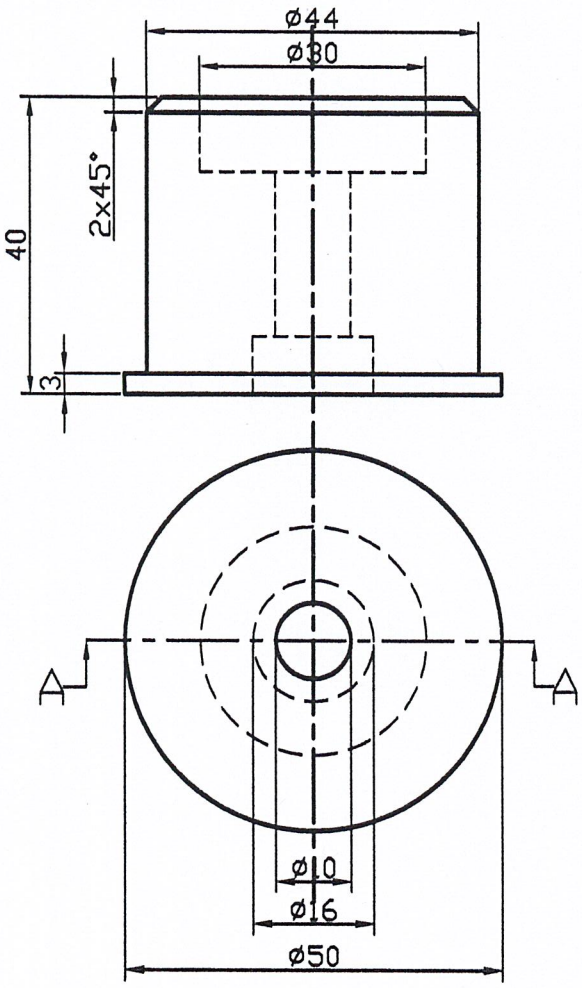


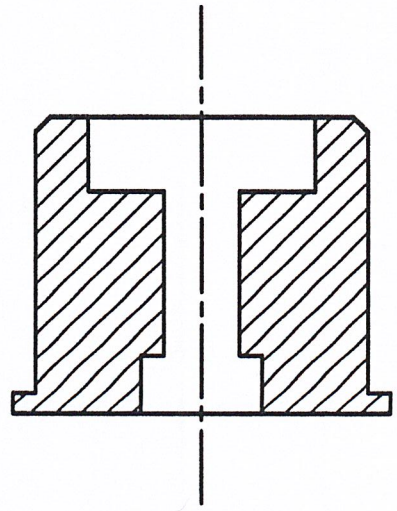




Section A-A

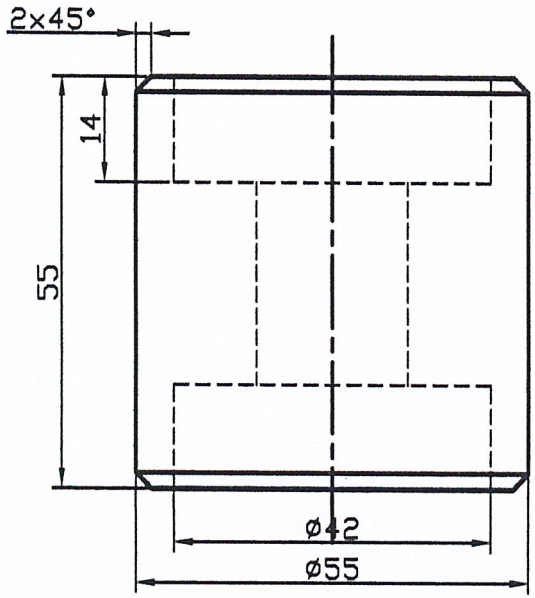
15	นัตแป้นเกลียวส่งกำลัง	4	st.37	82x23x52
ชิ้นที่	รายการ	จำนวน	วัสดุ	ขนาด
ผู้เขียน	นายเอก มณีคำ	KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG FACULTY OF ENGINEERING DEPARTMENT OF INDUSTRIAL ENGINEERING		
ผู้ออกแบบ	นายเอก มณีคำ			
ผู้ตรวจ	อ.พลชัย โชติปรายณกุล			
อัตราส่วน 1:1	ชื่อชิ้นงาน นัตแป้นเกลียว			

