



การส่งถ่ายกำลังด้วยเฟืองและมอเตอร์ดีซี
 TRANSMISSION OF GEAR POWER AND D.C.MOTOR



โดย
 นายชาตรี ทองทวีคณะ
 นายสรวิชัย ภัทรวิหค
 นายสุกรี กอผจญ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
 ภาควิชาเทคนิคอุตสาหกรรม
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 ปีการศึกษา 2534

009603

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไปกว่ากรณียุติ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ ปีการศึกษา 2534

ภาควิชาเทคนิคอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์

เรื่อง การส่งถ่ายกำลังด้วยเฟืองและมอเตอร์ดีซี


โดย.. นายชาติ ทองทวีวัฒน์ 323606


นายสรชัย ภัทรวินค 323622

นายสกริ กอผจญ 323624



..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(.....)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(นาย อนนต์ ธรรมสาร)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(นาย สุทธิพร คงมณี)

การส่งถ่ายกำลังด้วยเฟืองและมอเตอร์ดีซี

นายชาตรี ทองทวีวัฒนะ

นายสรรชัย ภัทรวีหค

นายสุกรี กอผจญ

อ.กฤดากร กล่อมการ

อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2534

บทคัดย่อ

ปฏิญานพนธ์เล่มนี้จะกล่าวถึงการส่งกำลังด้วยเฟืองและการนำเอามอเตอร์ดีซีมาควบคุม ซึ่งระบบเฟืองนั้นนับว่ามีความสำคัญมากทางด้านเทคโนโลยีที่มีการเคลื่อนไหวหรือบังคับทิศทางของอุปกรณ์ต่าง ๆ เนื้อหาในเล่มมีดังนี้

บทที่ 1 เป็นลักษณะการส่งกำลังด้วยเฟืองและลักษณะของเฟืองแบบต่าง ๆ

บทที่ 2 ขบวนการเฟืองและการหาความเร็วรอบพร้อมทั้งวัสดุที่นำมาทำเฟือง

บทที่ 3 ลักษณะและคุณสมบัติของมอเตอร์ดีซี

สาเหตุที่ใช้มอเตอร์ดีซีมาควบคุมระบบเฟืองนั้นเพราะมีแรงหมุนขณะสตาร์ทสูงมากซึ่งเหมาะกับงานยกของ จุดลากและขับเคลื่อน

Transmission of gear power and d.c.motor

Mr.Chatree thongtavewattana

Mr.Sunchai phutaravehok

Mr.Sugree gopajon

Mr.Kiddakorn klomkarn

Advisor

2534

Abstract

This thesis is to speake transmission of gear power and conduct d.c.motor control. Which the gear system important of movement technology or direction force.

chapter 1 Transmission of gear power-characteristic and charecter of gear.

chapter 2 Process of gear and compute to speed.

chapter 3 d.c.motor

Case, Which d.c.motor control because it's a revolve start very fast. Which a suitable movement and pull.

pute

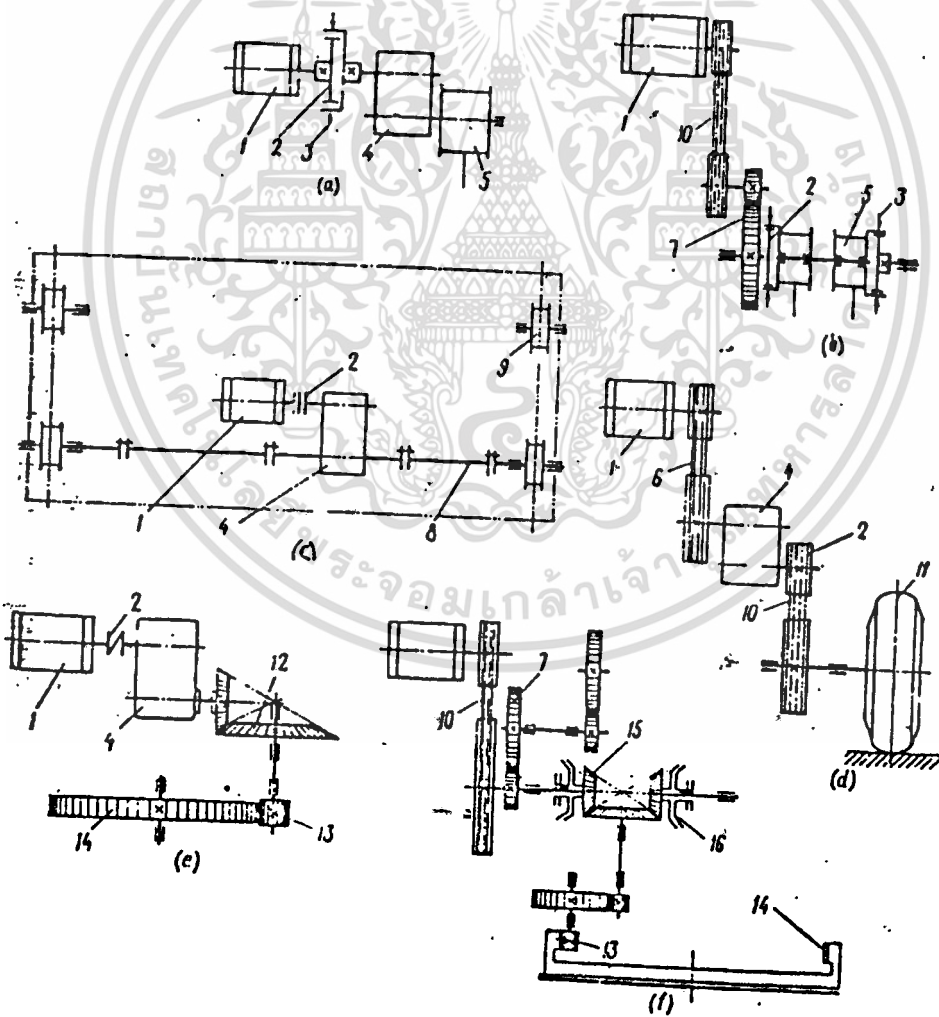
สารบัญ

บทที่ 1	การส่งถ่ายกำลังด้วยเฟือง	1
1.1	ลักษณะของเฟือง	2
1.2	ลักษณะการส่งถ่ายกำลังของเฟือง	5
1.3	อัตราทดความเร็วรอบของชุดเฟือง	8
บทที่ 2	ขบวนเฟือง	13
2.1	ขบวนเฟืองแบบธรรมดา	14
2.2	ขบวนเฟืองแบบ PLANETARY	22
2.3	การออกแบบขบวนเฟืองแบบ PLANETARY	36
2.4	การนำขบวนเฟืองไปประยุกต์ใช้	44
2.5	วัสดุสำหรับเฟือง	46
บทที่ 3	มอเตอร์ดีซี	48
3.1	ลักษณะและคุณสมบัติต่าง ๆ ของมอเตอร์ดีซี	

บทที่ 1

การส่งถ่ายกำลังด้วยเฟือง

เครื่องมือกลหนักมีความจำเป็นในการส่งถ่ายกำลัง ซึ่งต้องใช้เฟืองเป็นอุปกรณ์ส่งถ่ายกำลังโดยเฉพาะอย่างยิ่งการเคลื่อนที่ของรถยนต์บรรทุกและแทรกเตอร์ รูปที่ 1.1 แสดงตัวอย่างของการส่งถ่ายกำลังด้วยเฟือง



รูปที่ 1.1 ลักษณะการส่งถ่ายกำลังด้วยเฟือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- a รอกกำลังประจำโรงงาน
- b กว้านรถบั้งกีดัก
- c ระบบขับเคลื่อนรอกกำลัง
- d ระบบขับเคลื่อนรถตัก
- e อุปกรณ์หมุนปั่นจั่น
- f ชุดเฟืองหมุนบนบั้งกีดัก

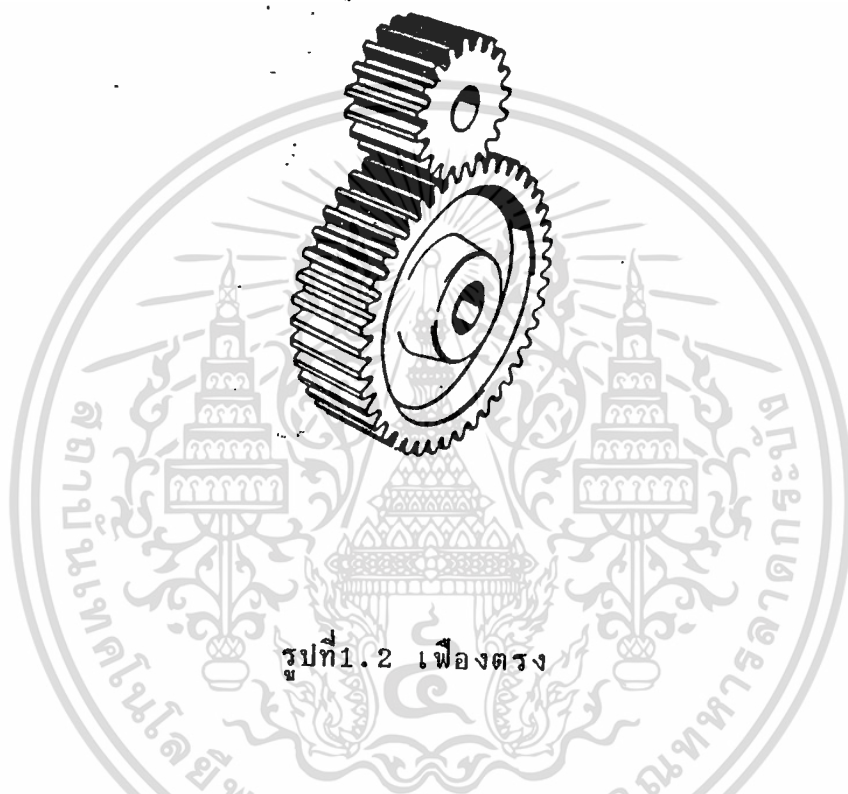
- 
- 1. มอเตอร์
 - 2. คลัช
 - 3. เบรค
 - 4. ชุดเฟืองทด
 - 5. ล้อกว้าน
 - 6. สายพาน
 - 7. ชุดเฟือง
 - 8. เฟลา
 - 9. ลูกล้อ
 - 10. โซ่สายพาน
 - 11. ล้อยาง
 - 12. เฟืองดอกจอก
 - 13. เฟืองขับ
 - 14. เฟืองวงแหวน
 - 15. เฟืองดอกจอกสำหรับหมุนกลับทาง
 - 16. คลัชสำหรับหมุนกลับทาง

1.1 ลักษณะของเฟือง

เฟืองที่ใช้ส่งกำลังมีหลายลักษณะ คือ

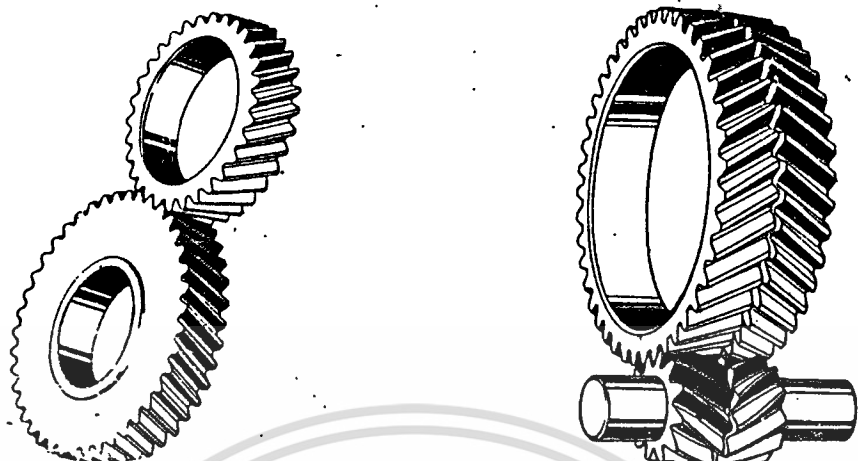
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไปว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.1.1 เฟืองตรง สำหรับส่งกำลังระหว่างเพลาที่ขนานกัน เฟืองตรงมีข้อดีคือ ไม่มีแรงรบกวนตัวของเพลา สามารถเลื่อนเข้าขบฟันกันได้ มีข้อเสีย คือ มีเสียงดังเหมาะสำหรับใช้ส่งกำลังที่มีความเร็วรอบต่ำ



