มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

พัฒนาและสร้างเครื่องจักตอกกึ่งอัตโนมัติ

Development and Construction of Bamboo of Cleave Machine Semi -automatic.

นายพลังวัชร์ แพ่งธีระสุขมัย

MR.PLANGWAT PAENGTEERASUKKAMAI

งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการดำเนินการของแผนกวิจัยและฝึกอบรม

ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร คณะวิศวกรรมศาสตร์

ปีการศึกษา 2552

บทคัดย่อ

การวิจัยเรื่องการพัฒนาและสร้างเครื่องจักตอกไม้ไผ่ฉบับนี้ เป็นการสร้างตามแนวคิดเพื่อจัดสร้างเครื่องจักรช่วยในการจักตอกไม้ไผ่ทำได้สะดวกกว่าใช้แรงงานคน โดยการนำหลักการจักตอกไม้ไผ่ด้วยมือ และเครื่องต้นแบบมาใช้เป็นหลักการในการสร้างเครื่องจักตอกไม้ไผ่

เครื่องจักตอกไม้ไผ่นี้ใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ เป็นต้นกำลังของเครื่อง โดยส่งกำลังผ่านสายพานร่องลิ่ม ชุดเกียร์ทด ชุดเฟืองโซ่ ผ่านไปยังชุดเพลาโดยแบ่งระบบการทำงานแบ่งเป็น 3 ชุดหลัก คือ ชุดป้อนไม้ไผ่ ชุดตัดเฉือน และชุดลำเลียงเส้นตอกและไม้ไผ่ออก ซึ่งการทำงานของเครื่องเริ่มจากป้อนไม้ไผ่เข้าไปยังชุดป้อนไม้ไผ่ที่ลูกกลิ้งสามารถปรับระยะตามความหนาบางได้โดยอาศัยชุดสปริง หลังจากนั้นไม้ไผ่จะเคลื่อนไปยังชุดตัดเฉือน เพื่อทำการตัดเฉือนไม้ไผ่ให้บางลงเป็นเส้นตอก และสุดท้ายไม้ไผ่และตอกที่ได้จะเข้าสู่ชุดลำเลียงออกโดยแยกระหว่างไม้ไผ่ที่นำกลับมาป้อนใหม่ได้และตอกเส้นบาง ตอกเส้นบางที่ได้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในด้านการเกษตรต่อไป

จากการทดลองได้ใช้ไม้ไผ่นวลในการทดลองโครงงาน พบว่าระบบกลไกต่างๆ สามารถจักตอกได้ตอกแต่ละเส้นใช้เวลาโดยประมาณ 3 วินาทีที่ขนาดความยาว 100 มิลลิเมตร และสามารถจักตอกได้อยู่ในช่วงความหนา 0.3-0.7 มิลลิเมตร โดยทำการผลิตได้ประมาณ 750 ชิ้น / ชั่วโมง

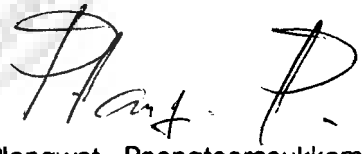
(นายพลังวัชร์ แพ่งธีระสุขมัย)
ผู้วิจัย

ABSTRACT

This Designing and Producing the Bamboo Of Cleave Machine Semi-automatic is Produced in Order to Produce the Machine that help to press the Bamboo which be Able to do Easier than using Workers by Applying the Principle of Pressing Bamboo by Hand and to be the Principle of Producing the Press Bamboo Machines

. This Machine use AC Motor to be first Power of Machine by Passing the Power through V - bealt to Another Systems. The System is Divided into 3 main sets that are : insert set, Cutting set, and Moving Equipment which Start from inserting the Bamboo into Rolling set that the Roller can Adjust the Distance According to the thick by using Mechanism. Then, Bamboo will be Moved to Cutting set , Slice the Bamboo to be Strip. Finally, the Bamboo and the Strip of Bamboo that we get will be Moved to Moving Equipment by Separating Between the Bamboo that Reused and Strips. The Strips can be used in Agriculture Later.

From Testing this Project found that the Mechanical Systems can Produce Each Strip in 3 seconds Approximately and the thick Range that can be Sliced best is 0.3-0.7 Millimeters and Cleave the Bamboo 750 part / hour



(Mr. Plangwat Paengteerasukkamai)

Research

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	**ก**
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	**ข**
สารบัญ	**ค**
สารบัญ (ต่อ)	**ง**
สารบัญ (ต่อ)	**จ**
สารบัญตาราง	**ช**
สารบัญรูปภาพ	**ซ**
สารบัญรูปภาพ (ต่อ)	**ค**
บทที่ 1 บทนำ	
- ความเป็นมาและที่มาของปัญหาทำการวิจัย	1
- วัตถุประสงค์ของ	2
- ขอบเขตของโครงการวิจัย	2
- วิธีดำเนินการวิจัย	2
- ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
- ระยะเวลาทำการวิจัย	4
- งบประมาณของโครงการวิจัย	4
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ลักษณะทั่วไปของไม้ไผ่	5
2.2 ประโยชน์ของไม้ไผ่	10
2.3วิวัฒนาการการจักตอก	11
2.4 ทฤษฎีที่ใช้ในการคำนวณ	13
2.4.1 มอเตอร์	13
2.4.2 ตลับลูกปืน	39
2.4.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับเฟือง	45
2.4.4 ทฤษฎีเกี่ยวกับเพลา	51
2.4.5 ไซ่กำลัง	60

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 ขันตอนการดำเนินงานวิจัย	
- ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	64
- ขั้นตอนการสร้าง	70
- การคำนวณ	70
- ขั้นตอนการหาประสิทธิภาพ	98
บทที่ 4 ผลที่ได้จากการทดลอง	
ผลจากการทดลอง	100
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	
- สรุปผลกาทดลอง	101
- ข้อเสนอแนะและแนวทางปรับปรุง	102
บรรณานุกรม	103

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ไม้ไผ่ที่ปลูกกันมากในประเทศไทยและนำมาใช้ประโยชน์	8
ตารางที่ 2.2 มอเตอร์ที่มีทอร์กกระตุ้นสูง (NEMA design C)	36
ตารางที่ 2.3 แสดงการเพิ่มอุณหภูมิเหนืออุณหภูมิสูงสุดของฉนวนแต่ละชนิด	37
ตารางที่ 2.3 ขนาดของตลับลูกปืนชนิดลูกกลิ้งกลม ตาม DIN 625	43
ตารางที่ 2.4 ค่าตัวเลขชี้ดจำกัดของผมคูณระหว่างความโตเพลากับความเร็ว	44
ตารางที่ 2.5 ขนาดระบุของเพลาตามมาตรฐาน ISO/R775-1969	54
ตารางที่ 2.6 ค่าตัวประกอบความล้า	58

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 1.1 แผนผังการดำเนินการออกแบบและสร้างเครื่องจักร	3
รูปที่ 2.1 มอเตอร์ไฟฟ้า	14
รูปที่ 2.2 แสดงการทำงานของมอเตอร์	14
รูปที่ 2.3 แสดงการทำงานของมอเตอร์	15
รูปที่ 2.4 ส่วนประกอบของมอเตอร์	16
รูปที่ 2.5 แสดงวงแหวนคอมมิวเตเตอร์ และ แปรงถ่าน	17
รูปที่ 2.6 มอเตอร์ แสดงโครงสร้างและภาพจริงของอาเมเจอร์	18
รูปที่ 2.7 แสดงภาพด้านหน้าและด้านหลังของมอเตอร์ แสดงโครงสร้าง และภาพจริงของอาเมเจอร์	18
รูปที่ 2.8 แสดงสเตเตอร์และส่วนประกอบซึ่งเป็นแม่เหล็กถาวร	18
รูปที่ 2.9 แสดงอาเมเจอร์และส่วนประกอบ	19
รูปที่ 2.10 ส่วนฝาพลาสติกที่มีขั้วต่อไฟเชื่อมต่อกับแผ่นทองแดง	19
รูปที่ 2.11 วงจรแสดงการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระตรงแบบอนุกรม	20
รูปที่ 2.12 วงจรแสดงการทำงานมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน	20
รูปที่ 2.13 วงจรแสดงการทำงานมอเตอร์ไฟฟ้ากระตรงแบบชอร์ทชั้นท์คอมเปาว์ด	21
รูปที่ 2.14 วงจรแสดงการทำงานมอเตอร์ไฟฟ้ากระตรงแบบลองชั้นท์เปาว์ดมอเตอร์	21
รูปที่ 2.15 เฟรมหรือโยค	23
รูปที่ 2.16 ขดลวดพันอยู่รอบขั้วแม่เหล็ก	23
รูปที่ 2.17 ลักษณะของขั้วแม่เหล็ก	24
รูปที่ 2.18 โรเตอร์	24
รูปที่ 2.19 แปรงถ่าน	25
รูปที่ 2.20 ซองแปรงถ่าน	25
รูปที่ 2.21 การหมุนของสนามแม่เหล็ก	28
รูปที่ 2.22 กระแสเหนี่ยวนำในโรเตอร์	28
รูปที่ 2.23 มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสแบบหางกระรอก	28
รูปที่ 2.24การต่อขดลวดของมอเตอร์เหนี่ยวนำหางกระรอกแบบอัตราเร็วหลายค่า	31
รูปที่ 2.25 มอเตอร์เหนี่ยวนำแบบขดลวดพันรอบโรเตอร์สามเฟส	32
รูปที่ 2.26 มอเตอร์ซิงโครนัสสามเฟส	32

หน้า

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่ 2.27 กราฟทอร์กและอัตราเร็ว 34
รูปที่ 2.28 ประสิทธิภาพมอเตอร์ 35
รูปที่ 2.29 มอเตอร์และการจัดโหลด 38
รูปที่ 2.30 โครงสร้างของตลับลูกปืน 39
รูปที่ 2.31 ตลับลูกปืน 39
รูปที่ 2.32 ตลับลูกปืนและส่วนประกอบ 39
รูปที่ 2.33 ตลับลูกปืนชนิดกลม 40
รูปที่ 2.34 ตลับลูกปืนชนิดลูกกลิ้งกลมแบบมีบ่ากับฐาน 40
รูปที่ 2.35 ตลับลูกปืนชนิดลูกกลิ้งกลมแบบเอียง 41
รูปที่ 2.36 ตลับลูกปืนชนิดลูกกลิ้งกลมแบบแกว่งปรับศูนย์ 41
รูปที่ 2.37 ตลับลูกปืนชนิดลูกกลิ้งเข็ม 42
รูปที่ 2.38 หลักการของเฟือง 46
รูปที่ 2.39 เฟืองตรง 46
รูปที่ 2.40 เฟืองหนอน 47
รูปที่ 2.41 เฟืองดอกจอก 47
รูปที่ 2.42 ลักษณะรูปร่างของฟันเฟือง 48
รูปที่ 2.43 เฟืองสะพาน 48
รูปที่ 2.44 การหมุนของฟันเฟือง 50
รูปที่ 2.45 ลักษณะการขบเฟือง 50
รูปที่ 2.46 เรือนรับเพลาสปินเดิล 52
รูปที่ 2.47 ลักษณะเพลาข้อเหวี่ยง 53
รูปที่ 2.48 ลักษณะเพลาเกียร์ 53
รูปที่ 2.49 ประเภทของแกนเพลา 54
รูปที่ 2.50 เพลาอยู่ภายใต้แรงต่างๆ 56
รูปที่ 2.51 อุปกรณ์จับยึดโซ่. 61
รูปที่ 2.52 โซ่ลูกกลิ้ง 62

หน้า

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่ 2.53 โซ่ลูกกลิ้งแบบชุดหลายเส้น 62
รูปที่ 2.54 โซ่ลูกกลิ้งแบบ2เส้น 62
รูปที่ 2.55 โซ่โบลต์แบบ4แผ่น 63
รูปที่ 2.56 เพลาเข้าอยู่บน 63
รูปที่ 2.57 เพลาเข้าอยู่ล่าง 63
รูปที่ 2.58 เพลาเข้าอยู่ล่าง เพลาออกบน 63
รูปที่ 2.59 เพลาเข้าอยู่ล่าง เพลาออกล่าง

อธิบายสัญลักษณ์

A	=	พื้นที่	ตารางมิลลิเมตร
C	=	ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางล้อสายพาน	มิลลิเมตร
C_m	=	ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการดัด	-
C_t	=	ตัวประกกอบความล้าเนื่องจากการบิด	-
D_D	=	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางล้อสายพานใหญ่	มิลลิเมตร
d_D	=	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางล้อสายพานเล็ก	มิลลิเมตร
F	=	แรงกระทำ	นิวตัน
F_R	=	แรงต้านเนื่องจากแรงเสียดทาง	นิวตัน
F_t	=	แรงต้านการเคลื่อนที่รวม	นิวตัน
K	=	ค่าคงที่ของสปริง	นิวตันต่อมิลลิเมตร
k_1	=	ตัวประกอบใช้งาน	-
k_2	=	ตัวประกอบใช้งานหน้าตัดสายพาน	-
L	=	ความยาว	มิลลิเมตร
L_{10}	=	อายุเฉลี่ยการใช้งานของแบริ่ง	ชั่วโมง
L_D	=	ความยาวพิตช์	มิลลิเมตร
M	=	โมเมนต์ดัด	นิวตัน-เมตร
m	=	มวล	กิโลกรัม
m_w	=	อัตราทด	-
N	=	ค่าความปลอดภัย	-
n	=	ความเร็วรอบ	รอบต่อนาที
P	=	แรงสมมูล	นิวตัน
r	=	รัศมี	มิลลิเมตร
T	=	แรงบิด	นิวตัน-เมตร
V	=	ความเร็วรอบสายพาน	เมตรต่อวินาที
W	=	น้ำหนัก	นิวตัน
W_P	=	กำลังงานที่ส่งผ่าน	วัตต์
Z	=	จำนวนสายพาน	เส้น
α	=	มุมสัมผัสล้อสายพาน	เรเดียน

อธิบายสัญลักษณ์ (ต่อ)

β	=	มุมเอียงของสายพาน	เรเดียน
σ	=	ความเค้น	นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร
τ	=	ความเค้นเฉือน	นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร
τ_D	=	ความเค้นเฉือนใช้งาน	นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร
μ	=	สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน	-

บทที่ 1
บทนำ

ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ปัจจุบันมีกลุ่มงานจักสานเกิดขึ้นในชุมชนต่าง ๆ ทั่วประเทศไทยช่วยให้ประชาชนในพื้นที่มีรายได้หรือทำเป็นอาชีพเสริมหลังจากว่างทำอาชีพเกษตรกรรม โดยตั้งเป็นกลุ่มแม่บ้านเพื่อเป็นการอนุรักษ์ภูมิปัญญาชาวบ้านเรื่องงานจักสานซึ่งทำให้ชาวบ้านมีงานทำ นอกจากนี้ยังมีประโยชน์ด้านอื่น ๆ เช่น ทำให้ประชาชนละเว้นจากอบายมุขและสิ่งเสพติด ป้องกันการเคลื่อนย้ายแรงงานชนบทสู่ต่างถิ่น เป็นต้น สินค้าที่ผลิตเป็นสินค้าพื้นบ้านออกมาจำหน่าย เช่น กระบุง กระจาด ตะกร้า กระเช้าผลไม้ สุ่มไก่ ข้อง ไซ กระด้ง เป็นต้น ซึ่งการแปรรูปวัตถุดิบไม้ไผ่ให้เป็นตอกเพื่อใช้จักสานเป็นผลิตภัณฑ์จักสานไม้ไผ่ประเภทต่าง ๆ อุตสาหกรรมประเภทนี้ยังขาดเครื่องมือและอุปกรณ์ช่วยในการจักตอก ปัจจุบันยังต้องใช้แรงงานคนเป็นหลักในการจักตอกด้วยมือ โดยการนำไม้ไผ่มาผ่าซีกและใช้มีดจักตอกได้ความหนาที่ต้องการ สำหรับงานละเอียดจักตอกจะมีความหนา 0.3 – 0.5 มิลลิเมตร ใช้จักสานงานที่มีความประณีตและต้องการความสวยงานของลายผลิตภัณฑ์ซึ่งใช้เวลานานคุณภาพบางเส้นของจักตอกอาจไม่เท่ากันและไม่ทันต่อการจำหน่าย แต่มีผลิตภัณฑ์จักสานบางประเภทต้องการผลิตจำหน่ายจำนวนมากโดยใช้ตอกที่มีขนาดความหนามากกว่าคือ มีความหนาตั้งแต่ 0.5-0.7 มิลลิเมตร มีความละเอียดในการทำไม่มากแต่ต้องการปริมาณจักตอกมาทำเป็นผลิตภัณฑ์จำนวนมาก ซึ่งการจักตอกด้วยมือก็ยังคงใช้เวลานานและต้องทำโดยผู้มีประสบการณ์ในการจักตอก การดำเนินการผลิตภัณฑ์จักสานประเภทหลังดังกล่าวประสบปัญหาอย่างมากไม่ว่าในด้านของต้นทุนการผลิตเพราะต้องใช้แรงงานคนและเวลาทำ

และเมื่อปี พ.ศ. 2548 ผู้วิจัยได้ออกแบบและสร้างเครื่องจักตอกขึ้นมีประสิทธิภาพการทำงานสามารถจักตอกที่ความหนา 0.5 – 0.7 ม.ม. เท่านั้น การตั้งความหนาของจักตอกทำได้ยากต้องให้ผู้เชี่ยวชาญและมีเครื่องมือเฉพาะ เครื่องที่ออกแบบและสร้างขึ้นดังกล่าวประสิทธิภาพการทำงานในขอบเขตความหนาที่จำกัด การลงทุนเครื่องไปใช้งานจึงยังไม่คุ้มในการลงทุนสำหรับงานจักสานที่กล่าวมาทั้งสองแบบ

ด้วยเหตุดังกล่าว ผู้วิจัยจึงได้ออกแบบพัฒนาเครื่องจักตอกกึ่งอัตโนมัติขึ้นใหม่ให้มีประสิทธิภาพขอบเขตการทำจักตอกความหนาได้ครอบคลุมผลิตภัณฑ์จักสานทุกแบบ โดยการปรับตั้งความหนาในในการจักตอกได้ ซึ่งเครื่องจักตอกเดิมที่ผู้วิจัยได้สร้างเมื่อ ปี พ.ศ.2548 ผู้วิจัยทราบปัญหาและข้อบกพร่องของเครื่อง เพื่อนำมาเป็นแบบในการดำเนินการพัฒนาและสร้างเครื่องจักตอกใหม่ให้มีระบบการทำงานตั้งความหนาจักตอกง่ายขึ้น

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. ศึกษากระบวนการผ่าไม้ไผ่และดูระบบการทำงานของเครื่องจักตอกไม้ไผ่เดิม นำปัญหาของเครื่องเดิมไปวิเคราะห์แก้ไข

2. เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องจักตอกใหม่ให้มีความสามารถจักตอกได้ความหนา 0.3-0.5 มิลลิเมตร

3. เพื่อทดสอบหาประสิทธิภาพของเครื่องจักตอกที่พัฒนาและสร้างขึ้นใหม่

ขอบเขตของโครงการวิจัย

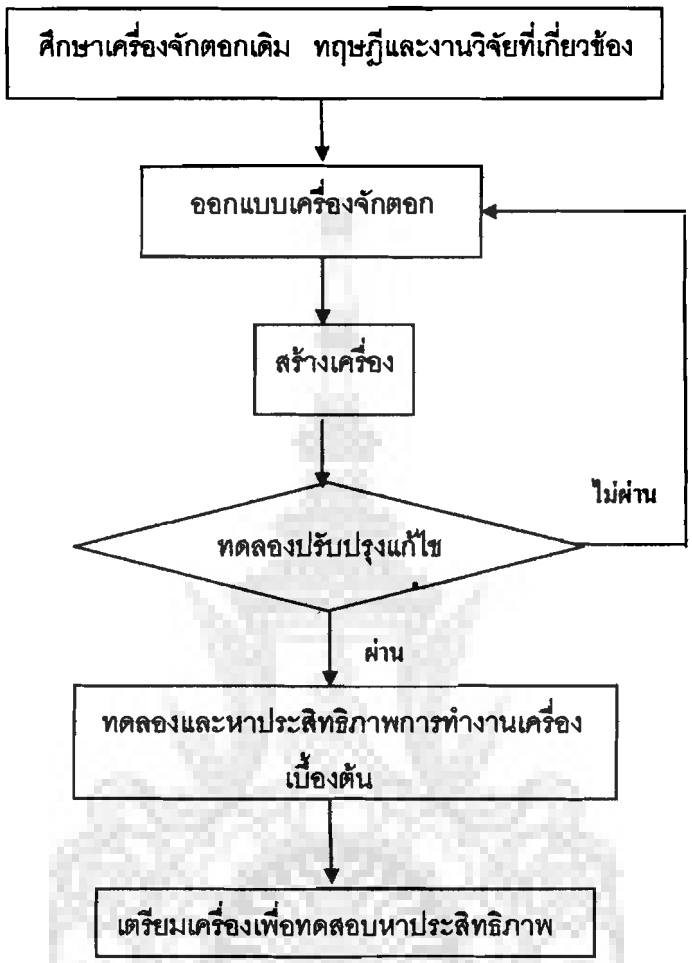
1. ไม้ไผ่ที่ป้อนเข้าเครื่องไม่มีข้อปล้อง
2. เครื่องจักตอกมีขนาด กว้าง x ยาว x สูง = 90 x 190 x 120 เซนติเมตร
3. ใช้มอเตอร์ขนาด 1 แรงม้า 220 โวลท์ เป็นต้นกำลังของเครื่องจักตอก
4. เครื่องจักตอกมีลักษณะการจักตอกแบบขนานผิวเปลือกด้านนอกของไม้ไผ่
5. ลักษณะของการจักตอกอาศัยหลักการ Roller อัดเข้าหาคมตัดมีดโดยขนาด Roller 2 ลูก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2-3 นิ้ว โดยมอเตอร์ส่งกำลังใช้อัตราความเร็ว 7-8 เมตร/นาที ลักษณะพิเศษของ Roller เป็นเหล็กพิมพ์ลายกลมและเป็นยางตันกลม
3. ความหนาของเส้นตอกมีขนาด 0.3-0.5 มิลลิเมตร กว้าง 5-8 มิลลิเมตรต่อความยาว 1-1.20 เมตร มีอุปกรณ์จับยึดชุดมีดในแนวนอนและแนวตั้งที่สามารถปรับระยะได้ และสามารถจักรตอกได้ครั้งละ 3 ชิ้นต่อการป้อนไม้ไผ่ 1 ซีก
4. ส่งกำลังจากมอเตอร์ด้วย ระบบเฟืองโซ่

วิธีการดำเนินการวิจัย และสถานที่ทำการทดลอง/เก็บข้อมูล

ขั้นตอนการวิจัย

1. ศึกษาเครื่องจักตอกเดิมที่มีจำหน่ายในปัจจุบัน
2. ศึกษาเครื่องจักตอกด้วยแบบที่จะต้องนำมาพัฒนา
3. ออกแบบและสร้างเครื่องจักตอกที่ต้องการพัฒนา
   - 3.1 ออกแบบและสร้างชุดมีดตัดขอบให้ได้ขนาด 5-8 มิลลิเมตร
   - 3.3 ออกแบบและพัฒนาชุดมีดจักตอกตามแนวขนานผิวโดยสามารถจักตอกได้ขนาด 0.3 - 0.5 มิลลิเมตร
4. พัฒนาชุดป้อนไม้ไผ่เข้าเครื่องจักตอก
5. ออกแบบและสร้างโครงเครื่องจักตอกให้สอดคล้องกับอุปกรณ์ที่จะติดตั้ง
6. ทดลองการทำงานของเครื่องจักตอกและเก็บผลข้อมูล
7. สรุปผลและวิเคราะห์การทำงานของเครื่องจักตอก

แผนผังการดำเนินการออกแบบและสร้างเครื่อง



รูปที่ 1.1 แผนผังการดำเนินการออกแบบและสร้างเครื่อง

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้เครื่องจักตอกที่สามารถจักตอกได้ความหนาขนาด 0.3-0.7 มิลลิเมตร

2. กลุ่มงานเครื่องจักสานสามารถนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์กับงานที่ทำ สร้างรายได้ต่อครอบครัวและสังคม

3. เมื่อจดสิทธิบัตรแล้ว จะสร้างเครื่องออกจำตามที่ผู้ติดต่อขอซื้อเพื่อนำไปใช้งานด้านจักสานในราคาถูก

ระยะเวลาทำการวิจัย และแผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย

เริ่มต้นดำเนินโครงการวิจัย วันที่1ตุลาคม พ.ศ. 2551- วันที่ 30 กันยายน พ.ศ. 2552 (12 เดือน)

แผนดำเนินโครงการแผนดำเนินงานตลอดโครงการในช่วง 12 เดือน ดังนี้

กิจกรรม	2551			2552								
	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค	ก.พ	มี.ค	เม.ย	พ.ค	มิ.ย	ก.ค.	ส.ค	ก.ย.
1. ศึกษาค้นคว้าหาข้อมูล	←	→										
2 ออกแบบ			←	→								
3. สร้าง					←	→						
4. ทดลองการทำงานและเก็บผลข้อมูล										←	→	
5. สรุปผลการทำงาน												↔

งบประมาณของโครงการวิจัย

รายละเอียดงบประมาณของโครงการวิจัย 50,000 บาท (ห้าหมื่นบาท)แบ่งเป็นหมวดได้ดังนี้

ก. หมวดค่าตอบแทน รายละเอียด ดังนี้

- ค่าตอบแทนหัวหน้าโครงการวิจัย (10% ของงบดำเนินการ) 5,000 บาท

ข. หมวดค่าใช้สอย 4,000 บาท รายละเอียดดังนี้

- ค่าจ้างพิมพ์เอกสารงานวิจัย 700 บาท
- ค่าจ้างเคลือบปกหนัง ตัวหนังสือทอง (รูปเล่มงานวิจัย) 10 เล่มๆ ละ 300 = 3,000 บาท
- ค่าจ้างแปลบทคัดย่อภาษาไทยเป็นภาษาอังกฤษ 300 บาท

ค. หมวดค่าสาธารณูปโภค

- ค่าน้ำ – ไฟฟ้า ให้กับหน่วยงาน 2,500 บาท

ง. หมวดค่าวัสดุ 38,500 บาท รายละเอียดดังนี้

- ค่าวัสดุและอุปกรณ์ 38,500 บาท

<u>หมายเหตุ</u> ถัวเฉลี่ยทุกรายการ

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

บทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ที่นำมาใช้ในการพัฒนาเครื่องจักตอกไม้ไผ่กึ่งอัตโนมัติ และอุปกรณ์ผ่าไม้ไผ่โดยนำวิชาต่าง ๆ หลายแขนงมาทำการออกแบบและคำนวณ เพื่อหาความเป็นไปได้ที่จะพัฒนาเครื่องจักตอกไม้ไผ่กึ่งอัตโนมัติและอุปกรณ์ผ่าไม้ไผ่ที่มีประสิทธิภาพการทำงานที่ดี โดยจะมีทฤษฎีที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

2.1 ลักษณะทั่วไปของไม้ไผ่

2.2 ประโยชน์ของไม้ไผ่

2.3 วิวัฒนาการการจักตอก

2.4 ทฤษฎีที่ใช้ในการคำนวณ

2.4.1 มอเตอร์ไฟฟ้า

2.4.2 ตลับลูกปืน

2.4.3 เฟือง

2.4.4 เพลา

2.4.5 เฟืองโซ่

2.4.6 เกียร์ทดรอบ

2.1 ลักษณะทั่วไปของไม้ไผ่

ไม้ไผ่ เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว ที่มีวิวัฒนาการมาจากพืชตระกูลหญ้า ซึ่งจัดเป็นหญ้าที่มีอายุยืนยาวที่สุด บางชนิดมีอายุยืนยาวเป็นร้อยปี อย่างไรก็ดีไม้ไผ่ก็ยังคงมีลักษณะทางชีพลักษณ์(การออกดอกและผลิตเมล็ด)ในรูปแบบเดียวกับหญ้า กล่าวคือ เป็นพืชที่มีชีพลักษณ์เป็นแบบ monocarpic เมื่อออกดอกและผลิตเมล็ดแล้วต้นแม่ก็จะตายไป ไม้ไผ่มีถิ่นกำเนิดและการกระจายพันธ์ตามธรรมชาติอย่างกว้างขวางครอบคลุมเกือบทุกส่วนของโลก ทั้งในเขตหนาว เขตอบอุ่นและเขตร้อน ยกเว้นในทวีปยุโรป ไม้ไผ่ทั่วโลกที่มีลักษณะยืนต้น(woody bamboo)มีประมาณ 77 สกุล(genera) 1,030 ชนิด (species) ส่วนที่พบในประเทศไทยมีประมาณ 15 สกุล 82 ชนิด ซึ่งคาดว่ายังมีบางชนิดที่หลงเหลือจากการสำรวจ เนื่องจากอยู่ในป่าลึกและขาดแคลนผู้เชี่ยวชาญในการจำแนกพันธุ์ อุปสรรคที่สำคัญอีกประการหนึ่งคือ การที่ไม้ไผ่มีอายุชัยในการออกดอกและผลิตเมล็ดยาวนานแตกต่างกัน บางชนิดใช้เวลานาน 30 - 50 ปี ในขณะที่บางชนิดใช้เวลานานกว่าร้อยปีก็มี อายุชัยการออกดอกที่ยาวนานและไม่สม่ำเสมอเช่นนี้ เป็นอุปสรรคในการเก็บหาและรวบรวมตัวอย่างที่จำเป็นในการจำแนกพันธุ์เป็นอย่างยิ่ง ไม้ไผ่สามารถจำแนกโดยอาศัยลักษณะการเรียงตัวของเหง้าออกได้เป็น 2 กลุ่ม กลุ่มที่มีระบบเหง้ากอ (sympodial or pachymorph system) ได้แก่ไม้ไผ่ที่มีถิ่นกำเนิดในประเทศไทยและในแถบร้อนชื้น (tropical zone)ไม้ไผ่ที่มีระบบเหง้าประเภทนี้จะมีลักษณะของส่วนที่ติดกับโคนลำ(rhizome proper) สั้น อ้วน ตันและมีรูปร่างไม่สม่ำเสมอ(asymmetrical shape)โดยมีด้านยาวและด้านสั้น ด้านที่ยาวกว่า

จะมีตา(bud)อยู่และรอบๆตามักมีปุ่มราก(root primordia)กระจายอยู่ซึ่งจะเจริญเป็นรากต่อไป โดยทั่วไปเหง้ามีสภาพโค้งงอ เหง้าและลำของปีที่ 2เกิดจากตาบนเหง้าปีที่ 1 เหง้าและลำของปีที่ 3 เกิดจากตาบนเหง้าปีที่2 เช่นนี้เรื่อยไป

กลุ่มที่มีระบบเหง้าลำเดี่ยว(monopodial or leptomorph system)ได้แก่ไม้ไผ่ที่มีถิ่นกำเนิดในแถบกึ่งร้อนชื้น(subtropical zone) สำหรับไม้ไผ่ที่มีถิ่นกำเนิดในประเทศไทยไม่เคยมีหลักฐานว่ามีระบบเหง้าเป็นแบบลำเดี่ยวไ มีไผ่ที่มีระบบเหง้าประเภทนี้ จะมีลักษณะของส่วนที่ติดกับโคนของลำ(rhizome proper)ผอม ยาว กลวงหรือค่อนข้างตัน โดยทั่วไปเหง้าจะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กกว่าลำที่พัฒนาเจริญขึ้นไป rhizome proper มีความยาวค่อนข้างสม่ำเสมอและมีตา(bud)ปรากฏอยู่บนข้อทุกข้อ แต่ตาเหล่านั้นมักมีการพักตัวแบบชั่วคราวหรือถาวร(temporarily or permanently dormant)จึงมักจะไม่มีการพัฒนาต่อไป สำหรับตาที่สามารถพัฒนาและเจริญต่อได้ โดยมากจะพัฒนาไปเป็นลำไผ่ มีส่วนน้อยที่พัฒนาไปเป็นเหง้า

ไม้ไผ่เป็นวัสดุที่เก่าแก่ที่สุดที่มนุษย์รู้จักนำมาใช้เพื่อความสะดวกสบายในชีวิตประจำวัน ในขณะที่โลกปัจจุบันเป็นเรื่องของพลาสติกและเหล็ก แต่ก็ยังมีโครงการร่วมมือค้นคว้า เรื่องไม้ไผ่ระหว่างชาติต่าง ๆ เพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลทางวิชาการในการใช้ไม้ไผ่ซึ่งกันและกันในประเทศลาตินอเมริกัน 6 ประเทศในขณะนี้ได้มีโครงการวิจัยร่วมกันเพื่อจะหาชนิดของไม้ไผ่ที่ดีที่สุดจากภาคต่าง ๆทั่วโลก

ไม้ไผ่เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวอยู่ในวงศ์ Gramineae เช่นเดียวกับหญ้าแต่เป็นพืชตระกูลหญ้าที่สูงที่สุดในโลก และเป็นพืชเมืองร้อน ไม้ไผ่ใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวาง เช่น ใช้ในการก่อสร้างไม้นั่งร้านทาสีฉาบปูน ใช้จักสานภาชนะต่าง ๆ ใช้ทำเครื่องดนตรี ใช้เป็นเยื่อกระดาษในอุตสาหกรรมทำกระดาษ ทำเครื่องกีฬา ใช้เป็นอาวุธ เช่น ดันธนู หอก หลาว ใช้เป็นเครื่องอุปกรณ์การประมง เช่น ทำเสาโป๊ะ ทำเครื่องมือในการเกษตร นอกจากนั้นใบยังใช้ห่อขนม หน่อไผ่ใช้เป็นอาหารอย่างวิเศษ และกอไผ่ยังใช้ประดับสวนได้งดงาม ไม่ไผ่ทั่วโลกที่รู้จักกันมีประมาณ 75 สกุล ที่ได้สำรวจพบในเมืองไทยมีประมาณ 12 สกุล แยกเป็นชนิดประมาณ 44 ชนิด

ชนิดของไม้ไผ่ที่ใช้งานที่ควรทราบ มีดังต่อไปนี้

1. ไผ่ตง (D.asper) เป็นไผ่ในสกุล Dendrocalamus นิยมปลูกกันในภาคกลางโดยเฉพาะที่จังหวัดปราจีนบุรีปลูกกันมาก เป็นไผ่ขนาดใหญ่ ลำต้นมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 6-12 เซนติเมตร ไม่มีหนามปล้องยาวประมาณ 20 เซนติเมตร โคนต้นมีลายขาวสลับเทา มีขนเล็ก ๆ อยู่ทั่วไปของลำ มีหลายพันธุ์ เช่นไผ่ตงหม้อ ไผ่ตงดำ ไผ่ตงเขียว ไผ่ตงหนู เป็นต้น หน่อใช้รับประทานได้ ลำต้นใช้สร้างอาคาร เช่น เป็นเสา โครงหลังคา เพราะแข็งแรงดี ไผ่ตงมีต้นกำเนิดจากประเทศจีน ชาวจีนนำมาปลูกในประเทศไทยประมาณปี พ.ศ. 2450 ปลูกครั้งแรกที่ตำบลพระราม จังหวัดปราจีนบุรี
2. ไผ่สีสุก (B.flaxuosa) อยู่ในสกุล Bambusa ไผ่ชนิดนี้มีอยู่ทั่วไปและมีมากในภาคกลางและภาคใต้ลำต้นเขียวสดเป็นไผ่ขนาดสูงใหญ่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นประมาณ7-10

เซนติเมตร ปล้องยาวประมาณ 4-10 เซนติเมตร บริเวณข้อมีกิ่งเหมือนหนาม ลำต้นเนื้อหนา ทนทานดี ใช้ทำนั่งร้านในการก่อสร้าง เช่น นั่งร้านทาสี นั่งร้านฉาบปูน

3. ไผ่ลำมะลอก (D.longispathus) อยู่ในสกุล Dendrocalamus มีทั่วทุกภาคแต่ในภาคใต้จะมีน้อยมาก ลำต้นสีเขียวแก่ไม่มีหนาม ข้อเรียบ จะแตกใบสูงจากพื้นดินประมาณ 6-7 เมตร ปล้องขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7-10 เซนติเมตร ลำต้นสูงประมาณ 10-15 เมตร ลำต้นใช้ทำนั่งร้านในงานก่อสร้างได้ดี
4. ไผ่ป่าหรือไผ่หนาม (B.arumdinacea) อยู่ในสกุล Bambusa มีทั่วทุกภาคของประเทศต้นแก่มีสีเขียวเหลือง เป็นไผ่ขนาดใหญ่ มีหนามและแขนง ปล้องขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 -15 เซนติเมตร ใช้ทำโครงบ้าน ใช้ทำนั่งร้าน
5. ไผ่ดำหรือไผ่ตาดำ (B.sp.) อยู่ในสกุล Bambusa มีในป่าทึบแถบจังหวัดกาญจนบุรีและจันทบุรี ลำต้นสีเขียวแก่ ค่อนข้างดำ ไม่มีหนาม ขนาดเส้นผ่านเส้นศูนย์กลางของปล้องประมาณ 7-10 เซนติเมตรปล้องยาว 30-40 เซนติเมตร เนื้อหนา ลำต้นสูง 10-12 เมตร เหมาะจะใช้ในการก่อสร้าง จักสาน
6. ไผ่เฮียะ (C.Virgatum) อยู่ในสกุล Cephalastachyum มีทางภาคเหนือ ลำต้นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5-10 เซนติเมตร ปล้องยาวขนาด 50-70 เซนติเมตร ข้อเรียบ มีกิ่งก้านเล็กน้อย เนื้อหนา 1-2 เซนติเมตร ลำต้นสูงประมาณ 10-18 เมตร ลำต้นใช้ทำโครงสร้างอาคาร เช่น เสา โครงคลังคา คาน
7. ไผ่รวก (T. siamensis) อยู่ในสกุล Thyrsostachys มีมากทางจังหวัดกาญจนบุรี ลำต้นเล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2.7 เซนติเมตร สูงประมาณ 5-10 เมตร ลักษณะเป็นกอ ลำต้นใช้ทำรั้ว ทำเยื่อกระดาษ ไม้รวกที่ส่งออกขายต่างประเทศ เมื่อทำให้แห้งดีแล้ว จะนำไปจุ่มลงในน้ำมันโซลาเพื่อกันแมลง น้ำมันโซลา 20 ลิตร จะอาบไม้รวกได้ประมาณ 40,000 ลำ
8. ไผ่บงเป็นไผ่ที่พบเห็นทุกภาคของประเทศไทย โดยมากจะพบไผ่ชนิดนี้ตามป่าดงดิบใกล้แม่น เป็นไผ่ขนาดใหญ่ เส้นผ่าศูนย์กลางของลำต้นประมาณ 6-18 เซนติเมตร ความยาวของปล้องประมาณ 30 เซนติเมตร ประโยชน์ที่ได้รับจากไผ่บงคือ การนำมาทำรั้วบ้าน เสื่อรำแพน และงานจักสานแทบทุกชนิด
9. ไผ่ไร่ เป็นไผ่ที่มีขนาดเล็กที่สุดก็ว่าได้ เพราะมีเส้นผ่าศูนย์กลางของลำ 0.5-2.5 เซนติเมตร เท่านั้น ลำต้นมีสีเขียวแกมเทามีขนปกคลุมทั่วลำ ขึ้นเป็นกอหนาแน่นในทั่วทุกภาคของประเทศ ประโยชน์คือการนำไผ่ไร่มาใช้เป็นด้ามไม้กวาดและนำหน่อไม้มาทำอาหาร
10. ไผ่เหลืองเป็นไผ่ที่ปลูกง่าย โตเร็วในดินทุกชนิด ลำต้นมีสีเหลืองแถบเขียวปะปนกัน ไผ่เหลืองนี้เรียกกันไปหลายชื่อเช่นไผ่งาช้าง ไผ่บงดำ ไผ่จันดำ ประโยชน์ของไผ่ชนิดนี้ โดยมากจะนิยมนำไปทำเฟอร์นิเจอร์ แจกัน ที่เขี่ยบุหรี่ และคนไทยก็นิยมปลูกไผ่ชนิดนี้ประดับประดาไว้ตามบ้านเพราะลำต้นและใบจะสวยงามมาก

