



คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

พัฒนาและสร้างเครื่องปิ้งหมูสะเต๊ะกึ่งอัตโนมัติ
Development and Construction of Porker on Fire
Machine Semi-automatic .

นายพลังวัชร แพ่งธีระสุขมัย
Mr. Plangwath Paengteeresukkamai

งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งในการดำเนินงานของคณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ได้รับการอุดหนุนงบประมาณในการดำเนินการ
ปี พ.ศ. 2553

ABSTRACT

The purposes of the research were to Development and Construction of porker on fire evaluating the Effectiveness of this machine.

This Machine use AC Motor 1 Hp to be first Power of Machine by Passing the Power through gear block 1/40 to Another Systems. The System machine belt is transfer of porker on fire . Under The System machine belt is transfer of porker on fire a burner control heat 50-80 c to be the same usual. Porker on fire is transfer by machine belt and to turn the face down.

The experiment by to prepare porker on fire and fire of turner. Start open machine belt put porker on fire on machine belt one per time continue by limit 5-10 m.m. until stop by five time. The summarize porker on fire mean 3 minute by not turn the face down per one.

(Mr. Plangwath Paengteeresukkamai)

RESEARCHER



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
สารบัญ	ค
บทที่ 1 บทนำ	
ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	1
วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	2
ขอบเขตของโครงการวิจัย	2
วิธีดำเนินการวิจัย	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
ระยะเวลาทำการวิจัย	3
งบประมาณของโครงการวิจัย	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
งานวิจัย	
-งานวิจัยเครื่องปิ้งหุสสะเต๊ะ:ผู้ช่วยศาสตราจารย์วัลลภ ภูผา. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.	5
- งานประดิษฐ์เครื่องปิ้งหุสสะเต๊ะของ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ภาควิศวกรรมการผลิต และสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง	6
- ชื่อสิ่งประดิษฐ์ : เตापิ้งหุสสะเต๊ะกึ่งอัตโนมัติ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	7
วิธีทำหุสสะเต๊ะ	8
ทฤษฎีที่ใช้ในการคำนวณ	
- มอเตอร์ไฟฟ้า	9
- ตลับลูกปืนและชุดตลับลูกปืน	32
- ทฤษฎีเกี่ยวกับเฟือง	37
- ทฤษฎีเกี่ยวกับเพลลา	43
- โซ่กำลัง	50

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
- เกียรติครอบ	53
- ความแข็งแรงของวัสดุ	54
- ทฤษฎีและปฏิบัติงานเครื่องมือกล	62
- ทฤษฎีเพลาส่งกำลัง	66
- ชนิดของสายพาน	69
- ชนิดของพูลเลย์	72
บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	
ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	73
ศึกษาเครื่องปั้นหม้อตะเต้เดิมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	74
ขั้นตอนการออกแบบและสร้าง	77
ดำเนินการสร้าง	92
ขั้นตอนการทดสอบหาประสิทธิภาพ	95
บทที่ 4 ผลที่ได้จากการทดลอง	
ขั้นตอนการทดลอง	96
ผลจากการทดลอง	97
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	
สรุปผลการทดลอง	98
บรรณานุกรม	99

บทที่ 1

บทนำ

ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

หมูสะเต๊ะเป็นอาหารประเภทหนึ่งผู้ประกอบการพ่อค้าแม่ขายจะประกอบอาชีพขายหมูสะเต๊ะเกือบทุกแห่ง ชุมชน กรรมวิธีการผลิตแบบเดิมยุ่งยาก และปัญหาที่พบในการผลิตหมูสะเต๊ะก็คือขั้นตอนในการปิ้งหมู เมื่อปิ้งหมู จำนวนมากๆ ผู้ประกอบการจะดูแลการพลิกหมูได้ไม่ทั่วถึง เกิดการเมื่อยล้า จะเห็นว่ากรรมวิธีผลิตแบบดั้งเดิมยังขาด ความสะดวกและรวดเร็วในการกลับพลิกหมู

ปี พ.ศ. 2549 ผู้ช่วยศาสตราจารย์วัลลภ ภูผา ได้ดำเนินการวิจัยและสร้างเครื่องปิ้งหมูสะเต๊ะกึ่งอัตโนมัติ ขึ้น เพื่อรองรับความต้องการและการใช้งานให้มีประสิทธิภาพ ผลการวิจัยได้เครื่องปิ้งหมูสะเต๊ะตาม วัตถุประสงค์ของโครงการ แต่จากการที่ผู้วิจัยเป็นผู้ช่วยวิจัยในงานวิจัยดังกล่าวมีผู้ติดต่อต้องการซื้อเครื่องจำนวนมาก เพื่อนำไปใช้งาน แต่เมื่อทราบราคาเครื่องที่มีราคาสูงมากเนื่องจากมีต้นทุนการผลิตที่สูง เครื่องปิ้งหมูสะเต๊ะเดิม เหมาะกับสถานที่ขณะยังไม่ต้องการให้มีควันและต้องมีปริมาณการขายจำนวนมากๆ สถานที่ดังกล่าว คือ ตาม ห้างสรรพสินค้าหรือร้าน

อาหารตามโรงแรมมีระดับจึงจะคุ้มการใช้เครื่อง จึงยังไม่เป็นที่ต้องการของผู้ประกอบอาชีพปิ้งหมูสะเต๊ะตามตลาด ทั่วไป

ผู้วิจัยจึงแนวความคิดทางเลือกใหม่สำหรับผู้ประกอบอาชีพปิ้งหมูสะเต๊ะที่ขายตามตลาดทั่วไปให้มีอุปกรณ์ ช่วยปิ้งหมูสะเต๊ะกึ่งอัตโนมัติในราคาที่ถูกกว่าและสามารถช่วยลดภาระงาน โดยไม่ต้องพลิกกลับหมูขณะยังมี รายละเอียดดังนี้

1. เครื่องใหม่ใช้ความร้อนจากเตาถ่าน ทำให้ลดต้นทุนการผลิตเครื่องได้ 30 %
2. เครื่องใหม่ใช้วัสดุในการสร้างน้อยกว่า คือ ไม่ใช้วัสดุ สเตนเลส ไม่ใช้กระจกทนความร้อน ไม่มี อุปกรณ์ลำเลียงสายพานอลูมิเนียมหมูสะเต๊ะเข้าเตาอบ ทำให้ลดต้นทุนเครื่องได้ 30 %
3. เครื่องใหม่ไม่ใช้วงจรระบบไฟฟ้าควบคุมการทำงาน มีสวิทช์เปิดและปิดมอเตอร์ ทำให้ลดต้นทุนเครื่อง ได้ 5 %
4. เครื่องใหม่มีหลักการการทำงานช่วยลดภาระงานในการกลับพลิกหมูขณะย่าง คือจะหมุนไม้เสียบหมู สะเต๊ะอย่างช้า ๆ รอบตัวเองตลอดเวลาขณะย่าง อาจจะมีควันหรือไอน้ำขึ้นอยู่การปรับความร้อนจากเตาถ่านของ ผู้ใช้ แต่ข้อดีคือ ผู้ที่ทำการย่างและลูกค้าที่รอซื้อจะเห็นการหมุนของหมูสะเต๊ะได้อย่างชัดเจน เป็นการช่วยเพิ่ม ความสนใจแปลกใหม่ในการซื้อหมูไปรับประทาน
5. เครื่องใหม่มีกลไกการทำงานไม่ซับซ้อน การดูแลรักษาง่าย การผลิตเพื่อที่จำหน่ายเผยแพร่ให้ ผู้ประกอบการกระทำได้ง่ายเพราะมีต้นทุนที่ต่ำ ผู้ประกอบการที่มีความรู้และทักษะทางช่างพื้นฐานสามารถดูแบบ และนำไปสร้างประกอบใช้ส่วนตัวได้

สรุปทำให้ผู้ที่มีอาชีพย่างหมูสะเต๊ะขายมีอุปกรณ์ช่วยลดภาระงานในการย่าง ลดความเหนื่อยล้า

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. ออกแบบและสร้างระบบป้องกันไม่เสียบบัญชี
2. ออกแบบและสร้างเครื่องป้องกันหมู่สะเต๊ะกึ่งอัตโนมัติ
3. ทดสอบหาประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องป้องกันหมู่สะเต๊ะกึ่งอัตโนมัติ

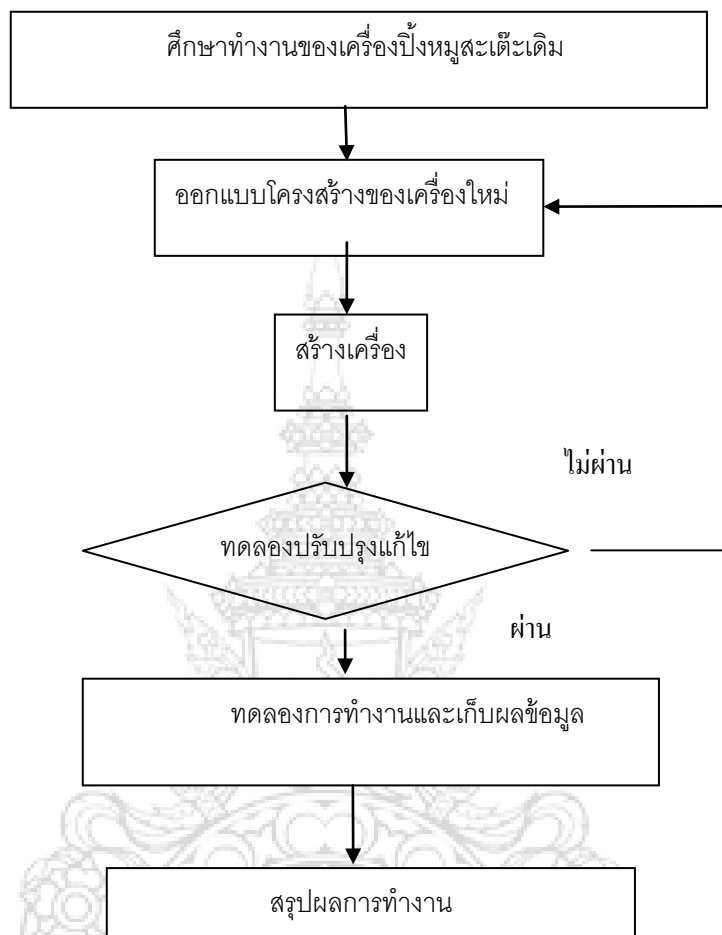
ขอบเขตของโครงการวิจัย

1. เครื่องมีขนาดกว้าง 40 เซนติเมตร ยาว 200 เซนติเมตร สูง 50 เซนติเมตร วัสดุโครงสร้างที่สัมผัสอาหารใช้เกรดวัสดุอาหาร จับป้องกันด้วยมือหมุนเพลลาโซ
2. จับป้องกันด้วยมือหมุนเพลลาโซ
3. ความร้อนใช้ถ่านไม้เป็นเชื้อเพลิง

วิธีการดำเนินการวิจัย และสถานที่ทำการทดลอง/เก็บข้อมูล

1. ศึกษาทำงานของเครื่องป้องกันหมู่สะเต๊ะเดิม
2. ออกแบบโครงสร้างของเครื่องใหม่
3. สร้างเครื่องทดลองปรับแก้ไข
4. ทดลองการทำงานและเก็บผลข้อมูล
5. สรุปผลการทำงาน

แผนผังการดำเนินการออกแบบและสร้างเครื่อง



ภาพที่ 1 แผนผังการดำเนินการออกแบบและสร้างเครื่อง

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้เครื่องปั๊มลมสะอาดที่พัฒนาและปรับปรุงสามารถอย่างเหมาะสม โดยมียระบบเสียงไม่และระบบการหมุน ป้อนเข้าเตา และเมื่อหม้ออยู่เตาที่มีความร้อนจะหมุนรอบตัวเองโดยการหมุนมือหมุนชุดที่สอง ผู้ที่มีอาชีพค้าขาย หมูสะอาดสามารถนำไปใช้ในการประกอบอาชีพได้จริง

ระยะเวลาทำการวิจัย และแผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย (ให้ระบุขั้นตอนอย่างละเอียด)

ระยะเวลาทำการวิจัย และแผนการดำเนินการทดลอง / เก็บข้อมูล
เริ่มต้นดำเนินโครงการวิจัย วันที่ 1 ตุลาคม พ.ศ. 2552 - วันที่ 30 กันยายน พ.ศ. 2553 (12 เดือน)

แผนดำเนินโครงการแผนดำเนินงานตลอดโครงการในช่วง 12 เดือน ดังนี้

กิจกรรม	2552			2553								
	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. ศึกษาทำงานของเครื่องปั๊มสุระเต๊ะเดิม	■	■										
2. ออกแบบโครงสร้างเครื่อง			■	■								
3. สร้างเครื่อง					■	■	■	■	■			
4. ทดลองการทำงานและเก็บข้อมูล										■	■	
5. สรุปผลการทำงาน												■

งบประมาณของโครงการวิจัย

รายละเอียดงบประมาณการวิจัย จำแนกตามงบประมาณต่าง ๆ รายละเอียดดังนี้

รายการ	ปีงบประมาณ 2553
1. งบบุคลากร	-
2. งบดำเนินงาน	
ค่าตอบแทน	
- ค่าตอบแทนหัวหน้าโครงการวิจัย (10 %)	2,500 บาท
ค่าใช้สอย	
- ค่าจ้างพิมพ์เอกสารงานวิจัย	2,000 บาท
- ค่าจ้างเคลือบปกหนังสือ 10 เล่ม ๆ ละ 300 บาท	3,000 บาท
ค่าวัสดุ	
- ค่าวัสดุงานวิจัย	16,250 บาท
ค่าสาธารณูปโภค	
- ค่าน้ำ - ไฟฟ้า ให้กับหน่วยงาน (5%)	1,250 บาท
3. งบลงทุน	-
รวมงบประมาณที่เสนอขอ	25,000บาท

หมายเหตุ ถัวเฉลี่ยทุกรายการ

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัย

งานวิจัยเครื่องปิ้งหมูสะเต๊ะ : ผู้ช่วยศาสตราจารย์วัลลภ ภูผา. คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร. 2550.

หมูสะเต๊ะเป็นอาหารยอดนิยมอีกประเภทหนึ่งเพราะเป็นอาหารที่รับประทานได้ สะดวกให้พลังงานสูงสามารถรับประทานเป็นอาหารว่าง หรืออาหารหลักก็ได้ จึงเป็นอาหารที่นิยมของคนหมู่มาก จะเห็นได้ว่าผู้ประกอบการ พ่อค้าแม่ขาย จะประกอบอาชีพขายหมูสะเต๊ะเกือบทุกแหล่งชุมชน เช่น บริเวณตลาดนัด ริมนถนนแหล่งท่องเที่ยวต่าง ๆ ไม่ว่าจะชุมชนเมืองหรือชนบทก็สามารถทำการค้าขายได้คึกคักกับการลงทุนตลาด จึงกว้างขวางกว่าอาชีพอื่น แต่กรรมวิธีการผลิตแบบเดิม ยิ่งยุ่งยาก และปัญหาที่พบในการผลิตหมูสะเต๊ะก็คือขั้นตอนในการปิ้งหมูเมื่อปิ้งหมูจำนวนมาก ๆ ผู้ประกอบการจะดูแลการพลิกหมูได้ไม่ทั่วถึง เกิดการเมื่อยล้า จนทำให้เนื้อหมูไหม้รวมถึงเศษเนื้อหมู น้ำมันจากเนื้อหมูและผงฝุ่นจากไถ่ถ่าน เกิดการไหม้เกรียมติดตะแกรงปิ้ง กลายเป็นสารก่อเกิดมะเร็งต่อตัวผู้บริโภค เกิดควันไฟถ่านประทุในขณะที่ปิ้งหมู อาจเป็นอันตรายต่อผู้สัญจรไปมาได้ จึงต้องค้าขายในที่กลางแจ้งไม่สามารถขายในห้างสรรพสินค้าหรือแหล่งชุมชนที่มีสภาพแออัดได้สะดวก จะเห็นว่ากรรมวิธีผลิตแบบดั้งเดิมยังขาดความสะดวก สะอาด และความปลอดภัย

จึงมีแนวคิดประดิษฐ์เครื่องปิ้งหมูสะเต๊ะกึ่งอัตโนมัติขึ้นมา เพื่อลดปัญหาการเกิดความเมื่อยล้าของผู้ประกอบการ เพิ่มความปลอดภัยต่อผู้ บริโภค ลดปัญหาการเกิดควันไฟ เพิ่มปริมาณในการปิ้งหมู ควบคุมความ สะอาด เพิ่มความสะดวกต่อผู้ประกอบการ



ภาพเครื่องปิ้งหมูสะเต๊ะ: ผู้ช่วยศาสตราจารย์วัลลภ ภูผา

งานประดิษฐ์เครื่องปิ้งหมูสะเต๊ะของ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ภาควิศวกรรม การผลิต และสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หมูปิ้งหมูสะเต๊ะ อาหารจานด่วนข้างทางที่เราคุ้นเคย ซึ่งกว่าจะได้หมูปิ้งหมูสะเต๊ะแต่ละไม้ คนปิ้งหมูก็ จะต้องใช้ความอดทน ทนกับความร้อนและควันไฟและจะต้องกลับพลิกหมู จึงเป็นที่มาของการแข่งขันออกรายการ โทรทัศน์ทางโมเดิร์นไนน์ ทีวี วันเสาร์ที่ 5 กันยายนนี้ เวลา 13.00 น. รายการคิดข้ามเมฆ ตอน ยุทธการขยับหมูที่ไม่ใช่เรื่องหมูๆ

โดยปะทะกันระหว่าง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ภาควิศวกรรมการผลิต และ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง ภาควิศวกรรมอาหาร ทั้งสองทีมต้องผนึกกำลังเซลล์สมอง งดกลยุทธ์วิธีการต่างๆ ที่เคยศึกษามาใช้อย่างสร้างสรรค์ เพื่อคิดค้นนวัตกรรมใหม่ ให้สิ้นสะเทือนวงการผลิตอาหาร นั่นคือ ผลิตเตาปิ้งหมูสะเต๊ะ ให้รองรับกับสภาพปัญหาที่เผชิญอยู่ เช่น ความร้อน ควัน กลิ่น ที่สำคัญต้องอำนวยความสะดวกต่อพ่อค้า แม่ค้า ที่ยืนปิ้งหมูแบบหลังสู้ฟ้าหน้าสู้เตา



ภาพการแข่งขันออกแบบและสร้างเครื่องปิ้งหมูสะเต๊ะ

ชื่อสิ่งประดิษฐ์ : เตาปิ้งหมูสะเต๊ะกึ่งอัตโนมัติ

วันออกอากาศ : 21 ตุลาคม 2553 รายการสมรภูมิไอเดีย ช่อง 3 เวลา 15.55 น.

เจ้าของสิ่งประดิษฐ์ : นายอภิชาติ สังข์ทิพย์ , นายสุรเชษฐ ย่านวารี , นายศุภเกียรติ ทองทับ

สถาบัน : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หลักการและขั้นตอน : เตา ปิ้งหมูสะเต๊ะกึ่งอัตโนมัติ เพียงแค่เสียบ หมูสะเต๊ะอีกด้านหนึ่ง และรอเก็บหมูสะเต๊ะอีกด้านหนึ่ง ไม่จำเป็นต้องเฝ้ารอคอยพลิกไม้หมูสะเต๊ะ เพราะเจ้าเครื่องนี้จะคอยพลิกหมูสะเต๊ะให้เราเอง สามารถผลิตได้1200ไม้ ต่อชั่วโมงกันเลยทีเดียว นอกจากนี้ยังติดตั้งระบบกรองอากาศ เพื่อลดปัญหาเขม่าควันซึ่งรบกวนผู้คนโดยรอบอีกด้วย ประโยชน์ในการใช้งาน : ช่วยอำนวยความสะดวกในการประกอบอาชีพได้ ลดการใช้เวลาในการทำ เพิ่มผลผลิตและรายได้



ภาพสิ่งประดิษฐ์ : เตาปิ้งหมูสะเต๊ะกึ่งอัตโนมัติสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วิธีทำหมูสะเต๊ะ

ส่วนประกอบ : หมูสะเต๊ะ

1. เนื้อหมู 200 กรัม
2. ลูกผักชีบด 1 ช้อนชา
3. ยี่ห่วยาบด 1/2 ช้อนชา
4. ข่าสับละเอียด 1 ช้อนชา
5. ตะไคร้ซอย 1 ช้อนโต๊ะ
6. ขมิ้น 1 ช้อนชา
7. พริกไทยป่น 1/4 ช้อนชา
8. เกลือ 1/2 ช้อนชา
9. น้ำตาลทราย 1 ช้อนชา
10. หัวกะทิ 1/2 ถ้วย
11. ไม้สำหรับเสียบ 20 ไม้

วิธีทำ : หมูสะเต๊ะ

1. หั่นเนื้อหมูเป็นชิ้นบางๆ กว้างราวสักประมาณ 1 นิ้ว ยาว 2 นิ้ว จะได้ชิ้นโตๆ
2. โขลกลูกผักชี ยี่ห่วย ข่า ตะไคร้ ขมิ้น เกลือและพริกไทยให้ละเอียด
3. ใส่หมูลงไปแล้วใส่น้ำตาล หัวกะทิลงไปแล้วก็ทำการคลุกๆแล้วหมักทิ้งไว้สักประมาณ 30 นาที หรือ นานกว่านั้นก็ได้จะดีแล้วแต่สะดวก
4. เอาเนื้อหมูที่หมักเสร็จแล้วนำมาเสียบไม้ตามยาวแล้วนำมาปิ้งโดยใช้เตาถ่าน ไฟปานกลางแล้วใช้น้ำหมักเนื้อหมูนำมาทาบ้างเป็นครั้งคราว

เครื่องปรุงน้ำจิ้ม : หมูสะเต๊ะ

1. น้ำพริกแกงแดงประมาณ 1 ช้อนโต๊ะ
2. กะทิ 2 1 ถ้วย
3. ถั่วลิสงคั่วบด 1 ช้อนโต๊ะ
4. น้ำตาลทราย 1 ช้อนชา
5. น้ำส้มมะขาม 1/2 ถ้วย
6. เกลือ 1/2 ช้อนชา

วิธีทำ : น้ำจิ้ม หมูสะเต๊ะ

1. ผสมถั่วลิสงกับน้ำพริกแกงแดง
2. ตักหัวกะทิแล้วแยกขึ้นมาเก็บไว้ก่อน แล้วใส่หัวกะทิลงในกระทะตั้งไฟเคี่ยวไฟปานกลางจนแตกมันแรกๆก็อย่าพึ่งไปคน พอร้อนเดือดค่อยคน ใส่ถั่วลิสงลงไปใส่น้ำพริกแล้วผัดจนเข้ากันดีแล้วก็เติมกะทิที่แยกเอาไว้ตอนแรกเทลงไป แล้วหรีไฟลงแล้วหมั่นคนๆ
3. ปรุงรสตามชอบใจ ด้วยน้ำตาล น้ำส้มมะขามเติมเกลือลงไปเมื่อน้ำจิ้มข้นแล้วค่อยตักใส่ถ้วย

แหล่งที่มา http://modoeye-recipe.blogspot.com/2008/11/blog-post_07.html

ทฤษฎีที่ใช้ในการคำนวณ

มอเตอร์ไฟฟ้า

เราจะพบว่าชีวิตประจำวัน การใช้อุปกรณ์ เครื่องมือ เครื่องใช้หลายสิ่งหลายอย่างเกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหว การเคลื่อนที่ เช่น พัดลม เครื่องซักผ้า เครื่องปั่นผลไม้ เครื่องผสมอาหาร เครื่องคั้นน้ำผลไม้ และเครื่องดูดฝุ่น เป็นต้น เมื่อมองเข้าไปภายในอุปกรณ์ เครื่องมือเครื่องใช้เหล่านั้น มีสิ่งหนึ่งที่นำมาใช้งานเหมือนกันและมีบทบาทสำคัญต่อการทำงานของอุปกรณ์ เครื่องมือ เครื่องใช้เหมือนกัน สิ่งที่สำคัญสิ่งนั้นคือ มอเตอร์ (Motor) มอเตอร์คือ เครื่องกลไฟฟ้า (Elector mechanical Energy) ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้า (Electric Energy) ให้เป็นพลังงานกล (Mechanical Energy) ในรูปของการหมุนเคลื่อนที่ มีประโยชน์ในการนำไปใช้งานได้อย่างกว้างขวาง ถูกนำไปรวมใช้งานกับอุปกรณ์ไฟฟ้า เครื่องมือไฟฟ้า และเครื่องใช้ไฟฟ้าถึงประมาณ 80-90% ลักษณะมอเตอร์ไฟฟ้า (Electric Motor) แสดงดังรูป



รูป มอเตอร์ไฟฟ้า

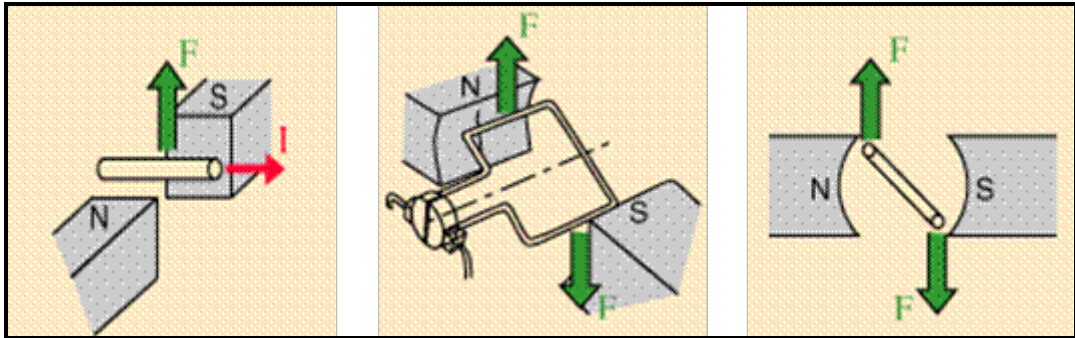
มอเตอร์ไฟฟ้ามีโครงสร้างเบื้องต้นที่สำคัญ 2 ส่วนคือ ส่วนแม่เหล็กถาวร และส่วนของขดลวดตัวนำ ซึ่งมีโครงสร้างคล้ายกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า การทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าอาศัยสนามแม่เหล็ก 2 ชุดที่เกิดขึ้น ได้แก่ สนามแม่เหล็กถาวร และสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของขดลวดตัวนำ ส่งผลให้เกิดการผลัดกันขึ้นของสนามแม่เหล็กทั้งสอง ทำให้ขดลวดตัวนำเคลื่อนที่ที่วางอยู่กลางแม่เหล็กถาวร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

การทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้า

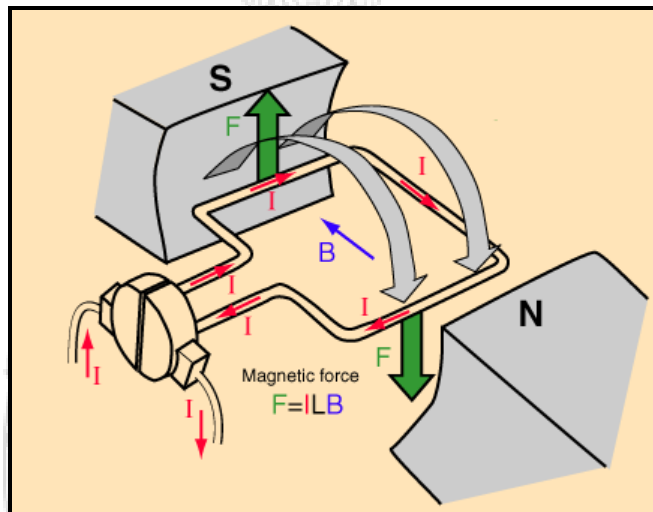
มอเตอร์ไฟฟ้าที่ถูกผลิตขึ้นมาใช้งานแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor) เป็นมอเตอร์ที่ต้องใช้กับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (DC Source) เป็นมอเตอร์แบบเบื้องต้นที่ถูกผลิตมาใช้งาน และ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Motor) เป็นมอเตอร์ที่ต้องใช้กับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Source) มอเตอร์ชนิดนี้ถูกพัฒนาจากมอเตอร์กระแสตรง เพื่อให้สามารถใช้งานได้อย่างกว้างขวางมากขึ้น

1. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง(Direct Current Motor)หรือเรียกว่าดี.ซี มอเตอร์ (D.C. MOTOR) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงประกอบด้วย แม่เหล็กถาวร 2 ขั้ววางอยู่ระหว่างขดลวดตัวนำ ขดลวดตัวนำจะได้รับแรงดันไฟตรงป้อนให้ในการทำงาน ทำให้เกิดอำนาจแม่เหล็ก 2 ชุด มีขั้วแม่เหล็กเหมือนกันวางใกล้กัน เกิดแรงผลัดกันทำให้ขดลวดตัวนำหมุนเคลื่อนที่ได้ การทำงานเบื้องต้นของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง แสดงดังรูป



รูปแสดงการทำงานของมอเตอร์

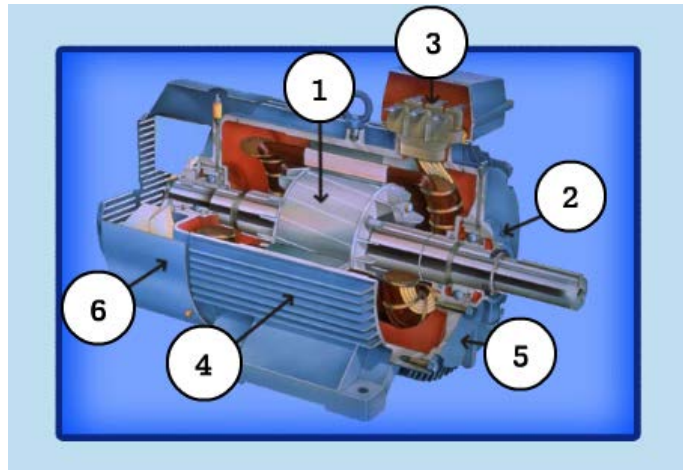


รูป แสดงการทำงานของมอเตอร์

จากรูป เป็นการดำเนินงานเบื้องต้นของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง มีแรงดันไฟตรงจ่ายผ่านแปรงถ่านไปคอมมิวเตเตอร์ผ่านไปให้ขดลวดตัวนำที่อาร์เมเจอร์ ทำให้ขดลวดอาร์เมเจอร์เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้นมา ทางด้านซ้ายมือเป็นขั้วเหนือ (N) และด้านขวาเป็นขั้วใต้ (S) เหมือนกับขั้วแม่เหล็กถาวรที่วางอยู่ใกล้ๆ เกิดอำนาจแม่เหล็กผลัดกันกัน อาร์เมเจอร์หมุนไปในทิศทางตามเข็มนาฬิกา พร้อมกับคอมมิวเตเตอร์หมุนตามไปด้วย แปรงถ่านสัมผัสกับส่วนของคอมมิวเตเตอร์ เปลี่ยนไปในอีกปลายหนึ่งของขดลวด แต่มีผลทำให้เกิดขั้วแม่เหล็กที่อาร์เมเจอร์เหมือนกับขั้วแม่เหล็กถาวรที่อยู่ใกล้ๆ อีกครั้ง ทำให้อาร์เมเจอร์ยังคงถูกผลัดให้หมุนไปในทิศทางตามเข็มนาฬิกาตลอดเวลา เกิดการหมุนของอาร์เมเจอร์คือมอเตอร์ไฟฟ้าทำงาน

ก) ส่วนประกอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ผลิตมาใช้งาน มีโครงสร้างและส่วนประกอบคล้ายกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง มีส่วนประกอบที่สำคัญเหมือนกัน มีรูปร่างลักษณะภายนอกคล้ายกัน แตกต่างกันตรงการนำไปใช้งาน โดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงจะทำให้เกิดไฟฟ้าในรูปของแรงดันไฟตรงออกมา ส่วนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเมื่อจ่ายแรงดันไฟตรงให้มอเตอร์ ทำให้มอเตอร์หมุนเกิดพลังกลขึ้นมา ส่วนประกอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง



รูปส่วนประกอบของมอเตอร์

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) แทนแม่เหล็กถาวรขดลวดที่ใช้เป็นขดลวดอบน้ำยาฉนวนสนามแม่เหล็กจะเกิดขึ้นเมื่อจ่ายแรงดันไฟตรงให้มอเตอร์

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

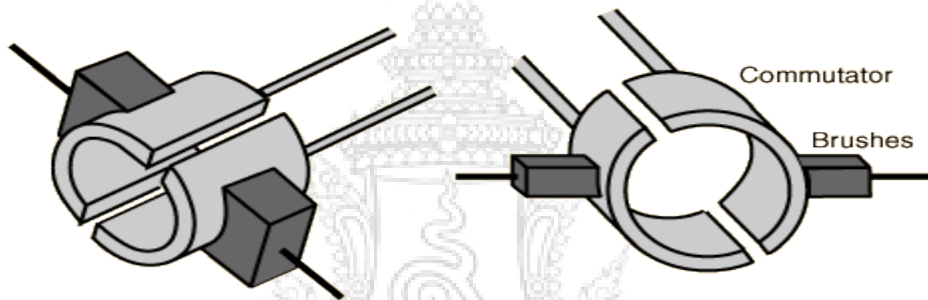
3.) โครงมอเตอร์ (Motor Frame) คือส่วนเปลือกหุ้มภายนอกของมอเตอร์ และยึดส่วนอยู่กับที่ (Stator) ของมอเตอร์ไว้ภายในร่วมกับฝาปิดหัวท้ายของมอเตอร์ โครงมอเตอร์ทำหน้าที่เป็นทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็กระหว่างขั้วแม่เหล็กให้เกิดสนามแม่เหล็กครบวงจร

4.) อาร์เมเจอร์ (Armature) คือส่วนเคลื่อนที่ (Rotor) ถูกยึดติดกับเพลา (Shaft) และรองรับการหมุนด้วยที่รองรับการหมุน (Bearing) ตัวอาร์เมเจอร์ทำจากเหล็กแผ่นบางๆ อัดซ้อนกัน ถูกเจาะร่องออกเป็นส่วนๆ เพื่อไว้พัน

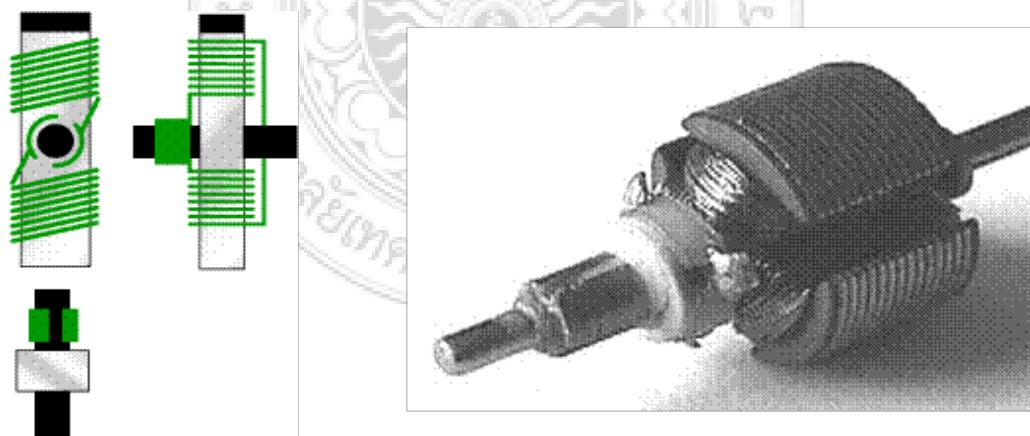
ขดลวดอาร์เมเจอร์ (Armature Winding) ขดลวดอาร์เมเจอร์เป็นขดลวดรอบน้ำยานวน ร่องขดลวดอาร์เมเจอร์จะมีขดลวดพันอยู่และมีลิ้มไฟเบอร์อัดแน่นขัดขดลวดอาร์เมเจอร์ไว้ ปลายขดลวดอาร์เมเจอร์ต่อไว้กับคอมมิวเตเตอร์ อาร์เมเจอร์ผลัดกันของสนามแม่เหล็กทั้งสอง ทำให้อาร์เมเจอร์หมุนเคลื่อนที่