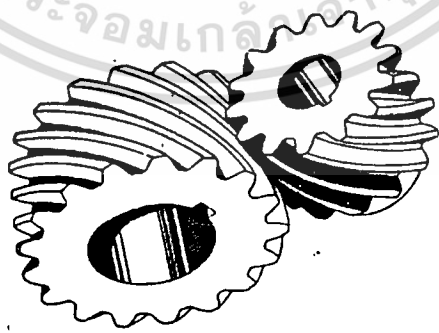
รูปที่ 1.2 เฟืองตรง

1.1.2 เฟืองฟันเฉียง (Helical gear) มีลักษณะเช่นเดียวกับเฟืองตรง แต่ซี่ฟันเฉียงกับแกนเพลา มีข้อดีคือ รับถ่ายทอดแรงได้มากกว่าเนื่องจากซี่ฟันยาวกว่า หมุนเสียงเงียบ มีข้อเสียคือ มีแรงรบกวนตัวของเพลา รุนแรงและเลื่อนเข้าขบฟันกันไม่ได้ เพื่อแก้ไขจึงทำเฟืองฟันเฉียงกลับกันไว้ในเฟืองตัวเดียวกัน แรงรบกวนจึงหมดไป



รูปที่ 1.3 เฟืองฟันเฉียง

1.1.3 เฟืองสไปรอล (Spiral gear) มีลักษณะดังรูปที่ 1.4 ใช้ส่งแรงสำหรับเพลาทั้งสองที่ทำมุมต่อกัน เฟืองชนิดนี้มีลักษณะของรอยสัมผัสกัน ฉะนั้นจึงใช้สำหรับรับถ่ายทอดแรงได้น้อย และเพลาทั้งสองต่างก็มีแรงรูดตัวต้องแก้ไข



รูปที่ 1.4 เฟืองสไปรอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ลึกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.1.4 เฟืองดอกจอก (Bevel gear) ใช้ส่งกำลังระหว่างเพลาคี่ทำมุม 90 องศา ซึ่งกันและกัน ส่งกำลังได้มากกว่าเฟืองสไปรอล เฟืองดอกจอกมี ทั้งฟันตรงและฟันเฉียงเป็นเกลียว ดังรูปที่ 1.5.2 ซึ่งเรียกว่า Spiral - level gear เพื่อให้เสียงเงียบขณะที่ส่งกำลังเฟืองดอกจอกฟันเฉียง ซึ่ง สร้างสำหรับส่งกำลังระหว่างเพลาคี่ทำมุม 90 องศา ซึ่งกันและกัน และต่าง กี่ไม่อยู่ในระนาบเดียวกัน ดังรูปที่ 1.5.3 เรียกว่า Hypoid gear



รูปที่ 1.5.1



รูปที่ 1.5.2

รูปที่ 1.5.3

1.1.5 เฟืองหนอน ใช้ส่งกำลังได้เช่นเดียวกับเฟืองดอกจอกฟันเฉียง แต่มี อัตราทดความเร็วรอบสูงกว่าได้ถึง 400:1

1.2 ลักษณะการส่งถ่ายกำลังของเฟือง

1. เฟืองเลื่อน (Sliding gear)
2. เฟืองคอนสแตนต์เมช (Constant mesh)

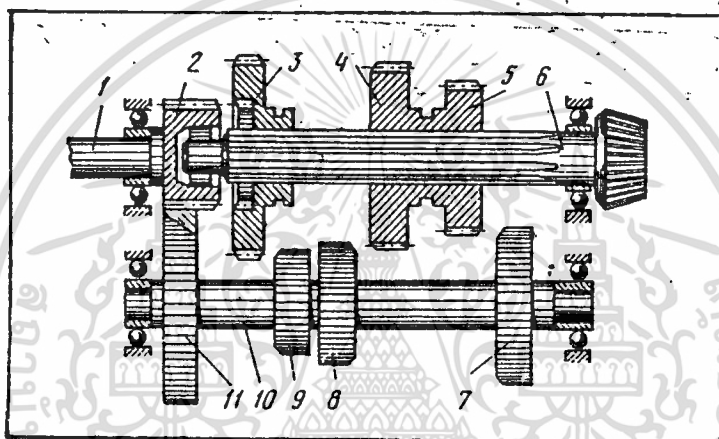
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ถือทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เฟืองซิงโครเมช (Synchro mesh)

4. เฟืองแพลนเนตารี (Planetary gear train)

1.2.1 ชุดเฟืองเลื่อน เฟืองทั้งสองเลื่อนเข้าขบฟันกันได้เพื่อเปลี่ยนอัตราทดความเร็วรอบ แต่จะเลื่อนเข้าขบฟันกันได้ เฉพาะเมื่อเฟืองทั้งสองหยุดหรือมีความเร็วรอบเท่ากัน



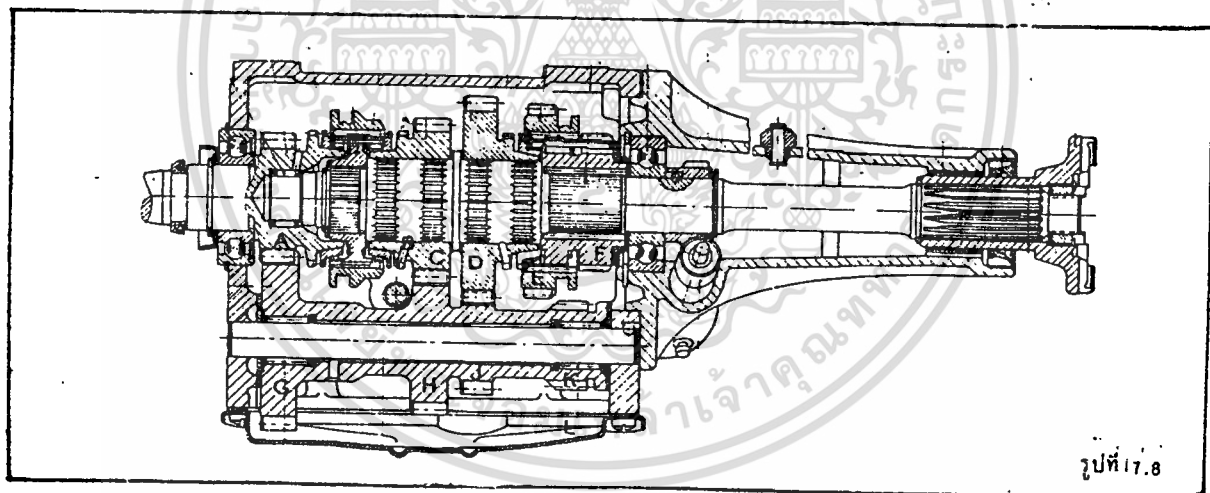
รูปที่ 1.7

จากรูปที่ 1.7 เพลา 1 ติดกับเฟือง 2 และเป็นเฟืองขับ เฟือง 11 ซึ่งติดกันเป็นเพลาเดียวกันเฟือง 7, 8 และ 9 เพราะฉะนั้น เพลา 1 และเพลา 10 หมุนด้วยกันเป็นประจำ เพลา 6 เป็นเพลาตามส่งกำลังต่อให้เฟืองขับล้อ เฟือง 4 และ 5 สวมอยู่บนเพลา 6 โดยมีซี่ฟันเป็นร่อง ฉะนั้นจึงเลื่อนไปมาบนเพลาแต่หมุนไปพร้อมกันพร้อมกับเพลา 6 ขณะต่อกำลังเฟือง 4 และ 5 เข้าขบฟันกับเฟือง 7 หรือเฟือง 8 แล้วเพลา 6 จะถูกขับให้หมุนเรียกอาการนี้ว่าการต่อส่งผ่าน

1.2.2 ชุดเฟืองคอนสแตนต์เมช (Constant mesh) ใช้ชุดเฟืองฟันเฉียง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนกันเป็นประจำตัวเฟืองหมุนได้รอบเพลาล้อมและมีจ่ายออกมาเป็นซี่ฟัน เมื่อจะต่อแรงใช้เลื่อนปลอกเลื่อนซึ่งสวมอยู่บนเพลาล้อมเช่นเดียวกับเฟือง 4-5 ของชุดเฟืองเลื่อนก่อนจะต่อแรงต้องหยุดหรือทำความเร็วของเฟืองทั้ง 2 ให้เท่ากันจึงเลื่อนปลอกปัจจุบันไม่นิยมใช้และได้ปรับปรุงเป็นซิงโครเมช ซึ่งมีส่วนประกอบคล้ายคลึงกันมาก

1.2.3 ชุดเฟืองซิงโครเมช (Synchro mesh) หลักการทำงานของชุดเฟืองนี้คือ ควบคุมความเร็วของเฟือง 2 ตัวที่จะถ่ายทอดแรงกันให้มีความเร็วรอบเท่ากันเสียก่อน จึงเลื่อนเข้าชนกัน ประโยชน์คือ เพื่อเบาแรงและไม่กระตุกกระชาก ฉะนั้น จึงเข้าเกียร์ได้เบาแรงและรวดเร็วกับทั้งเงียบไม่มีเสียง



รูปที่ 1.8

A เพลาคัลซ์พร้อมเฟืองคลัช

B คุมเกียร์ 2-3

C เฟืองเกียร์ 1

D เฟืองเกียร์ 1

G เฟืองขับเฟือง 4 ขึ้น

G เฟือง 4 ขึ้นเกียร์ เกียร์ 2

I เฟือง 4 ขึ้นเกียร์ 1

K เฟือง 4 ขึ้นเกียร์ถอยหลัง

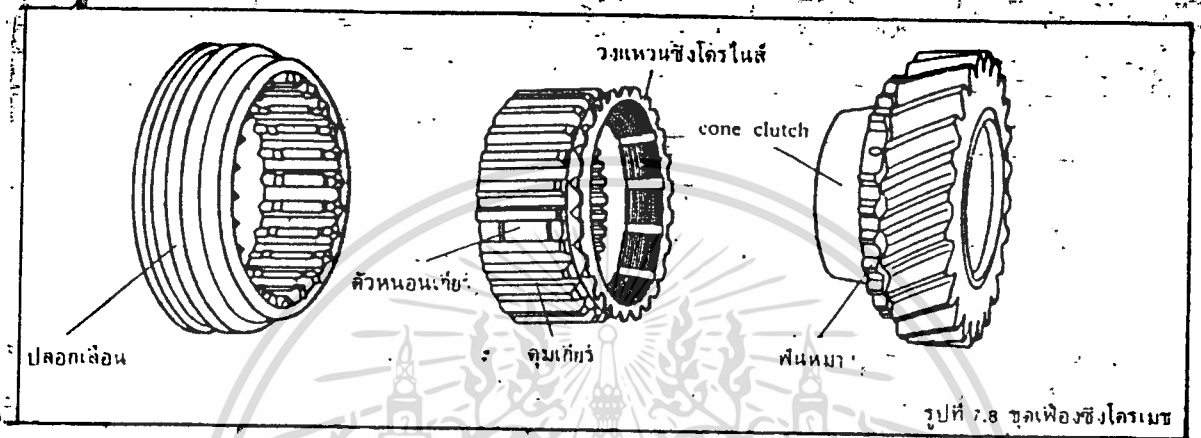
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ถือทั้งห้าเป็นให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

E ปลอกเลื่อนเกียร์ 1 และเฟืองเกียร์ถอยหลัง

L เฟืองถอยหลัง

F ดุมเกียร์ 1



เฟือง A.G.H.J และ K หมุนตลอดเวลา กับเฟือง C และ D เมื่อเลื่อน ปลอกเลื่อน B ไปทางเฟือง A ตัวหนอนเกียร์ดันดุมเกียร์ 2-3 ให้เลื่อนเล็กน้อย และดันวงแหวนชิงโครไนส์เลื่อนสวม Cone clutch เข้าด้วยกัน ฉะนั้นเฟือง A กับ B จะมีความเร็วเท่ากัน ปลอกเลื่อน ๆ ต่อไปจนกระทั่งปลอกดันชนะสปริงตัวหนอน ปลอกเลื่อนเลื่อนจมฟันกับจัมปาของเฟือง A ฉะนั้นเฟือง A กับ B จะหมุนไปพร้อมกัน และถ่ายทอดกำลังซึ่งกันและกัน เฟือง C และ D ก็มีอาการทำงานเช่นเดียวกัน แต่ จะเข้าเกียร์ได้ครึ่งละจิ้งหะเกียร์เดียวเท่านั้น และคลัชจะต้องตัดแรงขับเคลื่อนเฟือง ควบคุมความเร็วกันจึงจะเข้าเกียร์ได้

1.3 อัตราทดความเร็วรอบของชุดเฟือง

คือ อัตราส่วนระหว่างความเร็วรอบของเฟืองขับต่อความเร็วรอบของเฟืองตาม เมื่อเปรียบเทียบกับความเร็วรอบของเฟืองตามให้เท่ากับ 1 รอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ถือว่าห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างถึงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



