ภาคผนวก ก

- รายละเอียดของหลักสูตรรายวิชา
- แผนการสอนงานการประลองเรื่องการส่งกำลังด้วยเฟือง
- หัวข้องานการประลอง เรื่องการส่งกำลังด้วยเฟือง
- การวิเคราะห์ความสามารถในการทำงาน เรื่องการส่งกำลังด้วยเฟือง
- การวิเคราะห์ระดับความรู้และทักษะ เรื่องการส่งกำลังด้วยเฟือง
- วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

รายละเอียดของหลักสูตรรายวิชา

Existing syllabus

ชื่อรายวิชา การออกแบบเครื่องจักรกล หน่วยกิต 3 (2-2-5)

รหัสวิชา 5724102 ชั้นปีที่ 3

หลักสูตร วิทยาศาสตร์บัณฑิต เทคโนโลยีอุตสาหกรรมเครื่องกล

สิ่งที่กำหนดให้ในรายวิชา

กระบวนการออกแบบความเค้น ความเครียด ในส่วนประกอบของเครื่องจักรกลพื้นฐาน การสวมประกอบและพิกัดความเผื่อ การออกแบบองค์ประกอบหลักของเครื่องจักรกล เช่น เพลา คาน ลิเวอร์ เป็นต้น เครื่องกลที่เกี่ยวข้องกับการส่งกำลังเช่น สายพาน โซ่ เฟือง คัปปลิ้ง คลัทช์ เบรก เครื่องยึดที่เป็นเกลียว คีม สลัก สไพลนัท สปริง แบริ่ง โดยใช้หลักวิชาต่าง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งความแข็งแรงของวัสดุเป็นเกณฑ์ในการกำหนดขนาดและรูปร่าง เพื่อความเหมาะสมในการออกแบบ

แผนการสอน

หัวข้อ : การประลองการส่งกำลังด้วยเฟือง เวลา 150 นาที

ครั้งที่	วัตถุประสงค์	ใบเนื้อหา	วิธีการสอน	สื่อการสอน	การประเมินผล
1	1. อธิบายทฤษฎีของเฟืองตรง, เฟืองเฉียง และเฟืองดอกจอก	หน้า 1-31	บรรยาย	ใบเนื้อหา	
	2. หาขนาดของเฟืองตรง, เฟืองเฉียง, เฟืองดอกจอกได้	หน้า 32-37	บรรยาย	ใบเนื้อหา, ชุดประลอง	แบบฝึกหัด และ
	3. หาความเร็วรอบเฟืองตรง, เฟืองเฉียง, เฟืองดอกจอกได้	หน้า 32-37	บรรยาย	ใบเนื้อหา, ชุดประลอง	แบบทดสอบ

ตารางที่ ก-1 หัวข้องานการประลอง เรื่องการส่งกำลังด้วยเฟือง

งาน (Job)	แหล่งข้อมูล				
	A	B	C	D	E
งานประลองการส่งกำลังด้วยเฟือง					
1. การหาขนาดของเฟืองตรง	X	X	X		
2. การหาความเร็วรอบของเฟืองตรง	X	X	X		
3. การหาขนาดของเฟืองดอกจอก	X	X	X		
4. การหาความเร็วรอบของเฟืองดอกจอก	X	X	X		
5. การหาขนาดของเฟืองเฉียง	X	X	X		
6. การหาความเร็วรอบของเฟืองเฉียง	X	X	X		

แหล่งข้อมูล (Sources)

A : หลักสูตรรายวิชา (Course Description)

B : ตำราและเอกสาร (Literatures)

C : ประสบการณ์ (Experience)

D : ผู้เชี่ยวชาญ (Experts)

E : จากการศึกษาดูงาน (Job Observation)

ตารางที่ ก-2 การวิเคราะห์ความสามารถในการทำงาน เรื่องการส่งกำลังด้วยเฟือง

ความสามารถในการทำงาน	แหล่งข้อมูล				
	A	B	C	D	E
งานประลองการส่งกำลังด้วยเฟือง					
1. ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	X	X	X		
2. ศึกษาเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	X	X	X		
3. เตรียมวัสดุ อุปกรณ์ที่จะใช้ในการทดลอง	X	X	X		
4. ทดลองตามขั้นตอน	X	X	X		
5. บันทึกค่าที่ได้จากการทดลอง	X	X	X		
6. ทำความสะอาดและจัดเก็บ	X	X	X		

แหล่งข้อมูล (Sources)

A : ประสบการณ์

B : ตำราและเอกสาร

C : จากผู้เชี่ยวชาญ

D : จากการปฏิบัติ

ตารางที่ ก-3 การวิเคราะห์ระดับความรู้และทักษะ เรื่องการส่งกำลังด้วยเฟือง

งานย่อย / ลำดับขั้น (Task or Steps)	ความรู้ (Knowledge)	TK			ทักษะ (Skills)	TS		
		R	A	T		I	C	A
1.ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	1.1 เฟืองตรง		A					
	1.2 เฟืองเฉียง		A					
	1.3 เฟืองดอกจอก		A					
2.ศึกษาเครื่องมือทดลอง	2.1 ชื่อของเครื่องทดลอง	R						
	2.2 ลักษณะรูปร่างของ	R						
	เครื่องทดลอง							
	2.3 หน้าที่การใช้งานของ	R						
	เครื่องทดลอง							
	2.4 ข้อควรระวังในการ	R						
	ใช้เครื่องทดลอง							
3.เตรียมวัสดุอุปกรณ์ที่	3.1 ชื่อของอุปกรณ์ที่	R						
เกี่ยวข้อง	เกี่ยวข้อง							
	3.2 รูปร่างลักษณะของ	R						
	อุปกรณ์							
	3.3 หน้าที่ของอุปกรณ์	R						
	3.4 ข้อควรระวังในการ	R						
	ใช้อุปกรณ์							
4.ทดลองตามขั้นตอน	4.1 ขั้นตอนการทดลอง	R			การทดลอง		C	
	4.2 ข้อควรระวังในการ	R			ตามขั้นตอน			
	ทดลอง							

TK = ชนิดของการเรียนรู้ (Types of knowledge)
R = การฟื้นคืนความรู้ (Recalled knowledge)
A = การประยุกต์ความรู้ (Applied knowledge)
T = การส่งถ่ายความรู้ (Transferred knowledge)

TS = ชนิดของทักษะ (Types of Physical Skill)
I = ขั้นทำตามแบบ (Imitation)
C = ขั้นทำได้ด้วยความถูกต้อง (Control)
A = ขั้นทำได้ด้วยความชำนาญ (Automatism)

ตารางที่ ภ-3 (ต่อ)

งานย่อย / ลำดับขั้น (Task or Steps)	ความรู้ (Knowledge)	TK			ทักษะ (Skills)	TS		
		R	A	T		I	C	A
5.บันทึกค่าที่ได้จากการ	5.1 จดบันทึกค่าที่ได้จาก	R			จดผลการ		C	
ทดลอง	การทดลอง				ทดลอง			
6.ทำความสะอาด/	6.1 ทำความสะอาด	R			การทำความ		C	
จัดเก็บ	เครื่องทดลอง				สะอาดเครื่อง			
	6.2 ทำความสะอาด	R			มือ			
	อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง							
	6.3 จัดเก็บให้เป็น	R						
	ระเบียบ							

TK = ชนิดของการเรียนรู้ (Types of knowledge)

R = การฟื้นคืนความรู้ (Recalled knowledge)

A = การประยุกต์ความรู้ (Applied knowledge)

T = การส่งถ่ายความรู้ (Transferred knowledge)

TS = ชนิดของทักษะ (Types of Physical Skill)

I = ขั้นทำตามแบบ (Imitation)

C = ขั้นทำได้ด้วยความถูกต้อง (Control)

A = ขั้นทำได้ด้วยความชำนาญ (Automatism)

ตารางที่ ก-4 วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

ลำดับ	วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม (Behavioral Objective)	ISL			PSL		
		R	A	T	I	C	A
	การประลองการส่งกำลังด้วยเฟือง		A				
1.	อธิบายวิธีการหาขนาดของเฟืองตรงได้		A				
2.	อธิบายวิธีการหาความเร็วรอบของเฟืองตรงได้		A				
3.	อธิบายวิธีการหาขนาดของเฟืองเฉียงได้		A				
4.	อธิบายวิธีการหาความเร็วรอบของเฟืองเฉียงได้		A				
5.	อธิบายวิธีการหาขนาดของเฟืองดอกจอกได้		A				
6.	อธิบายวิธีการหาความเร็วรอบของเฟืองดอกจอกได้		A				
7.	บอกชื่อชิ้นส่วนของชุดทดลองได้	R					
8.	บอกขั้นตอนของการใช้ชุดทดลองได้	R					
9.	อธิบายวิธีการประลองตามขั้นตอนได้ถูกต้อง	R					
10.	อธิบายข้อควรระวังในการทดลองได้	R				C	
11.	ทำความสะอาดอุปกรณ์ / เครื่องมือได้ถูกต้อง					C	

ISL = ระดับความรู้ความสามารถทางสติปัญญา (Intellectual Skill Level)

R = การฟื้นคืนความรู้ (Recalled knowledge)

A = การประยุกต์ความรู้ (Applied knowledge)

T = การส่งถ่ายความรู้ (Transferred knowledge)

PSL = ระดับความสามารถทางการใช้กล้ามเนื้อทำงาน (Physical Skill Level)

I = ขั้นทำตามแบบ (Imitation)

C = ขั้นทำได้ด้วยความถูกต้อง (Control)

A = ขั้นทำได้ด้วยความชำนาญ (Automatism)

ภาคผนวก ข

- รายชื่อผู้เชี่ยวชาญ
- หนังสือขอเชิญผู้เชี่ยวชาญประเมินความคิดเห็นที่มีต่อชุดประลอง
- แบบประเมินสำหรับผู้เชี่ยวชาญ

รายชื่อผู้เชี่ยวชาญ

กลุ่มผู้เชี่ยวชาญที่มีประสบการณ์สอนในวิชาออกแบบเครื่องจักรกล หรือประสบการณ์สอนในวิชาปฏิบัติการเครื่องกล

ลำดับที่	ชื่อ - นามสกุล	ตำแหน่ง - ที่ทำงาน
1.	รศ.ดร.วิชัย แหวนเพชร	อธิการบดี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
2.	อาจารย์วีรพล อารวรรณ	คณบดีคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
3.	อาจารย์ภัทรพล สุวรรณโฉม	รองคณบดีคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี
4.	ดร.ไพฑูนต์ มังกะโรทัย	คณบดีคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี
5.	อาจารย์วิรัช จิรเสาวภาคย์	อาจารย์ประจำภาควิชาเครื่องกล คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจพ.
6.	อาจารย์ปิยะ กรกชจินตนาการ	อาจารย์ประจำภาควิชาเครื่องกล คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจพ.
7.	อาจารย์อภัยวงค์ จันทร์ช่างพูด	อาจารย์ประจำภาควิชาเครื่องกล คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจพ.

ภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
1518 ถ.พิบูลสงคราม บางซื่อ กรุงเทพฯ 10800

ที่ ศธ 0525.3(1)/ [illegible]

21 มีนาคม 2550

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์ตรวจสอบคุณภาพของชุดประลองการส่งกำลังด้วยเฟือง

เรียน รศ.ดร.วิชัย แหวนเพชร

ด้วยนายไพรัตน์ จันทรัตน์ รหัส 45-2018-104-3 นักศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาเครื่องกล ภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมได้รับอนุมัติให้จัดทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "การสร้างและหาประสิทธิภาพชุดประลองการส่งกำลังด้วยเฟือง" โดยมีคณะกรรมการที่ปรึกษาคือ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุราษฎร์ พรมจันทร์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ภร นนทะสร เป็นที่ปรึกษา

ในการนี้ นักศึกษามีความประสงค์ใคร่ขอความอนุเคราะห์จากท่าน โปรดตรวจสอบคุณภาพชุดประลองการส่งกำลังด้วยเฟืองพร้อมให้ความคิดเห็น และขอคำแนะนำ ข้อเสนอแนะ เพื่อประกอบการทำวิทยานิพนธ์เรื่องดังกล่าว ทั้งนี้เพื่อประโยชน์สูงสุดทางการศึกษาต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อโปรดให้ความอนุเคราะห์ด้วย จักเป็นพระคุณยิ่ง

ขอแสดงความนับถือ

(นายจิระศักดิ์ วิตละ)
หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล

ภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล
โทร. 02-9132500 ต่อ 3207
FAX 02-587-8261

ภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
1518 ถ.พิบูลสงคราม บางซื่อ กรุงเทพฯ 10800

ที่ ศธ 0525.411/ 325

21 มีนาคม 2550

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์ตรวจสอบคุณภาพของชุดประลองการส่งกำลังด้วยเฟือง

เรียน คาจารย์วิรพล อารวรรณ คณบดีคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

ด้วยนายไพรัตน์ จันทรัตน์ รหัส 45-2018 104 3 นักศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตร**ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต** สาขาวิชาเครื่องกล ภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล **คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมได้รับอนุมัติให้จัดทำวิทยานิพนธ์** เรื่อง "**การสร้างและหาประสิทธิภาพชุดประลองการส่งกำลังด้วยเฟือง**" โดยมีคณะกรรมการที่ปรึกษาคือ **ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรานฏร์ พรมจันทร์** และ **ผู้ช่วยศาสตราจารย์กร นนทะสร** เป็นที่ปรึกษา

ในการนี้ นักศึกษามีความประสงค์ใคร่ขอความอนุเคราะห์จากท่าน โปรดตรวจสอบคุณภาพชุดประลองการส่งกำลังด้วยเฟืองพร้อมให้ความคิดเห็น และข้อเสนอแนะ เพื่อประกอบการทำวิทยานิพนธ์เรื่องดังกล่าว ทั้งนี้เพื่อประโยชน์สูงสุดทางการศึกษาต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อโปรดให้ความอนุเคราะห์ด้วย จักเป็นพระคุณยิ่ง

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.[illegible])
หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล

ภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล
โทร. 02-9132500 ต่อ 3207
FAX 02-587-8261

ภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
1518 ถ.พิบูลสงคราม บางซื่อ กรุงเทพฯ 10800

ที่ ศธ 0525 3(1) 2/

21 มีนาคม 2550

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์ตรวจสอบคุณภาพของชุดประลองการส่งกำลังด้วยเฟือง

เรียน ดร.ไพฑูรย์ บังกะโรทัย คณบดีคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี

ด้วยนายไพรัตน์ จันพรัตน์ รหัส 45-2018-104-3 นักศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาเครื่องกล ภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมได้รับอนุมัติให้จัดทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "การสร้างและหาประสิทธิภาพชุดประลองการส่งกำลังด้วยเฟือง" โดยมีคณะกรรมการที่ปรึกษาคือ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรานฎร์ พรมจันทร์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์มาร นนทะสร เป็นที่ปรึกษา

ในการนี้ นักศึกษามีความประสงค์ใคร่ขอความอนุเคราะห์จากท่าน โปรดตรวจสอบคุณภาพชุดประลองการส่งกำลังด้วยเฟืองพร้อมให้ความคิดเห็น และข้อคำแนะนำ ข้อเสนอแนะ เพื่อประกอบการทำวิทยานิพนธ์เรื่องดังกล่าว ทั้งนี้เพื่อประโยชน์สูงสุดทางการศึกษาต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อโปรดให้ความอนุเคราะห์ด้วย จักเป็นพระคุณยิ่ง

ขอแสดงความนับถือ

(นายจิระศักดิ์ วิลละ)
หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล

ภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล
โทร 02-913-2500 ต่อ 3203
FAX 02 587 8261

ภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
1518 ถ.พิบูลสงคราม บางซื่อ กรุงเทพฯ 10800

ที่ ศธ 0525.3(1)/ [illegible]

21 มีนาคม 2550

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์ตรวจสอบคุณภาพของชุดประลองการส่งกำลังด้วยเฟือง

เรียน อาจารย์ภัทรพล สุวรรณโฉม รองคณบดีคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี

ด้วยนายไพรัตน์ จันทรัตน์ รหัส 45-2018-104-3 นักศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาเครื่องกล ภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมได้รับอนุมัติให้จัดทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "การสร้างและหาประสิทธิภาพชุดประลองการส่งกำลังด้วยเฟือง" โดยมีคณะกรรมการที่ปรึกษาคือ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุราษฎร์ พรมจันทร์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ภร นนทะสร เป็นที่ปรึกษา

ในการนี้ นักศึกษามีความประสงค์ใคร่ขอความอนุเคราะห์จากท่าน โปรดตรวจสอบคุณภาพชุดประลองการส่งกำลังด้วยเฟืองพร้อมให้ความคิดเห็น และข้อเสนอแนะ เพื่อประกอบการทำวิทยานิพนธ์เรื่องดังกล่าว ทั้งนี้เพื่อประโยชน์สูงสุดทางการศึกษาต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อโปรดให้ความอนุเคราะห์ด้วย จักเป็นพระคุณยิ่ง

ขอแสดงความนับถือ

(นายจิระศักดิ์ วัลคะ)
หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล

ภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล
โทร. 02-9132500 ต่อ 3207
FAX 02-587-8261

ภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
1518 ถ.พิบูลสงคราม บางซื่อ กรุงเทพฯ 10800

ที่ ศธ 0525.3(1)/ [illegible]

21 มีนาคม 2550

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์ตรวจสอบ คุณภาพของชุดประลองการส่งกำลังด้วยเฟือง

เรียน อาจารย์ปิยะ กรกชจินดาการ

ด้วยนายไพรัตน์ จันทรัตน์ รหัส 45-2018-104-3 นักศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาเครื่องกล ภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมได้รับอนุมัติให้จัดทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "การสร้างและหาประสิทธิภาพชุดประลองการส่งกำลังด้วยเฟือง" โดยมีคณะกรรมการที่ปรึกษาคือ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุราษฎร์ พรมจันทร์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ภร นนทะสร เป็นที่ปรึกษา

ในการนี้ นักศึกษามีความประสงค์ใคร่ขอความอนุเคราะห์จากท่าน โปรดตรวจสอบคุณภาพชุดประลองการส่งกำลังด้วยเฟืองพร้อมให้ความคิดเห็น และข้อเสนอแนะ เพื่อประกอบการทำวิทยานิพนธ์เรื่องดังกล่าว ทั้งนี้เพื่อประโยชน์สูงสุดทางการศึกษาต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อโปรดให้ความอนุเคราะห์ด้วย จักเป็นพระคุณยิ่ง

ขอแสดงความนับถือ

(นายชัยรัตน์ [illegible])
หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล

ภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล
โทร. 02-9132500 ต่อ 3207
FAX 02-587-8261

ภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
1518 ถ.พิบูลสงคราม บางซื่อ กรุงเทพฯ 10800

ที่ ศธ 0525.3(1) /[illegible]

21 มีนาคม 2550

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์ตรวจสอบคุณภาพของชุดประลองการส่งกำลังด้วยเฟือง

เรียน อาจารย์วิรัช จีรเสาวภาคย์

ด้วยนายไพรัตน์ จันทรัตน์ รหัส 45-2018-104-3 นักศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาเครื่องกล ภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมได้รับอนุมัติให้จัดทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "การสร้างและหาประสิทธิภาพชุดประลองการส่งกำลังด้วยเฟือง" โดยมีคณะกรรมการที่ปรึกษาคือ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุราษฎร์ พรมจันทร์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ภร นนทะสร เป็นที่ปรึกษา

ในการนี้ นักศึกษามีความประสงค์ใคร่ขอความอนุเคราะห์จากท่าน โปรดตรวจสอบคุณภาพชุดประลองการส่งกำลังด้วยเฟืองพร้อมให้ความคิดเห็น และขอคำแนะนำ ข้อเสนอแนะ เพื่อประกอบการทำวิทยานิพนธ์เรื่องดังกล่าว ทั้งนี้เพื่อประโยชน์สูงสุดทางการศึกษาต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อโปรดให้ความอนุเคราะห์ด้วย จักเป็นพระคุณยิ่ง

ขอแสดงความนับถือ

([illegible])
หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล

ภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล
โทร 02-9132500 ต่อ 3207
FAX 02-587 8261

ภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
1518 ถ.พิบูลสงคราม บางซื่อ กรุงเทพฯ 10800

ที่ ศธ 0525 จ(1)/ 15

21 มีนาคม 2550

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์ตรวจสอบคุณภาพของชุดประลองการส่งกำลังด้วยเฟือง

เรียน อาจารย์อภิยงค์ จันทร์ช่างพูล

ด้วยนายไพรัตน์ จันทรัตน์ รหัส 45-2018-104-3 นักศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาเครื่องกล ภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมได้รับอนุมัติให้จัดทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "การสร้างและหาประสิทธิภาพชุดประลองการส่งกำลังด้วยเฟือง" โดยมีคณะกรรมการที่ปรึกษาคือ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรานุรักษ์ พรมจันทร์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ภร นนทะสร เป็นที่ปรึกษา

ในการนี้ นักศึกษามีความประสงค์ใคร่ขอความอนุเคราะห์จากท่าน โปรดตรวจสอบคุณภาพชุดประลองการส่งกำลังด้วยเฟืองพร้อมให้ความคิดเห็น และข้อคำแนะนำ ข้อเสนอแนะ เพื่อประกอบการทำวิทยานิพนธ์ดังกล่าว ทั้งนี้เพื่อประโยชน์สูงสุดทางการศึกษาต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อโปรดให้ความอนุเคราะห์ด้วย จักเป็นพระคุณยิ่ง

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรานุรักษ์ พรมจันทร์)
หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล

ภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล
โทร 02-9132500 ต่อ 3207
FAX 02-587-8261

แบบประเมินผู้เชี่ยวชาญ

แบบประเมินชุดนี้ เป็นแบบสอบถามความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญต่อการสร้างและหาประสิทธิภาพชุดประลอง เรื่อง การส่งกำลังด้วยเฟือง

คำชี้แจง

1. แบบสอบถามมีทั้งหมด 3 ตอน

ตอนที่ 1 แบบสอบถามประวัติผู้เชี่ยวชาญ

ตอนที่ 2 แบบสอบถามความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญที่มีต่อการสร้างและประสิทธิภาพชุดประลอง เรื่อง การส่งกำลังด้วยเฟือง

ตอนที่ 3 ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะอื่น ๆ

ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

(นายไพรัตน์ จันทรัตน์)
นักศึกษาปริญญาโท
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ตอนที่ 2 แบบสอบถามความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญที่มีต่อการสร้างและประสิทธิภาพชุดประลอง เรื่อง การส่งกำลังด้วยเฟือง

<u>คำชี้แจง</u>

ขอให้ท่านแสดงความคิดเห็นสอดคล้องของท่าน ในฐานะผู้เชี่ยวชาญ ที่มีต่อการสร้างและประสิทธิภาพชุดประลอง เรื่อง การส่งกำลังด้วยเฟือง โดยทำเครื่องหมาย / ลงในช่องหนึ่งช่องใดทางขวามือที่ตรงกับระดับความคิดเห็นของท่านมากที่สุด โดยแบ่งเป็น 3 ด้าน คือ

1. **ด้านการออกแบบชุดทดลอง**
2. **ด้านการทดลอง**
3. **ด้านคุณภาพชุดทดลอง**

ข้อกำหนด ระดับความคิดเห็นมีเกณฑ์ดังนี้

+1	หมายถึง	เห็นด้วยว่าชุดประลองสามารถวัดได้ตรงตามจุดประเมิน
0	หมายถึง	ไม่แน่ใจว่าชุดประลองสามารถวัดได้ตรงตามจุดประเมิน
-1	หมายถึง	เห็นด้วยว่า ชุดประลองไม่สามารถวัดได้ตรงตามจุดประเมิน

ตอนที่ 1 แบบสอบถามประวัติผู้เชี่ยวชาญ

<u>คำชี้แจง</u> ขอความกรุณากรอกประวัติส่วนตัวของผู้เชี่ยวชาญเพื่อประกอบในการวิจัย

1.1 ชื่อ – นามสกุล..... อายุ.....ปี

1.2 การศึกษาสูงสุด.....