11. ไผ่เลี้ยงไผ่ชนิดนี้มีภาษาเรียกอย่างเป็นทางการว่า"ไผ่คลาน" พบมากที่สุดในภาคกลาง ลำต้นมีสีเขียวสด ลำต้นเล็กเมื่อโตเต็มที่จะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 2-3 เซนติเมตร เท่านั้น ปล้องยาว 20-25 เซนติเมตร ไผ่เลี้ยงชอบขึ้นและเจริญเติบโตในดินร่วน อากาศร้อนชื้น ส่วนใหญ่คนไทยนิยมปลูกไผ่ชนิดนี้เป็นไม้ประดับเสียมากกว่า เพราะลำต้นสวยงาม ไม่ใหญ่เกินไปประโยชน์ของไผ่ชนิดนี้ สามารถนำไปทำรั้วบ้านชิ้นส่วนเฟอร์นิเจอร์ และคันเบ็ดที่นิยมใช้ก็มาจากไผ่ชนิดนี้

ไม้ไผ่ที่ปลูกกันมากในประเทศไทยและนำมาใช้ประโยชน์มีอยู่ประมาณ 32 ชนิด ดังแสดง

ตารางที่ 2.1 ไม้ไผ่ที่ปลูกกันมากในประเทศไทยและนำมาใช้ประโยชน์

ชื่อพื้นเมือง	ชื่อวิทยาศาสตร์	ขนาด∅ ซ.ม.	ท้องที่ในภาค	การใช้ประโยชน์
โจ๊ด	Arundinaria ciliata	0.75-1	ใต้และตะวันออกเฉียงเหนือ	ทำเยื่อกระดาษ
หญ้าเพ็ด	A.Lusilla	0.5-0.7	ตะวันออกเฉียงเหนือ	ทำเยื่อกระดาษ
ไผ่ป่า	Bambusa Arundinaceae	10-15	ทั่วไป	เครื่องจักสาน
ไผ่สีสุก	B.blumeana	7-10	ปลูกทั่วไป	เครื่องจักสาน
ไผ่บงหนาม	B.burmarica	10-12	เหนือ	เครื่องจักสาน ไม้ค้ำยัน เยื่อกระดาษ
ไผ่ลำมะลอก	B.longispiculata	7-9	ทั่วไป	จักสาน เยื่อเรยอง
ไผ่เลี้ยง	B.nana	2-3	ทั่วไป	จักสาน ปลูกประดับ
ไผ่ซางดำ	B.pallida	7.5-15	เหนือและตะวันออกเฉียงเหนือ	จักสาน ปลูกประดับ
ไผ่หอม	B.polymorpha	6-18	เหนือ	จักสาน ก่อสร้างชั่วคราว
ไผ่บง	B.tulda	5-10	ทั่วไป	จักสาน เยื่อกระดาษ
ไผ่เหลือง	B.vulgaris	4-4.5	ทั่วไป	จักสาน เยื่อกระดาษ

ตารางที่ 2.1 (ต่อ) ไม้ไผ่ที่ปลูกกันมากในประเทศไทยและนำมาใช้ประโยชน์

ชื่อพื้นเมือง	ชื่อวิทยาศาสตร์	ขนาด∅ ซ.ม.	ท้องที่ในภาค	การใช้ประโยชน์
ไผ่ข้าวหลาม	Cephalos trachyum -pergracile Munro	12-20	เหนือ	ก่อสร้างชั่วคราว พื้น
ไผ่เฮียะ	C.virgatum	15-20	เหนือ	ก่อสร้างชั่วคราว ฝา
ไผ่บงใหญ่	Dendrocalamus Brandisii	10-17	ทั่วไป	จักสาน เยื่อกระดาษ
ไผ่เป๊าะไผ่ฮก	D.giganteus	10-12	ทั่วไป	ก่อสร้างชั่วคราว
ไผ่นวลใหญ่	D.hamiltonii	10-17	เหนือ	ก่อสร้างชั่วคราว

การขยายพันธุ์ของไผ่

ธรรมชาติของไผ่ทุกชนิด ผิดแผกแตกต่างจากพันธุ์ไม้อื่นๆเพราะสามารถขยายพันธุ์ได้ 2 แบบ คือทั้งแบบอาศัยเพศและไม่อาศัยเพศการขยายพันธุ์แบบใช้เพศ - ส่วนมากเกษตรกรจะใช้เมล็ดในการเพาะปลูก แต่มีข้อเสียที่ควรระวังคือเมล็ดส่วนใหญ่ของไผ่ตงจะไม่สมบูรณ์ เนื่องจากความชื้นและเชื้อรา ทำให้สถิติการงอกนั้นต่ำและเมื่อเพาะพันธุ์ด้วยวิธีนี้ จะทำให้ช่วงของการออกดอกไม่แน่นอนตามไปด้วย ชาวสวนไผ่...จึงหันมาขยายพันธุ์ด้วยวิธีอื่นแทน เช่นการใช้กิ่งแขนง ลำหรือเหง้า ซึ่งสะดวกรวดเร็ว และได้ผลดีเป็นที่น่าพอใจ เกษตรกรบางคนจึงหันมายึดอาชีพการปักชำกิ่งแขนงขายเป็นรายได้พิเศษนอกเหนือจากการขายลำ และขายหน่อเพิ่มเติมด้วยโดยสรุปการขยายพันธุ์นั้น มีอยู่ด้วยกัน 4 วิธีคือ

1. การใช้เมล็ด

วิธีนี้ยุ่งยาก เสียเวลา และไม่ให้ผลดีดังที่กล่าวมาแล้ว อีกอย่างหนึ่งคือ ช่วงระยะเวลาการออกดอกของไผ่ตงไม่แน่นอนเสมอไป บางครั้งอาจกินเวลานานถึง 30-40 ปีจึงจะออกดอกสักครั้งหนึ่ง เราต้องนำเมล็ดจากดอกไปเพาะชำเสียก่อน จึงจะนำไปปลูกในปีต่อไปได้

2. การใช้เหง้า

วิธีนี้เป็นวิธีที่ได้ผลดีกับไผ่ทุกชนิด วิธีการเลือกลำที่จะเป็นแม่พันธุ์ ซึ่งมีอายุระหว่าง 1-2 ปี ตัดยอดออก จนเหลือความสูงเพียง 1 เมตร ต่อจากนั้นก็ขุดดินลึกลงไปจนถึงเหง้ากับตอ แล้วนำไปปลูกในหลุมที่เตรียมไว้ทันที ส่วนหน่อเจ่า ที่ติดขึ้นมาพร้อมกับลำแม่ก็สามารถแยกไปปลูกได้เช่นกัน การ

3. การใช้ลำ

เป็นการขยายพันธุ์ที่ง่าย แต่ต้องรู้จักคัดเลือกลำ คือไม่แก่เกินไป ลำควรมีอายุระหว่าง 1-2 ปีจะเป็นการดีที่สุดเลือกตัดแต่ละลำให้มีความยาว 2 ข้อ ต่อจากนั้นจึงนำไปปักชำไว้ในที่ที่ต้องการปลูกได้เลย ต้นอ่อนจะแทงยอดออกมาตามข้อที่ฝังลงในดิน

4. การใช้กิ่งแขนง

กิ่งแขนงคือกิ่งที่แตกออกมาจากบริเวณตา ที่ข้อของลำต้น การขยายพันธุ์วิธีนี้ นิยมกันมากที่สุดเพราสะดวกรวดเร็วประหยัดค่าใช้จ่าย การเลือกกิ่งนั้นควรเลือกกิ่งที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1-1.5 นิ้ว จึงจะได้ผลดี ตัดปลายกิ่งออกให้เหลือกิ่งที่ปักชำยาวประมาณ 100 เซนติเมตร ปักชำลงไปในแปลงที่เตรียมไว้ หลังจากกลบดินแล้วใช้เท้าเหยียบให้แน่นรดน้ำให้ชุ่ม ทำหลังคาทางมะพร้าวเพื่อกันแดด ใช้เวลาอีกประมาณ 6 เดือน ก็ย้ายลงปลูกลงในหลุมที่เตรียมไว้ได้ ฤดูกาลที่เหมาะสมในการปลูกไผ่คือฤดูฝน ประมาณเดือนพฤษภาคม-สิงหาคม เนื่องจากฝนตกชุกดินจะมีความชุ่มชื้นสม่ำเสมอทำให้รากและลำต้นของไผ่ตั้งตัวได้เร็ว ไม้แห้งตาย ทั้งยังประหยัดแรงงานและประหยัดน้ำได้ด้วย

2.2 ประโยชน์ของไม้ไผ่

แทบไม่น่าเชื่อว่าไม้ไผ่ลำเล็กๆ ที่คนไทยรู้จักเป็นอย่างดีนั้น ประโยชน์ใช้สอยของมันจะอเนกอนันต์ มากมายมหาศาลอย่างที่คนหลายคนคาดไม่ถึง ซึ่งเมื่อแบ่งออกเป็นหมวดหมู่ และแยกออกเป็นประเภทๆแล้ว มนุษย์เราสามารถ
ใช้ไม้ไผ่มาทำเป็นประโยชน์ได้ดังนี้

1) ด้านการอนุรักษ์ธรรมชาติ
   - ป้องกันการพังทลายของดินตามริมฝั่ง
   - ช่วยเป็นแนวป้องกันลมพายุ
   - ชะลอความเร็วของกระแสน้ำป่า เมื่อฤดูน้ำหลาก กันภาวะน้ำท่วมฉับพลัน
   - ให้ความร่มรื่น
   - ใช้ประดับสวน จัดแต่งเป็นมุมพักผ่อนหย่อนใจในบ้านเรือน

2) ประโยชน์จากลักษณะทางฟิสิกส์

จากความแข็งแรง ความเหนียว การยืดหด ความโค้งงอ และการสปริงตัว ซึ่งเป็นคุณลักษณะประจำตัวของไม้ไผ่
เราสามารถนำมันมาใช้เป็นวัสดุเสริมในงานคอนกรีต และเป็นส่วนต่างๆของการสร้างที่อยู่อาศัยแบบประหยัดได้เป็นอย่างดีอีกด้วย

3) ประโยชน์จากลักษณะทางเคมีของไม้ไผ่

- เนื้อไผ่ใช้บดเป็นเยื่อกระดาษ
- เส้นใยใช้ทำไหมเทียม
- เนื้อไผ่บางชนิดสามารถสกัดทำยารักษาโรคได้
- ใช้ในงานอุตสาหกรรมนานาชนิด

4) การใช้ไม้ไผ่ในผลิตภัณฑ์หัตถกรรม และอุสาหกรรม แบ่งออกได้เป็น

ผลิตภัณฑ์เครื่องจักสานจากเส้นตอก ได้แก่ กระจาด กระบุง กระด้ง กระเช้าผลไม้ ตะกร้าจ่ายตลาด ขะลอม ตะกร้าใส่ขยะ กระเป๋าถือสตรี เข่งใส่ขยะ เครื่องมือจับสัตว์น้ำ เช่น ข้องใส่ปลา ลอบ ไซ ฯลฯ

ผลิตภัณฑ์จากลำต้น และกิ่งของไม้ไผ่ ได้แก่ เก้าอี้ โต๊ะ ชั้นวางหนังสือ ด้ามไม้กวาด ไม้เท้า คันเบ็ด ราวตากผ้า โครงสร้างบ้านส่วนต่างๆ ทำแคร่ นั่งร้านก่อสร้าง ท่อส่งน้ำรางน้ำ

ผลิตภัณฑ์จากเนื้อไม้ไผ่ ได้แก่ ถาดใส่ขนม ทัพพีไม้ ตะเกียบ ไม้เสียบอาหาร กรอบรูป ไม้ก้านธูป ไม้พาย ไม้เกาหลัง เครื่องดนตรีพื้นบ้าน ไม้บรรทัด

ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากไผ่ซีกได้แก่ โครงโคมกระดาษ โครงพัด โครงร่ม ลูกระนาด คันธนู พื้นม้านั่ง แผงตากปลา สุ่มปลา สุ่มไก่

ประโยชน์ของไม้ไผ่แบ่งได้ 2 ด้าน ดังนี้

1. ประโยชน์ทางด้านการบริโภค เช่น การนำหน่อไม้ไผ่มาทำเป็นอาหาร ไม่ว่าจะเป็น ซุบ แกง ต้ม หรือนำมาดองจิ้มน้ำพริก

2. ประโยชน์ในด้านการใช้สอย เราสามารถนำไม้ไผ่มาทำเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้ เช่น โต๊ะ เก้าอี้ เตียง แคร่ ฯลฯ

2.3 วิวัฒนาการการจักตอก

ไม้ไผ่ที่จะใช้ทำผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ควรเลือกไผ่ที่มีลำตรง ปล้องยาว ผิวเรียบเป็นมันไม่มีรอยแมลงเจาะไช ถ้าต้องการนำมาใช้จักสานควรเลือกไผ่ที่มีเนื้อไม้เหนียว เพื่อเวลาเหลา จัก หรือสาน จะได้ไม่หักเสียหาย เมื่อเลือกไม้มาแล้วต้องจัดเตรียมเพื่อให้ใช้ได้สะดวก โดยปฏิบัติตามวิธีการ ดังนี้

1. การตัดท่อนไม้

การตัดท่อน หมายถึง การแบ่งไม้ไผ่ออกเป็นท่อน ๆ โดยใช้มีดและเลื่อยตัด ซึ่งการตัดด้วยมีดโต้ไม้มักไม่เรียบ ถ้าต้องการให้เรียบควรตัดด้วยเลื่อยลันดา

วิธีตัดด้วยเลื่อย

1. ใช้ไม้เมตร หรือตลับเมตรวัด แล้วขีดตำแหน่งที่ต้องการตัดบนผิวไผ่

2. ใช้เลื่อยลันดาฟันละเอียดเลื่อยตามรอยขีด ขณะเลื่อยส่วนบนขาดแล้วให้หมุนท่อนไม้ไผ่ไปรอบ ๆ พยายามให้รอยเลื่อยไปจรดกับแนวพอดี จนไม้ขาดออกเป็นท่อน

วิธีตัดด้วยมีด

มีดที่ใช้ตัดลำไผ่ควรเป็นมีดที่คมมาก ๆ ใช้มือข้างซ้ายจับลำไผ่ในระดับสูงกว่าตำแหน่งที่ต้องการตัด มือขวาจับมีดให้มั่นฟันคมลงในแนวเฉียงไผทางขวา ไม้จะขาดออกโดยที่คมมีดไม่พลาดมาถูกมือซ้าย หลังจากตัดไผ่เป็นท่อนแล้ว ควรเจียนรอบปากกระบอกทั้งส่วนหัวและท้ายให้หน้าเรียบเป็นวงกลม

2. การผ่าไม้ไผ่

การผ่าไม้ไผ่เป็นขั้นตอนที่ทำได้ค่อนข้างยากและต้องใช้ความระมัดระวังเป็นพิเศษ เริ่มต้นโดยผ่าท่อนไม้ออกเป็น 2 ซีกก่อน แล้วจึงค่อย ๆ ผ่าแบ่งครึ่งซีกออกเป็นซีกเล็ก ๆ การผ่าจะต้องผ่าจากปลายไม้มาหาทางโคนไม้ทุกครั้ง เพราะเนื้อไม้ทางปลายอ่อน ทางโคนแข็งมากผ่ายากกว่า เมื่อได้ไม้ซีกเล็ก ๆ แล้วจึงรำไปจักตอก

3. การจักตอก

การจักตอก คือ การทำให้เป็นแฉก ด้วยการใช้มีดผ่าไม้ไผ่ให้แตกออกเป็นเส้นบาง ๆ เรียก ตอก ก่อนนำไปสาน ตอกไม้ไผ่โดยทั่วไปมี 2 ชนิดคือ ตอกที่จักขนานกับผิวไผ่ เรียกว่า ตอกปื้น ต้องเหลาเนื้อไม้ไผ่ด้านในออกเพื่อให้ตอกบางตามต้องการ หรืออาจจักเอาเฉพาะผิวไผ่ไว้ชั้นหนึ่งก่อนเรียก ตอกผิว ถ้านำไปจักสานจะมีความคงทนกว่าไผ่ที่จักจากเนื้อไม้

ตอกอีกชนิดหนึ่งเรียกว่า ตอกตะแคง จักตามความหนาของเนื้อไม่ไผ่ โดยเหลาขี้ไม้ออกบ้างแต่ไม่ต้องมาก ให้มีผิวไผ่ติดที่สันด้านหนึ่งทุกเส้น

วิธีจักตอก ปฏิบัติ ดังนี้

1. ก่อนจักตอกทั้งสองชนิด ควรแต่งซีกไผ่เล็ก ๆ ที่ผ่าไว้ให้เรียบก่อน

2. เหลาริมไม้ทั้งสองข้างให้เล็ก หรือใหญ่เสมอกัน

3. การจักตอกให้ทิดจักอยู่ระหว่างเส้นตอกบนและเส้นข้างล่าง ต้องพยายามควบคุมให้เส้นตอกมีความหนาเสมอกัน มิฉะนั้นเส้นตอกเสี้ยว

4. การเหลาตอก

การเหลาตอกเป็นวิธีการแต่งเกลียวเส้นตอกให้เรียบ เมื่อนำไปสานจะได้งานที่มีความละเอียด สวยงาม

1. วิธีเหลาตอกปิ้น ใช้มีดเหลาเส้นตอกให้อ่อน แข็งหนา หรือบางเสมอกันก่อนแล้วจึงเหลาลบเหลี่ยมทั้งสีที่ริมหน้าตัดเส้นตอกออกให้มีลักษณะคล้ายเมล็ดแตง คือ มีความมนในตัว ส่วนริมไม่มคม เมื่อนำไปสานจะจัดเส้นตอกให้ชิดกันได้ดี

2. วิธีเหลาตอกตะแคง ใช้วิธีการเหลาเช่นเดียวกับตอกปิ้น แต่นิยมเหลาให้ริมหน้าตัดมีลักษณะรีเหมือนรูปไข่ เพราะเส้นตอกมีขนาดเล็กกว่าตอกปิ้น

5. การย้อมสีไม้ไผ่

ไม้ไผ่เป็นไม้ที่มีสีผิวสวยตามธรรมชาติสามารถนำมาใช้ทำงานได้ทันทีแต่ผลิตภัณฑ์บางรูปแบบต้องการลวดลายที่เด่น สวยงาม แปลกตาไปจากสีไม้ธรรมชาติ จึงนำเส้นตอกมาย้อมสีก่อน

วิธีการย้อมสีไม้ไผ่

1. เหลาเส้นตอกไม้ไผ่ให้ได้ขนาด เรียบ และผึ่งให้แห้งสนิท

2. เตรียมภาชนะ เช่น ปีบ หม้อใบใหญ่ สีที่จะใช้ย้อมประเภทสีหลัก (Basic dyestuff) จะย้อมไม้ไผ่ติดได้ดี สีสวยสด เช่น สีเขียว (มาลาไชน์ กรีน) สีน้ำตาล (เอกซ์ตรา บราวน์) สีแดง (บิสมาร์ค บราวน์) สีน้ำเงิน (ยูนิสบูล)

3. ละลายสีย้อมที่ต้องการในน้ำร้อนตั้งทิ้งไว้รินน้ำเย็นลงภาชนะแล้วเทสีที่ละลายแล้วใส่ลงในหม้อน้ำคนให้เข้ากัน ใส่เกลือลงไปเล็กน้อย เพื่อให้สีติดไม้ได้ทนทาน ต้มให้เดือด

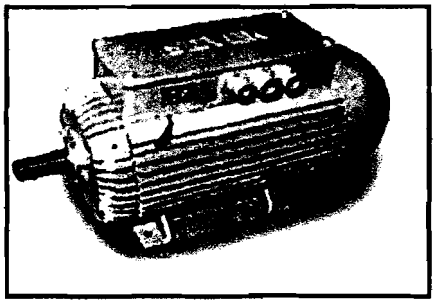
4. นำเส้นตอกไม้ไผ่จุ่มลงไปในหม้อสีแล้วเอาขึ้น หรือจะต้มก็ได้ ซึ่งจะใช้เวลานานแตกต่างกันไปตามลักษณะของเนื้อไม้ ถ้าต้องการให้สีย้อมติดเข้ม หนาก็ใช้เวลาประมาณ 20 - 60 นาที ใช้ความร้อน 90 องศาเซลเซียส การย้อมแต่ละครั้งควรย้อมสีใดสีหนึ่งโดยเฉพาะ แต่ถ้ามีความจำเป็นต้องใช้ภาชนะใบเดียวกัน ควรย้อมจากสีอ่อนไปหาสีเข้ม

5. ย้อมเสร็จแล้วให้เอาน้ำสีออกให้หมด โดยนำเส้นตอกที่ย้อมไปล้างน้ำสะอาด หรือล้างด้วยกรดน้ำส้มชนิดอ่อน เพื่อทำให้สีไม้สดขึ้น แล้วผึ่งแดดให้แห้งสนิทก่อนนำไปใช้งาน

2.4 ทฤษฎีที่ใช้ในการคำนวณ

2.4.1 มอเตอร์ไฟฟ้า

เราจะพบว่าชีวิตประจำวัน การใช้อุปกรณ์ เครื่องมือ เครื่องใช้หลายสิ่งหลายอย่างเกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหว การเคลื่อนที่ เช่น พัดลม เครื่องซักผ้า เครื่องปั่นผลไม้ เครื่องผสมอาหาร เครื่องคั้นน้ำผลไม้ และเครื่องดูดฝุ่นเป็นต้น เมื่อมองเข้าไปภายในอุปกรณ์ เครื่องมือเครื่องใช้เหล่านั้น มีสิ่งหนึ่งที่นำมาใช้งานเหมือนกันและมีบทบาทสำคัญต่อการทำงานของอุปกรณ์ เครื่องมือ เครื่องใช้เหมือนกัน สิ่งที่สำคัญสิ่งนั้นคือ มอเตอร์ (Motor) มอเตอร์คือเครื่องกลไฟฟ้า (Electormechanical Energy) ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้า (Electric Energy) ให้เป็นพลังงานกล (Mechanical Energy) ในรูปของการหมุนเคลื่อนที่ มีประโยชน์ในการนำไปใช้งานได้อย่างกว้างขวาง ถูกนำไปร่วมใช้งานกับอุปกรณ์ไฟฟ้า เครื่องมือไฟฟ้า และเครื่องใช้ไฟฟ้าถึงประมาณ 80-90% ลักษณะมอเตอร์ไฟฟ้า (Electric Motor) แสดงดังรูป



รูปที่ 2.1 มอเตอร์ไฟฟ้า

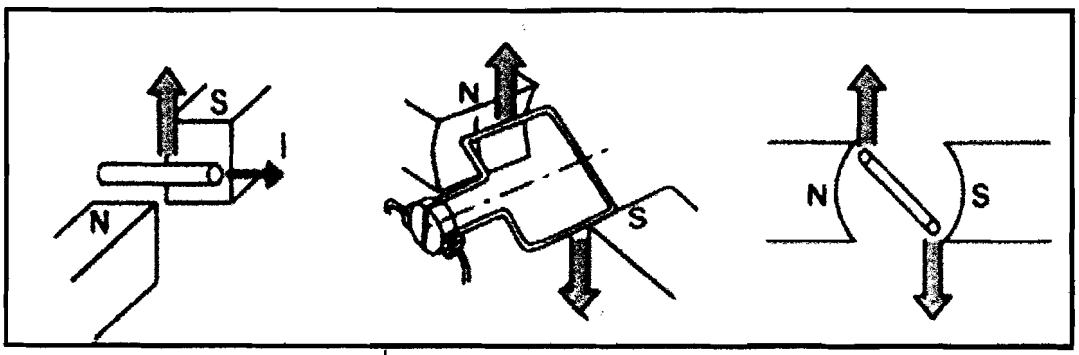
มอเตอร์ไฟฟ้ามีโครงสร้างเบื้องต้นที่สำคัญ 2 ส่วนคือ ส่วนแม่เหล็กถาวร และส่วนของขดลวดตัวนำ ซึ่งมีโครงสร้างคล้ายกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า การทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าอาศัยสนามแม่เหล็ก 2 ชุดที่เกิดขึ้น ได้แก่ สนามแม่เหล็กถาวร และสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของขดลวดตัวนำ ส่งผลให้เกิดการผลักดันกันขึ้นของสนามแม่เหล็กทั้งสอง ทำให้ขดลวดตัวนำเคลื่อนที่ที่วางอยู่กลางแม่เหล็กถาวร เกิดการหมุนเคลื่อนที่ไปได้ การหมุนเคลื่อนที่ของขดลวดตัวนำและทิศทางการเคลื่อนที่

การทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้า

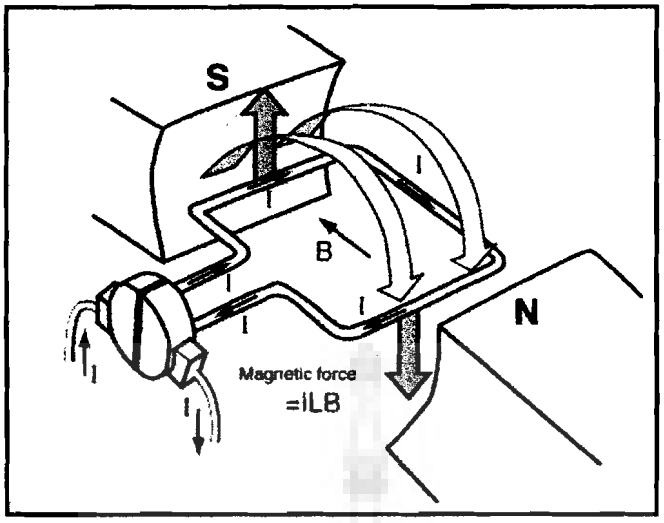
มอเตอร์ไฟฟ้าที่ถูกผลิตขึ้นมาใช้งานแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor) เป็นมอเตอร์ที่ต้องใช้กับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (DC Source) เป็นมอเตอร์แบบเบื้องต้นที่ถูกผลิตมาใช้งาน และมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Motor) เป็นมอเตอร์ที่ต้องใช้กับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Source) มอเตอร์ชนิดนี้ถูกพัฒนามาจากมอเตอร์กระแสตรง เพื่อให้สามารถใช้งานได้อย่างกว้างขวางมากขึ้น

1. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง(Direct Current Motor)หรือเรียกว่าดี.ซี มอเอตร์ (D.C. MOTOR) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงประกอบด้วย แม่เหล็กถาวร 2 ขั้ววางอยู่ระหว่างขดลวดตัวนำ ขดลวดตำนำจะได้รับแรงดันไฟตรงป้อนให้ในการทำงาน ทำให้เกิดอำนาจแม่เหล็ก 2 ชุด มีขั้วแม่เหล็กเหมือนกันวางใกล้กัน เกิดแรงผลักดันทำให้ขดลวดตัวนำหมุนเคลื่อนที่ได้ การทำงานเบื้องต้นของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง แสดงดังรูปที่



รูปที่ 2.2 แสดงการทำงานของมอเตอร์

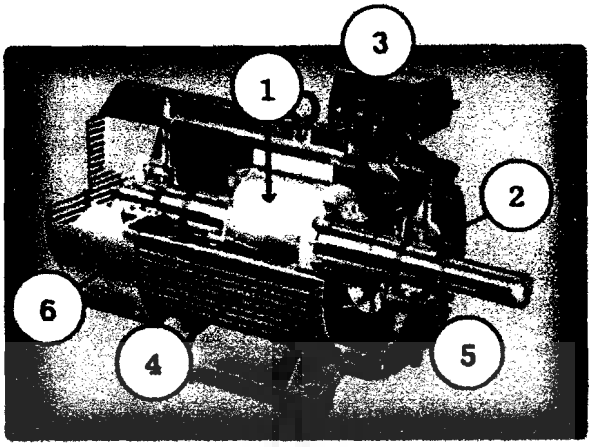


รูปที่ 2.3 แสดงการทำงานของมอเตอร์

จากรูปที่ 2.3 เป็นการทำงานเบื้องต้นของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง มีแรงดันไฟตรงจ่ายผ่านแปรงถ่านไปคอมมิวเตเตอร์ ผ่านไปให้ขดลวดตัวนำที่อาร์เมเจอร์ ทำให้ขดลวดอาร์เมเจอร์เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้นมา ทางด้านซ้ายมือเป็นขั้วเหนือ (N) และด้านขวาเป็นขั้วใต้ (S) เหมือนกับขั้วแม่เหล็กถาวรที่วางอยู่ใกล้ๆ เกิดอำนาจแม่เหล็กผลักดันกัน อาร์เมเจอร์หมุนไปในทิศทางตามเข็มนาฬิกา พร้อมกับคอมมิวเตเตอร์หมุนตามไปด้วย แปรงถ่านสัมผัสกับส่วนของคอมมิวเตเตอร์เปลี่ยนไปในอีกปลายหนึ่งของขดลวด แต่มีผลทำให้เกิดขั้วแม่เหล็กที่อาร์เมเจอร์เหมือนกับขั้วแม่เหล็กถาวรที่อยู่ใกล้ๆอีกครั้ง ทำให้อาร์เมเจอร์ยังคงถูกผลักให้หมุนไปในทิศทางตามเข็มนาฬิกาตลอดเวลา เกิดการหมุนของอาร์เมเจอร์คือมอเตอร์ไฟฟ้าทำงาน

ก)ส่วนประกอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ผลิตมาใช้งาน มีโครงสร้างและส่วนประกอบคล้ายกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง มีส่วนประกอบที่สำคัญเหมือนกัน มีรูปร่างลักษณะภายนอกคล้ายกัน แตกต่างกันตรงการนำไปใช้งาน โดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงจะทำให้เกิดไฟฟ้าในรูปของแรงดันไฟตรงออกมา ส่วนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเมื่อจ่ายแรงดันไฟตรงให้มอเตอร์ ทำให้มอเตอร์หมุนเกิดพลังกลขึ้นมา ส่วนประกอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง



รูปที่ 2.4 ส่วนประกอบของมอเตอร์

ส่วนประกอบของมอเตอร์

1.โรเตอร์

2.ขดลวดสนามแม่เหล็ก

3.ขั้วต่อสาย

4.โครงมอเตอร์

5.ฝาครอบหัว

6.ฝาครอบท้าย

ข) ส่วนประกอบหลักๆ ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

1.) ขดลวดสนามแม่เหล็ก (Field Coil) คือขดลวดที่ถูกพันอยู่กับขั้วแม่เหล็กที่ยึดติดกับโครงมอเตอร์ ทำหน้าที่กำเนิดขั้วแม่เหล็กขั้วเหนือ (N) และขั้วใต้ (S) แทนแม่เหล็กถาวรขดลวดที่ใช้เป็นขดลวดอาบน้ำยาฉนวน สนามแม่เหล็กจะเกิดขึ้นเมื่อจ่ายแรงดันไฟตรงให้มอเตอร์

2.) ขั้วแม่เหล็ก (Pole Pieces) คือแกนสำหรับรองรับขดลวดสนามแม่เหล็กถูกยึดติดกับโครงมอเตอร์ด้านใน ขั้วแม่เหล็กทำมาจากแผ่นเหล็กอ่อนบางๆ อัดซ้อนกัน (Lamination Sheet Steel) เพื่อลดการเกิดกระแสไหลวน (Edy Current) ที่จะทำให้ความเข้าของสนามแม่เหล็กลดลง ขั้วแม่เหล็กทำหน้าที่ให้กำเนิดขั้วสนามแม่เหล็กมีความเข้มสูงสุด แทนขั้วสนามแม่เหล็กถาวร ผิวด้านหน้าของขั้วแม่เหล็กทำให้โค้งรับกับอาร์เมเจอร์พอดี

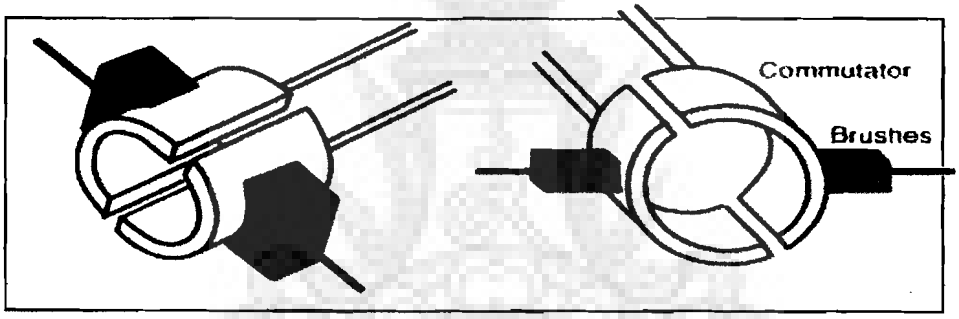
3.) โครงมอเตอร์ (Motor Frame) คือส่วนเปลือกหุ้มภายนอกของมอเตอร์ และยึดส่วนอยู่กับที่ (Stator) ของมอเตอร์ไว้ภายในร่วมกับฝาปิดหัวท้ายของมอเตอร์ โครงมอเตอร์ทำหน้าที่เป็นทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็กระหว่างขั้วแม่เหล็กให้เกิดสนามแม่เหล็กครบวงจร

4.) อาร์เมเจอร์ (Armature) คือส่วนเคลื่อนที่ (Rotor) ถูกยึดติดกับเพลา (Shaft) และรองรับการหมุนด้วยที่รองรับการหมุน (Bearing) ตัวอาร์เมเจอร์ทำจากเหล็กแผ่นบางๆ อัดซ้อนกัน ถูกเซาะร่องออกเป็นส่วนๆ เพื่อไว้พันขดลวดอาร์เมเจอร์ (Armature Winding) ขดลวดอาร์เมเจอร์เป็นขดลวด

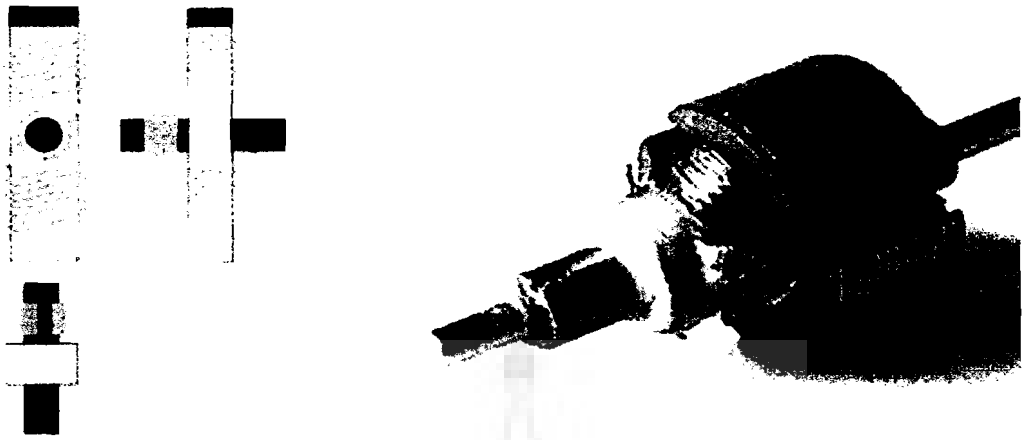
อาบน้ำยาฉนวน ร่องขดลวดอาร์เมเจอร์จะมีขดลวดพันอยู่และมีลิ่มไฟเบอร์อัดแน่นขึดขดลวดอาร์เมเจอร์ไว้ ปลายขดลวดอาร์เมเจอร์ต่อไว้กับคอมมิวเตเตอร์ อาร์เมอเจอร์ผลักดันของสนามแม่เหล็กทั้งสอง ทำให้อาร์เมเจอร์หมุนเคลื่อนที่

5.) คอมมิวเตเตอร์ (Commutator) คือส่วนเคลื่อนที่อีกส่วนหนึ่ง ถูกยึดติดเข้ากับอาร์เมเจอร์และเพลาร่วมกัน คอมมิวเตเตอร์ทำจากแท่งทองแดงแข็งประกอบเข้าด้วยกันเป็นรูปทรงกระบอก แต่ละแท่งทองแดงของคอมมิวเตเตอร์ถูกแยกออกจากกันด้วยฉนวนไมก้า (Mica) อาร์เมเจอร์ คอมมิวเตเตอร์ทำหน้าที่เป็นขั้วรับแรงดันไฟตรงที่จ่ายมาจากแปรงถ่าน เพื่อส่งไปให้ขดลวดอาร์เมอร์

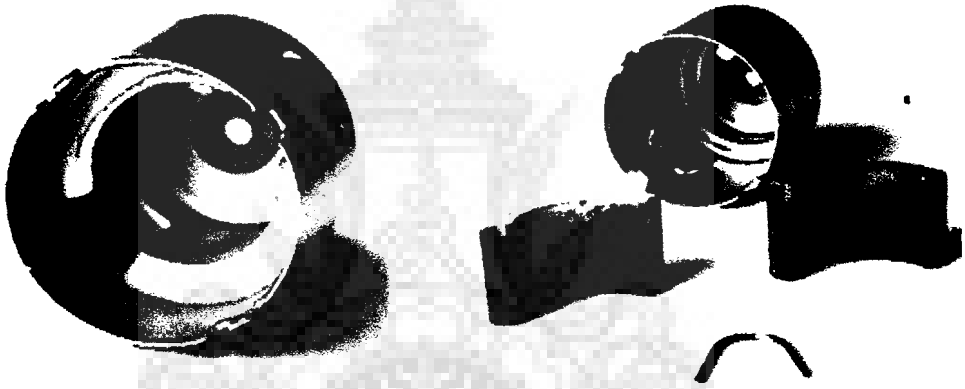
6.) แปรงถ่าน (Brush) คือตัวสัมผัสกับคอมมิวเตเตอร์ ทำเป็นแท่งสี่เหลี่ยมผลิตมาจากคาร์บอนหรือแกรไฟต์ผสมผงทองแดง เพื่อให้แข็งและนำไฟฟ้าได้ดี มีสายตัวนำต่อร่วมกับแปรงถ่านเพื่อไปรับแรงดันไฟตรงที่จ่ายเข้ามา แปรงถ่านทำหน้าที่รับแรงดันไฟตรงจกแหล่งจ่าย จ่ายผ่านไปให้คอมมิวเตเตอร์