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

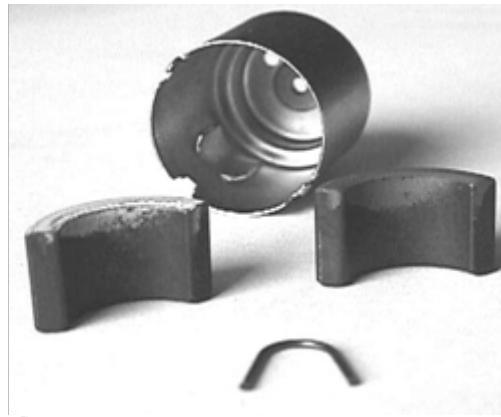
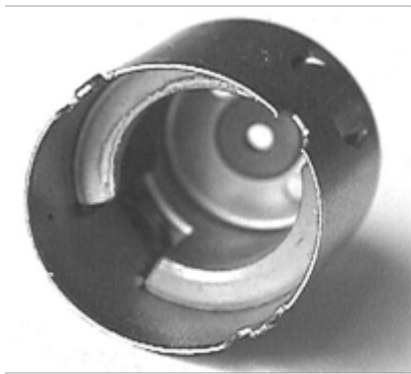
6.) แปรงถ่าน (Brush) คือตัวสัมผัสกับคอมมิวเตเตอร์ ทำเป็นแท่งสี่เหลี่ยมผลิตมาจากคาร์บอนหรือแกรไฟต์ ผสมผงทองแดง เพื่อให้แข็งและนำไฟฟ้าได้ดี มีสายตัวนำต่อร่วมกับแปรงถ่านเพื่อไปรับแรงดันไฟตรงที่จ่ายเข้ามา แปรงถ่านทำหน้าที่รับแรงดันไฟตรงจกแหล่งจ่าย จ่ายผ่านไปให้คอมมิวเตเตอร์



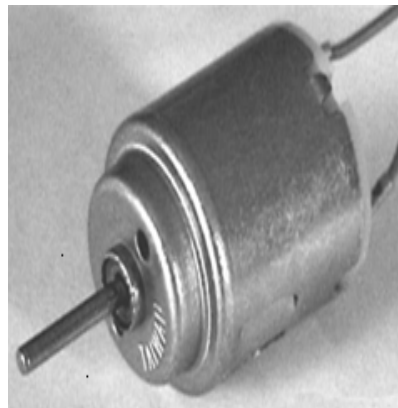
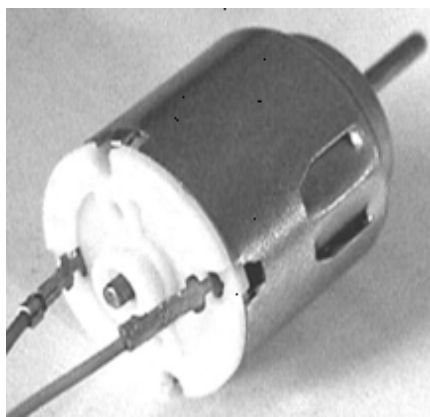
รูป แสดงวงแหวนคอมมิวเตเตอร์ และ แปรงถ่าน



รูปมอเตอร์ แสดงโครงสร้างและภาพจริงของอาร์เมเจอร์



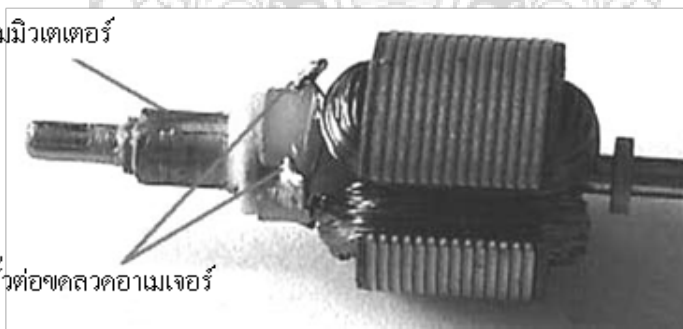
รูปแสดงภาพด้านหน้าและด้านหลังของมอเตอร์ แสดงโครงสร้างและภาพจริงของอามเจอร์



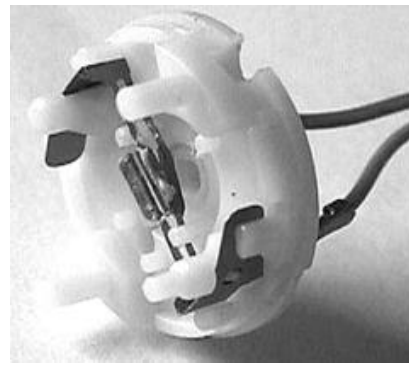
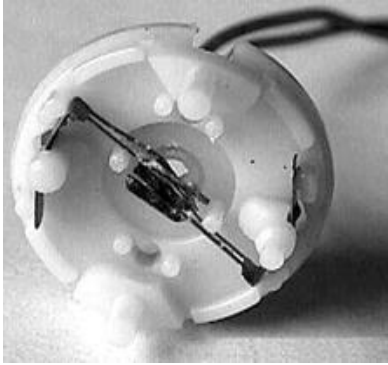
รูป แสดง สเตเตอร์และส่วนประกอบซึ่งเป็นแม่เหล็กถาวร

คอมมิวเตเตอร์

ขั้วต่อขดลวดอามเจอร์



รูปแสดงอามเจอร์และส่วนประกอบ



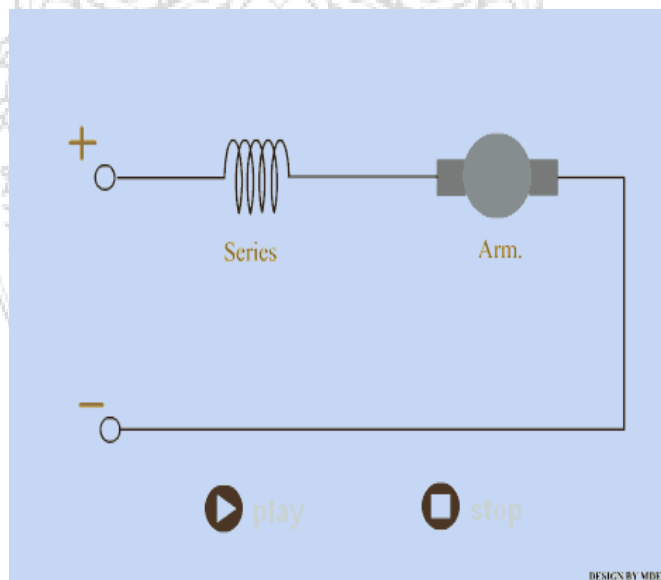
รูปส่วนฝาพลาสติกที่มีขั้วต่อไฟเชื่อมต่อกับแผ่นทองแดง

ค) ชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบ่งออกได้ดังนี้

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบ่งออกเป็น 3 ชนิดได้แก่

1) มอเตอร์แบบอนุกรม (Series Motor)

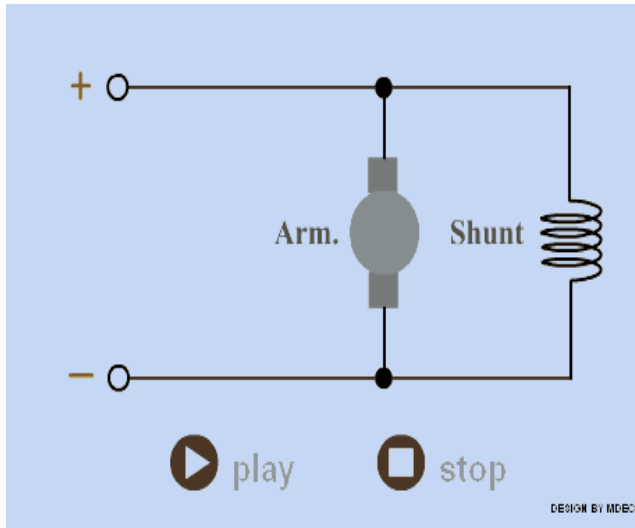
คือมอเตอร์ที่ต่อขดลวดสนามแม่เหล็กอนุกรมกับอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์ชนิดนี้ว่า ซีรีส์ฟิลด์ (Series Field) มีคุณลักษณะที่ดีคือให้แรงบิดสูงนิยมใช้เป็นต้นกำลังของรถไฟฟ้า ความเร็วรอบของมอเตอร์อนุกรมเมื่อไม่มีโหลดความเร็วจะสูงมากแต่ถ้ามีโหลดมาต่อความเร็ว ก็จะลดลงตามโหลด โหลดมากหรือทำงานหนักความเร็วลดลง แต่ขดลวด ของมอเตอร์ ไม่เป็นอันตราย จากคุณสมบัตินี้จึงนิยมนำมาใช้กับเครื่องใช้ไฟฟ้า ในบ้านหลายอย่างเช่นเครื่องดูดฝุ่น เครื่องผสมอาหาร สว่านไฟฟ้า จักรเย็บผ้า เครื่องเป่าผม มอเตอร์กระแสตรงแบบอนุกรมใช้งานหนักได้ดีเมื่อใช้งานหนักกระแสจะมากความเร็วรอบ จะลดลงเมื่อไม่มีโหลดมาต่อความเร็วจะสูงมากอาจเกิดอันตรายได้ดังนั้นเมื่อเริ่มสตาร์ทมอเตอร์แบบอนุกรมจึงต้องมีโหลดมาต่ออยู่เสมอ



รูป วงจรแสดงการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม

2) .มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน(Shunt Motor)

หรือเรียกว่าชันท์มอเตอร์ มอเตอร์แบบขนานนี้ ขดลวดสนามแม่เหล็กจะต่อ(Field Coil) จะต่อขนานกับขดลวด ชุดอาร์เมเจอร์ มอเตอร์แบบขนานนี้มีคุณลักษณะ มีความเร็วคงที่ แรงบิดเริ่มหมุนต่ำ แต่ความเร็วรอบคงที่ ชันท์มอเตอร์ส่วนมากเหมาะกับงานดังนี้พัคลมเพราะพัคลมต้องการความเร็วคงที่ และต้องการเปลี่ยนความเร็วได้ง่าย



รูป วงจรแสดงการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน

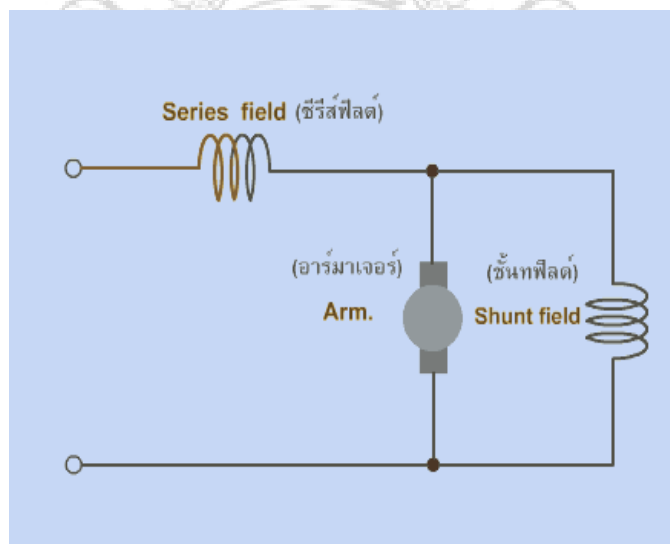
3) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบผสม (Compound Motor)

หรือเรียกว่าคอมปาวด์มอเตอร์ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบผสมนี้ จะนำคุณลักษณะที่ดีของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง แบบขนาน และแบบอนุกรมมารวมกัน มอเตอร์แบบผสมมีคุณลักษณะพิเศษคือมีแรงบิดสูง (High starting torque) แต่ความเร็วรอบคงที่ ตั้งแต่ยังไม่โหลดจนกระทั่งมีโหลดเต็ม

มอเตอร์แบบผสมมีวิธีการต่อขดลวดขนานหรือขดลวดชั้นที่อยู่ 2 วิธี

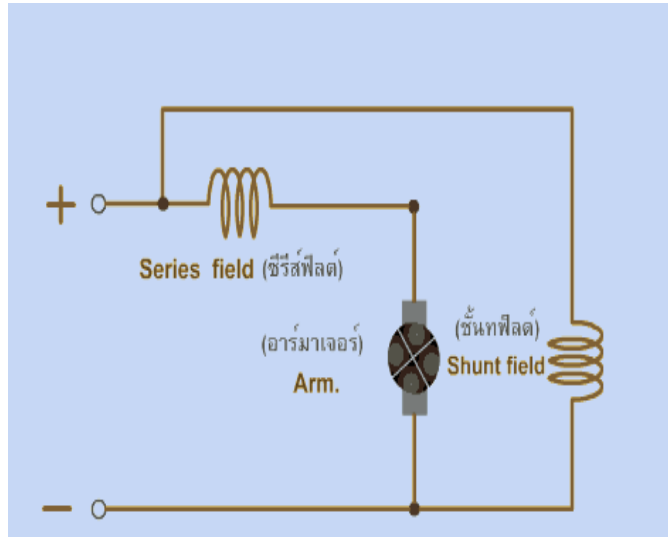
วิธีหนึ่ง ใช้ต่อขดลวดแบบชั้นขนานกับอาเมเจอร์เรียกว่า ชอร์ตชันท (Short Shunt Compound Motor) ดัง

รูปวงจร



รูป วงจรแสดงการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบชอร์ตชันทคอมปาวด์

อีกวิธีสองคือต่อขดลวด ขนานกับขดลวดอนุกรมและขดลวดอาเมเจอร์เรียกว่าลวงชันทคอมปาวด์มอเตอร์ (Long shunt motor) ดังรูปวงจร



รูป วงจรแสดงการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบลวงชันทฟิลด์ มอเตอร์

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

ก) ชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับแบ่งออกได้ดังนี้

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับแบ่งออกเป็น 3 ชนิดได้แก่

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

สปลิตเฟส มอเตอร์(Split-Phase motor)

คาปาซิเตอร์ มอเตอร์(Capacitor motor)

รีพัลชั่นมอเตอร์(Repulsion-type motor)

ยูนิเวอร์แซลมอเตอร์(Universal motor)

เซ็ดเดโพล มอเตอร์(Shaded-pole motor)

2. มอเตอร์ไฟฟ้าสลับชนิด 2 เฟสหรือเรียกว่า เอ ซี ทู เฟส มอเตอร์ (A.C. Two phase Motor)

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

ชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้า

มอเตอร์ไฟฟ้าแบ่งออกตามการใช้ของกระแสไฟฟ้าได้ 2 ชนิดดังนี้

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

การแบ่งชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้าสลับแบ่งออกเป็น 3 ชนิดได้ดังนี้

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

- สปลิตเฟส มอเตอร์ (Split-Phase motor)
- คาปาซิเตอร์ มอเตอร์ (Capacitor motor)
- รีพัลชั่นมอเตอร์ (Repulsion-type motor)
- ยูนิเวอร์แซลมอเตอร์ (Universal motor)
- เซ็ดเดโพล มอเตอร์ (Shaded-pole motor)

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

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

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

1. มอเตอร์แบบอนุกรมหรือเรียกว่าซีรีย์มอเตอร์ (Series Motor)
2. มอเตอร์แบบอนุขนานหรือเรียกว่าชันทัมอเตอร์ (Shunt Motor)
3. มอเตอร์ไฟฟ้าแบบผสมหรือเรียกว่าคอมพาวด์มอเตอร์ (Compound Motor)

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง เป็นต้นกำเนิดขับเคลื่อนที่สำคัญอย่างหนึ่งในโรงงานอุตสาหกรรมเพราะมีคุณสมบัติที่ดีเด่นในด้านการปรับความเร็วได้ตั้งแต่ความเร็วต่ำสุดจนถึงสูงสุด นิยมใช้กันมากในโรงงานอุตสาหกรรม เช่น โรงงานทอผ้า โรงงานเส้นใยโพลีเอสเตอร์ โรงงานถลุงโลหะหรือให้ เป็นต้นกำเนิดในการขับเคลื่อนรถไฟไฟฟ้า เป็นต้นในการศึกษาเกี่ยวกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจึงควรรู้จักอุปกรณ์ต่าง ๆ ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและเข้าใจถึงหลักการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบต่าง ๆ

1. ส่วนประกอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ส่วนประกอบที่สำคัญ 2 ส่วนดังนี้

1 ส่วนที่อยู่กับที่หรือที่เรียกว่าสเตเตอร์ (Stator) ประกอบด้วย

- เฟรมหรือโยค (Frame Or Yoke) เป็นโครงภายนอกทำหน้าที่เป็นทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็กจากขั้วเหนือไปขั้วใต้ให้ครบวงจรและยึดส่วนประกอบอื่น ๆ ให้แข็งแรงทำด้วยเหล็กหล่อหรือเหล็กแผ่นหนา้วนเป็นรูปทรงกระบอก ดังรูปที่ 2.15



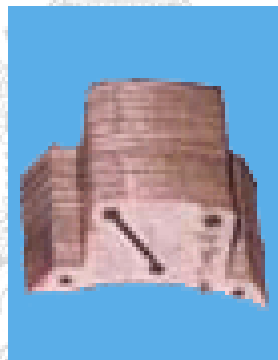
รูป เฟรมหรือโยค

- ขั้วแม่เหล็ก (Pole) ประกอบด้วย 2 ส่วนคือแกนขั้วแม่เหล็กและขดลวด



รูป ขดลวดพันอยู่รอบขั้วแม่เหล็ก

ส่วนแรกแกนขั้ว (Pole Core) ทำด้วยแผ่นเหล็กบาง ๆ กั้นด้วยฉนวนประกบกันเป็นแท่งยึดติดกับเฟรม ส่วนปลายที่ทำเป็นรูปโค้งนั้นเพื่อโค้งรับรูปกลมของตัวโรเตอร์เรียกว่าขั้วแม่เหล็ก (Pole Shoes) มีวัตถุประสงค์ให้ขั้วแม่เหล็กและโรเตอร์ใกล้ชิดกันมากที่สุดเพื่อให้เกิดช่องอากาศน้อยที่สุดเพื่อให้เกิดช่องอากาศน้อยที่สุดจะมีผลให้เส้นแรงแม่เหล็กจากขั้วแม่เหล็กจากขั้วแม่เหล็กผ่านไปยังโรเตอร์มากที่สุดแล้วทำให้เกิดแรงบิดหรือกำลังบิดของโรเตอร์มากเป็นการทำให้มอเตอร์มีกำลังหมุน(Torque)



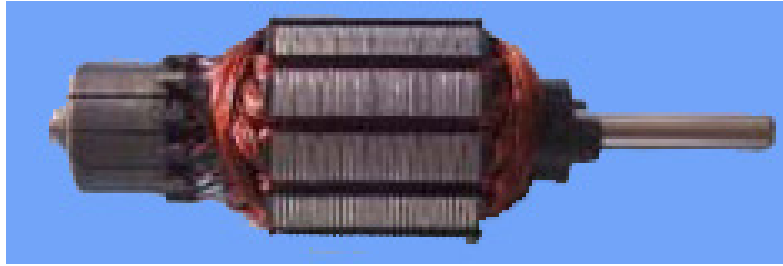
รูป ลักษณะของขั้วแม่เหล็ก

ส่วนที่สอง ขดลวดสนามแม่เหล็ก(Field Coil) จะพันอยู่รอบๆแกนขั้วแม่เหล็กขดลวดนี้ทำหน้าที่รับกระแสจากภายนอกเพื่อสร้างเส้นแรงแม่เหล็กให้เกิดขึ้น และเส้นแรงแม่เหล็กนี้จะเกิดการหักล้างและเสริมกันกับสนามแม่เหล็กของอาเมเจอร์ทำให้เกิดแรงบิดขึ้น

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

ตัวโรเตอร์ประกอบด้วย 4 ส่วนด้วยกันดังรูปที่ 2.18 คือ

1. แกนเพลลา (Shaft)
2. แกนเหล็กอาร์มาเจอร์ (Armature Core)
3. คอมมิวเตเตอร์ (Commutator)
4. ขดลวดอาร์มาเจอร์ (Armature Winding)



รูป โรเตอร์

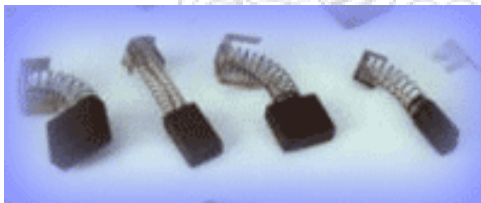
1. แกนเพลลา (Shaft) เป็นตัวสำหรับยึดคอมมิวเตเตอร์ และยึดแกนเหล็กอาร์มาเจอร์ (Armature Core) ประกอบเป็นตัวโรเตอร์แกนเพลลานั้นจะวางอยู่บนแบร์ริง เพื่อบังคับให้หมุนอยู่ในแนวหนึ่งไม่มีการสั่นสะเทือนได้

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

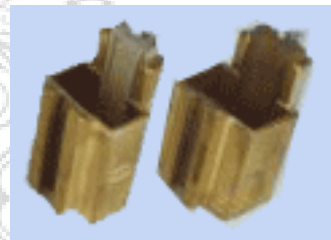
3. คอมมิวเตเตอร์ (Commutator) ทำด้วยทองแดงออกแบบเป็นซี่แต่ละซี่มีฉนวนไมก้า (mica) คั่นระหว่างซี่ของคอมมิวเตเตอร์ ส่วนหัวซี่ของคอมมิวเตเตอร์ จะมีร่องสำหรับใส่ปลายสาย ของขดลวดอาร์มาเจอร์ ตัวคอมมิวเตเตอร์นี้ยึดแน่นติดกับแกนเพลลา เป็นรูปกลมทรงกระบอก มีหน้าที่สัมผัสกับแปรงถ่าน (Carbon Brushes) เพื่อรับกระแสจากสายป้อนเข้าไปยัง ขดลวดอาร์มาเจอร์เพื่อสร้างเส้นแรงแม่เหล็กอีกส่วนหนึ่งให้เกิดการหักล้างและเสริมกันกับเส้นแรงแม่เหล็กอีกส่วน ซึ่งเกิดจากขดลวดขั้วแม่เหล็ก ดังกล่าวมาแล้วเรียกว่า ปฏิกริยามอเตอร์ (Motor action)

4. ขดลวดอาร์มาเจอร์ (Armature Winding) เป็นขดลวดพันอยู่ในร่องสลอต (Slot) ของแกนอาร์มาเจอร์ ขนาดของลวดจะเล็กหรือใหญ่ละจำนวนรอบจะมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับการออกแบบของตัวโรเตอร์ชนิดนั้นๆ เพื่อที่จะให้เหมาะสมกับงานต่างๆ ที่ต้องการ

แปรงถ่าน (Brushes) ดังรูป และช่องแปรงถ่านดังรูป



รูปแปรงถ่าน



รูปช่องแปรงถ่าน

ทำด้วยคาร์บอนมีรูปร่างเป็นแท่งสี่เหลี่ยมพื้นผิวในช่องแปรงมีสปริงกดอยู่ด้านบนเพื่อให้ถ่านนี้สัมผัสกับซี่คอมมิวเตเตอร์ตลอดเวลาเพื่อรับกระแส และส่งกระแสไฟฟ้าระหว่างขดลวดอาร์มาเจอร์ กับวงจรไฟฟ้าจากภายนอก คือถ้าเป็นมอเตอร์กระแสไฟฟ้าตรงจะทำหน้าที่รับกระแสจากภายนอกเข้าไปยังคอมมิวเตเตอร์ ้ให้ลวดอาร์มาเจอร์ เกิดแรงบิดทำให้มอเตอร์หมุนได้

หลักการของมอเตอร์กระแสไฟฟ้าตรง (Motor Action)

หลักการของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (Motor Action) เมื่อเป็นแรงดันกระแสไฟฟ้าตรงเข้าไปในมอเตอร์ ส่วนหนึ่งจะแปรงถ่านผ่านคอมมิวเตเตอร์เข้าไปในขดลวดอาร์มาเจอร์สร้างสนามแม่เหล็กขึ้น และกระแสไฟฟ้าอีกส่วนหนึ่งจะไหลเข้าไปในขดลวดสนามแม่เหล็ก (Field coil) สร้างขั้วเหนือ-ใต้ขึ้นจะเกิดสนามแม่เหล็ก 2 สนาม ในขณะเดียวกัน ตามคุณสมบัติของเส้นแรงแม่เหล็ก จะไม่ตัดกันทิศทางตรงข้ามจะหักล้างกัน และทิศทางเดียวจะเสริมแรงกัน ทำให้เกิดแรงบิดในตัวอาร์มาเจอร์ ซึ่งวางแกนเพลลาและแกนเพลลานั้น สวมอยู่กับดัลบลูกปืนของมอเตอร์ ทำให้อาร์มาเจอร์นี้หมุนได้ ขณะที่ตัวอาร์มาเจอร์ทำหน้าที่หมุนได้นี้เรียกว่า โรเตอร์ (Rotor) ซึ่งหมายความว่าตัวหมุน

การที่อำนาจเส้นแรงแม่เหล็กทั้งสองมีปฏิริยาต่อกัน ทำให้ขดลวดอาร์มาเจอร์ หรือโรเตอร์หมุนไปนั้นเป็นไปตามกฎซ้ายของเฟลมมิ่ง (Fleming' left hand rule)

3. ชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

3.1 มอเตอร์แบบอนุกรม (Series Motor)

คือมอเตอร์ที่ต่อขดลวดสนามแม่เหล็กอนุกรมกับอาร์มาเจอร์ของมอเตอร์ชนิดนี้ว่า ซีรีส์ฟิลด์ (Series Field) มีคุณลักษณะที่ดีคือให้แรงบิดสูงนิยมใช้เป็นต้นกำลังของรถไฟฟ้า ความเร็วรอบของมอเตอร์อนุกรมเมื่อไม่มีโหลดความเร็วจะสูงมาก แต่ถ้ามีโหลดมาต่อความเร็ว ก็จะลดลงตามโหลด โหลดมากหรือทำงานหนัก ความเร็วลดลง แต่ขดลวด ของมอเตอร์ ไม่เป็นอันตราย จากคุณสมบัตินี้จึงนิยมนำมาใช้กับเครื่องใช้ไฟฟ้า ในบ้านหลายอย่างเช่นเครื่องดูดฝุ่น เครื่องผสมอาหาร สว่านไฟฟ้า จักรเย็บผ้า เครื่องเป่าผม มอเตอร์กระแสตรงแบบอนุกรมใช้งานหนักได้ดีเมื่อใช้งานหนักกระแสจะมากความเร็วรอบ จะลดลงเมื่อไม่มีโหลดมาต่อความเร็วจะสูงมากอาจเกิดอันตรายได้ดังนั้นเมื่อเริ่มสตาร์ทมอเตอร์แบบอนุกรมจึงต้องมีโหลดมาต่ออยู่เสมอ

3.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน (Shunt Motor)

หรือเรียกว่าชันทมอเตอร์ มอเตอร์แบบขนานนี้ ขดลวดสนามแม่เหล็กจะต่อ(Field Coil) จะต่อขนานกับขดลวด ชุดอาร์มาเจอร์ มอเตอร์แบบขนานนี้มีคุณลักษณะ มีความเร็วคงที่ แรงบิดเริ่มหมุนต่ำ แต่ความเร็วรอบคงที่ชันทมอเตอร์ส่วนมากเหมาะสำหรับงานดังนี้พัดลมเพราะพัดลมต้องการความเร็วคงที่ และต้องการเปลี่ยนความเร็วได้ง่าย

3.3 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบผสม (Compound Motor)

หรือเรียกว่าคอมปาวด์มอเตอร์ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบผสมนี้ จะนำคุณลักษณะที่ดีของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง แบบขนาน และแบบอนุกรมมารวมกัน มอเตอร์แบบผสมมีคุณลักษณะพิเศษคือมีแรงบิดสูง (High starting torque) แต่ความเร็วรอบคงที่ ตั้งแต่ยังไม่โหลดจนกระทั่งมีโหลดเต็มที่

มอเตอร์แบบผสมมีวิธีการต่อขดลวดขนานหรือขดลวดชันทอยู่ 2 วิธี วิธีหนึ่งใช้ต่อขดลวดแบบชันทขนานกับอาร์มาเจอร์เรียกว่า ชอร์ตชันท (Short Shunt Compound Motor) วิธีสองคือต่อขดลวด ขนานกับขดลวดอนุกรมและขดลวดอาร์มาเจอร์เรียกว่าลونغชันทคอมปาวด์มอเตอร์ (Long shunt motor)

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. มีค่าทอร์ค สูงแม้ว่าอัตราเร็วจะต่ำ

2. สามารถควบคุมอัตราเร็วได้ดี
3. ใช้กับโหลดมากๆ ได้ มีราคาแพงกว่ามอเตอร์กระแสสลับ
4. มีขนาดใหญ่กว่ามอเตอร์กระแสสลับแม้ว่าจะมีกำลังม้าเท่ากัน
5. การบำรุงรักษาจะต้องทำเป็นประจำ

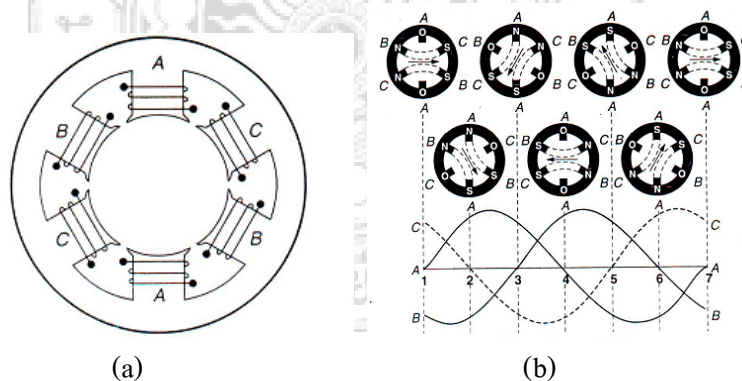
ลักษณะพื้นฐานของมอเตอร์กระแสสลับคือ สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจากสเตเตอร์จะหมุนได้ ซึ่งอาจจะแสดงให้เข้าใจได้ดังนี้ กรณีของมอเตอร์สามเฟสขดลวดทั้งสามจะมีดีกรีทางไฟฟ้าต่างกัน 120° แต่ละเฟสจะต่อเข้ากับเฟสหนึ่ง ๆ ของแหล่งจ่ายไฟสามเฟส ดังแสดงในรูป เมื่อมีกระแสแต่ละเฟสไหลผ่านขดลวดเหล่านี้ สนามแม่เหล็กจะมีการหมุนรอบในสเตเตอร์อัตราเร็วการหมุนของสนามขึ้นอยู่กับจำนวนขั้วของสเ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

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

เมื่อ S คืออัตราเร็วซิงโครนัสเป็นรอบต่อนาที (rpm)
 f คือความถี่เป็น Hz ของแหล่งจ่ายไฟ
 P คือจำนวนขั้วในขดลวดแต่ละเฟส

ดังภาพที่ 2.34 (b) เราสามารถคำนวณอัตราเร็วซิงโครนัสได้ดังนี้

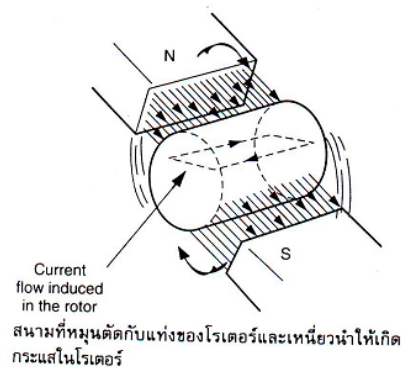
$$\begin{aligned} s &= \frac{120f}{P} \\ &= 120 \times \frac{60}{2} \\ &= 3600 \text{ rms} \end{aligned}$$



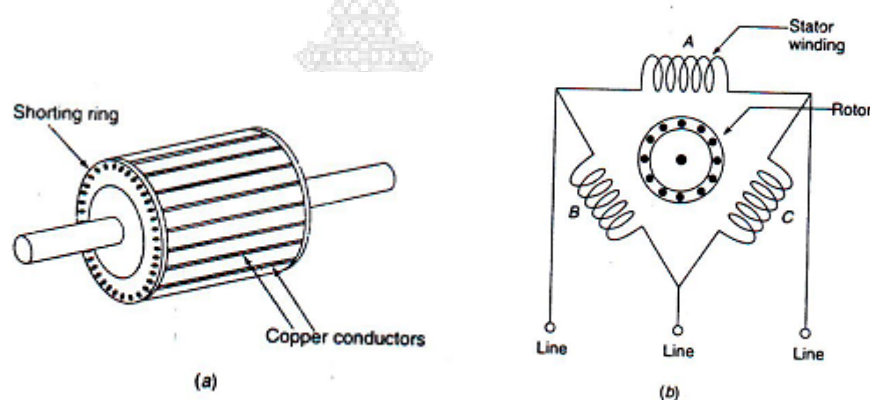
รูป การหมุนของสนามแม่เหล็ก

เราจำแนกชนิดของมอเตอร์กระแสสลับโดยพิจารณาหลักการทำงาน ซึ่งจำแนกเป็นมอเตอร์เหนี่ยวนำกระแสสลับ (Ac induction motor) หรือซิงโครนัสมอเตอร์ (synchronous motor) มอเตอร์เหนี่ยวนำกระแสสลับนี้มีทั้งแบบเฟสเดียวและแบบสามเฟส ที่เรียกชื่อเป็นมอเตอร์เหนี่ยวนำเช่นนี้ เนื่องจากไม่มีแรงดันภายนอกป้อนให้กับโรเตอร์

ทั้งนี้กระแสสลับในสเตเตอร์จะเหนี่ยวนำให้เกิดแรงดันคร่อมระหว่างช่องว่างอากาศกับขดลวดโรเตอร์ทำให้มีกระแสในโรเตอร์และสนามแม่เหล็กเกิดขึ้น สนามแม่เหล็กในสเตเตอร์ในสเตเตอร์และในโรเตอร์จะมีอันตกิริยาต่อกันเป็นเหตุให้โรเตอร์หมุนได้ แสดงดังรูป



รูป กระแสเหนี่ยวนำในโรเตอร์



รูปมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสแบบทางกระบอก

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

1. โรเตอร์ประกอบด้วยตัวนำทองแดงฝังอยู่ในแกนที่แข็งและสายจะบรรจุกันทางกระบอก
2. อัตราเร็วจำเป็นต้องคงที่
3. ต้องการกระแสกระตุ้น ทำให้เกิดการกระเพื่อมของแรงดัน
4. ทิศการหมุนเปลี่ยนได้โดยเปลี่ยนสายเมน 2 สาย ต่อเข้ากับมอเตอร์
5. เพาเวอร์แฟคเตอร์มีค่าต่ำเพื่อโหลด
6. เมื่อป้อนแรงดันให้แก่ขดลวดสเตเตอร์จะทำให้สนามแม่เหล็กหมุนได้เป็นผลให้เกิดแรงดันเหนี่ยวนำในโรเตอร์ แรงดันนี้จะทำให้กระแสจำนวนมากไหลในโรเตอร์ กระแสนี้จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กในโรเตอร์ด้วย สนามในโรเตอร์และสเตเตอร์จะดึงดูดกันและกัน ทำให้เกิดค่าทอร์ค หมุนโรเตอร์ในทิศเดียวกันกับการหมุนของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นโดยสเตเตอร์