1.3.1 อัตราทดความเร็วรอบของเฟืองส่งตรง

i คือ อัตราทดความเร็วรอบ

Z คือ จำนวนฟันของเฟือง

n คือ ความเร็วรอบของเฟือง

$$Z_1 \cdot n_1 = Z_2 \cdot n_2 \dots \dots \dots (1.1)$$

อัตราส่วนของจำนวนฟัน = อัตราส่วนกลับของความเร็วรอบ

$$i = \frac{Z_2}{Z_1} = \frac{n_1}{n_2} \dots \dots \dots (1.2)$$

1.3.2 อัตราทดความเร็วรอบของเฟืองส่งผ่าน

$$\text{ความเร็วรอบ } n_2 = n_3 = \frac{Z_1 \cdot n_1}{Z_2}$$

$$\frac{Z_2}{Z_1} = \frac{n_1}{n_2}$$

$$\frac{Z_4}{Z_3} = \frac{n_3}{n_4}$$

อัตราทดรวม = ผลคูณของอัตราทดย่อย

$$I = i_1 \cdot i_3 = 4$$

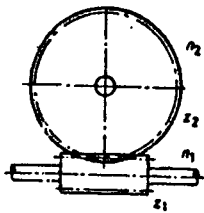
$$= \frac{Z_2}{Z_1} \cdot \frac{Z_4}{Z_3} = \frac{n_1}{n_2} \cdot \frac{n_3}{n_4} \dots \dots (1.3)$$

1.3.3 อัตราทดความเร็วรอบของเฟืองหนอน

ความเร็วรอบของตัวหนอน x จำนวนฟันเกลียวหนอน

ความเร็วรอบของเฟืองตาม x จำนวนฟันของเฟืองตาม

$$n_1 \cdot Z_1 = n_2 \cdot Z_2$$

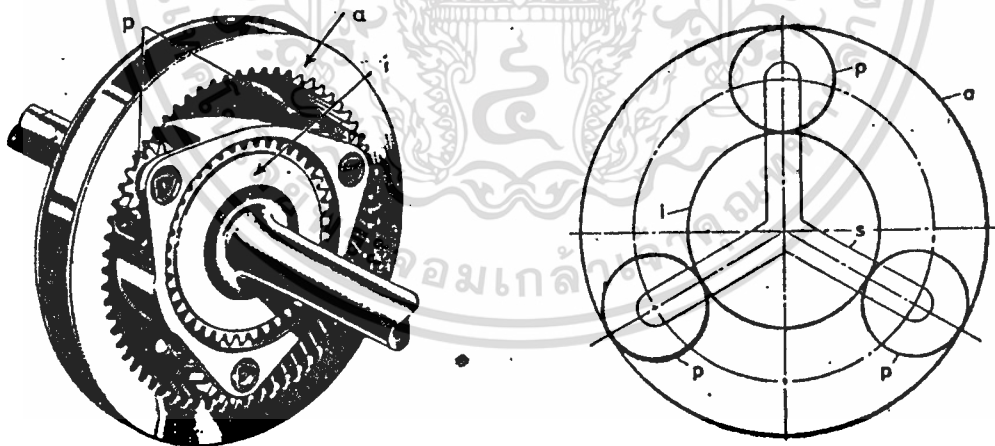


$$i = \frac{Z_2}{Z_1} = \frac{n_1}{n_2} \dots\dots (1.4)$$

หรือ $i = \frac{\text{จำนวนฟันของล้อตาม}}{\text{จำนวนฟันของเก็ลยวหนอน}}$

1.3.4 อัตราทดของแพลนเนตารีเกียร์

ชุดเฟืองนี้มีข้อดี คือ เปลี่ยนอัตราทดความเร็วรอบได้โดยไม่ต้องตัดแรงขับ ต้องการเนื้อที่เพียงเล็กน้อย มีชิ้นส่วนเพียงไม่กี่ชิ้น แต่สามารถปรับอัตราทดความเร็วรอบได้ถึง 6 อัตราทดและสามารถประกอบชิ้นส่วนเพิ่มเติมเป็นชุดเฟืองแฝดให้อัตราทดความเร็วรอบได้หลายอัตราทดและหมุนกลับทางได้



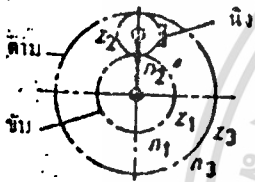
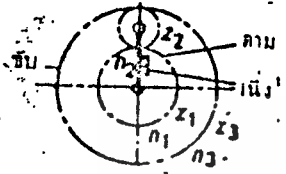
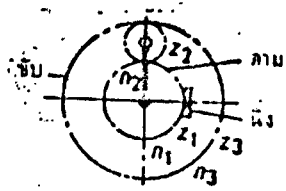
รูปที่ 1.12

ตารางที่ 1.1 อัตราคดของแผนเนตารีเกียร์

ลักษณะ	ตัวขับ	ตัวตาม	ถูกจับนิ่ง	อัตราคดความเร็วรอบ	ลักษณะใช้งาน
	i	s	a	$i = \frac{n_i}{n_s} = 1 + \frac{z_s}{z_i}$	เข้ามาก เหมาะ สำหรับจังหวะ เกียร์ 1 หรือ 2
	i	a	s	$i = \frac{n_i}{n_s} = -\frac{z_s}{z_i}$	เข้ามาก หมุนกลับ ทางเหมาะสำหรับเกียร์ถอย หลัง
	s	i	a	$i = \frac{n_s}{n_i} = \frac{1}{1 + \frac{z_s}{z_i}}$	ความเร็วสูงมาก ในลักษณะโอเวอร์ ไดรฟ์ ไม่ใช่ใน ยานพาหนะ
	s	a	i	$i = \frac{n_s}{n_i} = \frac{1}{1 + \frac{z_i}{z_s}}$	ความเร็วสูงใน ลักษณะโอเวอร์ ไดรฟ์ ใช้ใน รถยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไปว่ากรณิดังนี้ สิ่งใดที่ผิดก็ให้ตัดแปลงแก้ให้ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



a s i

$$I = \frac{n_u}{n_p} = 1 + \frac{z_1}{z_u}$$

ความเร็วปานกลางใช้ในเกียร์ 2 หรือ 3 ของรถยนต์

a i s

$$I = \frac{n_u}{n_i} = -\frac{z_1}{z_u}$$

ความเร็วสูงหมุนกลับทางถอยหลัง

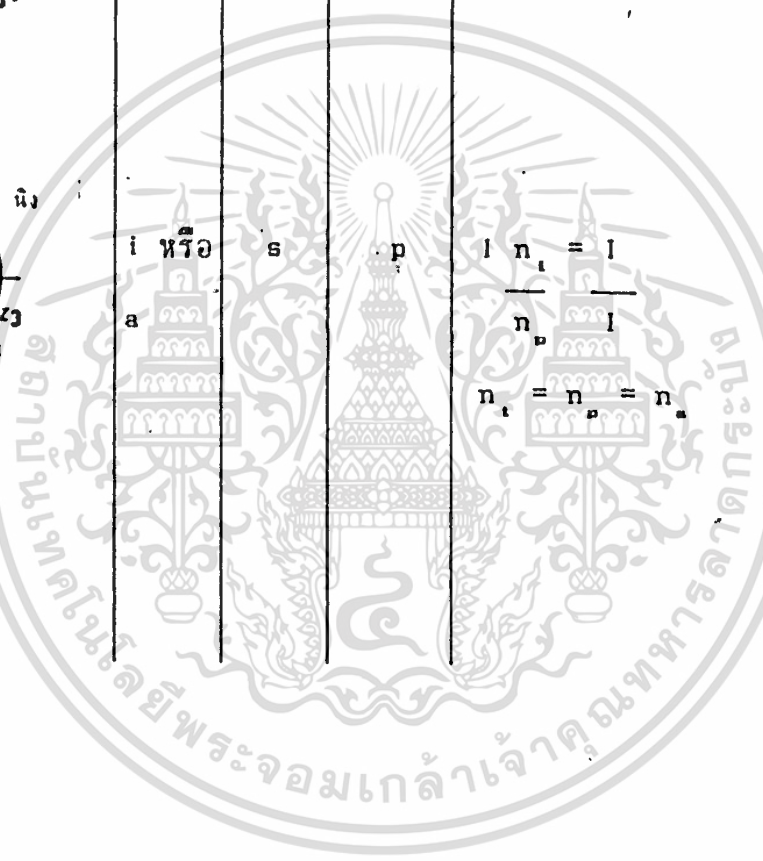
i หรือ s p

$$I \frac{n_i}{n_p} = I$$

$$\frac{n_i}{n_p} = I$$

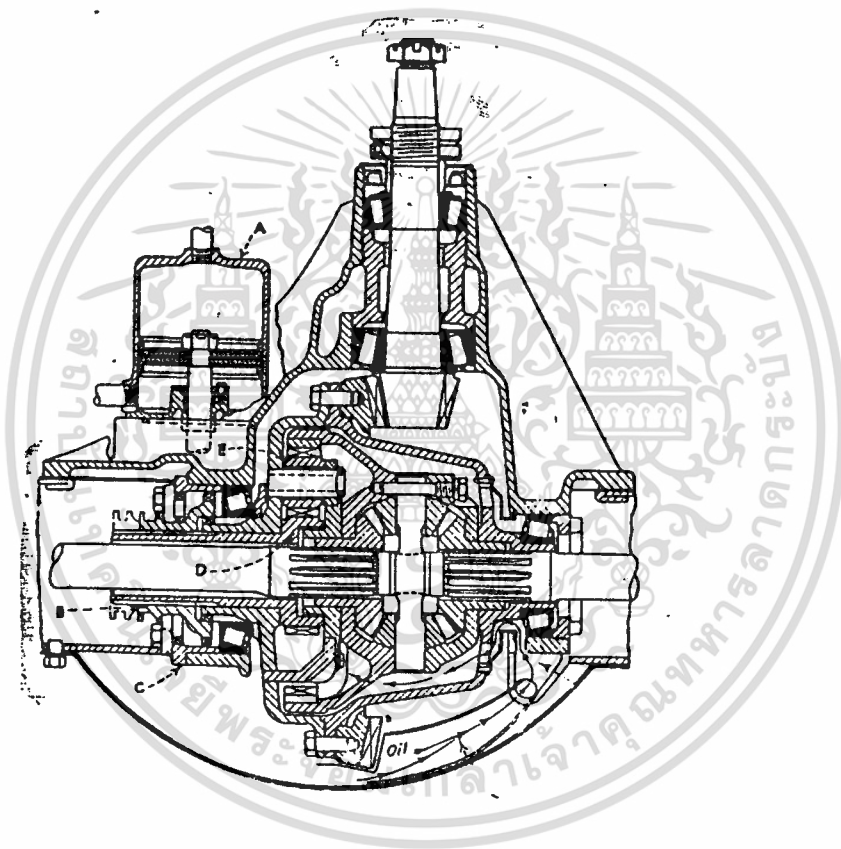
$$n_i = n_p = n_u$$

หมุนไปพร้อมกันในอัตรา 1:1 จังหวะเกียร์สูง



บทที่ 2

ชบวนเฟือง (Gear trains)



ในการส่งผ่านการเคลื่อนที่จากชั้นต่อโยงที่เป็นตัวขับไปยังชั้นต่อโยงที่เป็นตัวตาม นอกจากจะใช้ชั้นต่อโยงตัวกลางที่เป็นชั้นต่อโยงเกร็ง และชั้นต่อโยงที่ยึดหดได้แล้ว ยังมีตัวกลางอีกประเภทหนึ่งซึ่งประกอบไปด้วยเฟืองชนิดต่าง ๆ ชบกันอยู่รวมกันเป็นระบบเรียกว่า ชบวนเฟือง (Gear Trains)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขบวนเฟืองแบ่งออกเป็นประเภทใหญ่ ๆ ได้ 2 ประเภท คือ ขบวนเฟืองแบบปกติ (Simple Gear Trains) และขบวนเฟืองแบบ Planetary - (Planetary Gear Trains)

ประเด็นสำคัญที่จะต้องพิจารณาเกี่ยวกับเรื่องขบวนเฟืองก็คืออัตราส่วนความเร็วเชิงมุม (Angular Velocity Ratio) และทิศทางการเคลื่อนที่

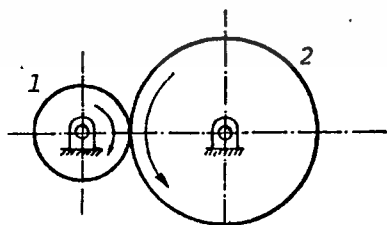
2.1 ขบวนเฟืองแบบธรรมดา (Simple Gear Trains)

ขบวนเฟืองที่เฟืองทุกตัวมีแกนของการหมุนคงที่ เรียกว่า ขบวนเฟืองแบบธรรมดา รูปที่ 2.1 ก เป็นขบวนเฟืองแบบธรรมดาที่มีเฟืองเป็นแบบ External ซึ่งตัวขับและตัวตามมีทิศของการหมุนตรงกันข้าม

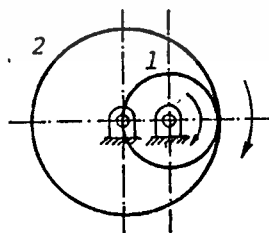
$$\text{อัตราส่วนความเร็วเชิงมุม} = \frac{w_{\text{เข้า}}}{w_{\text{ออก}}} = \frac{w_1}{w_2} = \frac{-N_2}{N_1}$$

เครื่องหมาย - หมายความว่า เฟืองตัวขับและตัวตามหมุนในทิศทางตรงกันข้าม

ในกรณีที่เฟืองเป็นแบบ Internal เฟืองตัวขับและตัวตามจะมีทิศทางของหมุนไปทางเดียวกัน ดังรูปที่ 2.1 ข



รูปที่ 2.1ก.