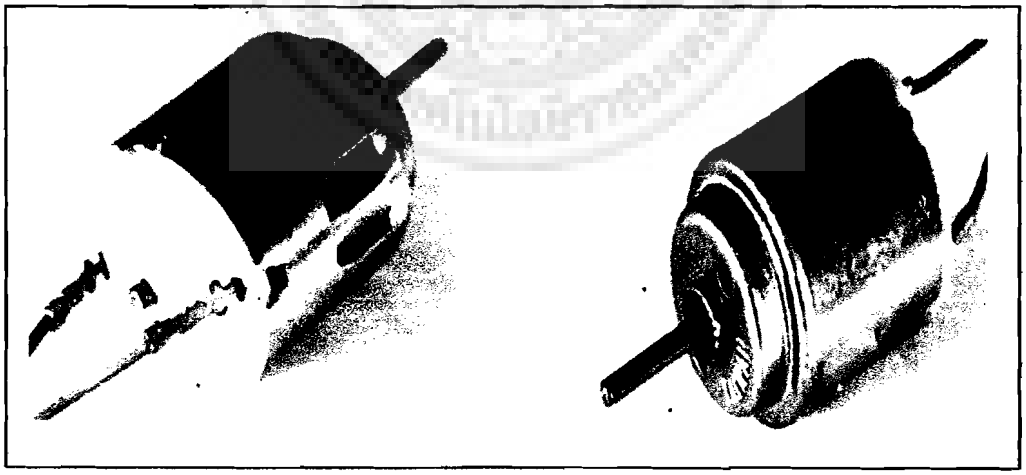
รูปที่ 2.5 แสดงวงแหวนคอมมิวเตเตอร์ และ แปรงถ่าน



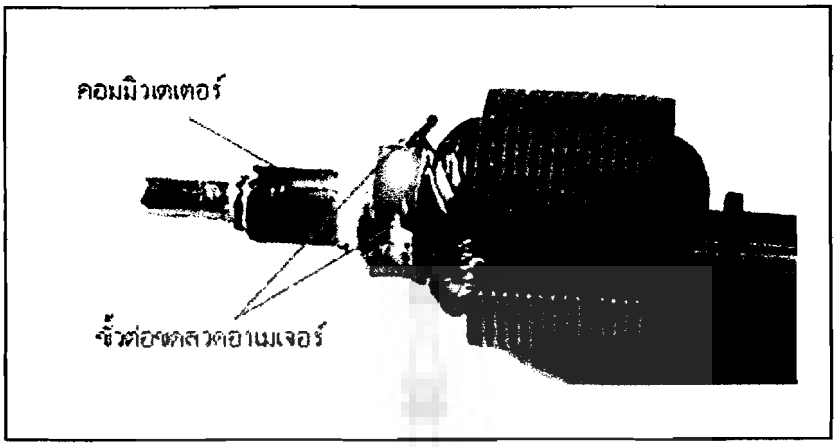
รูปที่ 2.6 มอเตอร์ แสดงโครงสร้างและภาพจริงของอาเมเจอร์



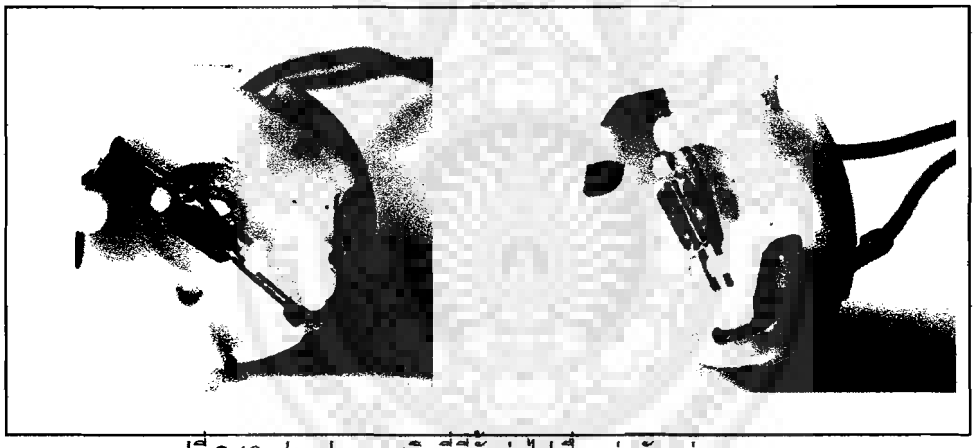
รูปที่ 2.7 แสดงภาพด้านหน้าและด้านหลังของมอเตอร์ แสดงโครงสร้างและภาพจริงของอาเมเจอร์



รูปที่ 2.8 แสดงสเตเตอร์และส่วนประกอบซึ่งเป็นแม่เหล็กถาวร



รูปที่ 2.9 แสดงอาเมเจอร์และส่วนประกอบ



รูปที่ 2.10 ส่วนฝาพลาสติกที่มีขั้วต่อไฟเชื่อมต่อกับแผ่นทองแดง

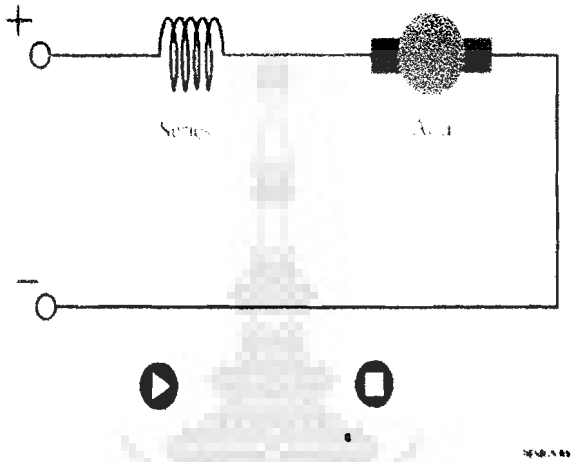
ค)ชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบ่งออกได้ดังนี้

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบ่งออกเป็น 3 ชนิดได้แก่

1) **มอเตอร์แบบอนุกรม** (Series Motor)

คือมอเตอร์ที่ต่อขดลวดสนามแม่เหล็กอนุกรมกับอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์ชนิดนี้ว่า ซีรีสฟิลด์ (Series Field)**มีคุณลักษณะที่ดีคือให้แรงบิดสูงนิยมใช้เป็นต้นกำลังของรถไฟฟ้ารถยกของเครนไฟฟ้า ความเร็วรอบของมอเตอร์อนุกรมเมื่อไม่มีโหลดความเร็วจะสูงมากแต่ถ้ามีโหลดมาต่อความเร็ว ก็จะลดลงตามโหลด โหลดมากหรือทำงานหนักความเร็วลดลง แต่ขดลวด ของมอเตอร์ ไม่เป็นอันตรายจากคุณสมบัตินี้จึงนิยมนำมาใช้กับเครื่องใช้ไฟฟ้า ในบ้านหลายอย่างเช่นเครื่องดูดฝุ่น เครื่องผสม**

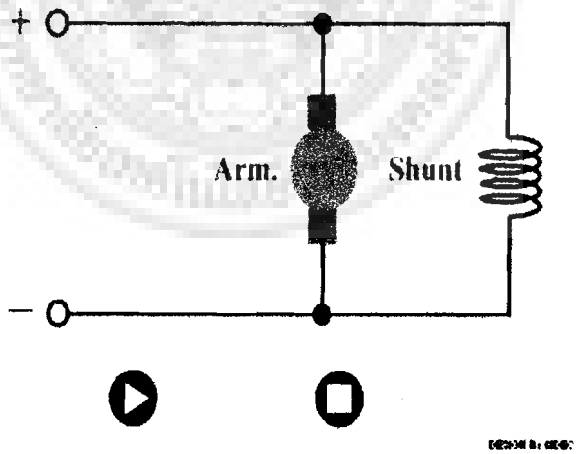
อาหาร สว่านไฟฟ้า จักรเย็บผ้า เครื่องเป่าผม มอเตอร์กระแสตรงแบบอนุกรม ใช้งานหนักได้ดีเมื่อใช้งานหนักกระแสจะมากความเร็วรอบ จะลดลงเมื่อไม่มีโหลดมาต่อความเร็วจะสูงมากอาจเกิดอันตรายได้ดังนั้นเมื่อเริ่มสตาร์ทมอเตอร์แบบอนุกรมจึงต้องมีโหลดมาต่ออยู่เสมอ



รูปที่ 2.11 วงจรแสดงการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระตรงแบบอนุกรม

2) .มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน(Shunt Motor)

หรือเรียกว่าชันท์มอเตอร์ มอเตอร์แบบขนานนี้ ขดลวดสนามแม่เหล็กจะต่อ(Field Coil) จะต่อขนานกับขดลวด ชุดอาเมเจอร์ มอเตอร์แบบขนานนี้มีคุณลักษณะ มีความเร็วคงที่ แรงบิดเริ่มหมุนต่ำ แต่ความเร็วรอบคงที่ ชันท์มอเตอร์ส่วนมากเหมะกับงานดังนี้พัดลมเพราะพัดลมต้องการความเร็วคงที่และต้องการเปลี่ยนความเร็วได้ง่าย



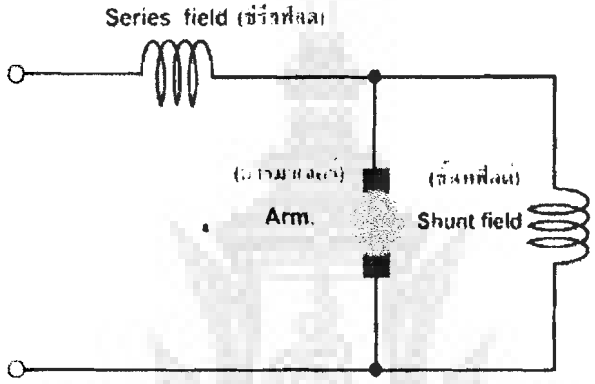
รูปที่ 2.12 วงจรแสดงการทำงานมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน

3).มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบผสม (Compound Motor)

หรือเรียกว่าคอมปาวด์มอเตอร์ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบผสมนี้ จะนำคุณลักษณะที่ดีของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง แบบขนาน และแบบอนุกรมมารวมกัน มอเตอร์แบบผสมมีคุณลักษณะพิเศษคือมีแรงบิดสูง (High staring torque) แต่ความเร็วรอบคงที่ ตั้งแต่ยังไม่มีโหลดจนกระทั่งมีโหลดเต็มที่

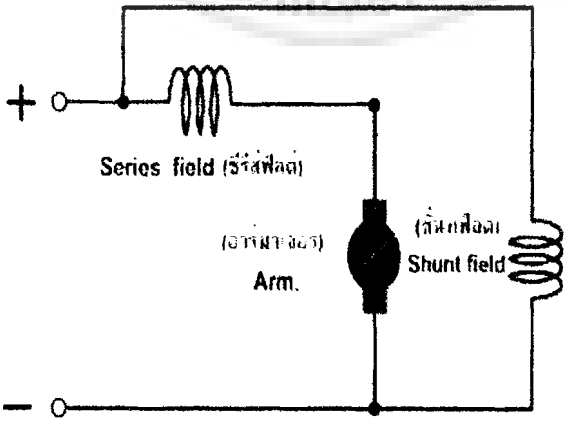
มอเตอร์แบบผสมมีวิธีการต่อนขดลวดขนานหรือขดลวดชันท์อยู่ 2วิธี

วิธีหนึ่งใช้ต่อขดลวดแบบชันท์ขนานกับอาเมเจอร์เรียกว่า ชอทชันท์ (Short Shunt Compound Motor) ดังรูปวงจร



รูปที่ 2.13 วงจรแสดงการทำงานมอเตอร์ไฟฟ้ากระตรงแบบซอร์ทชั้นท์คอมเปาว์ด

อีกวิธีสองคือต่อขดลวด ขนานกับขดลวดอนุกรมและขดลวดอาเมเจอร์เรียกว่าลองชั้นท์คอมเปาวด์มอเตอร์Long shunt motr) ดังรูปวงจร



รูปที่ 2.14 วงจรแสดงการทำงานมอเตอร์ไฟฟ้ากระตรงแบบลองชั้นท์เปาว์ดมอเตอร์

2. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ(Alternating Current Motor) หรือเรียกว่าเอ.ซี มอเตอร์ (A.C. Moter)

ก) ชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับแบ่งออกได้ดังนี้

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับแบ่งออกเป็น3 ชนิดได้แก่

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับชนิด 1 เฟส หรือเรียกว่าซิงเกลเฟสมอเตอร์ (A.C. Sing Phase)

สปลิทเฟส มอเตอร์(Split-Phase motor)

คาปาซิเตอร์มอเตอร์(Capacitor motor)

รีพัลชั่นมอเตอร์(Repulsion-type motor)

ยูนิเวอร์แวซลมอเตอร์(Universal motor)

เช็ดเดดโพล มอเตอร์(Shaded-pole motor)

2.มอเตอร์ไฟฟ้าสลับชนิด 2 เฟสหรือเรียกว่าทูเฟสมอเตอร์(A.C.Two phas Motor)

3.มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับชนิด 3 เฟสหรือเรียกว่าทีเฟสมอเตอร์(A.C. Three phase Motor)

ชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้า

มอเตอร์ไฟฟ้าแบ่งออกตามการใช้ของกระแสไฟฟ้าได้ 2ชนิดดังนี้

1.2.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating Current Motor) หรือเรียกว่า เอ.ซี. มอเตอร์ (A.C. MOTOR) การแบ่งชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้าสลับแบ่งออกเป็น3 ชนิดได้ดังนี้

1.มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับชนิด 1 เฟส หรือเรียกว่าซิงเกลเฟสมอเตอร์ (A.C. Single Phase)

- สปลิทเฟส มอเตอร์ (Split-Phase motor)
- คาปาซิเตอร์มอเตอร์ (Capacitor motor)
- รีพัลชั่นมอเตอร์ (Repulsion-type motor)
- ยูนิเวอร์แวซลมอเตอร์ (Universal motor)
- เช็ดเดดโพล มอเตอร์ (Shaded-pole motor)

2. มอเตอร์ไฟฟ้าสลับชนิด 2 เฟสหรือเรียกว่าทูเฟสมอเตอร์ (A.C. Two phase Motor)

3. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับชนิด 3 เฟสหรือเรียกว่าทีเฟสมอเตอร์ (A.C. Three phase Motor)

1.2.2.มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current Motor) หรือเรียกว่าดี.ซี มอเตอร์ (D.C. MOTOR) การแบ่งชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิดดังนี้

1. มอเตอร์แบบอนุกรมหรือเรียกว่าซีรีส์มอเตอร์ (Series Motor)
2. มอเตอร์แบบอนุขนานหรือเรียกว่าชันท์มอเตอร์ (Shunt Motor)
3. มอเตอร์ไฟฟ้าแบบผสมหรือเรียกว่าคอมเปาวด์มอเตอร์ (Compound Motor)

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง เป็นต้นกำลังขับเคลื่อนที่สำคัญอย่างหนึ่งในโรงงานอุตสาหกรรม เพราะมีคุณสมบัติที่ดีเด่นในด้านการปรับความเร็วได้ตั้งแต่ความเร็วต่ำสุดจนถึงสูงสุด นิยมใช้กันมากในโรงงานอุตสาหกรรม เช่นโรงงานทอผ้า โรงงานเส้นใยโพลีเอสเตอร์ โรงงานถลุงโลหะหรือให้ เป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อนรถไฟฟ้า เป็นต้นในการศึกษาเกี่ยวกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจึงควรรู้จักอุปกรณ์ต่าง ๆ ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและเข้าใจถึงหลักการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบต่าง ๆ

1. ส่วนประกอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ส่วนประกอบที่สำคัญ 2 ส่วนดังนี้

. 1 **ส่วนที่อยู่กับที่หรือที่เรียกว่าสเตเตอร์** (Stator) ประกอบด้วย

- **เฟรมหรือโยค** (Frame Or Yoke) เป็นโครงภายนอกทำหน้าที่เป็นทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็กจากขั้วเหนื้อไปขั้วใต้ให้ครบวงจรและยึดส่วนประกอบอื่นๆให้แข็งแรงทำด้วยเกล็กหล่อหรือเหล็กแผ่นหนามม้วนเป็นรูปทรงกระบอก ดังรูปที่ 2.15

รูปที่ 2.15 เฟรมหรือโยค

- **ขั้วแม่เหล็ก** (Pole)ประกอบด้วย 2 ส่วนคือแกนขั้วแม่เหล็กและขดลวด รูปที่2.16

รูปที่ 2.16 ขดลวดพันอยู่รอบขั้วแม่เหล็ก

ส่วนแรกแกนขั้ว (Pole Core) ทำด้วยแผ่นเหล็กบางๆ กั้นด้วยฉนวนประกอบกันเป็นแท่ง ยึดติดกับเฟรม ส่วนปลายที่ทำเป็นรูปโค้งนั้นเพื่อโค้งรับรูปกลมของตัวโรเตอร์เรียกว่าขั้วแม่เหล็ก (Pole Shoes) มีวัตถุประสงค์ให้ขั้วแม่เหล็กและโรเตอร์ใกล้ชิดกันมากที่สุดเพื่อให้เกิดช่องอากาศน้อยที่สุดเพื่อให้เกิดช่องอากาศน้อยที่สุดจะมีผลให้เส้นแรงแม่เหล็กจากขั้วแม่เหล็กจากขั้วแม่เหล็กผ่านไปยังโรเตอร์มากที่สุดแล้วทำให้เกิดแรงบิดหรือกำลังบิดของโรเตอร์มากเป็นการทำให้มอเตอร์มีกำลังหมุน (Torque)รูปที่ 2.17

รูปที่2.17 ลักษณะของ
ขั้วแม่เหล็ก

ส่วนที่สอง ขดลวดสนามแม่เหล็ก(Field Coil) จะพันอยู่รอบๆแกนขั้วแม่เหล็กขดลวดนี้ทำหน้าที่รับกระแสจากภายนอกเพื่อสร้างเส้นแรงแม่เหล็กให้เกิดขึ้น และเส้นแรงแม่เหล็กนี้จะเกิดการหักล้างและเสริมกันกับสนามแม่เหล็กของอาเมเจอร์ทำให้เกิดแรงบิดขึ้น

2 ตัวหมุน (Rotor) ตัวหมุนหรือเรียกว่าโรเตอร์ตัวหมุนนี้ทำให้เกิดกำลังงานมีแกนวางอยู่ในตลับลูกปืน (Ball Bearing) ซึ่งประกอบอยู่ในแผ่นปิดหัวท้าย (End Plate) ของมอเตอร์

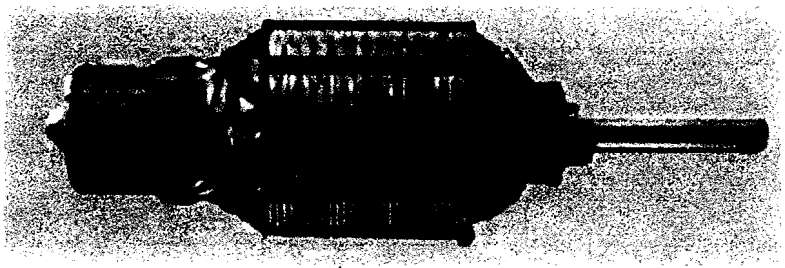
ตัวโรเตอร์ประกอบด้วย 4 ส่วนด้วยกันดังรูปที่ 2.18 คือ

1.แกนเพลา (Shaft)

2. แกนเหล็กอาร์มาเจอร์ (Armature Core)

3.คอมมิวเตอร์ (Commutator)

4. ขอลวดอาร์มาเจอร์ (Armature Widing)



รูปที่ 2.18 โรเตอร์

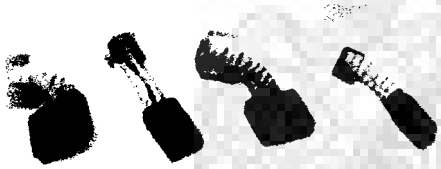
1.แกนเพลา (Shaft) เป็นตัวสำหรับยึดคอมมิวเตเตอร์ และยึดแกนเหล็กอาร์มาเจอร์ (Armature Core) ประกอบเป็นตัวโรเตอร์แกนเพลานี้จะวางอยู่บนแบริ่ง เพื่อบังคับให้หมุนอยู่ในแนวนิ่ง ไม่มีการสั่นสะเทือนได้

2. แกนเหล็กอาร์มาเจอร์ (Armature Core) ทำด้วยแผ่นเหล็กบางอาบฉนวน (Laminated Sheet Steel) เป็นที่สำหรับพันขดลวดอาร์มาเจอร์ซึ่งสร้างแรงบิด (Torque)

3. คอมมิวเตเตอร์ (Commutator) ทำด้วยทองแดงออกแบบเป็นซี่แต่ละซี่มีฉนวนไมก้า (mica) คั่นระหว่างซี่ของคอมมิวเตเตอร์ ส่วนหัวซี่ของคอมมิวเตเตอร์ จะมีร่องสำหรับใส่ปลายสาย ของขดลวดอาร์มาเจอร์ ตัวคอมมิวเตเตอร์นี้อัดแน่นติดกับแกนเพลา เป็นรูปกลมทรงกระบอ ก มีหน้าที่สัมผัสกับแปรงถ่าน (Carbon Brushes) เพื่อรับกระแสจากสายป้อนเข้าไปยัง ขดลวดอาร์มาเจอร์พื่อสร้างเส้นแรงแม่เหล็กอีกส่วนหนึ่งให้เกิดการหักล้างและเสริมกันกับเส้นแรงแม่เหล็กอีกส่วน ซึ่งเกิดจากขดลวดขั้วแม่เหล็ก ดังกล่าวมาแล้วเรียกว่า ปฏิกิริยามอเตอร์ (Motor action)

4. ขดลวดอาร์มาเจอร์ (Armature Winding) เป็นขดลวดพันอยู่ในร่องสลอท (Slot) ของแกนอาร์มาเจอร์ ขนาดของลวดจะเล็กหรือใหญ่และจำนวนรอบจะมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับการออกแบบของตัวโรเตอร์ชนิดนั้นๆ เพื่อที่จะให้เหมาะสมกับงานต่างๆ ที่ต้องการ

แปรงถ่าน (Brushes) ดังรูปที่ 2.19 และซองแปรงถ่านดังรูปที่ 2.20



รูปที่2.19 แปรงถ่าน

รูปที่ 2.20 ซองแปรงถ่าน

ทำด้วยคาร์บอนมีรูปร่างเป็นแท่งสี่เหลี่ยมพื้นผ้าในซองแปรงมีสปิงกดอยู่ด้านบนเพื่อให้ถ่านนี้สัมผัสกับซี่คอมมิวเตเตอร์ตลอดเวลาเพื่อรับกระแส และส่งกระแสไฟฟ้าระหว่างขดลวดอาร์มาเจอร์ กับวงจรไฟฟ้าจากภายนอก คือถ้าเป็นมอเตอร์กระแสไฟฟ้าตรงจะทำหน้าที่รับกระแสจากภายนอกเข้าไปยังคอมมิวเตเตอร์ให้ลวดอาร์มาเจอร์เกดแรงบิดทำให้มอเตอร์หมุนได้

2 หลักการของมอเตอร์กระแสไฟฟ้าตรง (Motor Action)

หลักการของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (Motor Action) เมื่อเป็นแรงดันกระแสไฟฟ้าตรงเข้าไปในมอเตอร์ ส่วนหนึ่งจะแปรงถ่านผ่านคอมมิวเตเตอร์เข้าไปในขดลวดอาร์มาเจอร์สร้างสนามแม่เหล็กขึ้น และกระแสไฟฟ้าอีกส่วนหนึ่งจะไหลเข้าไปในขดลวดสนามแม่เหล็ก (Field coil) สร้างขั้วเหนือ-ใต้ขึ้นจะเกิดสนามแม่เหล็ก 2 สนาม ในขณะเดียวกัน ตามคุณสมบัติของเส้นแรง แม่เหล็ก จะไม่ตัดกัน ทิศทางตรงข้ามจะหักล้างกัน และทิศทางเดียวจะเสริมแรงกัน ทำให้เกิดแรงบิดในตัวอาร์มาเจอร์ ซึ่งวางแกนเพลาและแกนเพลานี้ สวมอยู่กับตลับลูกปืนของมอเตอร์ ทำให้อาร์มาเจอร์นี้หมุนได้ ขณะที่ตัวอาร์มาเจอร์ทำหน้าที่หมุนได้นี้เรียกว่า โรเตอร์ (Rotor) ซึ่งหมายความว่าตัวหมุนการที่อำนาจเส้นแรง

แม่เหล็กทั้งสองมีปฏิกิริยาต่อกัน ทำให้ขดลวดอาร์มาเจอร์ หรือโรเตอร์หมุนไปนั้นเป็นไปตามกฎซ้ายของเฟลมมิ่ง (Fleming' left hand rule)

3. ชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

3.1มอเตอร์แบบอนุกรม (Series Motor)

คือมอเตอร์ที่ต่อขดลวดสนามแม่เหล็กอนุกรมกับอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์ชนิดนี้ว่า ซีรีสฟิลด์ (Series Field)**มีคุณลักษณะที่ดีคือให้แรงบิดสูงนิยมใช้เป็นต้นกำลังของรถไฟฟ้ารถยกของเครนไฟฟ้า ความร็วรอบของมอเตอร์อนุกรมแม่อไม่มีโหลดความเร็วจะสูงมาก่แต่ถ้ามีโหลดมาต่อความเร็ว ก็จะลดลงตามโหลด โหลดมากหรือทำงานหนักความเร็วลดลง แต่ขดลวด ของมอเตอร์ ไม่เป็นอันตราย จากคุณสมบัตินี้จึงนิยมนำมาใช้กับเครื่งใช้ไฟฟ้า ในบ้านหลายอย่างเช่นเครื่องดูดฝุ่น เครื่องผสมอาหาร สว่านไฟฟ้า จักรเย็บผ้า เครื่องเป่าผม มอเตอร์กระแสตรงแบบอนุกรม ใช้งานหนักได้ดีเมื่อใช้งานหนัก กระแสจะมากความเร็วรอบ จะลดลงเมื่อไม่มีโหลดมาต่อความเร็วจะสูงมากอาจเกิดอันตรายได้ดังนั้น เมื่อเริ่มสตาร์ทมอเตอร์แบบอนุกรมจึงต้องมีโหลดมาต่ออยู่เสมอ**

3.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน (Shunt Motor)

หรือเรียกว่าชันท์มอเตอร์ มอเตอร์แบบขนานนี้ ขดลวดสนามแม่เหล็กจะต่อ(Field Coil) **จะต่อขนานกับขดลวด ชุดอาเมเจอร์ มอเตอร์แบบขนานนี้มีคุณลักษณะ มีความเร็วคงที่ แรงบิดเริ่มหมุนต่ำ แต่ความเร็วรอบคงที่ชันท์มอเตอร์ส่วนมากเหมาะกับงานดังนี้พัดลมเพราะพัดลมต้องการความเร็วคงที่ และต้องการเปลี่ยนความเร็วได้ง่าย**

3.3 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบผสม (Compound Motor)

หรือเรียกว่าคอมเปาวด์มอเตอร์ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบผสมนี้ จะนำคุณลักษณะที่ดีของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง แบบขนาน และแบบอนุกรมมารวมกัน มอเตอร์แบบผสมมีคุณลักษณะพิเศษ คือมีแรงบิดสูง (High staring torque) **แต่ความเร็วรอบคงที่ ตั้งแต่ยังไม่มีโหลดจนกระทั่งมีโหลดเต็มที่**

มอเตอร์แบบผสมมีวิธีการต่อนขดลวดขนานหรือขดลวดชันท์อยู่ 2วิธี วิธีหนึ่งใช้ต่อขดลวดแบบชันท์ขนานกับอาเมเจอร์เรียกว่า ชอทชันท์ (Short Shunt Compound Motor) **วิธีสองคือต่อขดลวดขนานกับขดลวดอนุกรมและขดลวดอาเมเจอร์เรียกว่าลองชั้นท์คอมเปาวด์มอเตอร์** (Long shunt motor)

2.6.4 มอเตอร์กระแสสลับ

มอเตอร์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ เป็นมอเตอร์กระแสสลับ คุณลักษณะของมอเตอร์กระแสสลับจะต่างกับของมอเตอร์กระแสตรงดังนี้

คุณลักษณะของมอเตอร์กระแสสลับ

1. ราคาต่ำ
2. การบำรุงรักษาไม่มากนัก

3. เหมาะกับการใช้งานในสภาวะแวดล้อมต่าง ๆ
4. สามารถทำงานต่อสภาวะงานหนัก ๆ ได้
5. มีขนาดเล็กกว่ามอเตอร์กระแสตรง แม้ว่ากำลังม้าจะเท่ากัน
6. การซ่อมแซมใช้งบประมาณไม่มากนัก
7. สามารถมีอัตราเร็วเหนือกว่าอัตราที่ระบุในเนมเพลท

คุณลักษณะของมอเตอร์กระแสตรง

1. มีค่าทอร์กสูงแม้ว่าอัตราเร็วจะต่ำ
2. สามารถควบคุมอัตราเร็วได้ดี
3. ใช้กับโหลดมาก ๆ ได้ มีราคาแพงกว่ามอเตอร์กระแสสลับ
4. มีขนาดใหญ่กว่ามอเตอร์กระแสสลับแม้ว่าจะมีกำลังม้าเท่ากัน
5. การบำรุงรักษาจะต้องทำเป็นประจำ

ลักษณะพื้นฐานของมอเตอร์กระแสสลับคือ สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจากสเตเตอร์จะหมุนได้ ซึ่งอาจจะแสดงให้เข้าใจได้ดังนี้ กรณีของมอเตอร์สามเฟสขดลวดทั้งสามจะมีดีกรีทางไฟฟ้าต่างกัน 120 แต่ละเฟสจะต่อเข้ากับเฟสหนึ่ง ๆ ของแหล่งจ่ายไฟสามเฟส ดังแสดงในรูปที่ 2.34 เมื่อมีกระแสแต่ละเฟสไหลผ่านขดลวดเหล่านี้ สนามแม่เหล็กจะมีการหมุนรอบในสเตเตอร์อัตราเร็วการหมุนของสนามขึ้นอยู่กับจำนวนขั้วของสเตเตอร์ และความถี่ของแหล่งจ่ายกำลัง อัตราเร็วนี้มีชื่อเรียกว่า อัตราเร็วซิงโครนัส (synchronous speed) ซึ่งหาได้จากสมการที่ (2.18)

$$S = \frac{120f}{P} \qquad (2.18)$$

เมื่อ S คืออัตราเร็วซิงโครนัสเป็นรอบต่อนาที (rpm)

f คือความถี่เป็น Hz ของแหล่งจ่ายไฟ

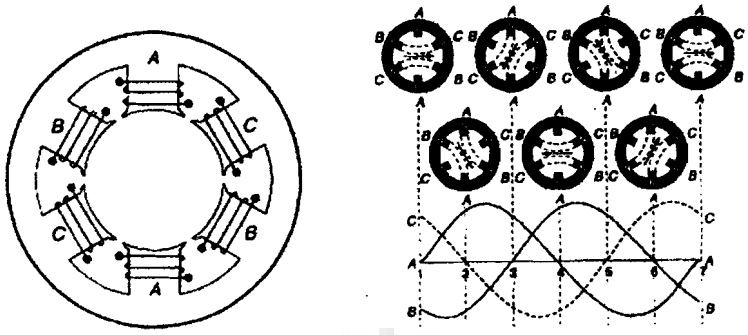
P คือจำนวนขั้วในขดลวดแต่ละเฟส

ดังภาพที่ 2.34 (b) เราสามารถคำนวณอัตราเร็วซิงโครนัสได้ดังนี้

$$s = \frac{120f}{P}$$

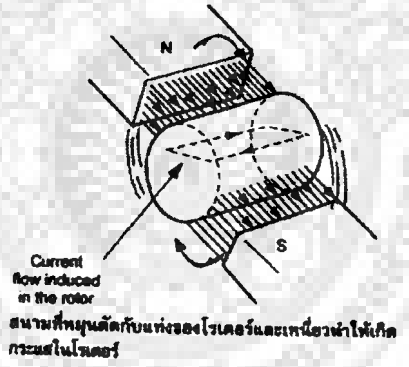
$$= 120 \times \frac{60}{2}$$

$$= 3600 \text{ rms}$$

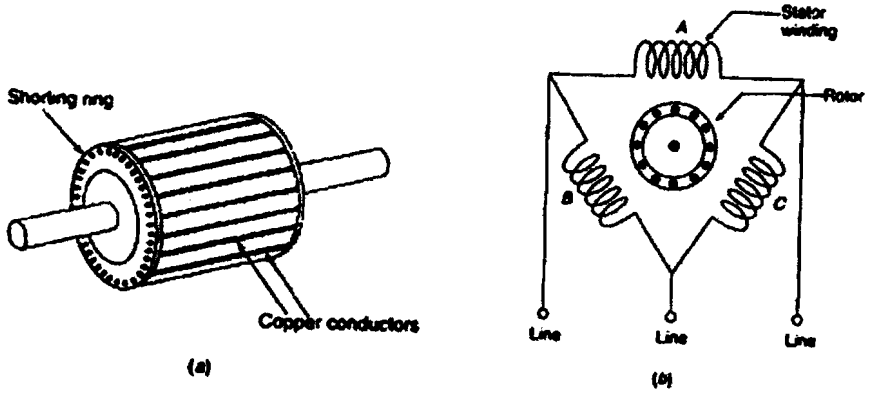


รูปที่ 2.21 การหมุนของสนามแม่เหล็ก

เราจำแนกชนิดของมอเตอร์กระแสสลับโดยพิจารณาหลักการทำงาน ซึ่งจำแนกเป็นมอเตอร์เหนี่ยวนำกระแสสลับ (Ac induction motor) หรือซิงโครนัสมอเตอร์ (synchronous motor) มอเตอร์เหนี่ยวนำกระแสสลับนี้มีทั้งแบบเฟสเดียวและแบบสามเฟส ที่เรียกชื่อเป็นมอเตอร์เหนี่ยวนำเช่นนี้เนื่องจากไม่มีแรงดันภายนอกป้อนให้กับโรเตอร์ ทั้งนี้กระแสสลับในสเตเตอร์จะเหนี่ยวนำให้เกิดแรงดันคร่อมระหว่างช่องว่างอากาศกับขดลวดโรเตอร์ทำให้มีกระแสในโรเตอร์และสนามแม่เหล็กเกิดขึ้น สนามแม่เหล็กในสเตเตอร์ในสเตเตอร์และในโรเตอร์จะมีอันตนกริยาต่อกันเป็นเหตุให้โรเตอร์หมุนได้ แสดงดังรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22กระแสเหนี่ยวนำในโรเตอร์



รูปที่ 2.23 มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสแบบหางกระรอก

การประยุกต์ใช้มอเตอร์ในงานอุตสาหกรรมมักจะใช้มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสแบบหางกระรอก (three-phase, squirrel cage induction motor) แสดงดังภาพ 2.23 ลักษณะของมอเตอร์ชนิดนี้มีดังนี้

1. โรเตอร์ประกอบด้วยตัวนำทองแดงฝังอยู่ในแกนที่แข็งและสายจะบรรจุกันหางกระรอก
2. อัตราเร็วจำเป็นต้องคงที่
3. ต้องการกระแสกระตุ้น ทำให้เกิดการกระเพื่อมของแรงดัน
4. ทิศการหมุนเปลี่ยนได้โดยเปลี่ยนสายเมน 2 สาย ต่อเข้ากับมอเตอร์
5. พาวเวอร์แฟกเตอร์มีค่าต่ำเพื่อโหลด
6. เมื่อป้อนแรงดันให้แก่ขดลวดสเตเตอร์จะทำให้สนามแม่เหล็กหมุนได้เป็นผลให้เกิดแรงดันเหนี่ยวนำในโรเตอร์ แรงดันนี้จะทำให้กระแสจำนวนมากไหลในโรเตอร์ กระแสนี้จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กในโรเตอร์ด้วย สนามในโรเตอร์และสเตเตอรจะดึงดูดกันและกัน ทำให้เกิดค่าทอร์กหมุนโรเตอร์ในทิศเดียวกันกับการหมุนของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นโดยสเตเตอร์
7. เมื่อกระตุ้นมอเตอร์ให้หมุนมอเตอร์จะคงการหมุนโดยมีเฟสลอส์ส (phase loss)เป็นแบบมอเตอร์เฟสเดียว กระแสที่ถูกดึงออกมาจากเฟสที่เหลือจะมีค่าเป็นเกือบสองเท่า จะทำให้มอเตอร์ร้อนได้มาก

มอเตอร์แบบหางกระรอกนี้มักจะเป็นที่นิยมใช้กันมากกว่ามอเตอร์แบบอื่น ๆ เนื่องจากโครงสร้างไม่ซับซ้อน และมีความน่าเชื่อถือ (reliability) สูง ด้วยเหตุที่มีลักษณะเด่นเฉพาะนี้ มอเตอร์ชนิดนี้จึงนับได้ว่าเป็นมอเตอร์กระแสสลับที่มาตรฐาน สำหรับงานใด ๆ ที่ประยุกต์มอเตอร์ที่มีอัตราเร็วคงที่

โรเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำหมุนในอัตราเร็วที่ต่างจากอัตราเร็วซิงโครนัส แต่จะล้าหลังเล็กน้อย ตัวอย่างเช่น มอเตอร์เหนี่ยวนำมีอัตราเร็วซิงโครนัส เป็น 1800 rpm อัตราเร็วที่แท้จะเป็น 1750 rpm ที่กำลังม้าเดียวกันการล้าหลังของอัตราเร็วเช่นนี้จะคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของอัตราเร็วซิงโครนัส และมีชื่อเรียกว่า สลิพ (slip)

$$\%slip = \left(\frac{synchoronous - Running}{synchronous \quad speed} \right) \times 100 \qquad (2.19)$$

$$= \frac{1800 - 1750}{1800} \times 100$$

$$= 2.78\%$$

อัตราเร็วของโรเตอร์ในมอเตอร์เหนี่ยวนำจะขึ้นอยู่กับอัตราเร็วซิงโครนัสกับโหลดที่มอเตอร์ขับดัน โรเตอร์จะหมุนด้วยอัตราเร็วที่ต่างจากอัตราเร็วซิงโครนัสแต่จะมีสลิพล้าหลัง ถ้าโรเตอร์หมุนด้วยอัตรารเร็วที่เท่ากับอัตราเร็วของสนามจะไม่เกิดการสัมพันธ์กัน ดังนั้นจะไม่มีแรงดันเหนี่ยวนำ เนื่องจากโรเตอร์มีสลิพเมื่อเทียบกับการหมุนสนามแม่เหล็กในสเตเตอร์ ซึ่งทำให้เกิดแรงดันและกระแสเหนี่ยวนำโรเตอร์ ดังนั้น ถ้ามอเตอร์มีสลิพ 2.8 เปอร์เซ็นต์และอัตราเร็วซิงโครนัสเป็น 1800 rpm มีสลิพเป็น 50 rpm อัตราเร็วขณะมีโหลดเต็มที่ของมอเตอร์คือ 1750 rpm (1800-50=1750 rpm) อัตราเร็วขณะมีโหลดเต็มที่จะระบุไว้ในเนมเพลท

หลักการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำเหมือนกับหม้อแปลง โดยมีสเตเตอร์ทำหน้าที่คล้ายกับขดลวดปฐมภูมิ และโรเตอร์ทำหน้าที่คล้ายกับขดลวดทุติยภูมิ กระแสขณะไม่มีโหลดของมอเตอร์คล้ายกับกระแสกระตุ้นในหม้อแปลง ดังนั้นจะมีการแมกนีไตซ์ (Magnetizing) เกิดขึ้นทำให้มีฟลักซ์ที่หมุนได้และส่วนหนึ่งของแมกนีไตซ์จะจ่ายให้กับขดลวดและมีการสูญเสียเนื่องจากความเสียดทานในโรเตอร์กับการสูญเสียที่สเตเตอร์