1.3 สาขาวิชา.....

.....

.....

1.4 ประสบการณ์ทำงาน / ประสบการณ์สอน ..... ปี

1.5 ประสบการณ์ในการทำงาน / การสอนเชี่ยวชาญทางด้าน.....

.....

.....

1.6 ตำแหน่งงานปัจจุบัน.....

.....

.....

1.7 สถานที่ทำงาน.....

.....

.....

1.8 เบอร์โทรศัพท์.....

❁❁❁❁❁❁❁❁❁❁❁❁❁❁

ตอนที่ 2 แบบประเมินความคิดเห็นผู้เชี่ยวชาญด้านคุณภาพต่อชุดประลองการส่งกำลังด้วยเฟือง

ข้อที่	ข้อคำถามแสดงความคิดเห็น	ระดับความคิดเห็น			*IOC*
ด้านการออกแบบชุดประลอง		+1	0	-1	
1.	ขนาดของชุดประลองมีความเหมาะสม				
2.	การจัดตำแหน่งต่างๆของอุปกรณ์มีความเหมาะสม				
3.	โครงสร้างชุดประลองมีความแข็งแรงทนทาน				
4.	การเลือกวัสดุมีความเหมาะสม				
5.	ชุดประลองมีลักษณะใกล้เคียงกับงานจริงทางอุตสาหกรรม				
6.	การออกแบบรูปร่างชุดประลอง				
7.	ชุดประลองมีความปลอดภัยในการปฏิบัติการทดลอง				
8.	ชุดประลองมีความสะดวกต่อการประลอง				
9.	ความสะดวกในการเคลื่อนย้ายชุดประลอง				
10.	ชุดประลองก่อให้เกิดแรงจูงใจในการเรียน				
11.	เสริมสร้างให้ผู้เรียนเกิดทักษะในการเรียนรู้				
12.	ชุดประลองง่ายต่อการซ่อมแซมและบำรุงรักษา				
ค่าดรรชนีความสอดคล้องเฉลี่ยรวม					

ข้อที่	ข้อคำถามแสดงความคิดเห็น	ระดับความคิดเห็น			*IOC*
ด้านการทดลอง		+1	0	-1	
1.	ขั้นตอนการทดลองมีความเหมาะสมเข้าใจง่าย				
2.	คู่มือประกอบการทดลองมีความเหมาะสมชัดเจน				
3.	ใบประลองมีเนื้อหาเหมาะสมสอดคล้องและเข้าใจง่าย				
4.	การทดลองมีความคล่องตัวในการปฏิบัติการทดลอง				
5.	ตารางการบันทึกผลการทดลองง่ายและชัดเจน				
ค่าดรรชนีความสอดคล้องเฉลี่ยรวม					

ข้อที่	ข้อคำถามแสดงความคิดเห็น	ระดับความคิดเห็น			*IOC*
ด้านคุณภาพชุดประลอง		+1	0	-1	
1.	ผลการทดลองมีความสอดคล้องกับผลทางทฤษฎี				
2.	ชุดประลองช่วยให้เกิดการเรียนรู้ตรงตามวัตถุประสงค์				

ตอนที่ 3 ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะอื่น ๆ

<u>คำชี้แจง</u> โปรดแสดงความคิดเห็นและข้อเสนอแนะอื่น ๆ

3.1 ความคิดเห็นทางด้านการออกแบบชุดประลอง.....

.....

.....

ข้อเสนอแนะ.....

.....

3.2 ความคิดเห็นทางด้านการทดลอง.....

.....

.....

ขอเสนอแนะ.....

.....

3.3 ความคิดเห็นทางด้านผลการทดลอง.....

.....

.....

ข้อเสนอแนะ.....

.....

3.4 ความคิดเห็นอื่น ๆ เกี่ยวกับชุดประลอง.....

.....

.....

ลงชื่อ..... ผู้ประเมิน

(.....)

...../...../.....

ตารางที่ ข-1 แสดงคะแนนจากการใช้ชุดประลองสอนและแบบฝึกหัด

คนที่	แบบฝึกหัดที่1 (คะแนนเต็ม 10)	แบบฝึกหัดที่1 (คะแนนเต็ม 10)	แบบฝึกหัดที่1 (คะแนนเต็ม 10)	แบบทดสอบ
1	7	8	8	17
2	8	8	9	16
3	8	7	9	18
4	8	9	9	18
5	7	8	8	17
6	10	10	7	18
7	9	10	8	18
8	8	7	7	20
9	8	7	9	17
10	8	8	9	16
11	7	8	8	18
12	8	10	8	17
13	9	7	7	16
14	9	8	10	18
15	10	8	8	16
16	10	9	9	18
17	8	7	9	16
18	9	8	10	17
19	9	8	8	17
20	8	10	10	17
$\sum x$	168	155	170	345
$\bar{X}$	8.40	7.75	8.50	17.25
ร้อยละ	84	77.5	85	86.2

สรุป –

แบบฝึกหัดเฉลี่ยร้อยละ 82.10 แบบทดสอบเฉลี่ยร้อยละ 86.20

ตารางที่ ข-2 ผลการวิเคราะห์แบบประเมินของผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบชุดประลอง

ข้อที่	ข้อคำถามแสดงความคิดเห็น	ระดับความคิดเห็น			*IOC*
ด้านการออกแบบชุดประลอง		+1	0	-1	
1.	ขนาดของชุดประลองมีความเหมาะสม	7	0	0	1.00
2.	การจัดตำแหน่งต่างๆของอุปกรณ์มีความเหมาะสม	7	0	0	1.00
3.	โครงสร้างชุดประลองมีความแข็งแรงทนทาน	7	0	0	1.00
4.	การเลือกวัสดุมีความเหมาะสม	7	0	0	1.00
5.	ชุดประลองมีลักษณะใกล้เคียงกับงานจริงทางอุตสาหกรรม	5	2	0	0.71
6.	การออกแบบรูปร่างชุดประลอง	6	1	0	0.85
7.	ชุดประลองมีความปลอดภัยในการปฏิบัติการทดลอง	6	1	0	0.85
8.	ชุดประลองมีความสะดวกต่อการประลอง	7	0	0	1.00
9.	ความสะดวกในการเคลื่อนย้ายชุดประลอง	7	0	0	1.00
10.	ชุดประลองก่อให้เกิดแรงจูงใจในการเรียน	6	1	0	0.85
11.	เสริมสร้างให้ผู้เรียนเกิดทักษะในการเรียนรู้	6	1	0	0.85
12.	ชุดประลองง่ายต่อการซ่อมแซมและบำรุงรักษา	7	0	0	1.00
ค่าดรรชนีความสอดคล้องเฉลี่ยรวม					0.925

ตารางที่ ข-3 ผลการวิเคราะห์ การประเมินระดับความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญต่อชุดประลอง

ข้อที่	ข้อคำถามแสดงความคิดเห็น	ระดับความคิดเห็น			*IOC*
ด้านการทดลอง		+1	0	-1	
1.	ขั้นตอนการทดลองมีความเหมาะสมเข้าใจง่าย	7	0	0	1.00
2.	คู่มือประกอบการทดลองมีความเหมาะสมชัดเจน	6	1	0	0.85
3.	ใบประลองมีเนื้อหาเหมาะสมสอดคล้องและเข้าใจง่าย	6	1	0	0.85
4.	การทดลองมีความคล่องตัวในการปฏิบัติการทดลอง	7	0	0	1.00
5.	ตารางการบันทึกผลการทดลองง่ายและชัดเจน	7	0	0	1.00
ค่าดรรชนีความสอดคล้องเฉลี่ยรวม					0.940

ตารางที่ ข-4 ผลการวิเคราะห์ การประเมินระดับความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญต่อชุดประลอง ด้านคุณภาพ

ข้อที่	ข้อคำถามแสดงความคิดเห็น	ระดับความคิดเห็น			*IOC*
ด้านคุณภาพชุดประลอง		+1	0	-1	
1.	ผลการทดลองมีความสอดคล้องกับผลทางทฤษฎี	7	0	0	1.00
2.	ชุดประลองช่วยให้เกิดการเรียนรู้ตรงตามวัตถุประสงค์	5	2	0	0.71
	ค่าดรรชนีความสอดคล้องเฉลี่ยรวม				0.855

ตารางที่ ข-5 ผลวิเคราะห์แบบประเมินของผู้เชี่ยวชาญ ทั้ง 3 ด้าน

รายการ	แบบประเมิน	ดัชนีความสอดคล้อง (IOC)
1.	ด้านการออกแบบชุดประลอง	0.925
2.	ด้านการประลอง	0.940
3.	ด้านคุณภาพชุดประลอง	0.855
	ระดับค่าเฉลี่ยรวม	0.906

ภาคผนวก ค

- ใบเนื้อหาทฤษฎีเกี่ยวกับเฟือง
- ใบประลอง
- ใบทดสอบ
- คู่มือการใช้ชุดประลองการส่งกำลังด้วยเฟือง

ใบเนื้อหา	
วิชา ออกแบบเครื่องจักรกล	หน้า 1
เรื่อง เฟือง	

เฟือง (GEARS)

เฟืองเป็นชิ้นส่วนเครื่องกลที่สามารถส่งกำลังได้โดยไม่ลื่นไถล ทั้งนี้เนื่องจากใช้ซี่ฟันเป็นตัวส่งผ่านการเคลื่อนที่แบบสัมผัสตรงระหว่างตัวขับกับตัวตาม นอกจากนี้ยังสามารถทำให้เกิดความเร็วเชิงมุมคงที่และการสัมผัสที่ผิวเป็นแบบ Rolling Contact ด้วยการออกแบบให้ซี่ฟันมีลักษณะโค้ง จากคุณสมบัติพิเศษข้างต้นของเฟือง จึงถูกนำไปใช้ในงานส่งกำลังทางกลมากมาย เพื่อให้เหมาะสมกับลักษณะงานต่างๆ เฟืองจึงถูกพัฒนาให้มีรูปร่างลักษณะที่แตกต่างกันตามความเหมาะสมในงานนั้นๆ ถึงแม้เฟืองแต่ละชนิดจะมีลักษณะแตกต่างกันก็ตาม แต่ก็ยังคงมีเอกลักษณ์เฉพาะของเฟือง ดังนี้

1. ส่งกำลังโดยใช้ฟัน
2. ผิวฟันเฟืองสัมผัสกันแบบ Rolling Contact
3. ให้อัตราส่วนความเร็วเชิงมุมคงที่

เฟืองเป็นตัวส่งกำลังที่แข็งแรงที่สุดมีอัตราทดที่แน่นอนที่สุด และให้ประสิทธิภาพการส่งกำลังสูงสุด การส่งกำลังระหว่างเพลา นอกเหนือจากสายพานและโซ่แล้ว ยังมีวิธีการส่งกำลังอีกวิธีหนึ่งก็คือเฟือง เฟืองจัดว่าเป็นระบบส่งกำลังที่แข็งแรงและทนทานที่สุด และจะพบเห็นมากในระบบส่งกำลังของรถยนต์ ไม่ว่าจะเป็นเกียร์เปลี่ยนความเร็วเฟืองท้ายรถยนต์ ตลอดจนเครื่องมือกลต่างๆ เช่นเครื่องกลึง เครื่องกัด เครื่องตัด ไส เครื่องเจาะล้วนแล้วแต่ใช้เฟืองเป็นส่วนประกอบในการส่งกำลังทั้งสิ้น นอกจากนี้ เครื่องจักรขนาดใหญ่ใช้งานหนักต่างก็ใช้เฟืองส่งกำลังเช่นเดียวกันเพราะมีข้อดีหลายอย่างคือ

1. อัตราทดคงที่แน่นอน ไม่มีการลื่นไถล (Slip)
2. สามารถใช้งานที่อัตราทดสูงๆ ได้
3. มีความแข็งแรงทนทานสูง
4. สามารถใช้กับงานที่มีอุณหภูมิสูงได้
5. สมรรถนะประสิทธิภาพในการส่งกำลังสูงกว่าชนิดอื่นๆ

ส่วนข้อเสียของเฟือง ก็มีเช่นกันคือ

1. ความยุ่งยากในการออกแบบเฟือง อัตราทดและการกัดเฟืองให้ได้ตามที่กำหนด

ใบเนื้อหา	
วิชา ออกแบบเครื่องจักรกล	หน้า 2
เรื่อง เฟือง	

2. ราคาแพงกว่าการส่งกำลังด้วยวิธีอื่น

3. เสียค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง และบำรุงรักษามากกว่า

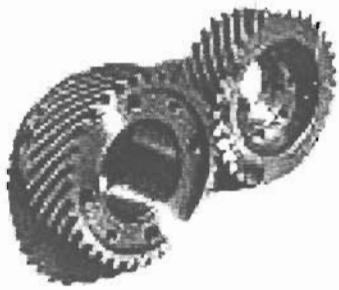
4. ถ้าระยะห่างระหว่างเพลาขับกับเพลาตามมีระยะห่างมาก ก็จะทำให้ขนาดเฟืองส่งกำลังมีขนาดใหญ่มากเช่นกัน

ดังนั้นการส่งกำลังด้วยเฟืองจึงเหมาะกับงานส่งกำลังขนาดใหญ่ใช้งานหนักหรืองานที่มีความเร็วสูงๆ ขณะเดียวกันการส่งกำลังด้วยเฟืองก็มีราคาแพงและจะมีราคาแพงยิ่งขึ้นถ้าเป็นเฟืองที่ต้องการความละเอียดและความถูกต้องแม่นยำสูง ฉะนั้นสิ่งที่สำคัญก็คือการกำหนดค่าพิกัดความเผื่อที่เหมาะสมกับการใช้งาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเฟืองที่ใช้ในงานเครื่องมือวัด และเครื่องคอมพิวเตอร์จะต้องมีอัตราทดความเร็วที่จะต้องเที่ยงตรงสูงจึงทำให้เฟืองเหล่านี้มีราคาค่อนข้างสูง ส่วนเฟืองที่ใช้ส่งกำลังความเร็วต่ำการใช้งานไม่สำคัญมากนัก เช่น เฟืองเปิด การกัดทำเฟืองอาจจะมีคุณภาพมาตรฐานต่ำจะทำให้ราคาไม่สูงมากนัก แต่ก็ถือว่ามีราคาสูงกว่าการส่งกำลังด้วยอุปกรณ์ชนิดอื่น สำหรับรูปแบบของฟันเฟืองขนาดและคุณภาพที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมจะกำหนดตามมาตรฐานของสมาคมผู้ผลิตเฟืองแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา (American Gear Manufactures Association; AGMA)

1.1 ลักษณะการส่งกำลังของเฟือง

เป็นการพัฒนามาจากการใช้ล้อเสียดทาน โดยการสร้างรูปแบบฟันเฟืองขึ้นที่ผิวของล้อเสียดทาน ซึ่งฟันของล้อหนึ่งสามารถที่จะขบกันเข้าร่องฟันของล้ออีกตัวหนึ่งได้ ในกรณีนี้จำเป็นที่เพลาทั้งสองจะหมุนส่งกำลังใกล้กันมากๆ เพื่อให้ฟันเฟืองขบกันได้ อย่างไรก็ตามการส่งกำลังขับด้วยวิธีการนี้จะกำจัดการลื่นไถล ขณะส่งกำลังขับได้ และยังทำให้อัตราความเร็วอยู่ในพิกัดที่คงที่อีกด้วย

ใบเนื้อหา	
วิชา ออกแบบเครื่องจักรกล	หน้า 3
เรื่อง เฟือง	

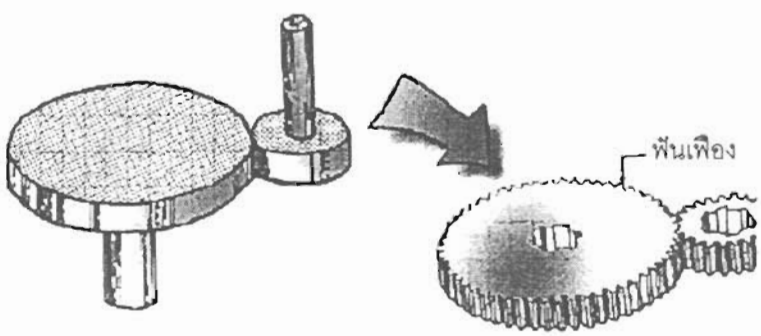


ภาพที่ 1-1 การส่งกำลังขับของล้อฟัน 2 ตัว

จากรูปแบบของฟันตามความคิดนี้ได้ถูกนำมาดัดแปลงให้มีรูปร่างของฟันที่มีความโค้งได้ถูกต้อง และให้มีประสิทธิภาพในการทำงานมากขึ้น รวมทั้งมีลักษณะการส่งกำลังขับที่ราบเรียบอีกด้วย

1.2 หลักการของเฟือง

การถ่ายทอดการหมุนจากต้นกำลังนั้น ทำได้หลายวิธี เช่น ด้วยการใช้สายพาน โซ่ ล้อความฝืด เป็นต้น ล้อความฝืดก็คือ ล้อสองล้อที่ถูกกดให้ติดกัน เมื่อล้อหนึ่งหมุน หรือเป็นล้อขับก็จะทำให้อีกล้อหนึ่งหมุนตาม เพราะผิวหน้าของล้อทั้งสองเกิดความฝืด เนื่องจากการสัมผัส แต่ถ้าหากมีภาระมากๆ เช่น มีการส่งกำลังสูงๆ จะทำให้เกิดการลื่นไถล การส่งกำลังจึงไม่แม่นยำ เพื่อที่จะแก้ไขข้อเสียเหล่านี้จึงได้มีการนำเอาฟันเฟืองมาติดไว้ที่ผิวของล้อโดยรอบล้อ จึงมีลักษณะเป็นล้อฟันเฟือง ซึ่งต่อๆ มาเราจึงเรียกว่า "เฟือง" ซึ่งเป็นชิ้นส่วนที่สามารถส่งกำลังหรือถ่ายทอดการหมุนได้แม่นยำเที่ยงตรง และไม่มีการลื่นไถล ดังภาพที่ 1-2



ภาพที่ 1-2 หลักการของเฟือง

ใบเนื้อหา	
วิชา ออกแบบเครื่องจักรกล	หน้า 4
เรื่อง เฟือง	

1.3 ชนิดของฟันเฟือง

เฟืองที่นำมาใช้ในการส่งกำลังของเครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรมมีอยู่ด้วยกันหลายชนิด ซึ่งแต่ละชนิดนั้นถูกนำไปใช้งานตามลักษณะของงานแตกต่างกัน แต่ที่นิยมใช้เป็นส่วนมากก็คือ เฟืองตรง เฟืองเฉียง เฟืองดอกจอก เฟืองหนอนและเฟืองสะพาน

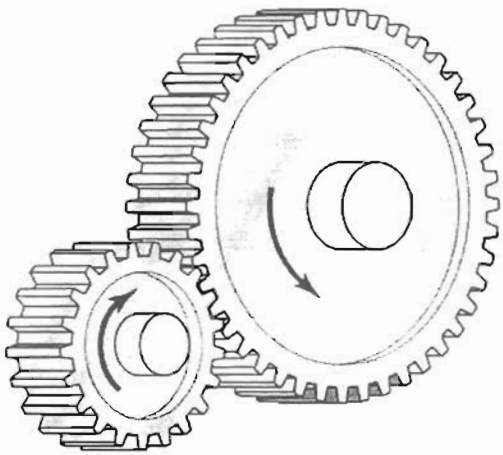
โดยในส่วนของเนื้อหานี้จะเป็นเนื้อหาความรู้ในเรื่องการส่งกำลังด้วยเฟือง โดยมีเฟืองชนิดต่างๆ คือ 1. เฟืองตรง 2. เฟืองเฉียง 3. เฟืองดอกจอก