รูปที่ 2.1ข.

$$\text{อัตราส่วนความเร็วเชิงมุม} = \frac{w_{เข้า}}{w_{ออก}} = \frac{w_1}{w_2} = + \frac{N_2}{N_1}$$

เครื่องหมาย + หมายความว่า เฟืองตัวขับและตัวตามหมุนในทิศทางเดียวกัน

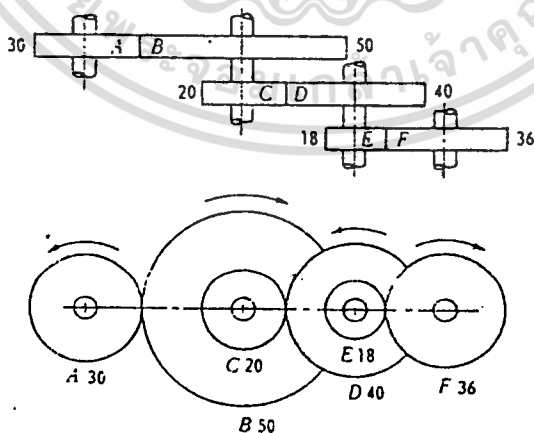
ดังนั้นสำหรับขบวนเฟืองแบบธรรมดา อัตราส่วนความเร็วเชิงมุมจะขึ้นอยู่กับผลคูณของจำนวนฟันของเฟืองทั้งหมดที่ประกอบขึ้นเป็นขบวนเฟือง

$$\frac{w_{เข้า}}{w_{ออก}} = \frac{w_{ตัวขับ}}{w_{ตัวตาม}} = \frac{\text{ผลคูณของจำนวนฟันของเฟืองทั้งหมดที่เป็นตัวตาม}}{\text{ผลคูณของจำนวนฟันของเฟืองทั้งหมดที่เป็นตัวขับ}} \quad (2.1)$$

โดยปกติสิ่งที่จะต้องหา คือ ความเร็วเชิงมุมของตัวตามโดยบอกค่าความเร็วเชิงมุมของตัวขับให้ ดังนั้นจากสมการ (2.1)

$$\frac{w_{ตัวตาม}}{w_{ตัวขับ}} = \frac{\text{ผลคูณของจำนวนฟันของเฟืองทั้งหมดที่เป็นตัวขับ}}{\text{ผลคูณของจำนวนฟันของเฟืองทั้งหมดที่เป็นตัวตาม}} \quad (2.2)$$

อัตราส่วนผลคูณของจำนวนฟันของเฟืองในสมการ (2.2) เรียกว่า Train Value ซึ่งเมื่อนำมาคูณกับความเร็วเชิงมุมของเฟืองตัวขับแล้วจะได้ค่าความเร็วเชิงมุมของเฟืองตัวตาม ตามความต้องการ



รูปที่ 2.2

ตัวอย่างที่ 2.1 จงหาความเร็วเชิงมุมของเฟือง F ซึ่งประกอบอยู่ในขบวนเฟืองแบบ
ธรรมดาตามที่แสดงใน รูปที่ 2.2 โดยกำหนดความเร็วเชิงมุมของ
เฟือง A = 1600 รอบ/นาที

$$\frac{W_{เข้า}}{W_{ออก}} = \frac{\text{ผลคูณของจำนวนฟันของเฟืองทั้งหมดที่เป็นตัวตาม}}{\text{ผลคูณของจำนวนฟันของเฟืองทั้งหมดที่เป็นตัวขับ}}$$

$$\frac{W_A}{W_F} = \frac{N_B \times N_D \times N_F}{N_A \times N_C \times N_E}$$

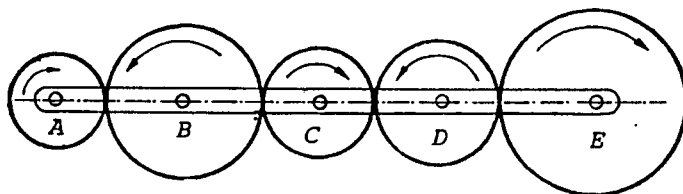
$$1600 = \frac{50 \times 40 \times 36}{30 \times 20 \times 18} = \frac{-20}{3}$$

$$W_F = \frac{-1600 \times 3}{20} = -240$$

เฟือง F จะหมุนด้วยความเร็ว 240 รอบ/นาที ในทิศตรงข้ามกับเฟือง A

ข้อสังเกต เฟืองที่สวมอยู่บนเพลลา (Shaft) เดียวกัน เช่น เฟือง B กับ C และเฟือง D กับ E ในรูปที่ 2.2 เรียกว่า Compound Gears

ตัวอย่างที่ 2.2 จงหาความเร็วเชิงมุมของเฟือง E ซึ่งประกอบอยู่ในขบวนธรรมดา
ตามที่แสดงในรูปที่ 2.3 โดยกำหนดความเร็วเชิงมุมของเฟือง
A = w_A รอบ/นาที



รูปที่ 2.3

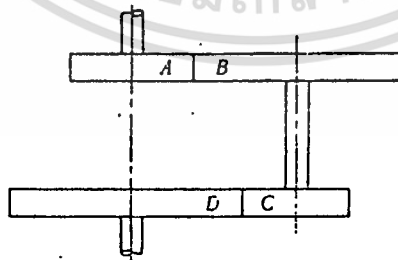
$$\frac{w_A}{w_E} = \frac{N_B \times N_C \times N_D \times N_E}{N_A \times N_B \times N_C \times N_D} = \frac{N_E}{N_A}$$

$$w_E = \frac{N_A}{N_E} w_A$$

เฟือง E จะหมุนด้วยความเร็ว $\frac{N_A}{N_E} w_A$ รอบ/นาที ในทิศเดียวกับเฟือง A

ข้อสังเกต เฟือง B, C และ D จะเป็นทั้งเฟืองตัวขับและเฟืองตัวตามในขณะเดียวกัน ดังนั้นจำนวนฟันของเฟืองเหล่านี้จึงไม่มีผลต่ออัตราส่วนความเร็วเชิงมุม จะมีผลก็แต่เพียงทิศทางการหมุนของเฟืองตัวสุดท้ายในระบบเท่านั้น จึงเรียกชื่อ เฟืองเหล่านี้ว่า Idler Gears

ขบวนเฟืองอีกประเภทหนึ่ง เรียกว่า Reverted Gear Train มีลักษณะดังรูปที่ 2.4 คือเพลลาของเฟืองตั้งแรกและเพลลาของเฟืองตัวสุดท้ายในระบบจะทับกัน (Coaxial)

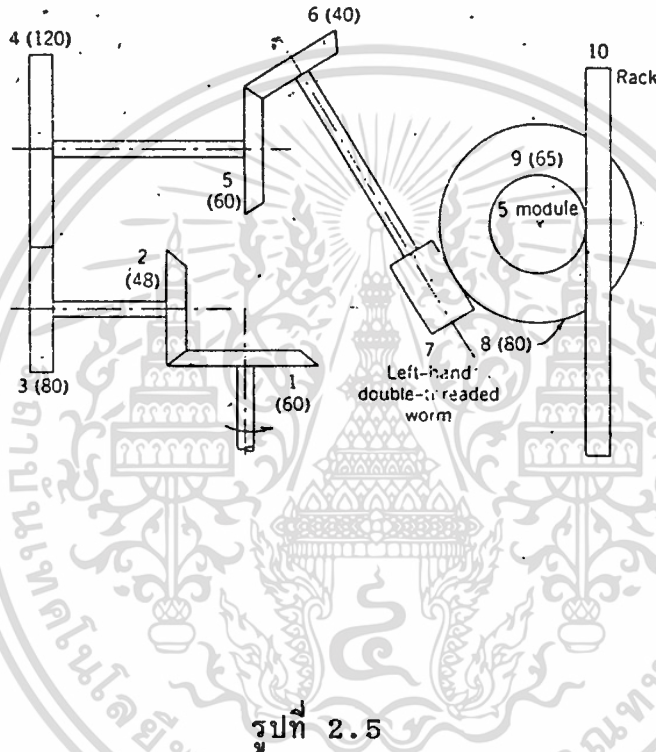


รูปที่ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใด ทั้งสิ้น สิ่งนี้ช่วยเพิ่มขีดความสามารถ และต้องจำไว้ว่าสิ่งนี้ว่าเอกสารเหล่านี้ที่มีอยู่ไม่ได้

ตัวอย่างที่ 2.3 จงหาความเร็วของเฟือง 9 และ Rack 10 ของขบวนเฟืองในรูปที่ 2.5 ทั้งขนาดและทิศทาง โดยกำหนดให้เฟือง 1 หมุนด้วยความเร็ว 240 รอบ/นาที ในทิศที่แสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5

$$\begin{aligned}
 w_9 &= \frac{N_1 \times N_3 \times N_5 \times N_7}{N_2 \times N_4 \times N_6 \times N_8} \\
 w_1 &= \frac{60 \times 80 \times 60 \times 2}{48 \times 120 \times 40 \times 80} \\
 &= 0.03125 \\
 w_9 &= w_1 \\
 w_9 &= 0.03125 w_1
 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใด ทั้งสิ้น สิ่งนี้ช่วยเพิ่มขีดความสามารถ และช่วยให้เราเชื่อมั่นว่าเอกสารเหล่านี้มีประโยชน์

$$n_g = 0.03125n_1$$

$$= 7.5 \text{ รอบ/นาที}$$

$$D_g = mN = 65 \times 5 = 325 \text{ มม.}$$

$$w_g = 2 n_g = 2 \times 7.5$$

$$47.12 \text{ เรเดียน/นาที}$$

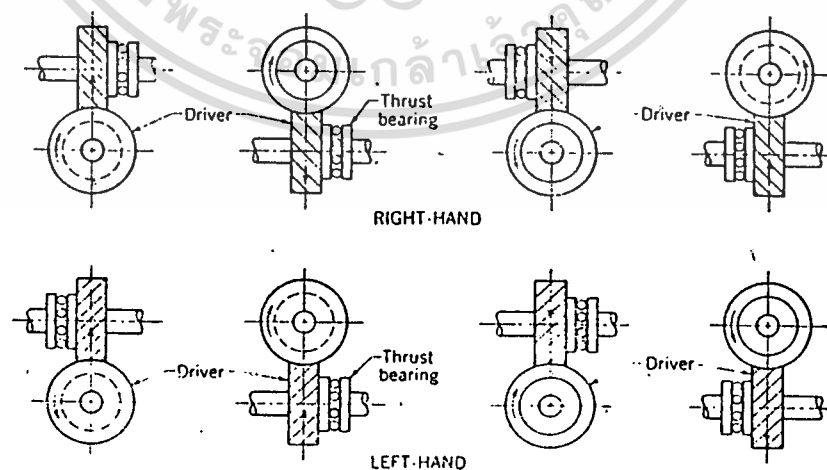
$$V_{\text{Rack}} = R_g w_g$$

$$= \frac{325 \times 47.12}{2}$$

$$2$$

$$= 7.66 \text{ เมตร/นาที เคลื่อนที่ลง}$$

- ข้อสังเกต
1. เฟือง 1, 2, 5 และ 6 เป็นเฟืองแบบ Bevel การพิจารณาทิศการหมุนคล้ายกับเฟืองแบบ Spur เพียงแต่เพลลาของเฟืองไม่ขนานกันเท่านั้น
 2. เฟือง 9 และ Rack 10 เป็นแบบ Rack and Pinion
 3. เฟือง 7 และ 8 เป็นแบบ Worm and Worm Gear ซึ่งการพิจารณาทิศการหมุนเป็นไปในแนวทางเดียวกันกับเฟืองแบบ Helical รูปที่ 2.6