7. เมื่อกระตุ้นมอเตอร์ให้หมุนมอเตอร์จะคงการหมุนโดยมีเฟส ลอสม์ (phase loss) เป็นแบบมอเตอร์เฟสเดียว กระแสที่ถูกดึงออกมาจากเฟสที่เหลือจะมีค่าเป็นเกือบสองเท่า จะทำให้มอเตอร์ร้อนได้มาก

มอเตอร์แบบทางกระรอกนี้มักจะเป็นที่นิยมใช้กันมากกว่ามอเตอร์แบบอื่น ๆ เนื่องจากโครงสร้างไม่ซับซ้อน และมีความน่าเชื่อถือ (reliability) สูง ด้วยเหตุที่มีลักษณะเด่นเฉพาะนี้ มอเตอร์ชนิดนี้จึงนับได้ว่าเป็นมอเตอร์ กระแสลับที่มาตรฐาน สำหรับงานใด ๆ ที่ประยุกต์มอเตอร์ที่มีอัตราเร็วคงที่

โรเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำหมุนในอัตราเร็วที่ต่างจากอัตราเร็วซิงโครนัส แต่จะล้าหลังเล็กน้อย ตัวอย่างเช่น มอเตอร์เหนี่ยวนำมีอัตราเร็วซิงโครนัส เป็น 1800 rpm อัตราเร็วที่แท้จริงจะเป็น 1750 rpm ที่กำลังม้า เดียวกันการล้าหลังของอัตราเร็วเช่นนี้จะคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของอัตราเร็วซิงโครนัสและมีชื่อเรียกว่า สลิป (slip)

$$\begin{aligned} \% \text{slip} &= \left(\frac{\text{synchoronous speed} - \text{Running speed}}{\text{synchoronous speed}} \right) \times 100 & (2.19) \\ &= \frac{1800 - 1750}{1800} \times 100 \\ &= 2.78\% \end{aligned}$$

อัตราเร็วของโรเตอร์ในมอเตอร์เหนี่ยวนำจะขึ้นอยู่กับอัตราเร็วซิงโครนัสกับโหลดที่มอเตอร์ขับเคลื่อน โรเตอร์จะ หมุนด้วยอัตราเร็วที่ต่างจากอัตราเร็วซิงโครนัสแต่จะมี สลิปล้าหลัง ถ้าโรเตอร์หมุนด้วยอัตราเร็วที่เท่ากับอัตราเร็ว ของสนามจะไม่เกิดการสัมพันธ์กัน ดังนั้นจะไม่มีแรงดันเหนี่ยวนำ เนื่องจากโรเตอร์มีสลิปเมื่อเทียบกับการหมุน สนามแม่เหล็กในสเตเตอร์ ซึ่งทำให้เกิดแรงดันและกระแสเหนี่ยวนำโรเตอร์ ดังนั้น ถ้ามอเตอร์มีสลิป 2.8 เปอร์เซ็นต์ และอัตราเร็วซิงโครนัสเป็น 1800 rpm มีสลิปเป็น 50 rpm อัตราเร็วขณะมีโหลดเต็มของมอเตอร์คือ 1750 rpm (1800-50=1750 rpm) อัตราเร็วขณะมีโหลดเต็มที่จะระบุไว้ในเนมเพลท

หลักการการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำเหมือนกับหม้อแปลง โดยมีสเตเตอร์ทำหน้าที่คล้ายกับขดลวดปฐม ภูมิ และโรเตอร์ทำหน้าที่คล้ายกับขดลวดทุติยภูมิ กระแสขณะไม่มีโหลดของมอเตอร์คล้ายกับกระแสกระตุ้นในหม้อ แปลง ดังนั้นจะมีการแมกไนไต์ซ์ (Magnetizing) เกิดขึ้นทำให้มีฟลักซ์ที่หมุนได้ และส่วนหนึ่งของแมกไนไต์ซ์จะจ่าย ให้กับขดลวดและมีการสูญเสียเนื่องจากความเสียดทานในโรเตอร์กับการสูญเสียที่สเตเตอร์

ในกรณีเมื่อมอเตอร์เหนี่ยวนำมีโหลดน้อย ๆ กระแสโรเตอร์จะทำให้มีฟลักซ์ในทิศตรงกันข้าม ดังนั้นฟลักซ์ สเตเตอร์จะลดลง ทำให้มีกระแสในขดลวดสเตเตอร์มากขึ้น ซึ่งเป็นกรณีเดียวที่กระแสในขดลวดทุติยภูมิเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากกระแสในขดลวดปฐมภูมิมากขึ้น กระแสกระตุ้นและรีแอกทีฟเพาเวอร์ของมอเตอร์ขณะมีโหลดน้อย ๆ จะมีค่าเท่ากับเมื่อไม่มีโหลดแอกทีฟเพาเวอร์ (Active power) (kw) ที่ดูดซับโดยมอเตอร์จะเพิ่มขึ้นอย่างเป็นปฏิกิริยา โดยตรงกับโหลดเชิงกล (Mechanical load) ฉะนั้นเพาเวอร์แฟคเตอร์ของมอเตอร์ของมอเตอร์จะเพิ่มขึ้นเมื่อโหลด เชิงกลเพิ่มขึ้น 0.70 สำหรับเครื่องกลขนาดเล็กและจะเป็น 0.90 สำหรับเครื่องกลขนาดใหญ่ ฉะนั้นประสิทธิภาพที่ โหลดเต็มที่โหลดเต็มที่มีค่าสูง ซึ่งอาจจะสูงถึง 0.98 ได้เมื่อใช้กับเครื่องจักรกลขนาดใหญ่มาก

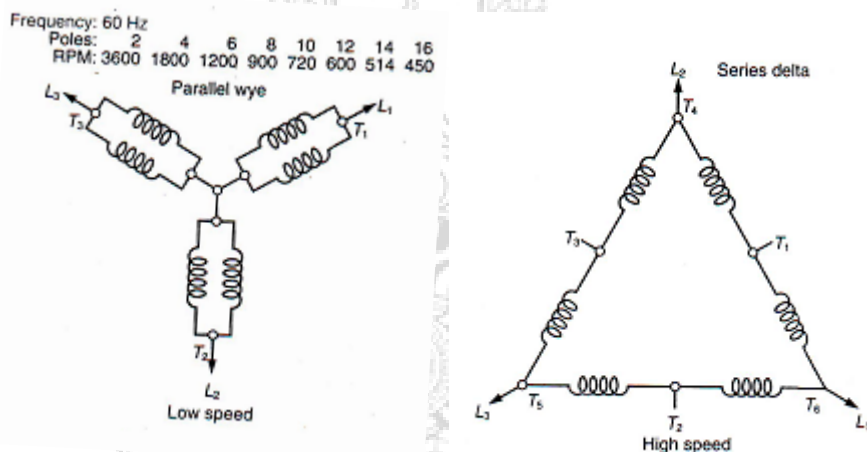
กระแสล๊อคโรเตอร์ (locked-rotor current) และกระแสกระตุ้นของมอเตอร์เหนี่ยวนำจะมีค่าประมาณห้า หรือหกเท่าของกระแสขณะที่มีโหลดเต็มที่ขณะที่ปล่อยโรเตอร์ให้เป็นอิสระโรเตอร์ถูกเร่งให้หมุนในทิศของการหมุน ของสนามแม่เหล็ก ขณะที่วัตถุเร็วความเร็วสัมพันธ์ของสนามเทียบกับโรเตอร์จะลดลงอย่างรวดเร็ว จึงเป็นเหตุให้ค่า

และความถี่แรงดันเหนี่ยวนำลดลง เพราะแท่งโรเตอร์หมุนตัดสนามข้าง ในขณะเริ่มต้นกระแสโรเตอร์จะมีค่ามาก และลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อมอเตอร์มีอัตราเร็วเพิ่มขึ้น ดังนั้นโรเตอร์จะต้องไม่คงกระแสลือโรเตอร์ไว้ชั่วขณะหนึ่ง

ในขณะที่ มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสมีสนามหมุนได้ที่สามารถกระตุ้นมอเตอร์ มอเตอร์เฟสเดียวก็ต้องการ การกระตุ้นเหมือนกัน เมื่อมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวกำลังหมุน จะทำให้สนามแม่เหล็กหมุนได้ที่อัตรากำลังม้าที่ เท่ากัน มอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวจะมีขนาดใหญ่กว่ามอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส ดังนั้นจึงมีข้อจำกัดในการ ประยุกต์ ในขณะที่มอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวหมุน ค่าทอร์กที่เกิดขึ้นจะเกิดเป็นจังหวะไม่ต่อเนื่อง จึงทำให้ได้กำลัง น้อยกว่ากรณีของมอเตอร์หลายเฟส

ทิศทางการหมุนของสนาม สเตเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสจะขึ้นอยู่กับลำดับของเฟส สนามโรเตอร์ จะตั้งคู่โดยสนามโรเตอร์ ดังนั้นโรเตอร์จะหมุนในทิศเดียวกับทิศทางของสนาม สเตเตอร์ การเปลี่ยนแปลงสองใน สามเฟสหน้าหน้าการจ่ายกระแสให้กับโรเตอร์จะกลับการลำดับของเฟส และทำให้โรเตอร์หมุนกลับทิศ

ข้อสำคัญควรจำได้แก่ การหาอัตราเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ซึ่งหาได้จากจำนวนขั้วกับความถี่ของ แหล่งจ่ายไฟ อัตราเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบทางกระบอกจะมีค่าคงที่ตามธรรมชาติของมัน มอเตอร์เหนี่ยวนำ แบบทางกระบอกที่มีอัตราเร็วหลาย ๆ ค่าได้รับการผลิตโดยมีขดลวดสเตเตอร์ซึ่งมีจำนวนนี้อาจจะเปลี่ยนไปได้จาก การต่อจากภายนอก มอเตอร์ที่มีอัตราเร็วหลาย ๆ ค่าอาจจะมีอัตราเร็วเพียงสองหรือมากกว่า ซึ่งหาได้จากการต่อ เข้ากับมอเตอร์ มอเตอร์อัตราเร็วสองจังหวะมักจะมีขดลวดเพียงขดเดียว ซึ่งทำการต่อให้มีค่าอัตราเร็ว 2 ค่า ซึ่งค่า หนึ่งจะเป็นครึ่งหนึ่งของอีกค่าหนึ่ง แสดงดังรูป



รูปการต่อขดลวดของมอเตอร์เหนี่ยวนำทางกระบอกแบบอัตราเร็วหลายค่า

มอเตอร์เหนี่ยวนำแบบขดลวดพันรอบโรเตอร์ ใช้ในงานที่ต้องการแปรค่าอัตราเร็วได้ สเตเตอร์จะ ประกอบด้วยขดลวดเฟสเดียวสามขด ซึ่งมีตีกีทางไฟฟ้าเป็น 120 องศา ต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟสามเฟสแสดงดัง ภาพโรเตอร์สามเฟสจะมีสายออกมาต่อกับสลีปริง (slip ring) อัตราเร็วของขดลวดโรเตอร์จะแปรไปได้ด้วยการแปรค่า ความต้านทานในวงจรโดยผ่านสลีปริง เมื่อความต้านทานในวงจรโรเตอร์มากขึ้น อัตราเร็วของมอเตอร์จะต่ำลงและ ถ้านำความต้านทานออกจากวงจรโรเตอร์ มอเตอร์จะหมุนโดยมีอัตราเร็วเต็มที่ การเพิ่มความต้านทานในวงจรโร เตอร์จะทำให้กระแสกระตุ้นลดลง ทำให้เกิดค่าทอร์กกระตุ้นสูง เพาเวอร์แฟคเตอร์ของมอเตอร์ชนิดนี้จะต่ำลงเมื่อไม่ มีโหลดและจะสูงเมื่อมีโหลดเต็มที่ การกลับทิศการหมุนของมอเตอร์ทำได้ด้วยการสลับสายป้อนแรงดัน

ข้อได้เปรียบและเสียเปรียบของมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบขดลวดพันรอบโรเตอร์มีดังนี้

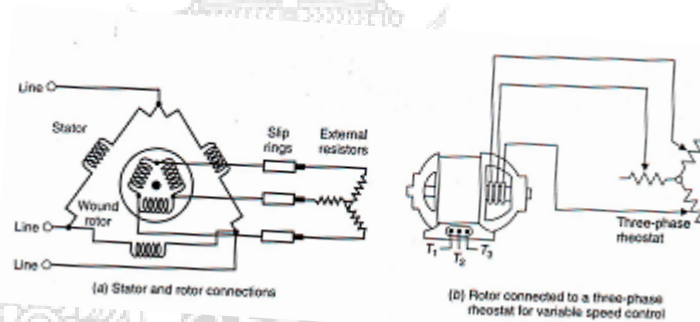
ข้อได้เปรียบ

1. ทอร์กกระตุ้นสูงขณะที่ใช้กระแสกระตุ้นต่ำ
2. มีอัตราแรงคงที่เมื่อมีโหลดมาก ๆ
3. ในช่วงเวลากระตุ้นจะไม่มีความร้อนผิดปกติ
4. สามารถปรับอัตราเร็วได้ดีเมื่อใช้งานกับโหลดที่คงที่

ข้อเสียเปรียบ

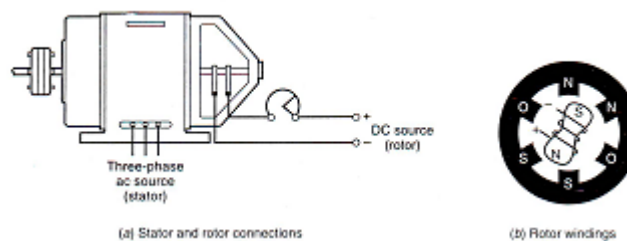
1. ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา
2. การปรับอัตราเร็วได้ไม่ดัดนัก เมื่อใช้งาน เมื่อมีความต้านทานในวงจรโรเตอร์

มอเตอร์ซิงโครนัสเป็นมอเตอร์ที่มีอัตราเร็วคงที่ไม่ว่าจะมีโหลดหรือไม่มีโหลด อัตราเร็วนี้เท่ากับอัตราเร็วการหมุนของสนามแม่เหล็ก มอเตอร์ซิงโครนัสจะใช้สเตเตอร์ทั้งแบบสามเฟสและเฟสเดียว เพื่อผลิตสนามแม่เหล็กที่หมุนได้ และโรเตอร์แม่เหล็กไฟฟ้าจะมีกระแสตรงป้อนเข้า โรเตอร์จะทำงานคล้ายกับแม่เหล็กและดึงดูดกับสนามสเตเตอร์ที่กำลังหมุน การดึงดูดกันจะทำให้เกิดค่าทอร์กต่อโรเตอร์ และทำให้หมุนสนามได้ มอเตอร์ซิงโครนัสจะไม่กระตุ้นด้วยตัวเอง อัตราเร็วจะถูกกระตุ้นให้มีอัตราเร็วซิงโครนัสก่อนที่จะคงหมุนต่อไปด้วยอัตราเร็วที่คงที่นั้นโดยตัวมันเอง



รูปมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบขดลวดพันรอบโรเตอร์สามเฟส

ในกรณีมอเตอร์ซิงโครนัสสามเฟส แสดงดังภาพที่ 2.26 ตัวโรเตอร์จะมีขดลวดเป็นสองขด ขดลวดกระแสลึบอาจจะเป็นแบบทางกระบอกสลับอาจจะเป็นแบบทางกระบอกหรือเป็นแบบขดลวดโรเตอร์ และขดลวดกระแสลึบ



รูปมอเตอร์ซิงโครนัส สามเฟส

ขดลวดกระแสสลับจะเร่งให้มอเตอร์มีความเร็วซิงโครนัส ซึ่งเป็นจุดที่ขดลวดกระแสตรงจะถูกกระตุ้นและมอเตอร์จะลื่นไถลเป็นจังหวะกับการหมุนของสนาม ขดลวดสเตเตอร์จะมีความคล้ายคลึงกับมอเตอร์หลายเฟสแบบทางกระรอกและมอเตอร์ที่มีขดลวดโรเตอร์

มอเตอร์ซิงโครนัสไม่สามารถได้รับการกระตุ้นด้วยสนามกระแสตรง ภายใต้เงื่อนไขดังกล่าว ทอร์กกระแสสลับเกิดขึ้นในโรเตอร์ ในขณะที่สนามสเตเตอร์กวาดตัดผ่านโรเตอร์ มันจะพยายามให้โรเตอร์พยายามหมุนโดยมีทิศตรงข้ามกับทิศการหมุนของสนามจากนั้นจะหมุนในทิศเดียวกับสนาม เหตุการณ์เช่นนี้เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้โรเตอร์อยู่นิ่งได้

การกระตุ้นมอเตอร์ซิงโครนัส โรเตอร์จะถูกปล่อยไว้ไม่ให้ถูกกระตุ้นมอเตอร์ จะถูกกระตุ้นในลักษณะเดียวกันกับมอเตอร์แบบทางกระรอกหรือมอเตอร์ที่มีขดลวดโรเตอร์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับโครงสร้างของโรเตอร์เมื่อโรเตอร์มีอัตราเร็วประมาณ 95 % ของอัตราเร็วของมอเตอร์ซิงโครนัส จะมีกระแสตรงป้อนให้กับขดลวดกระตุ้นกระแสตรงจะทำให้เกิดขั้วเหนือและขั้วใต้ในโรเตอร์ ซึ่งจะลื้อคสนามแม่เหล็กของสเตเตอร์และทำให้โรเตอร์มีอัตราเร็วเป็นอัตราเร็วซิงโครนัส

มอเตอร์ซิงโครนัสสามเฟสจะนำไปใช้การแก้ไขเพาเวอร์แฟคเตอร์ มอเตอร์ที่ทำงานในลักษณะนี้มีชื่อเรียกว่า คาปาซิเตอร์ซิงโครนัส มอเตอร์แบบทางกระรอกและมอเตอร์แบบขดลวดโรเตอร์จะเป็นแบบมอเตอร์อินดักทีฟ ทำให้เกิดการแลกกิง (lagging) เพาเวอร์แฟคเตอร์ เราแก้ไขแลกกิงเพาเวอร์แฟคเตอร์ได้ด้วยการกระตุ้นโรเตอร์อย่างมาก ผลที่ได้จะทำให้เพาเวอร์แฟคเตอร์ล้าหน้า และจะหักล้างแลกกิงเพาเวอร์แฟคเตอร์(ซึ่งไม่ค่อยใช้กัน) เมื่อมีการกระตุ้นสนามปกติ มอเตอร์ซิงโครนัสจะหมุนด้วยเพาเวอร์แฟคเตอร์เป็นหนึ่งโดยทั่วไปมอเตอร์ซิงโครนัสจะใช้ในการขับเคลื่อนโหลดที่ต้องการมีอัตราเร่งที่คงที่และจะไม่กระตุ้นหรือหยุดบ่อยนักโหลดปกติสำหรับมอเตอร์ซิงโครนัสได้แก่ เจนเนอเรเตอร์กระแสตรง โบว์เวอร์ และคอมเพรสเซอร์

การเลือกมอเตอร์ การติดตั้ง และการบำรุงรักษา

อัตรากำลังเชิงกลของมอเตอร์ระบุเป็นกำลังม้าหรือเป็นวัตต์ โดยที่ 1 กำลังม้า = 746 วัตต์ แฟคเตอร์ที่สำคัญสองประการที่ใช้หาลำดับเข้าที่พู่เชิงกลคือทอร์กและอัตราเร็วทอร์กเป็นปริมาณที่ปิดหรือเปลี่ยนกำลัง โดยปกติจะระบุเป็นหน่วยปอนด์ต่อฟุต (lb/ft) อัตราเร็วของมอเตอร์จะระบุเป็นรอบต่ออนาที (rpm) ฉะนั้น

$$\text{Horsepower} = \frac{\text{Speed} \times \text{Torque}}{5252} \quad (2.20)$$

(in rpm) × in lb/ft

ดังนั้นไม่ว่าเป็นมอเตอร์ชนิดใด ๆ กำลังม้าจะอยู่กับอัตราเร็ว มอเตอร์ที่มีอัตราเร็วต่ำ จะมีค่าทอร์กมากเพื่อให้ได้กำลังเท่าเดิม เพื่อให้ทนต่อค่าทอร์กมาก ๆ มอเตอร์ที่มีอัตราเร็วต่ำ จำเป็นต้องมีคอมโพเนนต์ที่แข็งแรงกว่ากรณีของมอเตอร์อัตราเร็วสูง เพื่อให้อัตรากำลังเท่าเดิม มอเตอร์อัตราเร็วต่ำจะมีขนาดใหญ่ น้ำหนักมากและมีราคาแพงกว่ามอเตอร์อัตราเร็วสูงเมื่อมีกำลังเท่ากัน ปริมาณค่าทอร์กที่เกิดจากมอเตอร์จะแปรตามอัตราเร็วและชนิดของมอเตอร์ที่ออกแบบไว้ต่าง ๆ กัน แสดงดังกราฟแสดงค่าทอร์กที่สัมพันธ์กับอัตราเร็ว แฟคเตอร์ที่สำคัญบางตัวที่ระบุโดยกราฟดังกล่าว ประกอบด้วย

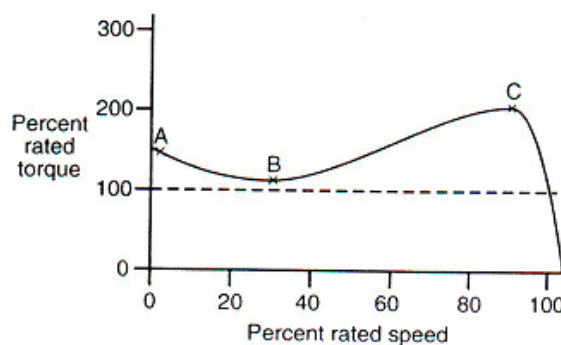
1. ทอร์กกระตุ้น เป็นทอร์ก ขณะอัตราเร็วเป็นศูนย์
2. ทอร์ก ดึง(pull-up-torque) เป็นค่าทอร์กน้อยที่สุดที่เริ่มเร่งให้มอเตอร์หมุน

3. เบรกตาวินท์ทอร์ค(breakdown torque) เป็นค่าทอร์คสูงสุดที่มอเตอร์จะผลิตก่อนการติดตั้ง

ประสิทธิภาพกำลังของมอเตอร์ไฟฟ้าหาได้จาก

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

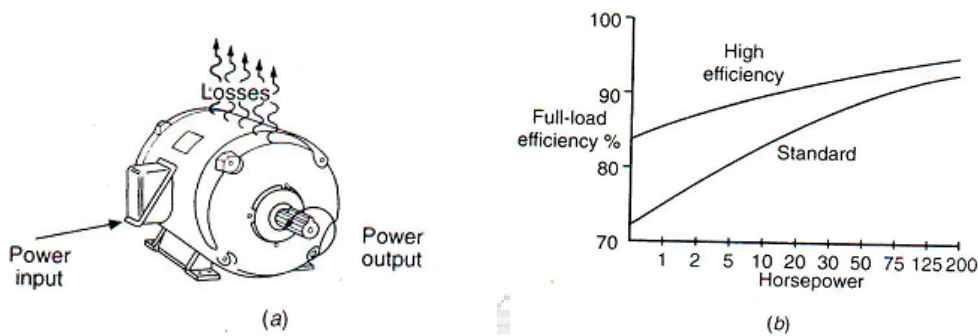
$$= \frac{Power\ output}{Power\ input + loss}$$



รูปภาพทอร์คและอัตราเร็ว

เนื่องจากการสูญเสียกำลัง เข้าที่พุดเชิงกลที่ผลิตได้ของมอเตอร์จะน้อยกว่าอินพุทไฟฟ้า ความร้อนเป็นตัวแปรที่กำหนดหาเข้าที่พุดของมอเตอร์เป็นกำลังม้า อินพุทที่ป้อนให้กับมอเตอร์อาจจะส่งผ่านทางเพลลาและกำลังเข้าที่พุด หรือการสูญเสียเป็นความร้อนต่อมอเตอร์ ประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 75 และ 98 เปอร์เซ็นต์ ประสิทธิภาพพลังงานของมอเตอร์ ดังแสดงในแสดงดังภาพ (b) จะมีค่าน้อย ทำให้การทำงานและมีการสูญเสียในรูปความร้อนลดลง ดังนั้นอินพุทไฟฟ้าที่จะให้ได้กำลังเข้าที่พุดเชิงกลน้อยลงกรณีเช่นนี้จะทำให้มีการเพิ่มประสิทธิภาพด้วยการใช้วัสดุที่เหมาะสมกับมอเตอร์ การใช้วัสดุที่เหมาะสมและการออกแบบที่เหมาะสม การสูญเสียที่เกิดขึ้นในมอเตอร์ประกอบด้วย

1. การสูญเสียที่คอร์ (core loss) เป็นการสูญเสียที่ไปเหนี่ยวนำให้เกิดเป็นแม่เหล็กของแกน (ฮิสทีรีซิส) และการสูญเสียที่ทำให้เกิดกระแสขนาดเล็ก ๆ ซึ่งเรียกว่ากระแสเอ็ดดี้ที่ไหลในคอร์
2. การสูญเสียที่สเตเตอร์ (stator loss) ความร้อน I^2R สูญเสียในขดลวดสเตเตอร์ ขณะที่กระแส I ไหลผ่านขดลวดตัวนำที่มีความต้านทาน R
3. การสูญเสียในโรเตอร์ การสูญเสีย I^2R ในขดลวดโรเตอร์
4. การสูญเสียที่โหลดกระจาย เป็นผลที่เกิดจากการรั่วของฟลักซ์ เหนี่ยวนำโดยกระแสไหลและมีค่าแปรเปลี่ยนไปตามกระแสโหลดยกกำลังสอง
5. การสูญเสียเนื่องจากความเสียดทาน การสูญเสียชนิดนี้เกิดขึ้นจากความเสียดทานของอากาศและของตลับลูกปืนที่ต่อต้านการหมุนของโรเตอร์



รูปประสิทธิภาพมอเตอร์

กำลังเป็น kW ที่ต้องการจะต้องเป็นไปตามขนาดของมอเตอร์ แต่ kVAR ที่ต้องการที่ขึ้นอย่างรวดเร็วกับขนาดมอเตอร์ที่ใหญ่ขึ้น จึงเป็นผลให้กำลังเป็น kVA ที่ต้องการ ขึ้นอยู่กับสวิตช์เกียร์ และสายไฟที่ใช้จะมีขนาดเพิ่มขึ้น ชีตจำกัดของขนาดมอเตอร์จะอยู่ประมาณ 75 หรือ 90 เปอร์เซ็นต์ของโหลด ซึ่งจะทำให้ได้ด้วยการเลือกมอเตอร์เหนี่ยวนำที่มีขนาดต่าง 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° จากแนวตั้ง จะมีการดูดอากาศผ่านมอเตอร์เพื่อการหล่อเย็น
2. TEFC (totally enclosed fan cooled) เป็น TEFC ใช้ในการป้องกันฝุ่นและการกัดกร่อนเนื่องจากสภาวะแวดล้อม จะมีการพัดอากาศโดยพัดลมเล็ก ๆ
3. การป้องกันการระเบิด (Explosion prove) เป็น TEFC มอเตอร์ที่ใช้ในสภาวะแวดล้อมที่มีการเกิดเพลิงไหม้ ซึ่งสามารถทนต่อการระเบิดของก๊าซภายในโดยไม่มีก๊าซจากภายนอก ซึ่งทำให้เกิดประกายไฟ

มอเตอร์เหนี่ยวนำมีระบบมาตรฐานตามคุณลักษณะของทอร์ค ระบุเป็น NEMA(National Electrical Manufacturers Association) โดยระบุเป็นระดับ A , B , C , D , E หรือ F การออกแบบที่เราจะเลือกใช้จะต้องมีค่าทอร์คเพียงพอที่จะกระตุ้นโหลดและเร่งให้มีอัตราเร็วเต็มที่

ตาราง 2.3 แสดงคุณลักษณะทอร์คสำหรับ NEMA ต่างๆ

มอเตอร์เหนี่ยวนำแบบทางกระรอกเป็นมอเตอร์ที่ซับซ้อนน้อยที่สุด มีความน่าเชื่อถือสูงเพราะว่ามีส่วนหุ้มขดลวดโรเตอร์ และไม่มีชิ้นแปรง กระแสกระตุ้นขนาดใหญ่จะทำให้กระตุนมอเตอร์ทำให้เกิดการกระเพื่อมแรงดัน มอเตอร์เหนี่ยวนำแบบทางกระรอก(NEMA design B) เป็นที่นิยมใช้ มอเตอร์ NEMA design B ใช้มากในการขับเคลื่อนพัดลม บีบเซนตริฟูกัล (centrifugal pump)

มอเตอร์ที่มีทอร์คกระตุ้นสูง (NEMA design C) ใช้เมื่อเงื่อนไขการกระตุ้นที่ยุ่งยากลิฟต์และก้านจุดที่ต้องกระตุ้นอินเตอร์โหลด มีการประยุกต์สองประการ โดยทั่วไปมอเตอร์เหล่านี้จะมีโรเตอร์เป็นคู่ ดังตาราง

ตารางมอเตอร์ที่มีทอร์คกระตุ้นสูง (NEMA design C)

มอเตอร์สลิปสูง (NEMA design D) ได้รับการออกแบบที่ให้ค่าทอร์คกระตุ้นที่สูงและกระแสกระตุ้นต่ำ มอเตอร์ชนิดนี้มีความต้านทานสูงและทำงานได้ระหว่าง 85 ถึง 95 เปอร์เซ็นต์ของอัตราเร็วซิงโครนัส มอเตอร์ประเภทนี้จะขับเคลื่อนโหลดที่มีความเฉื่อยสูงซึ่งใช้เวลานานมากที่จะถึงอัตราเร็วเต็มที่ ความต้านทานทางกระรอกจะทำด้วยทองเหลืองและมอเตอร์ได้รับการออกแบบไว้เพื่อการทำงานไม่ต่อเนื่อง ทั้งนี้ป้องกันโอเวอร์ฮีท

ฉนวนมอเตอร์ จำแนกออกเป็นอักษรตามที่จะทนอุณหภูมิได้โดยไม่ก่อให้เกิดการเสียหายอย่างรุนแรง ทั้งนี้เนื่องจากสมบัติของฉนวนอัตราทนอุณหภูมิของฉนวนมีมาตรฐานที่ 40°C

Induction Motor Design	Starting Torque	Starting 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

ตารางแสดงการเพิ่มอุณหภูมิเหนืออุณหภูมิสูงสุดของฉนวนแต่ละชนิด

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°C และอุณหภูมิขณะที่มอเตอร์ทำงานสามารถจะขึ้นถึงได้ แม้ว่าฉนวนส่วนใหญ่จะไม่ไหม้หรือละลายแม้ว่าจะถึงอุณหภูมิเกินขีดจำกัด ผลที่ปรากฏจะทำให้ฉนวนใช้งานได้ลดลงชนิดฉนวนมอเตอร์ที่นิยมใช้แบบคลาส B

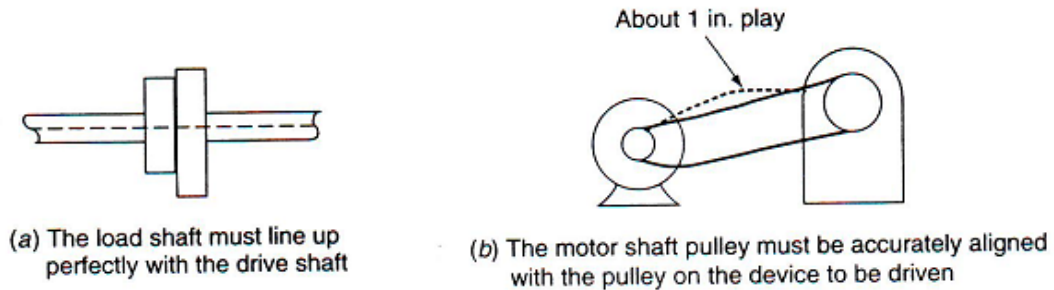
มีต้นจากลูกปืนสองชนิดที่ใช้มอเตอร์ไฟฟ้า ได้แก่ แบบตลับลูกปืนสลีฟ (sleeve bearing) และแบบบอลล์ (ball bearing) ตลับลูกปืนสลีฟประกอบด้วยทรงกระบอกด้วยทรงกระบอกทองเหลือง ใต้และรีเซอร์วัวร์ (reservoir) เพลลาของมอเตอร์จะหมุนในสลีฟทองเหลือง มีการหล่อลื่นด้วยน้ำจากซีเซอร์วัวร์ผ่านทางใต้ ซึ่งเป็นทางผ่านน้ำมันจากรีเซอร์วัวร์ไปยังสลีฟ ตลับลูกปืนชนิดนี้ใช้กับมอเตอร์ที่ใช้งานเบา ๆ ซึ่งควรมีการหล่อลื่นอย่างน้อยทุก ๆ 6 เดือน หรือทำตามรายละเอียดที่กำหนดไว้

ตลับลูกปืนแบบบอลล์ประกอบด้วยลูกปืนภายในและภายนอก ตามวงวางชั้นในและชั้นนอก ตลับลูกปืนแบบที่ใช้กับโหลดหนัก ๆ และมี 3 ชนิดคือ : มีการหล่อลื่นอย่างถาวร แชน-แพค และแบบที่มีการหล่อลื่นในขณะติดตั้ง กรณีที่ไม่มีมีการหล่อลื่นมอเตอร์จะไม่เสียหาย เหตุผลสำคัญคือถ้ามีการหล่อลื่นมากเกินไป จะทำให้มอเตอร์เสียหายได้ ถ้ามีการหล่อลื่นมากเกินไป เราจะตีวางชั้นในและเพื่อการหล่อลื่นให้กับมอเตอร์ ทำให้เกิดโอเวอร์ฮีทในมอเตอร์

นอกเหนือจากการหล่อลื่นแล้ว แพคเตอร์ที่สำคัญคือการจัดแนว (alignment) ให้มอเตอร์กับโหลด แสดงดังภาพในกรณีของมอเตอร์ต่อกับโหลดโดยตรง เพลลาของโหลดจะต้องอยู่ในแนวเดียวกับเพลลาขับ แสดงดังภาพที่ (a) กรณีที่เป็นระบบสายพาน จะต้องมีการจัดแนวและแรงตึงในสายพานให้เหมาะสมสายพานจะต้องปรับให้ได้เพียงพอต่อการป้องกันการลื่น ถ้าแรงตึงมากเกินไปจะทำให้อายุการใช้งานของตลับลูกปืนสั้นลง เมื่อระบบสายพานมีมากกว่า 1 สายพาน ข้อสำคัญที่ควรกระทำคือต้องเปลี่ยนสายพานทั้งหมด แม้ว่าสายพานหนึ่งจะขาดไป ทั้งนี้เพื่อให้สายพานรับโหลดได้เท่าๆ กัน เมื่อเราจัดแนวของระบบได้ถูกต้องแล้วและจัดแรงตึงในสายพานได้เหมาะสม เราจำเป็นต้องตรวจสอบกระแสกระตุ้นมอเตอร์เพื่อตรวจสอบว่ากระแสจะไม่เกิดกระแสเมื่อมีโหลดเต็มที่