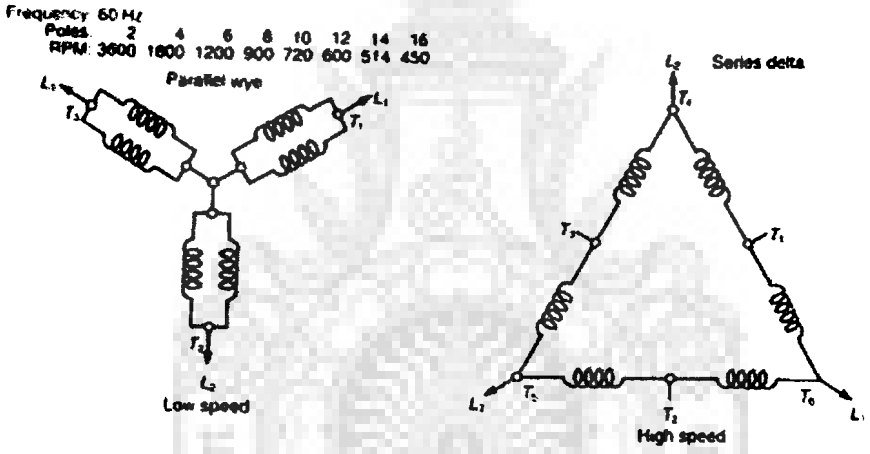
ในกรณีเมื่อมอเตอร์เหนี่ยวนำมีโหลดน้อย ๆ กระแสโรเตอร์จะทำให้มีฟลักซ์ในทิศตรงกันข้าม ดังนั้นฟลักซ์สเตเตอร์จะลดลง ทำให้มีกระแสในขดลวดสเตเตอร์มากขึ้น ซึ่งเป็นกรณีเดียวที่กระแสในขดลวดทุติยภูมิเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากกระแสในขดลวดปฐมภูมิมากขึ้น กระแสกระตุ้นและรีแอกทีฟพาวเวอร์ของมอเตอร์ขณะมีโหลดน้อย ๆ จะมีค่าเท่ากับเมื่อไม่มีโหลดแอกทีฟพาวเวอร์ (Active power) (kw) ที่ดูดซับโดยมอเตอร์จะเพิ่มขึ้นอย่างเป็นปฏิภาคโดยตรงกับโหลดเชิงกล (Mechanical load) ฉะนั้นพาวเวอร์แฟกเตอร์ของมอเตอร์ของมอเตอร์จะเพิ่มขึ้นเมื่อโหลดเชิงกลเพิ่มขึ้น 0.70 สำหรับเครื่องกลขนาดเล็กและจะเป็น 0.90 สำหรับเครื่องกลขนาดใหญ่ ฉะนั้นประสิทธิภาพที่โหลดเต็มที่โหลดเต็มที่จะมีค่าสูง ซึ่งอาจจะสูงถึง 0.98 ได้เมื่อใช้กับเครื่องจักรกลขนาดใหญ่มาก

กระแสล๊อคโรเตอร์ (locked-rotor current) และกระแสกระตุ้นของมอเตอร์เหนี่ยวนำจะมีค่าประมาณห้าหรือหกเท่าของกระแสขณะที่มีโหลดเต็มที่ขณะที่ปล่อยโรเตอร์ให้เป็นอิสระโรเตอร์ถูกเร่งให้หมุนในทิศของการหมุนของสนามแม่เหล็ก ขณะที่วัตถุเร็วความเร็วสัมพันธ์ของสนามเทียบกับโรเตอร์จะลดลงอย่างรวดเร็ว จึงเป็นเหตุให้ค่าและความถี่แรงดันเหนี่ยวนำลดลง เพราะแท่งโรเตอร์หมุนตัดสนามช้าลง ในขณะเริ่มต้นกระแสโรเตอร์จะมีค่ามากและลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อมอเตอร์มีอัตราเร็วเพิ่มขึ้น ดังนั้นโรเตอร์จะต้องไม่คงกระแสล๊อคโรเตอร์ไว้ชั่วขณะหนึ่ง

ในขณะที่ มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสมีสนามหมุนได้ที่สามารถกระตุ้นมอเตอร์ มอเตอร์เฟสเดียวก็ต้องการการกระตุ้นเหมือนกัน เมื่อมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวกำลังหมุน จะทำให้สนามแม่เหล็กหมุนได้ที่อัตรากำลังม้าที่เท่ากัน มอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวจะมีขนาดใหญ่กว่ามอเตอร์มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส ดังนั้นจึงมีข้อจำกัดในการประยุกต์ ในขณะที่มอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวหมุน ค่าทอร์กที่เกิดขึ้นจะเกิดเป็นจังหวะไม่ต่อเนื่อง จึงทำให้ได้กำลังน้อยกว่ากรณีของมอเตอร์หลายเฟส

ทิศทางการหมุนของสนามสเตเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสจะขึ้นอยู่กับลำดับของเฟส สนามโรเตอร์จะดึงดูดโดยสนามโรเตอร์ ดังนั้นโรเตอร์จะหมุนในทิศเดียวกับทิศทางของสนามสเตเตอร์ การเปลี่ยนแปลงสองในสามเฟสนำหน้าการจ่ายกระแสให้กับโรเตอร์จะกลับการลำดับของเฟส และทำให้โรเตอร์หมุนกลับทิศ

ข้อสำคัญควรจำได้แก่ การหาอัตราเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ซึ่งหาได้จากจำนวนขั้วกับความถี่ของแหล่งจ่ายไฟ อัตราเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบหางกระรอกจะมีค่าคงที่ตามธรรมชาติของมัน มอเตอร์เหนี่ยวนำแบบหางกระรอกที่มีอัตราเร็วหลาย ๆ ค่าได้รับการผลิตโดยมีขดลวดสเตเตอร์ซึ่งมีจำนวนนี้อาจจะเปลี่ยนไปได้จากการต่อจากภายนอก มอเตอร์ที่มีอัตราเร็วหลาย ๆ ค่าอาจจะมีอัตราเร็วเพียงสองหรือมากกว่า ซึ่งหาได้จากการต่อเข้ากับมอเตอร์ มอเตอร์อัตราเร็วสองจังหวะมักจะมีขดลวดเพียงขดเดียว ซึ่งทำการต่อให้มีค่าอัตราเร็ว 2 ค่า ซึ่งค่าหนึ่งจะเป็นครึ่งหนึ่งของอีกค่าหนึ่ง แสดงดังรูปที่ 2.24



รูปที่ 2.24การต่อขดลวดของมอเตอร์เหนี่ยวนำหางกระรอกแบบอัตราเร็วหลายค่า

มอเตอร์เหนี่ยวนำแบบขดลวดพันรอบโรเตอร์ ใช้ในงานที่ต้องการแปรค่าอัตราเร็วได้ สเตเตอร์จะประกอบด้วยขดลวดเฟสเดียวสามขด ซึ่งมีดีกรีทางไฟฟ้าเป็น 120 องศา ต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟสามเฟสแสดงดังภาพที่ 2.37โรเตอร์สามเฟสจะมีสายออกมาต่อกับสลิปริง (sli[ring) อัตราเร็วของขดลวดโรเตอร์จะแปรไปได้ด้วยการแปรค่าความต้านทานในวงจรโดยผ่านสลิปริง เมื่อความต้านทานในวงจรโรเตอร์มากขึ้น อัตราเร็วของมอเตอร์จะต่ำลงและถ้านำความต้านทานออกจากวงจรโรเตอร์ มอเตอร์จะหมุนโดยมีอัตราเร็วเต็มที่ การเพิ่มความต้านทานในวงจรโรเตอร์จะทำให้กระแสกระตุ้นลดลง ทำให้เกิดค่าทอร์กกระตุ้นสูง พาวเวอร์แฟกเตอร์ของมอเตอร์ชนิดนี้จะต่ำลงเมื่อไม่มีโหลดและจะสูงเมื่อมีโหลดเต็มที่ การกลับทิศการหมุนของมอเตอร์ทำได้ด้วยการสลับสายป้อนแรงดัน

ข้อได้เปรียบและเสียเปรียบของมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบขดลวดพันรอบโรเตอร์มีดังนี้

ข้อได้เปรียบ

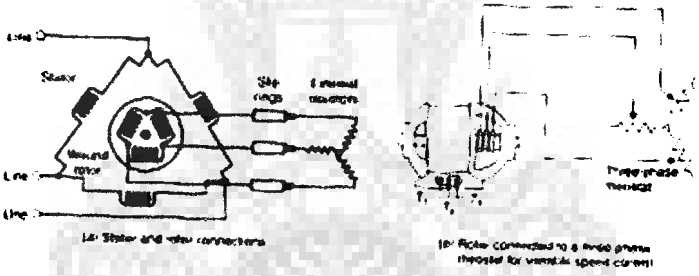
1. ทอร์กกระตุ้นสูงขณะที่ใช้กระแสกระตุ้นต่ำ

2. มีอัตราเร่งคงที่เมื่อมีโหลดมาก ๆ
3. ในช่วงเวลากระตุ้นจะไม่มีความร้อนผิดปกติ
4. สามารถปรับอัตราเร็วได้ดีเมื่อใช้งานกับโหลดที่คงที่

ข้อเสียเปรียบ

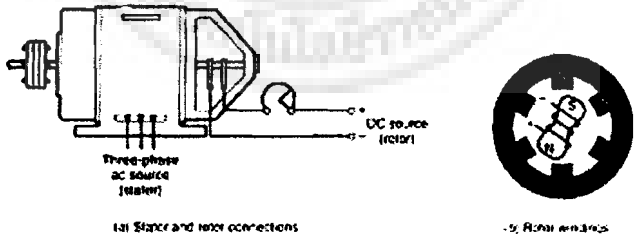
1. ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา
2. การปรับอัตราเร็วได้ไม่ดีนัก เมื่อใช้งาน เมื่อมีความต้านทานในวงจรโรเตอร์

มอเตอร์ซิงโครนัสเป็นมอเตอร์ที่มีอัตราเร็วคงที่ไม่ว่าจะมีโหลดหรือไม่มีโหลด อัตราเร็วนี้จะเท่ากับอัตราเร็วการหมุนของสนามแม่เหล็ก มอเตอร์ซิงโครนัสจะใช้สเตเตอร์ทั้งแบบสามเฟสและเฟสเดียว เพื่อผลิตสนามแม่เหล็กที่หมุนได้ และโรเตอร์แม่เหล็กไฟฟ้าจะมีกระแสตรงป้อนเข้า โรเตอร์จะทำงานคล้ายกับแม่เหล็กและดึงดูดกับสนามสเตเตอร์ที่กำลังหมุน การดึงดูดกันจะทำให้เกิดค่าทอร์กต่อโรเตอร์ และทำให้หมุนสนามได้ มอเตอร์ซิงโครนัสจะไม่กระตุ้นด้วยตัวเอง อัตราเร็วจะถูกกระตุ้นให้มีอัตราเร็วซิงโครนัสก่อนที่จะคงหมุนต่อไปด้วยอัตราเร็วที่คงที่นั้นโดยตัวมันเอง



รูปที่ 2.25 มอเตอร์เหนี่ยวนำแบบขดลวดพันรอบโรเตอร์สามเฟส

ในกรณีมอเตอร์โครนัสสามเฟส แสดงดังภาพที่ 2.26 ตัวโรเตอร์จะมีขดลวดเป็นสองขด ขดลวดกระแสสลับอาจจะเป็นแบบหางกระรอกสลับอาจจะเป็นแบบหางกระรอกหรือเป็นแบบขดลวดโรเตอร์และขดลวดกระแสสลับ



รูปที่ 2.26 มอเตอร์ซิงโคนัสสามเฟส

ขดลวดกระแสสลับจะเร่งให้มอเตอร์มีความเร็วซิงโครนัส ซึ่งเป็นจุดที่ขดลวดกระแสตรงจะถูกกระตุ้นและมอเตอร์จะล็อคเป็นจังหวะกับการหมุนของสนาม ขดลวดสเตเตอร์จะมีความคล้ายคลึงกับมอเตอร์หลายเฟสแบบหางกระรอกและมอเตอร์ที่มีขดลวดโรเตอร์

มอเตอร์ซิงโครนัสไม่สามารถได้รับการกระตุ้นด้วยสนามกระแสตรง ภายใต้เงื่อนไขดังกล่าว ทอร์กกระแสสลับเกิดขึ้นในโรเตอร์ ในขณะที่สนามสเตเตอร์กวาดตัดผ่านโรเตอร์ มันจะพยายามให้โรเตอร์พยายามหมุนโดยมีทิศตรงข้ามกับทิศการหมุนของสนามจากนั้นจะหมุนในทิศเดียวกับสนาม เหตุการณ์เช่นนี้เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้โรเตอร์อยู่นิ่งได้

การกระตุ้นมอเตอร์ซิงโครนัส โรเตอร์จะถูกปล่อยไว้ไม่ให้ถูกกระตุ้นมอเตอร์ จะถูกกระตุ้นในลักษณะเดียวกันกับมอเตอร์แบบหางกระรอกหรือมอเตอร์ที่มีขดลวดโรเตอร์ ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับโครงสร้างของโรเตอร์เมื่อโรเตอร์มีอัตราเร็วประมาณ 95 % ของอัตราเร็วของมอเตอร์ซิงโครนัส จะมีกระแสตรงป้อนให้กับขดลวดกระตุ้นกระแสตรงจะทำให้เกิดขั้วเหนือและขั้วใต้ในโรเตอร์ ซึ่งจะล็อคสนามแม่เหล็กของสเตเตอร์และทำให้โรเตอร์มีอัตราเร็วเป็นอัตราเร็วซิงโครนัส

มอเตอร์ซิงโครนัสสามเฟสจะนำไปใช้การแก้ไขพาวเวอร์แฟกเตอร์ มอเตอร์ที่ทำงานในลักษณะนี้มีชื่อเรียกว่า คาปาซิเตอร์ซิงโครนัส มอเตอร์แบบหางกระรอกและมอเตอร์แบบขดลวดโรเตอร์จะเป็นแบบมอเตอร์อินดักทีฟ ทำให้เกิดการแลกกิ้ง (lagging) พาวเวอร์แฟกเตอร์ เราแก้ไขแลกกิ้งพาวเวอร์แฟกเตอร์ได้ด้วยการกระตุ้นโรเตอร์อย่างมาก ผลที่ได้จะทำให้พาวเวอร์แฟกเตอร์ล่ำหน้า และจะหักล้างแลกกิ้งพาวเวอร์แฟกเตอร์(ซึ่งไม่ค่อยใช้กัน) เมื่อมีการกระตุ้นสนามปกติ มอเตอร์ซิงโครนัสจะหมุนด้วยพาวเวอร์แฟกเตอร์เป็นหนึ่งโดยทั่วไปมอเตอร์ซิงโครนัสจะใช้ในการขับดันโหลดที่ต้องการมีอัตราเร่งที่คงที่และจะไม่กระตุ้นหรือหยุดบ่อยนักโหลดปกติสำหรับมอเตอร์ซิงโครนัสได้แก่ เจนเนอเรเตอร์กระแสตรง โบว์เวอร์ และคอมเพรสเซอร์

การเลือกมอเตอร์ การติดตั้ง และการบำรุงรักษา

อัตรากำลังเชิงกลของมอเตอร์ระบุเป็นกำลังม้าหรือเป็นวัตต์ โดยที่1 กำลังม้า = 746 วัตต์ แฟกเตอร์ที่สำคัญสองประการที่ใช้หากำลังเอ้าท์พุทเชิงกลคือทอร์กและอัตราเร็วทอร์กเป็ปริมาณที่ปิดหรือเปลี่ยนกำลัง โดยปกติจะระบุเป็นหน่วยปอนด์ต่อฟุต (lb/ft) อัตราเร็วของมอเตอร์จะระบุเป็นรอบต่อนาที (rpm) ฉะนั้น

$$Horsepower = \frac{(Speed\ in\ rpm) \times Torque\ in\ lb/ft}{5252} \qquad (2.20)$$

ดังนั้นไม่ว่าเป็นมอเตอร์ชนิดใด ๆ กำลังม้าจะอยู่กับอัตราเร็ว มอเตอร์ที่มีอัตราเร็วต่ำ จะมีค่าทอร์กมากเพื่อให้ได้กำลังเท่าเดิม เพื่อให้ทนต่อค่าทอร์กมาก ๆ มอเตอร์ที่มีอัตราเร็วต่ำ จำเป็นต้องมีคอมโพเนนที่แข็งแรงกว่ากรณีของมอเตอร์อัตราเร็วสูง เพื่อให้อัตรากำลังเท่าเดิม มอเตอร์อัตราเร็วต่ำจะมีขนาดใหญ่ น้ำหนักมากและมีราคาแพงกว่ามอเตอร์มีอัตราเร็วสูงเมื่อมีกำลังเท่ากัน ปริมาณค่าทอร์กที่เกิดจากมอเตอร์จะแปรตามอัตราเร็วและชนิดของมอเตอร์ที่ออกแบบไว้ต่าง ๆ กัน แสดงดังภา

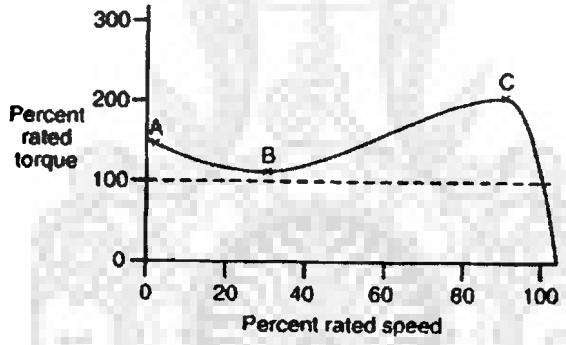
รูปที่ 2.29 แสดงค่าทอร์กที่สัมพันธ์กับอัตราเร็ว แฟกเตอร์ที่สำคัญบางตัวที่ระบุโดยกราฟดังกล่าวประกอบด้วย

1. ทอร์กกระตุ้น เป็นทอร์กขณะอัตราเร็วเป็นศูนย์
2. ทอร์กดึง(pull-up-torque) เป็นค่าทอร์กน้อยที่สุดที่เริ่มเร่งให้มอเตอร์หมุน
3. เบรกดาวน์ทอร์ก(brcakdow torque) เป็นค่าทอร์กสูงสุดที่มอเตอร์จะผลิตก่อนการติดตั้ง

ประสิทธิภาพกำลังของมอเตอร์ไฟฟ้าหาได้จาก

$$Efficiency(\%) = \frac{output}{input}$$

$$= \frac{Power \quad output}{Power \quad input + loss}$$



รูปที่ 2.27 กราฟทอร์กและอัตราเร็ว

เนื่องจากมีการสูญเสียกำลัง เอ้าท์พุทเชิงกลที่ผลิตได้ของมอเตอร์จะน้อยกว่าอินพุทไฟฟ้า ความร้อนเป็นตัวแปรที่กำหนดหาเอ้าท์พุทของมอเตอร์เป็นกำลังม้า อินพุทที่ป้อนให้กับมอเตอร์อาจจะส่งผ่านทางเพลาและกำลังเอ้าท์พุท หรือการสูญเสียเป็นความร้อนต่อมอเตอร์ ประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 75 และ 98 เปอร์เซ็นต์ ประสิทธิภาพพลังงานของมอเตอร์ ดังแสดงในแสดงดังภาพที่ 2.28 (b) จะมีค่าน้อย ทำให้การทำงานและมีการสูญเสียในรูปความร้อนลดลง ดังนั้นอินพุทไฟฟ้าที่จะให้ได้กำลังเอ้าท์พุทเชิงกลน้อยลงกรณีเช่นนี้จะทำให้มีการเพิ่มประสิทธิภาพด้วยการใช้วัสดุที่เหมาะสมกับมอเตอร์ การใช้วัสดุที่เหมาะสมและการออกแบบที่เหมาะสม การสูญเสียที่เกิดขึ้นในมอเตอร์ประกอบด้วย

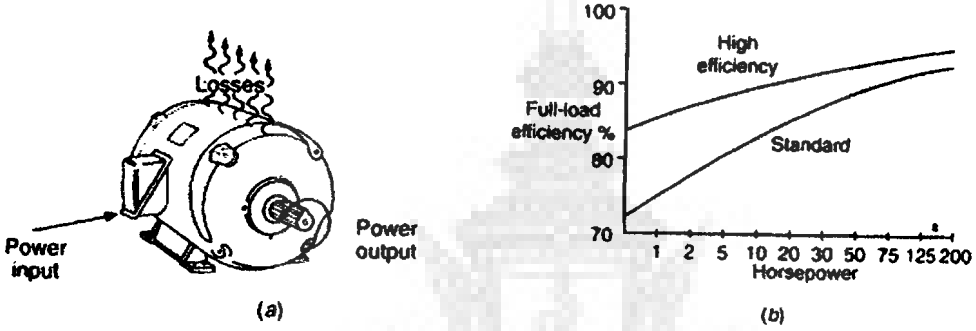
1. การสูญเสียที่คอร์ (core loss) เป็นการสูญเสียที่ไปเหนี่ยวนำให้เกิดเป็นแม่เหล็กของแกน (ฮิสทีริซิส) และการสูญเสียที่ทำให้เกิดกระแสขนาดน้อย ๆ ซึ่งเรียกว่ากระแสเอ็ดดี้ที่ไหลในคอร์

2. การสูญเสียที่สเตเตอร์ (stator loss) ความร้อน I^2R สูญเสียในขดลวดสเตเตอร์ ขณะที่กระแส I ไหลผ่านขดลวดตัวนำที่มีความต้านทาน R

3. การสูญเสียในโรเตอร์ การสูญเสีย I^2R ในขดลวดโรเตอร์

4. การสูญเสียที่โหลดกระจัดกระจาย เป็นผลที่เกิดจากการรั่วของฟลักซ์ เหนี่ยวนำโดยกระแสโหลดและมีค่าแปรเปลี่ยนไปตามกระแสโหลดยกกำลังสอง

5. การสูญเสียเนื่องจากความเสียดทาน การสูญเสียชนิดนี้เกิดขึ้นจากความเสียดทานของอากาศและของตลับลูกปืนที่ต่อต้านการหมุนของโรเตอร์



รูปที่ 2.28 ประสิทธิภาพมอเตอร์

กำลังเป็น kW ที่ต้องการจะต้องเป็นไปตามขนาดของมอเตอร์ แต่ kVAR ที่ต้องการทวีขึ้นอย่างรวดเร็วกับขนาดมอเตอร์ที่ใหญ่ขึ้น จึงเป็นผลให้กำลังเป็น kVA ที่ต้องการ ขึ้นอยู่กับสวิตช์เกียร และสายไฟฟ้าที่ใช้จะมีขนาดเพิ่มขึ้น ขีดจำกัดของขนาดมอเตอร์จะอยู่ประมาณ 75 หรือ 90 เปอร์เซ็นต์ของโหลด ซึ่งจะทำได้ด้วยการเลือกมอเตอร์เหนี่ยวนำที่มีขนาดต่าง ๆ ให้เลือก ข้อควรจำได้แก่ มอเตอร์แต่ละตัวจะมีเซอร์วิสแฟกเตอร์(service factor) มากกว่า 1.0 และมักจะทำงานกับโหลดได้ 115 เปอร์เซ็นต์อย่างต่อเนื่อง แม้ว่าจะมีการลดประสิทธิภาพลงบ้าง การทำงานโอเวอร์โหลด สามารถทำได้ด้วยเซอร์วิสแฟกเตอร์ที่สามารถใช้ได้แทนที่จะใช้มอเตอร์ที่มีกำลังม้าสูง ๆ

กรอบมอเตอร์จะได้รับการออกแบบเพื่อเป็นการป้องกันต่อการทำงานในสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ ดังนี้

1. ODP (open-drip-proof) ODP เป็นกรอบใช้เพื่อความสะอาดของสิ่งแวดล้อม ซึ่งจะทนทานต่อการหยดของเหลวไม่เกิน 15° จากแนวดิ่ง จะมีการดูดอากาศผ่านมอเตอร์เพื่อการหล่อเย็น

2. TEFC (totally enclosed fan cooled) เป็น TEFC ใช้ในการป้องกันฝุ่นและการกัดกร่อนเนื่องจากสภาวะแวดล้อม จะมีการพัดอากาศโดยพัดลมเล็ก ๆ

3. การป้องกันการระเบิด (Explosion prove) เป็น TEFC มอเตอร์ที่ใช้ในสภาวะแวดล้อมที่มีการเกิดเพลิงได้ ซึ่งสามารถทนต่อการระเบิดของก๊าซภายในโดยไม่มีก๊าซจากภายนอก ซึ่งทำให้ได้เกิดประกายไฟ

มอเตอร์เหนี่ยวนำมีระบบมาตรฐานตามคุณลักษณะของทอร์ก ระบุเป็น NEMA(National Electrical Manufacturers Assciation) โดยระบุเป็นระดับ A , B , C , D , E หรือ F การออกแบบที่เราจะเลือกใช้จะต้องมีค่าทอร์กเพียงพอที่จะกระตุ้นโหลดและเร่งให้มีอัตราเร็วเต็มที่

ตาราง 2.3 แสดงคุณลักษณะทอร์กสำหรับ NEMA ต่างๆ

มอเตอร์เหนี่ยวนำแบบหางกระรอกเป็นมอเตอร์ที่ซับซ้อนน้อยที่สุด มีความน่าเชื่อถือสูง เพราะว่ามีส่วนหุ้มขดลวดโรเตอร์ และไม่มีขนแปรง กระแสกระตุ้นขนาดใหญ่จะทำหน้าที่กระตุ้นมอเตอร์ทำให้เกิดการกระเพื่อมแรงดัน มอเตอร์เหนี่ยวนำแบบหางกระรอก(NEMA design B) เป็นที่นิยมใช้ มอเตอร์ NEMA design B ใช้มากในการขับดันพัดลม ปั๊มเซนตริฟูกัล (centrifugal pump)

มอเตอร์ที่มีทอร์กกระตุ้นสูง (NEMA design C) ใช้เมื่อเงื่อนไขการกระตุ้นที่ยุ่งยากลิฟต์และกว้านจุดที่ต้องกระตุ้นอันเตอร์โหลด มีการประยุกต์สองประการ โดยทั่วไปมอเตอร์เหล่านี้จะมีโรเตอร์เป็นคู่ ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 มอเตอร์ที่มีทอร์กกระตุ้นสูง (NEMA design C)

Induction Motor Design	Starting Torque	Stating Current	Full-Load Slip	Breakdown Torque
A	Normal	Normal	Low	Higher
B	Normal	Normal	Low	Normal
C	High	Normal	Low	Normal
D	High	Low	High	High
F	Low	Low	Low	Low

มอเตอร์สลิปสูง (NEMA design D) ได้รับการออกแบบที่ให้ค่าทอร์กกระตุ้นที่สูงและกระแสกระตุ้นต่ำมอเตอร์ชนิดนี้มีความต้านทานสูงและทำงานได้ระหว่าง 85 ถึง 95 เปอร์เซ็นต์ของอัตราเร็วซิงโครนัส มอเตอร์ประเภทนี้จะขับดันโหลดที่มีความเฉื่อยสูงซึ่งใช้เวลานานมากที่จะถึงอัตราเร็วเต็มที่ ความต้านทานหางกระรอกจะทำด้วยทองเหลืองและมอเตอร์ได้รับการออกแบบไว้เพื่อการทำงานไม่ต่อเนื่อง ทั้งนี้ป้องกันโอเวอร์ฮีท

ฉนวนมอเตอร์ จำแนกออกเป็นอักษรตามที่จะทนอุณหภูมิได้โดยไม่ก่อให้เกิดการเสียหายอย่างรุนแรงทั้งนี้เนื่องจากสมบัติของฉนวนอัตราทนอุณหภูมิของฉนวนมีมาตรฐานที่ 40°C

ตารางที่ 2.3 แสดงการเพิ่มอุณหภูมิเหนืออุณหภูมิสูงสุดของฉนวนแต่ละชนิด

Insulation			
	Class B	Class F	Class H
Motors without SF. Temperature rise at Rated load.	80°C	105°C	125°C
Motors with 1.15 SF. Temperature rise at 115 % load.	90°C	115°C	135°C

ให้พิจารณาว่าน้ำจะเดือดที่ 100°Cและอุณหภูมิขณะที่มอเตอร์ทำงานสามารถจะขึ้นถึงได้ แม้ว่าฉนวนส่วนใหญ่จะไม่ไหม้หรือละลายแม้ว่าจะถึงอุณหภูมิเกินขีดจำกัด ผลที่ปรากฏจะทำให้ฉนวนใช้งานได้ลดลงชนิดฉนวนมอเตอร์ที่นิยมใช้แบบคลาส B

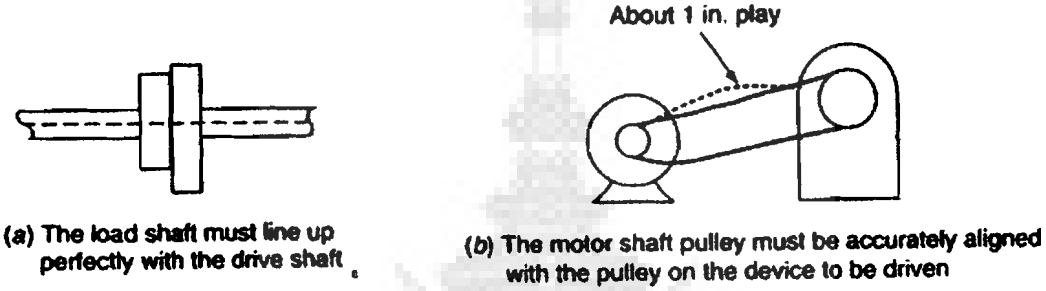
มีตลับจากลูกปืนสองชนิดที่ใช้มอเตอร์ไฟฟ้า ได้แก่ แบบตลับลูกปืนสลีฟ (sleeve bearing) และแบบบอล์ล (ball bearing) ตลับลูกปืนสลีฟประกอบด้วยทรงกระบอกด้วยทรงกระบอกทองเหลืองไส้และรีเซอร์วัวร์ (reservoir) เพลาของมอเตอร์จะหมุนในสลีฟทองเหลือง มีการหล่อลื่นด้วยน้ำจากซีเซอวัวร์ผ่านทางไส้ ซึ่งเป็นทางผ่านน้ำมันจากรีเซอวัวร์ไปยังสลีฟ ตลับลูกปืนชนิดนี้ใช้กับมอเตอร์ที่ใช้งานเบา ๆ ซึ่งควรมีการหล่อลื่นอย่างน้อยทุก ๆ 6 เดือน หรือทำตามรายละเอียดที่กำหนดไว้

ตลับลูกปืนแบบบอล์ลประกอบด้วยลูกปืนภายในและภายนอก ตามวงรางชั้นในและชั้นนอก ตลับลูกปืนแบบที่ใช้กับโหลดหนัก ๆ และมี 3 ชนิดคือ : มีการหล่อลื่นอย่างถาวร แฮน-แพค และแบบที่มีการหล่อลื่นในขณะติดตั้ง กรณีที่ไม่มีการล่อลื่นมอเตอร์จะไม่เสียหาย เหตุผลสำคัญคือถ้ามีการหล่อลื่นมากเกินไป จะทำให้มอเตอร์เสียหายได้ ถ้ามีการหล่อลื่นมากเกินไป เราจะตีรางชั้นในและเพื่อการหล่อลื่นให้กับมอเตอร์ ทำให้เกิดโอเวอร์ฮีทในมอเตอร์

นอกเหนือจากการหล่อลื่นแล้ว แฟกเตอร์ที่สำคัญคือการจัดแนว (alignment) ให้มอเตอร์กับโหลด แสดงดังภาพที่ 2.29 ในกรณีของมอเตอร์ต่อกับโหลดโดยตรง เพลาของโหลดจะต้องอยู่ในแนวเดียวกับเพลาขับ แสดงดังภาพที่ 2.29 (a) กรณีที่เป็นระบบสายพาน จะต้องมีการจัดแนวและแรงแรงตึงในสายพานให้เหมาะสมสายพานจะต้องปรับให้ได้เพียงพอต่อการป้องกันการลื่น ถ้าแรงตังมากเกินไปจะทำให้อายุการใช้งานของตลับลูกปืนสั้นลง เมื่อระบบสายพานมีมากกว่า 1 สายพาน ข้อสำคัญที่ควรกระทำคือต้องเปลี่ยนสายพานทั้งหมด แม้ว่าสายพานหนึ่งจะขาดไป ทั้งนั้นเพื่อให้สายพานรับโหลดได้เท่าๆ กัน เมื่อเราจัดแนวของระบบได้ถูกต้องแล้วและจัดแรงตึงในสายพานได้เหมาะสม เราจำเป็นต้องตรวจสอบกระแสกระตุ้นมอเตอร์เพื่อตรวจว่ากระแสจะไม่เกิดกระแสเมื่อมีโหลดเต็มที่

ระบบขับดันด้วยสายพานมีประโยชน์มากเพราะมอเตอร์ที่มีอัตราเร็วมาตรฐานสามารถขับดันโหลดให้มีอัตราเร็วที่กำหนดได้ ทั้งนี้กระทำได้โดยใช้อัตราส่วน รอก/อัตราเร็ว สูตรที่ใช้ในการคำนวณอัตราเร็วและขนาดของรอกคือ

$$\frac{Motor\quad rpm}{Equipment\quad rpm} = \frac{Equipment\quad pulley\quad diameter}{Motor\quad pulley\quad diameter}$$

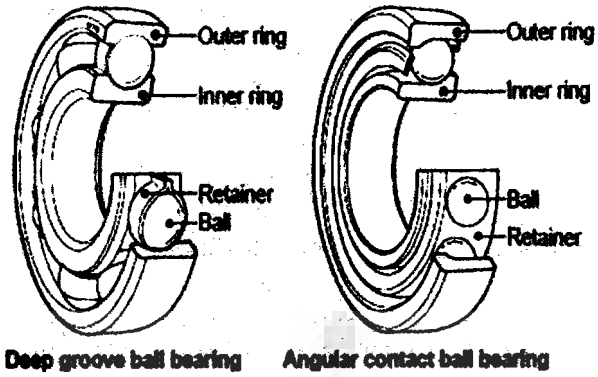


(a) The load shaft must line up perfectly with the drive shaft.