$$ก. \quad n_1 = 1800 \text{ รอบ/นาที} ; V_A = V_B = 1150 \text{ มม./นาที}$$

$$V_A = w_A R_A$$

$$w_A = \frac{V_A}{R_A} = \frac{1150 \times 2}{563} = 4.09 \text{ เรเดียน/วินาที}$$

$$n_A = \frac{4.09 \times 60}{2\pi} = 39.07 \text{ รอบ/นาที}$$

$$n_9 = n_A = 39.07 \text{ รอบ/นาที}$$

$$w_B = \frac{R_A}{R_B}$$

$$w_B = \frac{w_A R_B}{R_A} = \frac{4.09 \times 563}{392} = 5.87 \text{ เรเดียน/วินาที}$$

$$n_B = n_{13} = \frac{5.87 \times 60}{2\pi}$$

$$= 56.03 \text{ รอบ/นาที}$$

$$\frac{w_1}{w_9} = \frac{N_2 \times N_7 \times N_9}{N_1 \times N_8 \times N_6} = \frac{N_2 \times 64 \times 24}{16 \times 2 \times 26} = 1.85 \frac{N_2}{N_9}$$

$$\frac{w_1}{w_{13}} = \frac{N_3 \times N_5 \times N_{11} \times N_{13}}{N_1 \times N_4 \times N_{10} \times N_{12}} = \frac{N_3 \times 42 \times 50 \times 18}{16 \times 14 \times 3 \times 35} = 1.61 \frac{N_3}{N_9}$$

$$N_2 = \frac{1}{1.85} \times \frac{w_1}{w_9} = \frac{1}{1.85} \times \frac{n_1}{n_9}$$

$$= 24.90 \text{ ไร่ค่า 25 พัน}$$

$$N_3 = \frac{1}{1.61} \times \frac{w_1}{w_{13}} = \frac{1}{1.61} \times \frac{n_1}{n_{13}}$$

$$= \frac{1}{1.61} \times 1800$$

$$1.61 \quad 56.03$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

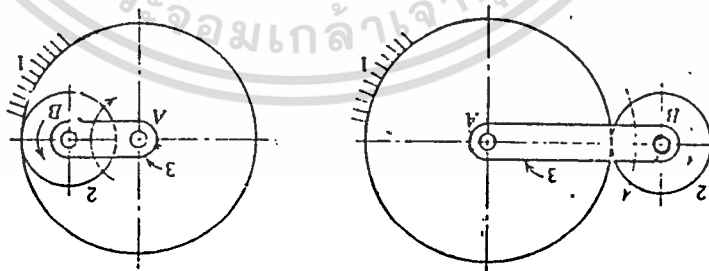
$$= 19.95 \quad \text{ให้ค่า 20 ฟัน}$$

$$\frac{w_2}{w_3} = \frac{20}{25} = 0.8$$

- ข. เฟือง 1 จะหมุนในทิศตามเข็มนาฬิกา (มองจากทางด้านขวา) และ Worm 6 จะต้องเป็นแบบ Left Hand

2.2 ขบวนการเฟืองแบบ Planetary (Planetary Gear Trains)

ขบวนการเฟืองแบบ Planetary ต่างกับขบวนการเฟืองแบบปกติตรงที่จะมีแกนของเฟืองบางตัวในระบบเคลื่อนที่รอบแกนของเฟืองตัวอื่น ในขณะที่ตัวที่หมุนรอบตัวเองไปด้วย ลักษณะการเคลื่อนที่แบบนี้เรียกว่า Planetary Motion (โดยเปรียบเทียบกับกรณีที่โลกโคจรรอบดวงอาทิตย์และในขณะเดียวกันโลกก็หมุนรอบตัวเองด้วย)



รูปที่ 2.8ก.

รูปที่ 2.8ข.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ลีเกิ้ลห่วยเป็นหัดดบลงบี่ลหว และต้องอ้างถึงเจ้าของเอกสารทอด้งที่ีการบ่บงได้

รูปที่ 2.8 ก และรูปที่ 2.8 ข แสดงถึงขบวนเฟืองแบบ Planetary ที่ประกอบด้วยเฟืองแบบ External และ Internal ตามลำดับ โดยมีเฟือง 1 อยู่กับที่เรียกว่า Sun Gear เฟือง 2 ซึ่งเรียกว่า Planet Gear จะมีการเคลื่อนที่แบบ Planetary Motion โดยในขณะที่หมุนรอบแกนที่จุด B จะเคลื่อนที่รอบแกนที่จุด A ด้วยโดยอาศัยแขน 3 (Arm 3)

เมื่อพิจารณาการหมุนของเฟือง 2 ในรูปที่ 2.8 ก และรูปที่ 2.8 ข จะเห็นว่าถึงแม้แขน 3 จะหมุนไปในทิศทางตามเข็มนาฬิกาเหมือนกัน ถ้าเป็นเฟืองแบบ External เฟือง 2 จะหมุนตามเข็มนาฬิกาและเฟือง 2 จะหมุนทวนเข็มนาฬิกา ถ้าเป็นเฟืองแบบ Internal

ในขณะที่เฟือง 2 เคลื่อนที่รอบแกนที่จุด A จุดบนผิวของเฟือง 2 ในรูปที่ 2.8 ก จะมีแนวทางการเคลื่อนที่เป็นเส้นโค้งแบบ Epicycloid และจุดบนผิวของเฟือง 2 ในรูปที่ 2.8 ข จะมีแนวทางการเคลื่อนที่เป็นเส้นโค้งแบบ Hypocycloid ดังนั้นจึงเรียกชื่อขบวนเฟืองแบบนี้อีกชื่อหนึ่งว่า Cyclic Gear Train

การพิจารณาเกี่ยวกับอัตราส่วนความเร็วเชิงมุม และทิศทางการเคลื่อนที่ของขบวนเฟืองแบบ Planetary ค่อนข้างซับซ้อนกว่าขบวนเฟืองแบบปกติและมีวิธีวิเคราะห์ที่ใช้โดยทั่วไป 3 วิธี คือ

1. วิธีใช้สูตร (Formula Method)
2. วิธี Tabulation (Tabulation Method)
3. วิธีใช้จุดหมุนเฉพาะกาล (Instantaneous Center Method)

วิธีวิเคราะห์วิธีที่ 3 จะไม่กล่าวถึงในที่นี้

วิธีใช้สูตร

พิจารณาขบวนเฟืองในรูปที่ 2.8 ก ถ้าต้องการหา $\omega_{2,1}$ โดยกำหนดค่าของ $\omega_{3,1}$ มาให้ ขั้นตอนการพิจารณาจะเป็นดังนี้

$\omega_{2,1}$ หมายถึงความเร็วเชิงมุมสัมพัทธ์ของเฟือง 2 เทียบกับเฟือง 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

w_{31} หมายถึงความเร็วเชิงมุมสัมพัทธ์ของแขน 3 เทียบกับเฟือง 1
(แต่สำหรับขบวนเฟืองนี้ เฟือง 1 อยู่ที่ตังนั้น w_{21} และ w_{31} จึงเป็นความ
เร็วเชิงสัมบูรณ์)

ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงขบวนเฟืองในรูปที่ 2.8 ก โดยให้แขน 3 อยู่ที่แทน
เฟือง 1 ขบวนเฟืองแบบ Planetary นี้กลายเป็นขบวนเฟืองแบบปกติ

$$\frac{w_{23}}{w_{13}} = \frac{N_1}{N_2}$$

แต่ตามความเป็นจริงเฟือง 1 อยู่ที่ตังนั้นจากหลักของ Inversion w_{23}

w_{13}

จะยังมีค่าคงเดิม นั่นคือ

$$\frac{w_{23}}{w_{13}} = \frac{N_1}{N_2}$$

$$w_{21} = w_{31} + w_{23}$$

$$\frac{w_{21}}{w_{31}} = 1 + \frac{w_{23}}{w_{31}} = 1 - \frac{w_{23}}{w_{13}}$$

$$w_{21} = w_{31} \left(1 - \frac{w_{23}}{w_{13}} \right)$$

$$w_{21} = w_{31} \left(1 + \frac{N_1}{N_2} \right) \quad (2.3)$$

สำหรับขบวนเฟืองในรูปที่ 6.8 ข

$$\frac{w_{23}}{w_{13}} = - \frac{N_1}{N_2}$$

$$w_{21} = w_{31} \left(1 - \frac{N_1}{N_2} \right) \quad (2.4)$$

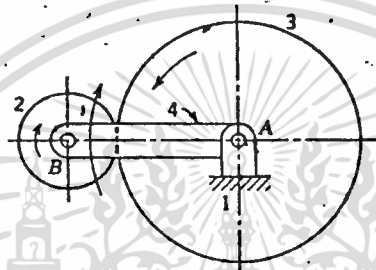
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อสังเกต ประเด็นสำคัญในการพิจารณาจะอยู่ที่อัตราส่วน $\frac{w_{23}}{w_{13}}$ ซึ่งเป็นอัตราส่วนความ

เร็วเชิงมุมสัมพันธ์ของเฟืองทั้งสองเทียบกับแกน

ถ้าเป็นขบวนเฟืองที่เฟืองทุกตัวหมุนได้ดังรูปที่ 2.9 โดยกำหนด w_{31} และ w_{41} ขั้นตอนการพิจารณา w_{21} จะเป็นดังนี้



รูปที่ 2.9

$$w_{24} = w_{21} - w_{41}$$

$$w_{34} = w_{31} - w_{41}$$

$$\frac{w_{24}}{w_{34}} = \frac{w_{21} - w_{41}}{w_{31} - w_{41}} \quad (2.5)$$

$$w_{24} w_{31} - w_{41} = w_{21} - w_{41}$$

$$w_{21} = \left(\frac{w_{24}}{w_{34}} \right) w_{31} + w_{41} \left(1 - \frac{w_{24}}{w_{34}} \right)$$

$$\frac{w_{24}}{w_{34}} = \frac{-N_3}{N_2} \quad (\text{พิจารณาโดยให้หลัก Inversion})$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$w_{z1} = \left(\frac{-N_3}{N_2}\right)w_{31} + w_{41} \left(1 + \frac{N_3}{N_2}\right) \tag{2.6}$$

จะเห็นได้ว่าประเด็นสำคัญยังคงเป็น w_{z4} ซึ่งเป็นอัตราส่วนความเร็วเชิงมุม w_{34}

สัมพันธ์ของเฟืองทั้งสองเทียบกับแขนเหมือนเช่นขบวนเฟือง ในรูปที่ 2.8 ก และรูปที่ 2.8 ข

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า สูตรสำหรับพิจารณาควรจะอยู่ในรูปสมการ (2.5) โดยนำมาเขียนอยู่ในรูปแบบทั่ว ๆ ไปได้ดังนี้คือ

$$\frac{w_{LA}}{w_{FA}} = \frac{w_L - w_A}{w_F - w_A} \tag{2.7}$$

โดย $\frac{w_{LA}}{w_{FA}}$ = อัตราส่วนความเร็วเชิงมุมสัมพันธ์ของเฟืองตัวสุดท้ายกับเฟืองตัวแรก

โดยเทียบกับแขนทั้งคู่

$-w_L$ = ความเร็วเชิงมุมสัมบูรณ์ของเฟืองตัวสุดท้ายในขบวนเฟือง (เทียบกับชิ้นต่อโยงคงที่)

w_F = ความเร็วเชิงมุมสัมบูรณ์ของเฟืองตัวแรกในขบวนเฟือง (เทียบกับชิ้นต่อโยงคงที่)

w_A = ความเร็วเชิงมุมสัมบูรณ์ของแขน (เทียบกับชิ้นต่อโยงคงที่)

กฎที่ถือปฏิบัติในการใช้สมการ (2.7) มีดังนี้

1. เฟืองในขบวนเฟืองที่จะเลือกมาเป็นเฟืองตัวแรกและเฟืองตัวสุดท้ายจะต้องเป็นเฟืองที่ขบอยู่กับเฟืองที่มีการเคลื่อนที่แบบ Planetary Motion เท่านั้น

2. เพลลาของเฟืองตัวแรกและเฟืองตัวสุดท้ายจะต้องขนานกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างถึงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างที่ 2.5 พิสูจน์ให้เห็นว่าผลที่ได้จากการใช้สูตรกับขบวนเฟืองในรูปที่ 2.8 ก จะ

เหมือนกับสมการ (2.3)