1.3.1 เฟืองตรง (Spur Gear)

เป็นเฟืองที่ใช้ส่งกำลังขับระหว่างเพลาสองเพลาที่ขนานกันของฟันเฟืองชนิดนี้มีลักษณะตรงและขนานกับตัวของมันเอง เมื่อเฟืองสองตัวมีขนาดแตกต่างกันขับกัน เฟืองตัวใหญ่เรียกว่า เกียร์ เฟืองตัวเล็กเรียกว่า พีเนียน เฟืองตรงจะใช้กำลังขับสำหรับงานที่ต้องการความเร็วขับที่ไม่มากนัก

ในการส่งกำลังด้วยเฟืองตรงนี้ สิ่งที่น่าสังเกตคือ เพลาของชุดเฟืองที่ขบกันก็คือเพลาของเฟืองตามและเพลาของเฟืองขับนั้น จะต้องขนานกันและอยู่ในแนวศูนย์เดียวกัน ไม่ว่าขนาดของเฟืองนั้นจะมีขนาดเล็กหรือขนาดใหญ่ก็ตาม ลักษณะของฟันเฟืองจะถูกขึ้นรูปเป็นระบบ DP (Diameter Pitch) หรือระบบ m (Module) ที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบันนี้ เฟืองที่จะขบกันได้จะต้องเป็นระบบเดียวกัน คือ DP หรือ m เท่านั้น เนื่องจากการคำนวณหาค่าโมดุล $m = d_o/z$ ส่วนการคำนวณหาค่า $DP=d_o/z$ เป็นส่วนกลับของค่าจำนวนฟันเฟืองและวงกลมพิตช์ที่ใช้คำนวณ ทิศทางของการหมุนส่งกำลังจะกระทำได้ทั้งสองทิศทาง คือ ตามเข็มนาฬิกาและทวนเข็มนาฬิกา

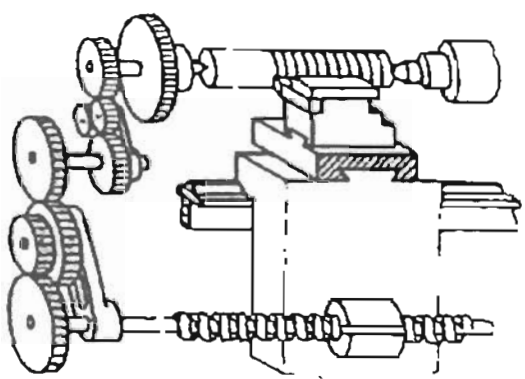
ใบเนื้อหา	
วิชา ออกแบบเครื่องจักรกล	หน้า 5
เรื่อง เฟือง	



ภาพที่ 1-3 เฟืองตรง

ลักษณะของการใช้งานเฟืองตรง

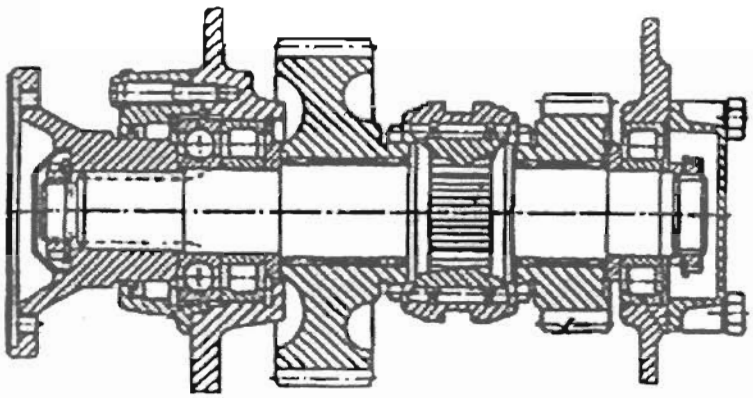
ชุดเฟืองทดที่เครื่องกลึงไว้สำหรับเปลี่ยนความเร็วรอบของเพลางานเพื่อให้เกิดความเร็วตัดที่เหมาะสมในการตัดเฉือนชิ้นงาน



ภาพที่ 1-4 ชุดเฟืองทดบนเครื่องกลึง

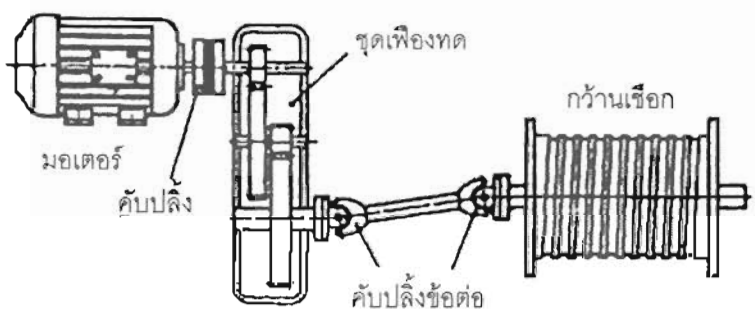
ชุดเฟืองทดที่เกียร์รถยนต์ไว้สำหรับเปลี่ยนความเร็วรอบของเพลากลาง เพื่อให้เหมาะสมกับแรงบิดและความเร็วในการขับรถ ดังภาพที่ 1-5

ใบเนื้อหา	
วิชา ออกแบบเครื่องจักรกล	หน้า 6
เรื่อง เฟือง	



ภาพที่ 1-5 ชุดเฟืองทดเกียร์รถยนต์

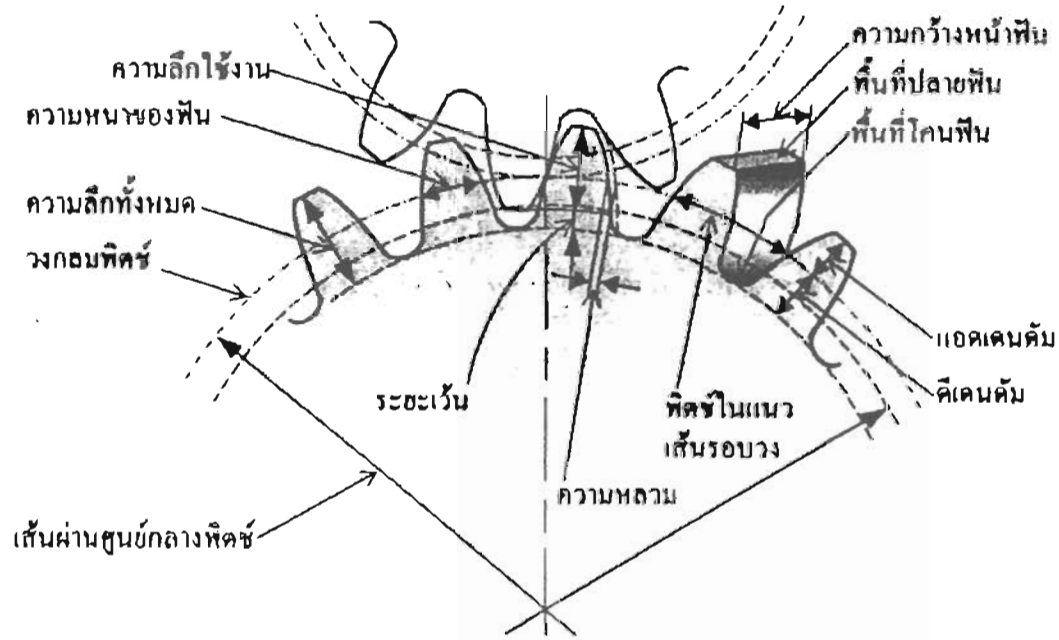
ชุดเฟืองทดทั่วไปไว้สำหรับทดความเร็วของชุดต้นกำลัง เช่น มอเตอร์ให้เหมาะสมกับกำลังของงาน เช่น ปั๊มน้ำ รอก เป็นต้น



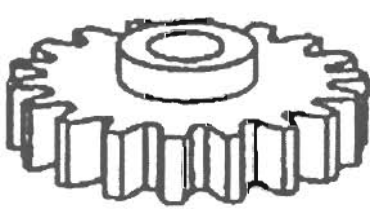
ภาพที่ 1-6 ชุดเฟืองทดความเร็วของชุดต้นกำลัง

ใบเนื้อหา	
วิชา ออกแบบเครื่องจักรกล	หน้า 7
เรื่อง เฟือง	

องค์ประกอบของเฟืองตรง



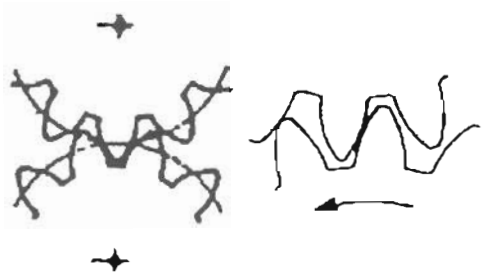
ภาพที่ 1-7 องค์ประกอบของเฟือง



ภาพที่ 1-8 รูปร่างของเฟือง

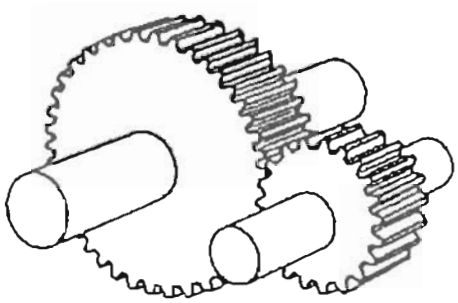
เฟือง คือ ชิ้นส่วนเครื่องกลที่มีซี่ฟันอยู่รอบตัว ในแนวรอบทรงกระบอก เมื่อทำงานลำตัวจะหมุน และใช้ซี่ฟันเป็นส่วนส่งผ่านแรงหรือกำลังเข้าสู่เฟืองอีกตัวที่มาสัมผัส

ใบเนื้อหา	
วิชา ออกแบบเครื่องจักรกล	หน้า 8
เรื่อง เฟือง	



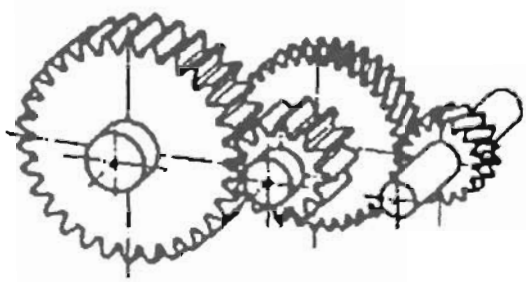
ภาพที่ 1-9 ฟันเฟือง

ฟันเฟือง มีหน้าที่ส่งผ่านกำลังหรือการเคลื่อนที่ให้กับฟันเฟืองตัวตามหรือรับการเคลื่อนที่จากฟันเฟืองตรงข้ามโดยการส่งผ่านกำลังอย่างต่อเนื่องระหว่างฟันเฟืองต่างๆ รอบตัวขับและตัวตาม



ภาพที่ 1-10 คู่เฟือง

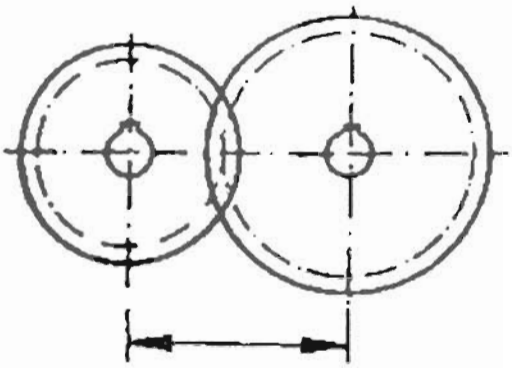
คู่เฟือง ประกอบด้วยเฟือง 2 ตัว ที่มีการหมุนรอบเพลางานด้วยอัตราส่วนความเร็วเชิงมุมคงที่ โดยมีตัวหนึ่งเป็นตัวขับและอีกตัวหนึ่งเป็นตัวตาม ดังนั้นการส่งกำลังจะเกิดขึ้นต้องประกอบด้วยเฟืองอย่างน้อย 2 ตัว



ภาพที่ 1-11 ชุดเฟือง

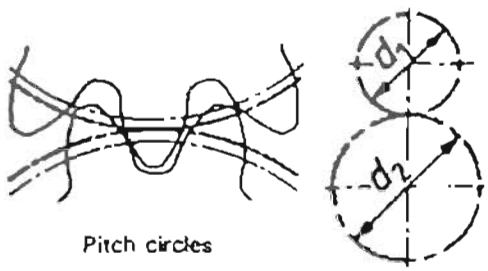
ชุดเฟือง ประกอบด้วยเฟืองตั้งแต่ 2 คู่ขึ้นไป ส่งผ่านกำลังอย่างต่อเนื่องถึงกันทั้งชุด

ใบเนื้อหา	
วิชา ออกแบบเครื่องจักรกล	หน้า 9
เรื่อง เฟือง	



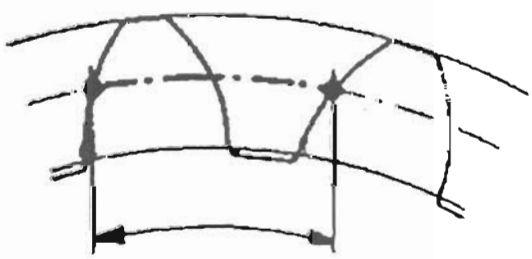
ภาพที่ 1-12 ระยะศูนย์กลางเฟือง

ระยะศูนย์กลางเฟือง คือระยะห่างระหว่างศูนย์กลางของเฟืองหรือเพลาตัวขับกับศูนย์กลางของเฟืองหรือเพลาตัวตาม



ภาพที่ 1-13 วงกลมพิตช์

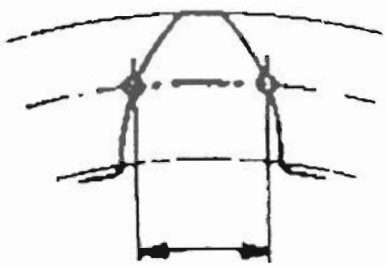
วงกลมพิตช์ เป็นวงกลมหลักของเฟืองที่ใช้เป็นเส้นอ้างอิงจากระยะต่างๆ ของเฟือง เส้นผ่าศูนย์กลางพิตช์เป็นระยะที่วัดจากวงกลมพิตช์ด้านหนึ่งถึงอีกด้านตรงข้ามโดยผ่านจุดศูนย์กลาง



ภาพที่ 1-14 เซอร์คิวล่าพิตช์

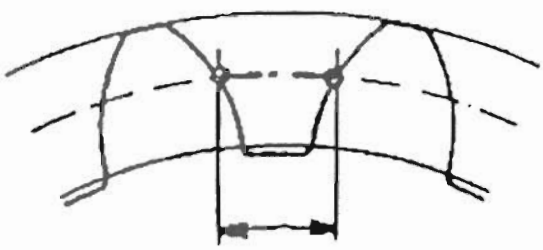
เซอร์คิวล่าพิตช์ เป็นระยะทางที่วัดโดยส่วนโค้งวงกลมพิตช์จากจุดหนึ่งบนฟันเฟืองไปยังอีกจุดหนึ่งที่ตำแหน่งเดียวกันของเฟืองถัดไป

ใบเนื้อหา	
วิชา ออกแบบเครื่องจักรกล	หน้า 10
เรื่อง เฟือง	



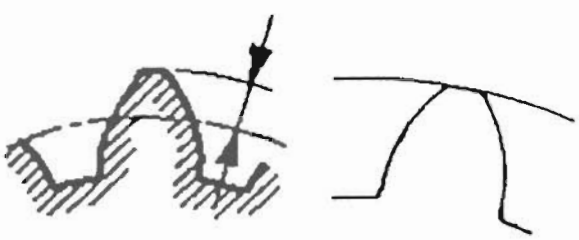
ความกว้างฟัน เป็นระยะที่วัดเป็นส่วนโค้งวงกลมพิตช์จากข้างหนึ่งถึงฟันถึงอีกข้างหนึ่งของฟันเดียวกัน

ภาพที่ 1-15 ความกว้างฟัน



ความกว้างช่องว่างฟัน เป็นระยะทางช่องว่างที่วัดบนส่วนโค้งวงกลมพิตช์จากด้านข้างของฟันที่อยู่ติดกัน

ภาพที่ 1-16 ความกว้างช่องว่างฟัน



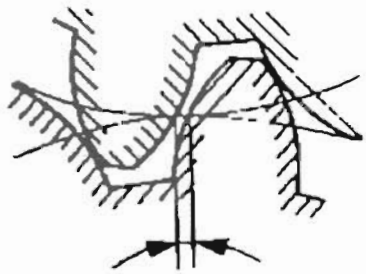
แอดเดนดัม ระยะทางช่วงสูงบนของฟันเฟืองที่วัดระหว่างวงกลมพิตช์ถึงยอดฟัน วงกลมยอดฟันคือวงกลมที่มีรัศมีอยู่ที่ยอดฟัน

ภาพที่ 1-17 แอดเดนดัม

ดีเดนดัม เป็นระยะทางช่วงสูงล่างของฟันเฟืองที่วัดระหว่างวงกลมพิตช์ถึงโคนฟัน วงกลมโคนฟันคือวงกลมที่รัศมีอยู่ที่โคนฟัน

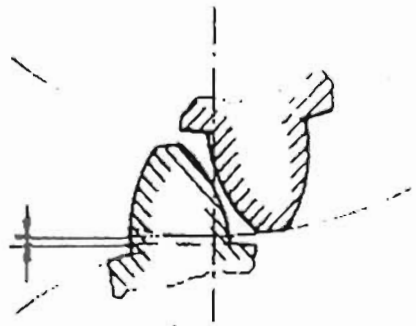
ภาพที่ 1-18 ดีเดนดัม

ใบเนื้อหา	
วิชา ออกแบบเครื่องจักรกล	หน้า 11
เรื่อง เฟือง	



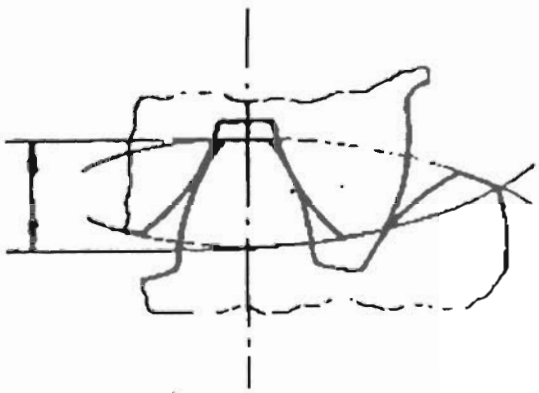
ภาพที่ 1-19 แบ็คแล็ช

แบ็คแล็ช เป็นระยะห่างของฟันเฟืองตัวขับและเฟือง ตามที่วัดบนส่วนโค้งของวงกลมพิตช์ในขณะที่เฟืองทั้ง 2 ขบกันโดยให้ด้านหนึ่งของเฟืองชิดกัน



ภาพที่ 1-20 เครียรันซ์

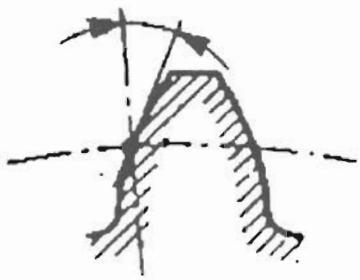
เครียรันซ์ เป็นช่องว่างระหว่างวงกลมยอดฟันกับวงกลมโคนฟันของคู่เฟือง



ภาพที่ 1-21 ความสูงใช้งาน

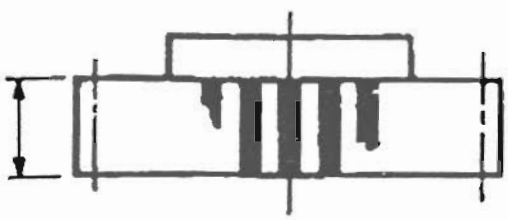
ความสูงใช้งาน เป็นระยะทางสั้นสุดระหว่างวงกลมและฟันในแนวศูนย์กลางของคู่เฟือง

ใบเนื้อหา	
วิชา ออกแบบเครื่องจักรกล	หน้า 12
เรื่อง เฟือง	



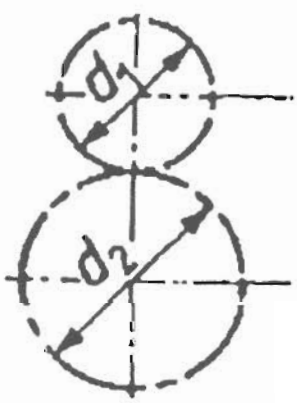
มุมกด เป็นมุมที่วัดระหว่างเส้นสัมผัสของโค้งอินโวลูดบนผิวฟันเฟืองที่วงกลมพิตช์กับเส้นรัศมีของวงกลมพิตช์

ภาพที่ 1-22 มุมกด



ความหนาฟัน คือระยะทางที่วัดบนฟันเฟืองในแนวขนานกับแกนเฟือง

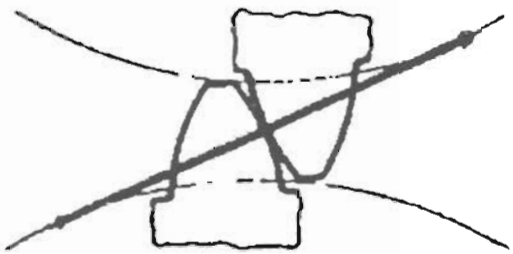
ภาพที่ 1-23 ความหนาฟัน



อัตราทด คืออัตราส่วนความเร็วเชิงมุมของเฟืองขับต่อความเร็วเชิงมุมของเฟืองตามหรืออัตราส่วนของเส้นผ่าศูนย์กลางพิตช์เฟืองตามต่อเส้นผ่าศูนย์กลางพิตช์เฟืองขับ