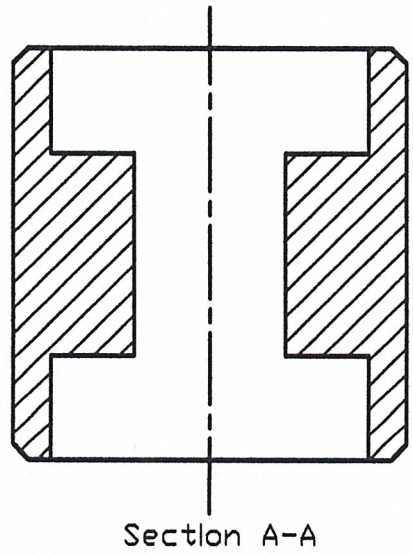


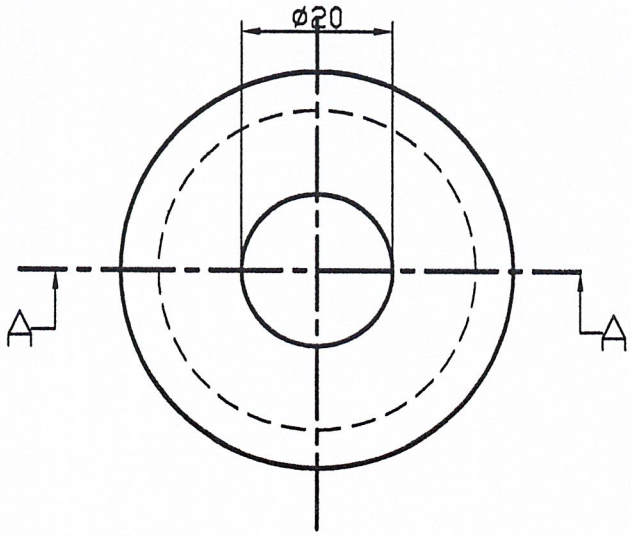


Section A-A

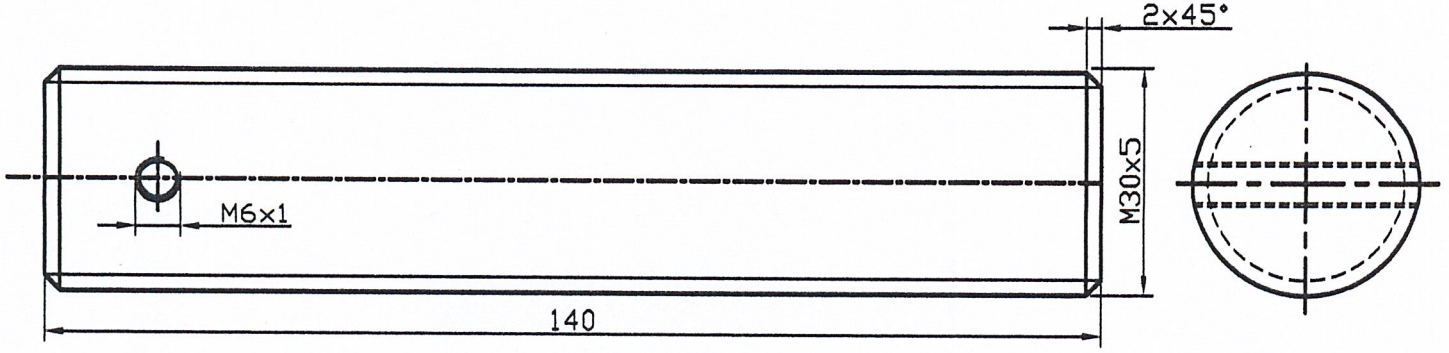
16	ลูกกดดันโซ่ให้ตึง	1	st.37	ø50x40
ชิ้นที่	รายการ	จำนวน	วัสดุ	ขนาด
ผู้เขียน	นายเอก มณีคำ	KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG FACULTY OF ENGINEERING DEPARTMENT OF INDUSTRIAL ENGINEERING		
ผู้ออกแบบ	นายเอก มณีคำ			
ผู้ตรวจ	อ.พลชัย โชติปรายณกุล			
อัตราส่วน 1:1	ชื่อชิ้นงาน ลูกกด			







17	ลูกกดดันโซ่	1	St.37	Ø55x55
ชิ้นที่	รายการ	จำนวน	วัสดุ	ขนาด
ผู้เขียน	นายเอก มณีคำ	KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG FACULTY OF ENGINEERING DEPARTMENT OF INDUSTRIAL ENGINEERING		
ผู้ออกแบบ	นายเอก มณีคำ			
ผู้ตรวจ	อ.พลชัย โชติปรายณกุล			
อัตราส่วน	ชื่อชิ้นงาน ลูกกดดันโซ่			



13	เกลียวส่งกำลัง	4	st.37	M30x5x140
ชิ้นที่	รายการ	จำนวน	วัสดุ	ขนาด
ผู้เขียน	นายเอก มณีคำ	KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG FACULTY OF ENGINEERING DEPARTMENT OF INDUSTRIAL ENGINEERING		
ผู้ออกแบบ	นายเอก มณีคำ			
ผู้ตรวจ	อ.พลชัย โชติปรายณกุล			
อัตราส่วน 1:1	ชื่อชิ้นงาน เกลียวส่งกำลัง			