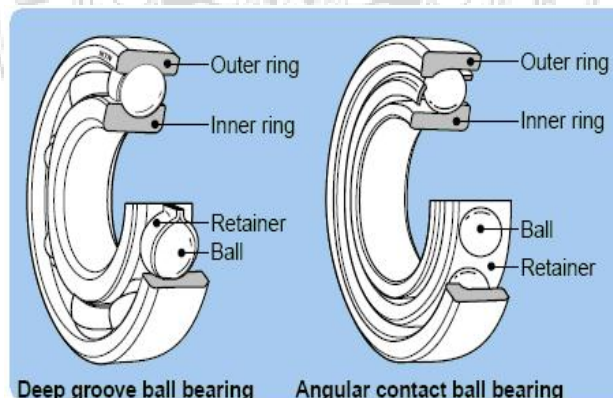
ระบบขับเคลื่อนด้วยสายพานมีประโยชน์มากเพราะมอเตอร์ที่มีอัตราเร็วมาตรฐานสามารถขับเคลื่อนโหลดให้มีอัตราเร็วที่กำหนดได้ ทั้งนี้กระทำได้โดยใช้อัตราส่วน รอก/อัตราเร็ว สูตรที่ใช้ในการคำนวณอัตราเร็วและขนาดของรอกคือ

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



รูป มอเตอร์และการจัดไหลด

ภาระที่กระทำในเครื่องจักรกล สามารถจำแนกออกได้เป็นภาระในแนวรัศมีและภาระในแนวแกน ตลับลูกปืนที่ใช้ในการรองรับจำเป็นที่จะต้องรับภาระที่กระทำทั้งสองแกนหรือแนวใดแนวหนึ่ง การออกแบบรูปร่างของตลับลูกปืนจึงต้องออกแบบให้โครงสร้างของตลับลูกปืนเหมาะสมต่อขนาดและทิศทางของการรับภาระที่กระทำ ดังนั้นตลับลูกปืนที่มีอยู่ในท้องตลาดจึงมีรูปร่างและโครงสร้างต่างๆ กัน ด้วยเหตุที่ตลับลูกปืนมีชนิดและขนาดต่างกันเป็นจำนวนมาก จึงจำเป็นต้องกำหนดตลับลูกปืนขึ้นเป็นมาตรฐาน เพื่อสะดวกต่อการออกแบบเครื่องจักรกล ตลับลูกปืนทั่วไปจะประกอบไปด้วยแหวนสองส่วนคือ แหวนใน (Inner ring) และแหวนนอก (Outer ring) (แหวนในจะใช้สวมเข้ากับเพลลา และแหวนนอกจะยึดอยู่ในตัวเรือน) มีลูกกลิ้งแบบเม็ดกลม (ball) หรือแบบเม็ดทรง กระบอก (Roller) อยู่ระหว่างแหวนในและแหวนนอกโดยจะมีกรงหรือรัง (Cage) หรือเรียกว่า Retainer คั่นแยกลูกกลิ้ง ให้มีระยะห่างคงที่เมื่อแหวนใดแหวนหนึ่งหมุน ลูกกลิ้งก็จะกลิ้งอยู่ในรางของแหวน แหวนใน, แหวนนอกและเม็ดลูกปืน โดยทั่วไปจะทำจากโลหะคาร์บอนเกรดสูงชุบโครเมียม ดังรูปที่ 2.30



รูปโครงสร้างของตลับลูกปืน

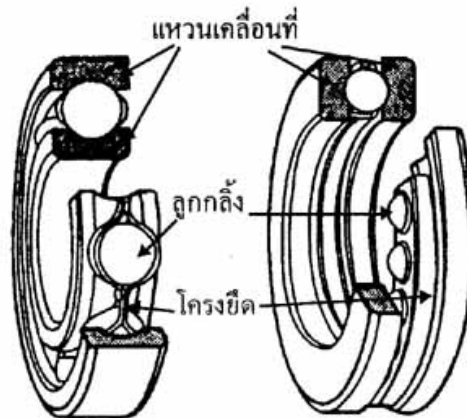
ตลับลูกปืนและชุดตลับลูกปืน



รูปตลับลูกปืน

1. ชนิดของตลับลูกปืน

ตลับลูกปืนที่ใช้เป็นชิ้นส่วนเครื่องจักรกลหลายชนิด แต่ละชนิดจะมีความแตกต่างกันตามรูปร่างของลูกปืนหรือลูกกลิ้งที่อยู่ภายใน โดยที่ทั่วไปลูกปืนหนึ่งตัวจะประกอบด้วยส่วนต่างๆดังรูป



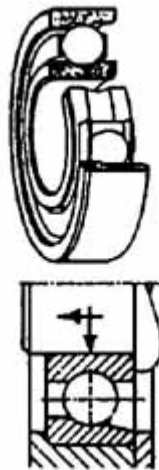
รูปตลับลูกปืนและส่วนประกอบ

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



รูปตลับลูกปืนชนิดกลม

1.2 ตลับลูกปืนชนิดลูกกลิ้งกลมแบบมีปากกับฐาน(SHOULDER BALL BEARING)เป็นตลับลูกปืนที่มีลูกกลิ้งกลมที่สามารถรับแรงตามแนวรัศมี และรับแรงตามแนวแกนในหนึ่งทิศทางได้ ตลับลูกปืนแบบนี้ส่วนใหญ่จะนิยมนำมาประกอบเป็นคู่เพื่อให้เกิดการต้านกันเอาไว้ ตลับลูกปืนแบบนี้มีลักษณะรูปร่าง ดังรูป



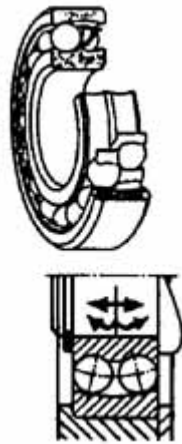
รูปตลับลูกปืนชนิดลูกกลิ้งกลมแบบมีปากกับฐาน

1.3 ตลับลูกปืนชนิดลูกกลิ้งกลมแบบเฉียง(ANGULAR CONTACT BALL BEARING)เป็นตลับปืนที่มีลูกกลิ้งกลมที่สามารถรับแรงตามแนวรัศมี และรับแรงตามแนวแกนในหนึ่งทิศทางได้ ตลับลูกปืนแบบนี้เป็นส่วนจะนิยมนำมาประกอบเป็นคู่เพื่อให้เกิดการต้านกันเอาไว้เช่นเดียวกับตลับลูกปืนชนิดลูกกลิ้งกลมแบบมีปากกับฐาน ตลับลูกปืนแบบนี้มีลักษณะรูปร่างดังรูป



รูปตลับลูกปืนชนิดลูกกลิ้งกลมแบบเฉียง

1.4 ตลับลูกปืนชนิดลูกกลิ้งแบบแกว่งปรับศูนย์(SELF-ALIGNING BALL BEARING)เป็นตลับลูกปืนที่มีลูกกลิ้งกลม ใช้สำหรับรับแรงตามแนวรัศมีและแนวแกนทั้งยังสามารถให้เพลลาที่เบี่ยงเบนไปจากศูนย์ และเพลลาที่รับการตงอได้ ตลับลูกปืนแบบนี้มีลักษณะ ดังรูป



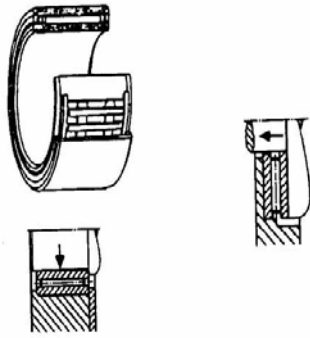
รูปตลับลูกปืนชนิดลูกกลิ้งกลมแบบแกว่งปรับศูนย์

1.5 ตลับลูกปืนชนิดลูกกลิ้งป้อม(BARREL TYPE ROLLER BEARING)ตลับลูกปืนที่มีลูกกลิ้งกลม ใช้สำหรับรับแรงตามแนวรัศมีและแนวแกน ทั้งยังสามารถใช้กับเพลลาที่เบี่ยงเบนไปจากศูนย์ และเพลลาที่รับการตงอได้เดียวกันแบบแกว่ง ปรับศูนย์

1.6 ตลับลูกปืนชนิดลูกกลิ้งเรียว (TAPERED ROLLER BEARING) เป็นตลับลูกปืนที่มีลูกกลิ้งเรียว ตลับลูกปืนนี้สามารถแยกชิ้นส่วนได้ ใช้สำหรับรับแรงตามแนวรัศมีและแนวแกนได้ นิยมนำมาประกอบเป็นคู่ให้ย้อนทิศทาง

1.7 ตลับลูกปืนชนิดลูกกลิ้งโค้ง(SPHERICAL ROLLER BEARING)เป็นตลับลูกปืนที่มีลูกกลิ้งโค้งปรับแนวรับได้ มีลักษณะการใช้งานเหมือนกับตลับลูกปืนเม็ดลูกกลิ้งกลมสามารถรับแรงในแนวแกนได้ สามารถรับแรงในแนวแกนได้มากกว่า

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



รูปตลับลูกปืนชนิดลูกกลิ้งเข็ม

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

1.10 ตลับลูกปืนชนิดลูกกลิ้งโค้งรับแรงแนวแกน (SPHERICAL ROLLER THUST BEARING) เป็นตลับลูกปืนที่ลูกกลิ้งโค้งรับแรงแนวแกนจากรูปทรงลูกปืนแบบลูกกลิ้งโค้ง ทำให้สามารถรับแรงแนวรัศมีได้เล็กน้อย และยังสามารถเลื่อนปรับตัวเองได้หากเกิดการแฉ่งหนีศูนย์

1.11 ตลับลูกปืนชนิดลูกกลิ้งโค้งรับแรงแนวแกน 2 ทิศทาง (THUST BALL BEARING DOUBLE DIRECTION) เป็นตลับลูกปืนลูกกลิ้งกลมรับแรงแกน 2 ทิศทาง มีแหวนรองเป็นวงโค้งของลูกกลิ้งทั้ง 2 ด้าน สามารถรับแรงแนวแกนได้ทั้ง 2 ทิศทาง

วัสดุที่ใช้ทำตลับลูกปืน

ตลับลูกปืนที่ใช้เป็นชิ้นส่วนของเครื่องจักรกลทำจากวัสดุที่มีคุณภาพสูงเพื่อให้สามารถใช้งานได้ดีและคงทนถาวรได้ยาวนาน ดังนั้นวัสดุที่ใช้ทำตลับลูกปืน ได้แก่ รางและลูกกลิ้งของตลับลูกปืน ส่วนมากจะทำด้วยเหล็กที่มีคาร์บอนสูง ผสมกับโครเมียม จากนั้นใช้กรรมวิธีทางความร้อนช่วยเพิ่มความแข็งให้กับวัสดุเพื่อเพิ่มอายุการใช้งานและทนต่อการสึกหรอได้ดี

ขนาดของตลับลูกปืน

ขนาดของลูกปืนได้มีการกำหนดไว้เป็นมาตรฐาน ดังนั้นทางปฏิบัติ ขนาดของตลับลูกปืนจะต้องเลือกมาจากคู่มือของตลับลูกปืนนั้นๆ ดังนี้

สิ่งที่สำคัญของตลับลูกปืนคือ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของรู ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก ความกว้าง และมุมต่างๆ โดยทั่วไปมักจะใช้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของรูเป็นหลัก และพิจารณาว่ามุมกับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางวงภายนอก และความหนาที่ต่างกันออกไป

ขนาดที่ระบุตลับลูกปืนจะประกอบไปด้วยตัวเลขหลักสัญลักษณ์ ได้แก่ สัญลักษณ์ ของชนิด สัญลักษณ์ ของขนาด

ตาราง 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

การใช้งานของตลับลูกปืน

ตลับลูกปืนแต่ละชนิดมีความสามารถในการใช้การต่างกัน เช่น ความสามารถในการรับโหลดในแนวรัศมี ความสามารถในการด้านความเร็ว ความสามารถในการด้านความถี่ ความสามารถในการสั่นสะเทือนและสิ่งดัง ดังรายละเอียด

- การรับโหลดในแนวรัศมี** ตลับลูกปืนที่ใช้กับเครื่องจักรกลรัศมีที่มีมุมสัมผัสระหว่างลูกกลิ้งและรางสามารถรับโหลดในแนวแกนได้บ้างเช่นกัน สำหรับแบบรางลึกและแบบลูกกลิ้งทรงกระบอกเรียวที่มีมุมสัมผัสมากสามารถรับโหลดในแนวแกนได้บ้าง ส่วนแบบที่สามารถปรับตัวเองได้นั้น ลูกกลิ้งกลมหรือทรงกระบอกกลม สามารถจัดตำแหน่งของตัวเองตามการโก่งตัวของเพลลาแต่ชนิดนี้สามารถรับโหลดในแนวแกนได้น้อยกว่าแบบที่กล่าวมาแล้ว
- ด้านความเร็ว** ตลับลูกปืนมีขีดจำกัดทางด้านความเร็ว คือ ตัวเลขที่ได้จากผลคูณระหว่างความโตของเพลลาด้วยความเร็ว และชนิดของตลับลูกปืน แต่ส่วนมากตลับลูกปืนแบบลูกกลิ้งกลมที่ร่างลึกหรือสัมผัสได้นั้น ลูกกลิ้งกลมหรือทรงกระบอกกลม สามารถจัดตำแหน่งของตัวเองตามการโก่งตัวของเพลลาแต่ชนิดนี้สามารถรับโหลดในแนวแกนได้น้อยกว่าแบบที่กล่าวมาแล้ว

ตาราง ค่าตัวเลขขีดจำกัดของผลคูณระหว่างความโตเพลลาด้วยความเร็ว

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
ตลับลูกปืนแบบลูกกลิ้งกลมรับโหลดในแนวแกน	60,000	90,000

หมายเหตุ จากค่าในตารางเป็นขีดจำกัดที่ใช้กันอย่างต่อเนื่องภายใต้การทำงานแบบธรรมดา

3. **ด้านความผิดปกติของลูกปืนแบบลูกกลิ้งหรือลูกกลิ้งทรงกระบอกกลมจะมีค่าความผิดจะเป็นแฟคเตอร์ที่สำคัญที่ต้องพิจารณาในขณะออกแบบ**

4. **การสันสะท้อนและการส่งเสียงดัง** องค์ประกอบที่สำคัญของตลับลูกปืน คือ ความกลมของลูกกลิ้ง ความบริสุทธิ์ของน้ำมันหล่อลื่น และตัวประกอบอื่นๆที่รองลงมา เช่น ความถูกต้องในการประกอบ ความละเอียดในการผลิต ต้นเหตุของการสันสะท้อนและการส่งเสียงดังมีหลายอย่าง ปัจจุบันยังไม่สามารถเฉพาะตัว ของตลับลูกปืน

ทฤษฎีเกี่ยวกับเฟือง

ปัจจุบันเทคโนโลยีใหม่ๆ ได้ก้าวหน้าไปมาก ทำให้วงการอุตสาหกรรมต่างๆเจริญรุดหน้าไปมากขึ้นทุกที จะเห็นได้ว่าการผลิตอุปกรณ์ต่างๆ ก็ได้อาศัยเครื่องจักรที่ทันสมัยจนถึงขั้นผลิตด้วยเครื่องอัตโนมัติและควบคุมการผลิตด้วยสมองกล สินค้าหรือผลิตภัณฑ์ต่างๆ จึงสนองความต้องการของตลาดได้อย่างรวดเร็ว ผลิตภัณฑ์ชนิดหนึ่งที่เกือบทุกๆครอบครัวจะมีคือพวกของเล่นเด็ก ซึ่งถ้าเรามองเฉพาะตัวสินค้าแล้วก็จะเห็นมีมากมายหลายชนิด มีชนิดหนึ่งที่ได้รับ ความสนใจจากเด็กๆ คือของเล่นที่สามารถเคลื่อนไหวได้ ซึ่งจำลองจากของจริง เช่น รถ เครื่องบิน เรือ และหุ่นต่างๆ เครื่องเล่นเหล่านี้เคลื่อนไหวได้อย่างไร อะไรเป็นตัวที่ทำให้เกิดการเคลื่อนไหว ปัญหานี้หลายท่านก็คงจะตอบได้ว่า เพราะแบตเตอรี่ เพราะมอเตอร์ เพราะสปริง หรือต้นกำลังอื่นๆ ที่จะไปทำให้เกิดการขับเคลื่อนได้ แต่มีชิ้นส่วนที่สำคัญชนิดหนึ่งซึ่งจะขาดเสียไม่ได้ ก็คือ "เฟือง" ซึ่งเป็นตัวช่วยส่งกำลังหรือถ่ายทอดการหมุนจากต้นกำลังต่างๆ อันจะทำให้เกิดการเคลื่อนไหวได้

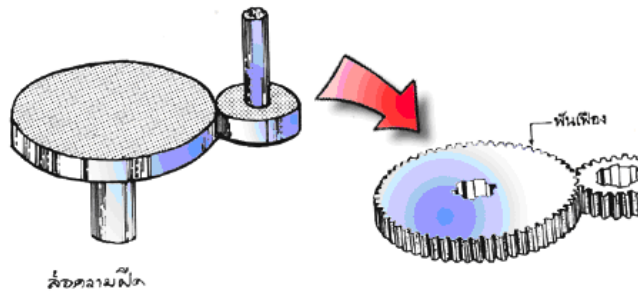
เฟืองคืออะไร

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

ปัญหานี้หลายท่านก็คงจะตอบได้ว่า เพราะแบตเตอรี่ เพราะมอเตอร์ เพราะสปริง หรือต้นกำลังอื่นๆ ที่จะไปทำให้เกิดการขับเคลื่อนได้ แต่มีชิ้นส่วนที่สำคัญชนิดหนึ่งซึ่งจะขาดเสียไม่ได้ ก็คือ "เฟือง" ซึ่งเป็นตัวช่วยส่งกำลังหรือถ่ายทอดการหมุนจากต้นกำลังต่างๆ อันจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่

หลักการของเฟืองเป็นอย่างไร

การถ่ายทอดการหมุนจากต้นกำลังนั้น ทำได้หลายวิธี เช่น ด้วยการใช้สายพาน โซ่ ล้อความผิด เป็นต้น ล้อความผิดก็คือ ล้อสองล้อที่ถูกกดให้ติดกัน เมื่อล้อหนึ่งหมุนหรือเป็นล้อขับ ก็จะทำให้ล้อหนึ่งหมุนตาม เพราะผิวหน้าของล้อทั้งสองเกิดความผิด เนื่องจากการสัมผัส แต่ถ้าหากมีภาวะมากๆ เช่น มีการส่งกำลังสูงๆ จะทำให้เกิดการลื่นไถล การส่งกำลังจึงไม่แม่นยำ เพื่อที่จะแก้ไขข้อเสียเหล่านี้จึงได้มีการนำเอาฟันเฟืองมาติดไว้ที่ผิวของล้อ โดยรอบล้อ จึงมีลักษณะเป็นล้อฟันเฟือง ซึ่งต่อๆมาเราจึงเรียกว่า "เฟือง" ซึ่งเป็นชิ้นส่วนที่สามารถส่งกำลังหรือถ่ายทอดการหมุนได้แม่นยำเที่ยงตรง และไม่มี การลื่นไถล ดังรูป

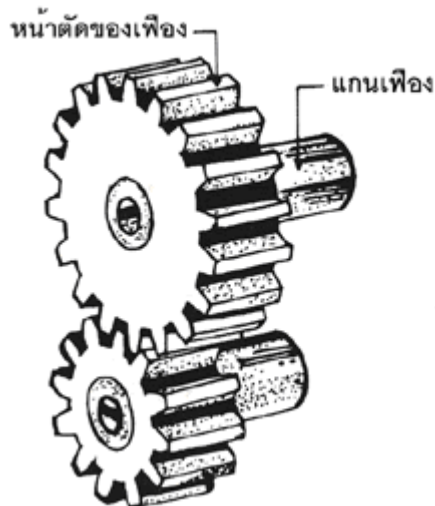


รูปหลักการของเฟือง

ชนิดของเฟือง

เฟืองตรง(Spur gear)

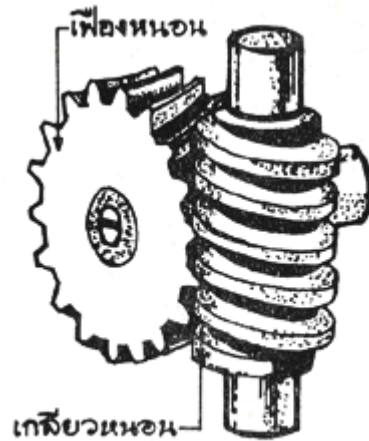
เป็นเฟืองที่มีลักษณะเป็นล้อทรงกระบอก มีฟันขนานกับแกนของตัวเฟือง มีหน้าตัดของฟันเฟืองขนานเท่ากัน และเหมือนกันตลอดทั้งเฟือง ดังรูปที่ 2.39



รูปเฟืองตรง

เฟืองหนอน (Worm gear)

เฟืองชนิดนี้จะประกอบด้วยตัวเกสียวหนอนและเฟืองหนอน โดยเกสียวหนอนจะส่งกำลังหมุนไปขับให้เฟืองหนอนหมุนตาม ดังรูปที่ 2.41 เฟืองชนิดนี้นิยมใช้กับการทดรอบความเร็วสูงๆ ให้เป็นความเร็วดำๆเช่น ในกรณีของการทดรอบจากมอเตอร์ซึ่งมีความเร็วสูง เป็นต้น



รูปเฟืองหนอน

เฟืองดอกจอก (Bevel gear)

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

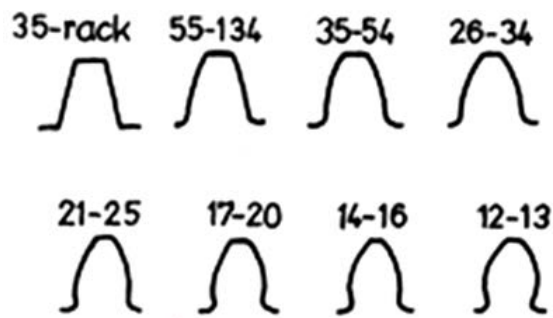


รูปเฟืองดอกจอก

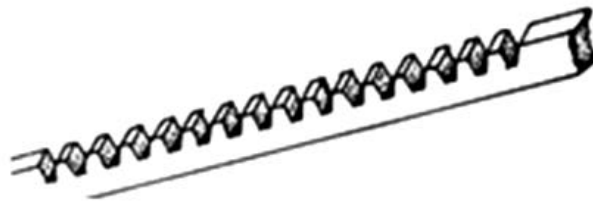
วิธีการผลิตเฟือง

การผลิตเฟืองเพื่อใช้ในการด้านกรดำเนิน ทำได้หลายวิธี เช่น การหล่อ การปั๊มขึ้นรูป การแปรรูปด้วยเครื่องจักร และการทำโมลด์พลาสติก เป็นต้น ซึ่งแต่ละวิธีนั้น ผู้ผลิตจะต้องคำนึงถึงต้นทุนการผลิต จำนวนที่ผลิต และชนิดของเฟือง แล้วมาเลือกหาวิธีไหนจึงจะเหมาะสมและประหยัดที่สุด ส่วนการผลิตเฟืองเพื่อทำต้นแบบซึ่งจะผลิตจำนวนไม่มาก ดังเช่นที่ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ซึ่งผลิตเฟืองเพื่อทำต้นแบบอุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์นั้น ถึงแม้ว่าจะมีข้อจำกัดในเรื่องประสิทธิภาพของเครื่องจักรและเรื่องชนิดของใบมีดกัดเฟือง แต่อย่างไรก็ตามก็ได้ประยุกต์ใช้เครื่องมือต่างๆ ที่มีอยู่ผลิตเฟืองขึ้นใช้ โดยมีขั้นตอนการผลิตดังจะได้อกล่าวต่อไป

ก่อนที่จะทราบขั้นตอนการผลิตเฟืองนั้น ควรจะได้รู้จักลักษณะรูปร่างของฟันเฟือง และระบบของเฟือง เสียก่อนว่า ฟันเฟืองที่จะผลิตนั้นมีลักษณะอย่างไร มีฟันกี่ฟันเฟือง เพราะลักษณะรูปร่างของฟันเฟืองนั้นมีหลายชนิด ดังรูปที่ขึ้นขึ้นอยู่กับจำนวนของฟันเฟือง เช่น เฟืองที่มีจำนวน 12 -13 ฟัน ก็จะมีลักษณะเป็นฐานคอด และฐานฟันเฟืองจะตรงเมื่อจำนวนฟันมีจำนวนมากขึ้นเรื่อยๆ จนมากที่สุด คือ เฟืองสะพาน (Rack gear) ซึ่งเป็นเฟืองที่มีฟันเรียงเป็นแนวเส้นตรง ดังรูป



รูป ลักษณะรูปร่างของฟันเฟือง



รูป เฟืองสะพาน

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

สำหรับขั้นตอนการผลิตเฟืองโดยวิธีกัดเฟืองด้วยเครื่องกัดนั้น พอจะสรุปวิธีการต่างๆ ได้ดัง ต่อไปนี้

1. การนำชิ้นงานไปกลึงปอก เพื่อให้ได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเฟืองตามต้องการ
2. นำชิ้นงานที่ปอกแล้วไปเข้าเครื่องกัดเฟือง เพื่อกัดเซาะฟันเฟืองตามระบบของเฟืองนั้นๆ
3. นำชิ้นงานที่ได้ถูกเซาะฟันเฟืองแล้วมาตัดเพื่อให้ได้ขนาดความหนาของเฟืองตามต้องการ

วิธีการดังกล่าวนี้เป็นวิธีที่ผลิตเฟืองชนิดเฟืองตรงเท่านั้น ส่วนเฟืองชนิดอื่นๆ จะมีวิธีแตกต่างออกไป อย่างไรก็ตามเฟืองตรงนี้จะเป็นเฟืองที่รู้จักและใช้กันมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์ และของเล่นเด็กจะใช้เฟืองตรงเป็นส่วนประกอบ

เมื่อทราบแล้วว่าเฟืองเป็นอย่างไร ก็สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวัน ตัวอย่างง่ายๆ เช่น เมื่อของเล่นเกิดขัดข้องเสียหาย แทนที่จะโยนทิ้งไปก็อาจตรวจสอบดูก่อน หากพบว่าเป็นปัญหาที่เกี่ยวกับเฟือง เช่น เฟืองขบกันไม่สนิทหรือติดขัด อาจจะไปหาซื้อเฟืองที่มีระบบ และขนาดเฟืองเหมือนของเดิมมาเปลี่ยน ซึ่งเป็นการประหยัดเงิน

การเคลื่อนที่

ลักษณะการเคลื่อนที่ของกลไกที่พบ แบบเป็น 3 แบบคือ

1. Continuous กลไกที่มีการเคลื่อนที่แบบ Continuous จะเคลื่อนที่จากตำแหน่งเริ่มต้นจนไปถึงตำแหน่งสุดท้าย คือ ครอบรอบแล้วเวียนมาตำแหน่งเริ่มต้น อีกครั้งหนึ่งในรอบต่อไปโดยที่ไม่มีการหยุดหรือเคลื่อนที่ย้อนกลับเลย ในระหว่างรอบของการเคลื่อนที่
2. Intermittent ถ้ากลไกมีการหยุดในระยะเวลาหนึ่งระหว่างรอบของการเคลื่อนที่แล้วเคลื่อนที่ต่อไป เช่น เครื่องบรรจุน้ำอัดลม เป็นต้น กลไกนั้นจะเป็นการเคลื่อนที่แบบ Intermittent
3. Reciprocating สำหรับการเคลื่อนที่แบบนี้ กลไกจะมีการเคลื่อนที่ย้อนกลับ ในระหว่างรอบของการเคลื่อนที่ดังเช่น การเคลื่อนที่ของ Slider ในกลไก Slider Crank

การส่งผ่านการเคลื่อนที่

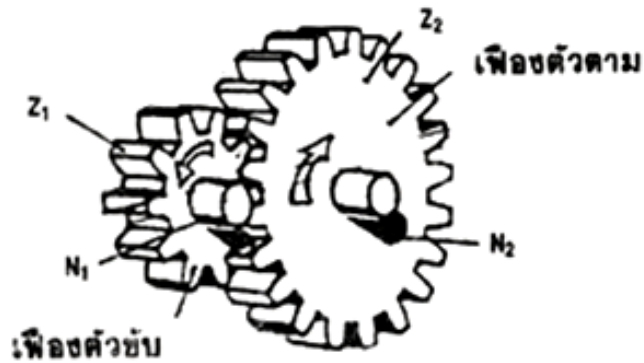
การส่งผ่านการเคลื่อนที่ระหว่างชิ้นต่อโยงต่างๆ ในกลไกแบบได้เป็น 3 ประเภท คือ

1. การส่งผ่านการเคลื่อนที่แบบสัมผัสกันโดยตรง (Direct Contact) ระหว่างชิ้นต่อโยงสองชิ้น เช่น ลูกเบี้ยวกับตัวตาม (Follower) และเฟือง 2 เฟือง เป็นต้น
2. ส่งผ่านโดยอาศัยชิ้นต่อโยงตัวกลาง (Intermediate Link) ที่เพิ่มขึ้นมาอีกชิ้นหนึ่งหรือหลายชิ้น Slider ผ่านไปยัง Crank (หรือจาก Crank ไปยัง Slider)
3. ส่งผ่านโดยอาศัยตัวต่อโยงที่ยืดหดได้ (Flexible Connector) เช่น สายพาน (Belt) เป็นต้น

ความเร็วของเฟือง

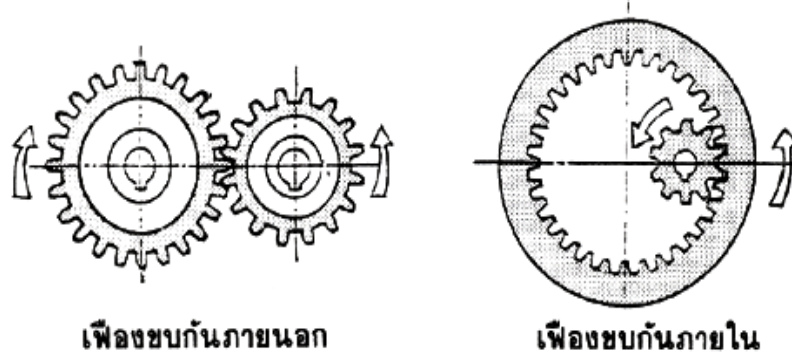
ในหลักสูตรวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนต้น มีวิชาเลือกเสรีที่มุ่งเน้นให้นักเรียนมีโอกาสฝึกกระบวนการค้นหาความรู้ด้วยตนเองโดยลงมือฝึกการใช้เครื่องมือช่างพื้นฐาน ในการประกอบชิ้นส่วนของเล่นตามแบบที่กำหนดได้ และทำกิจกรรมโดยใช้ของเล่นที่ประดิษฐ์ขึ้นเป็นสื่อ ของเล่นเชิงกลไกและไฟฟ้าที่ปรากฏนั้นมีความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับ "เฟือง" ซึ่งนักเรียนจำเป็นต้องเข้าใจหลักการการทำงานของเฟือง ตลอดจนวิธีการคำนวณหาความเร็วของเฟือง จึงทำให้ของเล่นเหล่านั้นเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่ต้องการได้บทความนี้จึงขอแนะนำวิธีการคำนวณหาความเร็วของเฟืองด้วยวิธีง่ายๆ ที่นักเรียนจะสามารถคำนวณได้ด้วยตนเอง

การส่งกำลังจากเฟืองตัวขับไปยังเฟืองตัวตามนั้น ต้องมีการขบกันของเฟือง ส่วนอัตราเร็วของเฟืองจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงนั้นขึ้นอยู่กับจำนวนฟันเฟืองของเฟือง ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลาง และการเคลื่อนที่ของเฟืองตัวขับจะเคลื่อนที่ไปในทิศทางที่สวนกัน ดังรูป



รูปการหมุนของฟันเฟือง

เมื่อเฟืองตัวขับเคลื่อนที่ไปหนึ่งฟัน ฟันของเฟืองตัวก็จะขับให้เฟืองตัวตามเคลื่อนที่ไปหนึ่งฟันด้วยและการขบกันของเฟืองอาจขบกันภายนอกหรือภายในก็ได้ดังรูป



รูป ลักษณะการขบเฟือง

เฟืองเป็นส่วนประกอบของเครื่องจักรกลที่ถ่ายทอดกำลังจากเพลลาอันหนึ่งไปยังอีกอันหนึ่ง การถ่ายทอดกำลังนั้นขึ้นอยู่กับอัตราเร็วและจำนวนฟันของเฟืองจำเป็นจะต้องทราบ คือ ชนิดของเฟือง ความสัมพันธ์ของจำนวนฟันเฟือง (Z) และอัตราเร็วของเฟือง (N) โดยทั่วไปหน่วยอัตราความเร็วของเฟือง มักนิยมบอกเป็นจำนวนรอบต่อนาที

- สิ่งเหล่านี้มีความสัมพันธ์กัน คือ ถ้าสมมุติให้
- อัตราเร็วของเฟืองตัวขับ = N_1
- อัตราเร็วของเฟืองตัวตาม = N_2
- จำนวนฟันของเฟืองตัวขับ = Z_1
- จำนวนฟันของเฟืองตัวตาม = Z_2

* ดังนั้นอัตราเร็วของเฟืองตัวขับคูณด้วยจำนวนฟันของเฟืองตัวขับเท่ากับอัตราเร็วของเฟืองตัวตามคูณด้วยจำนวนฟันของเฟือง หรือเขียนง่ายได้ดังสมการที่ 2.1

$$N_1 Z_1 = N_2 Z_2 \quad (2.1)$$

ทฤษฎีเกี่ยวกับเพลา (SHAFT)

เพลาเป็นส่วนที่มีใช้ในเครื่องจักรกลเกือบทุกชนิด หน้าที่ส่วนใหญ่คือรับโมเมนต์บิดที่ถ่ายภาระมาจากล้อเฟือง, ล้อสายพานหรือคลัตช์ เพลาจึงสามารถรับภาระบิดและภาระดัดได้ นอกจากนี้ยังอาจรับภาระจากแรงดึง แรงกด แรงดัน หรือแรงหลายอย่างรวมกัน ดังนั้นจึงสมควรที่จะพิจารณาถึงการออกแบบเพลาโดยเฉพาะ เพลาอาจจะมีชื่อเรียกแตกต่างกันไปตามลักษณะของการใช้งานดังต่อไปนี้คือ

เพลา (Shaft) เป็นชิ้นส่วนที่หมุนและใช้ในการส่งกำลัง

แกน (Axle) เป็นชิ้นส่วนลักษณะเดียวกันกับเพลาแต่ไม่หมุน ส่วนมากเป็นตัวรองรับชิ้นส่วนที่หมุน เช่น ล้อ ล้อสายพาน เป็นต้น อย่างไรก็ตามทั้งเพลาและแกนก็นิยมเรียกรวมกันว่าเพลาไม่ว่าชิ้นส่วนนั้นจะหมุนหรืออยู่นิ่งก็ตาม

สปินเดิล (Spindle) เป็นเพลาขนาดสั้นที่ไม่หมุน เช่น เพลาที่หัวแทนกลึง (Head-stock spindle) เป็นต้น

สตั๊ปชาฟต์ (stub shaft) หรือบางครั้งเรียกเฮดชาฟต์ (head shaft) เป็นเพลาที่ติดเป็นชิ้นส่วนต่อเนื่องกับเครื่องยนต์ มอเตอร์ หรือเครื่องต้นกำลังอื่น ๆ มีขนาด รูปร่าง และส่วนยื่นออกมาสำหรับใช้ต่อกับเพลาอื่น ๆ

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

แจ๊คชาฟต์ (Jackshaft) หรือเตาเนอร์ชาฟต์ (counter shaft) เป็นเพลาขนาดสั้นที่ต่อระหว่างเครื่องต้นกำลังกับเพลาเมนหรือเครื่องจักรกล