ภาพที่ 1-24 อัตราทด

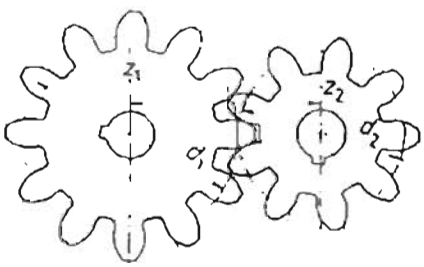
ใบเนื้อหา	
วิชา ออกแบบเครื่องจักรกล	หน้า 13
เรื่อง เฟือง	



ภาพที่ 1-25 แนวกด

แนวกด คือแนวแรงที่เฟืองขับส่งผ่านเข้าสู่เฟืองตามตลอดทุกจุดสัมผัสจะอยู่ในแนวเส้นสัมผัสวงกลมฐานของคู่เฟือง

การคำนวณหาส่วนต่างๆ ของเฟืองตรง



ภาพที่ 1-26 การหาขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเฟือง

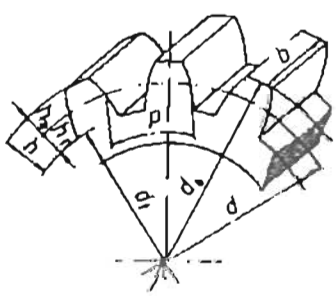
เมื่อทราบค่าโมดุลและจำนวนๆฟันเฟือง ก็สามารถหาขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางพิตช์ของเฟืองได้

สูตร $d = mz$

d = เส้นผ่าศูนย์กลางพิตช์ของเฟือง

m = ขนาดฟันเฟือง (โมดุล)

z = จำนวนฟันเฟือง



ภาพที่ 1-27 การหาความสูงฟันเฟือง

การหาความสูงส่วนบน ส่วนล่าง และความสูงทั้งหมดสามารถหาได้จากค่าโมดุลและใช้ตารางมาตรฐานประกอบ

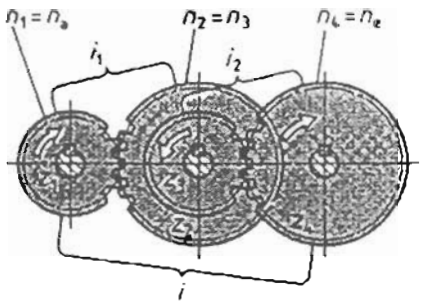
สูตร $h_a = m$

$h_f = 1.25m$

h_a = ความสูงส่วนบน

h_f = ความสูงส่วนล่าง

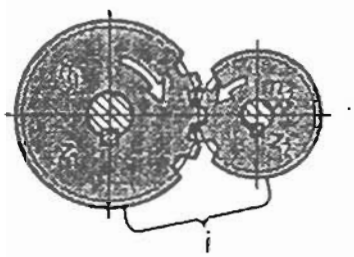
ใบเนื้อหา	
วิชา ออกแบบเครื่องจักรกล	หน้า 14
เรื่อง เฟือง	



การหาอัตราทดของคู่เฟืองหรือชุดเฟือง อาจหาจากอัตราส่วนของจำนวนฟัน อัตราส่วนเส้นผ่าศูนย์กลางพิตช์ หรืออัตราส่วนความเร็วรอบสำหรับคู่เฟือง

$$i = z2/z1 = d2/d1 = n1/n2$$

ภาพที่ 1-28 การหาอัตราทด



ภาพที่ 1-29 การหาอัตราทด

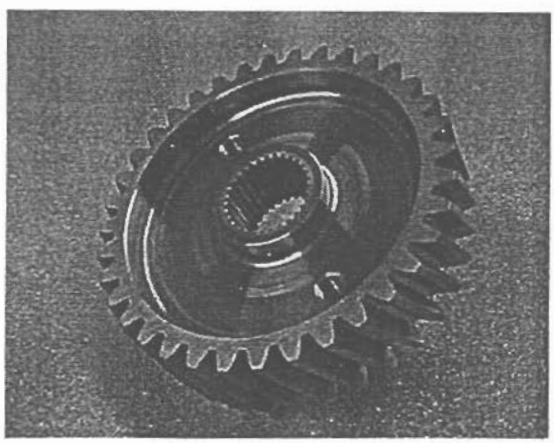
i1,i2 คือ อัตราทดของระบบเฟือง
z1,z3 คือ จำนวนฟันเฟืองขับ
z2,z4 คือ จำนวนฟันเฟืองตาม
d1,d3 คือ เส้นผ่าศูนย์กลางพิตช์เฟืองขับ
d2,d4 คือ เส้นผ่าศูนย์กลางพิตช์เฟืองตาม
n1,n3 คือ ความเร็วรอบเฟืองขับ
n2,n4 คือ ความเร็วรอบเฟืองตาม

1.3.2 เฟืองเฉียง (Helical Gear)

ใช้สำหรับการส่งกำลังระหว่างเพลาที่ขนานกันหรือเพลาทำมุมต่อกัน เฟืองเฉียงมีลักษณะการขับที่เรียบ และมีเสียงเงียบกว่าเฟืองตรงในขณะที่มีขนาดและระยะการขบเท่ากัน อย่างไรก็ตาม เมื่อเฟืองนี้หมุน จะทำให้เกิดแรงที่ปลายเพลา (End Thrust) จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องใช้แบริ่งรองรับเพลาเพื่อแก้ปัญหา

ใบเนื้อหา	
วิชา ออกแบบเครื่องจักรกล	หน้า 15
เรื่อง เฟือง	

เมื่อฟันของเฟืองที่ทำการตัดอยู่ในรูปบิดเฉียงหรือบิดเป็นเกลียว เราเรียกเฟืองชนิดนี้ว่า Helical gear หรือ Spiral gear



ภาพที่ 1-30 ลักษณะเฟืองเฉียง

อย่างไรก็ดี เมื่อเฟืองเฉียงสองตัวขบกัน ความแตกต่างของการเคลื่อนไหวขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ของตำแหน่งเฟือง นั่นคือ เมื่อเฟืองเฉียงสองตัวขบกันเพลาทั้งสองขนานกัน เราเรียกเฟืองเฉียงชนิดนี้ว่า Helical gear เมื่อเพลาทั้งสองไม่ขนานกัน และไม่ตัดผ่านกัน เรียกว่า Spiral gear

แต่ถ้าว่าถึงการจำกัดความแล้ว เฟือง Helical และเฟือง Spiral มีความหมายเหมือนกันและการใช้เฟือชนิดนี้ ก็ตัดสินใจได้ยากว่าเป็นเฟือง Helical หรือ Spiral ซึ่งโดยปกติแล้วถ้าเฟืองสองตัวขบขับกันได้ก็จะสามารถใช้งานได้เหมือนกัน

การส่งถ่ายกำลังของเฟืองเฉียงนั้นจะคล้ายกับการส่งกำลังด้วยเฟืองตรง แต่ทำงานได้กว้างกว่า เสียงเงียบ เกิดการสึกหรอน้อย เพราะขบพร้อมๆ กันหลายๆ ฟัน เพลาเอียงทำมุมต่างๆ กันได้ตามความต้องการใช้งาน ไม่ว่าเอียงไปทางซ้ายหรือขวา

ข้อดีของชุดเฟืองเฉียง จะทำงานในลักษณะเพลาขนาน เอียงทำมุม และทำมุมฉากกันได้ต่างกับชุดเฟืองตรง แต่ลักษณะการขนานของเพลาจะเหมือนกัน แนวเฟืองจะตั้งฉากกับเพลาทุกครั้งที่ทำการประกอบเข้ากับเพลาเหมือนกับเฟืองตรง ขณะขบกันมีการส่งกำลังจะมีเสียงเงียบกว่าเฟืองตรง เพราะขบพร้อมๆ กันหลายฟัน โอกาสการสึกหรอของฟันมีน้อยกว่า

ใบเนื้อหา	
วิชา ออกแบบเครื่องจักรกล	หน้า 16
เรื่อง เฟือง	

สรุปข้อดีและข้อเสียของเฟืองเฉียง

ข้อดี ข้อดีของเฟืองเฉียงเมื่อเปรียบเทียบกับเฟืองตรงมีดังนี้

1. ปฏิกิริยาการขับกันของฟันเฟืองจะเรียบกว่า ดังนั้นจะมีเสียงเงียบกว่าเฟืองตรง
2. เฟืองเฉียงมีประสิทธิภาพการทำงานมากกว่าและมีอายุการใช้งานมากกว่าเฟืองตรง
3. เฟืองเฉียงมีความแข็งแรงมากกว่าเฟืองตรง ขณะที่มีขนาดพิตช์มุมกด (Pressure Angle) และรูปร่างของฟันเหมือนกัน
4. เฟืองเฉียงสามารถทำงานที่มีความเร็วรอบสูง ๆ อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเฟืองตรง

ข้อเสีย ข้อเสียของเฟืองเฉียงเมื่อเปรียบเทียบกับเฟืองตรง

1. ราคาในการผลิตสูงกว่าเฟืองตรง
2. เกิดอาการรุน (End Thrust) บนเพลา

การใช้งานของเฟืองเฉียง

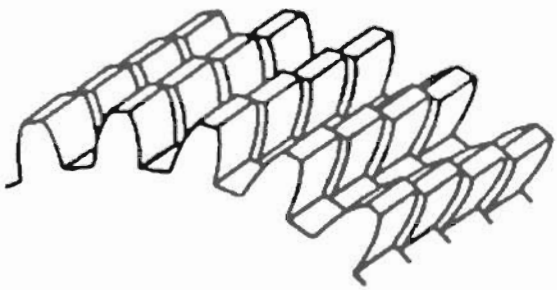
เฟืองเฉียงถูกนำไปใช้งานอย่างกว้างขวาง ตัวอย่างประโยชน์ของการนำไปใช้งานของเฟืองเฉียงได้แก่ Back Gear ของเครื่องมือกล เฟืองขับของ Cream Separators, Timing Gear ของเครื่องยนต์สันดาปภายในเฟืองใน Rotary Pump

ลักษณะและรูปร่างของเฟืองเฉียง

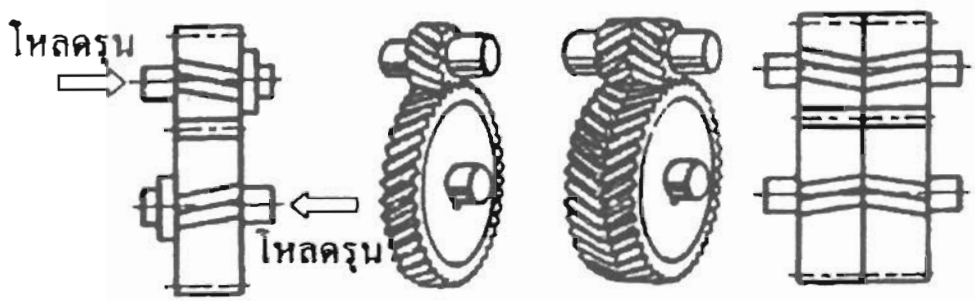
ลักษณะคล้ายกับเฟืองตรงหลายตัวเรียงกัน โดยให้ฟันเหลื่อมกันเป็นขั้นๆ ดังภาพ 1-31 ก ขณะที่เฟืองตรงหลายขั้นหมุนไปและฟันคู่ใหม่ขบกันเฟืองจะค่อยๆ ส่งถ่ายโหลดอย่างราบเรียบ ถ้าให้ความกว้างหน้าฟันของเฟืองแต่ละตัวลดลงและจำนวนเฟืองมากขึ้นเฟืองตรงหลายขั้นก็จะกลายเป็นเฟืองเฉียง ดังภาพที่ 1-31 ข

ฟันจะค่อยๆ ขบกัน และส่งถ่ายโหลดอย่างราบเรียบจากฟันหนึ่งไปยังอีกฟันหนึ่ง ช่วยทำให้ลดแรงที่มากระทำ และทำให้เฟืองเฉียงส่งกำลังได้มากที่ความเร็วรอบสูง เฟืองเฉียงตามปกติใช้สำหรับงานที่มีโหลดสูง หรือรอบสูงหรือกรณีที่ต้องการเสียงดังน้อย

ใบเนื้อหา	
วิชา ออกแบบเครื่องจักรกล	หน้า 17
เรื่อง เฟือง	



(ก) เฟืองตรงหลายขั้น



เฟืองเฉียงเดี่ยว เฟืองเฉียงคู่

(ข) เฟืองเฉียง

ภาพที่ 1-31 ลักษณะเฟืองเฉียง

องค์ประกอบของเฟืองเฉียง

ดังแสดงภาพที่ 1-32 (ค) ขนาดมิติของฟันที่วัดในขนาบขวาง A-A ห้อยท้ายตัวตัว t ขนาดที่วัดในระนาบตั้งฉาก B-B ตั้งฉากกับผิวหน้าฟันห้อยท้ายด้วยตัว n

$$\cos\psi = \frac{\tan\phi_n}{\tan\phi_t}$$

ψ คือ มุมฮีลิก (helix angle)

เมื่อ ϕ_n = มุมกดดันตั้งฉาก (normal pressure angle)

ϕ_t = มุมกดดันขวาง (transverse pressure angle)

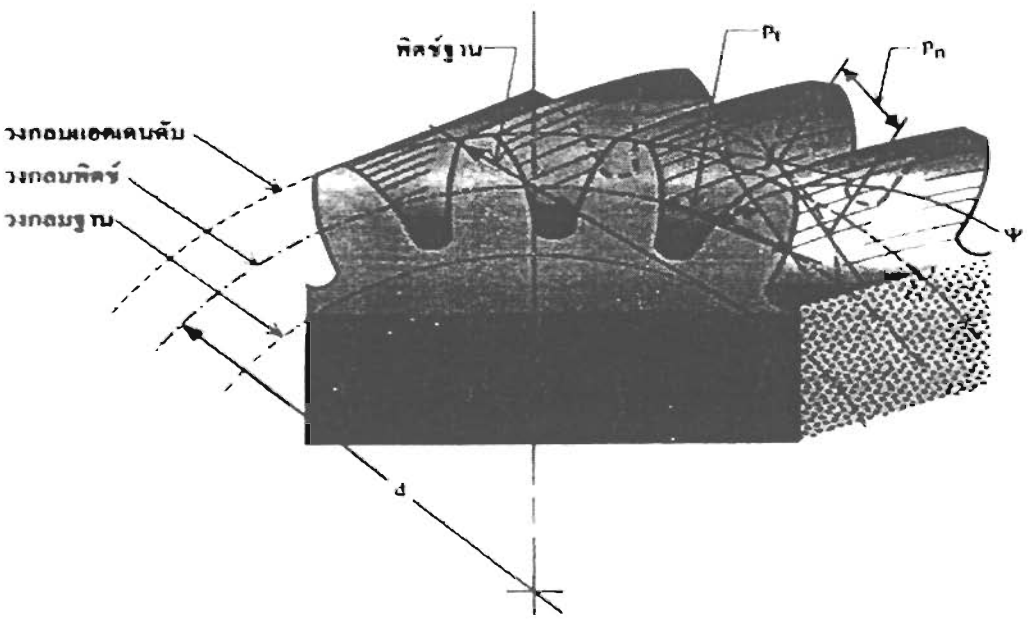
ใบเนื้อหา	
วิชา ออกแบบเครื่องจักรกล	หน้า 18
เรื่อง เฟือง	

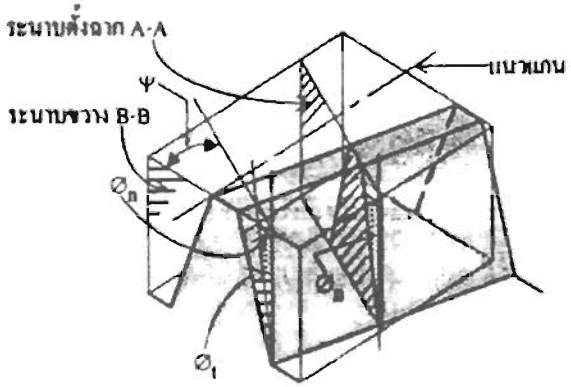
Pt คือ พิตช์ในแนวเส้นรอบวงขวาง (transverse circular pitch)

$$P_t = \frac{\pi d}{N}$$

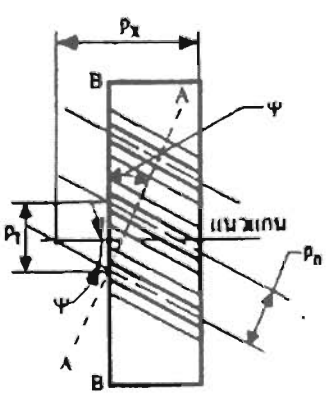
เมื่อ d = เส้นผ่าศูนย์กลางพิตช์

N = จำนวนฟัน





(ข) ลักษณะของฟันเฟืองอย่างง่าย



(ค) ภาพฉายของเฟืองเฉียง

ภาพที่ 1-32 ชื่อส่วนต่างๆ ของเฟืองเฉียง

ใบเนื้อหา	
วิชา ออกแบบเครื่องจักรกล	หน้า 19
เรื่อง เฟือง	

Pn คือ พิตช์ในแนวเส้นรอบวงตั้งฉาก (normal circular pitch)

$$P_n = P_t \cos\psi$$

Mt คือ โมดุลขวาง (transverse module)

$$m_t = \frac{d}{N}$$

mn คือ โมดุลตั้งฉาก (normal module)

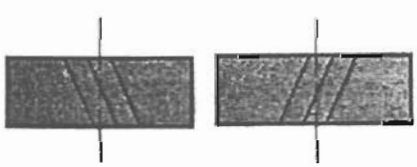
$$m_n = m_t \cos\psi$$

Px คือ พิตช์แนวแกน (axial pitch)

$$P_x = \frac{P_t}{\tan\psi}$$

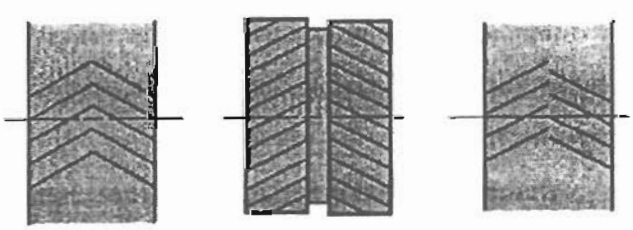
ทิศทางฟันของเฟืองเฉียงอาจเป็นแบบเฉียงซ้ายหรือเฉียงขวา ดังแสดงในภาพที่ 1-33

เนื่องจากโหลดกระทำตั้งฉากกับผิวหน้าฟันซึ่งทำมุมกับแนวแกนหมุน จะทำให้เกิดธรัสต์โหลด (thrust load) หรือโหลดรุน ดังนั้นแบริ่งที่รองรับเพลาของเฟืองเฉียงจึงต้องมีความสามารถรับธรัสต์โหลดด้วย ถ้าธรัสต์โหลดที่เกิดขึ้นในฟันเฟืองมีค่ามาก จะใช้เฟืองเฉียงคู่ (double helical gear) ซึ่งสามารถขจัดธรัสต์โหลดที่เกิดขึ้นในเฟืองได้ ดังภาพที่ 1-34 ในกรณีที่มีเฟืองเฉียงเดี่ยวประกอบอยู่บนเพลาเดียวกันตั้งแต่ 2 เฟืองขึ้นไป ควรเลือกการเฉียงของเฟืองเฉียงที่ทำให้เกิดธรัสต์โหลดต่ำสุด



(ก) เฟืองเฉียงซ้าย (ข) เฟืองเฉียงขวา

ภาพที่ 1-33 ทิศทางฟันของเฟืองเฉียง



(ก) แบบฟันต่อเนื่อง (ข) แบบมีร่องระหว่างฟัน (ค)แบบฟันเหลื่อมกัน

ภาพที่ 1-34 เฟืองเฉียงคู่

ใบเนื้อหา	
วิชา ออกแบบเครื่องจักรกล	หน้า 20
เรื่อง เฟือง	

มุมเอียงของฟัน

มุมเอียงของฟัน (Angle of Tooth Helix) ของเฟืองแต่ละคู่จะต้องเหมือนกัน แต่อาจจะมีค่ามุมแตกต่างกัน ระหว่าง 12 องศา ถึง 45 องศา เพราะว่ามุมเอียงของฟันมีผลต่ออาการรุนบนแบริ่ง (Bearing) และอาการรุนนี้จะเพิ่มมากขึ้นเมื่อมุมเอียงของฟันมากขึ้น อย่างไรก็ตามถ้ามุมเอียงถูกทำให้น้อยลงมาก ๆ ความกว้างของหน้าฟัน (Face Width) จะต้องทำให้มีขนาดกว้างขึ้นเพื่อให้ปฏิกิริยาของมุมเอียงฟัน (Helix Action) ต่อเนื่องกันตลอด โดยปกติความกว้างฟันของเฟืองเฉียงจะเท่ากับ 2.5 ถึง 3 เท่า ของ Circular Pitch ซึ่งควรรักษาความกว้างของหน้าฟันให้อยู่ภายในขอบเขตนี้ ขณะเดียวกันก็ควรหลีกเลี่ยงการรุนที่ปลายเพลาที่มากเกินไป มุมระหว่าง 15 ถึง 23 องศา เป็นมุมที่เหมาะสมที่สุด ถ้ามุมน้อยกว่าขอบเขตนี้ อาการรุนที่ปลายเพลาจะน้อยลง แต่ความกว้างหน้าฟันจะต้องมีขนาดกว้างมากขึ้น และมีเสียงดังกว่ามุมเอียงฟันขนาดใหญ่

ทิศทางของแรงรุน

ทิศทางของแรงรุน (Direction of end Thrust) หรือแรงผลักของชุดเฟืองเฉียงขึ้นอยู่กับทิศทางบิดเฉียงความสัมพันธ์ของตำแหน่งเฟืองขับและเฟืองตาม และทิศทางการหมุน

เมื่อทำการออกแบบชุดเฟืองเฉียงเพื่อใช้แทนเฟืองตรง ทิศทางของแรงรุนและความสัมพันธ์ของตำแหน่งเฟืองขับและเฟืองตรงจะต้องค้นคว้าและพิจารณาเป็นอันดับแรกและทิศทางของมุมบิดเฉียง (ซ้ายหรือขวา) จะหาได้จากไดอะแกรมของแรงรุน ซึ่งจะค้นพบได้จากหนังสือ Machinery Handbook