ให้เฟือง 1 เป็นเฟืองตัวแรก และเฟือง 2 เป็นเฟืองตัวสุดท้ายในขบวนเฟือง

$$\frac{W_{LA}}{W_{LA}} = \frac{W_{23}}{W_{13}} = \frac{-N_1}{N_2}$$

$$W_L = W_{21}$$

$$W_A = W_{31}$$

$$W_F = W_1 = 0 \text{ (เฟือง 1 อยู่กับที่)}$$

$$\frac{W_{LA}}{W_{FA}} = \frac{W_L - W_A}{W_F - W_A}$$

$$\frac{-N_1}{N_2} = \frac{W_{21} - W_{31}}{0 - W_{31}}$$

$$W_{21} - W_{31} = \left(\frac{N_1}{N_2} \right) W_{31}$$

$$W_{21} = W_{31} \left(1 + \frac{N_1}{N_2} \right)$$

ตัวอย่างที่ 2.6 ถ้าแขน 6 และเฟือง 5 ของขบวนเฟืองในรูปที่ 2.10 หมุนในทิศตาม

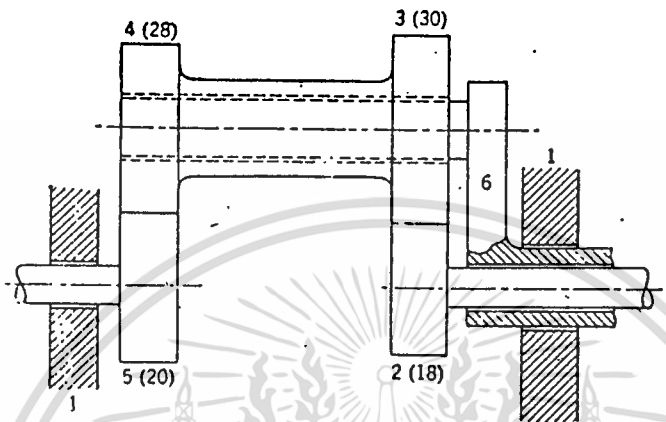
เข็มนาฬิกา (มองจากทางด้านขวา) ด้วยขนาด 150 และ 50

เรเดียน/วินาที ตามลำดับ จงหา w_{21} ทั้งขนาดและทิศทาง

ให้เฟือง 5 เป็นเฟืองตัวแรก และเฟือง 2 เป็นเฟืองสุดท้าย

$$\frac{W_{LA}}{W_{FA}} = \frac{W_L - W_A}{W_F - W_A}$$

$$\frac{W_{26}}{W_{56}} = \frac{W_{21} - W_{61}}{W_{51} - W_{61}}$$



รูปที่ 2.10

$$\frac{w_{\Sigma 0}}{w_{\Sigma 0}} = \frac{N_5 \times N_3}{N_4 \times N_2} = \frac{20 \times 30}{28 \times 18} = \frac{25}{21}$$

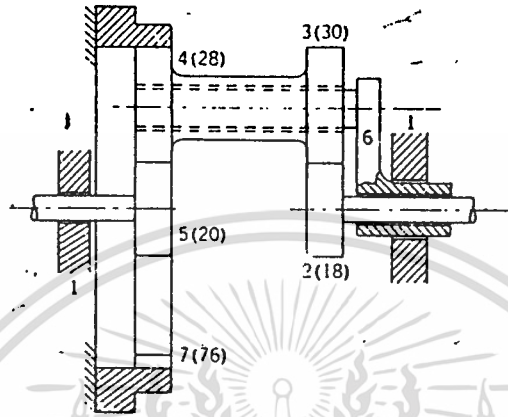
$$25 = \frac{w_{\Sigma 1} - 150}{50 - 150}$$

$$w_{\Sigma 1} = \frac{25(-100) + 150}{21} = +30.9 \text{ เรเดียน/วินาที}$$

$w_{\Sigma 1}$ จะมีทิศการหมุนเหมือนกับ $w_{\Sigma 1}$ และ w_{01} คือ หมุนในทิศตามเข็มนาฬิกา (มองจากทางด้านขวา)

ตัวอย่างที่ 2.7 จงหา $w_{\Sigma 1}$ (ทั้งขนาดและทิศทาง) ของขบวนเฟืองในรูปที่ 2.11 โดยกำหนดให้ $w_{\Sigma 1} = 60$ เรเดียน/วินาที (ตามเข็มนาฬิกา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11

ในขบวนการเฟืองที่กำหนดพิจารณาเฟือง 2, 3, 4, 5 และแขน 6 เป็นขบวนการเฟืองชุดหนึ่งโดยให้เฟือง 2 เป็นเฟืองตัวแรกและเฟือง 5 เป็นเฟืองตัวสุดท้าย

$$\frac{W_{LA}}{W_{FA}} = \frac{W_L - W_A}{W_F - W_A}$$

$$\frac{W_{56}}{W_{26}} = \frac{W_{51} - W_{61}}{W_{21} - W_{61}}$$

$$\frac{W_{56}}{W_{26}} = \frac{N_2 \times N_4}{N_3 \times N_5} = \frac{18 \times 28}{30 \times 20} = \frac{21}{25}$$

$$\frac{21}{25} = \frac{W_{51} - W_{61}}{W_{21} - W_{61}} = \frac{W_{51} - W_{61}}{60 - W_{61}} \quad (2.8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในขบวนเฟืองที่กำหนด พิจารณาเฟือง 2, 3, 4, 7 และแกน 6 เป็นขบวนเฟืองอีกชุดหนึ่งโดยให้เฟือง 2 เป็นเฟืองตัวแรกและเฟือง 7 เป็นเฟืองตัวสุดท้าย

$$\frac{W_{76}}{W_{26}} = \frac{W_{71} - W_{61}}{W_{21} - W_{61}}$$

$$\frac{W_{76}}{W_{26}} = \frac{-N_2 \times N_4}{N_3 \times N_7} = \frac{-18 \times 28}{30 \times 76} = \frac{-21}{95}$$

$$\frac{-21}{95} = \frac{W_{71} - W_{61}}{W_{21} - W_{61}} = \frac{0 - W_{61}}{60 - W_{61}}$$

$$\frac{-21(60 - W_{61})}{95} = 0 - W_{61}$$

$$W_{61} = 21 \times 15 = + 10.86 \text{ เรเดียน/วินาที}$$

แทนค่า W_{61} ลงในสมการ (2.8)

$$\frac{21}{25} = \frac{W_{51} - 10.86}{60 - 10.86}$$

$$W_{51} = + 52.14 \text{ เรเดียน/วินาที (ทิศเดียวกับ } W_{21} \text{)}$$

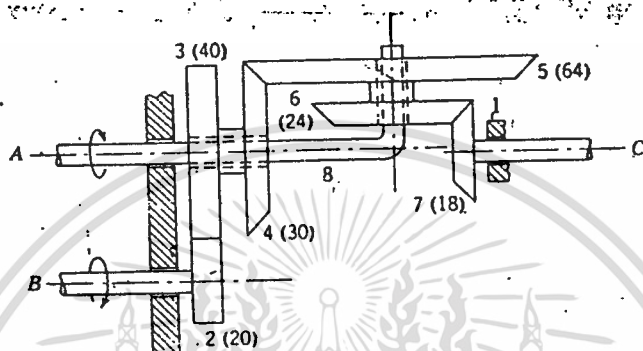
ข้อสังเกต ขบวนเฟืองในตัวอย่างนี้ประกอบไปด้วยขบวนเฟืองชุดย่อย ซึ่งสามารถแยกและนำมาใช้กับสูตรได้ 2 ชุด ซึ่งประโยชน์ที่ได้ก็คือ มีสมการเพิ่มขึ้น ช่วยในการแก้ปัญหาเกี่ยวกับตัวที่ไม่รู้ค่าสะกดกัน

ดังนั้นเวลาวิเคราะห์ปัญหาควรพิจารณาให้รอบคอบว่าในขบวนเฟืองชุดใหญ่นั้นสามารถแยกเป็นขบวนเฟืองชุดย่อยได้หรือไม่ โดยที่แต่ละชุดย่อยเมื่อนำมาใช้กับสูตรต้องมีคุณสมบัติต่าง ๆ ตามที่กำหนด

ตัวอย่างที่ 2.8 สำหรับขบวนเฟืองในรูปที่ 2.12 กำหนดให้ความเร็วเชิงมุมของเพลา B มีขนาด 35 เรเดียน/วินาที และ 200 เรเดียน/วินาที ตามลำดับ ในทิศที่แสดง จงหาความเร็วเชิงมุมของเพลา C ทั้ง

ขนาดและทิศทาง

ให้เฟือง 4 เป็นเฟืองตัวแรกและเฟือง 7 เป็นเฟืองตัวสุดท้าย



รูปที่ 2.12

$$W_{LA} = W_L - W_A$$

$$W_{FA} = W_F - W_A$$

$$W_{70} = W_{71} - W_{01}$$

$$W_{40} = W_{41} - W_{01}$$

$$\frac{W_{70}}{W_{40}} = \frac{-N_4 \times N_0}{N_5 \times N_7} = \frac{-30 \times 24}{60 \times 18} = \frac{-5}{8}$$

$$W_{41} = W_{01} = \frac{W_B \times N_2}{N_3} = \frac{200 \times 20}{40}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= 100 \text{ เรเดียน/วินาที (ทิศเดียวกับ } w_A)$$

$$w_{o1} = w_A = 35 \text{ เรเดียน/วินาที}$$

$$\frac{-5}{0} = \frac{w_{71} - 35}{100 - 35}$$

$$w_{71} = \frac{-5(65)}{8} + 35$$

8

$$= -5.63 \text{ เรเดียน/วินาที (ทิศตรงข้ามกับ } w_A)$$

วิธี Tabulation

พิจารณาขบวนเฟืองในรูปที่ 2.8 ก โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. ปลดเฟือง 1 ออกจากฟัน (Ground) และนำมาติดเข้ากับแขน 3 และเฟือง 2 นั่นคือ ชั้นต่อโยงทั้งสามสามารถจะเคลื่อนที่ไปด้วยกัน (ความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างชั้นต่อโยงทั้งสามเป็นศูนย์)
2. หมุนแขน 3 ไป +1 รอบ (หมุนรอบจุด A ซึ่งจะทำให้เฟือง 1 และ 2 หมุนไปด้วยจำนวนรอบเท่ากันด้วย)
3. ปลดเฟือง 1 และ 2 ออกจากแขน 3 จับแขน 3 ให้อยู่กับที่แล้วหมุนเฟือง 1 ไป -1 รอบ ซึ่งจะทำให้เฟือง 2 หมุน $+N_1$ รอบ (การที่หมุนเฟือง 1 ไป -1 รอบ $\frac{N_2}{N_2}$ เนื่องจากหมุนเฟือง 1 ไป +1 รอบแล้วในขั้นตอนที่ 2 จึงต้องพิจารณาให้เฟือง 1 หมุน -1 รอบ เพื่อที่จะทำให้จำนวนรอบของการหมุนทั้งหมดของเฟือง 1 เท่ากับศูนย์ซึ่งเป็นไปตามที่โจทย์กำหนดคือเฟือง 1 อยู่กับที่)

ผลการพิจารณาในขั้นตอนต่าง ๆ จะมองเห็นได้ชัดเจนขึ้น ถ้านำมาเขียนเป็นตาราง ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ถือทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างถึงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

		เฟือง 1	เฟือง 2	แขน 3
ผลจากขั้นตอนที่ 2	เคลื่อนที่ไปพร้อมกับแขนเทียบกับพื้น	+1	+1	+1
ผลจากขั้นตอนที่ 3	เคลื่อนที่เทียบกับแขน	-1	$\frac{+N_1}{N_2}$	0
ผลลัพธ์สุดท้าย	เคลื่อนที่เทียบกับพื้น	0	$\frac{1+N_1}{N_2}$	+1

จากผลลัพธ์สุดท้ายเฟือง 2 จะหมุน $1 + N_1$ รอบ เมื่อแขน 3 หมุน 1 รอบซึ่งตรงกับสมการ (2.3)

การพิจารณาแบบ Tabulation ก็ใช้หลักการของวิธีวิเคราะห์ความเร็วโดยให้ความเร็วสัมพัทธ์นั่นเอง

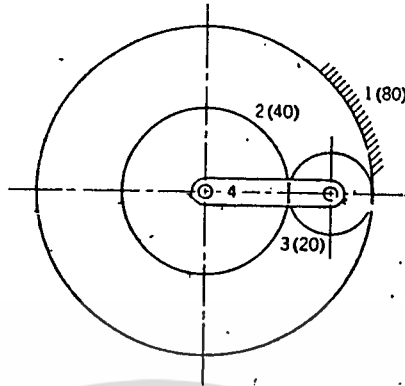
$$\text{สมการความเร็วสัมพัทธ์ } W_A = W_B + W_{A/B}$$

การพิจารณาแบบ Tabulation

$$W_{\text{เฟือง/พื้น}} = W_{\text{แขน/พื้น}} + W_{\text{เฟือง/แขน}}$$

ข้อสังเกต เมื่อเปรียบเทียบวิธีวิเคราะห์ทั้งสองวิธีแล้วจะเห็นว่า วิธี Tabulation จะได้เปรียบกว่า เนื่องจากสามารถวิเคราะห์ขั้นตอนต่อโยงทุกชั้นในขบวนเฟืองไปพร้อม ๆ กัน