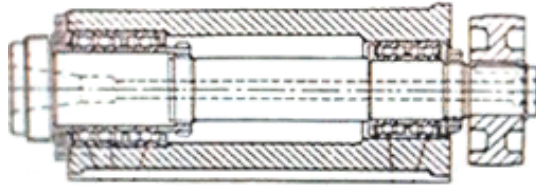
เพลาอ่อน (Flexible shaft) เป็นเพลาที่สามารถอ่อนตัวหรือโค้งได้ เพลาประเภทนี้ทำด้วยสายลวดใหญ่ (cable) ลวดสปริงหรือลวดเกลียว (wire rope) ใช้ในการส่งกำลังในลักษณะที่แกนหมุนทำมุมกันได้ แต่ส่งกำลังได้น้อย

ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้นว่าเพลาอาจจะรับแรงดึง แรงกด แรงบิด แรงดัน หรือแรงหลายอย่างรวมกันก็ได้ ดังนั้นการคำนวณจึงต้องใช้ความเค้นผสมเข้าช่วย แรงเหล่านี้ยังอาจจะมีการเปลี่ยนแปลงขนาดตลอดเวลาทำให้เพลาเสียหายเพราะความล้าได้ ฉะนั้นจึงต้องมีความแข็งแรงเพียงพอสำหรับการใช้งานในลักษณะนี้ นอกจากนี้เพลาจะต้องมีความแข็งแกร่ง (Rigidity) เพียงพอเพื่อลดมุมบิดภายในเพลาให้อยู่ในขีดจำกัดที่พอเหมาะระยะโก่ง (deflection) ของเพลาเป็นสิ่งสำคัญในการกำหนดขนาดเลาเช่นเดียวกัน เพราะถ้าเพลามีระยะโก่งมากก็จะเกิดการแกว่งขณะหมุน ทำให้ความเร็ววิกฤต (critical speed) ของเพลาลดลง ซึ่งอาจทำให้เพลาเกิดการสั่นอย่างรุนแรงในขณะที่ความเร็วของเพลาเข้าใกล้ความเร็ววิกฤตนี้ได้ ระยะโก่งนี้ยังมีผลต่อการเลือกชนิดของที่รองรับเพลา เช่น บอลเบริง (ball bearing) ก็ต้องมีการเยื้องแนว (misalignment) ในการใช้งานที่พอเหมาะกับเพลาด้วย

ชนิดของเพลา

เพลาแบบเกร็ง

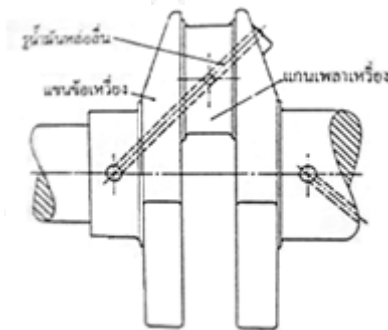
เพลาแบบเกร็งจะแยกออกตามแต่แนวของภาคตัดขวางในลักษณะที่ตรงและโค้ง, ตกบารวมทั้งเพลาต้นและเพลาทลวง ในการสวมเครื่องมือหรือชิ้นงานจะนิยมให้เพลาสปินเดิลของของเครื่องมือกลเป็นเพลาทลวง ดังรูปที่ 2.46 รัจจะของเพลาทลวงครึ่งหนึ่งของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางจะหนักน้อยกว่าเพลาต้น = 25 % แต่จะสามารถรับโมเมนต์บิดได้เกือบเท่ากัน



รูปเรื่อนรับเพลาสปินเดิล

เพลาช้อเหวี่ยง

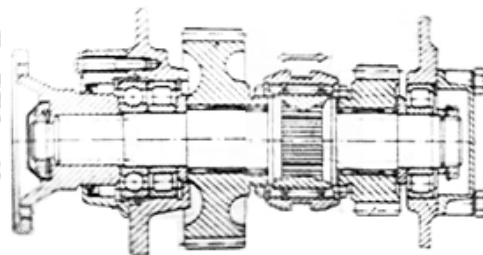
เพลาช้อเหวี่ยง เป็นเพลที่ทำหน้าที่เปลี่ยนการเคลื่อนที่แบบหมุนให้เคลื่อนที่แบบเส้นตรงหรือลักษณะตรงกันข้ามเช่นในเครื่องยนต์แบบเผาไหม้ ดังรูปที่ 2.47 เพลาช้อเหวี่ยงจะผลิตด้วยการหล่อขึ้นรูปหรือการทุบกระแทกขึ้นรูป (ใน แม่พิมพ์) หรือได้จากการอัดเข้าด้วยกันจากหลาย ๆ ชิ้นหรือจากการยึดด้วยสกรูหรือสวมด้วยวิธีให้หดตัวเข้าด้วยกัน



รูป ลักษณะเพลาช้อเหวี่ยง

เพลากีเยร์

ส่วนใหญ่จะมีการตักป่าหลายครั้ง ตรงที่ตักป่าจะช่วยให้การประกอบง่ายขึ้นและยังเป็นการกำหนดตำแหน่งในการประกอบรองเพลาล้อเฟือง, ล้อสายพาน, คลัชต์ และปะเก็นเพลาดังรูป

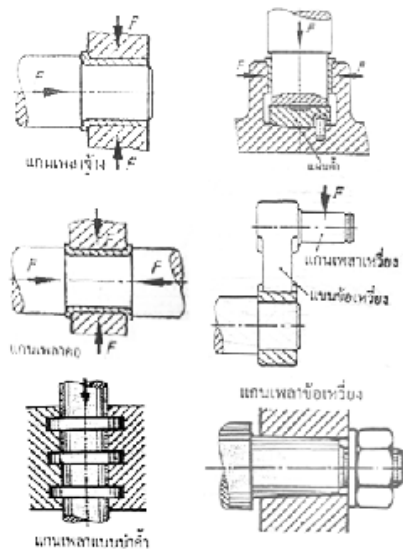


รูปลักษณะเพลากีเยร์

แกนเพลา (SHAFT JOURNAL)

จะเรียกตรงส่วนที่แอกเซิลหรือเพลาดูกหุ้ม ตามหน้าที่และรูปร่างของแกนเพลาจะแบ่งแยกเป็นแกนเพลาช้าง, แกนเพลาคอ, แกนเพลาทรงกลม, แกนเพลาค้ำยัน และแกนเพลาช้อเหวี่ยง ดังรูปแกนรองเพลาจะรับภาระตัดและภาระอัดตามพื้นที่ (PRESSURE UNIT) สำหรับเพลาและแอกเซิลที่รับภาระสูงและหมุนเร็วจะมีการชุบผิวแข็งที่แกนเพลาแล้วจึงทำการเจียรไน ช่วงบริเวณตักป่าระหว่างแกนเพลากับป่าเพลา จะเกิดความเค้นแตกหักง่ายกว่า

บริเวณอื่น แต่ถ้ามีการออกแบบบริเวณดังกล่าวเป็นรัศมีโตหรือร่องตกไปตามมาตรฐานแล้ว ก็จะช่วยลดปฏิกิริยารอยบากได้



รูปประเภทของแกนเพลลา

ขนาดของเพลลา

เพื่อให้เพลลามีมาตรฐานเหมือนกัน องค์การมาตรฐานระหว่างประเทศจึงได้กำหนดขนาดมาตรฐานของเพลลา ซึ่งเป็นขนาดระบุ (Nominal size) ใน ISO/R 775-1969 เอาไว้สำหรับให้ผู้ออกแบบเลือกใช้ ทั้งนี้เพื่อให้สามารถหาซื้อได้ทั่วไป นอกจากนี้ยังเป็นขนาดที่สอดคล้องกับขนาดของแบริ่งที่ใช้รองรับเพลลาด้วยขนาดระบุของเพลลาดูได้จากตาราง

ตาราง ขนาดระบุของเพลลาตามมาตรฐาน 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	

วัสดุที่ใช้สำหรับทำเพลลา

วัสดุที่ใช้สำหรับทำเพลลาทั่วไปคือเหล็กกล้าละมุน (Mild steel) แต่ถ้าต้องการให้มีความเหนียวและความทนทานต่อแรงกระตุกเป็นพิเศษแล้วมักจะใช้เหล็กกล้าผสมโลหะอื่นทำเพลลา เช่น AISI 1347 3140 4150 4340 เป็นต้น เพลลาที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโตกว่า 90 mm มักจะกลึงมาจากเหล็กกล้าคาร์บอนซึ่งผ่านการรีดร้อน อย่างไรก็ตามเพื่อให้เพลลามีราคาถูกที่สุด ผู้ออกแบบควรพยายามเลือกใช้เหล็กกล้าคาร์บอนธรรมดาก่อนที่จะเลือกใช้เหล็กกล้าชนิดอื่น

การพิจารณาในการออกแบบ

การคำนวณหาขนาดของเพลลาที่พอเหมาะขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน ในบางครั้งการหาขนาดเพลลาเพื่อให้เพลลาทนต่อแรงที่มากกระทำอย่างเดียวนั้นไม่เป็นการเพียงพอ เช่น ในกรณีของเพลลาลูกเบี้ยว (cam shaft) ในเครื่องยนต์สันดาปภายในต้องการให้มีตำแหน่งที่เที่ยงตรง ดังนั้นมุมบิดของเพลลาที่เกิดขึ้นในขณะที่ใช้งานจะต้องมีค่าไม่มากกว่าที่กำหนดไว้ เป็นต้น นั่นคือเพลลาจะต้องมีความแข็งแรงอยู่ในพิสัยที่ต้องการ ถ้ามุมบิดมากไปนอกจากจะเสียความเที่ยงตรงทางด้านตำแหน่งแล้วยังอาจจะก่อให้เกิดความสั่นสะเทือนซึ่งมีผลทำให้เฟืองและแบร้งที่รองรับเพลลาอยู่เกิดความเสียหายได้ง่ายขึ้น

ถึงแม้ว่าจะไม่มีมาตรฐานสำหรับพิกัดมุมบิดของเพลลาไว้ก็ตาม ในทางปฏิบัติแล้วมักจะให้มุมบิดของเพลลาในเครื่องจักรกลทั่วไปไม่เกิน 0.3° ต่อความยาวเพลลา 1 m [1] สำหรับเพลลาส่งกำลังทั่วไปอาจจะให้มุมบิดได้ถึง 1° ต่อความยาวเพลลา 20 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพลลา ในกรณีของเพลลาลูกเบี้ยวสำหรับเครื่องยนต์สันดาปภายในแล้วจะให้มุมบิดได้ไม่เกิน 0.5° ตลอดความยาวของเพลลา

ความแข็งแรงที่สุดอีกอย่างหนึ่งก็คือ ความแข็งแรงทางด้านระยะโง่ง เพราะจะต้องใช้ระยะโง่งของเพลลาที่อยู่ภายใต้แรงภายนอกเป็นตัวสำคัญในการกำหนดระยะเบียด (clearance) ระหว่างสายพาน เฟือง โคจรของเครื่องจักร ตลอดจนการเลือกใช้ชนิดของแบร้งสำหรับรองรับเพลลาให้เหมาะสม ถ้าเพลลามีระยะโง่งมากเกินไปจะทำให้ความยาวของฟันเฟืองส่วนที่สัมผัสหรือขบกันลดลงเป็นผลทำให้อัตราส่วนการขบ (contact ratio) ของเฟืองลดลงด้วย ทำให้การส่งกำลังของเฟืองไม่ราบเรียบเท่าที่ควรควรเลือกใช้แบร้งมารองรับเพลลาก็เช่นกันจำเป็นต้องเลือกใช้แบร้งชนิดที่อนุญาตให้มีการเอียงแนวสำหรับการใช้งานได้พอเหมาะกับความโง่งของเพลลาที่จะเกิดขึ้น ซึ่งอาจจะใช้แบร้งแบบธรรมดาหรือ แบร้ง แบบปรับแนวได้เอง (self-aligning bearing) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่าระยะโง่งเป็นสำคัญ

ระยะโง่งดังกล่าวมานี้ไม่มีมาตรฐานกำหนดเป็นแนวทางไว้ โดยทั่วไปผู้ออกแบบอาจจะถือค่าต่อไปนี้เป็นแนวทางในการกำหนดความแข็งแรงทางด้านระยะโง่งได้ดังนี้คือ

1. สำหรับเพลลาเครื่องจักรกลทั่วไป ค่าระยะโง่งระหว่างจุดที่รองรับด้วยแบร้งควรจะไม่เกิน 0.08 mm/m [4]
2. สำหรับเพลลาที่มีเฟืองตรง (spur gear) คุณภาพดีที่อยู่ด้วย ระยะโง่ง ณ ตำแหน่งที่มีเฟืองขบกันไม่ควรเกิน 0.125 mm และความลาดเอียงของเพลลา ณ ตำแหน่งนี้ควรจะไม่ต่ำกว่า 0.0286°
3. สำหรับเพลลาที่เฟืองคอกจอก (bevel gear) คุณภาพดีติดอยู่ ระยะโง่ง ณ ตำแหน่งที่เฟืองขบกัน ไม่ควรเกิน 0.075 mm

จากเหตุผลดังกล่าวจะเห็นว่าขนาดของเพลลาอาจจะหามาได้โดยใช้ความแข็งแรงที่ต้องการแทนที่จะเป็นความแข็งแรงในการรับแรงภายนอกได้ การหาระยะโง่งของเพลลาที่มีขนาดเท่ากันตลอดอาจทำได้โดยใช้วิธีที่ได้เรียนรู้

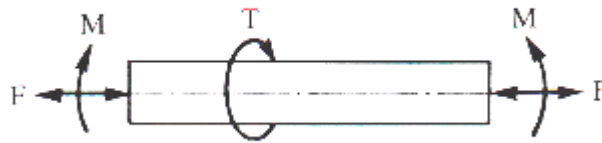
มาแล้วในวิชากลศาสตร์วัสดุ เช่น วิธีการอินทิเกรตสองครั้ง (double integration) วิธีพื้นที่ของโมเมนต์ดัด(moment area) เป็นต้น และไม่กล่าวถึงในที่นี้

สำหรับเพลลาที่มีขนาดไม่เท่ากันตลอด (Stepped shaft) การใช้วิธีดังกล่าวมาแล้วอาจจะล่าช้าและเสียเวลา โดยเฉพาะวิธีการอินทิเกรตสองครั้งเพราะต้องใช้สภาพของขอบเขต (boundary condition) ใหม่ทุกครั้งทีเพลลาเปลี่ยนขนาด วิธีที่นิยมใช้กัน (แต่ยังใช้เวลามาก) คือวิธี graphical integration และ numerical integration สำหรับวิธีแรกนี้ผู้อ่านอาจจะหาดูได้จากเอกสารอ่านประกอบหมายเลข 4 ส่วนวิธีหลังนี้เหมาะกับการใช้เครื่องคำนวณไฟฟ้าช่วยในการคำนวณ ซึ่งก็จะไม่กล่าวถึงในที่นี้อีกเช่นกัน

การออกแบบเพลลาตามโค้ดของ AMSE

ก่อนปี พ.ศ. 2497 ได้มีการยอมรับวิธีการคำนวณหาขนาดของเพลลาส่งกำลังซึ่งกำหนดเป็นโค้ด (code) โดยสมาคมวิศวกรเครื่องกลแห่งสหรัฐอเมริกา(ASME) ถึงแม้ว่าเวลาจะล่วงเลยมานานแล้วก็ตาม วิธีการออกแบบเพลลาตามโค้ดของ ASME ก็ยังมีความสะดวกและง่ายต่อการใช้งาน ซึ่งจะได้กล่าวถึงต่อไป

วิธีการดังกล่าวนี้ใช้ทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด และไม่พิจารณาถึงความล้าหรือความเค้นหนาแน่นที่เกิดขึ้นบนเพลลา ซึ่งเป็นการออกแบบโดยวิธีสถิตยศาสตร์ (static design method) ในการหาสมการสำหรับการออกแบบเพลลาให้พิจารณาเพลลาในรูปที่ 2.51 ให้เพลลาเป็นแบบกลมและกลวง โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในและภายนอกเท่ากับ d_i และ d ตามลำดับ ความเค้นต่างๆ ที่เกิดขึ้นบนเพลลามีดังต่อไปนี้คือ



รูปเพลลาอยู่ภายใต้แรงต่างๆ

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 ทั้งนี้เพราะเพลามุมอยู่ตลอดเวลา นอกจากนั้นแรงที่กระทำยังอาจเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาก็ได้ ดังนั้นเพลาก็เกิดความเสียหายเนื่องมาจากความล้าเป็นส่วนใหญ่สำหรับวิธีการคำนวณของ ASME ใช้วิธีแบบสถิติศาสตร์ ดังนั้นจึงต้องมีตัวประกอบความล้า (fatigue factor) มาเกี่ยวข้องด้วย

ถ้าให้ C_m = ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการตัด

C_r = ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการตัด

ดังนั้นสมการที่ (2.2) และสมการที่ (2.3) จึงกลายเป็น

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

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

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

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

โดยที่ $k = d_i / d$

ในกรณีที่ไม่มีแรง F กระทำอยู่ด้วย สมการที่ (2.8) จะลดรูปเหลือเพียง

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

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

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

ค่าตัวประกอบความล้าสามารถเลือกใช้ตามลักษณะของแรงที่มากระทำ ซึ่งหาได้จากตารางที่ 2.6

ตาราง ค่าตัวประกอบความล้า

ชนิดของตาราง	C_m	C_t
เพลายูนิ่ง :		
แรงสม่ำเสมอหรือเพิ่มขึ้นช้า ๆ	1.0	1.0
แรงกระตุก	1.5-2.0	1.5-2.0
เพลามุม :		
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

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

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

$$\alpha = \frac{\sigma_y(L/K)^2}{\pi^2 n E} \text{ เมื่อ } \frac{L}{K} > 115 \quad (2.13)$$

โดยที่ $n = 1.00$ เมื่อกลายเป็นแบบ SS

$n = 2.25$ เมื่อกลายเป็นแบบ CC

$n = 1.60$ เมื่อปลายเพลายึดขึ้นเป็นบางส่วน (partially restrained)

$L =$ ความยาวจริงของเพล

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

นอกจากนี้ค่าของ ASME ยังได้ระบุเอาไว้ว่าเพลที่มีใช้ในงานธรรมดาทั่วไป ควรจะมีค่าความเค้นเฉือนใช้งานดังนี้

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

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

แต่ถ้ากำหนดวัสดุของเพลที่บอกถึงหมายเลขของโลหะ หรือส่วนผสมของโลหะให้ใช้ค่าความเค้นเฉือนใช้งานจากสมการที่(2.14) โดยเลือกใช้ค่าน้อยกว่านั้นคือ

$$\tau_d = 0.03\sigma_y \text{ หรือ } \tau_d = 0.18\sigma_u \quad (2.14)$$

และถ้าเพลามีร่องลิ้มให้ลดค่าความเค้นเฉือนใช้งานโดยใช้เพียง 75% ของค่าในสมการที่ (2.14)

ความแข็งแรงทางเทคนิค

สำหรับเพลที่มีขนาดสม่ำเสมอ มุมบิดเป็น rad. จะหาค่าได้จากสมการ

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

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

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

ถ้าเป็นเพลากลมกลวง

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

ฉะนั้นถ้าต้องการให้เพลามีความแข็งแรงตรงตามลักษณะการใช้งาน ก็ควรที่จะใช้สมการที่ (2.17) นี้ตรวจสอบดูมุมบิดให้อยู่ในค่าที่ต้องการ

โซ่ส่งกำลัง (Chain Drives)

โซ่สามารถส่งกำลังให้ได้โมเมนต์บิด (หมุน) สูงมากโดยที่ให้เป็นชุดส่งกำลังมีขนาดเล็กได้ เป็นลักษณะการส่งกำลังด้วยรูปร่างและ ที่รองเพลารับภาระน้อยมาก ไม่มีการให้ลื่นไถลในขณะส่งกำลัง ในขณะส่งกำลังข้อต่อโซ่จะรับภาระความเสียดทานลื่น (Sliding Friction) จึงต้องมีการหล่อลื่นที่เพียงพอ โซ่ส่งกำลังจะมีใช้งานในที่รับภาระตึงมาก ๆ ในที่รับ - อุณหภูมิสูง, โรงงานเคมี, - ไขมัน, - ความชื้น เป็นที่ซึ่งสายพานไม่สามารถนำไปใช้งานได้

1. ข้อดีเมื่อเทียบกับสายพานแบนและสายพานร่อง

- ก) ส่งถ่ายน้ำมันได้สูงโดยที่ไม่มีการลื่นที่ระยะห่างระหว่างเพลาน้อยและให้อัตรากำลังทดสูง
- ข) เปลืองเนื้อที่น้อย
- ค) ไม่ต้องการตึงให้แน่นมาก, และรองเพลารับภาระน้อย

2. ข้อเสียเมื่อเทียบกับสายพานและสายพานร่อง

- ก) มีอัตราทดเบี่ยงเบน เนื่องจากมุมข้อต่อของโซ่
- ข) รับภาระกระแทกและการสั่นสะเทือนได้น้อย
- ค) ไม่สามารถวางเพลาไขว้กันได้ ท มีราคาสูง
- ง) ต้องเสียค่าใช้จ่ายบำรุงรักษามากกว่า (การหล่อลื่น)

3. ข้อดีเมื่อเทียบกับเฟือง

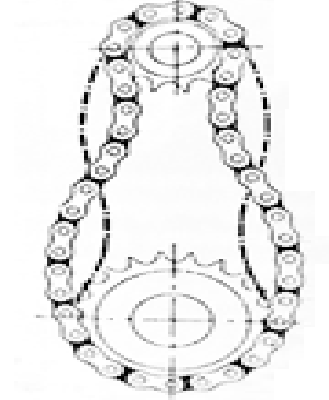
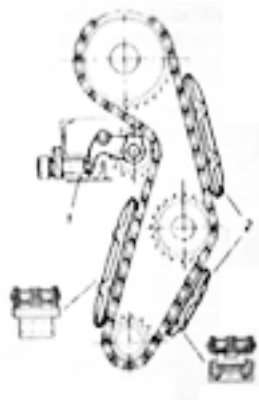
- ก) แก้ปัญหาระยะห่างเพลานานที่ห่างกันมาก ๆ ได้
- ข) มีความไวต่อสิ่งสกปรกน้อยกว่า

4. ข้อเสียเมื่อเทียบกับเฟือง

- ก) มีความเร็วรอบหรือมีความเร็วขอบน้อยกว่า (เนื่องจากแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง)
- ข) ที่ความเร็วรอบสูงจะต้องให้ตัวประกบกันการสั่นของโซ่
- ค) เพลาต้องวางให้ขนานกันและส่วนใหญ่ต้องวางในแนวนอน

5. ปฏิกริยาจากหลายเหลี่ยม (Polygon Effect)

โซ่จะร้อยอยู่บนเฟืองโซ่เป็นรูปหลายเหลี่ยม โซ่ที่สวมอยู่ทุกจุดทุกข้อของโซ่จะมีการเบี่ยงเบนของระยะแนวข้อต่อโซ่ นั่นคือ ทุกจุดที่ข้อต่อโซ่หมุนไป แรงตามแนววงกลมพิตช์ของเฟืองโซ่ระหว่างระยะรัศมี r_{min} และ r_{max} จะทำให้เกิดความเร็วขอบเป็น v_{min} และ v_{max} ด้วยเช่นกัน ปฏิกริยาจากหลายเหลี่ยมนี้จะเกิดมากยิ่งขึ้นหากระยะพิตช์ของเฟืองโซ่โตมากขึ้นหรือมีจำนวนฟันของเฟืองโซ่น้อยลง ผลของปฏิกริยาจากหลายเหลี่ยมก็คือ จะทำให้โซ่เกิดอาการสั่น โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ความเร็วสูง แต่การประกบตรึงโซ่ หรือวางเลื้อนจะช่วยระงับอาการสั่นนี้ได้



ก. การตั้งโซ่และการป้องกันการสั่นของโซ่. ข. แสดงการสั่นของโซ่ขณะส่งกำลัง.

รูปอุปกรณ์จับยึดโซ่.

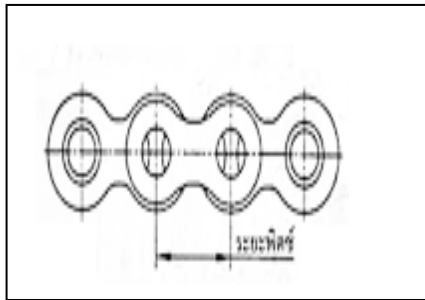
นอกจากอุปกรณ์ตรึงโซ่ยังใช้ทำหน้าที่ช่วยให้เกิดการสมดุลในระหว่างทำงานไปนาน ๆ แต่จะทำให้เกิดการสึกหรอหรือเกิด การยืด ของโซ่ได้

6. ชนิดของโซ่

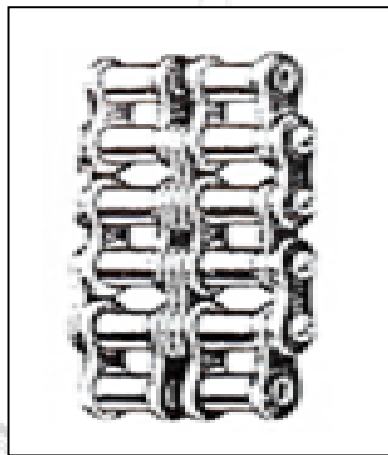
ตามประเภทการใช้งานของโซ่ จะนำโซ่มาใช้ส่งกำลัง, -ลำเลียง, -ใช้ขับ, -ใช้ยกและส่งน้ำหนักลงข้างล่าง ส่งถ่ายแรงและโมเมนต์บิด โซ่จึงแบ่งตามลักษณะรูปร่างได้ดังนี้

ก) โซ่ลูกกลิ้งและโซ่บุช

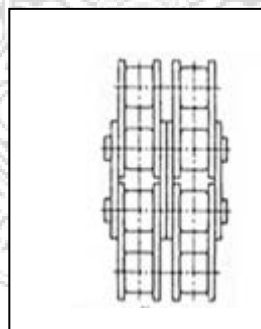
โซ่ลูกกลิ้งและโซ่บุชจะประกอบด้วยแผ่นปิดข้างโซ่ด้านนอกและด้านในที่ยึดด้วยบุชและโบลต์เข้าด้วยกัน ดังรูปที่ 2.52 โซ่ลูกกลิ้งที่มีใช้ งานส่วนใหญ่จะมีลูกกลิ้งที่ชุบแข็งร้อย(หมุนได้)อยู่ในบุช ลูกกลิ้งนี้จะช่วยลดความเสียหายและการสึกหรอของด้านข้างของเฟืองโซ่ในขณะที่ล้อเฟืองขับโซ่ และมีเสียงดังน้อยเมื่อความเร็วโซ่สูง ในการใช้งานให้รับโมเมนต์หมุนมาก ๆ จะใช้โซ่ลูกกลิ้งและโซ่บุชแบบชุดหลายเส้น ดังรูปที่ รูปที่ 2.53 โซ่ลูกกลิ้งตามมาตรฐานจะนำมาใช้งานได้ถึงความเร็ว 30 m/s ในการส่งกำลังในรถยนต์ในเครื่องมือกลและโซ่ลำเลียง โดยปกติโซ่บุชจะทนการสึกหรอมากกว่าโซ่โบลต์ บุชจะหมุนได้ ส่วนโบลต์จะยึดแน่นกับแผ่นปิดนอก แผ่นปิดส่วนใหญ่ใหญ่จะทำจาก St60 ส่วนโบลต์จะทำจากเหล็กกล้าอาบคาร์บอน C15



รูป ไส้ลู่กกลิ่ง



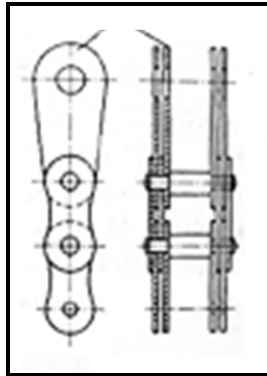
รูปไส้ลู่กกลิ่งแบบชุดหลายเส้น



รูปที่ 2.54 ไส้ลู่กกลิ่งแบบ2เส้น

ข) ไส้โบลต์

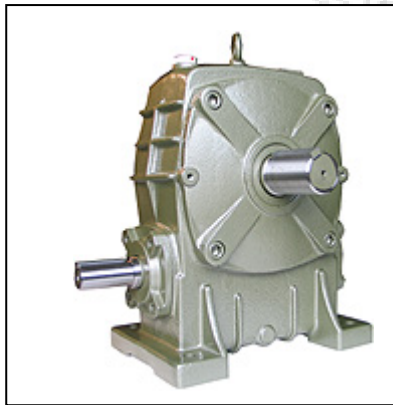
ไส้โบลต์จะมีรูปร่างของแผ่นปิดข้างทั้งไส้ด้านในและด้านนอกเหมือนกัน โดยร้อยเข้ากับโบลต์ การใช้แผ่นปิดข้างไส้หลายแผ่นติดกัน ดังรูปจะมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับขนาดของแรงดึงที่ไส้ต้องรับ เมื่อเปรียบเทียบกับไส้ลู่กกลิ่งและไส้บูชแล้ว ไส้โบลต์จะมีแรงเสียดทานระหว่างโบลต์และแผ่นปิดข้างไส้มากกว่า ด้วยเหตุนี้จึงนิยมนำไส้โบลต์มาใช้กับงานที่มีความเร็วต่ำ



รูปโซ่โบลต์แบบ4แผ่น

เกียร์ทดรอบ Worm Gear Speed Reducer

เกียร์ทดรอบ สามารถถ่ายทอดแรงบิดของมอเตอร์ไฟฟ้าเข้าสู่เพลาชักของ เมื่อเราใช้มอเตอร์ไฟฟ้าในงานอุตสาหกรรมนั้นต้องการความเร็วรอบต่อนาที (RPM – round per minute) ที่แตกต่างกัน เกียร์ทดรอบจึงเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในการปรับลดรอบให้พอเหมาะกับความต้องการในงานแต่ละงาน ด้วยการเลือกอัตราทดและรูปแบบการเข้าและออกของเพลาก็ให้เหมาะกับงานแต่ละแบบ



รูปเพลาลูกเข้าอยู่บน



รูปเพลาลูกเข้าอยู่ล่าง



รูป เพลาลูกเข้าอยู่ล่าง เพลาลูกออกบน



รูป เพลาลูกเข้าอยู่ล่าง เพลาลูกออกล่าง

ความแข็งแรงของวัสดุ

ในการออกแบบโครงสร้าง และชิ้นส่วนเครื่องมือกลต่าง ๆ จะต้องพิจารณา 2 อย่าง คือ

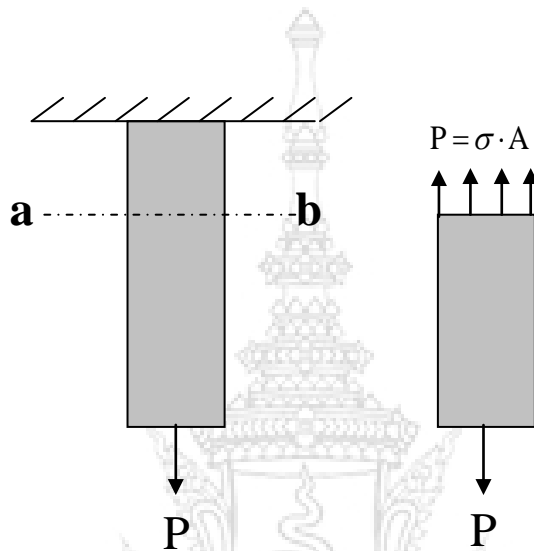
(ชนะ กสิภรณ์ , 2526)

ชิ้นส่วนนั้นแข็งแรงพอที่จะรับแรงกระทำได้หรือไม่

1. ชิ้นส่วนนั้นแข็งแรงพอที่จะเปลี่ยนแปลงขนาดมากเกินไปได้หรือไม่

2. ในวิชากลศาสตร์ เราพิจารณาแรงในวัตถุโดยไม่คำนึงถึงขนาดที่เปลี่ยนแปลงไป แต่ในวิชา Strength of Materials เราจะพิจารณาทั้งสองอย่าง ดังนี้

Stress (ความเค้น)



ภาพที่ Stress

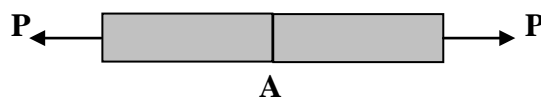
พิจารณาแท่งวัตถุอันหนึ่งที่มีพื้นที่หน้าตัด อยู่ภายใต้แรง P ถ้าแรง P ไม่มีค่ามากนักวัตถุจะยืดออกเล็กน้อยแล้วไม่ยืดต่อไปอีก ถ้าเราตัด Section a - b วัตถุจะอยู่ในสภาพสมดุล F นี้จะกระทำภายในเนื้อวัสดุ เรียกว่าแรงภายใน และจะกระจายไปทั่วหน้าตัด แรงที่กระทำต่ออนุภาคเล็กๆ ในเนื้อวัสดุ หรือความเข้มข้นของแรง นั่นคือแรงต่อพื้นที่หน้าตัด จึงมีความสำคัญมาก

$$P = \sigma \cdot A$$

$$\sigma = \frac{P}{A} \text{ เรียกว่า Stress ที่เกิดขึ้นในวัตถุ}$$

Stress แบ่งเป็น 3 ชนิด คือ

Tensile Stress σ_t (ความเค้นดึง) เกิดขึ้นเมื่อวัตถุอยู่ภายใต้ แรงดึง (Tension)

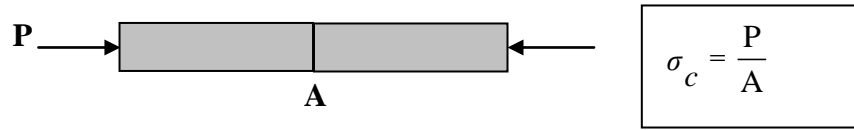


$$\sigma_t = \frac{P}{A}$$

ภาพความเค้นแรงดึง

ข้อสังเกต พื้นที่หน้าตัด A ตั้งฉากกับแนวแรง P

Compressive Stress σ_c (ความเค้นอัด) เกิดขึ้นเมื่อวัตถุอยู่ภายใต้แรงกดอัด (Compression)



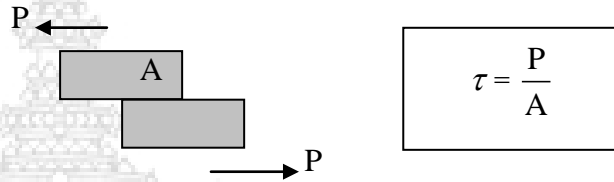
ภาพ ความเค้นแรงอัด

ข้อสังเกต พื้นที่หน้าตัด A ตั้งฉากกับแนวแรง P

Shear Stress τ (ความเค้นเฉือน) เกิดขึ้นเมื่อวัตถุอยู่ภายใต้แรงเฉือน (Shearing Force)

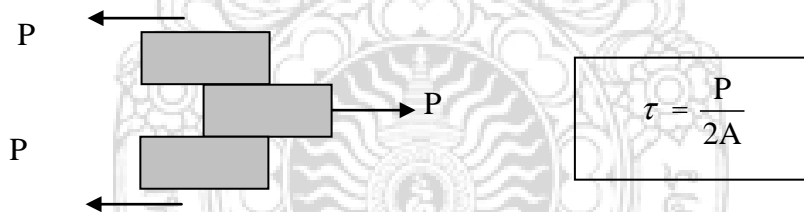
แบ่งเป็น 2 ชนิด

1. Single Shear



ภาพ ความเค้นเฉือน

2. Double Shear



ภาพ Double Shears

ข้อสังเกต พื้นที่หน้าตัด A ตั้งฉากกับแนวแรง P

หน่วยของ Stress

หน่วย FPS ปอนด์ / นิ้ว² หรือ psi

หน่วย MKS กก / มม²

หน่วย SI นิวตัน / ม² (N / m²) แต่เป็นหน่วยเล็ก บางครั้งจึงใช้

MN / m² หรือ GN / m²

1 MN / m² (เมกะนิวตัน / ม²) = 10⁶ นิวตัน / ม²

1 GN / m² (กิกะนิวตัน / ม²) = 10⁹ นิวตัน / ม²

นิวตัน / ม² บางครั้งเรียกว่าปาสกาล (Pascal) เขียนย่อ Pa

ตัวอย่างที่ 1 เหล็กเส้นหนึ่ง มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 Mm แขนงวัสดุมีน้ำหนัก 60 Kg จงหา Stress ในเหล็กเส้นนี้

วิธีทำ

$$\begin{aligned}
 1 \text{ Kg} &= 9.81 \text{ N/mm}^2 \\
 \text{แรงในเหล็กเส้น } P &= 60 \times 9.81 \\
 &= 588.6 \text{ N} \\
 \text{พื้นที่หน้าตัดของเหล็กเส้น } A &= \frac{\pi}{4} \times (1.5)^2 \\
 &= 1.767 \text{ mm}^2 \\
 &= 1.767 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \\
 \text{Tensile Stress } \sigma_t &= \frac{P}{A} \\
 &= \frac{588.6}{1.767 \times 10^{-6}} \\
 &= 33.5 \times 10^6 \text{ N/m}^2 \\
 &= 333.5 \text{ MN/m}^2
 \end{aligned}$$

ตัวอย่างที่ 2 คน ๆ หนึ่งมว 75 kg นั่งอยู่บนเก้าอี้ สมมติว่าขาเก้าอี้ทั้งสองข้างรับแรงกดเท่ากัน ถ้าพื้นที่หน้าตัดของขาแต่ละขา 650 mm² จงหาความเค้นอัดในขาเก้าอี้

วิธีทำ

$$\begin{aligned}
 \text{แรงกดที่ขาเก้าอี้แต่ละขา} &= \frac{75}{4} \times 9.81 = 183.8 \text{ N} \\
 &= 183.8 \text{ N} \\
 \text{ความเค้นอัด} &= \frac{183.8}{650} \\
 &= 0.283 \text{ N/mm}^2 \text{ หรือ } \text{MN/m}^2
 \end{aligned}$$

ตัวอย่างที่ 3 ชิ้นทดลองที่ใช้ในการทดสอบแรงดึงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 Mm Gauge length 50 mm ผลการทดสอบมีดังนี้

แรงที่จุด = 25.3 kN

แรงสูงสุด = 37.95 kN

ความยาวสุดท้ายระหว่าง Gauge Point ตอนขาด = 63.5 mm.

ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตรงจุดขาด = 7.5 mm.

จงหา Stress ที่ Yield point σ_y , Tensile Strength σ_u เปรอ์เซ็นการยืดตัวและเปอร์เซ็นต์พื้นที่หน้าตัดลดลง

พื้นที่หน้าตัดเดิม = $\frac{\pi}{4} \times 10^2 = 78.54 \text{ mm}^2$

$$\begin{aligned}
 \text{Yield point } \sigma_y &= \frac{25.3}{78.54} \times 10^3 \text{ N/mm}^2 \\
 &= 322.1 \text{ N/mm}^2 \text{ หรือ } \text{MN/m}^2 \\
 \text{Tensile strength } \sigma_u &= \frac{37.95 \times 10^3}{78.54} \\
 &= 483.2 \text{ N/mm}^2 \text{ หรือ } \text{MN/m}^2 \\
 \text{เปอร์เซ็นต์การยืดตัว} &= \frac{\text{ส่วนที่ยืดออกตอนขาด} / \text{ความยาวเดิม}}{\frac{63.5-50}{50} \times 100} \\
 &= 27 \% \\
 \text{เปอร์เซ็นต์พื้นที่หน้าตัดลดลง} &= \frac{\text{พ.ท. หน้าตัดเดิม} - \text{พ.ท. หน้าตัดขาด}}{\text{พ.ท. หน้าตัดเดิม}} \\
 &= \frac{\left(\frac{\pi}{4} 10^2\right) - \left(\frac{\pi}{4} 7.5^2\right)}{\frac{\pi}{4} \times 10^2} \times 100 \\
 &= \frac{(10 - 7.5)^2}{10} \times 100 \\
 &= 43.75 \%
 \end{aligned}$$

ค่าความปลอดภัยของวัสดุชนิดต่าง ๆ ในงานออกแบบเครื่องจักรกล

วิธีที่ อิงภากรณ์ และชาญ ถนังงาน (2546) ได้เขียนตำราเกี่ยวกับความปลอดภัยของวัสดุชนิดต่าง ๆ ที่นำไปใช้ในการออกแบบดังนี้

โดยทั่วไปแล้วค่าความปลอดภัยหมายถึง ตัวเลขที่นำไปหารค่าความต้านแรงดึงหรือความต้านแรงดึงครากของวัสดุ เพื่อให้ความเค้นใช้งาน (Working Stress) ในชิ้นส่วนที่กำลังออกแบบ ซึ่งเรียกสั้นๆ ว่า ความเค้นออกแบบ (Design Stress) หรือความเค้นใช้งาน ตัวอย่างเช่น เหล็กกล้าชนิดหนึ่งมีความต้านแรงดึง และความต้านแรงดึงครากเท่ากับ 700 MN/m^2 และ 420 MN/m^2 ตามลำดับและการออกแบบชิ้นงานหนึ่งโดยใช้เหล็กกล้าชนิดนี้ผู้ออกแบบคิดว่าตามลักษณะการใช้งานแล้วความเค้นใช้งานควรจะไม่เกิน 140 MN/m^2 ฉะนั้นค่าความปลอดภัยเมื่อถือความต้านแรงดึงเป็นหลักคือ

$$N_u = \frac{700}{140} = 5$$

และค่าความปลอดภัยเมื่อถือความต้านแรงดึงครากเป็นหลักคือ

$$N_y = \frac{420}{140} = 3$$

ในกรณีที่ได้มีการกำหนดขนาดของชิ้นงานมาแล้ว ค่าความปลอดภัยของชิ้นงานนั้นคือ

$$N_u = \frac{\text{ความต้านแรงดึง}}{\text{ความเค้นที่คำนวณได้}}$$

$$N_y = \frac{\text{ความต้านแรงดึงคราก}}{\text{ความเค้นที่คำนวณได้}}$$

สำหรับปัญหาที่ไม่เป็นเชิงเส้น (Non Linear) เช่น ท่อโลหะ หรือเสาที่อาจจะเสียหายเนื่องจากการโก่งงอ จะต้องใช้ค่าความปลอดภัยกับแรงที่มากกระทำโดยตรงแทนที่จะใช้ความเค้นทั้งนี้เพราะในปัญหาแบบไม่ใช่เชิงเส้น ความเค้นที่เกิดขึ้นในงานอาจจะมีได้แปรผันโดยตรงกับแรงในกรณีเช่นนี้

$$N = \frac{\text{แรงที่ทำให้แตกหัก}}{\text{แรงที่ใช้ออกแบบ}}$$

ค่าความปลอดภัยที่จะเลือกใช้ขึ้นอยู่กับตัวประกอบจำนวนมากดังนี้

1. ชนิดของแรงที่มากกระทำต่อชิ้นงานว่าเป็นแรงที่จัดอยู่ในประเภทอยู่นิ่ง หรือเปลี่ยนแปลงขนาดอยู่ตลอดเวลาขณะใช้งาน
2. ลักษณะการใช้งานของชิ้นงานว่าเกี่ยวข้องกับภาระที่อาจจะสูญเสียชีวิตหรือทรัพย์สินจำนวนมากหรือไม่
3. น้ำหนักของชิ้นงานว่ามีความจำเป็นที่จะต้องเบาหนักที่สุดหรือไม่ เช่น ชิ้นส่วนสำหรับเครื่องบินเป็นต้น ในกรณีเช่นนี้การใช้ค่าความปลอดภัยจะต้องพิจารณาอย่างละเอียดเป็นพิเศษ
4. จำนวนของชิ้นงานที่จะออกมา ถ้าผลิตครั้งละมากๆ ควรจะระมัดระวังในการใช้ค่าความปลอดภัยที่ไม่สูงจนเกินไป ทั้งนี้เพื่อให้ประหยัดวัสดุได้มากที่สุด
5. เนื้อวัสดุที่ผลิตออกมาอาจไม่สม่ำเสมอ ทำให้ความสามารถในการรับแรงต่างกัน

สำหรับผู้ที่มีความชำนาญในการออกแบบน้อย ก็อาจจะใช้ค่าที่แนะนำมาในตารางที่ 2-1 เป็น แนวทางการคำนวณออกแบบได้

ตาราง ค่าความปลอดภัย

ชนิดของแรง	เหล็กเหนียวและโลหะเหนียว		เหล็กหล่อและโลหะเปราะ
	N_y	N_u	N_u
แรงอยู่นิ่ง	1.5 - 2	3 - 4	5 - 6
แรงซ้ำอยู่ที่ทิศทางเดียวหรือ กระแทกเล็กน้อย	3	6	7 - 8
แรงซ้ำสองทิศทางหรือ แรงกระแทกเล็กน้อย	4	8	10 - 12
แรงกระแทกอย่างหนัก	5 - 7	10 - 15	15 - 20

ค่าที่นำมาใช้กับงานเครื่องมือกล อุปกรณ์และเครื่องมือกล เมื่อให้บริการสถิติ (I) ให้ใช้ค่าเต็มตาราง รับภาระเปลี่ยนแปลง (II) ให้ใช้ค่า ≈ 0.6 เท่าของค่าในตาราง รับภาระสลับให้ใช้ค่า ≈ 0.3 เท่าของค่าในตารางของกรณีภาระ H

ในกรณีที่ค่าความเค้นเฉือนแตกหัก τ_{BW} ของรอยเชื่อมจุดที่ได้จากการดึงทดสอบจะกำหนดค่า $\tau_{all} = \frac{\tau_{BW}}{S_B}$ เมื่อความปลอดภัยต่อการแตกหัก $S_B \approx 2 \dots 6$ โดยไม่จำเป็นต้องคำนวณตรวจสอบค่า σ_1

ตาราง ค่าความเค้นอนุญาติ τ_{all} (หน่วย N/mm²) สำหรับการยึดด้วยการเชื่อมจุดในโครงสร้างเหล็กเบาตาม DIN 4115 (สามารถอินเทอร์โพลตค่าได้)

ประเภทความเค้น	วัสดุ					
	St 37 กรณีภาระ		St 46 กรณีภาระ		St 52 กรณีภาระ	
	H	HZ	H	HZ	H	HZ
เมื่อได้ตรวจสอบภาระโก่งแล้ว						
τ_{all}	90	100	110	120	135	155
รอยเชื่อมเดียว $\sigma_{1 all}$	250	290	305	340	380	430
รอยเชื่อม สอง รอย $\sigma_{1 all}$	350	400	425	475	525	600
เมื่อไม่สามารถหลีกเลี่ยงจากการโก่งได้						
τ_{all}	100	115	125	140	155	175
รอยเชื่อมเดียว $\sigma_{1 all}$	290	325	350	395	430	485
รอยเชื่อม สอง รอย $\sigma_{1 all}$	400	450	485	550	600	675

ตาราง การเลือกใช้วัสดุสำหรับงานเครื่องมือกลทั่วไป

สัญลักษณ์วัสดุ	ค่าความเค้น N/mm ²		คุณสมบัติลักษณะอย่างการใช้งาน
	R _m	R _e	
เหล็กกล้าสร้างทั่วไป DIN 17 100 ¹			เหล็กกล้าคาร์บอนไม่เจือ ส่วนมากเป็นเหล็กกล้าใช้ทำชิ้นส่วนทุกประเภทในงานเครื่องกลและงานโครงสร้างเหล็ก ชิ้นงานที่ไม่ใช่ชิ้นงานหลักที่รับภาระน้อย
St 33 - 1	330..500	190	ในงานก่อสร้าง
USt 34 - 1, -2	340..420	210	
RSt 34 - 2			ชิ้นส่วนทั่วไปในงานเครื่องจักรกลและงาน
USt 37 - 1, -2	370..450	240	โครงสร้างเหล็กที่รับภาระไม่มาก เหล็กกล้า
RSt 37 - 2			รูปพรรณ ชิ้นส่วนทุบขึ้นรูป ขึ้นรูปได้ดี
St 37 - 3			เชื่อมประสานได้ดี ชิ้นส่วนที่รับภาระไม่
			มาก เฟลา แอกเซิล (Axle) ข้อเหวี่ยง แขน
USt 42 - 2	420..500	260	ขึ้นรูปได้ดี เชื่อมประสานได้ดี
RSt 42 - 2			เหล็กกล้าส่วนมากรับภาระปานกลาง แอก
St 42 - 3			เซิล (Axle) เฟลา โบลต์ สปริงเดิล ข้อ
St 50 - 2	500..600	300	เหวี่ยง ขึ้นรูปได้ดี พอเชื่อมประสานได้ดี ชุบ
			แข็งได้น้อย ชิ้นส่วนรับแรงได้สูงและทนการ
			ดัดหรือ เพลาสลัก สวมอัด ลิ่มอัด ลิ่มส่ง
			กำลัง สปริงเดิล เฟืองขับ เฟืองหนอน พอ
St 60 - 2	600..720	340	เชื่อมประสานได้ ชุบแข็งได้ อบให้มีความ
			เค้นสูงได้ กระบวนการผลิตแพง

ตาราง การเลือกใช้วัสดุสำหรับงานเครื่องมือกลทั่วไป (ต่อ)

สัญลักษณ์วัสดุ	ค่าความเค้น N/mm ²		คุณสมบัติลักษณะอย่างการใช้งาน
	R _m	R _e	
St 70 – 2	700..850	370	ชิ้นส่วนที่รับภาระสูง แข็งและทนการสึกหรอ เครื่องมือ แม่พิมพ์ ลูกรีด ลูกเบี้ยว ชิ้นส่วนควบคุม เชื่อมประสานไม่ได้ ชุบแข็งได้มาก อบให้มีความเค้นสูงได้ ทำการผลิตยาก
St 52 – 3	520..620	360	ชิ้นส่วนรับภาระสูงในงานโครงสร้างเหล็ก เกรนและสะพาน เชื่อมประสานได้ดี

(ที่มา มาตรฐาน ตันตระบัณฑิตย์, 2540: 26)

ตารางที่ ต่อ

วัสดุ- ความต้านแรงดึง R _m = (N/mm ²)	250	300	350	400	450	500	550	600
ภาวะสถิติ (I)	60	75	90	100	110	125	135	150
τ _{all} แรงที่เปลี่ยนแปลง (II)	40	50	55	65	70	80	90	95
ภาวะสถิติ (III)	20	25	30	35	35	40	45	50
รอยเชื่อมเดียว								
ภาวะสถิติ (I)	165	200	235	265	300	335	365	400
σ _{1 all} แรงที่เปลี่ยนแปลง (II)	110	135	150	175	195	215	240	260
ภาวะสถิติ (III)	55	65	75	90	100	110	120	130
รอยเชื่อม 2 รอย								
ภาวะสถิติ (I)	275	335	390	445	500	555	610	665
σ _{1 all} แรงที่เปลี่ยนแปลง (II)	180	215	250	285	320	355	390	425
ภาวะสถิติ (III)	90	110	125	145	160	180	195	215
ภาวะสถิติ (I)	75	90	105	120	135	150	165	180
τ _{s all} แรงที่เปลี่ยนแปลง (II)	50	60	75	80	90	100	110	120

(ที่มา มาตรฐาน ตันตระบัณฑิตย์, 2540: 69)

ตารางที่ 2-4 คุณสมบัติของเหล็กกล้าตามมาตรฐานเยอรมัน (DIN)

Material	Elastic modulus MN/m ²	Tensile Strength σ_u MN/m ²	Yield Strength σ_y MN/m ²	Shear Strength MN/m ²	Modulus Of Rigidity MN/m ²
St 37	210,000	370	240	140	80,000
St 42	210,000	420	250	160	80,000
St 50	210,000	500	300	200	80,000
St 52	210,000	520	320	200	80,000
St 60	210,000	600	360	220	80,000
St 70	210,000	700	420	260	80,000
37 Mn Si 5	210,000	1000	750	280	80,000
Al Cu Mg	72,000	420	280	130	28,000

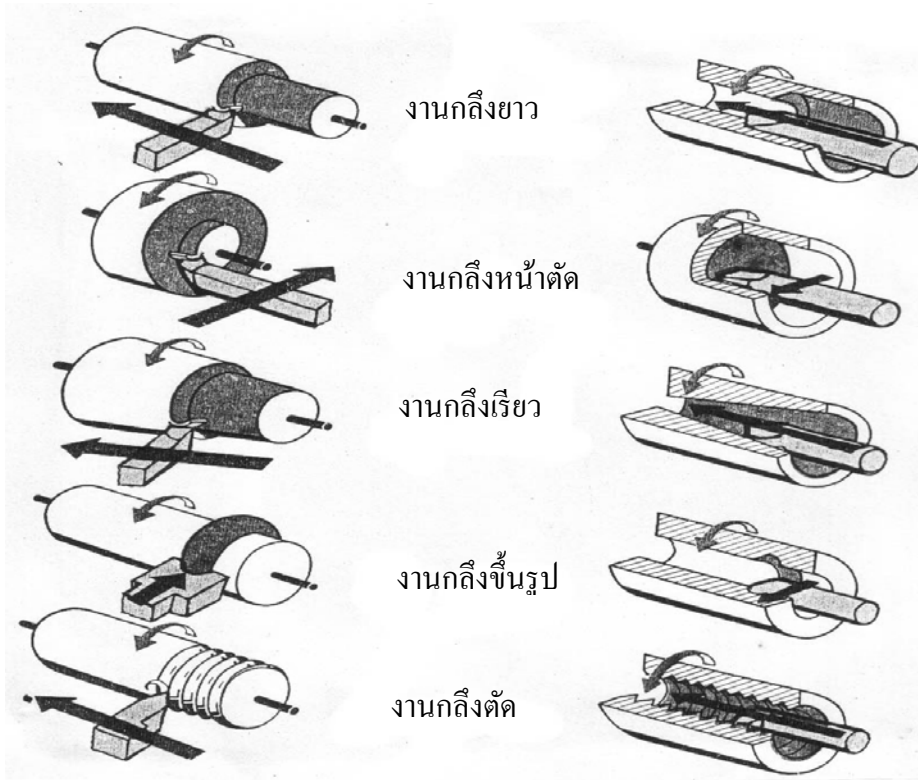
(ที่มา ชนะ กลิการ์, 2526: 443)

สรุป การออกแบบโครงสร้าง ผู้เขียนจะต้องมีความรู้ ความเข้าใจและการนำไปใช้เกี่ยวกับ ความแข็งแรงวัสดุ คือความเค้นแรงดึง (Tensile Stress) ความเค้นอัด (Compressive Stress) ความเค้นเฉือน (Shear Stress)

ทฤษฎีและการปฏิบัติงานเครื่องกล

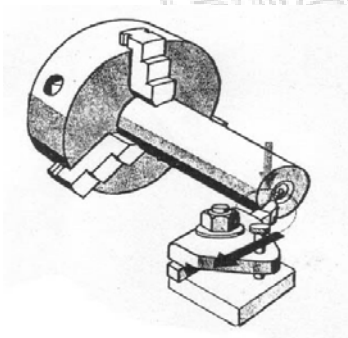
บุญญศักดิ์ ใจจงกิจ (2523) ได้เขียนทฤษฎีเครื่องมือกลเกี่ยวกับงานปาดผิวโลหะด้วยเครื่องกลคือ ชิ้นส่วนใดที่อยู่ในขั้นตอนการผลิต เรียกว่าชิ้นส่วนทั้งสิ้น กรรมวิธีการผลิตวิธีหนึ่งคือ การปาดผิวโลหะจนได้รูป ได้ทรงตามต้องการแต่โดยปกติแล้วเรามักขึ้นรูป ด้วยงานขึ้นรูป ให้ได้รูปทรงคร่าว ๆ เสียก่อน แล้วจึงปาดผิวโลหะ วิธีนี้เราปาดผิวโลหะออก เพียงแต่เล็กน้อย งานปาดผิวโลหะนี้ให้ชิ้นงานที่ได้ขนาด มีความเที่ยง ขนาด และผิวราบเรียบกว่า ชิ้นงานที่ได้จากขึ้นรูปธรรมดา การปาดผิวโลหะทำได้ด้วยมือ หรือใช้เครื่องมือกล ตัวอย่างงานปาดผิวโลหะที่ทำด้วยมือ ได้แก่ งานสกัด งานตะไบ หรืองานเลื่อย ซึ่งต้องใช้มือจับ ส่วนงานปาดผิวโลหะที่ทำด้วยเครื่องมือกลนั้น เครื่องมือกลต้องขั้มีดเข้าหาชิ้นงาน หรือขั้ชิ้นงานเข้าหามีด การใช้เครื่องมือกลทำให้ผลิตชิ้นงานได้กลม หรือผิวงานต้องราบเรียบ เช่น งานตัดเกลียว งานกัดเฟือง และงานตัดเฟือง และผลิตชิ้นงานรูปทรงอื่น ๆ ด้วยเหตุที่เครื่องมือกลชนิดหนึ่งมีลักษณะทำงานอย่างหนึ่ง จำแนกได้เป็น งานกลึง งานกัด งานไส และงานเจียระไน

ลักษณะของงานกลึง ชิ้นงานหมุนกลมลักษณะต่าง ๆ นั้น ทำงานด้วยงานกลึงวิธีต่าง ๆ กล่าวคือ ถ้าเป็นงานกลึงบนผิวข้างนอก เราเรียกว่า งานกลึงนอก และถ้าเป็นงานกลึงผิวข้างใน เราเรียกว่า งานกลึงใน ชิ้นงานที่กลึงเป็นรูปทรงกระบอกยาว เรียกว่างานกลึงยาว งานกลึงขึ้นเป็นรูปเป็นทรง เรียกว่า งานกลึงขึ้นรูป และงานกลึงเป็นเกลียว เรียกว่า งานกลึงตัดเกลียว

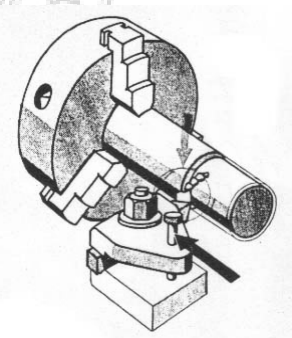


ภาพลักษณะงานกลึง

วิธีกลึงเพลลา โดยปกติขึ้นเริ่มต้นงานมักจะตัดไม่ตรง งานกลึงควรจะเริ่มจากงานกลึงตัดหน้าก่อน เพื่อให้ได้หน้าตัดที่เรียบสม่ำเสมอและได้ฉากกับแกนหมุนของชิ้นงาน มีดที่ใช้ คือ มีดกลึงหน้าตัดขวา ต่อจากนั้นให้ใช้มีดปอกขวา ปอกผิวล่างลงให้ถึงขนาดวัดผ่าศูนย์กลางประมาณ 30.7 มม. ให้ใช้ความเร็วตัด 25 ม. / นาที ชิ้นงานนี้จะหมุนด้วยความเร็วรอบ 250 รอบต่อนาที ขณะกลึงปอกให้ปอกด้วยความกว้างรอยกลึง 0.3 มม. ต่อรอบ

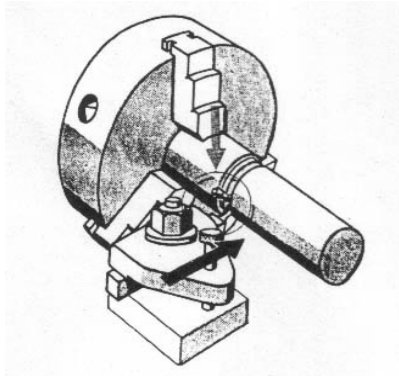


ภาพกลึงหน้าตัด

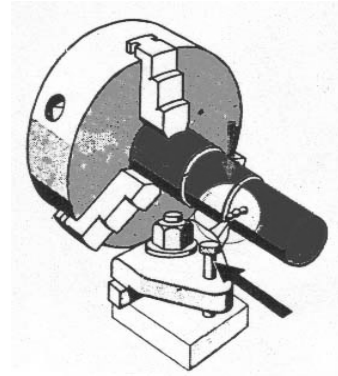


ภาพ กลึงปอกสลัก

ต่อมาจึงให้กลิ้งละเอียดด้วยมีดกลิ้งละเอียด จนได้ขนาดใช้ความเร็วตัด 30 ม/นาที ความกว้างรอยกลิ้ง 0.1 มม. / รอบ ผิวงานจะราบเรียบใช้ได้ต่อมาให้กลิ้งตัดขาด เมื่อตัดขาดออกจากกันแล้ว ให้ใช้มีดกลิ้งหน้าตัดนั้นให้เรียบอีก ความยาวของส่วนที่ตัดออกจะต้องให้ยาวกว่าความยาว ที่กำหนด กลิ้งหน้าตัดหน้าที่ 2 บนส่วนที่ตัดออกมานี้ให้เรียบ แล้วลบคมลง เมื่อต้องจับชิ้นงาน โดยไม่ให้มีรอยจับติดอยู่บนผิวงาน ให้ใช้ “จ้ำปา” ช่วยจับด้วย



ภาพ วิธีการกลิ้งละเอียดผิวสลักเพลลา



ภาพ วิธีการกลิ้งสลักเพลลา

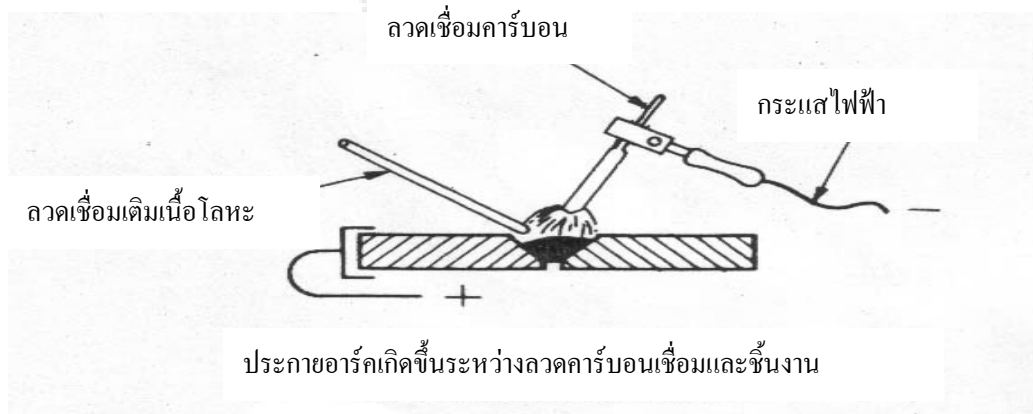
สรุป งานกลึงเป็นงานที่ปาดหรือปอกผิว ให้ได้ขนาดตามต้องการ ซึ่งเป็นลักษณะของงานกลม และมีรูปทรงหลายชนิด เช่นงานกลึงยาว งานกลึงหน้าตัด งานกลึงเรียว งานกลึงขึ้นรูป งานกลึงตัดเกลียว เป็นต้น ในการผลิตชิ้นส่วนเครื่องกลต่าง ๆ นั้นมีกรรมวิธีแตกต่างกันไป ตามลักษณะความต้องการของผู้สั่งให้ทำหรือให้สร้างตามแบบงานที่กำหนด

การเชื่อมประกอบงานด้วยเครื่องเชื่อมไฟฟ้า

ปัจจุบันงานเชื่อมเป็นงานที่รู้จักกันอย่างกว้างขวาง ช่างทุกสาขาจะนำวิธีการเชื่อมไปใช้ในการผลิตเพื่อประกอบชิ้นงานขึ้นสำเร็จรูป เช่น งานก่อสร้าง ได้มีการนำเหล็กและโลหะอื่นมาใช้ในการก่อสร้างมากขึ้น โดยการใช้การเชื่อมประกอบรอยต่อเข้าด้วยกันเป็นส่วนต่างๆของอาคารตามแบบ งานสร้างเครื่องจักร ตัวโครงหรือชิ้นส่วนของเครื่องจักรจะใช้วิธีการเชื่อมประกอบแทนการหล่อ งานผลิตภัณฑ์โลหะ ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการเชื่อมจะมีรูปร่างมั่นคงแข็งแรง งานผลิตในอุตสาหกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ต้องใช้กรรมวิธีเชื่อมประกอบชิ้นส่วนให้มีรูปร่างตามต้องการ งานเชื่อมขยายวงกว้างออกไปมีทั้งลักษณะงานหยาบและงานละเอียด เริ่มตั้งแต่การใช้เทคนิคการทำงานขั้นพื้นฐานไปจนถึงงานเชื่อมที่ต้องใช้เทคโนโลยีสูง มีระบบควบคุมการทำงานด้วยคนและควบคุมการทำงานอัตโนมัติ มีการนำคอมพิวเตอร์มาช่วยงาน งานบางลักษณะต้องใช้ความแข็งแรงสูง ช่างเชื่อมจึงจำเป็นต้องมีความรู้ความสามารถเพิ่มเติม ผ่านการทดสอบฝีมือให้ได้มาตรฐานก่อนทำงานเชื่อม ถ้าช่างเชื่อมไม่มีความรู้ความสามารถชิ้นงานหรือผลิตภัณฑ์ที่ได้ก็จะเป็นไม่แข็งแรง ชิ้นงานที่ดีต้องมีความแข็งแรงทนต่อการร้าวไหลของแก๊สและของเหลว ทนต่อแรงดึงแรงอัด แรงกระแทกภายใต้อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงได้ ถ้าช่างเชื่อมทำงานผิดพลาดจนทำให้งานไม่แข็งแรง ความเสียหายที่เกิดขึ้นอาจจะเป็นอันตรายต่อชีวิต ทรัพย์สินและผู้ใช้มากกว่าลักษณะงานอื่นๆ ฉะนั้นจำเป็นที่ช่างเชื่อม

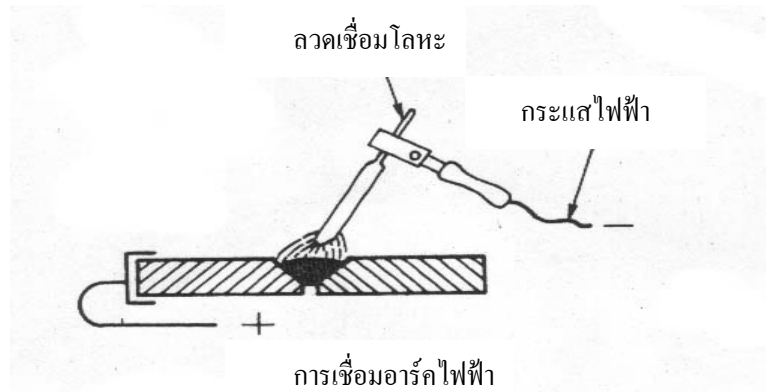
ต้องเรียนต่อศึกษาให้เข้าใจเทคนิคงานโดยต่อแท่ง และฝึกฝนตนเองจนมีฝีมืออยู่ในระดับมาตรฐาน (วิทยา ทองขาว, 2533) ได้แบ่งการเชื่อมไฟฟ้าแบบเปิดออกเป็น 2 วิธีดังนี้

การเชื่อมอาร์คแบบเปิดด้วยลวดเชื่อมคาร์บอน การเชื่อมแบบนี้มีการนำไปใช้งานน้อยมาก ประกายอาร์คที่เกิดขึ้นระหว่างแท่งอิเล็กโทรดทำด้วยคาร์บอนที่ใหม่ที่ละลายกับชิ้นงานหลอมละลาย เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่จะเป็นเครื่องกระแสตรง ต่อแท่งคาร์บอนอิเล็กโทรดเข้ากับขั้วบวกของเครื่องเชื่อม ขณะเชื่อมทำให้เกิดประกายอาร์คและบ่อหลอมที่ชิ้นงาน ใช้วัสดุลวดเชื่อมที่มีคุณสมบัติเช่นเดียวกับวัสดุของชิ้นงานเติมลงในบ่อหลอมละลายดังแสดงในรูป หลังจากบ่อหลอมเย็นตัวจึงเกิดเป็นรอยเชื่อม เชื่อมแบบนี้ไม่สิ้นเปลืองกระแสไฟฟ้า วิธีเชื่อมใช้ลวดเชื่อมเติมคล้ายคลึงกับการเชื่อมแก๊สและการเชื่อมแบบ TIG (Tungsten Inert Gas Welding) ในระหว่างที่ทำการเชื่อมจะเกิดคาร์บอนมอนอกไซด์ เป็นมันแก๊สทำหน้าที่ปกคลุมแนวเชื่อมไว้เพื่อป้องกันไม่ให้อากาศเข้าไปทำปฏิกิริยากับโลหะในบ่อหลอมได้ถ้าปริมาณแก๊สคลุมเพิ่มขึ้น ทำให้การเปลี่ยนแปลงกระแสจากอาร์คของคาร์บอนและอิเล็กโทรดต่ำ พลังงานสูญเสียที่ทำให้ลวดคาร์บอนหลอมละลายจึงน้อยมาก อย่างไรก็ตามวิธีการเชื่อมแบบนี้จะนิยมในการเชื่อมเหล็กแผ่นบางเท่านั้น



ภาพ ประกายอาร์คเกิดขึ้นระหว่างลวดคาร์บอนเชื่อมและชิ้นงาน

การเชื่อมอาร์คแบบเปิดด้วยลวดเชื่อมโลหะ เป็นวิธีการเชื่อมที่นิยมและมีการใช้งานอย่างกว้างขวาง ซึ่งจะได้ศึกษาอย่างละเอียดต่อไป ข้อแตกต่างของการเชื่อมอาร์คด้วยลวดเชื่อมโลหะที่ต่างไปกับการเชื่อมอาร์คด้วยลวดเชื่อมคาร์บอนก็คือ ขณะที่ลวดเชื่อมทำให้เกิดอาร์ค ตัวลวดเชื่อมเองจะทำหน้าที่หลอมละลายเติมเนื้อโลหะให้แก่บ่อหลอมละลายให้เกิดแนวเชื่อม ดังแสดงในรูปที่ 2.18 มันแก๊สที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้หลอมละลายของสารพอกหุ้มปกคลุมโลหะหลอมเหลวไว้จนกระทั่งโลหะเหลวเย็นตัวและแข็ง ส่วนสารพอกหุ้มเมื่อหลอมละลายเย็นลงจะกลายเป็นตะกรันเชื่อม ปิดแนวเชื่อมไว้จนแนวเชื่อมเย็นตัวลง วิธีการแบบนี้ใช้ลวดเชื่อมหรือรูปเชื่อม ซึ่งมีสารพอกหุ้มหนาบางแตกต่างกัน หรืออาจใช้แบบมีสารเคมียึดได้มาทำการเชื่อมก็ได้