อาการของแรงรุนจะมีทิศทางตามแนวของลูกศร และจะเปลี่ยนแปลงไปตามทิศทางตรงกันข้ามโดยทำการเปลี่ยนแปลงเฟืองตัวใดตัวหนึ่งดังนี้

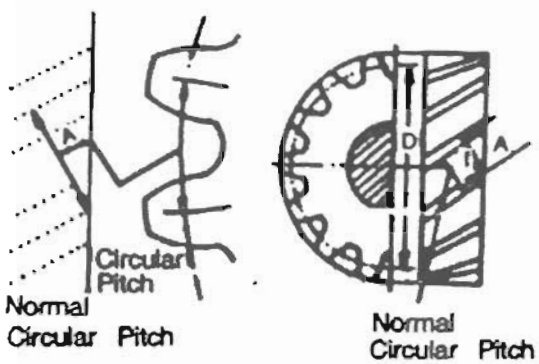
1. สับเปลี่ยนตำแหน่งของเฟืองขับและเฟืองตรง
2. เปลี่ยนทิศทางการหมุน
3. เปลี่ยนทิศทางของมุมบิดเฉียง

ความหมายของ Normal Circular Pitch

ในการตัดเฟืองเฉียง มีคำใหม่อยู่สองคำที่จะต้องพบอยู่บ่อย ๆ คือ Normal Circular Pitch และ Normal Diameter Pitch

ใบเนื้อหา	
วิชา ออกแบบเครื่องจักรกล	หน้า 21
เรื่อง เฟือง	

Normal Circular Pitch คือ ระยะที่วัดจากจุด ๆ หนึ่งบนฟัน ๆ หนึ่งไปยังจุดเดียวกันของฟันที่อยู่ถัดไป วัดตามเส้นรอบวงกลมพิตช์ตั้งฉากกับหน้าฟัน ส่วน Circular Pitch นั่นหมายถึงระยะที่วัดจากจุด ๆ หนึ่งบนฟัน ๆ หนึ่ง ไปยังจุดเดียวกันของฟันถัดไปวัดตามเส้นรอบวงพิตช์ ตั้งฉากกับแนวแกนดังภาพ



ภาพที่ 1-35 ความสัมพันธ์ระหว่าง Circular Pitch กับ Normal Pitch

ความสัมพันธ์ระหว่าง Circular Pitch และ Normal Circular Pitch ดังภาพที่ 1-35 ในสามเหลี่ยมมุมฉากเส้นตรงข้ามมุมฉากใช้แทน Circular Pitch เส้นที่ด้านประชิดมุม คือ Normal Circular Pitch จากพื้นฐานของรูปสามเหลี่ยมนี้ จะสามารถพิสูจน์ได้ว่า มุม A เท่ากับมุม A_1 นั่นคือ มุม Helix ดังนั้นจากรูปสามเหลี่ยมมุมฉาก Cosine ของมุม Helix. Angle A = CPN/CP

ความสัมพันธ์ของ Normal circular Pitch และ Circular Pitch จะเป็นอัตราส่วนของความยาวเชิงเส้นที่แน่นอน ดังนั้นจำนวนฟันของเฟืองเฉียงและเฟืองตรงที่มีขนาดและระยะพิตช์เดียวกันจะมีอัตราส่วนเช่นเดียวกับความสัมพันธ์นี้ด้วย

Circular Pitch จะเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด เมื่อมุม Helix เพิ่มมากขึ้นดังนั้นมุม Helix ขนาดใหญ่จำนวนของฟันเฟืองเฉียงจะน้อยกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับเฟืองตรง ขณะที่เส้นผ่านศูนย์กลางวงกลมพิตช์ และ Diameter Pitch เดียวกัน โดยเหตุที่การคำนวณเฟืองส่วนมากเป็นระบบ DP จึงจำเป็นต้องแปลง Circular Pitch ให้อยู่ในเทอมของ DP.

$$DP. = 3.1416/ CP.$$

และ Normal Diameter Pitch มีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกับ Normal Circular Pitch เช่นเดียวกับ Diameter Pitch สัมพันธ์กับ Circular Pitch จะได้สูตรดังนี้

DPN = 3.1416/CPN

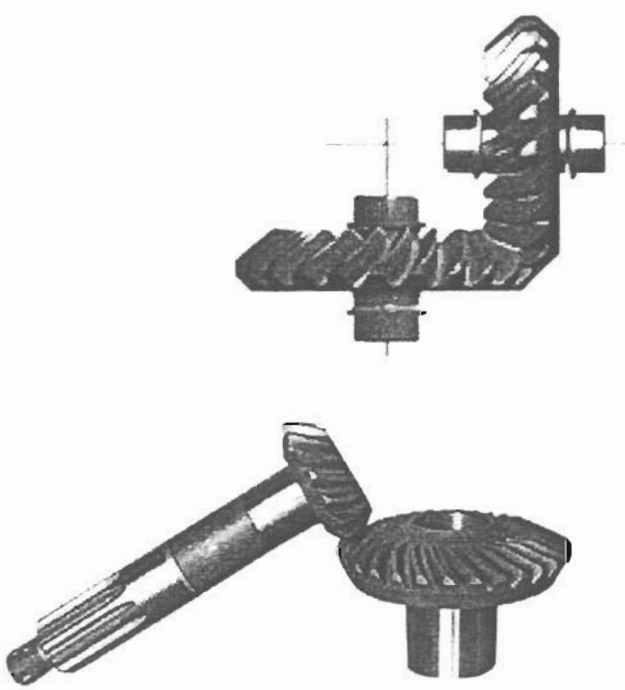
คำจำกัดความอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับเฟืองตรงที่ถูกนำมาใช้กับเฟืองเฉียง ที่ควรทราบ Helix Angle คือมุมระหว่างฟันของเฟืองกับแนวขนานของเฟือง

Real Diameter Pitch (DP.)

เท่ากับ 3.1416 หารด้วย CP. หรือ **DP. = 3.1416/CP.**

1.3.3 เฟืองดอกจอก (Bevel gear)

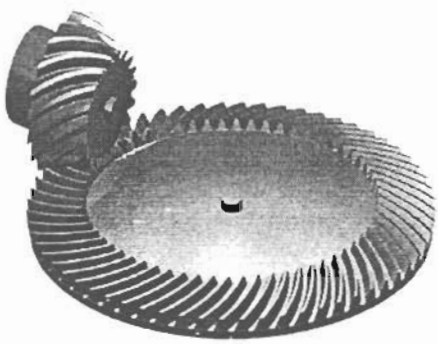
เมื่อเพลาสองเพลาวางทำมุมต่อกัน เส้นแนวแกนตัดกันเป็นมุม 90 องศา ปกติจะใช้เฟืองดอกจอกเป็นตัวส่งกำลัง เมื่อเพลาทำมุมฉากและเฟืองสองตัวมีขนาดเท่ากัน เราเรียกเฟืองดอกจอกชนิดนี้ว่า "Miter Gear" การส่งกำลังขับของเฟืองดอกจอกไม่จำเป็นที่เพลาจะทำมุมฉากเสมอไปแกนเพลาอาจจะตัดกันเป็นมุมฉากหรือน้อยกว่าก็ได้



ภาพที่ 1-36 เฟืองดอกจอกที่เพลาทำมุมฉากต่อกัน และ ไม่ทำมุมฉากต่อกัน

ใบเนื้อหา	
วิชา ออกแบบเครื่องจักรกล	หน้า 23
เรื่อง เฟือง	

เราเรียกเฟืองดอกจอกชนิดนี้ว่า Angular Bevel Gear โดยปกติเฟืองดอกจอกจะมีฟันตรงคล้ายกับเฟืองตรงมาก แต่ยังมีเฟืองดอกจอกอีกชนิดหนึ่ง มีรูปแบบของฟันบิดเฉียง ดังภาพที่ 1-36 เรียกเฟืองดอกจอกชนิดนี้ว่า Hypoid Gear เพลาของเฟืองชนิดนี้จะทำมุม 90 องศาต่อกัน แต่ไม่อยู่ในแนวแกนเดียวกัน ดังนั้นเพลาทั้งสองจึงไม่ตัดกัน Hypoid Gear ใช้กับการส่งกำลังในรถยนต์



ภาพที่ 1-37 เฟืองดอกจอกที่เพลาไม่อยู่ในแนวแกนเดียวกัน

เฟืองดอกจอก (Bevel Gear) เป็นเฟืองที่ได้รับการพัฒนามาจากเฟืองฟันตรง และเฟืองฟันเฉียง มีลักษณะเป็นรูปกรวย ใช้ส่งกำลังได้ในแนวดิ่งและแนวนอน มีทั้งแบบฟันตรงและฟันเฉียง การใช้เฟืองดอกจอกส่งกำลังได้ผลดี คือ ใช้ส่งกำลังในที่แคบๆได้ดี เมื่อเทียบกับเฟืองชนิดอื่นๆ มุมที่ใช้ขบกันจะแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ คือ มุม 90 องศา มุมน้อยกว่า 90 องศา และมุมมากกว่า 90 องศา การเลือกใช้ขึ้นอยู่กับงานแต่ละประเภท

การส่งกำลังจะทำได้สูง เพราะขนาดของเฟืองเล็กตัวหนึ่งขบกับเฟืองขนาดใหญ่กว่าตัวหนึ่ง งานที่ใช้เฟืองชนิดนี้มากก็คือ การส่งกำลังของกระปุกเกียร์รถยนต์ เปลี่ยนทิศทางการส่งกำลังจากแนวนอนมาเป็นแนวดิ่ง และเอียงทำมุมต่างๆกันได้ ในเครื่องจักรกลต่างๆนิยมใช้เฟืองดอกจอกในการเปลี่ยนทิศทางการทำงานที่รับกำลังขับจากมอเตอร์

ลักษณะของฟันเฟืองดอกจอก นอกจากจะเป็นแบบฟันตรงแล้ว ยังมีฟันโค้งเอียงอีกด้วย ช่วยให้การทำงานมีเสียงดังน้อยลง ไม่กินเนื้อที่ของห้องเกียร์มาก ซึ่งห้องเกียร์ที่มีเนื้อน้อยหรือบริเวณแคบๆ ส่วนใหญ่จะใช้เฟืองส่งกำลังที่มีขนาดเล็กที่ใช้งานทั่วๆ ไป

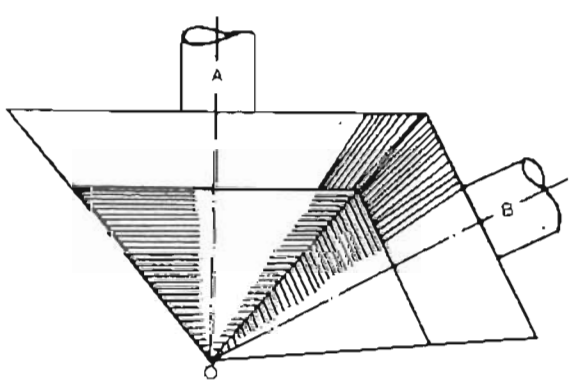
ใบเนื้อหา	
วิชา ออกแบบเครื่องจักรกล	หน้า 24
เรื่อง เฟือง	

เฟืองดอกจอกฟันตรง (Straight Bevel Gear) เป็นเฟืองดอกจอกชนิดธรรมดาที่ใช้กันมากที่สุด แนวยอดฟันจะพุ่งจากด้านโตของฟันเข้าหาจุดตัดของเพลาเหมือนรูปกรวย ความสูงและความหนาของฟันจะเรียวลงจากด้านโตของฟันหรือของนอก

เฟืองดอกจอกฟันสไปรัล (Spiral Bevel Gear) มีความสัมพันธ์เหมือนเฟืองดอกจอกฟันตรง เฟืองดอกจอกฟันสไปรัลจะให้อัตราส่วนสัมผัสมากขึ้น สามารถส่งถ่ายโหลดได้มากกว่า รอบสูงกว่า และมีเสียงดังน้อยกว่าเฟืองฟันตรง แต่ราคาแพงกว่า

หลักการของเฟืองดอกจอก

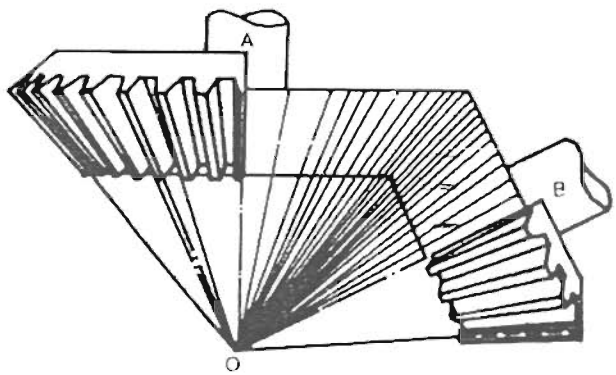
ถ้ามีเพลาสองเพลาทำมุมซึ่งกันและกัน และเส้นศูนย์กลางของเพลาทั้งสองตัดกัน รูปแบบของการส่งกำลังขับจากเพลาหนึ่งไปยังอีกเพลาหนึ่งจะอาศัยความฝืดหรือแรงเสียดทานของล้อกรวยกลม ดังภาพที่ 1-38 ในการส่งกำลังขับมากๆ นั้น ล้อกรวยกลมทั้งสองอาจจะลื่นไถลได้ ซึ่งทำให้การส่งกำลังเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ ในกรณีเช่นนี้ถ้าเราสร้างฟันเฟืองขึ้นโดยรอบๆ ผิวของล้อกรวยกลมให้ขับกันแล้ว จะทำให้ล้อกรวยกลมมีการส่งกำลังขับในรูปแบบที่แน่นอนกว่า จากหลักการดังกล่าวเฟืองที่สร้างขึ้นนี้เรียกว่าเฟืองดอกจอก (Bevel Gear)



ภาพที่ 1-38 การส่งกำลังขับบนล้อกรวยกลม

ใบเนื้อหา	
วิชา ออกแบบเครื่องจักรกล	หน้า 25
เรื่อง เฟือง	

จากภาพที่ 1-39 ถ้าพิจารณาให้ดีจะพบว่า ไม่มีความจำเป็นเลยที่จะขยายฟันไปถึงจุดยอดของกรวยกลม ดังนั้นเฟืองดอกจอกจะถูกสร้างให้อยู่ในรูปของกรวยตัดยอดแทนที่จะเป็นกรวยปลายแหลม ด้วยเหตุผลในด้านความแข็งแรงของฟันเฟืองและวิธีการสร้างเฟืองชนิดนี้



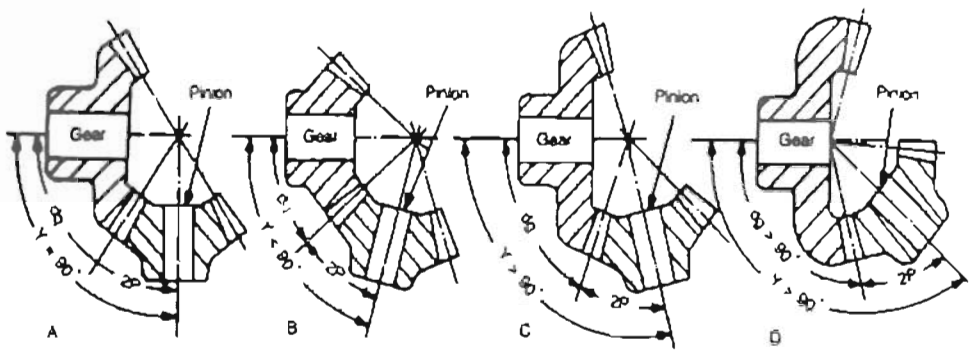
ภาพที่ 1-39 หลักการสร้างเฟืองดอกจอกบนล้อกรวยกลม

มุมเพลา

เฟืองดอกจอกใช้ส่งกำลังขับระหว่างเพลาที่ทำมุมต่อกันไม่ว่ามุมระหว่างเพลาจะเป็นมุมเท่าใดก็ตาม ตัวอย่างชนิดของมุมเพลา (Shaft Angle) ตามภาพที่ 1-40 A ถ้ามุมระหว่างเพลาเป็นมุมฉาก ชุดเฟืองจะส่งกำลังด้วยอัตราส่วนความเร็วต่างๆ กัน แต่ไม่เกิน 6:1 ถ้าชุดเฟืองมีอัตราส่วนการขับเป็น 1:1 เราเรียกเฟืองดอกจอกชนิดนี้ว่า "Miter Gear" เมื่อมุมระหว่างเพลาน้อยกว่า 90° (ตามภาพที่ 1-40 B) อัตราส่วนความเร็วใช้ได้เช่นเดียวกับแบบ "A"

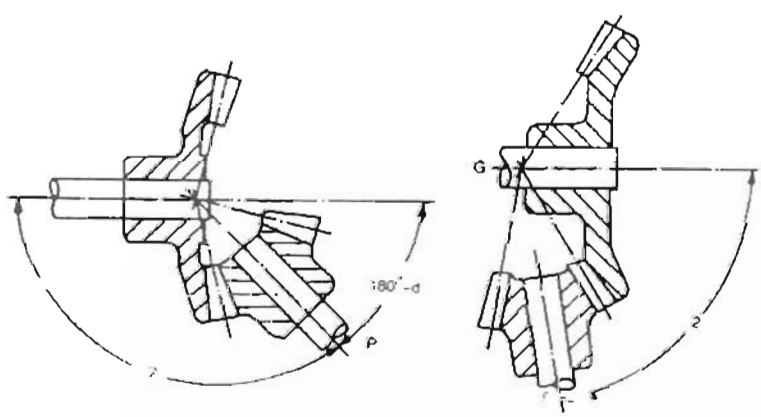
ใบเนื้อหา	
วิชา ออกแบบเครื่องจักรกล	หน้า 26
เรื่อง เฟือง	

เมื่อมุมระหว่างเพลามากกว่า 90° อัตราส่วนความเร็วค่อนข้างจะอยู่ในอัตราส่วนที่จำกัด (ตามภาพที่ 1-40 C)



ภาพที่ 1-40 ชนิดของมุมระหว่างเพลาเฟืองดอกจอก

เฟืองดอกจอกภายใน (Internal Bevel Gear) (ตามภาพที่ 1-40 D) บางครั้งใช้เมื่อต้องการอัตราทดสูงหรือเมื่อมุมระหว่างเพลามีขนาดใหญ่ อย่างไรก็ดีเป็นการยากที่จะตัดเฟืองชนิดนี้ และควรจะหลีกเลี่ยงซึ่งสามารถทำได้ในกรณีที่ทิศทางการหมุนไม่เป็นสิ่งสำคัญ โดยการลบมุมของเพลาที่ต้องการออกจากมุม 180° แล้วใช้มุมที่เหลือระหว่างเพลา สำหรับประกอบเฟืองแหลมดังภาพที่ 1-41

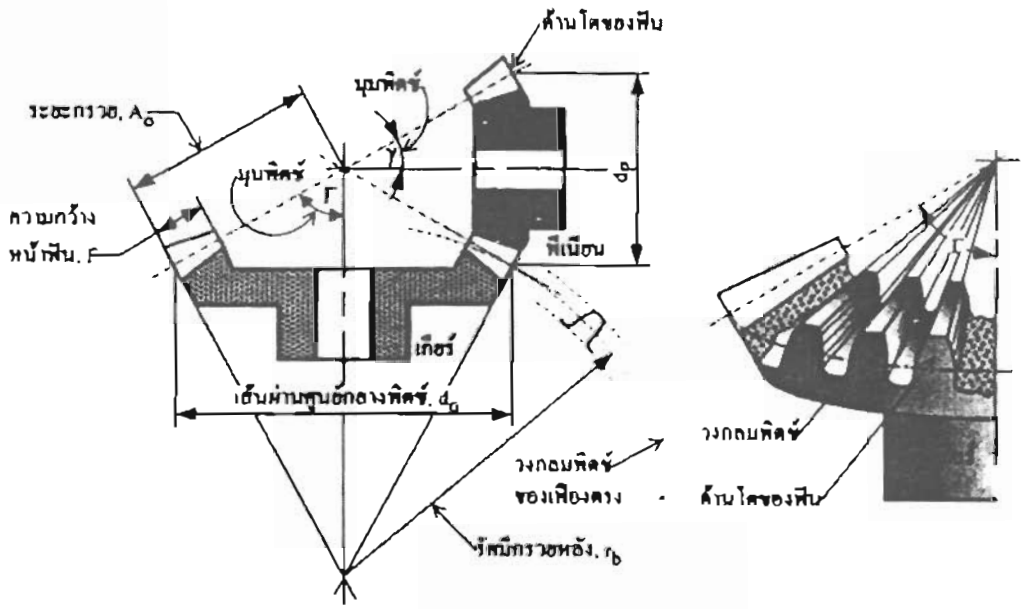


ภาพที่ 1-41 เฟืองดอกจอกภายใน

ใบเนื้อหา	
วิชา ออกแบบเครื่องจักรกล	หน้า 27
เรื่อง เฟือง	

องค์ประกอบของเฟืองดอกจอก

ข้อความและคำจำกัดความที่ใช้ในการตัดเฟืองดอกจอก ส่วนใหญ่เป็นศัพท์ทางเทคนิค ซึ่งในภาษาไทยยังมิได้บัญญัติเอาไว้ เพื่อความสะดวกและความเหมาะสมในการทำความเข้าใจต่างๆ ของเฟืองดอกจอก จะขอใช้ศัพท์ที่เป็นภาษาอังกฤษในการเรียกส่วนต่างๆ เพื่อให้ผู้อ่านเข้าใจตรงกัน ส่วนต่างๆ ของเฟืองดอกจอก ตามภาพที่ 1-42 ในภาพเส้นพิตช์ (Pitch Line) จะแสดงตำแหน่งของ Pitch Cone