ตัวอย่างที่ 2.9 แขน 4 ของขบวนเฟืองในรูปที่ 2.13 หมุนในทิศทวนเข็มนาฬิกาด้วยความเร็ว 50 เรเดียน/วินาที จงหาความเร็วของเฟือง 2 ทั้งขนาดและทิศทาง



รูปที่ 2.13

	เฟือง 1	เฟือง 2	เฟือง 3	แกน 4
เคลื่อนที่ไปพร้อมกับแกนเทียบกับพื้น	+1	+1	+1	+1
เคลื่อนที่เทียบกับแกน	-1	$\frac{+N_1}{N_2}$	$\frac{-N_1}{N_3}$	0
เคลื่อนที่เทียบกับพื้น	0	$\frac{1+N_1}{N_2}$	$\frac{1-N_1}{N_3}$	+1

$$\frac{w_{z1}}{w_{a1}} = \frac{1 + N_1/N_2}{1}$$

$$w_{z1} = \frac{w_{a1} (1 + \frac{N_1}{N_2})}{1} = \frac{50 (1 + \frac{80}{40})}{1}$$

$$w_{z1} = 150 \text{ เรเดียน/วินาที (ทวนเข็มนาฬิกา)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างถึงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างที่ 2.10 ใช้วิธี Tabulation กับตัวอย่างที่ 2.6 รูปที่ 2.10

	เฟือง 2	เฟือง 3	เฟือง 4	เฟือง 5	แกน 6
เคลื่อนที่ไปพร้อมกับแกน เทียบกับพื้น	+150	+150	+150	+150	+150
เคลื่อนที่เทียบกับแกน	$-100 \frac{N_5 \times N_3}{N_4 \times N_2}$	$+100 \frac{N_5}{N_4}$	$+100 \frac{N_5}{N_4}$	-100	0
เคลื่อนที่เทียบกับพื้น	$150 - 100 \frac{N_5 \times N_3}{N_4 \times N_2}$			+50	+150

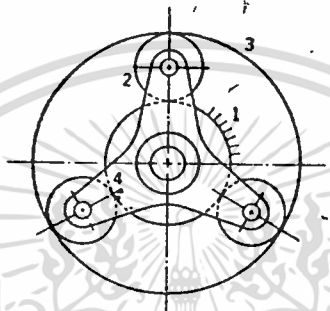
$$\begin{aligned}
 w_{21} &= 150 - 100 \frac{N_5 \times N_3}{N_4 \times N_2} \\
 &= 150 - 100 \frac{20 \times 30}{28 \times 18}
 \end{aligned}$$

$$w_{21} = +30.9 \text{ เรเดียน/วินาที (ตามเข็มนาฬิกา)}$$

ข้อสังเกต สำหรับตัวอย่างนี้ในขั้นตอนที่ 1 พิจารณาให้ทั้งระบบหมุน +150 เรเดียน/วินาที เนื่องจากโจทย์กำหนดให้แกน 6 หมุน 150 เรเดียน/วินาที (ดังนั้นจะเห็นได้ว่าในขั้นตอนที่ 1 จะให้ทั้งระบบหมุนเท่าไรขึ้นอยู่กับลักษณะข้อกำหนดของโจทย์) ส่วนในขั้นตอนที่ 2 ต้องหมุนเฟือง 5 ไป -100 เรเดียน/วินาที เนื่องจากเมื่อรวมกับที่เฟือง 5 หมุนไป +150 ในขั้นตอนที่ 1 แล้ว ผลรวมสุดท้ายจะได้ +50 เรเดียน/วินาที ตามข้อกำหนดของโจทย์

2.3 การออกแบบขบวนเฟืองแบบ Planetary

ปัญหาที่เกิดขึ้นเสมอในการออกแบบขบวนเฟืองแบบ Planetary ประเภทที่มีลักษณะ ดังรูปที่ 2.14 ก็คือ จำนวน Planet Gears ที่จะสามารถนำมาประกอบเข้าไปในขบวนเฟืองได้โดยมีระยะห่างระหว่าง Planet Gears เท่ากัน



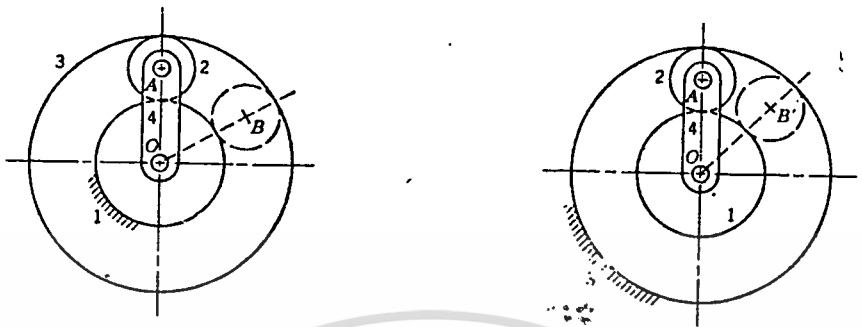
รูปที่ 2.14

ในการพิจารณาถึงจำนวน Planet Gears ที่จะมีได้โดยกำหนดจำนวนฟันของเฟือง 1, 2 และ 3 ของขบวนเฟืองในรูปที่ 2.15 ก มาให้และเฟือง 1 ซึ่งเป็น Sun-Gear อยู่กับที่

ϕ_{31} = การเคลื่อนที่เชิงมุมของเฟือง 3 หลังจากเฟือง 3 หมุนไป 1 ฟัน (one whole tooth space) เทียบกับเฟือง 1

$$\phi_{31} = \frac{1 \text{ รอบ}}{N_3}$$

ϕ_{41} = การเคลื่อนที่เชิงมุมของแขน 4 หลังจากเฟือง 3 หมุนไป 1 ฟัน เทียบกับเฟือง 1



รูปที่ 2.15

$$w_{41} = \frac{w_{31} \times w_{41}}{w_{31}} \quad \text{รูป}$$

(2.9)

จากสมการ (6.7) :

$$\frac{w_{31}}{w_{41}} = \frac{1 - w_{34}}{w_{14}}$$

$$\frac{w_{34}}{w_{14}} = \frac{-N_1}{N_3}$$

$$\frac{w_{31}}{w_{41}} = 1 + \frac{N_1}{N_3}$$

$$\frac{w_{41}}{w_{31}} = \frac{N_3}{N_3 + N_1}$$

แทนค่า w_{41} ลงในสมการ (2.9)

$$\frac{w_{41}}{w_{41}}$$

$$\begin{aligned} \omega_{41} &= \frac{1 \times N_3}{N_3 + N_1} \text{ รอบ} \\ &= \frac{1}{N_3 + N_1} \text{ รอบ} \end{aligned}$$

จากรูปที่ 2.15 ก AOB เป็นมุมที่แขน 4 หมุนไป เมื่อเฟือง 3 หมุนไปเทียบกับเฟือง 1

ดังนั้น ถ้าเฟือง 3 หมุน 1 พัน AOB จะเท่ากับ ω_{41}

ω_{41} นี้จะเป็นมุมระหว่าง Planet Gears ที่เล็กที่สุดที่เป็นไปได้ ถ้ายอมให้ Planet Gears ซ้อนกันได้ (Overlapping)

ถ้าเฟือง 3 หมุนไป C พัน

$$AOB = \frac{C(\omega_{41})}{N_3 + N_1} = \frac{C}{N_3 + N_1} \text{ รอบ} \quad (2.10)$$

พิจารณาในทำนองเดียวกันกับขบวนเฟือง ในรูปที่ 2.15 ข ซึ่งมีเฟือง 3 อยู่กับที่

ω_{13} = การเคลื่อนที่เชิงมุมของเฟือง 1 หลังจากเฟือง 1 หมุนไป 1 พัน เทียบกับเฟือง 3

ω_{43} = การเคลื่อนที่เชิงมุมของแขน 4 หลังจากเฟือง 1 หมุนไป 1 พันเทียบกับเฟือง 3

$$\omega_{13} = \frac{1}{N_1}$$

$$\omega_{43} = \omega_{13} \times \frac{W_{43}}{W_{13}}$$

$$\frac{W_{43}}{W_{13}} = \frac{N_1}{N_1 + N_3}$$

$$\omega_{43} = \frac{1 \times N_1}{N_1 + N_3} = \frac{1}{N_1 + N_3}$$

$$AOB = c \cdot \frac{1}{N_1 + N_2} = \frac{c}{N_1 + N_2} \quad \text{รวม} \quad (2.11)$$

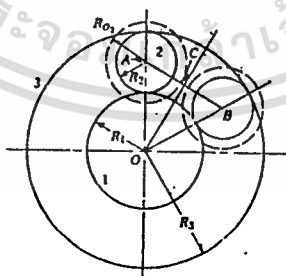
เมื่อเปรียบเทียบสมการ (2.10) และ (2.11) จะเห็นได้ว่า แขน 4 จะหมุนไปเป็นมุมเท่ากัน ($AOB = AOB$) ไม่ว่าจะเนื่องมาจากการหมุนไป 1 ฟันของเฟือง 3 หรือเฟือง 1 ก็ตาม

เนื่องจาก AOB เป็นมุมระหว่าง Place Gears ดังนั้นจำนวน Planet Gears ที่มีได้ในขบวนเฟือง (โดยอยู่ห่างจากกันเป็นระยะเท่า ๆ กัน) คือส่วนกลับของสมการ (2.10) นั่นเอง

$$n = \frac{N_2 + N_1}{c} \quad (2.12)$$

โดย n คือ จำนวน Planet Gears (ทั้งนี้ Planet Gears ในขบวนเฟืองอาจจะซ้อนกันหรือไม่ซ้อนกันก็ได้ โดยขึ้นอยู่กับค่าของ c ว่าจะเป็นเท่าไร)

แต่ตามความเป็นจริงแล้ว Planet Gears ในขบวนเฟืองจะต้องไม่ซ้อนเท่าไร โดยไม่มีการซ้อนกัน



รูปที่ 2.16

ในรูปที่ 2.16 รัศมีภายนอก R_{o2} (Outside Radius) ของเฟือง A และ B เกือบจะสัมผัสกันที่จุด C

$$\begin{aligned}
 n_{\max} &= \frac{360}{\widehat{AOB}} = \frac{180}{\widehat{AOC}} \\
 \widehat{AOC} &= \sin^{-1} \frac{AC}{OA} \\
 AC &> R_{o2} \\
 OA &= R_1 + R_2 \\
 R_{o2} &= R_2 + a \\
 &= \frac{N_2 m + m}{2} \\
 R_{o2} &= \frac{(N_2 + 2)m}{2} \\
 R_1 + R_2 &= \frac{(N_1 + N_2)m}{2} \\
 n_{\max} &< \frac{180}{\sin^{-1} \left(\frac{N_2 + 2}{N_1 + N_2} \right)} \quad (2.13)
 \end{aligned}$$

และจากรูปที่ 2.16; $R_o = R_1 + 2R_2$

$$R = \frac{Nm}{2} \quad \text{สำหรับเฟืองมาตรฐาน (Standard Gear)}$$

$$N_o = N_1 + 2N_2$$

สมการ (2.13) สามารถนำไปใช้กับเฟืองแบบไม่มาตรฐาน (Nonstandard Gear) ได้โดยค่า n_{\max} ที่ได้จะเป็นค่าประมาณ (Approximate Value) และความ

สัมพันธ์ระหว่างจำนวนฟันของเฟืองต่าง ๆ อนุโลมให้ใช้สมการ (2.14) ซึ่งเป็นสมการสำหรับเฟืองมาตรฐานได้

ตัวอย่างที่ 2.11 ขบวนเฟืองดังรูปที่ 2.17 ประกอบด้วยเฟือง 1 มีฟัน 50 ฟัน และเฟือง 3 มีฟัน 90 ฟัน จงหาจำนวน Planet Gears ที่จะมีได้โดยวางห่างจากกันเป็นระยะเท่า ๆ กัน และไม่ทับซ้อนกัน (เฟืองเป็นแบบมาตรฐาน)



รูปที่ 2.17

$$N_3 = N_1 + 2N_2$$

$$N_2 = \frac{N_3 - N_1}{2}$$

$$= \frac{90 - 50}{2}$$

$$= 20$$

$$\begin{aligned}
 n_{\max} &= \frac{180}{\frac{\sin^{-1} N_2 + 2}{N_1 + N_2}} \\
 &= \frac{180}{\frac{\sin^{-1} 22}{70}} \\
 &= 9.8 \text{ เฟือง}
 \end{aligned}$$