(b) The motor shaft pulley must be accurately aligned with the pulley on the device to be driven

รูปที่ 2.29 มอเตอร์และการจัดโหลด

ภาระที่กระทำในเครื่องจักรกล สามารถจำแนกออกได้เป็นภาระในแนวรัศมีและภาระในแนวแกน ตลับลูกปืนที่ใช้ในการรองรับจำเป็นที่จะต้องรับภาระที่กระทำทั้งสองแกนหรือแนวใดแนวหนึ่ง การออกแบบรูปร่างของตลับลูกปืนจึงต้องออกแบบให้โครงสร้างของตลับลูกปืนเหมาะสมต่อขนาดและทิศทางของการรับภาระที่กระทำ ดังนั้น ตลับลูกปืนที่มีอยู่ในท้องตลาดจึงมีรูปร่างและโครงสร้างต่างๆกัน ด้วยเหตุที่ตลับลูกปืนมีชนิดและขนาดต่างกันเป็นจำนวนมาก จึงจำเป็นต้องกำหนดตลับลูกปืนขึ้นเป็นมาตรฐาน เพื่อสะดวกต่อการออกแบบเครื่องจักรกล ตลับลูกปืนทั่วไปจะประกอบไปด้วยแหวนสองส่วนคือ แหวนใน (Inner ring) และแหวนนอก (Outer ring) (แหวนในจะใช้สวมเข้ากับเพลาและแหวนนอกจะยึดอยู่ในตัวเรือน) มีลูกกลิ้งแบบเม็ดกลม (ball) หรือแบบเม็ดทรงกระบอก (Roller) อยู่ระหว่างแหวนในและแหวนนอก โดยจะมีกรงหรือรัง (Cage) หรือเรียกว่า Retainerคั่นแยกลูกกลิ้ง ให้มีระยะห่างคงที่ เมื่อแหวนใดแหวนหนึ่งหมุน ลูกกลิ้งก็จะกลิ้งอยู่ในรางของแหวน แหวนใน, แหวนนอกและเม็ดลูกปืน โดยทั่วไปจะทำจากโลหะ คาร์บอนเกรดสูงชุบโครเมียม ดังรูปที่ 2.30



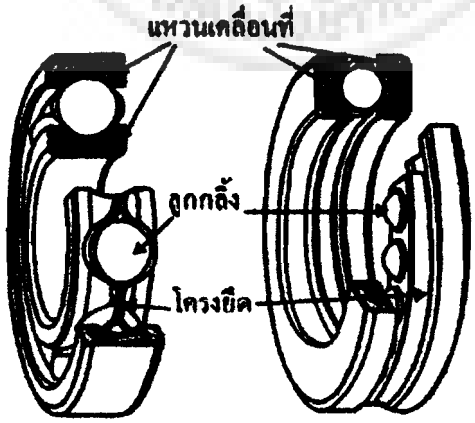
รูปที่ 2.30 โครงสร้างของตลับลูกปืน

2.4.2 ตลับลูกปืนและชุดตลับลูกปืน

รูปที่ 2.31 ตลับลูกปืน

1.ชนิดของตลับลูกปืน

ตลับลูกปืนที่ใช้เป็นชิ้นส่วนเครื่องจักรกลหลายชนิด แต่ละชนิดจะมีความแตกต่างกันตามรูปร่างของลูกปืนหรือลูกกลิ้งที่อยู่ภายใน โดยที่ทั่วไปลูกปืนหนึ่งตัวจะประกอบด้วยส่วนต่างๆดังรูป

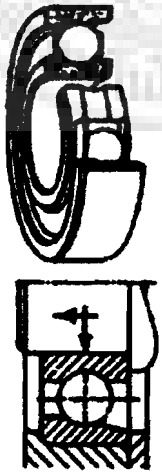


รูปที่ 2.32 ตลับลูกปืนและส่วนประกอบ

1.1 ตลับลูกปืนชนิดลูกกลิ้งกลมร่องลึกแถวเดียว(GROORVED BALL BEARING)เป็นตลับที่มีลูกกลิ้งซึ่งภายในแบบแถวเดียวหรือสองแถวก็ได้แล้วแต่การใช้งาน ตลับลูกปืนชนิดนี้เหมาะสำหรับภาระปานกลางตามแนวรัศมี และรับภาระต่ำตามแนวแกน และสำหรับความเร็วรอบสูง ตลับลูกปืนนี้มีลักษณะรูปร่าง ดังรูป

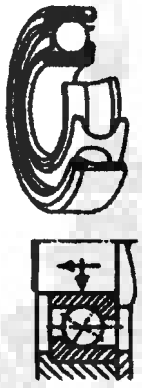
รูปที่ 2.33 ตลับลูกปืนชนิดกลม

1.2 ตลับลูกปืนชนิดลูกกลิ้งกลมแบบมีบ่ากับฐาน(SHOULDER BALL BEARING)เป็นตลับลูกปืนที่มีลูกกลิ้งกงมที่สมารถรับแรงตามแนวรัศมี และรับแรงตามแนวแกนในหนึ่งทิศทางได้ ตลับลูกปืนแบบนี้ส่วนใหญ่จะนิยมนำมาประกอบเป็นคู่เพื่อให้เกิดการต้านกันเอาไว้ ตลับลูกปืนแบบนี้มีลักษณะรูปร่างดังรูป



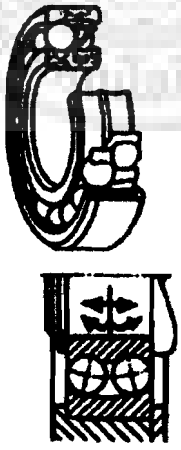
รูปที่ 2.34 ตลับลูกปืนชนิดลูกกลิ้งกลมแบบมีบ่ากับฐาน

1.3 ตลับลูกปืนชนิดลูกกลิ้งกลมแบบเอียง(ANGULAR CONTACT BALL BEARING)เป็นตลับปืนที่มีลูกกลิ้งกลมที่สามารถรับแรงตามแนวรัศมี และรับแรงตามแนวแกนในหนึ่งทิศทางได้ ตลับลูกปืนแบบนี้เป็นส่วนจะนิยมนำมาประกอบเป็นคู่เพื่อให้เกิดการต้านกันเอาไว้เช่นเดียวกับตลับลูกปืนชนิดลูกกลิ้งกลมแบบมีบ่ากับฐาน ตลับลูกปืนแบบนี้มีลักษณะรูปร่างดังรูป



รูปที่ 2.35 ตลับลูกปืนชนิดลูกกลิ้งกลมแบบเอียง

1.4 ตลับลูกปืนชนิดลูกกลิ้งแบบแกว่งปรับศูนย์(SELF-ALIGNING BALL BEARING)เป็นตลับลูกปืนที่มีลูกกลิ้งกลม ใช้สำหรับรับแรงตามแนวรัศมีและแนวแกนทั้งยังสามารถให้เพลาที่เบี่ยงเบนไปจากศูนย์ และเพลาที่รับการดัดงอได้ ตลับลูกปืนแบบนี้มีลักษณะ ดังรูป



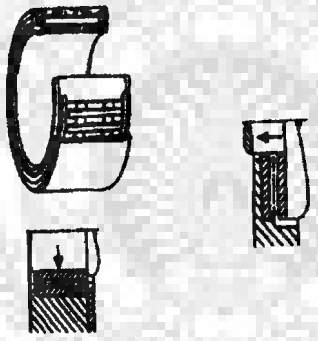
รูปที่ 2.36 ตลับลูกปืนชนิดลูกกลิ้งกลมแบบแกว่งปรับศูนย์

1.5 **ตลับลูกปืนชนิดลูกกลิ้งป๊อม**(BARREL TYPE ROLLER BEARING)ตลับลูกปืนที่มีลูกกลิ้งกลม ใช้สำหรับรับแรงตามแนวรัศมีและแนวแกน ทั้งยังสามารถใช้กับเพลาที่เบี่ยงแบนไปจากศูนย์ และเพลาที่รับการดัดงอได้เดียวกันแบบแกว่ง ปรับศูนย์

1.6 **ตลับลูกปืนชนิดลูกกลิ้งเรียว** (TAPERED ROLLER BEARING) เป็นตลับลูกปืนที่มีลูกกลิ้งเรียว ตลับลูกปืนนี้สามารถแยกชิ้นส่วนได้ ใช้สำหรับรับแรงตามแนวรัศมีและแนวแกนได้ นิยมนำมาประกอบเป็นคู่ให้ย้อนทิศทาง

1.7 **ตลับลูกปืนชนิดลูกกลิ้งโค้ง**(SPHERICAL ROLLER BEARING)เป็นตลับลูกปืนที่มีลูกกลิ้งโค้ง ปรับแนวรับได้ มีลักษณะการใช้งานเหมือนกับตลับลูกปืนเม็ดลูกกลิ้งกลมสามารถรับแรงในแนวแกนได้ สามารถรับแรงในแนวแกนได้มากกว่า

1.8 **ตลับลูกปืนชนิดลูกกลิ้งเข็ม**(NEEDLE ROLLER BEARING)เป็นตลับลูกปืนที่ใช้งานกับบริเวณที่มีพื้นที่การประกอบน้อย สามารถรับแรงตามแนวรัศมีได้มาก ลูกกลิ้งขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเล็ก แต่มีความสามารมาก ตลับลูกปืนแบบนี้มี 2 แบบ คือ แบบมีแหวน วงใน และแบบไม่มีแหวนวงใน ตลับลูกปืนชนิดนี้มีลักษณะรูปร่าง ดังรูป



รูปที่ 2.37 ตลับลูกปืนชนิดลูกกลิ้งเข็ม

1.9 **ตลับลูกปืนชนิดลูกกลิ้งรับแรงแนวแกนแถวเดียว**(THUST BALL BEARING)เป็นตลับลูกปืนที่ลูกกลิ้งยอมรับแรงแนวแกนแถวเดียวมีวงแหวน 2 วง วงหนึ่งสวมกับเพลา วงที่สองสวมอัดเข้ากับตัวเรือน

1.10 **ตลับลูกปืนชนิดลูกกลิ้งโค้งรับแรงแนวแกน**(SPHERICAL ROLLER THUST BEARING)เป็นตลับลูกปืนที่ลูกกลิ้งโค้งรับแรงแนวแกนจากรูปทรงลูกปืนแบบลูกกลิ้งโค้ง ทำให้สามารถรับแรงแนวรัศมีได้เล็กน้อย และยังสามารถเลื่อนปรับตัวเองได้หากเกิดการแกว่งหนีศูนย์

1.11 ตลับลูกปืนชนิดลูกกลิ้งโค้งรับแรงแนวแกน 2 ทิศทาง(THUST BALL BEARING DOUBLE DIRECTION)เป็นตลับลูกปืนลูกกลิ้วกลมรับแรงแกน 2 ทิศทาง มีแหวนรองเป็นรางวิ่งของลูกกลิ้งทั้ง 2 ด้าน สามารถรับแรงแนวแกนได้ทั้ง 2 ทิศทาง

วัสดุที่ใช้ทำตลับลูกปืน

ตลับลูกปืนที่ใช้เป็นชิ้นส่วนของเครื่องจักรกลทำจากวัสดุที่มีคุณภาพสูงเพื่อให้สามารถใช้งานได้ดีและคงทนถาวรได้ยาวนาน ดังนั้นวัสดุที่ใช้ทำตลับลูกปืน ได้แก่ รางและลูกกลิ้งของตลับลูกปืนส่วนมากจะทำด้วยเหล็กที่มีคาร์บอนสูง ผสมกับโครเมี่ยม จากนั้นใช้กรรมวิธีทางความร้อนช่วยเพิ่มความแข็งให้กับวัสดุเพื่อเพิ่มอายุการใช้งาน และทนต่อการสึกหรอได้ดี

ขนาดของตลับลูกปืน

ขนาดของลูกปืนได้มีการกำหนดไว้เป็นมาตรฐาน ดังนั้นทางปฏิบัติ ขนาดของตลับลูกปืนจะต้องเลือกมาจากคู่มือของตลับลูกปืนนั้นๆ ดังนี้

สิ่งที่สำคัญของตลับลูกปืนคือ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของรู ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก ความกว้าง และมุมต่างๆ โดยทั่วไปมักจะใช้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของรูเป็นหลัก และพิจารณาร่วมกับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางวงภายนอก และความหนาที่ต่างกันออกไป

ขนาดที่ระบุตลับลูกปืนจะประกอบไปด้วยตัวเลขหลักสัญลักษณ์ ได้แก่ สัญลักษณ์ ของชนิด สัญลักษณ์ของขนาด

ตารางที่ 2.3 ขนาดของตลับลูกปืนชนิดลูกกลิ้งกลม ตาม DIN 625

นัมเบอร์ (No.)	ขนาดโตนอก (D)	ขนาดรูใน (d)	ความหนา (B)	รัศมีขอบมุม (R)
6206	62	30	16	1.5
6207	72	35	17	2
6208	80	40	18	2
6209	85	45	19	2
6210	90	50	20	2
6250	52	25	15	1.5

4.การใช้งานของตลับลูกปืน

ตลับลูกปืนแต่ละชนิดมีความสามรถในการใช้การใช้งานแตกต่างกัน เช่น ความสามารถในการรับโลดในแนวรัศมี ความสามารถในด้านความเร็ว ความสามรถในด้านความฝืด ความสามารถในการสั่นสะเทือนและส่งเสียงดัง ดังรายละเอียด

4.1 การรับโลดในแนวรัศมี ตลับลูกปืนที่ใช้กับเครื่องจักรกลรัศมีที่มีมุมสัมผัสระหว่างลูกกลิ้งและรางสามารถรับโลดในแนวแกนได้บ้างเช่นกัน สำหรับแบบรางลึกและแบบลูกกลิ้งทรงกระบอกเรียวที่มุมสัมผัสมากสามารถรับโลดในแนวแกนได้บ้าง ส่วนแบบที่สามารถปรับตัวเองได้นั้น ลูกกลิ้งกลมหรือทรงกระบอกกลม สามารถจะจัดตำแหน่งของตัวเองตามการโก่งตัวของเพลาแต่ชนิดนี้สามารถรับโลดในแนวแกนได้น้อยกว่าแบบที่กล่าวมาแล้ว

4.2 ด้านความเร็ว ตลับลูกปืนมีขีดจำกัดทางด้านความเร็ว คือ ตัวเลขที่ได้จากผลคูณระหว่างความโตของเพลากับความเร็ว และชนิดของตลับลูกปืน แต่ส่วนมากตลับลูกปืนแบบลูกกลิ้งกลมที่ร่างลึกหรือสัมผัสได้นั้น ลูกกลิ้งกลมหรือทรงกระบอกกลม สามารถจัดตำแหน่งของตัวเองตามการโก่งตัวของเพลาแต่ชนิดนี้สามารถรับโลดในแนวแกนได้น้อยกว่าแบบที่กล่าวมาแล้ว

ตารางที่ 2.4 ค่าตัวเลขขีดจำกัดของผมคูณระหว่างความโตเพลากับความเร็ว

ชนิดตลับลูกปืน	หล่อลื่นด้วยจารบี	หล่อลื่นด้วยน้ำมันหล่อลื่น
ตลับลูกปืนกลมรางลึก	200,000	300,000
ตลับลูกปืนแบบลูกกลิ้งกลม	200,000	350,000
ตลับลูกปืนแบบสัมผัสมุม	150,000	300,000
ตลับลูกปืนแบบลูกกลิ้งทรงกระบอก	200,000	350,000
ตลับลูกปืนแบบลูกกลิ้งทรงกระบอกเรียว	120,000	200,000
ตลับลูกปืนแบบปรับตัวเองได้	100,000	150,000
ตลับลูกปืนแบบลูกกลิ้งกลมรับโลดในแนวแกน	60,000	90,000

หมายเหตุ จากค่าในตารางเป็นขีดจำกัดที่ใช้งานอย่างต่อเนื่องภายใต้การทำงานแบบธรรมดา

4.3 ด้านความฝืดคลับลูกปืนแบบลูกกลิ้งหรือลูกกลิ้งทรงกระบอกกลมจะมีค่าความฝืดจะเป็นแฟคเตอร์ที่สำคัญที่ต้องพิจารณาในขณะออกแบบ

4.4 การสั่นสะเทือนและการส่งเสียงดัง องค์ประกอบที่สำคัญของตลับลูกปืน คือ ความกลมของลูกกลิ้ง ความบริสุทธิ์ของน้ำมันหล่อลื่น และตัวประกอบอื่นๆที่รองลงมา เช่น ความถูกต้องในการ

ประกอบ ความละเอียดในการผลิต ต้นเหตุของการสั่นสะเทือนและการส่งเสียงดังมีหลายอย่าง ปัจจุบันยังไม่สมารถเฉพาะตัว ของตลับลูกปืน

2.4.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับเฟือง

ปัจจุบันเทคโนโลยีใหม่ๆ ได้ก้าวหน้าไปมาก ทำให้วงการอุตสาหกรรมต่างๆเจริญรุดหน้าไปมากขึ้นทุกที จะเห็นได้ว่าการผลิตอุปกรณ์ต่างๆ ก็ได้อาศัยเครื่องจักรที่ทันสมัยจนถึงขั้นผลิตด้วยเครื่องอัตโนมัติและควบคุมการผลิตด้วยสมองกล สินค้าหรือผลิตภัณฑ์ต่างๆ จึงสนองความต้องการของตลาดได้อย่างรวดเร็ว ผลิตภัณฑ์ชนิดหนึ่งที่เกือบทุกๆครอบครัวจะมีคือพวกของเล่นเด็ก ซึ่งถ้าเรามองเฉพาะตัวสินค้าแล้วก็จะเห็นมีมากมายหลายชนิด มีชนิดหนึ่งที่ได้รับความสนใจจากเด็กๆ คือของเล่นที่สามารถเคลื่อนไหวได้ ซึ่งจำลองจากของจริง เช่น รถ เครื่องบิน เรือ และหุ่นต่างๆ เครื่องเล่นเหล่านี้เคลื่อนไหวได้อย่างไร อะไรเป็นตัวที่ทำให้เกิดการเคลื่อนไหว ปัญหานี้หลายท่านก็คงจะตอบได้ว่าเพราะแบตตารี่ เพราะมอเตอร์ เพราะสปริง หรือต้นกำลังอื่นๆ ที่จะไปทำให้เกิดการขับเคลื่อนได้ แต่มีชิ้นส่วนที่สำคัญชนิดหนึ่งซึ่งจะขาดเสียไม่ได้ ก็คือ "เฟือง" ซึ่งเป็นตัวช่วยส่งกำลังหรือถ่ายทอดการหมุนจากต้นกำลังต่างๆ อันที่จะทำให้เกิดการเคลื่อนไหวได้

เฟืองคืออะไร

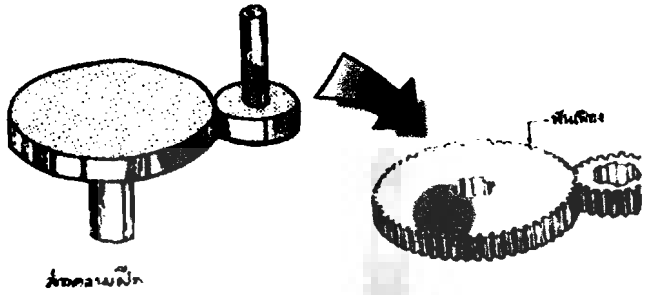
ปัจจุบันเทคโนโลยีใหม่ๆ ได้ก้าวหน้าไปมาก ทำให้วงการอุตสาหกรรมต่างๆเจริญรุดหน้าไปมากขึ้นทุกที จะเห็นได้ว่าการผลิตอุปกรณ์ต่างๆ ก็ได้อาศัยเครื่องจักรที่ทันสมัยจนถึงขั้นผลิตด้วยเครื่องอัตโนมัติและควบคุมการผลิตด้วยสมองกล สินค้าหรือผลิตภัณฑ์ต่างๆ จึงสนองความต้องการของตลาดได้อย่างรวดเร็ว ผลิตภัณฑ์ชนิดหนึ่งที่เกือบทุกๆครอบครัวจะมีคือพวกของเล่นเด็ก ซึ่งถ้าเรามองเฉพาะตัวสินค้าแล้วก็จะเห็นมีมากมายหลายชนิด มีชนิดหนึ่งที่ได้รับความสนใจจากเด็กๆ คือของเล่นที่สามารถเคลื่อนไหวได้ ซึ่งจำลองจากของจริง เช่น รถ เครื่องบิน เรือ และหุ่นต่างๆ เครื่องเล่นเหล่านี้เคลื่อนไหวได้อย่างไร อะไรเป็นตัวที่ทำให้เกิดการเคลื่อนไหว

ปัญหานี้หลายท่านก็คงจะตอบได้ว่า เพราะแบตตารี่ เพราะมอเตอร์ เพราะสปริง หรือต้นกำลังอื่นๆ ที่จะไปทำให้เกิดการขับเคลื่อนได้ แต่มีชิ้นส่วนที่สำคัญชนิดหนึ่งซึ่งจะขาดเสียไม่ได้ ก็คือ "เฟือง" ซึ่งเป็นตัวช่วยส่งกำลังหรือถ่ายทอดการหมุนจากต้นกำลังต่างๆ อันที่จะทำให้เกิดการเคลื่อนที่

หลักการของเฟืองเป็นอย่างไร

การถ่ายทอดการหมุนจากต้นกำลังนั้น ทำได้หลายวิธี เช่น ด้วยการใช้สายพาน โซ่ ล้อความฝืด เป็นต้น ล้อความฝืดก็คือ ล้อสองล้อที่ถูกกดให้ติดกัน เมื่อล้อหนึ่งหมุนหรือเป็นล้อขับ ก็จะทำให้อีกล้อหนึ่งหมุนตาม เพราะผิวหน้าของล้อทั้งสองเกิดความฝืด เนื่องจากการสัมผัส แต่ถ้าหากมีภาระมากๆ เช่น มีการส่งกำลังสูงๆ จะทำให้เกิดการลื่นไถล การส่งกำลังจึงไม่แม่นยำ เพื่อที่จะแก้ไขข้อเสียเหล่านี้จึงได้มีการนำเอาฟันเฟืองมาติดไว้ที่ผิวของล้อโดยรอบล้อ จึงมีลักษณะเป็นล้อฟันเฟือง ซึ่ง

ต่อๆมาเราจึงเรียกว่า "เฟือง" ซึ่งเป็นชิ้นส่วนที่สามารถส่งกำลังหรือถ่ายทอดการหมุนได้แม่นยำเที่ยงตรง และไม่มีการลื่นไถล ดังรูปที่ 2.38

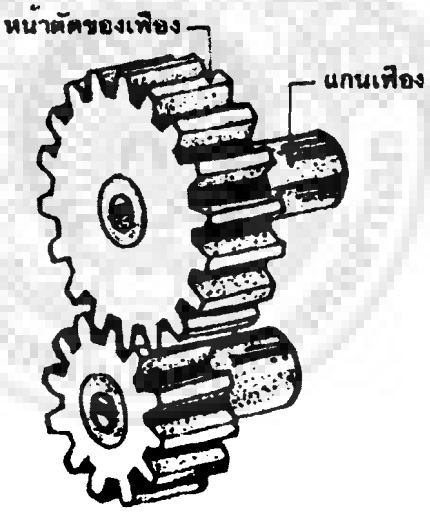


รูปที่ 2.38 หลักการของเฟือง

ชนิดของเฟือง

เฟืองตรง(Spur gear)

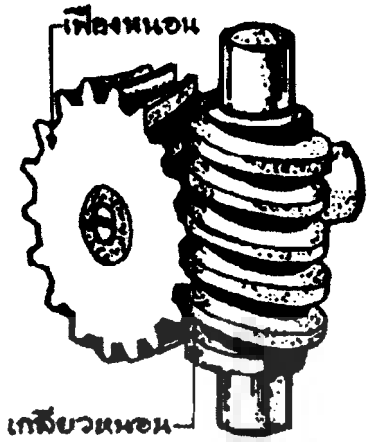
เป็นเฟืองที่มีลักษณะเป็นล้อทรงกระบอก มีฟันขนานกับแกนของตัวเฟือง มีหน้าตัดของฟันเฟืองขนานเท่ากัน และเหมือนกันตลอดทั้งเฟือง ดังรูปที่ 2.39



รูปที่ 2.39 เฟืองตรง

เฟืองหนอน (Worm gear)

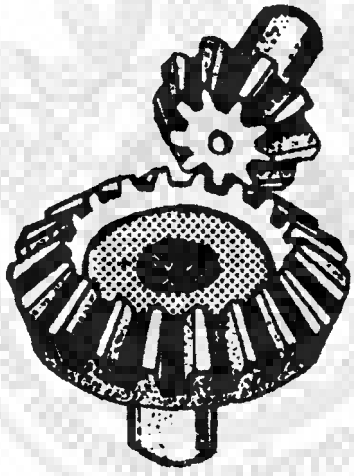
เฟืองชุดนี้จะประกอบด้วยตัวเกลียวหนอนและเฟืองหนอน โดยเกลียวหนอนจะส่งกำลังหมุนไปขับให้เฟืองหนอนหมุนตาม ดังรูปที่ 2.41 เฟืองชนิดนี้นิยมใช้กับการทดรอบความเร็วสูงๆ ให้เป็นความเร็วต่ำมากๆเช่น ในกรณีของการทดรอบจากมอเตอร์ซึ่งมีความเร็วสูง เป็นต้น



รูปที่ 2.40 เฟืองหนอน

เฟืองดอกจอก (Bevel gear)

เฟืองชนิดนี้มีลักษณะรูปร่างเป็นรูปทรงกรวย(Cone) ฟันของเฟืองจะอยู่โดยรอบผิวของทรงกรวย และขนานกับแกนของเฟือง ดังภาพที่ 2.41 เฟืองดอกจอกจะใช้สำหรับเปลี่ยนทิศทางการส่งกำลังระหว่างเพลาของล้อที่ตั้งฉากกัน เช่น การส่งกำลังไปยังเพลาของล้อรถ เป็นต้น



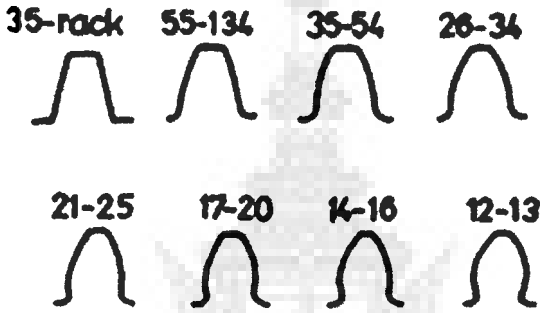
รูปที่ 2.41 เฟืองดอกจอก

วิธีการผลิตเฟือง

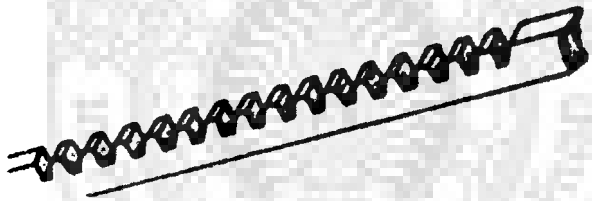
การผลิตเฟืองเพื่อใช้ในด้านการค้านั้น ทำได้หลายวิธี เช่น การหล่อ การปั๊มขึ้นรูป การแปรรูปด้วยเครื่องจักร และการทำโมลด์พลาสติก เป็นต้น ซึ่งแต่ละวิธีนั้น ผู้ผลิตจะต้องคำนึงถึงต้นทุนการผลิต จำนวนที่ผลิต และชนิดของเฟือง แล้วมาเลือกว่าวิธีไหนจึงจะเหมาะสมและประหยัดที่สุด ส่วนการผลิตเฟืองเพื่อทำต้นแบบซึ่งจะผลิตจำนวนไม่มาก ดังเช่นที่ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ซึ่งผลิตเฟืองเพื่อทำต้นแบบอุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์นั้น ถึงแม้ว่าจะมีข้อจำกัดในเรื่อง

ประสิทธิภาพของเครื่องจักรและเรื่องชนิดของใบมีดกัดเฟือง แต่อย่างไรก็ตามก็ได้ประยุกต์ใช้เครื่องมือต่างๆ ที่มีอยู่ผลิตเฟืองขึ้นใช้ โดยมีขั้นตอนการผลิตดังจะได้กล่าวต่อไป

ก่อนที่จะทราบขั้นตอนการผลิตเฟืองนั้น ควรจะได้รู้จักลักษณะรูปร่างของฟันเฟือง และระบบของเฟืองเสียก่อนว่า ฟันเฟืองที่จะผลิตนั้นมีลักษณะอย่างไร มีฟันกี่ฟันเฟือง เพราะลักษณะรูปร่างของฟันเฟืองนั้นมีหลายชนิด ดังรูปที่ 2.42 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับจำนวนของฟันเฟือง เช่น เฟืองที่มีจำนวน 12 -13 ฟัน ก็จะมีลักษณะเป็นฐานคอด และฐานฟันเฟืองจะตรงเมื่อจำนวนฟันมีจำนวนมากขึ้นเรื่อยๆ จนมากที่สุด คือ เฟืองสะพาน (Rack gear) ซึ่งเป็นเฟืองที่มีฟันเรียงเป็นแนวเส้นตรง ดังรูปที่ 2.43



รูปที่ 2.42 ลักษณะรูปร่างของฟันเฟือง



รูปที่ 2.43 เฟืองสะพาน

เฟืองที่จะสามารถขบกันได้ต้องมีขนาดของฟันเฟืองเท่ากันเท่านั้น ซึ่งขนาดของฟันนี้มีการวัดเป็น 2 ระบบ คือ ระบบเมตริกและระบบอังกฤษ ระบบเมตริกนั้นจะวัดขนาดเป็นมิลลิเมตร เราเรียกเฟืองระบบนี้ว่า เฟืองโมดูล(Module) ขนาดของโมดูลเฟือง จะมีค่าซึ่งกำหนดไว้เป็นมาตรฐาน ส่วนระบบอังกฤษจะวัดขนาดเป็นนิ้ว เรียกเฟืองระบบนี้ว่า เฟืองดีพี (DP=Diametric Pitch) ฉะนั้นการซื้อหาเฟือง หรือผลิตเฟืองนั้นต้องทราบลักษณะรูปร่างของเฟืองและระบบของเฟืองเสียก่อนว่าใช้ชนิดไหนและรูปร่างเป็นอย่างไร ส่วนในด้านการผลิตนั้น จะต้องทราบอีกว่าถ้าจะกัดเฟืองขึ้นใช้ วัสดุควรเป็นอะไรจึงจะเหมาะสม และประการสุดท้ายคือ การเลือกมีดกัดเฟือง (gear cutter) จะต้องเป็นมีดกัด ที่มีรูปทรงเหมือนร่องของฟันเฟืองในระบบนั้นๆด้วย

สำหรับขั้นตอนการผลิตเฟืองโดยวิธีกัดเฟืองด้วยเครื่องกัดนั้น พอจะสรุปวิธีการต่างๆได้ดังต่อไปนี้

1. การนำชิ้นงานไปกลึงปอก เพื่อให้ได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเฟืองตามต้องการ
2. นำชิ้นงานที่ปอกแล้วไปเข้าเครื่องกัดเฟือง เพื่อกัดเซาะฟันเฟืองตามระบบของเฟืองนั้นๆ
3. นำชิ้นงานที่ได้ถูกเซาะฟันเฟืองแล้วมาตัดเพื่อให้ได้ขนาดความหนาของเฟืองตามต้องการ

วิธีการดังกล่าวนี้เป็นวิธีที่ผลิตเฟืองชนิดเฟืองตรงเท่านั้น ส่วนเฟืองชนิดอื่นๆ จะมีวิธีแตกต่างออกไป อย่างไรก็ตามเฟืองตรงนี้จะเป็นเฟืองที่รู้จักและใช้กันมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์ และของเล่นเด็กจะใช้เฟืองตรงเป็นส่วนประกอบ

เมื่อทราบแล้วว่าเฟืองเป็นอย่างไร ก็สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวัน ตัวอย่างง่ายๆ เช่น เมื่อของเล่นเกิดชัดข้องเสียหาย แทนที่จะโยนทิ้งไปก็อาจตรวจดูก่อน หากพบว่าเป็นปัญหาที่เกี่ยวกับเฟือง เช่น เฟืองขบกันไม่สนิทหรือติดขัด อาจจะไปหาซื้อเฟืองที่มีระบบ และขนาดเฟืองเหมือนของเดิมมาเปลี่ยน ซึ่งเป็นการประหยัดเงิน

การเคลื่อนที่

ลักษณะการเคลื่อนที่ของกลไกที่พบ แบบเป็น 3 แบบคือ

1. Continuous กลไกที่มีการเคลื่อนที่แบบ Continuous จะเคลื่อนที่จากตำแหน่งเริ่มต้นจนไปถึงตำแหน่งสุดท้าย คือ ครบรอบแล้วเวียนมาตำแหน่งเริ่มต้น อีกครั้งหนึ่งในรอบต่อไปโดยที่จะไม่มีการหยุดหรือเคลื่อนที่ย้อนกลับเลย ในระหว่างรอบของการเคลื่อนที่

2. Intermittent ถ้ากลไกมีการหยุดในระยะเวลาหนึ่งระหว่างรอบของการเคลื่อนที่แล้วเคลื่อนที่ต่อไป เช่น เครื่องบรรจุน้ำอัดลม เป็นต้น กลไกนั้นจะเป็นการเคลื่อนที่แบบ Intermittent

3. Reciprocating สำหรับการเคลื่อนที่แบบนี้ กลไกจะมีการเคลื่อนที่ย้อนกลับ ในระหว่างรอบของการเคลื่อนที่ดังเช่น การเคลื่อนที่ของ Slider ในกลไก Slider Crank

การส่งผ่านการเคลื่อนที่

การส่งผ่านการเคลื่อนที่ระหว่างชิ้นต่อโยงต่างๆ ในกลไกแบบได้เป็น 3 ประเภท คือ

1. การส่งผ่านการเคลื่อนที่แบบสัมผัสกันโดยตรง (Direct Contact) ระหว่างชิ้นต่อโยงสองชิ้น เช่น ลูกเบี้ยว กับตัวตาม (Follower) และเฟือง 2เฟือง เป็นต้น

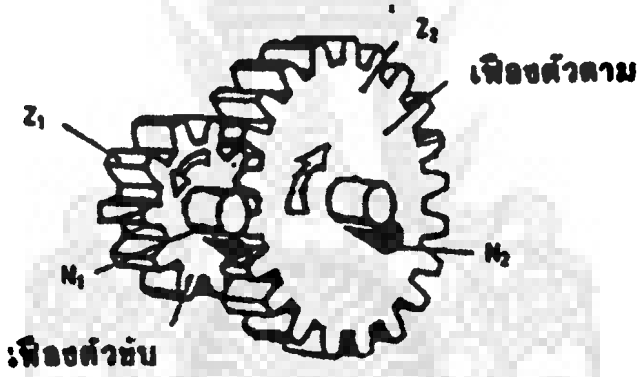
2. ส่งผ่านโดยอาศัยชิ้นต่อโยงตัวกลาง (Intermediate Link) ที่เพิ่มขึ้นมาอีกชิ้นหนึ่งหรือหลายชิ้น Slider ผ่านไปยัง Crank (หรือจาก Crank ไปยัง Slider)

3. ส่งผ่านโดยอาศัยตัวต่อโยงที่ยืดหดได้ (Flexible Connector) เช่น สายพาน (Belt) เป็นต้น

ความเร็วของเฟือง

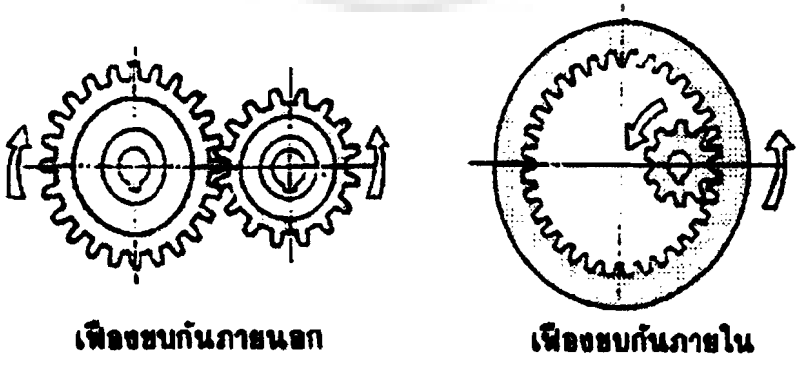
ในหลักสูตรวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนต้น มีวิชาเลือกเสรีที่มุ่งเน้นให้นักเรียนมีโอกาสฝึกกระบวนการค้นหาความรู้ด้วยตนเองโดยลงมือฝึกการใช้เครื่องมือช่างพื้นฐาน ในการประกอบชิ้นส่วนของเล่นตามแบบที่กำหนดไว้ และทำกิจกรรมโดยใช้ของเล่นที่ประดิษฐ์ขึ้นเป็นสื่อ ของเล่นเชิงกลไกและไฟฟ้าที่ปรากฏนั้นมีความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับ "เฟือง" ซึ่งนักเรียนจำเป็นที่จะต้องเข้าใจหลักการทำงานของเฟือง ตลอดจนวิธีการคำนวณหาความเร็วของเฟือง จึงทำให้ของเล่นเหล่านั้นเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่ต้องการได้บทความนี้จึงขอแนะวิธีการคำนวณหาความเร็วของเฟืองด้วยวิธีง่ายๆ ที่นักเรียนจะสามารถคำนวณได้ด้วยตนเอง

การส่งกำลังจากเฟืองตัวขับไปยังเฟืองตัวตามนั้น ต้องมีการขบกันของเฟือง ส่วนอัตราเร็วของเฟืองจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงนั้นขึ้นอยู่กับจำนวนฟันเฟืองของเฟือง ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลาง และการเคลื่อนที่ของเฟืองตัวขับ จะเคลื่อนที่ไปในทิศทางที่สวนกัน ดังรูปที่ 2.44



รูปที่ 2.44 การหมุนของฟันเฟือง

เมื่อเฟืองตัวขับเคลื่อนที่ไปหนึ่งฟัน ฟันของเฟืองตัวก็จะขับให้เฟืองตัวตามเคลื่อนที่ไปหนึ่งฟันด้วยและการขบกันของเฟืองอาจขบกันภายนอกหรือภายในก็ได้ดังรูปที่ 2.45



รูปที่ 2.45 ลักษณะการขบเฟือง

เฟืองเป็นส่วนประกอบของเครื่องจักรกลที่ถ่ายทอดกำลังจากเพลาอันหนึ่งไปยังอีกอันหนึ่ง การถ่ายทอดกำลังนั้นขึ้นอยู่กับอัตราเร็วและจำนวนฟันของเฟืองจำเป็นจะต้องทราบ คือ ชนิดของเฟือง ความสัมพันธ์ของจำนวนฟันเฟือง (Z) และอัตราเร็วของเฟือง (N) โดยทั่วๆ ไปหน่วยอัตราความเร็วของเฟือง มักนิยมบอกเป็นจำนวนรอบต่อนาที

- สิ่งเหล่านี้มีความสัมพันธ์กัน คือ ถ้าสมมุติให้
- อัตราเร็วของเฟืองตัวขับ = N1
- อัตราเร็วของเฟืองตัวตาม = N2
- จำนวนฟันของเฟืองตัวขับ = Z1
- จำนวนฟันของเฟืองตัวตาม = Z2

* ดังนั้นอัตราเร็วของเฟืองตัวขับคูณด้วยจำนวนฟันของเฟืองตัวขับเท่ากับอัตราเร็วของเฟืองตัวตามคูณด้วยจำนวนฟันของเฟือง หรือเขียนง่ายได้ดังสมการที่ 2.1

$$N_1Z_1 = N_2Z_2 \qquad (2.1)$$

2.4.4 ทฤษฎีเกี่ยวกับเพลา (SHAFT)

เพลาเป็นชิ้นส่วนที่มีใช้ในเครื่องจักรกลเกือบทุกชนิด หน้าที่ส่วนใหญ่คือรับโมเมนต์บิดที่ถ่ายภาระมาจากล้อเฟือง, ล้อสายพานหรือคลัตช์ เพลาจึงสามารถรับภาระบิดและภาระดัดได้ นอกจากนี้ยังอาจรับภาระจากแรงดึง แรงกด แรงดัน หรือแรงหลายอย่างรวมกัน ดังนั้นจึงสมควรที่จะพิจารณาถึงการออกแบบเพลาโดยเฉพาะ เพลาอาจจะมีชื่อเรียกแตกต่างกันไปตามลักษณะของการใช้งานดังต่อไปนี้คือ

เพลา (Shaft) เป็นชิ้นส่วนที่หมุนและใช้ในการส่งกำลัง

แกน (Axle) เป็นชิ้นส่วนลักษณะเดียวกันกับเพลาแต่ไม่หมุน ส่วนมากเป็นตัวรองรับชิ้นส่วนที่หมุน เช่น ล้อ ล้อสายพาน เป็นต้น อย่างไรก็ตามทั้งเพลาและแกนก็นิยมเรียกรวมกันว่าเพลาไม่ว่าชิ้นส่วนนั้นจะหมุนหรืออยู่นิ่งก็ตาม

สพินเดิล (Spindle) เป็นเพลาขนาดสั้นที่ไม่หมุน เช่น เพลาที่หัวแท่นกลึง (Head-stock spindle) เป็นต้น

สตับชาฟต์ (stub shaft) หรือบางครั้งเรียกเฮดชาฟต์ (head shaft) เป็นเพลาที่ติดเป็นฯชิ้นส่วนต่อเนื่องกับเครื่องยนต์ มอเตอร์ หรือเครื่องต้นกำลังอื่น ๆ มีขนาด รูปร่าง และส่วนยื่นออกมาสำหรับใช้ต่อกับเพลาอื่น ๆ

เพลาแนว (Line shaft) หรือเพลาส่งกำลัง (power transmission shaft) หรือเพลาเมน (main shaft) เป็นเพลาซึ่งต่อตรงขากเครื่องต้นกำลังและใช้ในการส่งกำลังไปยังเครื่องจักรกลอื่น ๆ โดยเฉพาะ

แจ็คชาฟต์ (Jackshaft) หรือเตาน์เตอร์ชาฟต์ (counter shaft) เป็นเพลาขนาดสั้นที่ต่อระหว่างเรื่องต้นกำลังกับเพลาเมนหรือเครื่องจักรกล

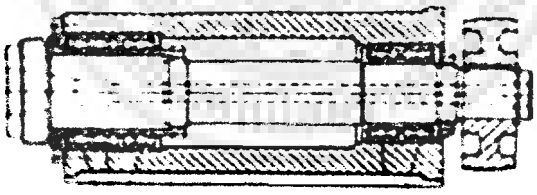
เพลาอ่อน (Flexible shaft) เป็นเพลาที่สามารถอ่อนตัวหรืองอโค้งได้ เพลาประเภทนี้ทำด้วยสายลวดใหญ่(cable) ลวดสปริงหรือลวดเกลียว (wire rope) ใช้ในการส่งกำลังในลักษณะที่แกนหมุนทำมุมกันได้ แต่ส่งกำลังได้น้อย

ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้นว่าเพลาอาจจะรับแรงดึง แรงกด แรงบิด แรงดัน หรือแรงหลายอย่างรวมกันก็ได้ ดังนั้นการคำนวณจึงต้องใช้ความเค้นผสมเข้าช่วย แรงเหล่านี้ยังอาจจะมีการเปลี่ยนแปลงขนาดตลอดเวลาทำให้เพลาเสียหายเพราะความล้าได้ ฉะนั้นจึงต้องมีความแข็งแรงเพรียงพอสำหรับการใช้งานในลักษณะนี้ นอกจากนั้นเพลายังจะต้องมีความแข็งเกร็ง (Rigidity) เพียงพอเพื่อลดมุมบิดภายในเพลาให้อยู่ในขีดจำกัดที่พอเหมาะระยะโก่ง(deflection) ของเพลาก็เป็นสิ่งสำคัญในการกำหนดขนาดเลาเช่นเดียวกัน เพราะถ้าเพลามีระยะโก่งมากก็จะเกิดการแกว่งขณะหมุน ทำให้ความเร็ววิกฤต (critical speed) ของเพลาลดลง ซึ่งอาจทำให้เพลามีการสั่นอย่างรุนแรงในขณะที่ความเร็วของเพลาเข้าใกล้ความวิกฤตนี้ได้ ระยะโก่งนี้ยังมีผลต่อการเลือกชนิดของที่รองรับเพลา เช่น บอลแบริ่ง (ball bearing) ก็ต้องมีการเยื้องแนว (misalignment) ในการใช้งานที่พอเหมาะกับเพลาด้วย