ภาพที่ 1-42 ส่วนต่างๆ ของเฟืองดอกจอก

ใบเนื้อหา	
วิชา ออกแบบเครื่องจักรกล	หน้า 28
เรื่อง เฟือง	

เส้นผ่าศูนย์กลางวงกลมพิตช์ (Pitch Diameter)	คือ เส้นผ่าศูนย์กลางพื้นฐานของ Pitch Cone
ระยะพิตช์ของเฟืองดอกจอก (Pitch of Bevel Gear)	หมายถึง ระยะพิตช์วัดที่ปลายฟันด้านนอก
มุมพิตช์โคน (Pitch Cone Angle)	คือ มุมระหว่างเส้นพิตช์กับแกนเฟือง มุมพิตช์โคนเป็นส่วนที่สำคัญที่สุดของเฟืองดอกจอกที่จะต้องทำความเข้าใจก่อนมุมอื่นๆ ของฟันหรือก่อนที่จะหาขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางนอกสุด
ระยะโคน (Cone Distance)	บางครั้งเรียกว่า Apex Distance หรือ Cone Radius คือ ระยะที่ วัดตลอดความยาวเส้นพิตช์จากยอดกรวยไปยังฐานของพิตช์โคน ระยะโคนของเฟืองตัวหนึ่งจะเท่ากับเฟืองคู่ของมัน
แอดเดนดัม (Addendum)	คือ ความลึกของฟันส่วนบนเหนือเส้นพิตช์ วัดตั้งฉากกับผิวพิตช์โคนที่ปลายฟันด้านโต
ดีเดนดัม (Dedendum)	คือ ความลึกฟันส่วนที่ต่ำกว่าเส้นพิตช์ วัดตั้งฉากกับผิวพิตช์ โคนที่ปลายฟันด้านโต ซึ่งเท่ากับแอดเดนดัม + เคลียรันซ์
มุมแอดเดนดัม (Addendum Angle)	คือ มุมระหว่างผิวหน้าเฟืองกับผิวหน้าพิตช์โคน
มุมหน้าเฟือง (Face Angle)	คือ มุมระหว่างแกนเฟืองกับผิวหน้าเฟือง มีค่าเท่ากับมุมแอดเดนดัม + มุมพิตช์โคน
มุมดีเดนดัม (Dedendum Angle)	คือ มุมระหว่างโคนของช่องว่างฟันกับผิวของพิตช์โคน

ใบเนื้อหา	
วิชา ออกแบบเครื่องจักรกล	หน้า 29
เรื่อง เฟือง	

เคลียรันซ์ (Clearance)	คือ ระยะห่างระหว่างฟันของเฟืองตัวหนึ่งและโคนฟันของเฟืองอีกตัวหนึ่งที่ขบกันจะมีระยะห่างในจำนวนที่คงที่ จากปลายฟันด้านหนึ่งไปยังปลายฟันอีกด้านหนึ่ง ฟันหนึ่งจะขนานไปกับผิวหน้าของเฟืองที่ขบกัน
มุมตัด (Cutting Angle)	คือ มุมระหว่างโคนฟันกับแกนเฟือง เป็นมุมที่ใช้สำหรับเอียงหัวแบ่งในการกัดเฟือง สำหรับการตัดบนเครื่องกัดมุมตัดจะเท่ากับมุมพิตช์โคน – มุมดีเดนดัม
มุมหลัง (Edge or Back Angle)	คือ มุมระหว่างขอบด้านนอกและเส้นตั้งฉากกับแกนเฟือง จะเท่ากับมุมพิตช์โคน มุมหลัง จะต้องกลึงให้ตั้งฉากกับผิวของพิตช์โคน ไม่ใช่ตั้งฉากกับผิวหน้าของเฟือง มุมหลังใช้เป็นตำแหน่งในการตั้งชิ้นงาน โดยตั้งให้อยู่ในระดับเดียวกัน
ความกว้างฟัน (Face Width)	คือ ความกว้างของผิวตลอดความยาวของฟันที่ตัด วัดขนานกับเส้นพิตช์ ตามทฤษฎีผิวฟันยิ่งยาวเท่าใด ความสามารถในการส่งกำลังขับจะมากขึ้น แต่ในทางปฏิบัติจะไม่เป็นผลดี ถ้าความกว้างฟันมีขนาดมากกว่า 1/3 ของระยะโคน เพราะถ้าความยาวมากเกินกว่านี้ จะเป็นเหตุให้เกิดความอ่อนแอที่ฟันด้านเล็ก(Small End) และเป็นการยากที่จะทำการตัดฟันที่มีความยาวมากๆ
เส้นผ่าศูนย์กลางนอก	วัดที่เหนือขอบฟันด้านโต (Large End) เท่ากับเส้นผ่าศูนย์กลาง (Outside Diameter) วงกลมพิตช์ + Diametral Increment

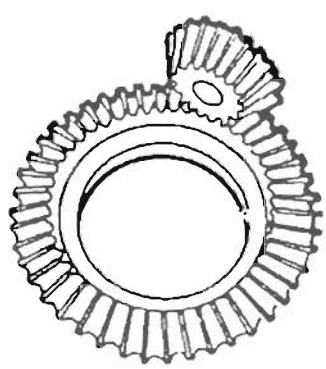
ใบเนื้อหา	
วิชา ออกแบบเครื่องจักรกล	หน้า 30
เรื่อง เฟือง	

ข้อควรจำ เพราะว่าฟันของเฟืองดอกจอกเป็นมุม เส้นผ่าศูนย์กลางนอกจึงไม่เท่ากับเส้นผ่าศูนย์กลางวงกลมพิตช์บวกกับ 2 เท่าของแอดเดนดัมเหมือนกับเฟืองตรง

ไดเมทรัล อินครีเมนต์ (Diametral Increment) คือ ค่าแตกต่างระหว่างเส้นผ่าศูนย์กลางวงกลมพิตช์กับเส้นผ่าศูนย์กลางนอกสุด ซึ่งเท่ากับ 2 เท่าของแอดเดนดัม คูณกับ Cosine ของมุมพิตช์โคน

เฟืองดอกจอกฟันตรง (Straight Bevel)

เป็นเฟืองส่งกำลังแบบแกนเพลาตั้งฉากกันแบบง่ายๆ ทั้งเฟืองตัวขับและเฟืองตัวตามจะเป็นเฟืองฟันตรง ดังนั้นการออกแบบแบริ่งรองรับเพลาจะต้องยึดแน่นคงที่และรักษารอยสัมผัสของฟันเฟืองทั้ง 2 ให้เหมาะสมถูกต้องเสมอ



ภาพที่ 1-43 เฟืองดอกจอกฟันตรง (Straight Bevel)

ข้อดี เนื่องจากลักษณะของเฟืองเป็นฟันตรงทำให้ออกแบบการกัดขึ้นรูปฟันจะง่ายกว่าเฟืองแบบอื่นๆ ราคาจึงถูก

ข้อเสีย มีเสียงดัง กระแทกเกิดการสึกหรอสูง

ใบเนื้อหา	
วิชา ออกแบบเครื่องจักรกล	หน้า 31
เรื่อง เฟือง	

เฟืองดอกจอกฟันเฉียง (Spiral Bevel)

เฟืองดอกจอกฟันเฉียง (Spiral Bevel) เป็นเฟืองส่งกำลังที่ออกแบบให้รับแรงได้สูง การทำงานนุ่มนวล สม่ำเสมอ มีเสียงดังน้อยกว่าเฟืองดอกจอกฟันตรง แต่ราคาของเฟืองส่งกำลังประเภทนี้จะสูงกว่า ลักษณะของแนวแกนจะทำมุมตั้งฉากกัน เช่นเดียวกันเฟืองดอกจอกฟันตรง แต่แรงกระทำในแนวแกนเพลาจะสูงมากเนื่องจากเป็นเฟืองฟันเฉียง ในแนวทางเดียวกับการหมุนของเพลา การรับแรงของฟันเฟืองจะกระจายบนฟันเฟืองตั้งแต่ 2 ฟัน หรือมากกว่าขึ้นอยู่กับมุมเอียงของฟัน

ภาพที่ 1-44 เฟืองดอกจอกฟันเฉียง (Spiral Bevel)

ใบเนื้อหา	
วิชา ออกแบบเครื่องจักรกล	หน้า 32
เรื่อง เฟือง	

1.4 ตารางสูตรในการคำนวณขนาดของเฟือง

สัญลักษณ์และสูตรในการคำนวณหาขนาดต่างๆของเฟืองตรง

ตาราง 1-1 ชื่อเรียกและสัญลักษณ์ของเฟืองตรง

ชื่อเรียก	สัญลักษณ์
ขนาดฟัน	M
จำนวนฟัน	Z
เส้นผ่าศูนย์กลางพิตช์	D
เส้นผ่าศูนย์กลางยอดฟัน	d_a
เส้นผ่าศูนย์กลางโคนฟัน	d_f
เส้นผ่าศูนย์กลางฐาน	d_b
รัศมีพิตช์	r
รัศมียอดฟัน	r_a
รัศมีโคนฟัน	r_f
รัศมีฐาน	r_b
อัตราทด	i
มุมกด	α
เซอคิวล่าพิตช์	p

ชื่อเรียก	สัญลักษณ์
ความสูงทั้งหมด	h
ความสูงส่วนบน	h_a
ความสูงส่วนล่าง	h_f
ความสูงใช้งาน	h_w
ช่องว่างโคนฟัน	C
ช่องว่างหน้าฟัน	j_t
ความกว้างฟัน	s
ความกว้างช่องฟัน	e
ความหนาฟัน	b
ระยะห่างศูนย์กลางคู่เฟือง	a
ระยะขบ	g_α
อัตราส่วนการขบ	ε_α
พิตช์ฐาน	p_b

ใบเนื้อหา	
วิชา ออกแบบเครื่องจักรกล	หน้า 33
เรื่อง เฟือง	

สูตรสำหรับการออกแบบเฟืองตรง

1. ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางพิตช์ $d = mz$
2. ระยะห่างศูนย์กลางคู่เฟือง $a = \frac{d_1 + d_2}{2}$
3. อัตราทดคู่เฟือง $i = \frac{d_2}{d_1} = \frac{z_2}{z_1} = \frac{n_1}{n_2}$
4. ระยะเซอร์คิวล่าพิตช์ $p = \pi m$
5. พิตช์ฐาน $p_b = p \cos\alpha$
6. รัศมีฐาน $r_b = r\cos\alpha$
7. รัศมียอดฟันอนุญาต $r_{ail} = \sqrt{(r\cos\alpha)^2 + (a\sin\alpha)^2}$
   $= \sqrt{r_b{}^2 + (a\sin\alpha)^2}$
8. รัศมียอดฟันจริง $r_a = r + h_a$
9. ระยะขบ
$$g_a = \left(\sqrt{(r_1 + h_a)^2 - (r_1\cos\alpha)^2} - r_1\sin\alpha\right) + \left(\sqrt{(r_2 + h_a)^2 - (r_2\cos\alpha)^2} - r_2\sin\alpha\right)$$
10. อัตราส่วนการขบ $\varepsilon_a = \frac{g_a}{p\cos\alpha} = \frac{g_a}{p_b} \rangle 1.2$

ใบเนื้อหา	
วิชา ออกแบบเครื่องจักรกล	หน้า 34
เรื่อง เฟือง	

ตาราง 1-2 ความสูงต่างๆ และช่องว่างโคนฟัน

รายการ	มุมกด				
	14.5°FD	20°FD	20°FD**	20°Stub	25°FD*
h_a	m	m	m	0.8 m	m
h_f	1.57 m	1.25 m	1.2 m+0.05	m	1.25 m
C	0.157 m	0.25 m	0.2 m+0.05	0.2 m	0.25 m
h_w	2 m	2 m	2 m	1.6 m	2 m
h	2.157 m	2.25 m	2.2 m+0.05	1.8 m	2.25 m

ตาราง 1-3 โมดุลและการเลือกใช้โมดุล

โมดุลมาตรฐาน (m , mm)					
1	1.25	1.5	2	2.5	3
4	5	6	8	10	12
16	20	25	32	40	50

สัญลักษณ์และสูตรในการคำนวณหาขนาดต่างๆของเฟืองเฉียง

ตาราง 1-4 ชื่อเรียกและสัญลักษณ์ของเฟืองเฉียง

ชื่อเรียก	สัญลักษณ์
มุมฮีลิกซ์	β
โมดุลปกติ	m, m_n
โมดุลแทนเจนเชียล	m_t
เส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์	d_t
ฟันสมมูล	z_e

ใบเนื้อหา	
วิชา ออกแบบเครื่องจักรกล	หน้า 35
เรื่อง เฟือง	

สูตรสำหรับการออกแบบเฟืองเฉียง

1. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์	$d_t = m_t z$
2. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางยอดฟัน	$d_{at} = d_t + 2m_t$
3. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโคนฟัน	$d_{ft} = d_t - 2.4\ m_n$
4. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางฐาน	$d_{bt} = d_t \cos\alpha_t$
5. ระยะห่างศูนย์กลางคู่เฟือง	$d_{bt} = d_t \cos\alpha_t$
6. อัตราทดคู่เฟือง	$i = \frac{d_{t2}}{d_{t1}} = \frac{z_2}{z_1} = \frac{n_1}{n_2}$
7. โมดุลปกติ	$m_n = m$
8. โมดุลแทนเจนเชียล	$m_t = \frac{m_n}{\cos\beta} = \frac{m}{\cos\beta} \geq m$
9. มุมฮีลิกซ์	$\beta = \cos^{-1}\left(\frac{m_n}{m_t}\right)$
10. พิตช์ปกติ	$p_n = p_t \cos\beta$
11. พิตช์แทนเจนเชียล	$p_t = \frac{p_n}{\cos\beta}$
12. มุมกดแนวปกติ	$\alpha_n = \alpha$
13. มุมกดแทนเจนเชียล	$\alpha_t = \tan^{-1}\left(\frac{\tan\alpha_n}{\cos\beta}\right)$
14. ฟันสมมูล	$z_e = \frac{z}{(\cos\beta)^3}$

ใบเนื้อหา	
วิชา ออกแบบเครื่องจักรกล	หน้า 36
เรื่อง เฟือง	

สัญลักษณ์และสูตรในการคำนวณหาขนาดต่างๆของเฟืองดอกจอก

ตาราง 2-5 ชื่อเรียกและสัญลักษณ์ของเฟืองดอกจอก

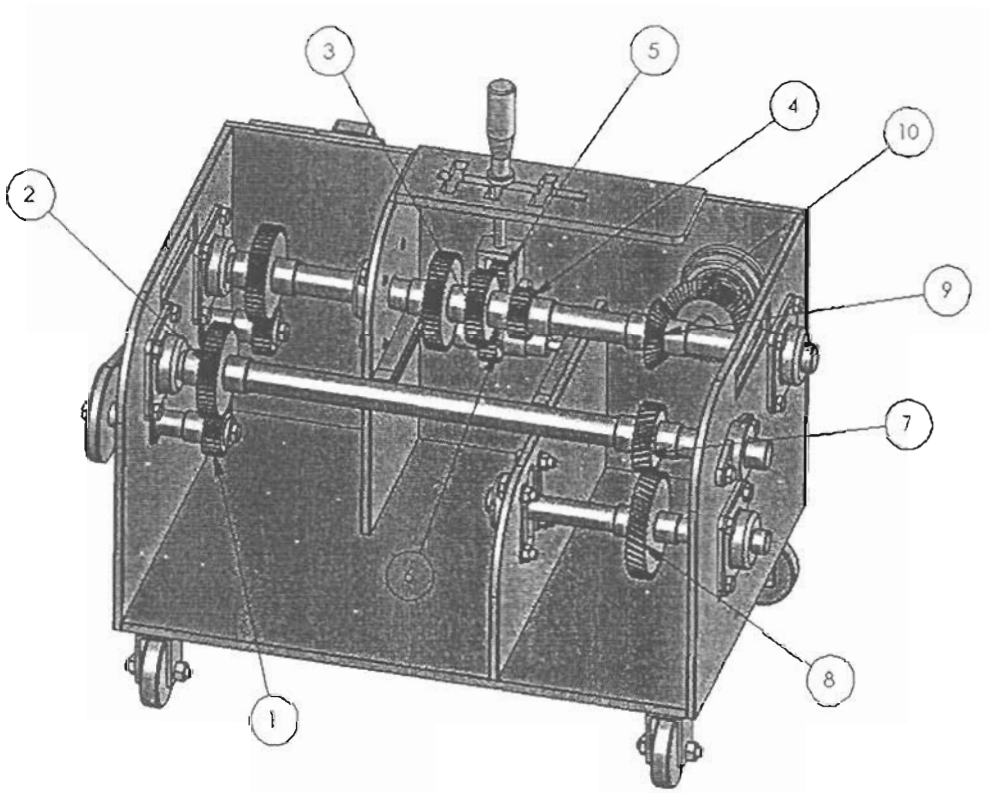
ชื่อเรียก	สัญลักษณ์
เส้นผ่าศูนย์กลางพิตช์เฉลี่ย	d_m
รัศมีกรวย	R_a
รัศมีกรวยเฉลี่ย	R_m
โมดุลเฉลี่ย	m_m
มุมยอดฟัน	ϑ_a
มุมโคนฟัน	ϑ_f
มุมกรวยยอดฟัน	δ_a
มุมกรวยโคนฟัน	δ_f
มุมหลังกรวย	δ_b
มุมเพลา	Σ

ใบเนื้อหา	
วิชา ออกแบบเครื่องจักรกล	หน้า 37
เรื่อง เฟือง	

สูตรสำหรับการออกแบบเฟืองดอกจอก

1. เส้นผ่าศูนย์กลางพิตช์ $d = mz$
2. เส้นผ่าศูนย์กลางยอดฟัน $d_a = d + 2m\cos\delta$
3. เส้นผ่าศูนย์กลางโคนฟัน $d_f = d - 2.4\cos\delta$
4. เส้นผ่าศูนย์กลางพิตช์เฉลี่ย $d_m = d - b\sin\delta$
5. รัศมีกรวย $R_a = \frac{d_m}{2\sin\delta} \geq 3b$
6. รัศมีกรวยเฉลี่ย $R_m = \frac{d_m}{2\sin\delta} \geq 2.5b$
7. โมดุลเฉลี่ย $m_m = \frac{d_m}{z}$
8. มุมยอดฟัน $\vartheta_a = \tan^{-1}\left(\frac{m}{R_a}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{h_a}{R_a}\right)$
9. มุมโคนฟัน $\vartheta_f = \tan^{-1}\left(\frac{1.2m}{R_a}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{h_f}{R_a}\right)$
10. มุมกรวยยอดฟัน $\delta_a = \delta + \vartheta_a$
11. มุมกรวยโคนฟัน $\delta_f = \delta + \vartheta_f$
12. มุมหลังกรวย $\delta_b = 90 - \delta$
13. มุมเพลา $\sum = \delta_1 + \delta_2$
14. มุมกรวย (เมื่อมุมเพลา = 90°) $\delta_1 = \tan^{-1}\frac{1}{i}, \delta_2 = \tan^{-1}(i), i = \frac{z_2}{z_1}$
15. มุมกรวย (เมื่อมุมเพลา $\neq 90^\circ$) $\delta_1 = \tan^{-1}\left(\frac{\sin\sum}{1+\cos\sum}\right), \delta_2 = \tan^{-1}\left(\frac{i\sin\sum}{1+i\cos\sum}\right)$

ใบประลองเรื่อง
การส่งกำลังด้วยเฟือง



หมายเลข 1	เฟืองตรง	จำนวนฟัน 24 ฟัน
หมายเลข 2	เฟืองตรง	จำนวนฟัน 48 ฟัน
หมายเลข 3	เฟืองตรง	จำนวนฟัน 36 ฟัน
หมายเลข 4	เฟืองตรง	จำนวนฟัน 24 ฟัน
หมายเลข 5	เฟืองตรง	จำนวนฟัน 25 ฟัน
หมายเลข 6	เฟืองตรง	จำนวนฟัน 24 ฟัน
หมายเลข 7	เฟืองเฉียง	จำนวนฟัน 25 ฟัน
หมายเลข 8	เฟืองเฉียง	จำนวนฟัน 40 ฟัน
หมายเลข 9	เฟืองดอกจอก	จำนวนฟัน 35 ฟัน
หมายเลข 10	เฟืองดอกจอก	จำนวนฟัน 48 ฟัน

วิธีการประลองของนักศึกษา

1.เฟืองตรง

1.1 ทำการวัดขนาดต่างๆ ของเฟืองตรงแต่ละตัว แล้วบันทึกค่าที่ได้ลงในใบงาน

1.2 หลังจากได้ขนาดที่วัดจากเฟืองแล้ว ให้ทำการคำนวณค่าต่างๆ ตามสูตรทางทฤษฎี

1.3 หาอัตราทดของเฟืองตรงแต่ละคู่ แล้วบันทึกผล

1.4 หาความเร็วรอบจากการคำนวณ

1.5 ใช้เครื่องมือวัดความเร็วรอบและบันทึกความเร็วรอบที่ได้จากการใช้เครื่องมือวัด

1.6 ทำการปรับเปลี่ยนคู่เฟืองที่ขบกัน โดยการเลื่อนเฟืองสะพานเข้าขบกับเฟืองตัวอื่น แล้วหาอัตราทดใหม่