ภาพ การเชื่อมอาร์คไฟฟ้าแบบเปิด (หลอมเหลว) โดยใช้ลวดเชื่อมโลหะ

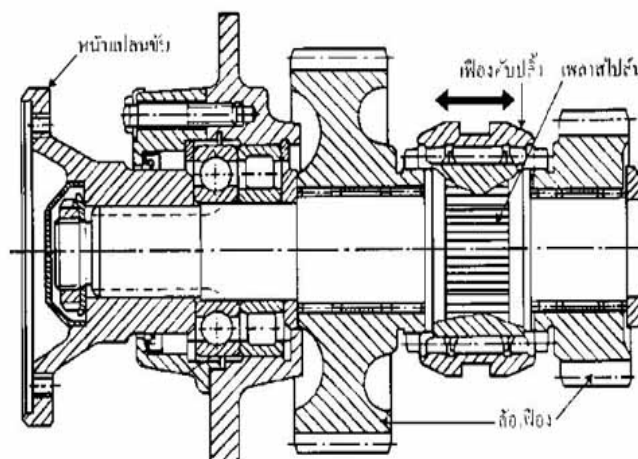
สรุป การประกอบงานมีหลายวิธีด้วยกัน เช่นการใช้สลักเกลียวหมุดย้ำ แต่ที่ใช้กันมากที่สุด คือ การเชื่อมให้ติดกัน การเชื่อมที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ คือการเชื่อมด้วยแก๊สและการเชื่อมด้วยไฟฟ้า ซึ่งมีลักษณะการใช้ต่างกันเช่น เป็นหลักหน้าใช้การเชื่อมไฟฟ้า ถ้าเป็นเหล็กบาง ๆ ใช้การเชื่อมแก๊ส โดยมีลวดเชื่อมเป็นตัวประสานและอาศัยความร้อน ละลายลวดเชื่อมและโลหะให้ติดกัน

ทฤษฎีเพลาส่งกำลัง

ชนิดของเพลาลูก

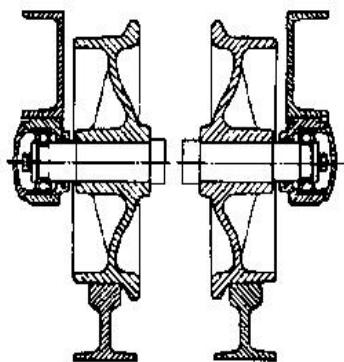
เพลาลูกเป็นส่วนเครื่องจักรกลที่หมุนได้ เพลาลูกจะรับโมเมนต์บิดที่ถ่ายภาระมาจากกล่องเฟืองล้อ สายพาน หรือคัตช์ เพลาลูกจึงสามารถรับภาระบิดและภาระดัด จึงมีการแบ่งเพลาลูกออกเป็น 2 อย่าง คือ เพลาลูกกำลัง และเพลาลูกรับภาระ ดังรายละเอียด

1. เพลาลูกกำลัง (TRANSMISSION SHAFTS) เพลาลูกชนิดนี้ใช้เฉพาะการบิดหรืออาจรับทั้งการบิดและการดัดผสมกันก็ได้ การส่งกำลังจะถ่ายทอดผ่านเพลาลูกโดยอาศัยแผ่นประกบต่อเพลาลูก(COULPING)ผ่านเฟือง ผ่านพูลเลย์ ผ่านสายพาน จานโซ่ หรือโซ่ เป็นต้น ดังรูป



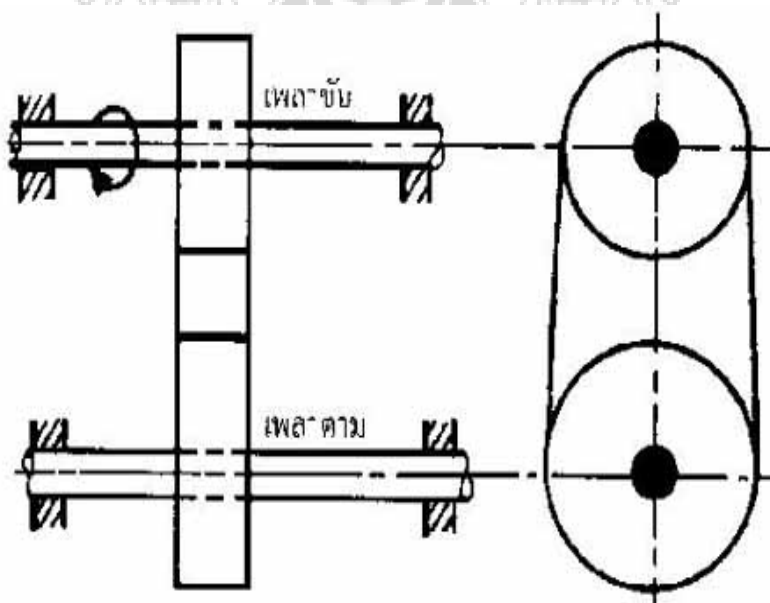
ภาพ เพลาลูกกำลังและส่วนประกอบอื่น ๆ

2. เพลารองรับภาระ เป็นเพลาขึ้นชิ้นเครื่องจักรกลเช่นกัน ขณะใช้งานเพลาชนิดนี้อาจหมุนหรือไม่ก็ได้ แต่ที่สำคัญเพลาชนิดนี้ไม่ได้ส่งกำลังจะทำหน้าที่เป็นตัวรองรับชิ้นส่วนอื่นให้หมุน เช่น เพลาลูกกรอกสายพาน เพลา ลูกกรอกสายพาน เพลาลูกล้อสลิงต่าง ๆ ซึ่งเป็นเพลาที่รับภาระน้ำหนักของอุปกรณ์อื่นที่กดทับทำให้สภาพการเสียหายของเพลาเกิดการตึงอเป็นส่วนใหญ่ เช่น เพลา ล้อรถไฟ เป็นต้น ดังรูป



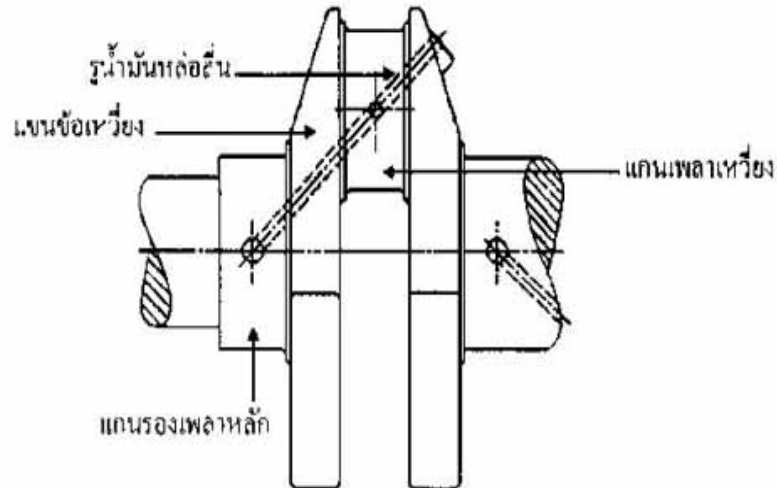
ภาพ เพลารองรับภาระ

ลักษณะของเพลาเพลาที่ใช้งานเป็นชิ้นเครื่องจักรกลที่ใช้กันทั่วไป จะมีลักษณะเป็นเพลาผิวเรียบไม่มีปาดใด ๆ หรืออาจลึงมาให้มีปาดเล็กน้อยเพื่อการประกอกับชิ้นส่วนอื่น เช่น เพลาล้อสายพาน เพลาของล้อเฟือง เพลาเฟืองโซ่ ดังรูป



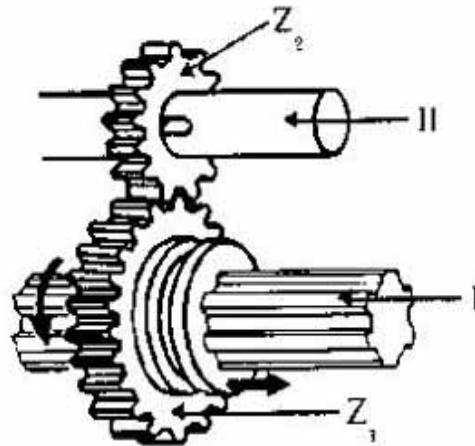
เพลากลวง เป็นเพลาคู่มือที่ผู้ออกแบบได้ออกแบบมาเพื่อต้องการลดน้ำหนัก ซึ่งจะมีน้ำหนักเบาว่าเพลาดันประมาณ 25% ใช้เพลาคู่มือกัด เพลาคู่มือเจาะ ลักษณะของเพลาคู่มือจะมีผิวเรียบ และใช้ทำเพลาคู่มือเพื่อทำรถยนต์ แต่ลักษณะเพลาคู่มือเพื่อทำรถยนต์ผิวของเพลาคู่มือจะไม่เรียบ ดังรูป

เพลาคู่มือ เป็นเพลาคู่มือที่ทำหน้าที่เปลี่ยนการหมุนแบบเส้นตรงเป็นลักษณะตรงกันข้ามส่วนใหญ่เพลาคู่มือจะใช้เป็นชิ้นส่วนของรถยนต์ ดังรูป



ภาพ ลักษณะเพลาคู่มือ

เพลาสปาย (SPLINE) เป็นเพลาคู่มือที่มีร่องคล้ายกับเฟืองอยู่รอบตัวเพลาคู่มือความยาวของร่องฟันเฟืองจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งานของเพลาคู่มือ เพลาคู่มือชนิดนี้ส่วนใหญ่จะใช้กับเฟืองหัวเครื่องกลึงมีลักษณะดังภาพ



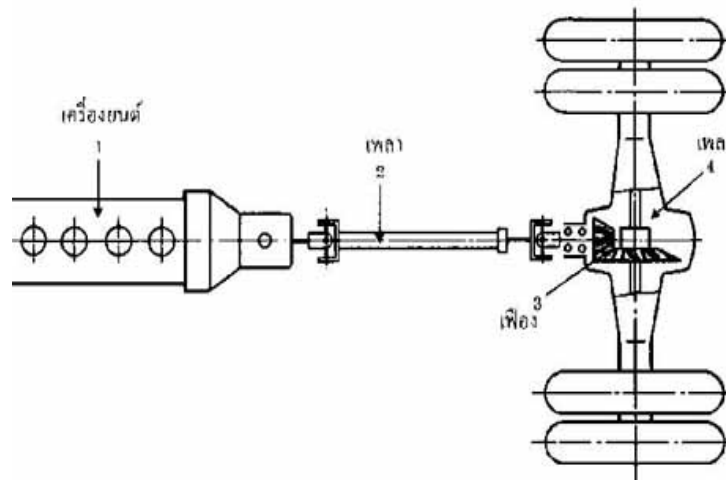
ลักษณะทำงานของเฟืองเลื่อนบนร่องสปายคานส์สี่เหลี่ยม เฟือง Z_2 ติดแน่นอยู่กับเพลาคู่มือ II แต่เฟือง Z_1 เลื่อนเข้าขบและเลื่อนออกจากขบเฟือง Z_2 ได้บนเพลาคู่มือ I

ภาพ ลักษณะเพลาสปาย

เพลารเร็ว เป็นเพลารขึ้นส่วนเครื่องจักรกลอีกลักษณะหนึ่ง ซึ่งตัวเพลารจะมีความเร็วตามมาตรฐานเพื่อใช้ในการจับการยึดเข้าด้วยกันระหว่างเรียวนอกและเรียวใน เช่น เพลารเรียกหัวเครื่องกลึง เครื่องกัด และเครื่องเจาะ และศูนย์หัว-ท้ายของเครื่องกลึง

หน้าที่การใ้ใช้งานของเพลาร

เพลารส่งกำลัง เพลารชนิดนี้มีหน้าที่ส่งถ่ายกำลังจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งโดยผ่านชิ้นส่วนอื่นต่างๆดังนี้ เช่น ส่งถ่ายกำลังมาจากเฟือง มาจากพลาเพย์ มาจากพลาเพย์ มาจากคลัตช์ ซึ่งชิ้นส่วนต่างๆ เหล่านี้ได้ต้นกำลังมาจากมอเตอร์ หรือเครื่องยนต์ ดังรูป



ภาพ รูปการส่งกำลังด้วยเพลาร

เพลารรองรับภาระ เป็นเพลารที่ทำหน้าที่รองรับภาระจากชิ้นส่วนอื่นเช่นกัน ซึ่งเพลารอาจหมุนหรือไม่หมุนก็ได้ แต่ที่สำคัญเพลารรองรับภาระทำหน้าที่หลักคือรับแรงกดอัดจากชิ้นส่วนอื่นตลอดเวลารใช้งาน เช่น เพลารของรอก และคว้านต่างๆ

ชนิดของสายพาน

สายพานและพลาเลยที่ใ้ใช้งานกับเครื่องจักรกลทั่วไปมีหลายชนิดขึ้นอยู่กับลักษณะการใ้ใช้งานโดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

สายพานแบน (FLAT BELT) ใช้สำหรับถ่ายทอดกำลังระหว่างเพลารปผิวเกลียวได้ระหว่าง 0.1 กิโลวัตต์ ถึง 4,000 กิโลวัตต์ ความเร็วรอบของล้อได้สูงถึง 200,000 รอบต่อนาทีและความเร็วแล่นของสายพานได้ถึง 100 เมตรต่อนาที โครงสร้างของสายพานแบนที่ใ้กันทั่วไปมี 3 แบบ คือ แบบหุ้มตัว แบบชั้น และแบบหล่อ

สายพานแบบหุ้มตัว (FOLD EDGE) ใช้เส้นใยทอเป็นแถบห่อแผ่นยางสลัดกัน โดยใช้กาวยึดติด สายพานแบบนี้เมื่อใช้งานต้องต่อปลายทั้ง 2 ข้างเข้าด้วยกัน ตัวสายพานถูกห่อไว้โดยรอบตัวเพื่อป้องกันความเปลี่ยนแปลงของความชื้นในอากาศ และอุณหภูมิแวดล้อม และช่วยลดความสึกหรอเนื่องจากการเสียดสีระหว่างสายพานกับผิวล้อพูลเลย์

สายพานแบบชั้น (CORD) เป็นสายพานที่นำเส้นเชือกที่มีขนาดต่างกันแต่ละชนิดขดเป็นวงเรียงกันและยึดติดกันและต่อกันเป็นกันด้วยยาง แล้วนำแต่ละวงมาขมุกกันเป็นชั้นๆ ด้วยกาวยาง สายพานแบบนี้สร้างเป็นวงสำเร็จไม่มีรูปไม่มีรอยต่อ จะมีขนาดความยาวระบุจากโรงงานผลิต เนื่องจากใช้กาวยางผนึกติดกันเป็นชั้นๆ การใช้งานจึงไม่สมควรใช้กับพูลเลย์ซึ่งมีวงกลมเล็กและล้อซึ่งสายพาน

สายพานแบบหล่อ (ROW EDGE) เป็นสายพานที่วิวัฒนาการของกรรมวิธีการผลิตสำเร็จรูปเส้นเชือกแต่ละชนิดและขนาดถูกนำมาทอเป็นแถบและวางซ้อนสลัดกับยางโดยไม่มีรอยต่อ แล้วนำมาหล่อติดกันเป็นชั้นเดียวโดยการทำการให้ความร้อน สายพานแบบหล่อนี้จะโค้งตัวดีเหมาะสำหรับใช้กับพูลเลย์ล้อเล็กๆ ได้ และสามารถรับแรงดึงได้สูงเหมาะสำหรับงานหนักโครงสร้างมีลักษณะ

สายพานลิ่ม (V-BELT) สายพานลิ่มที่ลักษณะคล้ายกับสายพานแบน คือ ใช้ เส้นใยธรรมชาติและเส้นใยสังเคราะห์วางเป็นแกนแรง และห่อหุ้มด้วยยางหรือวัสดุเดียวกับแกน สายพานลิ่มมีรูปหน้าที่ตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู ด้านข้างหน้าทั้งสองเฉียงสอบเข้าหากันทำมุม 38 ถึง 44 องศา สายพานลิ่มส่งถ่ายกำลังด้วยพูลเลย์ ผิวเกลี้ยงเป็นร่อง สายพานลิ่มยังแบ่งชนิดออกไปตาม ลักษณะการใช้งาน

2.6.1.5 สายพานลิ่มปกติ เป็นสายพานที่ใช้งานกันโดยทั่วไปกับเครื่องจักรกลธรรมดา ที่ใช้ความเร็วรอบไม่มากนัก ทำด้วยแผ่นยางสลัดกับผ้าใบเป็นชั้นๆ สายพานแบบนี้มีลักษณะ

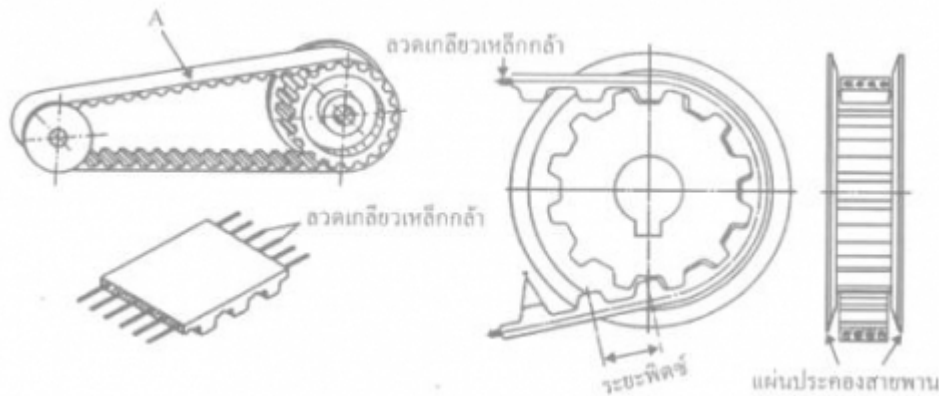
สายพานลิ่มร่วม เป็นสายพานที่สร้างลิ่มหลายลิ่มมารวมกันในเส้นเดียวปัจจุบันนิยมใช้มาก สายพานแบบนี้จะมีแผ่นปิดยางสังเคราะห์ จึงเหมาะสมกับงานที่ทำงานถ่ายเเมโมเมนต์หมุนที่ไม่สม่ำเสมอ และระยะห่างระหว่างแกนเพลามากๆ สายพานแบบนี้มีลักษณะ

สายพานลิ่มแหลม เป็นสายพานลิ่มเช่นกันแต่ลิ่มจะแหลม สามารถกระจายแรงตามแนวรัศมีไปยังแผ่นปิดด้านบนสายพานอย่างสม่ำเสมอตลอดหน้ากว้าง จึงเหมาะใช้กับแกนเพลามีระยะห่างมากๆ และรับแรงสูง สายพานแบบนี้มีลักษณะ

สายพานลิ่มหน้ากว้าง เป็นสายพานรูปร่างพิเศษที่ใช้สำหรับการส่งกำลังที่มีการปรับความเร็วรอบตามความต้องการ สายพานชนิดนี้มีลักษณะโครงสร้าง

สายพานลิ่มหลายรูปพรรณ เป็นสายพานที่ผิวชั้นบนเป็นพลาสติกหุ้มอยู่โดยรอบทำหน้าที่เป็นผิวรับแรงดึง ส่วนเนื้อสายพานร่องลิ่มเป็นสายพานที่เรียงต่อกันไปที่สวมสัมผัสผิวร่องล้อพูลเลย์ได้แบบสนิทพอดี ซึ่งทำให้แรงตามแนวรัศมีถูกถ่ายเทไปยังด้านบนสายพานเหมาะกับงานที่มีอัตราทดสูงมากๆ และส่งกำลังได้ถึง 600 กิโลวัตต์ สายพานชนิดนี้มีลักษณะโครงสร้าง

สายพานฟันเฟือง(Tooth BELT)เป็นสายพานที่แกนรับแรงทำด้วยลวดลายเหล็กกล้า หรือทำด้วยลวดไฟเบอร์ ฝังอยู่ในยางเทียม ซีพินของสายพานทำด้วยยางเทียมแต่มีสูตรผสมพิเศษเพื่อให้คงรูปพอดีกับล้อของพูลเลย์ ผิวภายนอกซึ่งสัมผัสกับผิวของล้อ ซึ่งพินจะหุ้มด้วยเส้นใยไนลอนเพื่อลดความสึกหรอ สายพานชนิดนี้สามารถงอตัวได้ดี ใช้กับพูลเลย์ล้อเล็กๆที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตรได้ ความเร็วแล่นของเพลาคิดมากได้ ต้องการผิวส่งกำลังได้ถึง 40 กิโลวัตต์ ความตึงของสายพานแบบนี้ไม่ต้องตึงเหมือนสายพานแบบลิ้มเนื่องจากพินบนผิวล้อ โครงสร้างของสายพานชนิดนี้มีลักษณะ ดังภาพ



ภาพ ลักษณะโครงสร้างของสายพานฟันเฟือง

หลักการใช้งานของสายพาน

สายพานแต่ละชนิดมีหน้าที่การใช้งานเหมือนกัน คือ ส่งกำลังจากเพลาดตัวหนึ่งไปยังเพลาดอีกตัวหนึ่ง ด้วยความเร็วตามลักษณะการใช้และความสามารถของสายพานนั้นๆ สายพานแต่ละชนิดมีหน้าที่การใช้งานในลักษณะดังต่อไปนี้

หน้าที่การใช้งานของสายพานแบน สายพานจะได้รับกำลังขับมาจากมอเตอร์ผ่านพูลเลย์ และส่งกำลังต่อไปยังพูลเลย์ตัวต่อไป เช่น ใช้เครื่องสีข้าว สายพานแบนมีลักษณะการใช้งานในรูปแบบต่างๆกัน

หน้าที่การใช้งานสายพานลิ้ม สายพานส่วนใหญ่ใช้กับเครื่องจักรกลตามโรงงานต่างๆ สามารถส่งกำลังได้ในตำแหน่งต่างๆได้ แต่ไม่สามารถส่งกำลังแบบไขว้เหมือนกับสายพานแบนลักษณะการใช้งานของสายพานลิ้ม เช่น สายพานของเครื่องกลึง สายพานของรถไถนาเดินตาม

หน้าที่การทำงานของสายพานฟันเฟือง สายพานชนิดนี้ส่วนใหญ่จะใช้งานกับเครื่องจักรกลหรือเครื่องยนต์ที่มีความเร็วรอบสูง และไม่ให้เกิดการสั่นขณะส่งกำลัง เช่น สายพานโซ่ราวลิ้นของเครื่องยนต์ หน้าที่การใช้สายพานชนิดนี้มีลักษณะ

หน้าที่การใช้งานของสายพานหน้ากว้าง การใช้งานของสายพานชนิดนี้มีหน้าที่ใช้งานคล้ายสายพานแบบฟันเฟือง แต่ต่างกันว่าพูลเลย์ของสายพานชนิดนี้สามารถปรับเข้าออกได้

ชนิดของพอลิเมอร์

พอลิเมอร์เป็นส่วนเครื่องจักรที่ใช้งานร่วมกับสายพาน ลักษณะรูปร่างของพอลิเมอร์ที่ใช้ก็จะขึ้นกับลักษณะของสายพานชนิดนั้นๆ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

พอลิเมอร์สายพานแบน เป็นพอลิเมอร์ที่ใช้คู่กับสายพานแบนทำจากหล่อ เหล็ก ก่อ โลหะเบา พลาสติก หรือไม้ บนผิวล้อที่สัมผัสกับสายพานจะต้องลื่นมีเซานั้นจะทำให้สายพานสึกหรอเร็วมาก โดยให้ความความหยาบของผิวอยู่ระหว่าง 4 ถึง 10 Um พอลิเมอร์แบบรูปโค้งและพอลิเมอร์แบบถอดแยกได้เป็น 2 ชั้นได้

พอลิเมอร์สายพานลิ้ม ตามมาตรฐานของ DIN 2217 พอลิเมอร์สายพานที่ลิ้มจะแบบร่องเดียวหรือหลายร่อง มุมรวมของร่องล้อพอลิเมอร์สายพานลิ้มเท่ากับ 32 องศา 34 ลิปดาและ 38 องศา โดยล้อพอลิเมอร์ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางโตกว่า จะมีมุมร่องล้อพอลิเมอร์ที่โตกว่า ร่องล้อพอลิเมอร์จะมีการผลิตให้สายพานที่สวมประกอบแล้วไม่เลยพ้นจากขอบร่องล้อ และจะต้องไม่จมอยู่ในร่องล้อไม่เช่นนั้นสายพานจะสูญเสียปฏิกิริยา แรงลิ้มชัน ลักษณะของพอลิเมอร์สายพานลิ้มลักษณะ

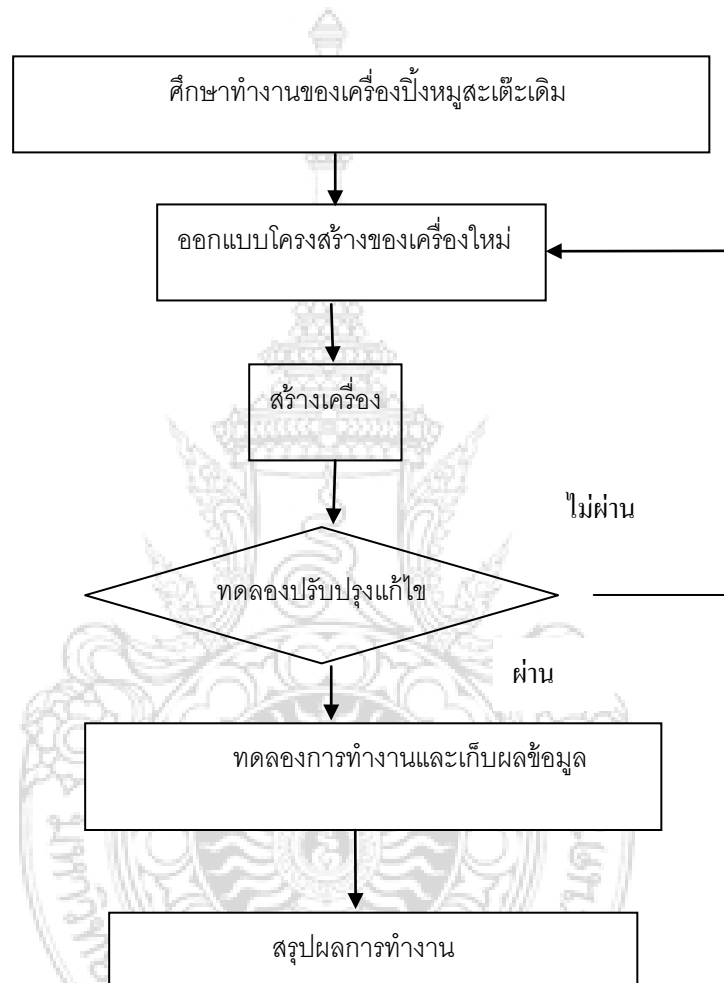
พอลิเมอร์สายพานพื้นเฟือง พอลิเมอร์แบบนี้มีลักษณะคล้ายกับเฟืองสำหรับเป็นตัวสัมผัสกับสายใช้ในการส่งกำลังระยะพิชท์พื้นเฟืองของพอลิเมอร์สายพานพื้นเฟืองมีลักษณะโครงสร้าง



บทที่ 3
ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงานในการสร้างพัฒนาและสร้างเครื่องปิ้งหมูสะเต๊ะกึ่งอัตโนมัติ มีวิธีการและขั้นตอน ดังรูปที่ 3.1

แผนผังการดำเนินการออกแบบและสร้างเครื่อง



ภาพที่ 1 แผนผังการดำเนินการออกแบบและสร้างเครื่อง

1. ศึกษาเครื่องปิ้งหมูสะเต๊ะเดิมทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.1 งานวิจัยเครื่องปิ้งหมูสะเต๊ะ : ผู้ช่วยศาสตราจารย์วัลลภ ภูผา. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร. 2550.



ภาพเครื่องปิ้งหมูสะเต๊ะ: ผู้ช่วยศาสตราจารย์วัลลภ ภูผา

จากการศึกษาผลงานวิจัย สามารถนำไปพัฒนาเครื่องใหม่ สรุปได้ คือ

1. เปลี่ยนพลังงานความร้อนจากระบบไฟฟ้า เป็นระบบจากถ่านไม้ซึ่งตรงกับวัตถุประสงค์ของการวิจัย
2. ปรับระยะทางการป้อนวางหมูสะเต๊ะบนเตาให้มีระยะทางมากขึ้นจากเดิม 90 เซนติเมตร เป็น 200 เซนติเมตร เพื่อให้มีระยะทางในการปิ้งย่างให้หมูสะเต๊ะสุกทั้ง 2 ด้าน โดยการกลับพลิกอัตโนมัติ
3. ใช้ระบบสายพานลำเลียง โดยรูปร่างลักษณะสายพานลำเลียงมีลักษณะคล้ายกับเหล็กวางปิ้งหมูสะเต๊ะแบบเดิม ซึ่งจะทำให้สูญเสียพลังงานความร้อนน้อยลง
4. ความเร็วสายพานในการป้อน ควรอยู่ที่ 0.3-0.5 เมตร/นาที

1.2 ศึกษางานประดิษฐ์เครื่องปิ้งหมูสะเต๊ะของ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ภาค วิศวกรรมการผลิต และสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง



ภาพการแข่งขันออกแบบและสร้างเครื่องปิ้งหมูสะเต๊ะทั้ง 2 สถาบันฯ

จากการศึกษาผลงานวิจัย สามารถนำไปพัฒนาเครื่องใหม่ สรุปได้ คือ

งานสิ่งประดิษฐ์ดังกล่าวมีลักษณะการย่างหมูสะเต๊ะโดยการล้าเดียวสายพานดี การให้ความร้อนใช้พลังงานความร้อนจากถ่านไม้ ทำให้ขณะย่างอาจมีควันไฟบ้าง การนำเสนอเป็นที่สนใจของผู้พบเห็น สร้างแรงจูงใจในการซื้อสูง แต่ทั้ง 2 เครื่องดังกล่าวไม่มีระบบการกลับพลิกหมูยังต้องใช้แรงงานคน

1.3 ศึกษาสิ่งประดิษฐ์ : เตาย่างหมูสะเต๊ะกึ่งอัตโนมัติ

เจ้าของสิ่งประดิษฐ์ : นายอภิชาติ สังข์ทิพย์ , นายสุรเชษฐ ย่านวารี , นายศุภเกียรติ ทองทับ
สถาบัน : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



ภาพสิ่งประดิษฐ์ : เตาย่างหมูสะเต๊ะกึ่งอัตโนมัติสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

จากการศึกษาผลงานวิจัย สามารถนำไปพัฒนาเครื่องใหม่ สรุปได้ คือ

เครื่องดังกล่าวมีระบบควบคุมทำให้ไม่มีควันไฟรบกวน ทำให้ต้นทุนเครื่องสูงมาก มีหลังคาครอบด้านบน จากการสอบถามทำให้ภาพที่เห็นไม่สร้างแรงจูงใจเหมือนกับไม่มีหลังคา ระยะทางการย่างน้อยเกินไป มีอุปกรณ์ติดตั้งมากทำให้ต้นทุนเครื่องสูงเกินไป

2. ขั้นตอนการออกแบบและสร้าง

1. เตรียมงาน

- 1.1 สรุปจากการศึกษาข้อมูลเครื่องเดิมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 1.2 ออกแบบและเขียนแบบพร้อมกำหนดวัสดุ อุปกรณ์ในการสร้างเครื่อง

จัดหาวัสดุ

กำหนดเครื่องมือและเครื่องจักรที่ใช้ในการสร้าง เช่น

- เครื่องกลึง
- เครื่องเชื่อม
- เครื่องเจาะ
- เครื่องมือประจำตัวช่าง

การคำนวณ

หา Torque

เนื่องจากเครื่องจักรตอกไม้ไฟเป็นเครื่องจักรกลขนาดเล็ก ให้แรงในการส่งกำลังไม่มาก อีกทั้งผู้ออกแบบยังต้องการให้มีความสะดวกในการถอดประกอบและเครื่องมีน้ำหนักเบา ผู้ออกแบบต้องการให้ขนาดของเพลายู่ระหว่างเส้นผ่าศูนย์กลาง 15-20 mm และมีความยาวอยู่ที่ 250-300 mm. จากทฤษฎีระบุว่า ในทางปฏิบัติแล้ว มักจะให้มุมบิดของเพลานในเครื่องจักรกลทั่วไปไม่เกิน $0.3 \text{ J} / \text{m}$ และจากตารางค่าโดยประมาณของ Tensile strength , E , G ของวัสดุต่างๆ ได้ค่าดังนี้

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

$$G = 80 \text{ GN/m}^2$$

ความเค้นเฉือนออกแบบ จากตารางค่าความปลอดภัย

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

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

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

$$= 28 \text{ MN/m}^2$$

ผู้ออกแบบได้สมมติให้เพลามีขนาดเล็กเพื่อให้เหมาะสมกับเครื่อง และทำการประกอบเข้ากับอุปกรณ์อื่น ๆ

ได้สะดวก คือเส้นผ่าศูนย์กลาง 35 mm.