ชนิดของเพลา

เพลาแบบเกร็ง

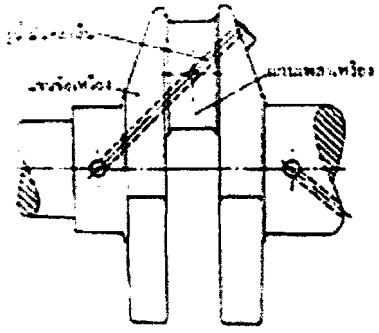
เพลาแบบเกร็งจะแยกออกตามแต่แนวของภาคตัดขวางในลักษณะที่ตรงและโค้ง, ตกบ่า รวมทั้งเพลาตันและเพลากลวง ในการสวมเครื่องมือหรือชิ้นงานจะนิยมให้เพลาสปินเดิลของของเครื่องมือกลเป็นเพลากลวง ดังรูปที่ 2.46 รุเจาะของเพลากลวงครึ่งหนึ่งของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางจะหนักน้อยกว่าเพลาตัน = 25 % แต่จะสามารถรับโมเมนต์บิดได้เกือบเท่ากัน



รูปที่ 2.46 เรือนรับเพลาสปินเดิล

เพลาข้อเหวี่ยง

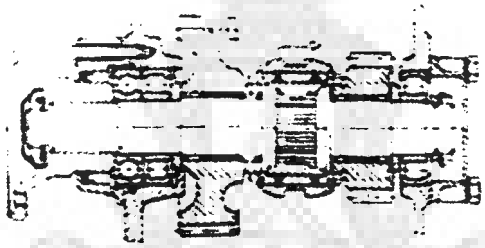
เพลาข้อเหวี่ยง เป็นเพลาที่ทำหน้าที่เปลี่ยนการเคลื่อนที่แบบหมุนให้เคลื่อนที่แบบเส้นตรงหรือลักษณะตรงกันข้ามเช่นในเครื่องยนต์แบบเผาไหม้ ดังรูปที่ 2.47 เพลาข้อเหวี่ยงจะผลิตด้วยการหล่อขึ้นรูปหรือการทุบกระแทกขึ้นรูป (ใน แม่พิมพ์) หรือได้จากการอัดเข้าด้วยกันจากหลาย ๆ ชิ้นหรือจากการยึดด้วยสกรูหรือสวมด้วยวิธีให้หดตัวเข้าด้วยกัน



รูปที่ 2.47 ลักษณะเพลาข้อเหวี่ยง

เพลาเกียร์

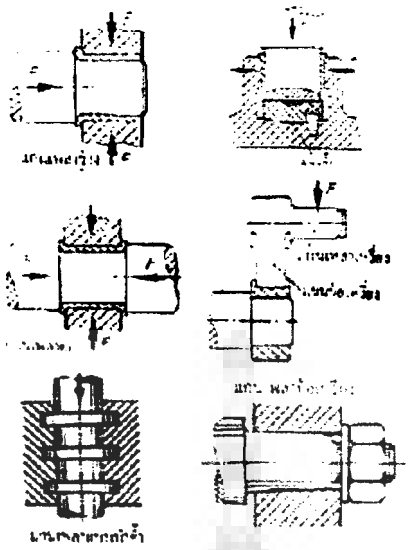
ส่วนใหญ่จะมีการตกบ่าหลายครั้ง ตรงที่ตกบ่าจะช่วยให้การประกอบง่ายขึ้นและยังเป็นการกำหนดตำแหน่งในการประกอบรองเพลา} ล้อเฟือง, ล้อสายพาน, คลัชต์ และปะเก็นเพลา ดังรูปที่ 2.48



รูปที่ 2.48 ลักษณะเพลาเกียร์

แกนเพลา (SHAFT JOURNAL)

จะเรียกตรงส่วนที่แอกเซิลหรือเพลาถูกหุ้ม ตามหน้าที่และรูปร่างของแกนเพลาจะแบ่งแยกเป็นแกนเพลาข้าง, แกนเพลาคอ, แกนเพลาทรงกลม, แกนเพลาค้ำยัน และแกนเพลาข้อเหวี่ยง ดังรูปที่ 2.49 แกนรองเพลาจะรับภาระดัดและภาระอัดตามพื้นที่ (PRESSURE UNIT) สำหรับเพลาและแอกเซิลที่รับภาระสูงและหมุนเร็วจะมีการชุบผิวแข็งที่แกนเพลาแล้วจึงทำการเจียรไน ช่วงบริเวณตกบ่าระหว่างแกนเพลากับบ่าเพลา จะเกิดความเค้นแตกหักง่ายกว่าบริเวณอื่น แต่ถ้ามีการออกแบบบริเวณดังกล่าวเป็นรัศมีโตหรือร่องตกบ่าตามมาตรฐานแล้ว ก็จะช่วยลดปฏิกิริยารอยบากได้



รูปที่ 2.49 ประเภทของแกนเพลา

ขนาดของเพลา

เพื่อให้เพลามีมาตรฐานเหมือนกัน องค์การมาตรฐานระหว่างประเทศจึงได้กำหนดขนาดมาตรฐานของเพลาซึ่งเป็นขนาดระบุ(Nominal size) ใน ISO/R 775-1969 เอาไว้สำหรับให้ผู้ออกแบบเลือกใช้ทั้งนี้เพื่อให้สามารถหาซื้อได้ทั่วไป นอกจากนี้ยังเป็นขนาดที่สอดคล้องกับขนาดของแบริ่งที่ใช้รองรับเพลาด้วยขนาดระบุของเพลาดูได้จากตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ขนาดระบุของเพลาตามมาตรฐาน ISO/R775-1969

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเป็น mm				
6	25	70	130	240
7	30	75	140	260
8	35	80	150	280
9	40	85	160	300
10	45	90	170	320
12	50	95	180	340
14	55	100	190	360
18	60	110	200	380
20	65	120	220	

วัสดุที่ใช้สำหรับทำเพลา

วัสดุที่ใช้สำหรับทำเพลาทั่วไปคือเหล็กกล้าละมุน (Mild steel) แต่ถ้าต้องการให้มีความเหนียวและความทนทานต่อแรงกระตุกเป็นพิเศษแล้วมักจะใช้เหล็กกล้าผสมโลหะอื่นทำเพลา เช่น AISI 1347 3140 4150 4340 เป็นต้น เพลาที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโตกว่า 90 mm มักจะกลึงมาจากเหล็กกล้าคาร์บอนซึ่งผ่านการรีดร้อน อย่างไรก็ตามเพื่อให้เพลามีราคาถูกที่สุด ผู้ออกแบบควรพยายามเลือกใช้เหล็กกล้าคาร์บอนธรรมดาก่อนที่จะเลือกใช้เหล็กกล้าชนิดอื่น

การพิจารณาในการออกแบบ

การคำนวณหาขนาดของเพลาที่พอเหมาะขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน ในบางครั้งการหาขนาดเพลาเพื่อให้เพลาทนต่อแรงที่มากระทำอย่างเดียวไม่เป็นการเพียงพอ เช่น ในกรณีของเพลาลูกเบี้ยว(cam shaft) ในเครื่องยนต์สันดาปภายในต้องการให้มีตำแหน่งเที่ยงตรง ดังนั้นมุมบิดของเพลาที่เกิดขึ้นในขณะใช้งานจะต้องมีค่าไม่มากกว่าที่กำหนดไว้ เป็นต้น นั่นคือเพลาจะต้องมีความแข็งเกร็งอยู่ภายในพิกัดที่ต้องการ ถ้ามุมบิดมากไปนอกจากจะเสียความเที่ยงตรงทางด้านตำแหน่งแล้วยังอาจจะก่อให้เกิดความสั่นสะเทือนซึ่งมีผลทำให้เฟืองและแบริ่งที่รองรับเพลาอยู่เกิดความเสียหายได้ง่ายขึ้น

ถึงแม้ว่าจะไม่มีมาตรฐานสำหรับพิกัดมุมบิดของเพลาไว้ก็ตาม ในทางปฏิบัติแล้วมักจะให้มุมบิดของเพลาในเครื่องจักรกลทั่วไปไม่เกิน 0.3° ต่อความยาวเพลา 1 m [1] สำหรับเพลาส่งกำลังทั่วไปอาจจะให้มีมุมบิดได้ถึง 1° ต่อความยาวเพลา 20 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพลา ในกรณีของเพลาลูกเบี้ยวสำหรับเครื่องยนต์สันดาปภายในแล้วจะให้มีมุมบิดได้ไม่เกิน 0.5° ตลอดความยาวของเพลา

ความแข็งเร็งที่สุดอีกอย่างหนึ่งก็คือ ความแข็งเกร็งทางด้านระยะโก่ง เพราะจะต้องใช้ระยะโก่งของเพลาที่อยู่ภายใต้แรงภายนอกเป็นตัวสำคัญในการกำหนดระยะเบียด(clearance) ระหว่างสายพาน เฟือง โครงของเครื่องจักร ตลอดจนการเลือกใช้ชนิดของแบบริ่งสำหรับรองรับเพลาให้เหมาะสม ถ้าเพลามีระยะถึงมากเกินไปจะทำให้ความยาวของฟันเฟืองส่วนที่สัมผัสหรือขบกันลดลง เป็นผลทำให้อัตราส่วนการขบ (contact ratio) ของเฟืองลดลงด้วย ทำให้การส่งกำลังของเฟืองไม่ราบเรียบเท่าที่ควรการเลือกแบริ่งมารองรับเพลาก็เช่นกันจำเป็นจะต้องเลือกแบริ่งชนิดที่อนุญาตให้มีการเยื้องแนวสำหรับการใช้งานได้พอเหมาะกับระยะโก่งของเพลาที่จะเกิดขึ้น ซึ่งอาจจะเป็นแบริ่งแบบธรรมดาหรือ แบริ่ง แบบปรับแนวได้เอง (self-aligning bearing) ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับค่าระยะโก่งเป็นสำคัญ

ระยะโก่งดังกล่าวมานี้ไม่มีมาตรฐานกำหนดเป็นแนวทางไว้ โดยทั่วไปผู้ออกแบบอาจจะถือค่าต่อไปนี้เป็นแนวทางในการกำหนดความแข็งเกร็งทางด้านระยะโก่งได้ดังนี้คือ

1. สำหรับเพลาเครื่องจักรกลทั่วไป ค่าระยะโก่งระหว่างจุดที่รองรับด้วยแบริ่งควรจะไม่เกิน 0.08 mm/m [4]

2. สำหรับเพลาที่มีเฟืองตรง(spur gear) คุณภาพดีอยู่ด้วย ระยะโก่ง ณ ตำแหน่งที่มีเฟืองขบกันไม่ควรเกิน 0.125 mm และความลาดเอียงของเพลา ณ ตำแหน่งนี้ควรจะน้อยกว่า 0.0286°
3. สำหรับเพลาที่เฟืองดอกจอก (bevel gear) คุณภาพดีติดอยู่ ระยะโก่ง ณ ตำแหน่งที่เฟืองขบกัน ไม่ควรเกิน 0.075 mm

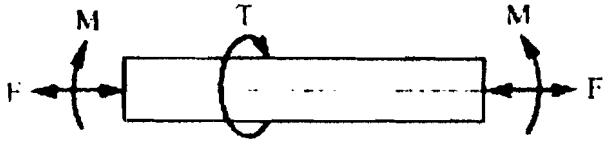
จากเหตุผลดังกล่าวจะเห็นว่าขนาดของเพลาอาจจะหามาได้โดยใช้ความแข็งเกร็งที่ต้องการแทนที่จะเป็นความแข็งแรงในการรับแรงภายนอกได้ การหาระยะโก่งของเพลาที่มีขนาดเท่ากันตลอดอาจทำได้โดยใช้วิธีที่ได้เรียนรู้มาแล้วในวิชากลศาสตร์วัสดุ เช่น วิธีการอินทิเกรตสองครั้ง (double integration) วิธีพื้นที่ของโมเมนต์ดัด(moment area) เป็นต้น และไม่กล่าวถึงในที่นี้

สำหรับเพลาที่มีขนาดไม่เท่ากันตลอด (Stepped shaft) การใช้วิธีดังกล่าวมาแล้วอาจจะล่าช้าและเสียเวลา โดยเฉพาะวิธีการอินทิเกรตสองครั้งเพราะต้องใช้สภาพของขอบเขต (boundary condition) ใหม่ทุกครั้งที่เพลาเปลี่ยนขนาด วิธีที่นิยาใช้กัน (แต่ยังใช้เวลามาก) คือวิธี graphical integration และ numerical integration สำหรับวิธีแรกนี้ผู้อ่านอาจจะหาดูได้จากเอกสารอ่านประกอบหมายเลข 4 ส่วนวิธีหลังนี้เหมาะกับการใช้เครื่องคำนวณไฟฟ้าช่วยในการคำนวณ ซึ่งก็จะไม่กล่าวถึงในที่นี้อีกเช่นกัน

การออกแบบเพลาตามโค้ดของ AMSE

ก่อนปี พ.ศ. 2497 ได้มีการยอมรับวิธีการคำนวณหาขนาดของเพลาส่งกำลังซึ่งกำหนดเป็นโค้ด (code) โดยสมาคมวิศวกรเครื่องกลแห่งสหรัฐอเมริกา(ASME) ถึงแม้ว่าเวลาจะล่วงเลยมานานแล้วก็ตาม วิธีการออกแบบเลาตามโค้ดของ ASME ก็ยังมีความสะดวกและง่ายต่อการใช้งาน ซึ่งจะได้กล่าวถึงต่อไป

วิธีการดังกล่าวนี้ใช้ทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด และไม่พิจารณาถึงความล้าหรือความเค้นหนาแน่นที่เกิดขึ้นบนเพลา ซึ่งเป็นการออกแบบโดยวิธีสถิตยศาสตร์ (static design method) ในการหาสมการสำหรับการออกแบบเลาให้พิจารณาเพลาในรูปที่ 2.51 ให้เพลาเป็นแบบกลมและกลวง โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในและภายนอกเท่ากับ d, และ d ตามลำดับ ความเค้นต่างๆ ที่เกิดขึ้นบนเพลามีดังต่อไปนี้คือ



รูปที่ 2.50 เพลาอยู่ภายใต้แรงต่างๆ

ความเค้นดึงหรือกด $$\sigma_a = \frac{4F}{\pi(d^2 - d_i^2)} \quad (2.2)$$

ความเค้นดัด $$\sigma_b = \frac{Mc}{I} = \frac{32Md}{\pi(d^4 - d_i^4)} \quad (2.3)$$

ความเค้นเฉือน $$\tau_{xy} = \frac{Tr}{J} = \frac{16Td}{\pi(d^4 - d_i^4)} \quad (2.4)$$

ในกรณีที่เป็นแรงกด อาจมีผลจากการโก่งงอ (buckling) ได้ดังสมการที่ (2.2) จะกลายเป็น

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

เพลาส่วนมากจะอยู่ใต้ความเค้นที่วัฏจักร ทั้งนี้เพราะเพลาหมุนอยู่ตลอดเวลา นอกจากนั้นแรงที่กระทำยังยังอาจจะเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาก็ได้ดังนั้นเพลาจึงเกิดความเสียหายเนื่องมาจากความล้าเป็นส่วนใหญ่สำหรับวิธีการคำนวณของ ASME ใช้วิธีแบบสถิตยศาสตร์ ดังนั้นจึงต้องมีตัวประกอบความล้า (fatigue factor) มาเกี่ยวข้องด้วย

ถ้าให้ C_m = ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการดัด

C_r = ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการดัด

ดังนั้นสมการที่ (2.2) และสมการที่ (2.3) จึงกลายเป็น

$$\sigma_b = \frac{32C_m Md}{\pi(d^4 - d_i^4)} \quad (2.5)$$

และ $$\tau_{xy} = \frac{16C_t Td}{\pi(d^4 - d_i^4)} \quad (2.6)$$

ความเค้นกดหรือความเค้นดึงรวมคือ

$$\sigma = \sigma_a + \sigma_b \quad (2.7)$$

จากทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด

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

แทนค่าสมการที่(2.4), (2.5), (2.7) และสมการที่ (2.7) ลงในสมการข้างบนนี้แล้วจัดรูปใหม่จะได้ว่า

$$d^3 = \frac{16}{\pi\tau(1 - K^4)}\left[(C_t T)^2 + \left[\frac{\alpha F d(1 + k^2)}{} + C_m M\right]^2\right]^{1/2} \quad (2.8)$$

โดยที่ $k = d_i / d$

ในกรณีที่ไม่มีแรง F กระทำอยู่ด้วย สมการที่ (2.8) จะลดรูปเหลือเพียง

$$d^3 = \frac{16}{\pi\tau(1-k^4)}\left[(C_t T)^2 + (C_m M)^2\right]^{1/2} \qquad (2.9)$$

หรือในกรณีของเพลาตัน $k = d_i / d = 0$ เมื่อแทนค่าลงในสมการที่(2.9) ก็จะได้สมการที่มีรูปคล้ายกับในหนังสือกลศาสตร์วัสดุทั่วไปคือ

$$d^3 = \frac{16}{\pi\tau}\left[(C_t T)^2 + (C_m M)^2\right]^{1/2} \qquad (2.10)$$

ค่าตัวประกอบความล้าสามารถเลือกใช้ตามลักษณะของแรงที่มากระทำ ซึ่งหาดูได้จากตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 ค่าตัวประกอบความล้า

ชนิดของตาราง	C_m	C_t
เพลาอยู่นิ่ง :		
แรงสม่ำเสมอหรือเพิ่มขึ้นช้า ๆ	1.0	1.0
แรงกระตุก	1.5-2.0	1.5-2.0
เพลาหมุน :		
แรงสม่ำเสมอหรือเพิ่มขึ้นช้า ๆ	1.5	1.0
แรงกระตุกอย่างเบา	1.5-2.0	1.0-1.5
แรงกระตุกอย่างแรง	2.0-3.0	1.5-3.0

สำหรับตัวประกอบของการโก่งงอ ASME ได้แนะนำให้ใช้ค่าดังนี้

$$\alpha = 1 \quad \text{เมื่อ F เป็นแรงดึง} \qquad (2.11)$$

$$\alpha = \frac{1}{1 - 0.0044(L/K)} \quad \text{เมื่อ } \frac{L}{K} \le 115 \qquad (2.12)$$

$$\alpha = \frac{\sigma y (L/K)^2}{\pi^2 nE} \quad \text{เมื่อ } \frac{L}{K} > 115 \qquad (2.13)$$

โดยที่ n = 1.00 เมื่อปลายเป็นแบบ SS

n = 2.25 เมื่อปลายเป็นแบบ CC

n = 1.60 เมื่อปลายเพลาถูกขึนเป็นบางส่วน (partially restrained)

L = ความยาวจริงของเพลา

จะเห็นได้ว่าสมการที่ (2.12) เป็นสมการของสูตรเส้นตรง (straight line formula) และสมการที่ (2.13) เป็นสมการของออยเลอร์ ซึ่งแก้ไขค่าคงที่ใหม่

นอกจากนี้โค้ดของ ASME ยังได้ระบุเอาไว้ว่าเพลาซึ่งมีใช้อยู่ในงานธรรมดาทั่วไป ควรจะมีค่าความเค้นเฉือนใช้งานดังนี้

$^{r}d = 55N/mm^2$ สำหรับเพลาที่ไม่มีร่องลิ่ม

$^{r}d = 41N/mm^2$ สำหรับเพลาที่มีร่องลิ่ม

แต่ถ้ากำหนดวัสดุของเพลาที่บอกถึงหมายเลขของโลหะ หรือส่วนผสมของโลหะให้ใช้ค่าความเค้นเฉือนใช้งานจากสมการที่(2.14) โดยเลือกใช้ค่าน้อยคำนวณคือ

$$^{r}d = 0.03\sigma_y \text{ หรือ } ^{r}d = 0.18\sigma_u \qquad (2.14)$$

และถ้าเพลามีร่องลิ่มให้ลดค่าความเค้นเฉือนใช้งานโดยใช้เพียง 75% ของค่าในสมการที่ (2.14)

ความแข็งเกร็งทางเทคนิค

สำหรับเพลาที่มีขนาดสม่ำเสมอ มุมบิดเป็น rad. จะหาค่าได้จากสมการ

$$\theta = \frac{TL}{GJ} \qquad (2.15)$$

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

$$\theta = \frac{584TL}{GJ^4} \qquad (2.16)$$

ถ้าเป็นเพลากลมกลวง $$\theta = \frac{584TL}{(1-k^4)Gd^4} \qquad (2.17)$$

ฉะนั้นถ้าต้องการให้เพลามีความแข็งเกร็งตามลักษณะการใช้งาน ก็ควรที่จะใช้สมการที่ (2.17) นี้ตรวจสอบดูมุมบิดให้อยู่ในค่าที่ต้องการ

2.4.5 โซ่ส่งกำลัง (Chain Drives)

โซ่สามารถส่งกำลังให้ได้โมเมนต์บิด (หมุน) สูงมากโดยที่ให้เป็นชุดส่งกำลังมีขนาดเล็กได้ เป็นลักษณะการส่งกำลังด้วยรูปร่างและ ที่รองเพลาจะรับภาระน้อยมาก ไม่มีการให้ลื่นไถลในขณะส่งกำลัง ในขณะส่งกำลังข้อต่อโซ่จะรับภาระความเสียดทานลื่น (Sliding Friction) จึงต้องมีการหล่อลื่นที่เพียงพอ โซ่ส่งกำลังจะมีใช้งานในที่รับภาระดึงมาก ๆ ในที่รับ - อุณหภูมิสูง, โรงงานเคมี,-ไอน้ำมัน, -ความชื้น เป็นที่ซึ่งสายพานไม่สามารถนำไปใช้งานได้

1.ข้อดีเมื่อเทียบกับสายพานแบนและสายพานร่อง

ก) ส่งถ่ายน้ำมันได้สูงโดยที่ไม่มีการลื่นที่ระยะห่างระหว่างเพลาน้อยและให้อัตรากำลังทดสูง

ข) เปลืองเนื้อที่น้อย

ค) ไม่ต้องการดึงให้แน่นมาก, และรองเพลารับภาระน้อย

2.ข้อเสียเมื่อเทียบกับสายพานและสายพานร่อง

ก) มีอัตราทอเบี่ยงเบน เนื่องจากมุมข้อต่อของโซ่

ข) รับภาระกระแทกและการสั่นสะเทือนได้น้อย

ค) ไม่สามารถวางเพลาไขว้กันได้ ท มีราคาสูง

ง) ต้องเสียค่าใช้จ่ายบำรุงรักษามากกว่า (การหล่อลื่น)

3.ข้อดีเมื่อเทียบกับเฟือง

ก) แก้ปัญหาระยะระหว่างเพลาที่ห่างกันมาก ๆ ได้

ข) มีความไวต่อสิ่งสกปรกน้อยกว่า

4.ข้อเสียเมื่อเทียบกับเฟือง

ก) มีความเร็วรอบหรือมีความเร็วขอบน้อยกว่า (เนื่องจากแรงเหวี่ยงหนีศูนย์)

ข) ที่ความเร็วรอบสูงจะต้องให้ตัวประกบกันการสั่นของโซ่

ค) เพลาต้องวางให้ขนานกันและส่วนใหญ่ต้องวางในแนวนอน

5.ปฏิกิริยาจากหลายเหลี่ยม (Polygon Effect)

โซ่จะร้อยอยู่บนเฟืองโซ่เป็นรูปหลายเหลี่ยม โซ่ที่สวมอยู่ทุกจุดทุกข้อของโซ่จะมีการเบี่ยงเบนของระยะแขนข้อต่อโซ่ นั่นคือ ทุกจุดที่ข้อต่อโซ่หมุนไป แรงตามแนววงกลมพิตช์ของเฟืองโซ่ระหว่างระยะรัศมี rmin และ rmax จะทำให้เกิดความเร็วขอบเป็น v min และ vmax ด้วยเช่นกัน ปฏิกิริยาจากหลายเหลี่ยมนี้จะเกิดมากยิ่งขึ้นหากระยะพิตช์ของเฟืองโซ่โตมากขึ้นหรือมีจำนวนฟันของเฟืองโซ่น้อยลง ผลของปฏิกิริยาจากหลายเหลี่ยมก็คือ จะทำให้โซ่เกิดอาการสั่น โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ความเร็วสูง แต่การประกบตรึงโซ่ หรือรางเลื่อนจะช่วยระงับอาการสั่นนี้ได้

ก.การดึงโซ่และการป้องกันการสั่นของโซ่. ข.แสดงการสั่นของโซ่ขณะส่งกำลัง.

รูปที่ 2.51 อุปกรณ์จับยึดโซ่.

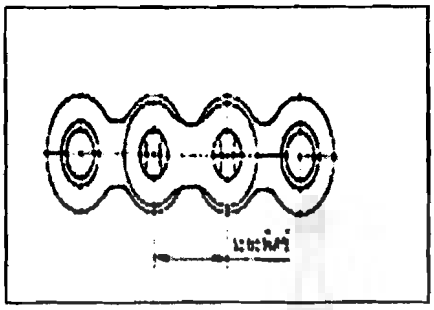
นอกจากอุปกรณ์ตรึงโซ่ยังใช้ทำหน้าที่ช่วยให้เกิดการสมดุลในระหว่างทำงานไปนาน ๆ แต่จะทำให้เกิดการสึกหรอหรือเกิด การยืด ของโซ่ได้

6.ชนิดของโซ่

ตามประเภทการใช้งานของโซ่ จะนำโซ่มาใช้ส่งกำลัง, -ลำเลียง,-ใช้ขับ,-ใช้ยกและส่งน้ำหนักลงข้างล่าง ส่งถ่ายแรงและโมเมนต์บิด โซ่จึงแบ่งตามลักษณะรูปร่างได้ดังนี้

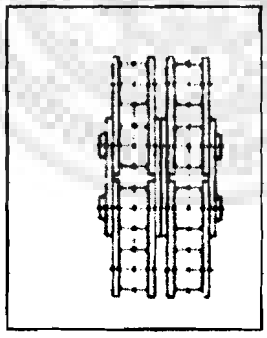
ก) โซ่ลูกกลิ้งและโซ่บูช

โซ่ลูกกลิ้งและโซ่บูชจะประกอบด้วยแผ่นปิดข้างโซ่ด้านนอกและด้านในที่ยึดด้วยบูชและโบลต์เข้าด้วยกัน ดังรูปที่2.52 โซ่ลูกกลิ้งที่มีใช้ งานส่วนใหญ่จะมีลูกกลิ้งที่ชุบแข็งร้อย(หมุนได้)อยู่ในบูช ลูกกลิ้งนี้จะช่วยลดความเสียดทานและการสึกหรอของด้านข้างของเฟืองโซ่ในขณะที่ล้อเฟืองขับโซ่ และมีเสียงดังน้อยเมื่อความเร็วโซ่สูง ในการใช้งานให้รับโมเมนต์หมุนมาก ๆ จะใช้โซ่ลูกกลิ้งและโซ่ขูชแบบชุดหลายเส้น ดังรูปที่ รูปที่ 2.53 โซ่ลูกกลิ้งตามมาตรฐานจะนำมาใช้งานได้ถึงความเร็ว 30 m/s ในการส่งกำลังในรถยนต์ในเครื่องมือกลและโซ่ลำเลียง โดยปกติโซ่บูชจะทนการสึกหรอมากกว่าโซ่โบลต์ บูชจะหมุนได้ ส่วนโบลต์จะยึดแน่นกับแผ่นปิดนอก แผ่นปิดส่วนใหญ่ใหญ่จะทำจาก St60 ส่วนโบลต์จะทำจากเหล็กกล้าอาบคาร์บอน C15



รูปที่ 2.52 โซ่ลูกกลิ้ง

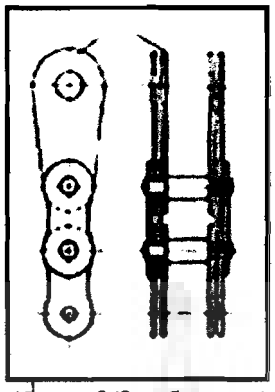
รูปที่ 2.53 โซ่ลูกกลิ้งแบบชุดหลายเส้น



รูปที่ 2.54 โซ่ลูกกลิ้งแบบ2เส้น

ข) โซ่โบลต์

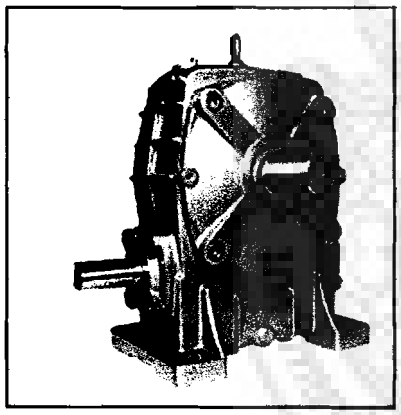
โซ่โบลต์จะมีรูปร่างของแผ่นปิดข้างทั้งโซ่ด้านในและด้านนอกเหมือนกัน โดยร้อยเข้ากับโบลต์ การใช้แผ่นปิดข้างโซ่หลายแผ่นติดกัน ดังรูป ที่2.53 – 2.55 จะมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับขนาดของแรงดึงที่โซ่ต้องรับ เมื่อเปรียบเทียบกับโซ่ลูกกลิ้งและโซ่บูชแล้ว โซ่โบลต์จะมีแรงเสียดทานระหว่างโบลต์และแผ่นปิดข้างโซ่มากกว่า ด้วยเหตุนี้จึงนิยมนำโซ่โบลต์มาใช้กับงานที่มีความเร็วต่ำ



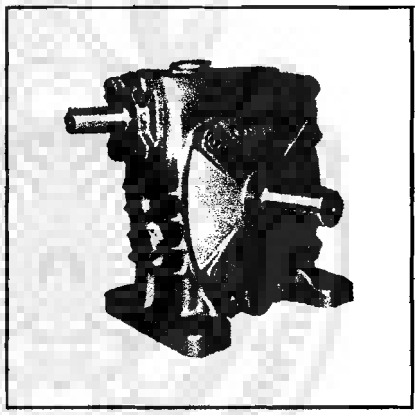
รูปที่ 2.55 โซ่โบลต์แบบ4แผ่น

2.4.6 เกียร์ทดรอบ Worm Gear Speed Reducer

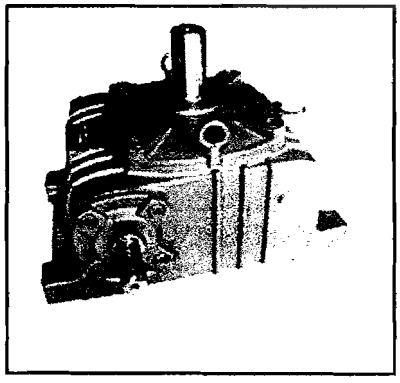
เกียร์ทด สามารถถ่ายทอดแรงบิดของมอเตอร์ไฟฟ้าเข้าสู่เพลาขับของ เมื่อเราใช้มอเตอร์ไฟฟ้าในงานอุตสาหกรรมนั้นต้องการความเร็วรอบต่อนาที (RPM – round per minute) ที่แตกต่างกัน เกียร์ทดรอบจึงเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในการปรับลดรอบให้พอเหมาะกับความต้องการในงานแต่ละงาน ด้วยการเลือกอัตราทดและรูปแบบการเข้าและออกของเพลาให้เหมาะกับงานแต่ละแบบ



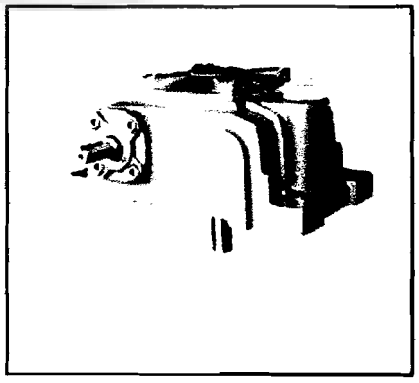
รูปที่ 2.56 เพลาเข้าอยู่บน



รูปที่ 2.57 เพลาเข้าอยู่ล่าง



รูปที่ 2.58 เพลาเข้าอยู่ล่าง เพลาออกบน

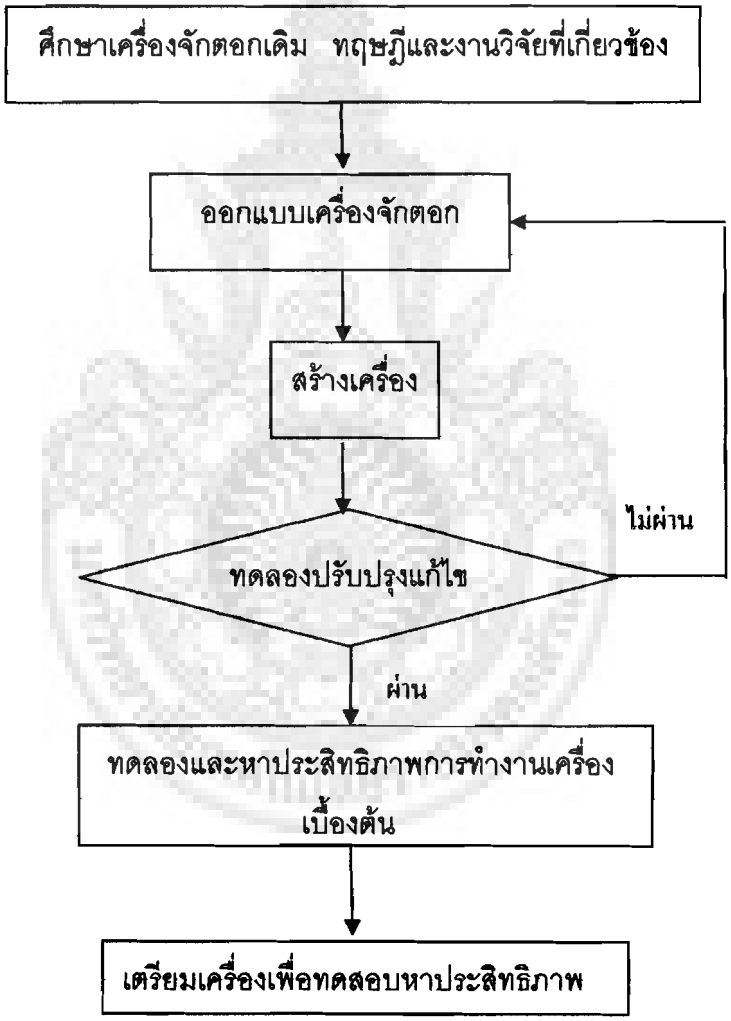


รูปที่ 2.59 เพลาเข้าอยู่ล่าง เพลาออกล่าง

บทที่ 3
ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนการดำเนินงานในการสร้างเครื่องจักตอกไม้ไผ่กึ่งอัตโนมัติโดยมีวิธีการและขั้นตอนดังรูปที่ 3.1

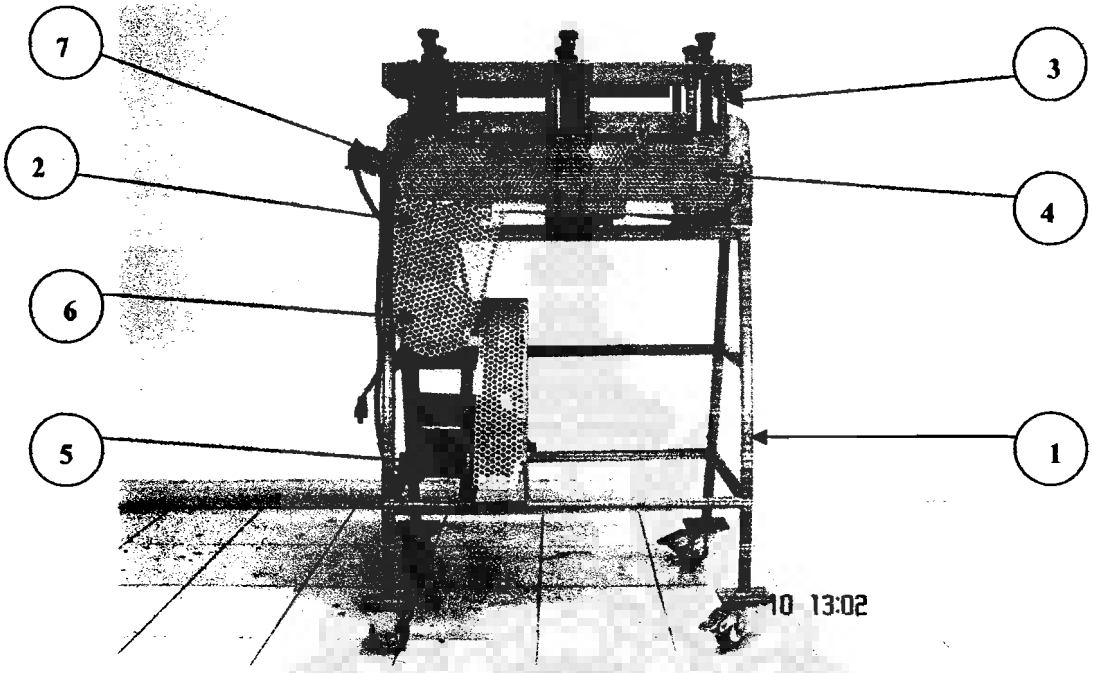
แผนผังการดำเนินการออกแบบและสร้างเครื่อง



รูปที่ 3.1 แผนผังการดำเนินการออกแบบและสร้างเครื่อง

ศึกษาเครื่องจักตอกเดิมทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การออกแบบเครื่องจักตอกไม้ไผ่กึ่งอัตโนมัติเดิมที่ผู้วิจัยทำ พ.ศ. 2548



รูปที่ 3.2 เครื่องจักตอกไม้ไผ่กึ่งอัตโนมัติเดิม

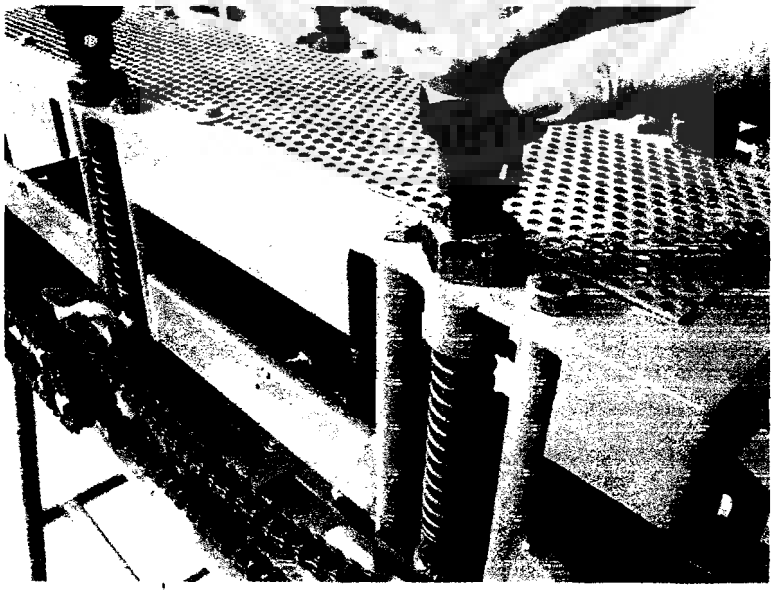
หมายเลข	ชิ้นส่วน
1	โครงสร้าง
2	ชุดปิดเฟืองโซ่
3	ชุดสปริง
4	ชุดลูกกลิ้งลำเลียง
5	มอเตอร์
6	เกียร์ทด
7	ไกด์ลำเลียง (เข้า)