1.7 วัดความเร็วรอบและบันทึกผลที่ได้แล้วเปรียบเทียบกัน

2.เฟืองดอกจอก

2.1 ทำการวัดขนาดต่างๆ ของเฟืองดอกจอกแต่ละตัว แล้วบันทึกค่าที่ได้ลงในใบงาน

2.2 หลังจากได้ขนาดที่วัดจากเฟืองแล้ว ให้ทำการคำนวณค่าต่างๆ ตามสูตรทางทฤษฎี

2.3 หาอัตราทดของคู่เฟืองแล้วบันทึกผล

2.4 หาความเร็วรอบจากการคำนวณ

2.5 ใช้เครื่องมือวัดความเร็วรอบและบันทึกความเร็วรอบที่ได้จากการใช้เครื่องมือวัด

3.เฟืองเฉียง

3.1 ทำการวัดขนาดต่างๆของเฟืองแต่ละตัว แล้วบันทึกค่าที่ได้ลงในใบงาน

3.2 หลังจากได้ขนาดที่วัดจากเฟืองแล้ว ให้ทำการคำนวณค่าต่างๆ ตามสูตรทางทฤษฎี

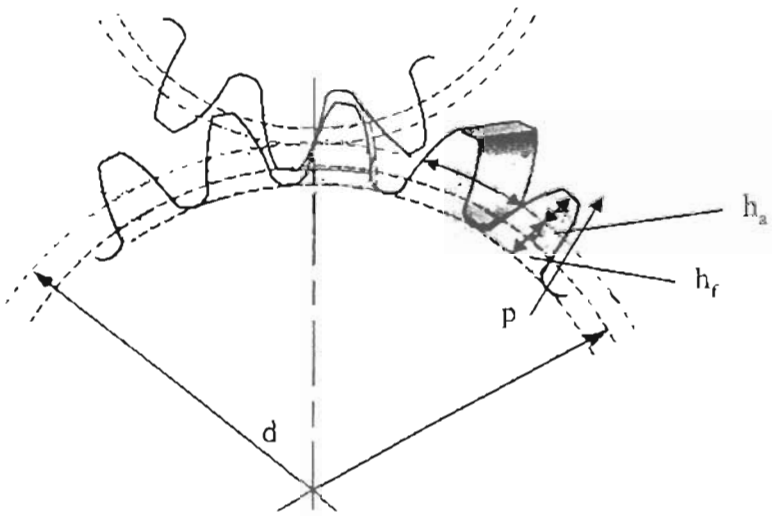
3.3 หาอัตราทดของคู่เฟืองแล้วบันทึกผล

3.4 หาระยะศูนย์กลางของเฟือง ซึ่งเป็นระยะของการขบกันของคู่เฟืองที่ถูกต้อง แล้วทำการปรับเปลี่ยนระยะศูนย์กลางของเฟือง

3.5 หาความเร็วรอบจากการคำนวณ

3.6 ใช้เครื่องมือวัดความเร็วรอบและบันทึกความเร็วรอบที่ได้จากการใช้เครื่องมือวัด

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ	
วิชา : ออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกล	ภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล	
เรื่อง : การหาขนาดของเฟืองตรง	ใบประดอง	1 / 1

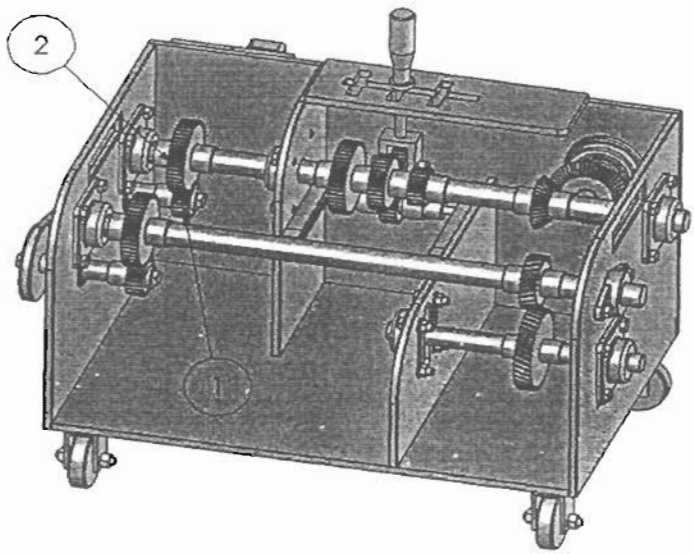


รายการ		
เฟืองตรงหมายเลข		
โมดูล	m	
จำนวนฟัน	z	
เส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์	$d = mz$	
มุมกด	α	
ความสูงทั้งหมด	h	
ความสูงส่วนบน	h_a	
ความสูงส่วนล่าง	h_f	
เส้นผ่านศูนย์กลางยอดฟัน	$d_a = d+2h_a$	
เส้นผ่านศูนย์กลางโคนฟัน	$d_f = d-2h_f$	
เซอร์คิวล่าพิตช์	$p = \pi m$	
พิตช์ฐาน	$p_b = p\cos\alpha$	
เส้นผ่านศูนย์กลางฐาน	$d_b = d\cos\alpha$	

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ	
วิชา : ออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกล	ภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล	
เรื่อง : การหาความเร็วรอบของเฟืองตรง	ใบประลอง	1 / 2

การส่งกำลังจากเฟืองตรงหมายเลข 1 ⟶ เฟืองตรงหมายเลข 2 ⟶

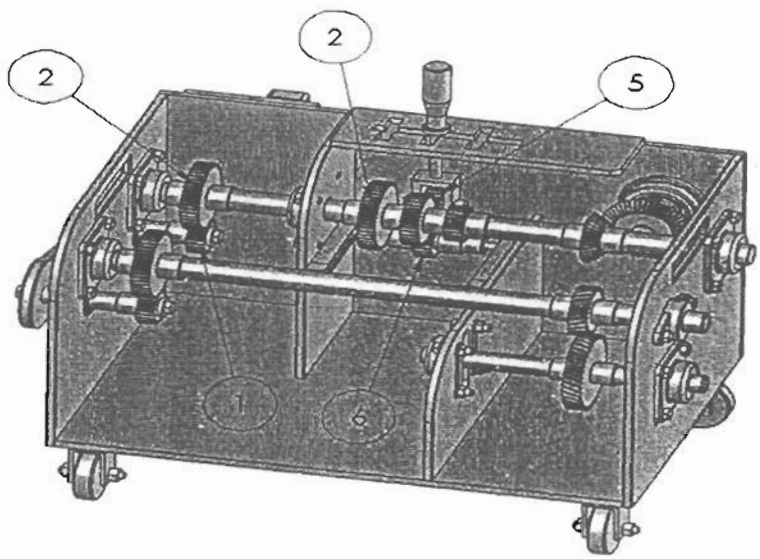
Output



รายการ			
กำลังของมอเตอร์	P_m	0.25 kW	
ความเร็วรอบของมอเตอร์	n_m	1470 rpm	
เฟือง		เฟืองหมายเลข 1	เฟืองหมายเลข 2
จำนวนฟัน	z	24	48
อัตราทด	$i = \frac{z_2}{z_1}$	2	
ความเร็วรอบจากการคำนวณ (rpm)	$n_2 = \frac{n_1}{i}$	630	315
ความเร็วรอบจากการวัด (rpm)	n	611	305

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ	
วิชา : ออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกล	ภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล	
เรื่อง : การหาความเร็วรอบของเฟืองตรง	ใบประลอง	1 / 3

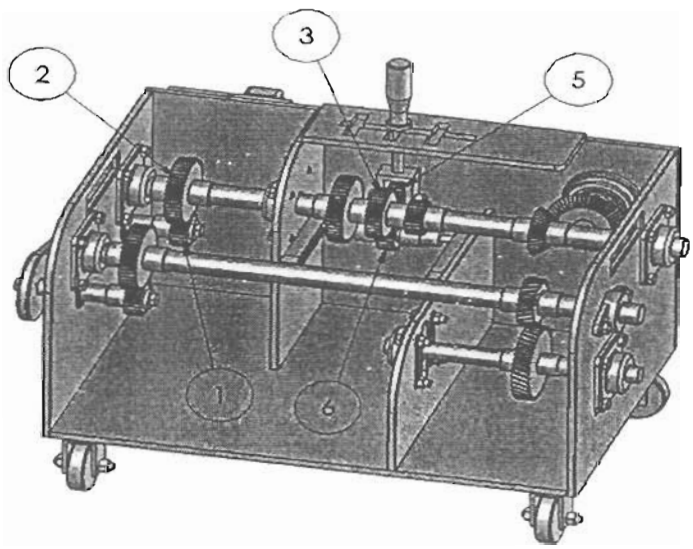
การส่งกำลังจากเฟืองตรงหมายเลข 1 ⟶ เฟืองตรงหมายเลข 2 ⟶
เฟืองตรงหมายเลข 2 ⟶ เฟืองตรงหมายเลข 5 ⟶ เฟืองตรงหมายเลข 6
⟶ Output



รายการ			
กำลังของมอเตอร์	P_m	0.25 kW	
ความเร็วรอบของมอเตอร์	n_m	1470 rpm	
เฟือง		เฟืองหมายเลข 1	เฟืองหมายเลข 6
จำนวนฟัน	z	24	24
อัตราทด	$i = \frac{z_2}{z_1} \times \frac{z_5}{z_2} \times \frac{z_6}{z_5}$	1	
ความเร็วรอบจากการคำนวณ (rpm)	$n_2 = \frac{n_1}{i}$	630	630
ความเร็วรอบจากการวัด (rpm)	n	611	611

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ		
	วิชา : ออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกล	ภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล	
	เรื่อง : การหาความเร็วรอบของเฟืองตรง	ใบประดอง	1 / 4

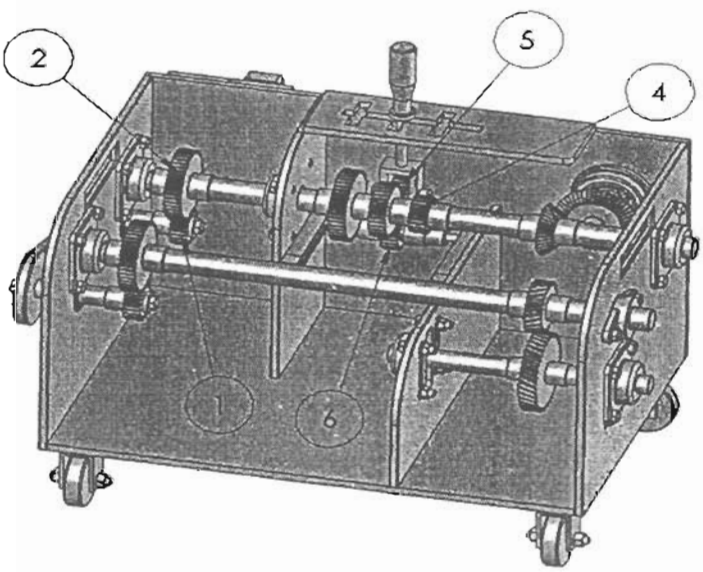
การส่งกำลังจากเฟืองตรงหมายเลข 1 ⟶ เฟืองตรงหมายเลข 2 ⟶
เฟืองตรงหมายเลข 3 ⟶ เฟืองตรงหมายเลข 5 ⟶ เฟืองตรงหมายเลข 6
⟶ Output



รายการ			
กำลังของมอเตอร์	P_m	0.25 kW	
ความเร็วรอบของมอเตอร์	n_m	1470 rpm	
เฟือง		เฟืองหมายเลข 1	เฟืองหมายเลข 6
จำนวนฟัน	z	24	24
อัตราทด	$i = \frac{z_2}{z_1} \times \frac{z_5}{z_3} \times \frac{z_6}{z_5}$	1.33	
ความเร็วรอบจากการคำนวณ (rpm)	$n_2 = \frac{n_1}{i}$	630	473
ความเร็วรอบจากการวัด (rpm)	n	611	459

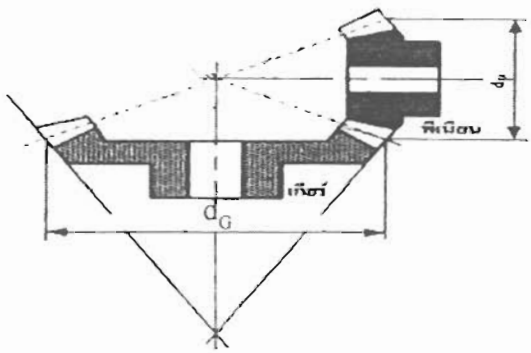
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ		
	วิชา : ออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกล	ภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล	
	เรื่อง : การหาความเร็วรอบของเฟืองตรง	ใบประลอง	1 /5

การส่งกำลังจากเฟืองตรงหมายเลข 1 ⟶ เฟืองตรงหมายเลข 2 ⟶
เฟืองตรงหมายเลข 4 ⟶ เฟืองตรงหมายเลข 5 ⟶ เฟืองตรงหมายเลข 6
⟶ Output



รายการ			
กำลังของมอเตอร์	P_m	0.25 kW	
ความเร็วรอบของมอเตอร์	n_m		
เฟือง		เฟืองหมายเลข 1	เฟืองหมายเลข 6
จำนวนฟัน	z	24	24
อัตราทด	$i = \frac{z_2}{z_1} \times \frac{z_5}{z_4} \times \frac{z_6}{z_5}$	2	
ความเร็วรอบจากการคำนวณ (rpm)	$n_2 = \frac{n_1}{i}$	630	315
ความเร็วรอบจากการวัด (rpm)	n		

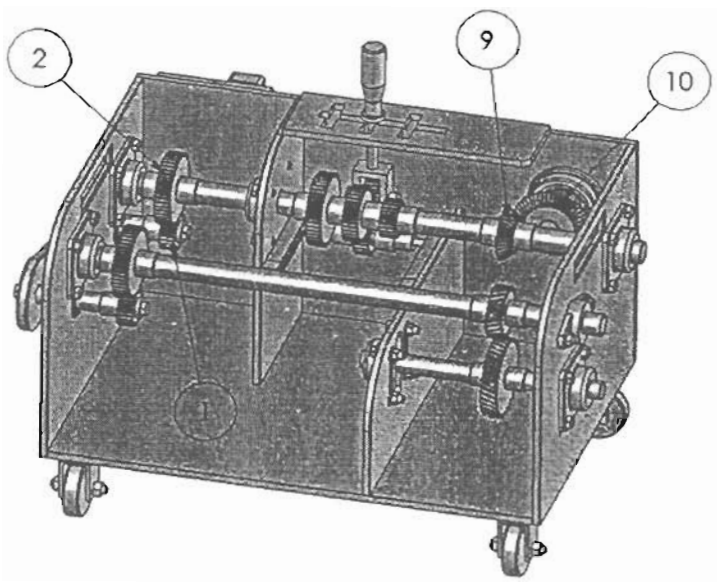
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ	
วิชา : ออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกล	ภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล	
เรื่อง : การหาขนาดเฟืองดอกจอก	ใบประลอง	2 / 1



รายการ		
เฟืองดอกจอกหมายเลข 9 (ตัวขับ)		
โมดุล	m	2 mm.
จำนวนฟัน	z	35
เส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์	$d = mz$	70 mm.
มุมกรวย	$\delta_1 = \tan^{-1}\frac{1}{i}, \delta_2 = \tan^{-1}(i), i = \frac{z_2}{z_1}$	36.1 องศา
รัศมีกรวย	$R_a = \frac{d}{2\sin\delta}$	59.4 mm.
มุมยอดฟัน	$\vartheta_a = \tan^{-1}\left(\frac{m}{R_a}\right)$	1.928 องศา
มุมโคนฟัน	$\vartheta_f = \tan^{-1}\left(\frac{1.2m}{R_a}\right)$	2.314 องศา
เส้นผ่านศูนย์กลางยอดฟัน	$d_a = d + 2m\cos\delta$	73.23 mm.
เส้นผ่านศูนย์กลางโคนฟัน	$d_f = d - 2.4\cos\delta$	68.06 mm.
มุมกรวยยอดฟัน	$\delta_a = \delta + \vartheta_a$	38.028 องศา
มุมกรวยโคนฟัน	$\delta_f = \delta + \vartheta_f$	38.414 องศา

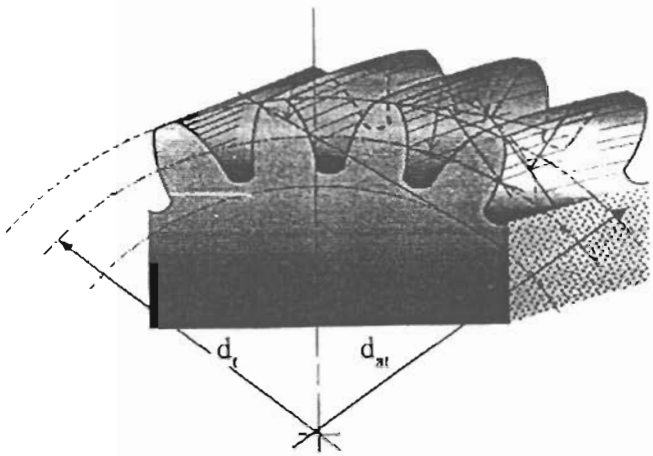
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ	
วิชา : ออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกล	ภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล	
เรื่อง : การหาความเร็วรอบของเฟืองดอกจอก	ใบประลอง	2 / 2

การส่งกำลังจากเฟืองตรงหมายเลข 1 ⟶ เฟืองตรงหมายเลข 2 ⟶
เฟืองดอกจอกหมายเลข 9 ⟶ เฟืองดอกจอกหมายเลข 10 ⟶ Output



รายการ			
กำลังของมอเตอร์	P_m	0.25 kW	
ความเร็วรอบของมอเตอร์	n_m	1470 rpm	
เฟือง		เฟืองหมายเลข 1	เฟืองหมายเลข 10
จำนวนฟัน	z	24	48
อัตราทด	$i = \frac{z_2}{z_1} \times \frac{z_{10}}{z_9}$	2.74	
ความเร็วรอบจากการคำนวณ (rpm)	$n_2 = \frac{n_1}{i}$	630	229
ความเร็วรอบจากการวัด (rpm)	n	611	223

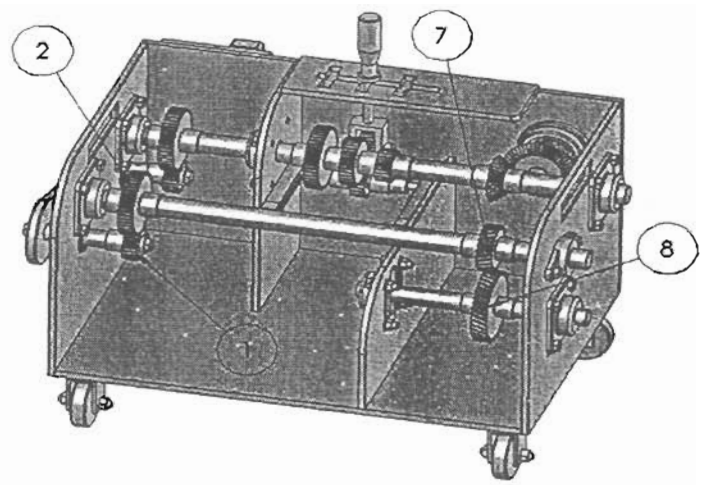
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ	
วิชา : ออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกล	ภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล	
เรื่อง : การหาขนาดของเฟืองเฉียง	ใบประลอง	3 / 1



รายการ		
เฟืองเฉียงหมายเลข 7 (ตัวขับ)		
โมดุล	m_n	2.5 mm.
โมดุล	m_t	2.66 mm.
จำนวนฟัน	Z	25
เส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์	$d_t = m_t z$	66.5 mm.
มุมกด	A	20°
มุมฮีลิกซ์	$\beta = \cos^{-1}\left(\frac{m_n}{m_t}\right)$	19.97°
ความสูงทั้งหมด	H	5.625 mm.
ความสูงส่วนบน	h_a	2.5 mm.
ความสูงส่วนล่าง	h_f	3.125 mm.
เส้นผ่านศูนย์กลางยอดฟัน	$d_{at} = d_t + 2m_n$	71.5 mm.
เส้นผ่านศูนย์กลางโคนฟัน	$d_{ft} = d_t - 2.4m_n$	60.5 mm.
ฟันสมมูล	$z_e = \frac{z}{(\cos\beta)^3}$	30.11

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ	
วิชา : ออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกล	ภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล	
เรื่อง : การหาความเร็วรอบของเฟืองเฉียง	ใบประลอง	3 / 2

การส่งกำลังจากเฟืองตรงหมายเลข 1 ⟶ เฟืองตรงหมายเลข 2 ⟶
เฟืองเฉียงหมายเลข 7 ⟶ เฟืองเฉียงหมายเลข 8 ⟶ Output



รายการ			
กำลังของมอเตอร์	P_m	0.25 kW	
ความเร็วรอบของมอเตอร์	n_m	1470 rpm	
เฟือง		เฟืองหมายเลข 1	เฟืองหมายเลข 8
จำนวนฟัน	z	24	40
อัตราทด	$i = \frac{z_2}{z_1} \times \frac{z_8}{z_7}$	3.2	
ความเร็วรอบจากการคำนวณ (rpm)	$n_2 = \frac{n_1}{i}$	590	184
ความเร็วรอบจากการวัด (rpm)	n	584	182
ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางของเฟือง 7 กับ เฟือง 8	$a = \frac{m_t(z_7 + z_8)}{2}$	คำนวณ	เครื่องมือวัด
		88.95 mm.	87.5 mm.