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

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

$$= 18.555 \text{ Nm.}$$

$$\text{มุมบิดที่ } L = 0.3 \text{ m}$$

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

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

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

$$G = 80 \text{ GN/m}^2$$

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

$$= 0.014$$

หาค่าลึงมอเตอร์

กำหนดให้เพลางานหมุนด้วยความเร็ว 160 rpm. (เป็นความเร็วที่เหมาะสมที่ใช้ในการจักตอกไม้ไฟ)

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

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

$$= 310.892 \text{ W}$$

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

$$N_1 = 1450 \text{ rpm.} \quad (\text{ความเร็วรอบมอเตอร์})$$

$$D_1 = 76 \text{ mm.} \quad (\text{เส้นผ่าศูนย์กลางล้อสายพานตัวขับ})$$

$$D_2 = 88 \text{ mm.} \quad (\text{เส้นผ่าศูนย์กลางล้อสายพานตัวตาม})$$

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

$$D_3 = 76 \text{ mm.} \quad (\text{เส้นผ่าศูนย์กลางล้อสายพานตัวขับ})$$

$$D_4 = 88 \text{ mm.} \quad (\text{เส้นผ่าศูนย์กลางล้อสายพานตัวตาม})$$

$$N_3 = 1,081 \text{ rpm.} \quad (\text{ความเร็วรอบล้อสายพานตัวขับ})$$

$$N_4 = 98.27 \quad (\text{ความเร็วผ่านชุดเกียร์ทด 11:1})$$

$$D_5 = 127 \text{ mm.} \quad (\text{เส้นผ่าศูนย์กลางเฟืองโซ่เกียร์ทด})$$

$D_6 = 76 \text{ mm.}$ (เส้นผ่าศูนย์กลางเฟืองโซ่ส่งกำลัง)

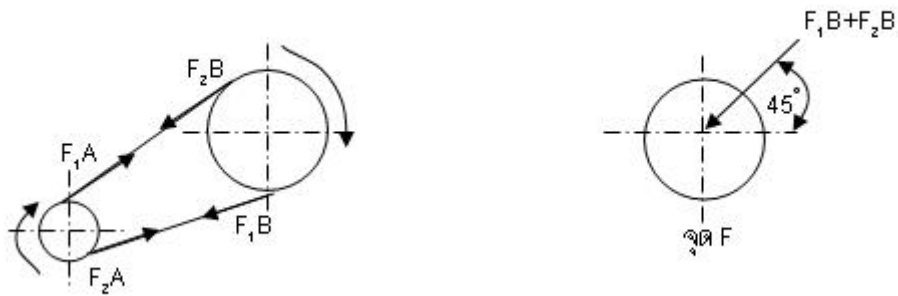
$N_5 = \frac{D_5 N_4}{D_6} = 164.21 \text{ rpm.}$ (ความเร็วรอบเพลางาน)

จะได้ความเร็วรอบ (N) = 164.21 rpm

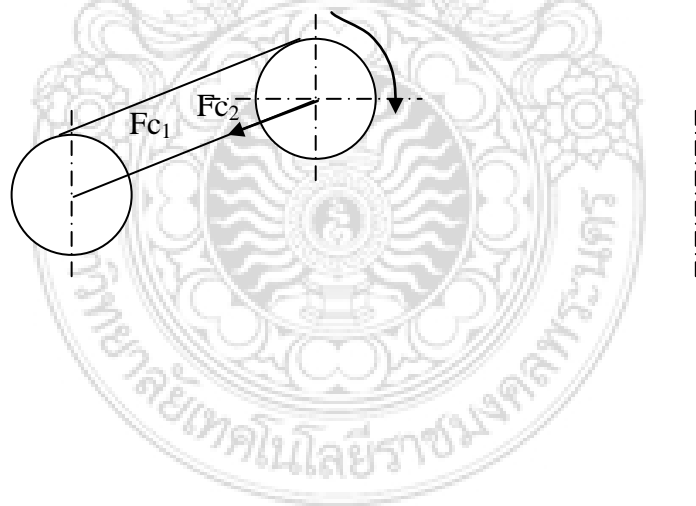
เกินกว่าความเร็วรอบที่ต้องการไม่มาก และก็ไม่มีผลกระทบต่อชิ้นงานที่ได้

คิดแรงกิริยา (action)

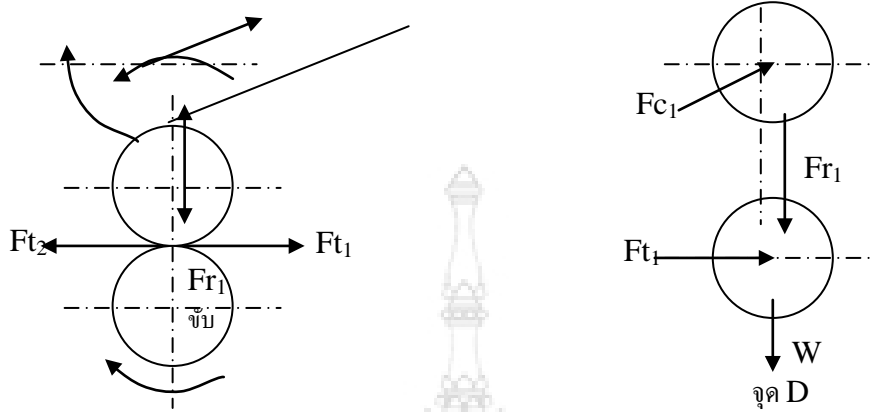
แรงที่กระทำที่จุด F (สายพาน)



แรงที่กระทำที่จุด E (โซ่)

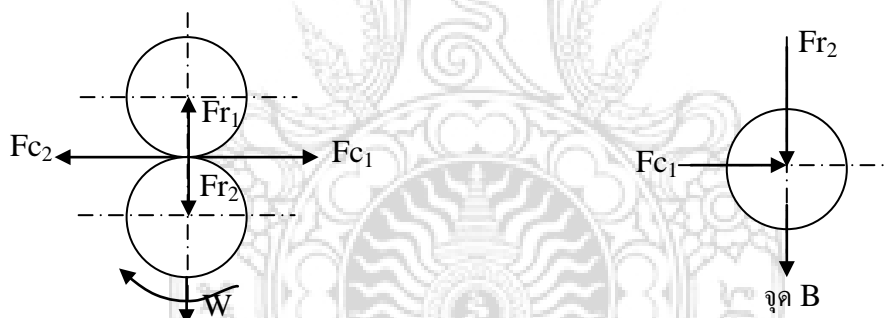


แรงที่กระทำที่จุด D (เฟือง) เฟืองตรง (spur gear)

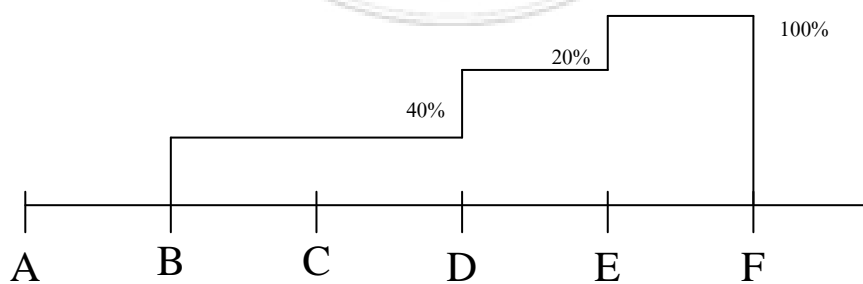


แรงที่จุด B (ยาง)

ผู้ออกแบบได้คำนวณแรงที่มี Load กระทำตลอดเวลา



วิเคราะห์ Torque Diagram



Torque ที่จุด F

$$\begin{aligned} T_F &= \frac{W_p}{2\pi N} \\ &= \frac{373}{2\pi(164.21)} \times 60 \\ &= 21.692 \text{ N.m} \end{aligned}$$

Torque ที่จุด E ใช้ส่งกำลัง 20 %

$$\begin{aligned} T_E &= 0.2 \times 21.692 \\ &= 4.338 \text{ N.m} \end{aligned}$$

Torque ที่จุด D เพื่อส่งกำลัง 40 %

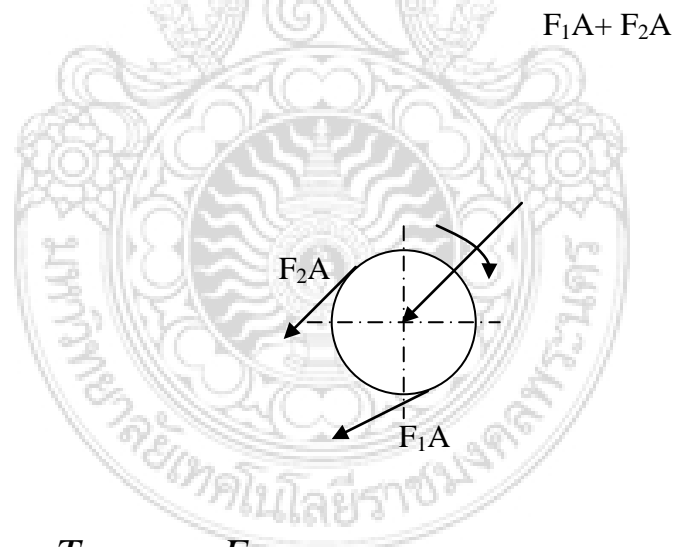
$$\begin{aligned} T &= 0.4 \times 21.692 \\ &= 8.67 \text{ N.m} \end{aligned}$$

Torque ที่จุด C และ B

$$T_C, T_B = 8.67 \text{ N.m}$$

หาแรงที่กระทำกับเพลลา

ที่จุด F



จากสูตร

$$T_F = F_{CA} \cdot r$$

$$F_{CA} = \text{แรงในแนวเส้นรอบวง}$$

$$\begin{aligned} r &= \frac{D \text{ ล้อสายพาน}}{2} \\ &= \frac{88}{2} \\ &= 44 \text{ mm.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_{CA} &= \frac{T_F}{r} \\
 &= \frac{21.692}{0.044} \\
 &= 493 \text{ N}
 \end{aligned}$$

อัตราส่วนแรงดึงสายพาน

$$\frac{F_1 A}{F_2 A} = 1.5 \quad \dots\dots(1)$$

แรงที่ทำให้ลื่น= แรงในแนวเส้นรอบวง

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

แทนค่าใน ... (1)

$$\begin{aligned}
 1.5 F_2 A - F_2 A &= F_{CA} \\
 0.5 F_2 A &= F_{CA} \\
 F_2 A &= F_{CA} / 0.5 \\
 &= \frac{493}{0.5} \\
 &= 986 \text{ N}
 \end{aligned}$$

แรงที่เกิดสายพาน

$$\begin{aligned}
 F_F &= F_1 A + F_2 A \\
 &= 884.31 + 589.54 \\
 &= 1473.85 \text{ N}
 \end{aligned}$$

แรงที่จุด E

การส่งกำลังของโซ่ไม่จำเป็นต้องมีแรงตึงทั้ง 2 ข้าง เนื่องจากโซ่อยู่บนเฟืองโซ่ ดังนั้นในการส่งกำลังโซ่จึงตึงข้างเดียว ดังนั้นแรงโซ่จึงมีค่าเท่ากับแรงในแนวเส้นรอบวง

$$\begin{aligned}
 D_{โซ่} &= 45 \text{ mm.} \\
 F &= F_{CE} \\
 T_E &= F_{CE} \cdot \frac{D}{2} \\
 F_{CE} &= \frac{2T_E}{D} \\
 &= \frac{2 \times 4.42}{0.045} \\
 &= 196.44 \text{ N}
 \end{aligned}$$

แรงที่จุด D

ให้มุม pressure angle = 20°

เพื่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 42 mm.

$$\begin{aligned}T_D &= F_{tD} \cdot r \\F_{tD} &= \frac{2T_D}{D} \\&= \frac{2 \times 8.84}{0.042} \\&= 420.95 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}F_{rD} &= F_{tD} \times \tan 20^\circ \\&= 153.21 \text{ N}\end{aligned}$$

แรงในแนวระดับ

$$F_t = 420.95 \text{ N}$$

แรงในแนวตั้ง

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

หาน้ำหนัก

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

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

$$d = 42 \text{ mm.} = 4.2 \text{ cm.}$$

$$\begin{aligned}V &= \frac{\pi(4.2)^2}{4} \cdot 4 \\&= 55.417 \text{ cm}^3.\end{aligned}$$

น้ำหนัก

$$\begin{aligned}W &= 55.417 \times 7.86 \text{ cm}^3 \cdot \text{g/cm}^3 \\&= 435.57 \text{ g.}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}F_w &= Wg \\&= 0.435 \times 9.81 \text{ kg.m/s} \\&= 4.273 \text{ N}\end{aligned}$$

แรงในแนวดิ่ง

$$\begin{aligned} F &= 153.21 + 4.273 \\ &= 157.483 \text{ N} \end{aligned}$$

แรงกระทำที่จุด B (ยาง)

โดยจะคิดว่าล้อถูกใช้งานตลอดเวลา

$$\begin{aligned} F &= \frac{2T}{D} \\ &= \frac{2 \times 8.84}{0.045} \\ &= 392.88 \text{ N} \\ F_{rD} &= \frac{F_{CD}}{\mu} \quad (\mu = \text{สัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน}) \\ &= \frac{392.88}{0.4} \\ &= 982.2 \text{ N} \end{aligned}$$

หาขนาดเพลลา (เพลลาถูกกลิ้ง)

จุด A

ไม่เกิด Torgue และโมเมนต์ดัดที่จุดนี้

จุด B

$$\begin{aligned} D &= \frac{\sqrt[3]{16[(m\alpha_b)^2 + (\tau\alpha_t)^2]^{1/2}}}{\pi\tau_d} \\ \alpha_b &= \text{ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการดัด} \\ \alpha_t &= \text{ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการบิด} \\ \tau_d &= \text{ค่าความเค้นเฉือนใช้งาน} \\ \alpha_b &= 1.5 \quad \alpha_t = 1.0 \\ \tau_d &= 0.18\sigma_u \\ &= 0.18 \times 420 \\ &= 75.6 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

$$T = 8.84 \times 10^3 \text{ N.mm}$$

$$d_B = \sqrt[3]{\frac{16[(95618.317 \times 1.5)^2 + (8.84 \times 10^3 \times 1)^2]}{\pi \times 75.6}}^{1/2}$$

$$= 21.3121 \text{ mm.}$$

$$d_C = \sqrt[3]{\frac{16[(207921.673 \times 1.5)^2 + (8.84 \times 10^3 \times 1)^2]}{\pi \times 75.6}}^{1/2}$$

$$= 27.957 \text{ mm.}$$

$$\tau_d = 0.18 \times \sigma_u \times 0.75 = 56.7 \text{ N/mm. (มีลิม)}$$

$$d_D = \sqrt[3]{\frac{16[(197827.489 \times 1.5)^2 + (8.84 \times 10^3 \times 1)^2]}{\pi \times 56.7}}^{1/2}$$

$$= 29.875 \text{ mm.}$$

$$d_E = \sqrt[3]{\frac{16[(151805.483 \times 1.5)^2 + (4.42 \times 10^3 \times 1)^2]}{\pi \times 56.7}}^{1/2}$$

$$= 27.349 \text{ mm}$$

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

$$= \sqrt[3]{\frac{16 \times (22.108 \times 10^3 \times 1)}{\pi \times 56.7}}$$

$$= 12.569 \text{ mm.}$$

โซ่และเฟืองโซ่ (ทาด6)

แรงในแนวเส้นสัมผัส

- W_p = กำลังงาน
- n_1 = ความเร็วรอบ
- n_s = ตัวประกอบใช้งาน
- Z = จำนวนฟันบนเฟืองโซ่
- P = กำลังที่ใช้เลือกโซ่
- V = ความเร็วโซ่
- F_{ct} = แรงในแนวเส้นสัมผัส
- F_{ct} = แรงย่อยในแนวข้อต่อโซ่
- F = แรงดึงในโซ่

$W_p = 373 \text{ W}$, $n_1 = 160 \text{ rpm}$, $m = 1$
 เลือกจำนวนฟันบนพินเนียน $Z = 25$ ฟัน
 จัดอยู่ในลักษณะการทำงานแบบที่ 2 จากตารางที่ 13 ที่โซ่โรลเลอร์
 แบบ B (กระตุกมาก)

$$N_s = 1.33$$

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

จากสมการกำลังที่ใช้เลือกโซ่

$$\begin{aligned}
 P &= W_p \cdot N_s \\
 &= (373)(1.33) = 496.09 \text{ W.}
 \end{aligned}$$

จากแผนภูมิ 14 เลือกใช้โซ่ 1 ชั้น ที่มีระยะพิตซ์ 9.525 ซึ่งให้ชื่อเป็นมาตรฐานว่าโซ่โรลเลอร์ ISO / R606 06B-1 ซึ่งมีแรงแตกหัก 8.93 KN

ตรวจสอบความสามารถในการรับแรงของโซ่

$$\text{ความเร็วโซ่ } V = PZn$$

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

จากสมการ

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

จากสมการ

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

จากตารางที่ 11

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

$$\text{ดังนั้น } F_{ct} = \frac{0.39}{1000} (587.4)^2 = 0.23 \text{ N.}$$

$$\begin{aligned}
 \text{แรงดึงในโซ่ } F &= F_t + F_{ct} = 587.4 + 0.23 \\
 &= 587.63 \text{ N.}
 \end{aligned}$$

จากสมการ

- N_b = ค่าความปลอดภัย (7-15)
- α = จำนวนข้อโซ่หรือจำนวนพิตซ์ของโซ่
- C = ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางของเฟืองโซ่
- Z = จำนวนฟันบนพินเนียน

$$Z = \text{จำนวนฟันบนเฟืองโซ่}$$

$$N_b = \frac{Fb}{F} = \frac{8.93 \times 10^3}{587.63} = 15.197$$

ซึ่งถือได้ว่าเป็นจำนวนใช้งานได้

จากตารางที่ 15 โซ่ระยะพิตช์ 9.525 mm ควรใช้ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางประมาณ 450 mm. ดังนั้นจากสมการจำนวนข้อโซ่

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

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

$$= 119.48 \text{ ข้อ}$$

$$\text{เลือกใช้} = 120 \text{ ข้อ}$$

ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางคำนวณได้จากสมการ

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

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

$$= 452.44 \text{ mm.}$$

ดังนั้นเลือกใช้โซ่โรลเลอร์ ISO/R606 06B1 จำนวน 120 ข้อ

เฟือง

$$M = \text{โมดูล}$$

$$d = \text{เส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์}$$

$$N = \text{จำนวนฟัน}$$

$$a = \text{ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางเฟือง}$$

$$m = 2, d = 40 \text{ มม.}$$

$$N = \frac{40}{2} = 20 \text{ ฟัน}$$

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

. โซ่ที่ 20 องศา FD พิตช์ละเอียด (จากตารางที่ 19)

$$\text{แอดเดนดัม} = m = 2$$

$$\text{ดีเดนดัม} = 1.2m + 0.05 = 2.45$$

$$\text{เคลียร์เรนซ์} = 0.2m + 0.05 = 0.45$$

$$\text{ความสูงใช้งาน} = 2m = 4$$

$$\text{ความสูงทั้งหมด} = 2.2m + 0.05 = 4.45$$

โดยที่

$$V = \text{ความเร็วพิตช์}$$

$$K_v = \text{ตัวประกอบความเร็ว}$$

$$F_d = \text{แรงพลวัต}$$

$$F_t = \text{แรงที่ส่งมายังฟันเฟือง}$$

$$Y = \text{ตัวประกอบรูปแบบของลูอิส}$$

$$\sigma = \text{ความเค้น}$$

$$HB = \text{ค่าความแข็งบริเนล}$$

$$K_f = \text{ตัวประกอบความเค้นหนาแน่นจริง}$$

$$F_d, F_b = \text{แรงที่แตกมาจากแรงที่กระทำที่ปลายฟัน}$$

$$b = \text{ความหนาของฟันเฟือง}$$

ความเร็วพิตช์

$$\begin{aligned} V &= \pi d_p N_p \\ &= \pi \left(\frac{40}{1000} \right) \left(\frac{160}{60} \right) \\ &= 0.33 \text{ m/s} \end{aligned}$$

ตัวประกอบความเร็ว

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

แรงพลวัต

$$F_d = K_v F_t = 1.11 F_t$$

จากตาราง โดยสมมติว่าแรงกระทำที่ปลายฟัน

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

สมมติให้ $K_f = 1.5$ จาก

$$1.2 < K_f < 1.7 \text{ เมื่อให้แรงกระทำที่ปลายฟัน}$$

$$1.4 < K_f < 2.0 \text{ เมื่อให้แรงกระทำที่กลางฟัน}$$

ดังนั้นเมื่อคิดเฉพาะความแข็งแรงของฟัน แรงที่ฟันเฟืองควรจะได้รับได้หาได้จาก

$$F_b = \frac{\sigma_b Y m}{K_f} = \frac{(241)(2.45)(0.344)(2)}{1.5} = 270.82 \text{ N.}$$

กำลังงานที่ส่งผ่านเฟืองที่มีค่าสูงสุด เมื่อ $F_b = F_d$ นั่นคือ

$$1.11 F_t = 270.82$$

$$F_t = 243.98 \text{ N}$$

กำลังงานสูงสุด

$$W_p = F_t V = (243.98)(0.33) = 80.51 \text{ W.}$$

ตลับลูกปืน (แบร์ริง)

ต้องการอายุการใช้งานมากกว่า 5000 ชม. จากตารางที่ 20

เพลาหมุน $n = 160 \text{ rpm}$ ลูกปืนขนาด 15 mm.

ที่จุด c $F_r = 677.454 \text{ N}$ $F_a = 4594.688 \text{ N}$ $F_a = 677.454$

N

$$F = X F_r + Y F_a = (0.6 \cdot 4594.688) + (0.5 \cdot 677.454) = 3095.5398 = 3.095 \text{ KN.}$$

อายุการใช้งานของแบร์ริง

$$L_h = \frac{L}{n \cdot 60}$$

$$L = L_h \cdot n \cdot 60 = 8000 \cdot 160 \cdot 60 = 76.8 \cdot 10^6 \text{ รอบ}$$

$$L = 10^6 \frac{t H c}{F}$$

$$(t H c)^3 = \frac{L \cdot F}{10^6} = \frac{76.8 \times 3.095 \times 10^6}{10^6}$$

$$C = 6.1945 \text{ KN.}$$

เลือกใช้แบร์ริงเบอร์ 6202

จากตารางที่ 22

$$C_o = 3.55 \text{ KN}$$

$$B_{\text{ความหนา}} = 11 \text{ mm.}$$

$$D = 35 \text{ mm.}, C = 6.1$$

ตรวจสอบแปรง

$$\frac{F_a}{C_o} = \frac{0.677}{3.55} = 0.190$$

$$\frac{F_a}{F_r} = \frac{0.677}{4.594} = 0.147$$

$$C = 0.3472$$

$$\frac{F_a}{F_r} < CX = 1, Y = 0 \quad \text{จากตารางที่ 21}$$

$$F = XFr + Yfa$$

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

$$= 4594.688 \text{ N.}$$

$$= 4.595 \text{ KN.}$$

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

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

$$= 49.408 \text{ ล้านรอบ}$$

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

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

$$= 5146.6813 \text{ ชม.}$$

ลิม

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

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

$$= 1484.1066$$

ขนาดของ Feathen Key จากตารางที่ 24

$$h = 5.5$$

สำหรับเพลลา 15 mm.

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

$$P = \frac{F_c}{0.5 \cdot h \cdot L_c \cdot i}$$

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

$$P_{all} = 100 \text{ N/mm}^2 \quad \text{จากตารางที่ 24}$$

การเลือกใช้วัสดุ

ชุดไกด์ปืน และชุดลำเลียงไม้ไฟออก

1. แผ่นเพลท ซ้าย – ขวา จะใช้เหล็กเหนียว (St-37) เป็นวัสดุที่ขึ้นรูปได้ง่ายและมีจุด ครากที่สูง
2. เพลลาตัน ใช้เหล็กเหนียว (St-42) ซึ่งเป็นเหล็กที่รับภาระแรงอัด แรงบิดและแรงกระทำต่างๆได้ดีโดยไม่เกิด

ความเสียหาย

3. แผ่นเพลทสำหรับสไลด์ตอกออก จะใช้เหล็กเหนียว (St-37)

4. ชิ้นส่วนมาตรฐาน

- แบร์ริง เบอร์ 6002 (DIN 625)
- สปริงกด (Compression Spring) ชูบแข็ง
- ลิ้ม ใช้ $5 \times 5 \times 30$ (ลิ้มมาตรฐาน) จากตารางที่ 23

ชุดส่งกำลัง

- เพลลา เหล็กเหนียว (St-42) ซึ่งเป็นเหล็กที่รับภาระแรงอัด แรงบิด และแรงกระทำ ต่างๆได้ดี โดยไม่เกิดความเสียหาย
- เฟือง 20 ฟัน เส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์ = 40 มม. โมดูล = 2
- เฟืองไซ้ 3 นิ้ว 17 ฟัน
- โซโรลเลอร์ 06B ตามมาตรฐาน ISO/R 606-1976 (E) จากตารางที่ 15
- ลิ้ม ใช้ $5 \times 5 \times 30$ (ลิ้มมาตรฐาน) (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
- ชุดแกนเพลลาปรับระยะมอเตอร์ ใช้เหล็กเหนียว (St-37)

3 ดำเนินการสร้าง

ชิ้นส่วนอุปกรณ์ต่าง ๆ ของเครื่อง แสดงไว้ในแบบ ซึ่งรายละเอียดต่าง ๆ อธิบายและแสดงแบบประกอบตามลำดับหมายเลขชิ้นส่วนนั้น ๆ ดังต่อไปนี้

1. โครงใช้เหล็กกล่อง 1 นิ้ว x 2 นิ้ว ตัดและเชื่อมประกอบกัน
2. ฐานมอเตอร์ใช้เหล็กแผ่นขนาด 160 x 140 x 5 มิลลิเมตร เชื่อมติดกับโครง
3. ฐานเกียร์ทดใช้เหล็กแผ่นขนาด 160 x 160 x 5 มิลลิเมตร เชื่อมติดกับโครง
- 4.. เฟืองโซ ใช้เฟืองโซขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 นิ้ว 10 อัน
5. มอเตอร์ ใช้มอเตอร์ขนาด 1 แรงม้า AC 220 โวลท์
6. แผ่นปิดชุดเฟืองโซใช้เหล็กแผ่นรูขนาด 740 X 450 X 3 มิลลิเมตรเชื่อมติดเป็นโครง
- 7.. แผ่นปิดด้านบนใช้เหล็กขนาด 700 X 200 X 3 มิลลิเมตรเชื่อมยึดติดกับชุดครอบแกน
- 8.. แกนสำหรับใส่ชุดเบร้งใช้เหล็กเพลตันขนาด 19 มิลลิเมตร ยาว 340 มิลลิเมตร โดยเชื่อมยึดติดกับฐาน
- 9.. ชุดครอบแกนสำหรับใส่ชุดเบร้งใช้เหล็กฉาก 1X 1 X 1/8 นิ้ว ตัดและเชื่อมประกอบกัน
10. เกียร์ทด ใช้เกียร์ทดโดยมีอัตราทด 1 : 40
11. ชุดเบร้ง ใช้เหล็กแท่งขนาด 2 X 2.5 X 1 นำมาไสและกลึงคว้านสำหรับใส่เบร้ง
12. ชุดสปริงใช้สปริงชุบแข็งเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว ยาว 100 มิลลิเมตร 40 อัน
13. โซส่งกำลัง ใช้โซเบอร์ 40 ยาว 1.2 เมตร 2 เส้น



ภาพฐานเครื่อง



ภาพฐานเครื่องแสดงการยึดด้วยโบลท์สามารถถอดประกอบเครื่องได้



ภาพแสดงชุดปรับตั้งความตึงของสายพาน



ภาพแสดงลักษณะสายพานลำเลียงเบื้องต้นอาจปรับรูปแบบอีกครั้งเมื่อใช้งานจริง



ภาพแสดงด้านล่างใต้สายพานรอกการติดตั้งเตา

ขั้นตอนการทดสอบหาประสิทธิภาพ

เตรียมวัสดุในการทดลอง

เตรียมวัสดุ คือ หมูสะเต๊ะที่เสียบไม้แล้วโดยผู้วิจัย ซื้อมูสะเต๊ะที่เสียบแล้วขนาดราคาจำหน่ายไม้ละ 3 บาท จำนวน 600 ไม้ แบ่งการทดลอง 3 ครั้ง ๆ ละ 200 ไม้

การเตรียมความร้อนหรือเชื้อเพลิง

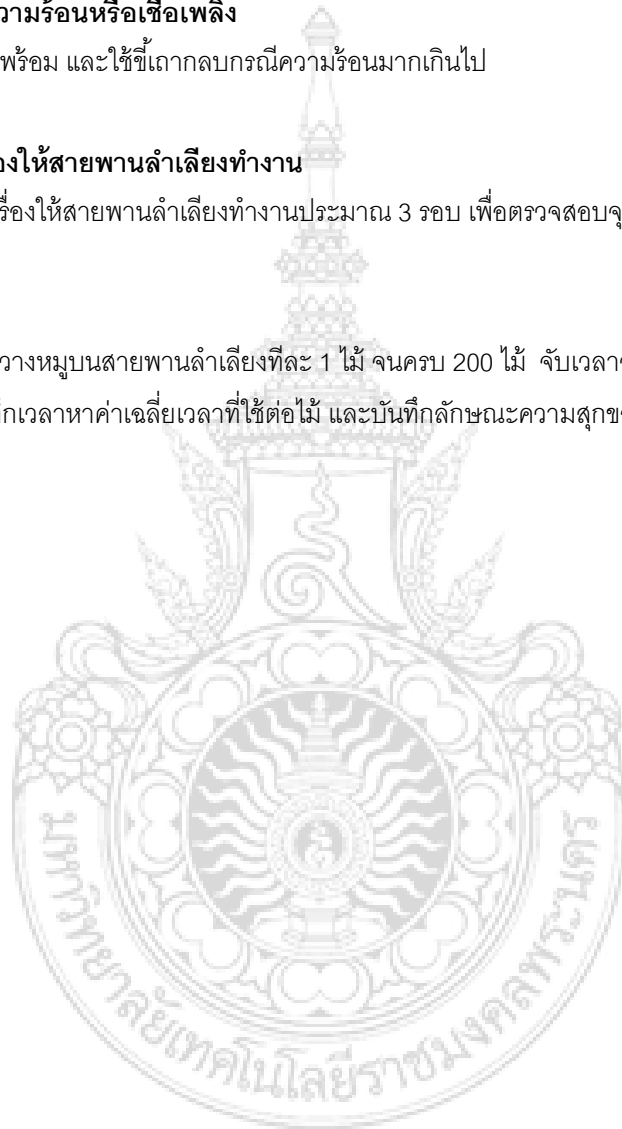
ติดเตาถ่านให้พร้อม และใช้ซีเเกกลบกรณีความร้อนมากเกินไป

การเปิดเครื่องให้สายพานลำเลียงทำงาน

ทดลองเปิดเครื่องให้สายพานลำเลียงทำงานประมาณ 3 รอบ เพื่อตรวจสอบจุดต่างๆ ของสายพาน

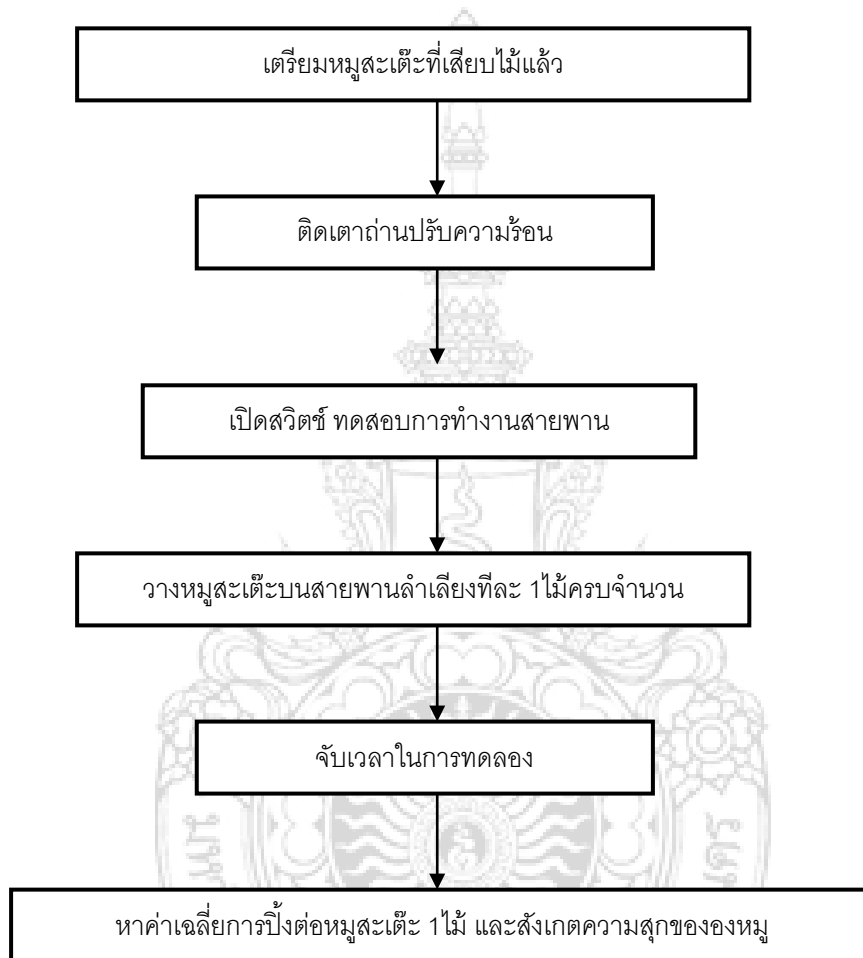
การทดลอง

จับเวลาตั้งแต่วางหมูบนสายพานลำเลียงทีละ 1 ไม้ จนครบ 200 ไม้ จับเวลาจนกระทั่งหมูไม้สุดท้ายออกจากเครื่องปิ้ง และบันทึกเวลาหาค่าเฉลี่ยเวลาที่ใช้ต่อไม้ และบันทึกลักษณะความสุกของหมูทั้ง 2 ด้าน โดยให้ผู้ชมการสาธิตเป็นผู้ชิม



บทที่ 4
ผลที่ได้จากการทดลอง

ขั้นตอนการทดลองถือเป็นขั้นตอนที่สำคัญ เพราะเป็นสิ่งที่สามารถยืนยันได้ถึงประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องปิ้งหมุสะเต๊ะกึ่งอัตโนมัติว่าเป็นไปตามขอบเขตและวัตถุประสงค์ของโครงการหรือไม่ โดยมีขั้นตอนการทดลองดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 วิธีการทดลองหาประสิทธิภาพของเครื่อง

ผลจากการทดลอง

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดลองการป้อนหมูสะอาดที่เสียบไม้แล้วจำนวน 200 ไม้ต่อการทดลอง 1 ครั้ง ปรับความร้อนจากเตาถ่านให้มีอุณหภูมิ 50-80 องศาเซลเซียส ทั้ง 3 ครั้ง การตั้งความร้อนใช้ปรอทเทอร์โมมิเตอร์ให้อยู่ในตำแหน่งเหนือเตา (ระดับเดียวกับการวางหมูสะอาด) เป็นเวลา 1 นาที แล้วตรวจสอบอุณหภูมิจากปรอทที่วัด การตรวจสอบจุดอุณหภูมิของเตาสุ่มตรวจก่อนทดลองแต่ละครั้ง มีระห่างการสุ่มตรวจช่วงละ 10 เซนติเมตรของความยาวเตา ถ่านที่ใช้เป็นถ่านไม้ให้ความร้อนปานกลาง (มีจำหน่ายทั่วไปขายเป็นถุงละ 10-20 บาท)

การทดลองที่	อุณหภูมิเตา 50-80 องศาเซลเซียส ทดลองครั้งละ 200 ไม้			
	เวลาทั้งหมด(นาที)	จำนวนไม้สุก 2 ด้าน (ไม่มีรอยไหม้)	จำนวนไม้ ที่ไม่สุก	จำนวนไม้ ที่มีรอยไหม้เกรียม
1	10	196	-	4
2	10	195	-	5
3	10	194	-	6
$\sum x$	30	585	-	15
เฉลี่ย (\bar{x})	10	195	-	5

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดลอง

บทที่ 5. สรุปผลการทดลอง

เครื่องปั๊มหุสตะเฑาะกึ่งอัตโนมัติ ใช้ทฤษฎีพื้นฐานการออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรซึ่งต้องอาศัยความรู้พื้นฐานทางด้าน กลศาสตร์วัสดุ วิศวกรรมศาสตร์ และอื่น ๆ มาประกอบเข้าด้วยกัน และนำมาใช้ในการคำนวณออกแบบชิ้นส่วนในการสร้างเครื่อง เพื่อให้ได้ตามวัตถุประสงค์ของโครงการและประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้เครื่องปั๊มหุสตะเฑาะที่พัฒนาและปรับปรุงสามารถอย่างหุสตะเฑาะ โดยมีระบบปั๊มเข้าเตา และเมื่อหม้ออยู่เตาที่มีความร้อนจะพลิกกลับเอง ผู้ที่มีอาชีพค้าขายหุสตะเฑาะสามารถนำไปใช้ในการประกอบอาชีพได้จริง มีต้นทุนการผลิตที่ต่ำ

สรุปผลการทดลอง

การทดลองโดยการเตรียมหุสตะเฑาะเสียบไม้แล้วจำนวน 200 ไม้ ตัดเตาถ่านให้ไฟติดและปรับความร้อนตามที่กำหนดโดยการใช้ช้อนเหล็กเปิดเครื่องให้สายพานลำเลียงทำงานวางหุสตะเฑาะบนสายพานครั้งละ 1 ไม้อย่างต่อเนื่องและเริ่มจับเวลา วางหม้ออย่างต่อเนื่องครั้งละ 1 ไม้มีระยะห่าง 5-10 มม. จนกระทั่งหม้อหมด ทดลอง 3 ครั้ง ผลสรุปหุสตะเฑาะใช้เวลาอย่างเฉลี่ย 3 นาที โดยไม่ต้องกลับพลิกหม้อ โดยมีอัตราการสุก 2 ด้านเทียบเป็น 97.5 % หม้อที่ไม่สุกไม่มี และมีรอยไหม้เกรียม 2.5 %

บรรณานุกรม

กิตติ อินทวานนนต์. **เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม**, กรุงเทพมหานคร:สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2540

บรรณเลข ศรนิล และ กิตติ นิงสานนท์. **การคำนวณและออกแบบชิ้นส่วนเครื่องกล :**

พิมพ์ที่ โรงพิมพ์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

บรรณเลข ศรนิล และ ประเสริฐ ก๊วยสมบุญณ์. **ตารางโลหะ :**

พิมพ์ที่ โรงพิมพ์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

วิริทธิ์ อึ้งภาภรณ์ และ ชาญ ถนัดงาน. **การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม 1,2 :**

พิมพ์ที่ บ. ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด , พ.ศ. 2541

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

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