จากการตรวจสอบและศึกษาระบบการทำงานของเครื่องจักตอกเดิมที่ผู้วิจัยออกแบบและสร้าง เมื่อ พ.ศ. 2548 พบปัญหาสรุปได้ดังนี้

1. ระบบปรับตั้งความหนาในการจักตอกทำได้ยากลำบาก จะต้องใช้ผู้ที่มีประสบการณ์ในการปรับตั้ง ดังรูป

รูปที่ 3.3 สกรูปรับตั้งชุดความหนาในการจักตอก

2. ระบบแรงดันกดลูกยางขณะป้อนจักตอกยังควบคุมการกดได้ไม่ดี สามารถใช้แรงกดบนผิวความหนาของไม้ไผ่ได้คงที่ไม่สามารถปรับแรงดันการกดบนผิวของไม้ไผ่ขณะที่ป้อนจักตอกได้ ดังรูป

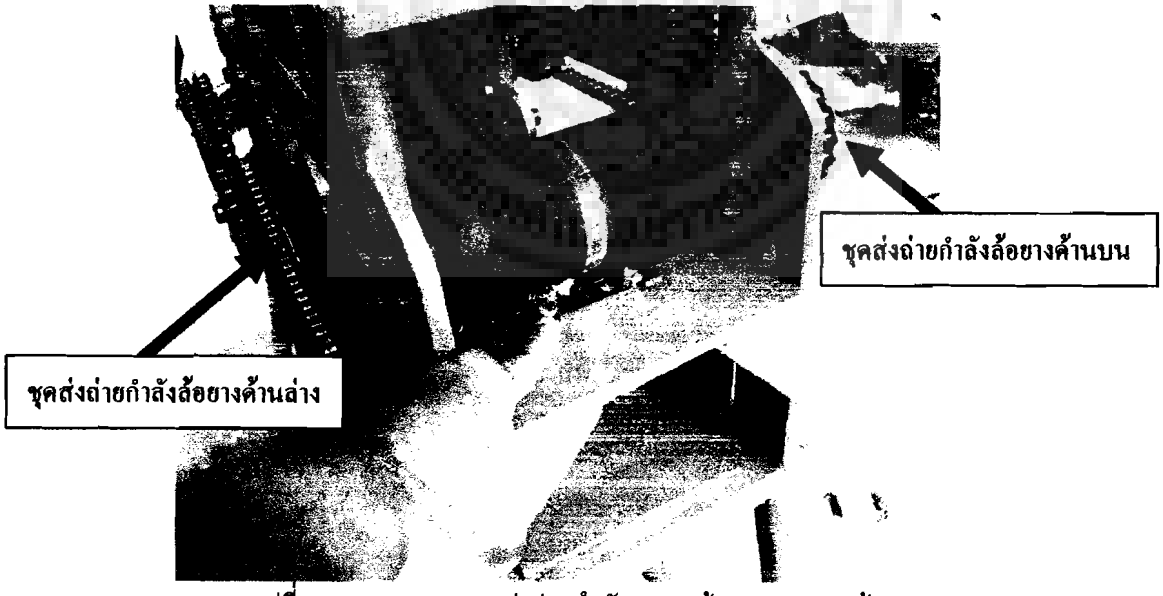


รูปที่ 3.4 ระบบแรงดันกดลูกยางขณะป้อนจักตอกเดิม

3. ระบบติดตั้งมีดจักตอกมี 2 ชุด ทำให้การป้อนจักตอก ป้อนไม้ไผ่ 1 เส้น จะได้จักตอกที่ต้องการใช้งาน 2 เส้น กับเศษเยื่อตรงการปล้องไม้ไผ่อีก 1 เส้น รวมป้อนไม้ไผ่ 1 เส้น จะมีไม้ไผ่ออกมา 3 เส้น ดังรูป

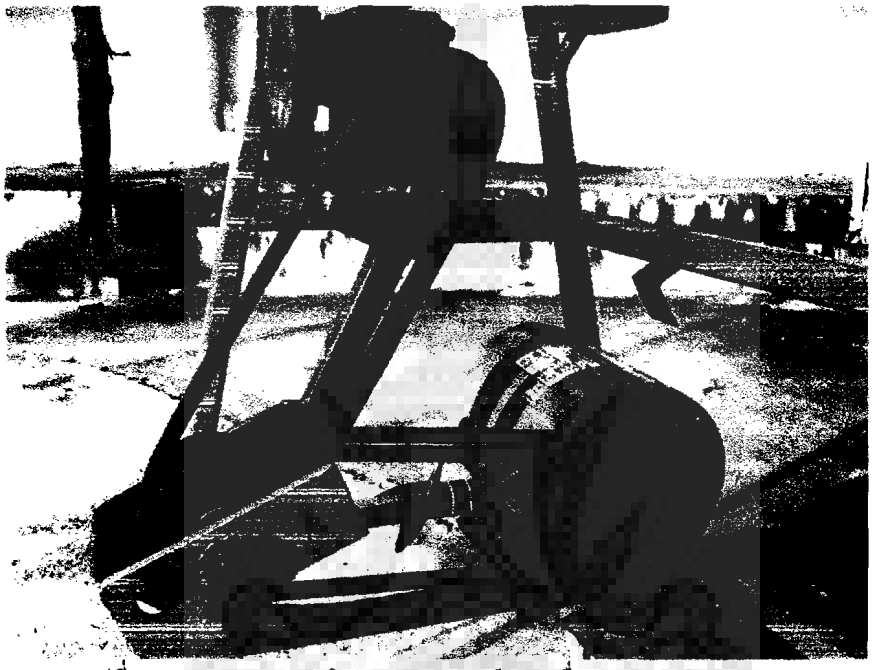
รูปที่ 3.5 แสดงระบบติดตั้งมีดจักตอกมี 2 ชุด เครื่องจักตอกเดิม

4. ระบบการส่งถ่ายกำลังของชุดล้อลูกยางกดใช้ระบบเฟืองตรงและเฟืองโซ่ในการส่งถ่ายกำลังซึ่งระบบเดิมมีชุดเฟืองโซ่ส่งถ่ายกำลัง 2 ด้านข้าง ทำให้การปรับตั้งความหนาของชุดใบจักตอกทำได้ยาก และมีปัญหาเรื่องความปลอดภัยต้องทำอุปกรณ์ครอบป้องกันทั้ง 2 ด้าน ดังรูป



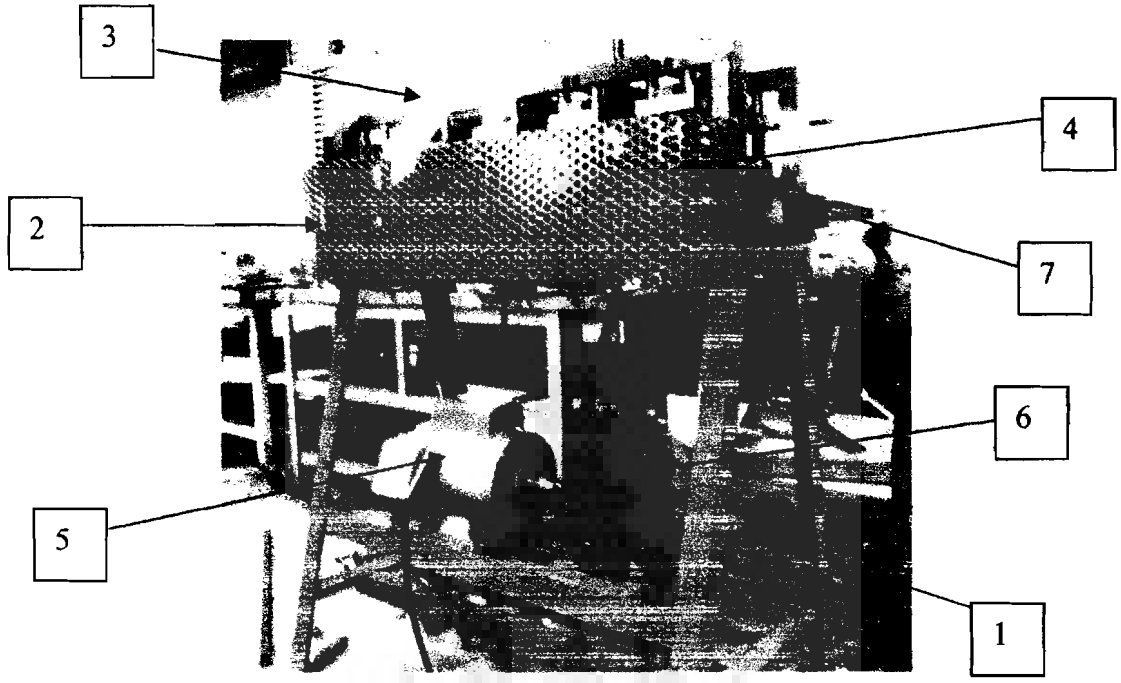
รูปที่ 3.6 แสดงระบบการส่งถ่ายกำลังของชุดล้อลูกยางกด 2 ด้าน

5. ระบบส่งกำลังจากมอเตอร์ของเครื่องจักตอกเดิมส่งถ่ายกำลังด้วยสายพานไปยังชุดเกียร์ทดทำให้ต้องใช้พื้นที่และอุปกรณ์ในการติดตั้งส่งถ่ายกำลังเพิ่มมากขึ้น ดังรูป



รูปที่ 3.7 แสดงระบบส่งกำลังจากมอเตอร์ของเครื่องจักตอกเดิม

ภาพเครื่องจักตอกไม้ไผ่กึ่งอัตโนมัติเดิมที่ผู้วิจัยพัฒนาออกแบบและสร้างขึ้นใหม่



รูปที่ 3.8 ภาพเครื่องจักตอกไม้ไผ่กึ่งอัตโนมัติใหม่ที่ผู้วิจัยพัฒนาออกแบบและสร้างขึ้น

หมายเลข	ชิ้นส่วน
1	โครงสร้าง
2	ชุดปิดเฟืองโซ่
3	ชุดสปริง
4	ชุดลูกกลิ้งลำเลียง
5	มอเตอร์
6	เกียร์ทด
7	ไกด์ลำเลียง (เข้า)

ขั้นตอนการสร้าง

1. เตรียมงาน

1.1 ศึกษาข้อมูลการจักสาน การทำจักตอก และปัญหาที่เกิดขึ้น

1.2 ออกแบบและเขียนแบบพร้อมกำหนดวัสดุ อุปกรณ์ในการสร้างเครื่อง

จัดหาวัสดุ

กำหนดเครื่องมือและเครื่องจักรที่ใช้ในการสร้าง เช่น

- เครื่องกลึง
- เครื่องเชื่อม
- เครื่องเจาะ
- เครื่องมือประจำตัวช่าง

การคำนวณ

หา Torque

เนื่องจากเครื่องจักตอกไม้ไผ่เป็นเครื่องจักรกลขนาดเล็ก ให้แรงในการส่งกำลังไม่มาก อีกทั้งผู้ออกแบบยังต้องการให้มีความสะดวกในการถอดประกอบและเครื่องมีน้ำหนักเบา ผู้ออกแบบต้องการให้ขนาดของเพลาอยู่ระหว่างเส้นผ่าศูนย์กลาง 15-20 mm และมีความยาวอยู่ที่ 250-300 mm. จากทฤษฎีระบุว่า ในทางปฏิบัติแล้ว มักจะให้มุมบิดของเพลาในเครื่องจักรกลทั่วไปไม่เกิน 0.3° / m และจากตารางค่าโดยประมาณของ Tensile strength , E , G ของวัสดุต่างๆ ได้ค่าดังนี้

$$\tau_{max} = 140\ MN/m^2$$

$$G = 80\ GN/m^2$$

ความเค้นเฉือนออกแบบ จากตารางค่าความปลอดภัย

$$N = \text{safety factor}$$

$$\tau_d = \frac{\tau_{max}}{N}$$

$$= \frac{140}{5}$$

$$= 28\ MN/m^2$$

ผู้ออกแบบได้สมมุติให้เพลามีขนาดเล็กเพื่อให้เหมาะสมกับเครื่อง และทำการประกอบเข้ากับอุปกรณ์อื่น ๆ ได้สะดวก คือเส้นผ่าศูนย์กลาง 35 mm.

$$T = \frac{\pi D^3}{16}\tau_d$$

$$= \frac{\pi(0.015)^3}{16} \times 28(10)^6$$

$$= 18.555\ Nm.$$

มุมบิด ที่ L= 0.3 m

$$\theta = \frac{TL}{GJ}$$

$$J = \frac{\pi(D)^4}{32}$$

$$= \frac{\pi(0.015)^4}{32}$$

$$G = 80\ GN/m^2$$

$$\theta = \frac{18.55 \times 0.3 \times 32}{80 \times 10^9 \times \pi(0.015)^4}$$

$$= 0.014$$

หากำลังมอเตอร์

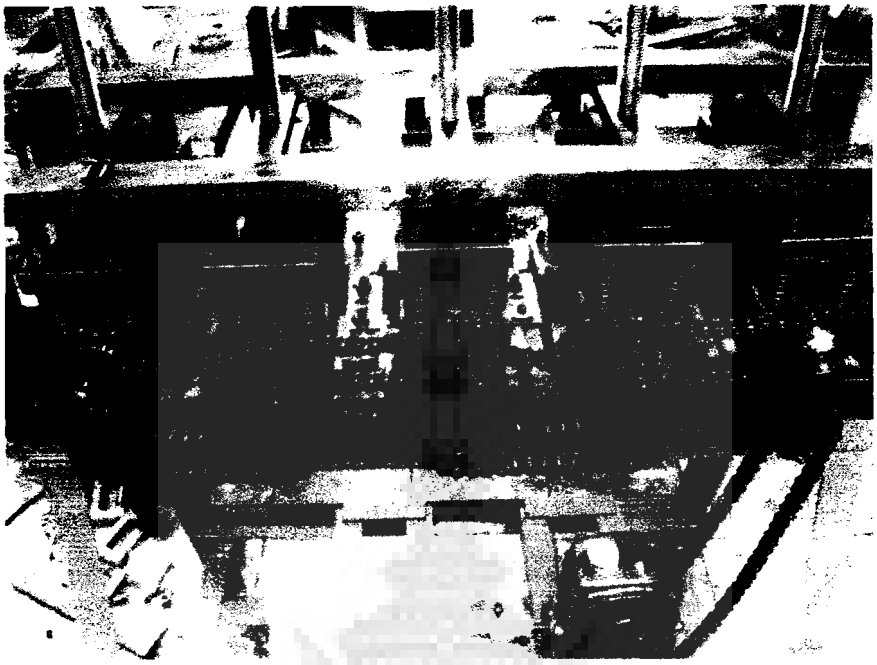
กำหนดให้เพลางานหมุนด้วยความเร็ว 160 rpm.(เป็นความเร็วที่เหมาะสมที่ใช้ในการจักตอกไม้ไผ่)

$$W_p = \frac{2\pi TN}{60}$$

$$= \frac{2\pi \times 18.555 \times 160}{60}$$

$$= 310.892\ W$$

เลือกใช้มอเตอร์ 1/2 hp = 373 W ก็เพียงพอแล้ว แต่ต้องเผื่อค่า จึงใช้มอเตอร์ขนาด 1แรงม้า



รูปที่ 3.9 แสดงการทดรอบของเฟืองโซ่

N_1 = 1450 rpm. (ความเร็วรอบมอเตอร์)

D_1 = 76 mm. (เส้นผ่าศูนย์กลางล้อสายพานตัวขับ)

D_2 = 88 mm. (เส้นผ่าศูนย์กลางล้อสายพานตัวตาม)

$N_2 = \frac{D_1 N_1}{D_2}$ = 1,252 rpm. (ความเร็วรอบล้อสายพานตัวตาม)

D_3 = 76 mm. (เส้นผ่าศูนย์กลางล้อสายพานตัวขับ)

D_4 = 88 mm. (เส้นผ่าศูนย์กลางล้อสายพานตัวตาม)

N_3 = 1,081 rpm. (ความเร็วรอบล้อสายพานตัวขับ)

N_4 = 98.27 (ความเร็วผ่านชุดเกียร์ทด 11:1)

D_5 = 127 mm. (เส้นผ่าศูนย์กลางเฟืองโซ่เกียร์ทด)

D_6 = 76 mm. (เส้นผ่าศูนย์กลางเฟืองโซ่ส่งกำลัง)

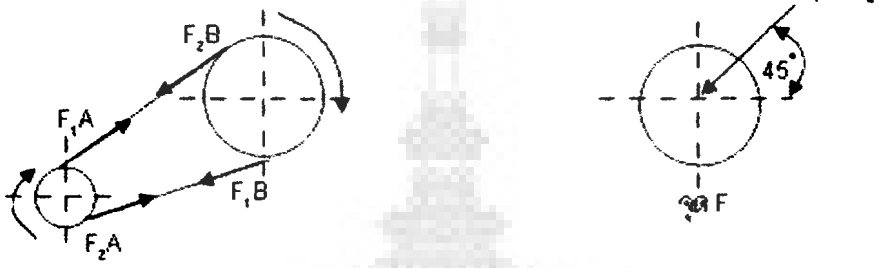
$N_5 = \frac{D_5 N_4}{D_6}$ = 164.21 rpm. (ความเร็วรอบเพลางาน)

จะได้ความเร็วรอบ (N) = 164.21 rpm

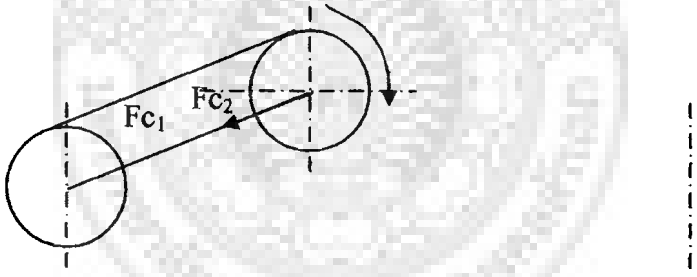
เกินกว่าความเร็วรอบที่ต้องการไม่มาก และก็ไม่มีผลกระทบกับชิ้นงานที่ได้

คิดแรงกิริยา (action)

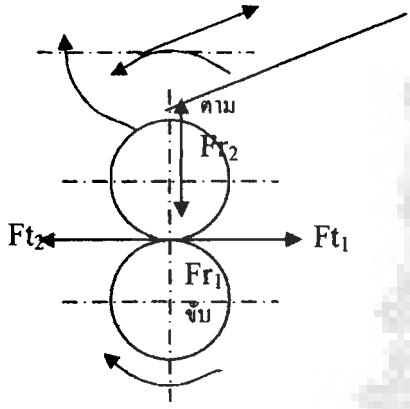
แรงที่กระทำที่จุด F (สายพาน)

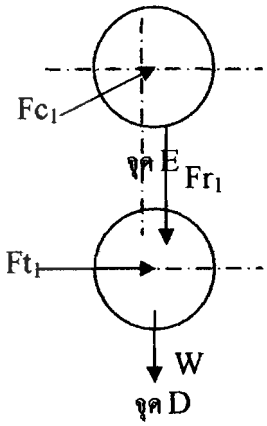


แรงที่กระทำที่จุด E (โซ่)



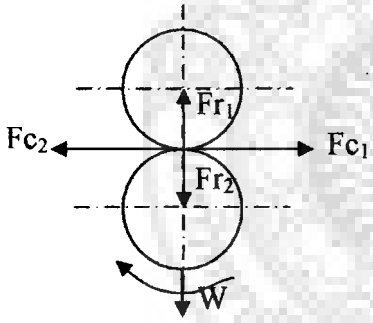
แรงที่กระทำที่จุด D (เฟือง) เฟืองตรง (spur gear)

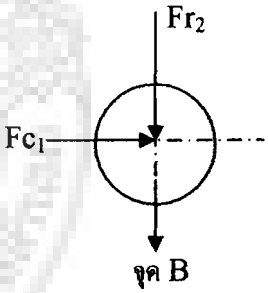




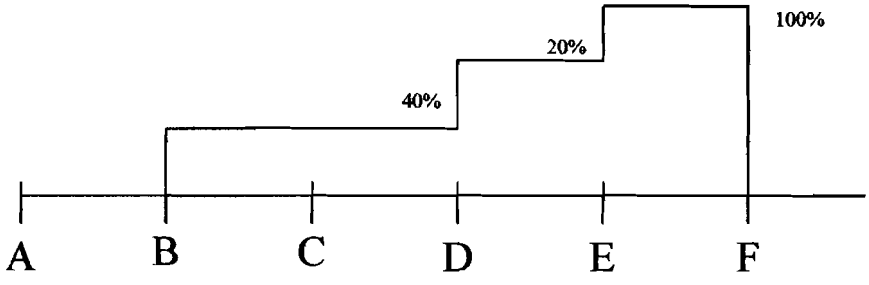
แรงที่จุด B (ยาง)

ผู้ออกแบบได้คำนวณแรงที่มี Load กระทำตลอดเวลา





วิเคราะห์ **Torque Diagrame**



Torque ที่จุด F

$$T_F = \frac{W_o}{2\pi N}$$

$$= \frac{373}{2\pi(164.21)} \times 60$$

$$= 21.692\ N.m$$

Tourge ที่จุด E โซ่ส่งกำลัง 20 %

$$T_E = 0.2 \times 21.692$$

$$= 4.338\ N.m$$

Tourge ที่จุด D เฟืองส่งกำลัง 40 %

$$T = 0.4 \times 21.692$$

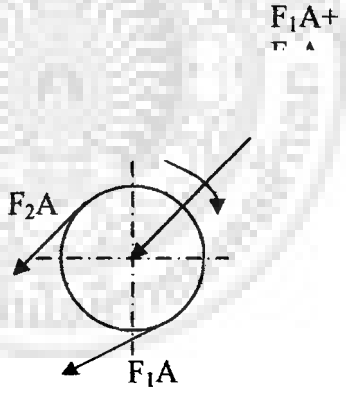
$$= 8.67\ N.m$$

Tourge ที่จุด C และ B

$$T_C, T_B = 8.67\ N.m$$

หาแรงที่กระทำกับเพลา

ที่จุด F



จากสูตร $T_F = F_{CA}.\ r$

F_{CA} = แรงในแนวเส้นรอบวง

$$r = \frac{D_{\text{ล้อสายพาน}}}{2}$$

$$= \frac{88}{2}$$

$$= 44\ mm.$$

$$F_{CA} = \frac{T_F}{r}$$
$$= \frac{21.692}{0.044}$$
$$= 493\ N$$

อัตราส่วนแรงดึงสายพาน

$$\frac{F_1 A}{F_2 A} = 1.5 \qquad \text{.....(1)}$$

แรงที่ทำให้ล้อหมุน= แรงในแนวเส้นรอบวง

$$F_1 A - F_2 A = F_{CA}$$

แทนค่าใน ...(1)

$$1.5\ F_2 A - F_2 A = F_{CA}$$
$$0.5\ F_2 A = F_{CA}$$
$$F_2 A = F_{CA} / 0.5$$
$$= \frac{493}{0.5}$$
$$= 986\ N$$

แรงที่กดสายพาน

$$F_F = F_1 A + F_2 A$$
$$= 884.31 + 589.54$$
$$= 1473.85\ N$$

แรงที่จุด E

การส่งกำลังของโซ่ไม่จำเป็นต้องมีแรงตึงทั้ง 2 ข้าง เนื่องจากโซ่อยู่บนเฟืองโซ่ ดังนั้นในการส่งกำลังโซ่จึงตึงข้างเดียว ดังนั้นแรงโซ่จึงมีค่าเท่ากับแรงในแนวเส้นรอบวง

$$D_{โซ่} = 45\ mm.$$
$$F = F_{CE}$$
$$T_E = F_{CE} \cdot \frac{D}{2}$$
$$F_{CE} = \frac{2T_E}{D}$$

$$= \frac{2 \times 4.42}{0.045}$$

$$= 196.44\ N$$

แรงที่จุด D

ให้มุม pressure angle = 20°

เฟืองขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 42 *mm.*

$$T_D = F_{tD}.r$$

$$F_{tD} = \frac{2T_D}{D}$$

$$= \frac{2 \times 8.84}{0.042}$$

$$= 420.95\ N$$

$$F_{rD} = F_{tD} \times \tan 20°$$

$$= 153.21\ \text{N}$$

แรงในแนวระดับ

$$F_t = 420.95\ N$$

แรงในแนวดิ่ง

$$F = F_{rD} + F_W$$

หาน้ำหนัก

$$\text{W} = V\rho_{เหล็ก} \qquad (\rho_{เหล็ก} = 7.86\ g/cm^3)$$

$$V = \frac{\pi d^2}{4}.h$$

d = *42* mm. = *4.2* cm.

$$V = \frac{\pi(4.2)^2}{4}.4$$

$$= 55.417\ cm^3.$$

น้ำหนัก

$$W = 55.417 \text{ x } 7.86\ cm^3.g/cm^3$$

$$= 435.57\ g.$$

$$F_W = Wg$$

$$= 0.435 \text{ x } 9.81\ kg.m/s$$

$$= 4.273\ N$$

แรงในแนวดิ่ง

$$F = 153.21 + 4.273$$
$$= 157.483\ N$$

แรงกระทำที่จุด B (ยาง)

โดยจะคิดว่าล้อถูกใช้งานตลอดเวลา

$$F = \frac{2T}{D_{ล้อยาง}}$$
$$= \frac{2 \times 8.84}{0.045}$$
$$= 392.88\ N$$
$$F_{rD} = \frac{F_{CD}}{\mu} \qquad (\mu = \text{สัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน})$$
$$= \frac{392.88}{0.4}$$
$$= 982.2\ N$$

หาขนาดเพลา (เพลาลูกกลิ้ง)

จุด A

ไม่เกิด Tourge และโมเมนต์ดัดที่จุดนี้

จุด B

$$D = \frac{\sqrt[3]{16\left[(m\alpha b)^2 + (T\alpha t)^2\right]^{1/2}}}{\pi\tau_d}$$

αb = ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการดัด

αt = ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการบิด

τ_d = ค่าความเค้นเฉือนใช้งาน

$\alpha_b = 1.5 \quad \alpha t = 1.0$

$\tau_d = 0.18\sigma_u$

$$= 0.18 \times 420$$
$$= 75.6\ N.mm$$
$$T = 8.84 \times 10^3\ N.mm$$
$$d_B = \sqrt[3]{\frac{16\left[(95618.317 \times 1.5)^2 + (8.84 \times 10^3 \times 1)^2\right]^{1/2}}{\pi \times 75.6}}$$

$$= \quad 21.3121\ mm.$$

$$d_C = \sqrt[3]{\frac{16\left[(207921.673\times1.5)^2+(8.84\times10^3\times1)^2\right]^{1/2}}{\pi\times75.6}}$$

$$= \quad 27.957\ mm.$$

$$\tau_d = 0.18\times\sigma_u\times0.75 = 56.7N/mm. \quad \text{(มีลิ่ม)}$$

$$d_D = \sqrt[3]{\frac{16\left[(197827.489\times1.5)^2+(8.84\times10^3\times1)^2\right]^{1/2}}{\pi\times56.7}}$$

$$= 29.875\ mm.$$

$$d_E = \sqrt[3]{\frac{16\left[(151805.483\times1.5)^2+(4.42\times10^3\times1)^2\right]^{1/2}}{\pi\times56.7}}$$

$$= 27.349\ \text{mm}$$

$$d_F = \sqrt[3]{\frac{16\times T\alpha t}{\pi\tau_d}}$$

$$= \frac{\sqrt[3]{16\times(22.108\times10^3\times1)}}{\pi\times56.7}$$

$$= 12.569\ mm.$$

โซ่และเฟืองโซ่ (หาD6)

แรงในแนวเส้นสัมผัส

W_p = กำลังงาน

n_1 = ความเร็วรอบ

n_S = ตัวประกอบใช้งาน

Z = จำนวนฟันบนเฟืองโซ่

P = กำลังที่ใช้เลือกโซ่

V = ความเร็วโซ่

F_{ct} = แรงในแนวเส้นสัมผัส

F_{ct} = แรงย่อยในแนวข้อต่อโซ่

F = แรงดึงในโซ่

W_p = 373 W , n_1 = 160 rpm , m = 1

เลือกจำนวนฟันบนพิเนียน Z = 25 ฟัน

จัดอยู่ในลักษณะการทำงานแบบที่ 2 จากตารางที่ 13 ที่โซ่โรลเลอร์

แบบ B (กระตุกมาก)

$$Ns = 1.33$$

จำนวนฟันบนเฟืองโซ่ $Z = 25 \quad 1 = 25$ ฟัน

จากสมการกำลังที่ใช้เลือกโซ่

$$P = W_p.N_S$$
$$= (373)(1.33) = 496.09\ W.$$

จากแผนภูมิ14เลือกใช้โซ่ 1 ชั้น ที่มีระยะพิตช์ 9.525 ซึ่งให้ชื่อเป็นมาตราฐานว่าโซ่โรลเลอร์ ISO / R606 06B-1 ซึ่งมีแรงแตกหัก 8.93 KN

ตรวจสอบความสามารถในการรับแรงของโซ่

ความเร็วโซ่ $V = PZn$

$$V = (\frac{9.525}{1000})(25)(\frac{160}{60}) = 0.635$$

จากสมการ

$$F_t = \frac{Wp}{V} = \frac{3.73}{0.635} = 587.4\ N.$$

จากสมการ

$$F_{ct} = \frac{W}{g}V^2$$

จากตารางที่ 11

$$(v)\ \frac{w}{g} = 0.39\ Kg/m$$

ดังนั้น $F_{ct} = \frac{0.39}{1000}(587.4) = 0.23\ N.$

แรงดึงในโซ่ $F = F_t + F_{ct} = 587.4+0.23$

$$= 587.63\ N.$$

จากสมการ

N_b = ค่าความปลอดภัย (7-15)

α = จำนวนข้อโซ่หรือจำนวนพิตช์ของโซ่

C = ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางของเฟืองโซ่

z = จำนวนฟันบนพิเนียน

Z = จำนวนฟันบนเฟืองโซ่

$$N_b = \frac{Fb}{F} = \frac{8.93\times10^3}{587.63} = 15.197$$

ซึ่งถือได้ว่าสามารถใช้งานได้

จากตารางที่ 15 โซ่ระยะพิตช์ 9.525 mm ควรใช้ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางประมาณ 450 mm. ดังนั้นจากสมการจำนวนข้อโซ่

$$X = \frac{2C}{P} + \frac{Z+z}{2} + \left(\frac{Z-z}{2\pi}\right)^2 \cdot \frac{P}{C}$$

$$X = \frac{2(450)}{9.525} + \left(\frac{25+25}{2}\right) + \left(\frac{25-25}{2\pi}\right)^2 \cdot \left(\frac{9.525}{450}\right)$$

$$= 119.48 \text{ ข้อ}$$

เลือกใช้ $= 120$ ข้อ

ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางคำนวณได้จากสมการ

$$C = \frac{P}{4}\left[X - \frac{Z-z}{2} + \sqrt{\left(X - \frac{Z+z}{2}\right)^2 + 2\left(\frac{Z-z}{\pi}\right)^2}\right]$$

$$C = \frac{9.525}{4}\left[120 - \frac{25-25}{2} + \sqrt{\left(120 - \frac{25+25}{2}\right)^2 + 2\left(\frac{25-25}{\pi}\right)^2}\right]$$

$$= 452.44 \ mm.$$

ดังนั้นเลือกใช้โซ่โรลเลอร์ ISO/R606 06B1 จำนวน 120 ข้อ

เฟือง

M = โมดุล

d = เส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์

N = จำนวนฟัน

a = ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางเฟือง

m = 2 , d = 40 มม.

$$N = \frac{40}{2} = 20 \text{ ฟัน}$$

$$a = \frac{d_1 + d_2}{2} = \frac{40+40}{2} = 40 \text{ มม.}$$

. ใช้ที่ 20 องศา FD พิตช์ละเอียด (จากตารางที่ 19)

แอดเดนดัม = m = 2

ดีเดนดัม = $1.2m + 0.05 = 2.45$

เคลียร์แรนท์ = $0.2m+0.05 = 0.45$

ความสูงใช้งาน = $2m = 4$

ความสูงทั้งหมด = $2.2m + 0.05 = 4.45$

โดยที่

V = ความเร็วพิตช์

K_V = ตัวประกอบความเร็ว

F_d = แรงพลวัต

F_t = แรงที่ส่งมายังฟันเฟือง

Y = ตัวประกอบรูปแบบของลูอิส

σ = ความเค้น

HB = ค่าความแข็งบริเนล

K_f = ตัวประกอบความเค้นหนาแน่นจริง

F_d, F_b = แรงที่แตกมาจากแรงที่กระทำที่ปลายฟัน

b = ความหนาของฟันเฟือง

ความเร็วพิตช์

$$V = \pi d_p . N_p$$
$$= \pi\left(\frac{40}{1000}\right)\left(\frac{160}{60}\right)$$
$$= 0.33\ m/s$$

ตัวประกอบความเร็ว

$$K_v = \frac{3+V}{3} = \frac{3+0.44}{3} = 1.11$$

แรงพลวัต

$$F_d = K_v F_t = 1.11 F_t N.$$

จากตาราง โดยสมมุติว่าแรงกระทำที่ปลายฟัน

$Y = 0.344$, $\sigma = 241$ N/mm^2, $HB = 223$

สมมุติให้ $K_f = 1.5$ จาก

$1.2 < K_f < 1.7$ เมื่อให้แรงกระทำที่ปลายฟัน

$1.4 < K_f < 2.0$ เมื่อให้แรงกระทำที่กลางฟัน

ดังนั้นเมื่อคิดเฉพาะความแข็งแรงของฟัน แรงที่ฟันเฟืองควรจะรับได้หาได้จาก

$$F_b = \frac{\sigma_b Y_m}{K_f}$$

$$= \frac{(241)(2.45)(0.344)(2)}{1.5}$$

$$= 270.82 \ N.$$

กำลังงานที่ส่งผ่านเฟืองที่มีค่าสูงสุด เมื่อ $F_b = F_d$ นั่นคือ

$$1.11 F_t = 270.82$$

$$F_t = 243.98 \ N$$

กำลังงานสูงสุด

$$W_p = F_t V = (243.98)(0.33)$$

$$= 80.51 \ W.$$

ตลับลูกปืน (แบริ่ง)

ต้องการอายุการใช้งานมากกว่า 5000 ชม. จากตารางที่ 20

เพลาหมุน n = 160 rpm ลูกปืนขนาด 15 mm.

ที่จุด c Fr = 677.454 N 4594.688 Fa = 677.454 N

$$F = XFr + YFa$$

$$= (0.6 \ 4594.688) + (0.5 \ 677.454)$$

$$= 3095.5398$$

$$= 3.095 \ KN.$$

อายุการใช้งานของแบริ่ง

$$Lh = \frac{L}{n.60}$$

$$L = Lh \ n \ 60$$

$$= 8000 \ 160 \ 60$$

$$= 76.8 \ 10^6 \text{ รอบ}$$

$$L = 10^6 \frac{tHc}{F}$$

$$(tHc)^3 = \frac{L.F}{10^6}$$

$$= \frac{76.8 \times 3.095 \times 10^6}{10^6}$$

$$C = 6.1945\ KN.$$

เลือกใช้แบริ่งเบอร์ 6202 จากตารางที่ 22

$$Co = 3.55\ KN$$

$$B_{ความหนา} = 11\ mm.$$

$$D = 35\ mm.\ ,\ C = 6.1$$

ตรวจสอบแบริ่ง

$$\frac{Fa}{Co} = \frac{0.677}{3.55} = 0.190$$

$$\frac{Fa}{Fr} = \frac{0.677}{4.594} = 0.147$$

$$C = \cdot 0.3472$$

$$\frac{Fa}{Fr} < CX = 1\ ,\ Y = 0$$ จากตารางที่ 21

$$F = XFr + Yfa$$

$$F = (1 \quad 4594.688) + (0 \quad 677.454)$$

$$= 4594.688\ N.$$

$$= 4.595 \quad KN.$$

$$L = 10^{6\frac{(fH.c)^{x}}{F}}$$

$$= 10^{6\frac{(1\times 6.1)^{3}}{4.594}}$$

$$= 49.408$$ ล้านรอบ

$$Ln = \frac{L}{n.60}$$

$$= \frac{49.408\times 10^{6}}{160.60}$$

$$= 5146.6813$$ ชม.