ใบทดสอบ

เรื่อง การส่งกำลังด้วยเฟือง วิชา ออกแบบเครื่องจักรกล เวลา 10 นาที

จงอ่านข้อความต่อไปนี้แล้วใส่เครื่องหมาย ✓ หน้าข้อความที่เห็นว่าถูก และใส่เครื่องหมาย × หน้าข้อความที่เห็นว่าผิด

.....1. ข้อดีของการใช้ระบบส่งกำลังแบบเฟือง คือ อัตราทดคงที่แน่นอน มีความแข็งแรงทนทาน สามารถใช้กับงานที่มีอุณหภูมิสูง

.....2. แบ็คแล็ช คือ ระยะห่างของฟันเฟืองตัวขับและตัวตามที่วัดบนส่วนโค้ง

.....3. วิธีการบำรุงรักษาและหล่อลื่นระบบส่งกำลังแบบเฟืองนิยมใช้จารบี

.....4. เครียรันซ์ คือ ระยะห่างระหว่างฟันของเฟืองตัวหนึ่งและคนฟันของเฟืองอีกตัวหนึ่งที่ขบกันจะมีระยะห่างในจำนวนที่คงที่

.....5. เฟืองท้ายที่ใช้อยู่ในรถยนต์ใช้เฟืองตรงเป็นตัวถ่ายทอดกำลังงาน

.....6. มุมเอียงของฟันเฟือง จะมีค่าแตกต่างกันระหว่าง 10 องศา ถึง 45 องศา

.....7. คู่เฟืองประกอบด้วยเฟือง 2 ตัว ที่มีการหมุนรอบเพลางาน ด้วยอัตราส่วนความเร็วมุมคงที่โดยมีตัวหนึ่งเป็นตัวขับ และอีกตัวหนึ่งเป็นตัวตาม

.....8. ข้อเสียของเฟืองเฉียงคือ ราคาที่ใช้ในการผลิตสูง สามารถทำความเร็วรอบสูง ๆ ได้น้อยกว่าเฟืองตรง

.....9. สิ่งที่สำคัญในการเลือกใช้ระบบส่งกำลังด้วยเฟืองคือ หลักการทำงานของชิ้นส่วนเครื่องจักรกล ชนิดการติดตั้งชิ้นส่วนเครื่องจักรกล และการบำรุงรักษา

.....10. มุมตัดคือ มุมระหว่างเส้นฟิตช์กับแกนเฟืองมุมฟิตช์โคนเป็นส่วนที่สำคัญที่สุดของเฟืองดอกจอก

ใบเฉลยแบบทดสอบ

เรื่อง การส่งกำลังด้วยเฟือง วิชา ออกแบบเครื่องจักรกล เวลา 10 นาที

จงอ่านข้อความต่อไปนี้แล้วใส่เครื่องหมาย ✓ หน้าข้อความที่เห็นว่าถูก และใส่เครื่องหมาย × หน้าข้อความที่เห็นว่าผิด

✓ 1. ข้อดีของการใช้ระบบส่งกำลังแบบเฟือง คือ อัตราทดคงที่แน่นอน มีความแข็งแรงทนทาน สามารถใช้กับงานที่มีอุณหภูมิสูง

✓ 2. แบ็คแล็ช คือ ระยะห่างของฟันเฟืองตัวขับและตัวตามที่วัดบนส่วนโค้ง

× 3. วิธีการบำรุงรักษาและหล่อลื่นระบบส่งกำลังแบบเฟืองนิยมใช้จารบี

✓ 4. เครียรันซ์ คือ ระยะห่างระหว่างฟันของเฟืองตัวหนึ่งและคนฟันของเฟืองอีกตัวหนึ่งที่ขบกันจะมีระยะห่างในจำนวนที่คงที่

× 5. เฟืองท้ายที่ใช้อยู่ในรถยนต์ใช้เฟืองตรงเป็นตัวถ่ายทอดกำลังงาน

× 6. มุมเอียงของฟันเฟือง จะมีค่าแตกต่างกันระหว่าง 10 องศา ถึง 45 องศา

✓ 7. คู่เฟืองประกอบด้วยเฟือง 2 ตัว ที่มีการหมุนรอบเพลางาน ด้วยอัตราส่วนความเร็วมุมคงที่ โดยมีตัวหนึ่งเป็นตัวขับ และอีกตัวหนึ่งเป็นตัวตาม

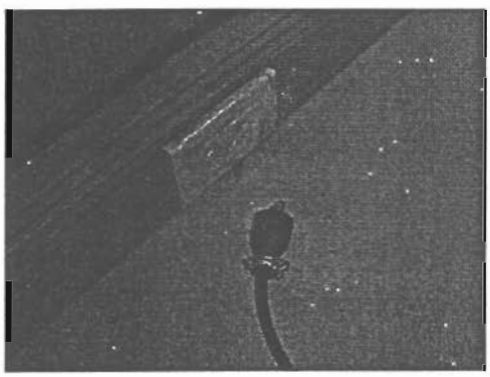
✓ 8. ข้อเสียของเฟืองเฉียงคือ ราคาที่ใช้ในการผลิตสูง สามารถทำความเร็วรอบสูง ๆ ได้น้อยกว่าเฟืองตรง

✓ 9. สิ่งที่สำคัญในการเลือกใช้ระบบส่งกำลังด้วยเฟืองคือ หลักการทำงานของชิ้นส่วนเครื่องจักรกล ชนิดการติดตั้งชิ้นส่วนเครื่องจักรกล และการบำรุงรักษา

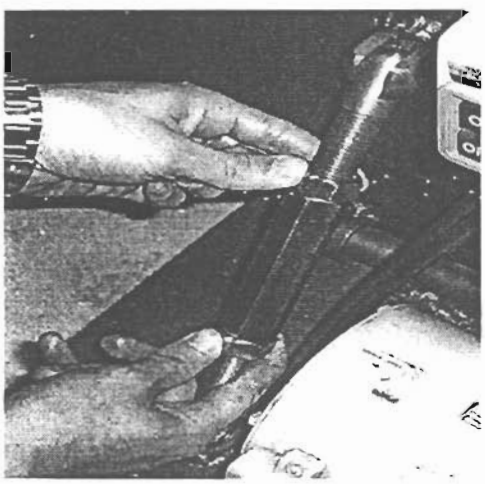
× 10. มุมตัดคือ มุมระหว่างเส้นฟิตช์กับแกนเฟืองมุมฟิตช์โคนเป็นส่วนที่สำคัญที่สุดของเฟืองดอกจอก

คู่มือการใช้ชุดทดลองการส่งกำลังด้วยเฟือง

1. การใส่และปรับตั้งสายพาน

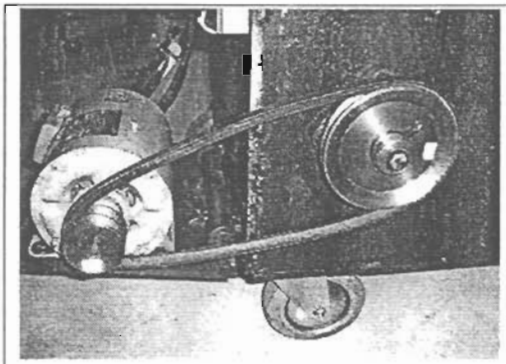


1.1 ตรวจเช็คปลั๊กของชุดทดลองว่าได้ถอดออกแล้ว เพื่อป้องกันอันตรายขณะทำงาน

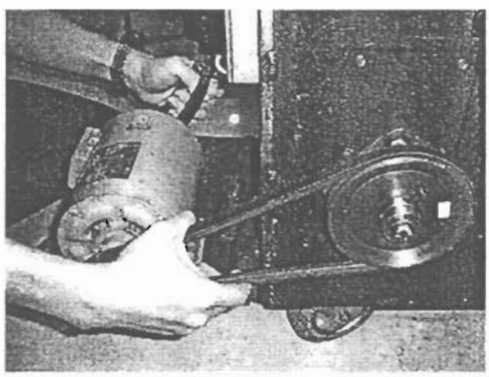


1.2 ที่แขนยึดระหว่างแผ่นฐานมอเตอร์กับโครง ให้คลายนัตตัวบนและตัวล่างออกโดยประมาณ เพื่อให้เกิดช่องว่างสำหรับหมุนนัตตัวกลาง

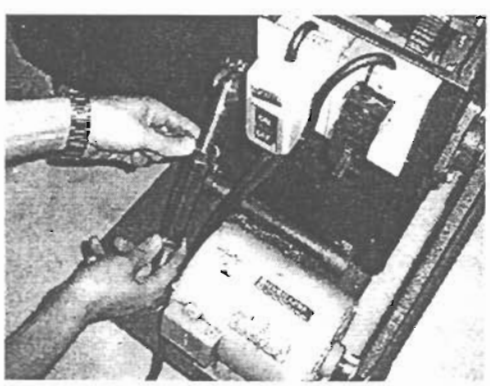
1.3 หมุนนัตตัวกลาง เพื่อให้ฐานของมอเตอร์ยกขึ้น จนได้ระยะที่สามารถใส่สายพานที่พูลเลย์ได้



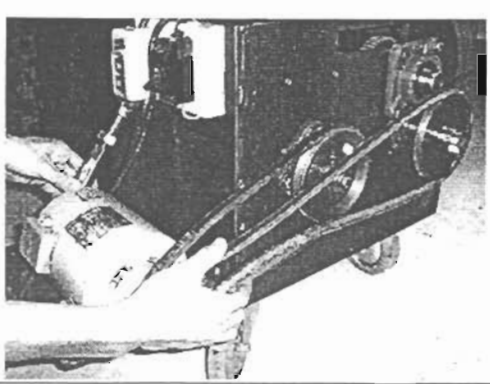
1.4 นำสายพานคล้องใส่ที่พูลเลย์ของมอเตอร์และพูลเลย์ที่ติดกับเพลาที่ตัวเครื่อง



1.5 หมุนนัตตัวกลางพร้อมกับใช้มือบีบที่สายพาน เพื่อทดสอบว่าสายพานตึงพอประมาณ อย่าให้ตึงมากหรือน้อยเกินไป

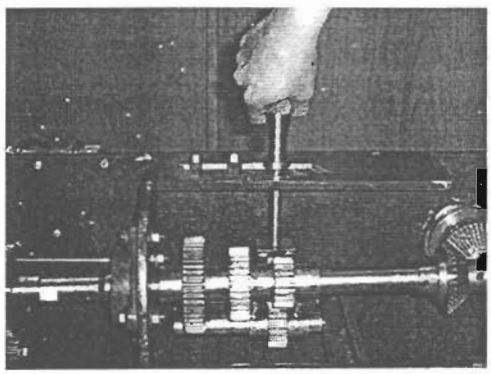


1.6 เมื่อสายพานตึงพอประมาณแล้ว ก็ให้ขันนัตตัวบนและตัวล่างเพื่อล็อคนัตตัวกลางไม่ให้คลายตัวขณะเดินเครื่อง

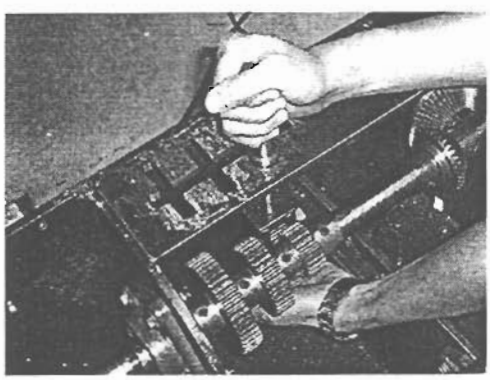


1.7 ถ้าต้องการใส่สายพานเส้นยาว ก็ให้ใช้วิธีเดียวกันกับการใส่สายพานเส้นสั้นจากขั้นตอนที่ผ่านมานั่นเอง

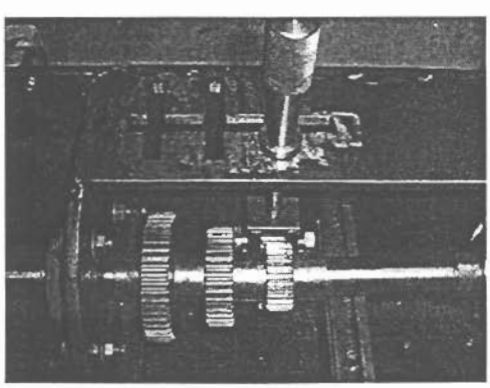
2. การเลื่อนเฟืองสะพานเข้าขบกับเฟืองตัวอื่น



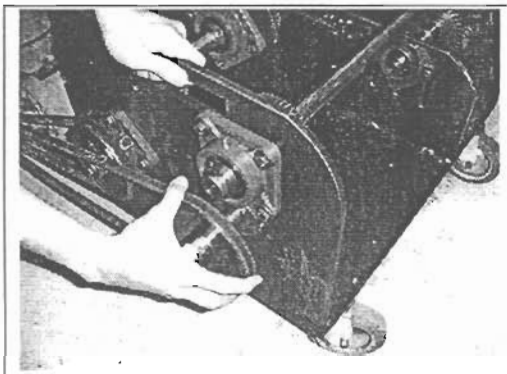
2.1 ใช้มือหมุนคลายคันโยกออก พอประมาณ



2.2 ใช้มือข้างหนึ่งจับคันโยกและมืออีกข้างหนึ่งดันเฟืองสะพานให้เข้าขบกับเฟืองที่เพลา แล้วหมนล็อคคันโยก

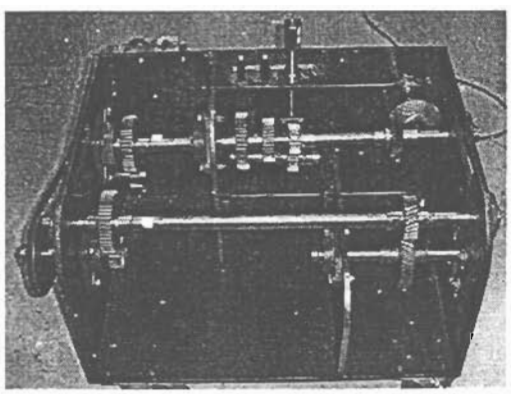


2.3 สามารถเลื่อนเฟืองสะพานเข้าขบกับเฟืองที่เพลาได้ทั้ง 3 เฟือง โดยการเลื่อนเข้าขบทีละเฟือง ตามการทดลอง

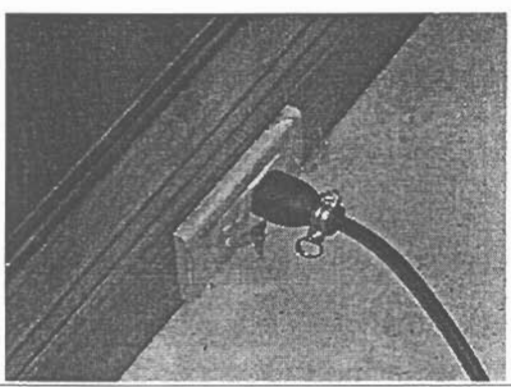


2.4 ตรวจเช็คการขบกันของคู่เฟืองว่าเกิดการขัดกันหรือไม่ โดยการใช้มือหมุนที่พูลเลย์ดู เพื่อป้องกันความเสียหายที่เกิดจากการขัดกันของคู่เฟือง

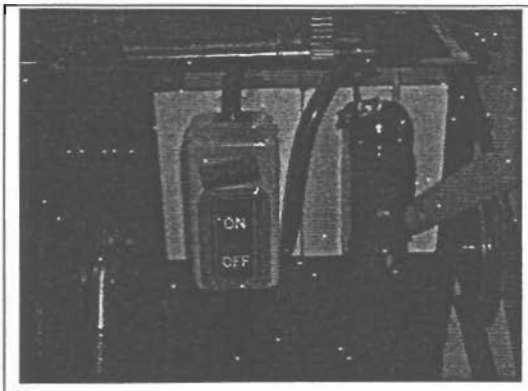
3. การเดินเครื่อง หลังจากที่ปรับตั้งส่วนต่างๆ พร้อมแล้ว



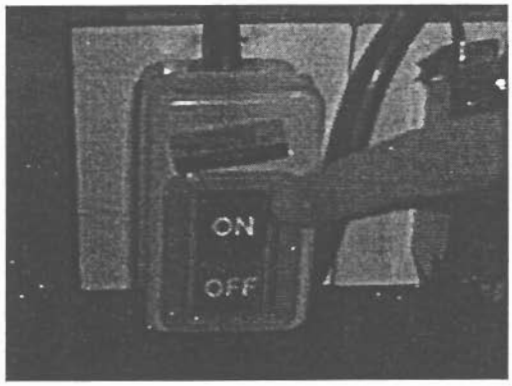
3.1 ตรวจดูความเรียบร้อยของเครื่องว่าอยู่ในสภาพสมบูรณ์พร้อมที่จะทำงาน



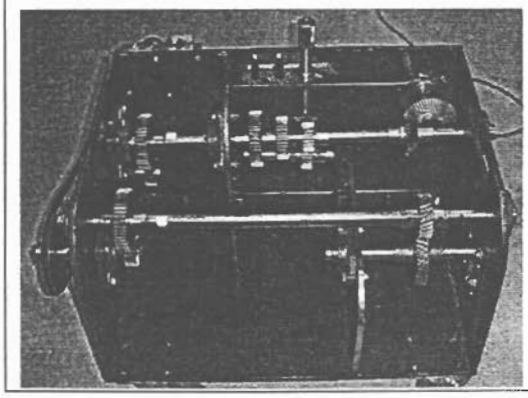
3.2 เสียบปลั๊กไฟ



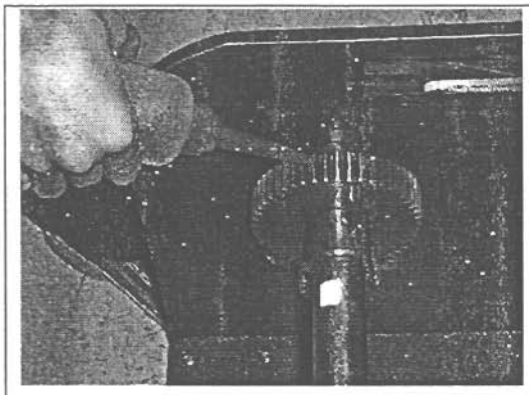
3.3 เปิดสวิตซ์คัตเอาท์ตำแหน่ง ON



3.4 กดสวิตซ์ ON เพื่อให้เครื่องทำงาน และกดสวิตซ์ OFF เมื่อต้องการหยุดเครื่อง



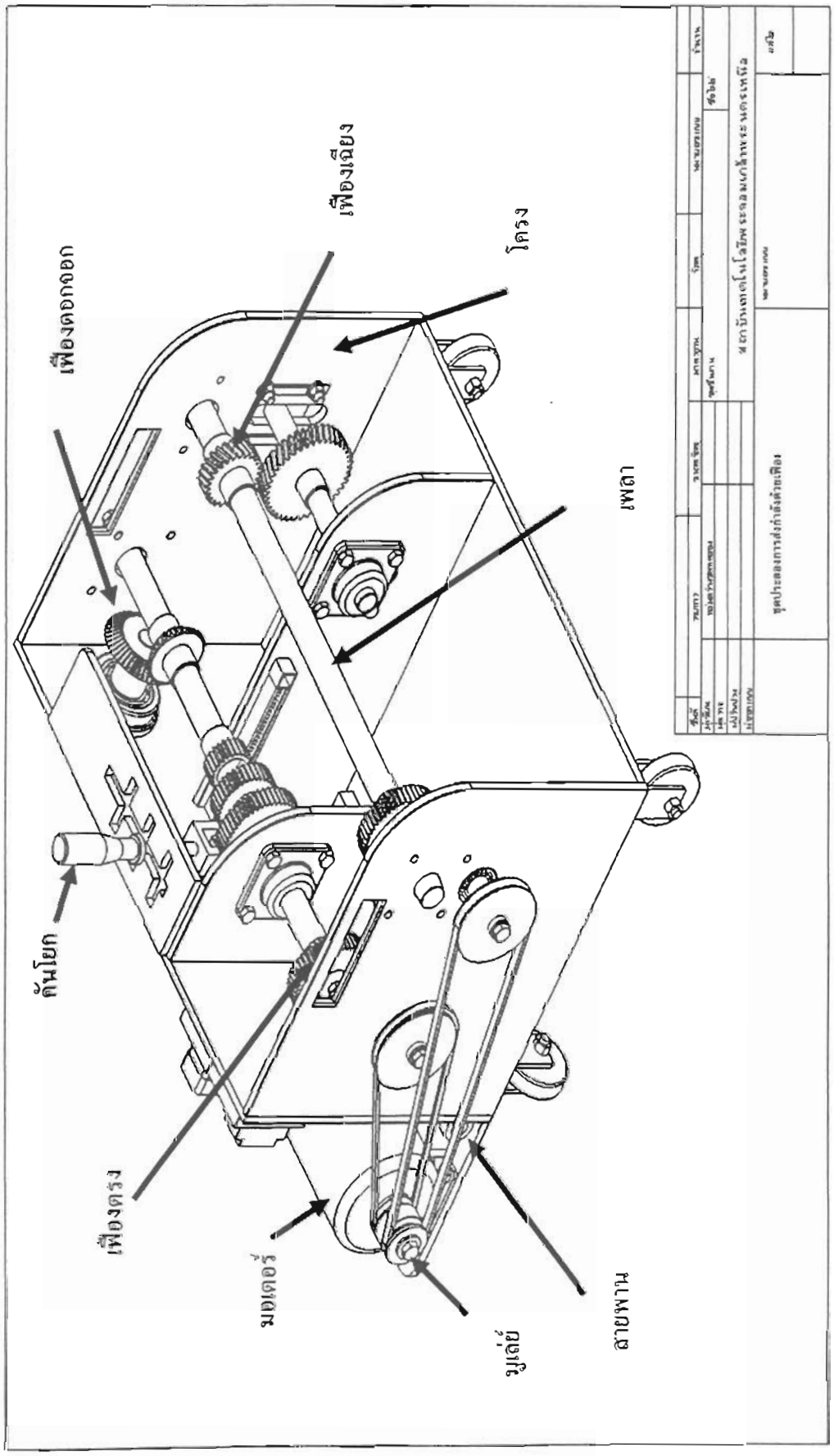
3.5 ขณะเครื่องทำงาน ต้องระมัดระวังการเกิดอันตรายจากส่วนต่างๆ ที่กำลังทำงานอยู่เสมอ



3.6 ถ้าต้องการหล่อลื่นก็ให้ใช้
น้ำมันเครื่องหยอด
ที่เฟืองพอประมาณ

ภาคผนวก ง

- แบบโครงสร้างของชุดประลอง


เฟืองดอกจอก
เฟืองเฉียง
โครง
เพลา
คันโยก
เฟืองตรง
มอเตอร์
ลูกปืน
ตะแกรง