ลิ่ม

$$Fc = \frac{Mt}{d/2}$$

$$= \frac{11.1308 \times 10^3 \times 2}{15}$$

$$= 1484.1066$$

ขนาดของ Feathen Key จากตารางที่ 24

$$h = 5 \; 5$$

สำหรับเพลา 15 *mm.*

$$Lc = 25 - 5 = 20 \text{ mm.}$$

$$P = \frac{Fc}{0.5.h.Lc.i}$$

$$= \frac{1484.1066}{0.5 \times 5 \times 20 \times 1} = 29.68212 N/mm^2$$

$$P\,all = 100 \quad N/mm^2$$ จากตารางที่ 24

การเลือกใช้วัสดุ

ชุดไกด์ป้อน และชุดลำเลียงไม้ไผ่ออก

1. แผ่นเพลท ซ้าย – ขวา จะใช้เหล็กเหนียว (St-37) เป็นวัสดุที่ขึ้นรูปได้ง่ายและมีจุด ดรากที่สูง
2. เพลาตัน ใช้เหล็กเหนียว (St-42) ซึ่งเป็นเหล็กที่รับภาระแรงดัด แรงบิดและแรงกระทำต่างๆได้ดีโดยไม่เกิดความเสียหาย
3. ลูกรีดยาง ใช้ยางบูช(U)สวมอัดที่เพลาเหล็ก ใช้เป็นหน้าสัมผัสชิ้นงาน มีความเหนียวยืดหยุ่นได้ดี และทนการสึกหรอดี (ตารางที่ 27)
4. แผ่นเพลทสำหรับสไลด์ตอกออก จะใช้เหล็กเหนียว (St-37)
5. ชิ้นส่วนมาตราฐาน
   - แบริ่ง เบอร์ 6002 (DIN 625)
   - สปริงกด (Compression Spring) ชุบแข็ง
   - ลิ่ม ใช้ 5 × 5 × 30 (ลิ่มมาตราฐาน) จากตารางที่ 23

ชุดตัดเฉือน

- ใบมีด ใช้วัสดุ st 60 เลขที่วัสดุ 1.0062 จากตารางที่ 25

- ชุดป้อมใบมีด ใช้เหล็กเหนียว (St-37) เป็นวัสดุที่ขึ้นรูปได้ง่ายและมีจุดคราก ที่สูง

ชุดส่งกำลัง

- เพลา เหล็กเหนียว (St-42) ซึ่งเป็นเหล็กที่รับภาระแรงอัด แรงบิด และแรง กระทำ ต่างๆได้ดีโดยไม่เกิดความเสียหาย
- เฟือง 20 ฟัน เส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์ = 40 มม. โมดุล = 2
- เฟืองโซ่ 3 นิ้ว 17 ฟัน
- โซ่โรลเล่อร์ 06B ตามมาตรฐาน ISO/R 606-1976 (E) จากตารางที่ 15
- ลิ่ม ใช้ 5 × 5 × 30 (ลิ่มมาตราฐาน) (ตารางที่ 23)
- สายพานหน้าตัด A ความยาว 742 มม. 4 เส้น (ตารางที่ 6)
- ล้อสายพาน เส้นผ่าศูนย์กลาง(d_p) 2.5 นิ้ว 3 นิ้ว และ 3.5 นิ้ว 2 ชุด
- มอเตอร์ A.C. 220 V 373 วัตต์ จำนวน 1 ตัว
- ชุดแกนเพลาปรับระยะมอเตอร์ ใช้เหล็กเหนียว(St-37)

3 **ดำเนินการสร้าง**

ชิ้นส่วนอุปกรณ์ต่าง ๆ ของเครื่องจักตอกไม้ไผ่ แสดงไว้ในแบบ ซึ่งรายละเอียดต่าง ๆ อธิบายและแสดงแบบประกอบตามลำดับหมายเลขชิ้นส่วนนั้น ๆ ดังต่อไปนี้

1. โครงใช้เหล็กกล่อง 1 นิ้ว x 1 นิ้ว ตัดและเชื่อมประกอบกัน
2. ฐานมอเตอร์ใช้เหล็กแผ่นขนาด 160 x 140 x 5 มิลลิเมตร เชื่อมติดกับโครง
3. ฐานเกียร์ทดใช้เหล็กแผ่นขนาด 160 x 160 x 5 มิลลิเมตร เชื่อมติดกับโครง
4. เพลาลูกกลิ้งเป็นเพลาที่เป็นลูกกลิ้งลำเลียงไม้ไผ่ ใช้เพลาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 35 มิลลิเมตร ยาว280 มิลลิเมตร มีบ่าสำหรับสวมกับชุดแบริ่ง พร้อมกับมีแกนเพลากัดเป็นล่องลิ่ม สำหรับใส่เฟืองโซ่ มีทั้งหมด 10 อัน ขนาดเท่ากัน
5. ใบมีดชุดผ่าไม้ไผ่ มี 3 ชุดติดตั้งไว้ที่หลังลูกกลิ้งชุดที่ 2 ชุดที่ 3 และชุดที่ 3 เป็นใบมีดกบไสไม้หน้ากว้างขนาด 3 นิ้วทั้ง 2 ใบมีด
6. เฟืองโซ ใช้เฟืองโซ่ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 นิ้ว 10 อัน
9. มอเตอร์ ใช้มอเตอร์ขนาด 1 แรงม้า AC 220 โวลท์
11. แผ่นปิดชุดเฟืองโซ่ใช้เหล็กแผ่นรูขนาด 740 X 450 X 3 มิลลิเมตรเชื่อมติดเป็นโครง
12. แผ่นปิดด้านบนใช้เหล็กรูขนาด 700 X 200 X 3 มิลลิเมตรเชื่อมยึดติดกับชุดครอบแกน

13. แกนสำหรับใส่ชุดแบริ่งใช้เหล็กเพลาตันขนาด 19 มิลลิเมตร ยาว 340 มิลลิเมตร โดยเชื่อมยึดติดกับฐาน

14. ชุดครอบแกนสำหรับใส่ชุดแบริ่งใช้เหล็กฉาก 1X 1 X 1/8 นิ้ว ตัดและเชื่อมประกอบกัน

15. ชุดรับตอกไม้ไผ่ใช้เหล็กแผ่นขนาด 150 X 630 X 3 มิลลิเมตร ตัดและขันน็อตยึดกับโครง

16. ชุดไกด์ลำเลียงไม้ไผ่ใช้เหล็กแผ่นหนา 3 มิลลิเมตร ตัดและเชื่อมประกอบกันแล้วขันยึดน็อตติดกับโครง

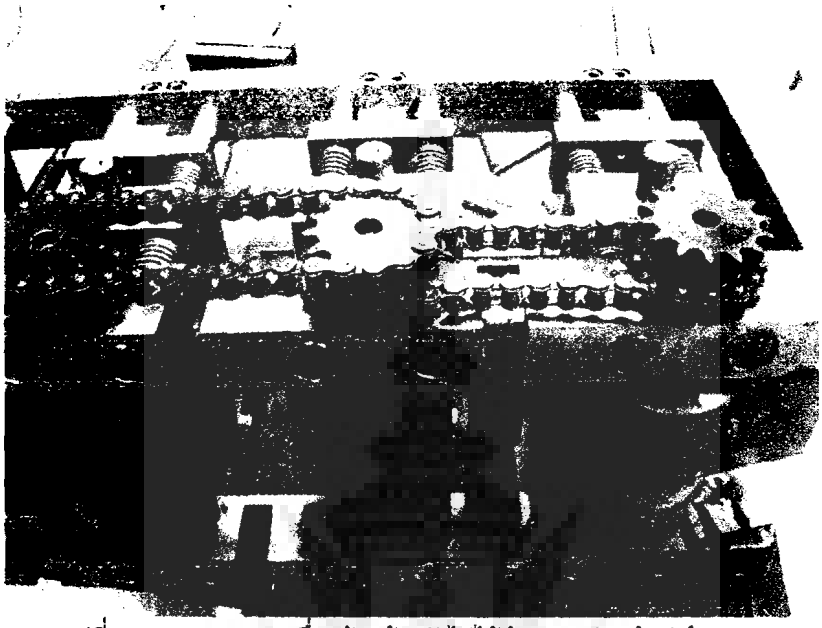
17. เกียร์ทด ใช้เกียร์ทดโดยมีอัตราทด 11 : 1

18. ชุดแบริ่ง ใช้เหล็กแท่งขนาด 2 X 2.5 X 1 นำมาไสและกลึงคว้านสำหรับใส่แบริ่ง

19. ชุดสปริงใช้สปริงชุบแข็งเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว ยาว 100 มิลลิเมตร 40 อัน

20. โซ่ส่งกำลัง ใช้โซ่เบอร์ 40 ยาว 1.2 เมตร 2 เส้น

รูปที่ 3.10 ผู้วิจัยกำลังปรับประกอบเครื่องที่ออกแบบและพัฒนาใหม่



รูปที่ 3.11 แสดงภาพเครื่องด้านข้างยังไม่ได้ทำชุดส่งถ่ายกำลังด้านบน

รูปที่ 3.12 ผู้วิจัยกำลังปรับประกอบชิ้นส่วนเครื่องที่ออกแบบและพัฒนาใหม่

รูปที่ 3.13 แสดงการประกอบชุดส่งถ่ายกำลังให้อยู่ด้านเดียวกัน

3 ขั้นตอนการประกอบ

เมื่อได้ดำเนินการจัดเตรียมชิ้นส่วนอุปกรณ์ต่าง ๆ ครบแล้ว เป็นขั้นตอนการประกอบเครื่องดังนี้

การประกอบเครื่องจักตอกกึ่งอัตโนมัติ

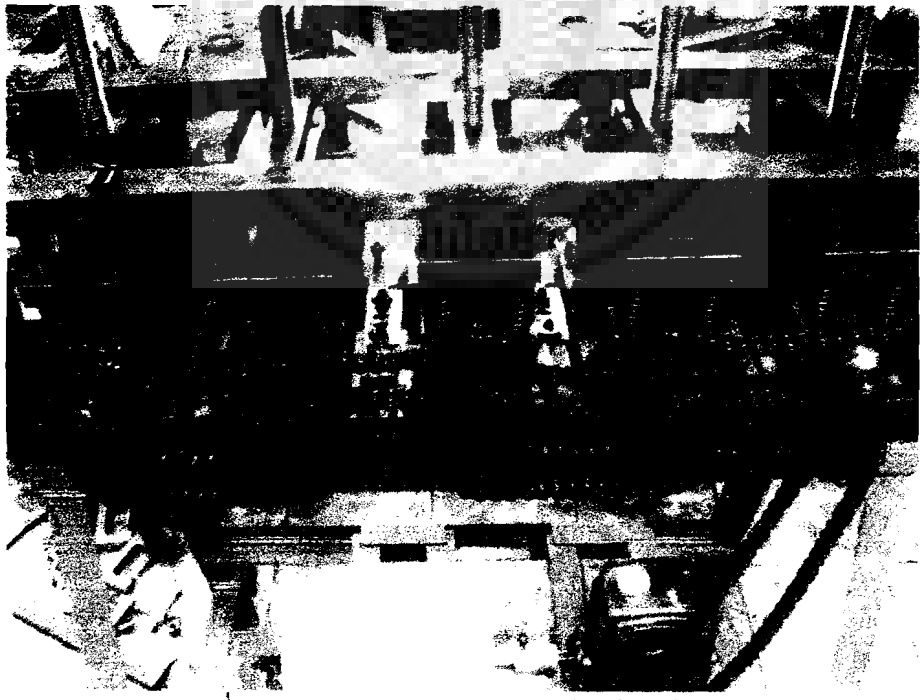
- ประกอบแท่นเครื่อง
- ติดชุดใบมีดเข้ากับป้อมมีด
- ใส่ชุดป้อมมีดเข้ากับคานล่าง
- ใส่เสาไกด์กับคานล่าง
- ประกอบชุดประคองลูกกลิ้งเข้ากับชุดลูกกลิ้ง
- นำสปริงมาใส่ที่เสาไกด์
- นำชุดประคองลูกกลิ้งและชุดลูกกลิ้ง มาสวมกับเสาไกด์
- ติดตั้งชุดปรับลูกกลิ้งบน
- ประกอบชุดลำเลียงไม่ไผ่
- ประกอบเฟืองโซ่และชุดโซ่ส่งกำลัง

- ติดตั้งเฟืองเกียร์
- ติดตั้งมอเตอร์และพู่เลย์
- ติดตั้งชุดรับตอกไม้ไผ่
- ประกอบแผ่นป้องกันเฟืองโซ่
- ทำการยึดน็อตพร้อมขันให้แน่นทุกจุด
- ต่อสายไฟพร้อมติดตั้งสวิตช์

การประกอบอุปกรณ์ผ่าซีกไม้ไผ่

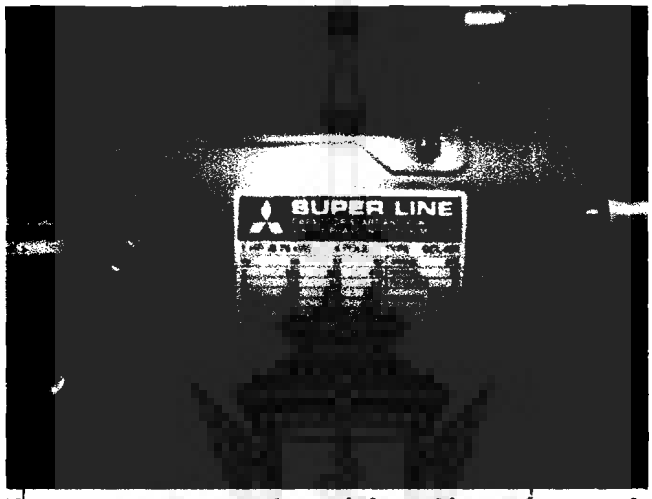
- ประกอบแผ่นเพลตล่างเข้ากับตัวฐาน
- ประกอบเสาไกด์เข้ากับแผ่นเพลตล่าง
- ติดตั้งชุดมีดผ่าซีกเข้ากับแผ่นเพลตกลาง
- ติดตั้งชุดบอลสกรูเข้ากับแผ่นเพลตล่าง
- นำแผ่นเพลตกลางมาประกอบเข้ากับบอลสกรู
- นำชุดประคองลูกกลิ้งและชุดลูกกลิ้ง มาสวมกับเสาไกด์
- ติดตั้งชุดปรับลูกกลิ้งบน

จากรูปที่ 3.14 แสดงภาพด้านหน้าของเครื่องด้านที่มีชุดระบบส่งถ่ายกำลังลูกกลิ้งยางที่ใช้ในการดึงไม้ไผ่เข้าผ่านใบมีดจักตอกและออกด้านตรงข้าม



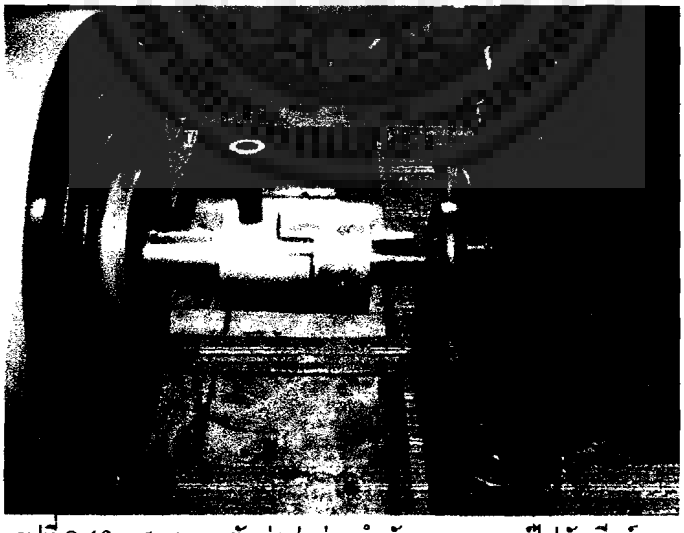
รูปที่ 3.14 แสดงภาพชุดส่งถ่ายกำลังให้อยู่ด้านเดียวกัน

การส่งถ่ายกำลังของเครื่องใหม่ใช้มอเตอร์ขนาด 1 แรงม้า เนื่องจากการคำนวณแรงจะใช้ขับเคลื่อนลูกกลิ้งกดยางดูด 5 ชุด จากเครื่องเดิมมีชุดลูกกลิ้งกดยางดูด 3 ชุด ดังรูป



รูปที่ 3.15 แสดงภาพมอเตอร์ 1 แรงม้าในการใช้งานเครื่องพัฒนาใหม่

อุปกรณ์ส่งถ่ายกำลังจากมอเตอร์ไปยังชุดเกียร์ทด ระบบเดิมเป็นสายพานทำให้ใช้พื้นที่ในการติดตั้งมากและต้องทำอุปกรณ์เสริมเพิ่ม ระบบใหม่ใช้อุปกรณ์ตัวต่อ (คลัปปิ้ง) ทำให้ประหยัดวัสดุและพื้นที่ในการทำงาน การดูแลง่าย ดังรูป



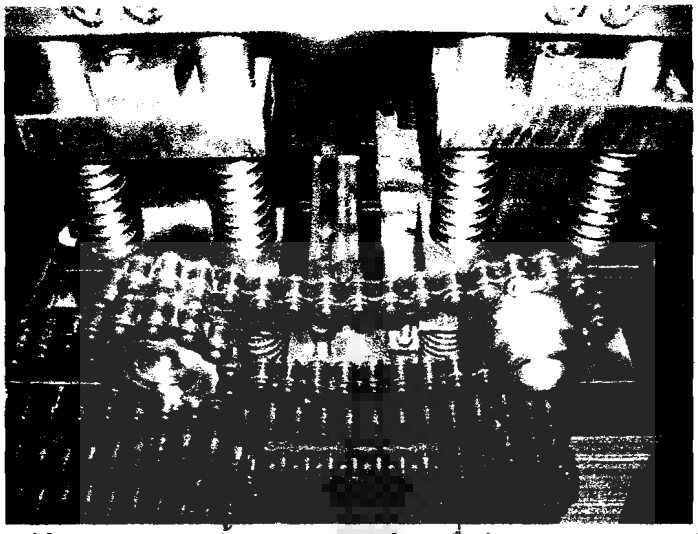
รูปที่ 3.16 แสดงภาพตัวต่อส่งถ่ายกำลังจากมอเตอร์ไปยังเกียร์ทด

เครื่องจักตอกเดิมใช้เฟืองโซ่ส่งถ่ายกำลังจากชุดเกียร์ทด และเครื่องใหม่ยังคงใช้ระบบเฟืองโซ่เหมือนกัน ดังรูป

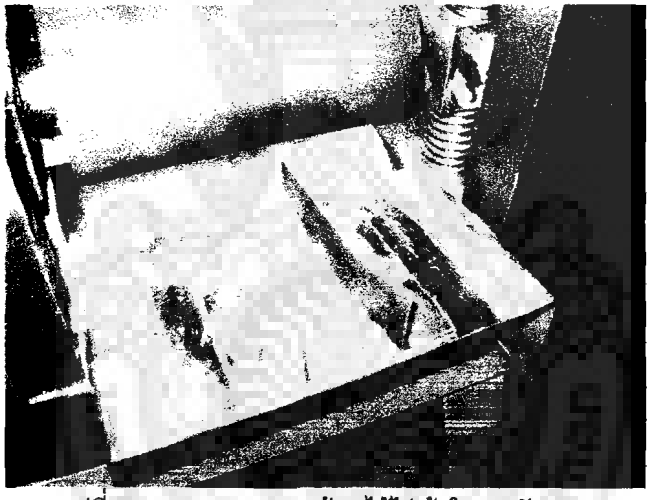
รูปที่ 3.17 แสดงภาพใช้ระบบเฟืองโซ่ส่งถ่ายกำลังออกจากชุดเกียร์ทดไปยังชุดลูกกลิ้งยางกด

ชุดลูกกลิ้งยางกดชุดแรงรับการส่งถ่ายกำลังด้วยเฟืองโซ่จากเกียร์ทด ดังรูป

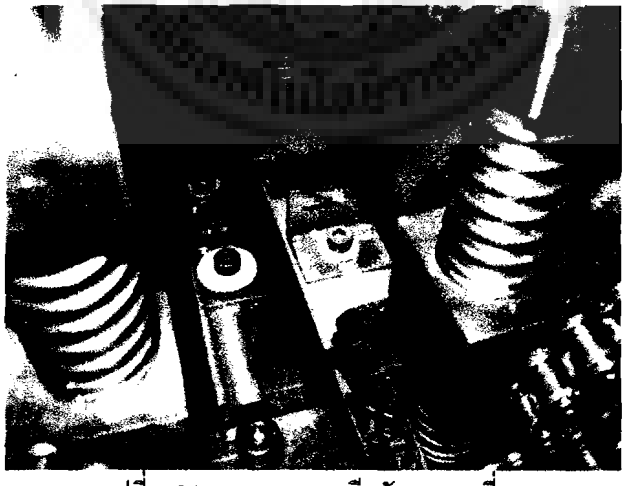
รูปที่ 3.18 แสดงภาพใช้ระบบระบบลูกกลิ้งกดรับการถ่ายกำลังจากชุดเกียร์เพื่อทำการจักตอบชุดลูกกลิ้งชุดที่ 1



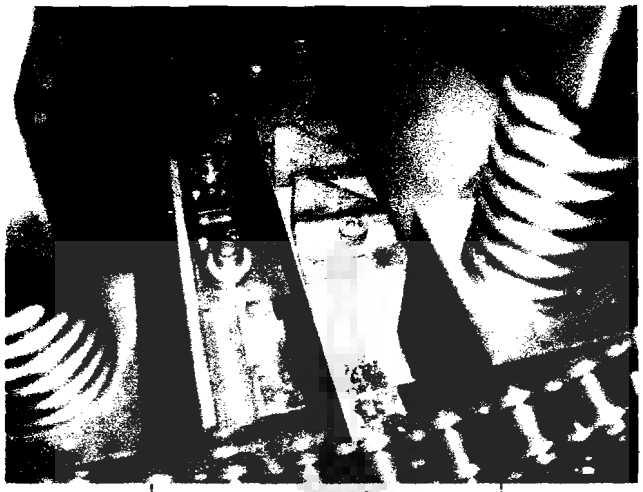
รูปที่ 3.19 แสดงภาพใช้ระบบระบบลูกกลิ้งกดรับการถ่ายกำลังเพื่อทำการจักตอบชุดลูกกลิ้งในระบบทั้งหมด



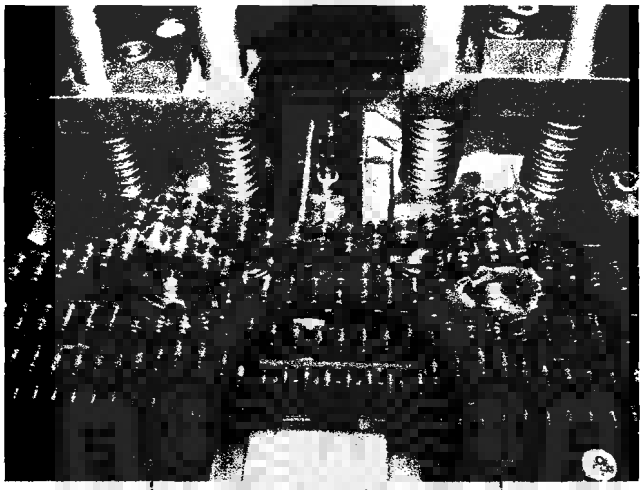
รูปที่ 3.20 แสดงภาพทางป้อนไม้ไผ่เข้าในการจักตอก



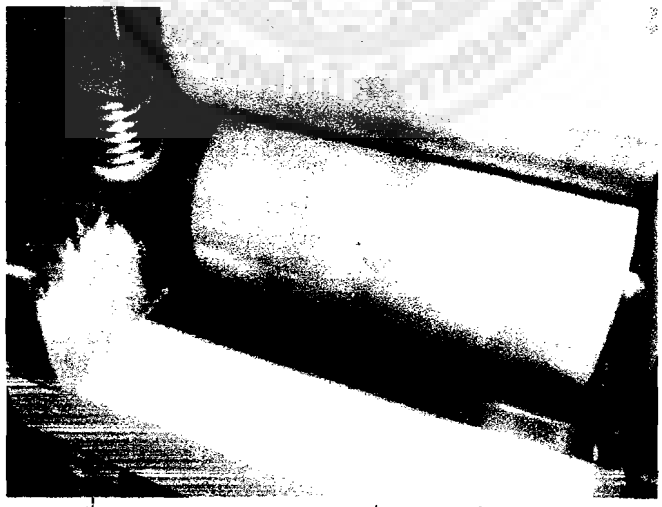
รูปที่ 3.21 แสดงภาพชุดมีดจักตอกชุดที่ 1



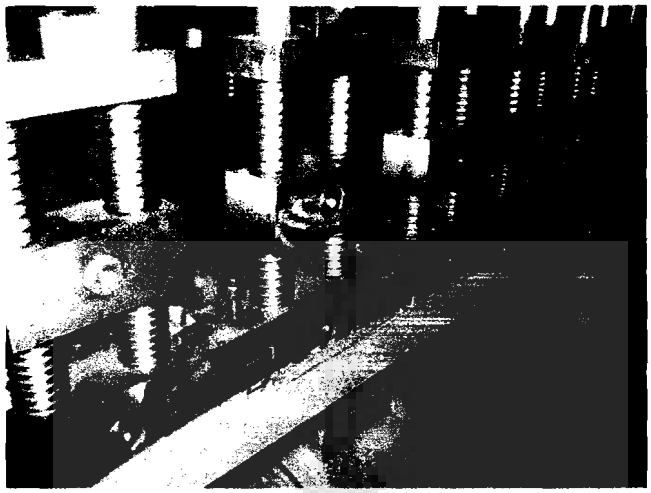
รูปที่ 3.22 แสดงภาพชุดมีดจักตอกชุดที่ 2



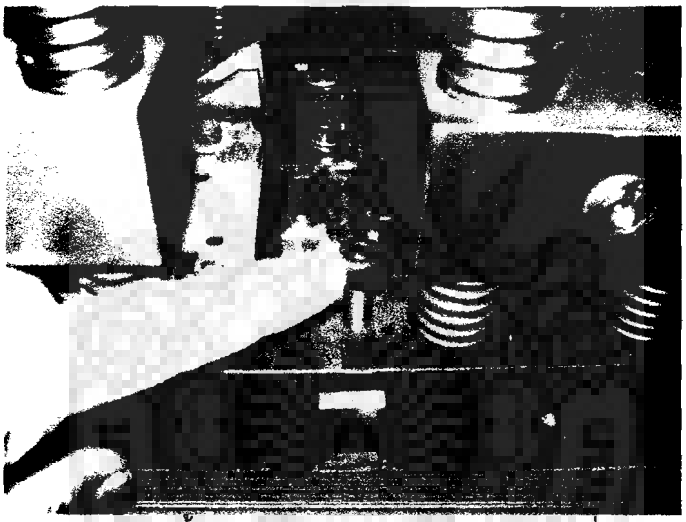
รูปที่ 3.23 แสดงภาพชุดมีดจักตอกชุดที่ 3



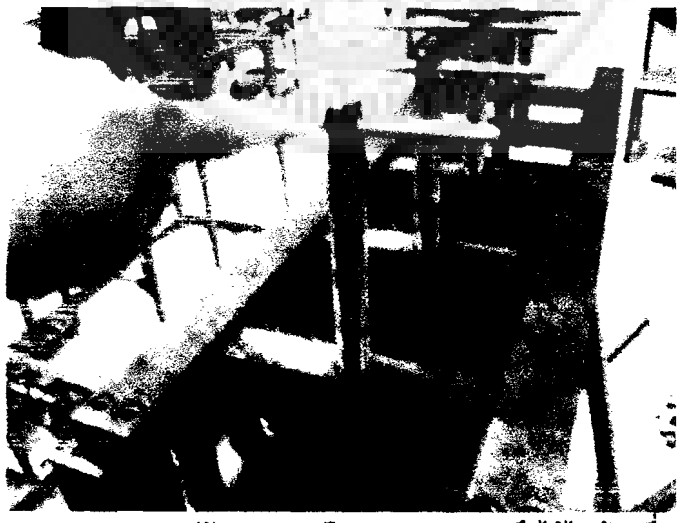
รูปที่ 3.24 แสดงภาพลูกยางกดดึงจักตอกเส้นบนสุดออก



รูปที่ 3.25 แสดงภาพระบบกดลูกยางด้านตรงข้ามไม่มีชุดระบบเฟืองโซ่ส่งถ่ายกำลัง



รูปที่ 3.26 แสดงภาพสกรูปรับตั้งความหนาในการจักตอก โดยการใช้เครื่องมือประแจแอลปรับ



รูปที่ 3.27 แสดงภาพสกรูปรับแรงกดสปริงบนลูกยางระบบดึงไม้ไผ่เข้าเครื่องจักตอก

การปรับช่องว่างของระบบลูกกลิ้งยางกดดูดไม้ไผ่เข้าจักตอก มีทั้งหมด 5 ชุด ซึ่งการปรับแรงกดให้ลูกกลิ้งยางมีช่องว่างของระบบลูกกลิ้งยางกดแต่ละชุดไม่เท่ากัน

ชุดที่ 1 ช่องว่างของระบบลูกกลิ้งยางกด มีระยะห่าง 3-4 มิลลิเมตร เนื่องจากระบบลูกกลิ้งยางกดชุดที่ 1 จะทำหน้าที่ดูดไม้ไผ่เข้าไปสู่ระบบลูกกลิ้งยางกดชุดที่ 2 โดยไม่มีการจักตอกไม้ไผ่ในขั้นตอนนี้

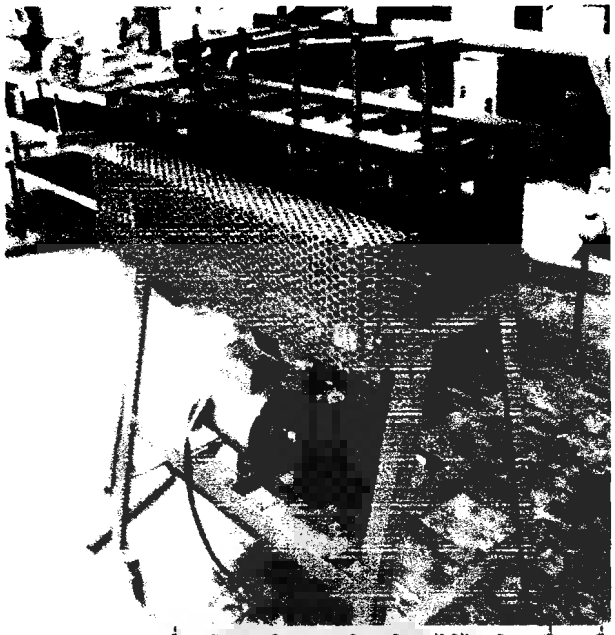
ชุดที่ 2 ช่องว่างของระบบลูกกลิ้งยางกด มีระยะห่าง 3-4 มิลลิเมตร เท่ากับชุดที่ 1 เมื่อไม้ไผ่ผ่านชุดระบบลูกกลิ้งยางกดชุดที่ 1 มา จะผ่านเข้าระบบลูกกลิ้งยางกด ชุดที่ 2 ดังนั้น ระบบลูกกลิ้งยางกด ชุดที่ 2 จะทำการดูดไม้ไผ่ผ่าน โดยมีการจักตอกตั้งความหนาครั้งที่ 1 ซึ่งจักตอกที่ได้จะเป็นเนื้อไม้ไผ่ตรงกลาง เป็นด้านที่ไม่ใช้งาน

ชุดที่ 3 ช่องว่างของระบบลูกกลิ้งยางกด มีระยะห่าง 2-3 มิลลิเมตร เมื่อไม้ไผ่ผ่านระบบลูกกลิ้งยางกด ชุดที่ 2 และจะผ่านระบบลูกกลิ้งยางกด ชุดที่ 3 ซึ่งจะมีการจักตอกตั้งความหนาที่ต้องการใช้งาน จะได้จักตอกใช้งานเส้นที่ 1

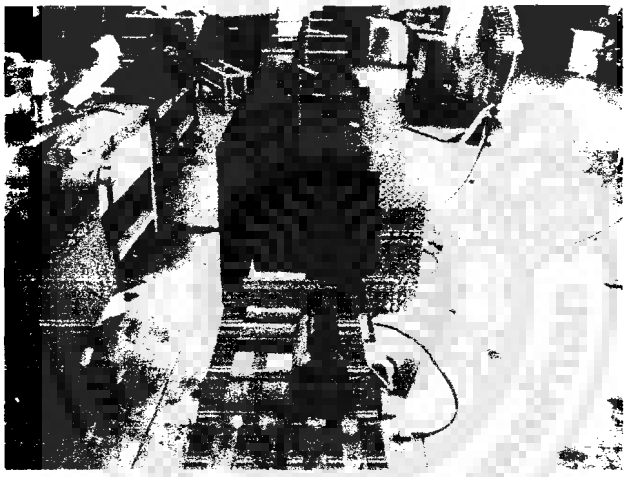
ชุดที่ 4 ช่องว่างของระบบลูกกลิ้งยางกด มีระยะห่าง 1-2 มิลลิเมตร เมื่อไม้ไผ่ผ่านระบบลูกกลิ้งยางกด ชุดที่ 3 และจะผ่านระบบลูกกลิ้งยางกด ชุดที่ 4 ซึ่งจะมีการจักตอกตั้งความหนาที่ต้องการใช้งาน จะได้จักตอกใช้งานเส้นที่ 2 และจะมีจักตอกเส้นบนสุดผ่านไปยังระบบลูกกลิ้งยางกด ชุดที่ 5

ชุดที่ 5 ช่องว่างของระบบลูกกลิ้งยางกด มีระยะห่าง 1 มิลลิเมตร จะทำหน้าที่ดูดเส้นจักตอกที่เหลือออกจากเครื่องจักตอก ตัวอย่างช่องว่างระบบลูกกลิ้งยางกด ดังรูป

รูปที่ 3.28 แสดงภาพช่องว่างระหว่างลูกยางกดตัวบนและตัวล่างในการจักตอก



รูปที่ 3.29 แสดงภาพเครื่องด้านหน้า และด้านป้อนไม้ไผ่เข้าเครื่องเพื่อจักตอก



รูปที่ 3.30 แสดงภาพเครื่องด้านทางออกของไม้ไผ่ที่ผ่านการจักตอกแล้ว

ขั้นตอนการทดสอบหาประสิทธิภาพ

เตรียมวัสดุในการทดลอง

เตรียมวัสดุไม้ไผ่นวล มาจักตอกความยาว 1 เมตร ความกว้าว 5-6 มิลลิเมตร จำนวน 150 เส้น แบ่งเป็นการทดลอง 3 ครั้ง ๆ ละ 50 เส้น โดยตั้งความหนาในการจักตอกขนาด 0.3 มิลลิเมตร 0.5 มิลลิเมตร และ 0.7 มิลลิเมตร ตามลำดับ

การทดลองครั้งที่ 1

ปรับตั้งความหนาการจักตอกให้ได้ตามเกณฑ์ทดสอบ 0.3 มิลลิเมตร จากนั้น ป้อนไม้ไผ่เข้าเครื่องทั้งหมด 50 เส้น จับเวลาทั้งหมด และนำจักตอกที่ได้มาวัดขนาดหาค่าเฉลี่ยความหนาที่ต้องการ และบันทึกผลในตารางการทดสอบ

การทดลองครั้งที่ 3

ปรับตั้งความหนาการจักตอกให้ได้ตามเกณฑ์ทดสอบ 0.5 มิลลิเมตร จากนั้น ป้อนไม้ไผ่เข้าเครื่องทั้งหมด 50 เส้น จับเวลาทั้งหมด และนำจักตอกที่ได้มาวัดขนาดหาค่าเฉลี่ยความหนาที่ต้องการและบันทึกผลในตารางการทดสอบ

การทดลองครั้งที่ 3

ปรับตั้งความหนาการจักตอกให้ได้ตามเกณฑ์ทดสอบ 0.7 มิลลิเมตร จากนั้น ป้อนไม้ไผ่เข้าเครื่องทั้งหมด 50 เส้น จับเวลาทั้งหมด และนำจักตอกที่ได้มาวัดขนาดหาค่าเฉลี่ยความหนาที่ต้องการและบันทึกผลในตารางการทดสอบ

บทที่4
ผลที่ได้จากทดลอง

ขั้นตอนการทดลองถือเป็นขั้นตอนที่สำคัญ เพราะเป็นสิ่งที่จะสามารถยืนยันได้ถึงประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักตอกไม้ไผ่กึ่งอัตโนมัติว่าเป็นไปตามขอบเขตและวัตถุประสงค์ของโครงการหรือไม่ โดยมีขั้นตอนการทดลองดังรูปที่ 4.1

รูปที่ 4.1 วิธีการทดลองหาประสิทธิภาพของเครื่อง

ผลจากการทดลอง

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดลองโดยการตั้งใบมีดจักตอกผิวไม้ไผ่ที่ออกจากเครื่องมีความหนา 0.3 , 0.5 และ 0.7 มิลลิเมตรตามลำดับ พิกัดความเผื่อ $\pm$ 0.1 mm. (ใช้ไม้ไผ่ที่ความยาว 100 มิลลิเมตร หนา 6 มิลลิเมตร)

จำนวนชิ้นงานที่ป้อนเข้าเครื่อง 10 ชิ้น/ ครั้ง (ใช้เวลา 2 นาที)

การทดลองที่	ขนาดความกว้างที่ใช้ในการทดลอง 5-6 มิลลิเมตร					
	ทดลองครั้งที่ 1 หนา 0.3		ทดลองครั้งที่ 2 หนา 0.5		ทดลองครั้งที่ 3 หนา 0.7	
	ชิ้นงานออกใช้งาน (ปกติ 3 เส้น)	ที่ใช้งานได้	ชิ้นงานออกใช้งาน (ปกติ 3 เส้น)	ที่ใช้งานได้	ชิ้นงานออกใช้งาน (ปกติ 3 เส้น)	ที่ใช้งานได้
1	30	30	30	30	30	30
2	30	30	30	30	30	30
3	30	30	30	30	30	30
4	30	30	30	30	30	30
5	30	30	30	30	30	30
$\sum x$	150	150	150	150	150	150
เฉลี่ย ($\bar{x}$)	30	30	30	30	30	30
SD.	0	0	0	0	0	0

บทที่ 5.
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

เครื่องจักตอกไม้ไผ่กึ่งอัตโนมัติ ใช้ทฤษฎีพื้นฐานการออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรซึ่งต้องอาศัยความรู้พื้นฐานทางด้าน กลศาสตร์วัสดุ วัสดุศาสตร์ และอื่น ๆ มาประกอบเข้าด้วยกัน และนำเอามาใช้ในการคำนวณออกแบบชิ้นส่วนในการสร้างเครื่องจักตอกไม้ไผ่กึ่งอัตโนมัติ เพื่อให้ได้ตามวัตถุประสงค์ของโครงการและประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

การทดลอง การทดสอบ และการวิเคราะห์ มีวัตถุประสงค์เพื่อหาประสิทธิภาพการทำงานของเครื่อง ศึกษาปัญหา และข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น อันจะเป็นแนวทางในการปรับปรุงและแก้ไขปัญหา

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลอง 5 ครั้ง ๆ ละ 10 ชิ้น โดยการตั้งใบมีดจักตอกผิวไม้ไผ่ที่ออกจากเครื่องมีความหนา 0.3 , 0.5 และ 0.7 มิลลิเมตรตามลำดับ พิกัดความเผื่อ บวกลบ 0.1 mm. (ใช้ไม้ไผ่ที่ความยาว 100 มิลลิเมตร หนา 6 มิลลิเมตร)

1. การจักตอกที่ความหนา 0.3 มิลลิเมตร ในการทดลอง 5 ครั้ง ๆ ละ 10 เส้น ได้ชิ้นงานเฉลี่ย 30 เส้น คิดเป็น 100 % ขนาดที่ได้ตรงตามขอบเขตที่กำหนด (บวก ลบ 0.1 มิลลิเมตร)

2. การจักตอกที่ความหนา 0.5 มิลลิเมตร ในการทดลอง 5 ครั้ง ๆ ละ 10 เส้น ได้ชิ้นงานเฉลี่ย 30 เส้น คิดเป็น 100 % ขนาดที่ได้ตรงตามขอบเขตที่กำหนด (บวก ลบ 0.1 มิลลิเมตร)

3. การจักตอกที่ความหนา 0.7 มิลลิเมตร ในการทดลอง 5 ครั้ง ๆ ละ 10 เส้น ได้ชิ้นงานเฉลี่ย 30 เส้น คิดเป็น 100 % ขนาดที่ได้ตรงตามขอบเขตที่กำหนด (บวก ลบ 0.1 มิลลิเมตร)

ข้อเสนอแนะและแนวทางในการปรับปรุง

การปรับเครื่องให้ได้ความหนาในการจักตอกที่ต้องการ จะต้องใช้อุปกรณ์นาฬิกาวัดผิว (ไดอัลเกจ) จำนวน 2 ชุด ติดตั้งที่ปลายเพลาด้านบนทั้งสองด้านและทดลองจักตอกจนกระทั่งได้ความหนาตามที่ต้องการ ซึ่งจะต้องเสียวัสดุในการทดลองปรับตั้งมาก

ดังนั้นในการปรับปรุงหรือพัฒนาความจัดให้มีอุปกรณ์ดังกล่าว หรือทำเป็นระบบซีดเวอร์เนียร์สเกล ติดไว้ที่ปลายเพลาเพื่อความสะดวกในการติดตั้ง

บรรณานุกรม

กิตติ อินทรานนต์. **เศษฐศาสตร์วิศวกรรม,** กรุงเทพมหานคร:สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น),2540

เฉียว วัชรพุกก์ม. **ไฝ่,** กรุงเทพมหานคร : คอมพิวแอดเวอไทซิ่ง, 2522

บรรเลง ศรนิล และ กิตติ นิงสานนท์. **การคำนวณและออกแบบชิ้นส่วนเครื่องกล :** พิมพ์ที่ โรงพิมพ์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

บรรเลง ศรนิล และ ประเสริฐ ก๊วยสมบูรณ์ . **ตารางโลหะ :** พิมพ์ที่ โรงพิมพ์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

วริทธ์ อิ๋งภาภรณ์ และ ชาญ ถนัดงาน. **การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม 1,2 :** พิมพ์ที่ บ. ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด , พ.ศ. 2541

วิทยา ทองขาว. **ทฤษฎีงานฝีกฝีมือ,**กรุงเทพมหานคร: ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2543

สุระเชษฐ รุ่งวัฒนพงษ์. **กลศาสตร์ของแข็ง,**กรุงเทพมหานคร:ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด, 2540