นั่นคือ จำนวน Planet Gears ที่จะมีได้ไม่เกิน 9 เฟือง

จากสมการ (2.12); $n = \frac{N_2 + N_1}{c}$

$$n = \frac{90 + 50}{c} = 140$$

จะเห็นว่าจำนวน Planet Gears จะขึ้นอยู่กับค่า c และ c จะต้องเป็นเลขจำนวนที่หาร 140 แล้วได้ค่าเป็นเลขจำนวนเต็มด้วย

ดังนั้นค่า e ที่เป็นไปได้ คือ เท่ากับ 140, 70, 35, 28 หรือ 20

$$n = 1, 2, 4, 5 \text{ หรือ } 7 \text{ เฟือง}$$

ตัวอย่างที่ 2.12 จงหาจำนวน Planet Gears ที่จะสามารถประกอบเข้าไปได้ในขบวนเฟืองในรูปที่ 2.18 โดยให้มีระยะห่างเท่ากันและไม่ซ้อนกัน

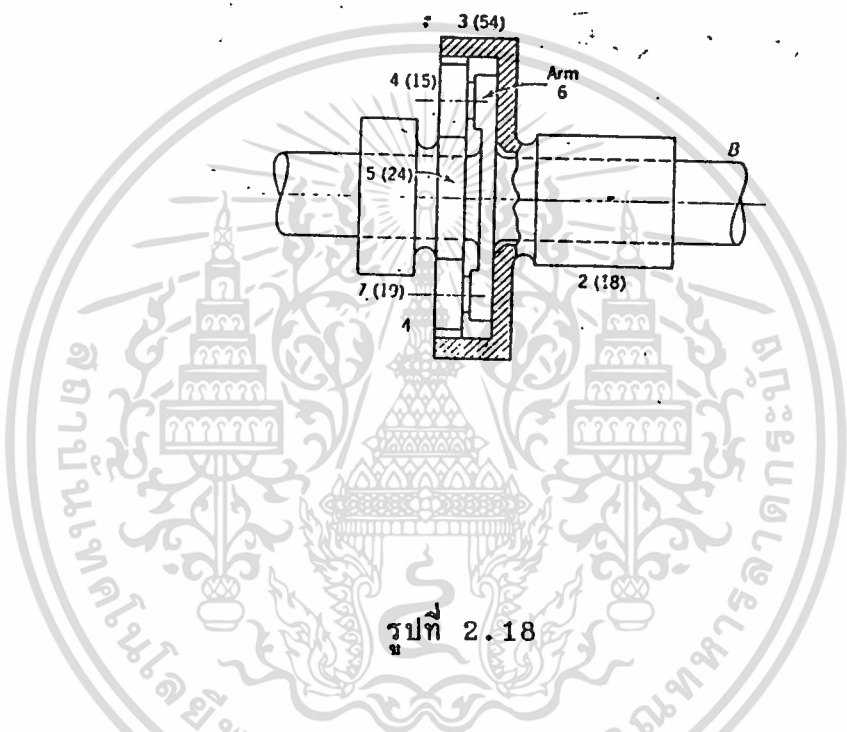
$$\begin{aligned}
 n_{\max} &= \frac{180}{\frac{\sin^{-1} N_4 + 2}{N_4 + N_5}} \\
 &= \frac{180}{\frac{\sin^{-1} 17}{39}}
 \end{aligned}$$

39

= 6.97 เฟือง

n = $\frac{N_3 + N_5}{c} = \frac{78}{c}$

n = 1, 2, 3 หรือ 6 เฟือง



ตัวอย่างที่ 2.13 ขบวนเฟืองที่มีลักษณะเหมือนตัวอย่างที่ 2.11 ประกอบด้วยเฟือง 1 มี 41 ฟัน (มาตรฐาน) เฟือง 2 มี 18 ฟัน (ไม่มาตรฐาน) และเฟือง 3 มี 78 ฟัน (มาตรฐาน) จงหาจำนวน Planet Gears ที่จะมีได้มากที่สุดโดยมีระยะห่างเท่ากันและไม่ซ้อนกัน

$$N_2 = \frac{N_3 - N_1}{2}$$

$$= \frac{78 - 41}{2}$$

$$= 18.5$$

$$n_{\max} = \frac{180}{\frac{\sin^{-1} N_2 + 2}{N_1 + N_2}}$$

$$= \frac{180}{\frac{\sin^{-1} 20.5}{59.5}}$$

$$= 8.93 \text{ เฟือง (ค่าโดยประมาณ)}$$

$$n = \frac{N_2 + N_1}{c} = \frac{78 + 41}{c} = \frac{119}{c}$$

$$n = 1 \text{ หรือ } 7 \text{ เฟือง}$$

จำนวน Planet Gears ที่จะมีได้มากที่สุดคือ 7 เฟือง

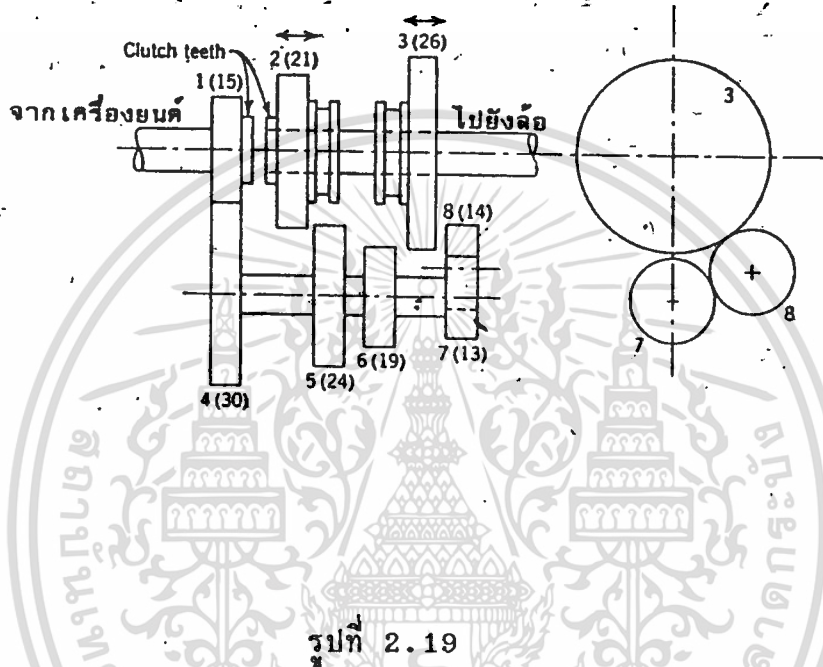
2.4 การนำขบวนเฟืองไปประยุกต์ใช้ (Application of Gear Trains)

ขบวนเฟืองทั้งสองแบบถูกนำไปใช้กับเครื่องยนต์และเครื่องมือต่าง ๆ มากมาย โดยจุดประสงค์หลักก็คือ เพื่อให้อัตราส่วนความเร็วเชิงมุมระหว่างชั้นต่อโยงที่เป็น Input และชั้นต่อโยงที่เป็น Output เป็นไปตามต้องการ ดังตัวอย่างต่อไปนี้

รูปที่ 2.19 เป็นขบวนเฟืองแบบธรรมดาที่ประกอบอยู่ในระบบส่งผ่านกำลังของรถยนต์โดยส่งกำลังจากเครื่องยนต์ผ่านคลัชแล้วส่งออกไปยังเพลากลางผ่านชุดเฟืองท้าย (Automotive Differential) เพื่อหมุนล้อทำให้รถยนต์แล่นไปได้

เฟือง 2 และ 3 เลื่อนไปมาได้ เพื่อให้การส่งผ่านกำลังและการเคลื่อนที่ผ่านชุดเฟืองต่าง ๆ กันได้แก่ ชุด 1,4,6,3 ชุด 1,4,5,2 ชุด 1,4,7,8,3 และ Direct Drive (ฟันคลัชเลื่อนมาชนกัน) ทำให้ได้อัตราส่วนความเร็วเชิงมุมระหว่างเพลาก็มาจาก

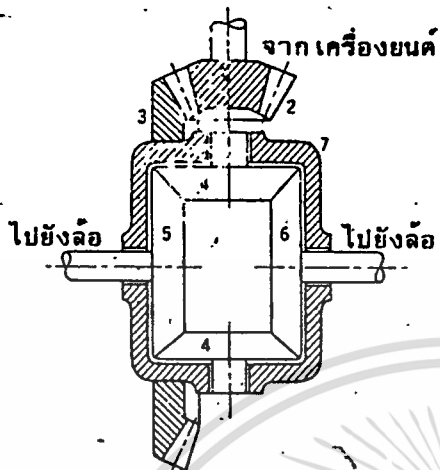
เครื่องยนต์กับเพลากลางแตกต่างกันออกไป ซึ่งก็คือ เกียร์ต่าง ๆ ที่ใช้เรียกในการยนต์ ยนต์ (เช่น เกียร์ 1, 2, 3 ฯลฯ) นั้นเอง



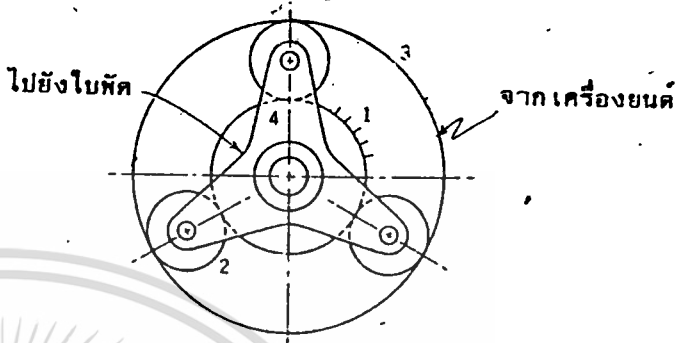
รูปที่ 2.19

สำหรับขบวนเฟืองแบบ Planetary ในรูปที่ 2.20 เป็นชุดเฟืองท้ายของรถยนต์ ซึ่งช่วยลดอัตราความเร็วระหว่างเพลากลางกับล้อ เฟือง 2 สวมอยู่บนเพลากลางขบอยู่กับเฟือง 3 ซึ่งหมุนไปกับตัว Carrier 7 ที่ทำหน้าที่เหมือนแขนหมุน Planet Gear 4 (ทั้งสองเฟือง) เฟือง 5 และ 6 สวมอยู่บนเพลลา (Half Shaft) ซึ่งต่อออกไปยังล้อทั้งสองข้าง เฟืองทั้งหมดในชุดเฟืองท้ายเป็นเฟืองแบบ Bevel

รูปที่ 2.21 เป็นขบวนเฟืองแบบ Planetary ที่ใช้ในเครื่องยนต์ เครื่องบินแบบใบพัด โดยมีจุดประสงค์เพื่อลดอัตราความเร็วระหว่างเครื่องยนต์ เครื่องบินและใบพัด (Propeller)



รูปที่ 2.20



รูปที่ 2.21

2.5 วัสดุสำหรับเฟือง

วัสดุที่ใช้ทำเฟืองมีอยู่หลายชนิดทั้งที่เป็นโลหะและอโลหะ หลักทั่วไปในการออกแบบชิ้นส่วนใด ๆ ของเครื่องจักรกลก็คือ การเลือกใช้วัสดุที่ราคาถูก ผลิตได้ง่าย และสามารถทำงานได้ตามความประสงค์ สำหรับการเลือกใช้วัสดุสำหรับทำเฟืองผู้ออกแบบจะต้องไตร่ตรองดูว่าจุดประสงค์ใดเป็นสิ่งที่มีความสำคัญที่สุดต่อการใช้งาน เช่น ถ้าต้องการให้มีความต้านแรงสูง (high strength) เป็นสิ่งสำคัญก็จะต้องเลือกใช้เหล็กกล้า เพราะดีกว่าเหล็กหล่อ แต่ถ้าต้องการให้ทนทานต่อการสึกกร่อนเนื่องจากการเสียดสีได้เป็นอย่างดี ก็ควรเลือกใช้วัสดุที่ไม่ใช่เหล็ก เช่น อลูมิเนียมบรอนซ์ (aluminium - bronze) หรือถ้าต้องการลดระดับเสียงในขณะใช้งานก็อาจจะใช้วัสดุที่เป็นอโลหะ เช่น ไนลอน เป็นต้น

วัสดุที่นิยมใช้ทำเฟืองมากที่สุดชนิดหนึ่งก็คือ เหล็กหล่อทั้งนี้เพราะมีราคาต่ำ ผลิตได้ง่าย ทนต่อการสึกหรอได้ดีและดูดเสียงได้มากพอสมควร แต่ข้อเสียของเหล็กหล่อก็คือมี

ความต้านแรงดึงต่ำ ทำให้ฟันเฟืองหนามาก ดังนั้นในบางครั้งจึงใช้เหล็กหล่อเหนียวพิเศษ (nodular cast iron) ซึ่งเป็นเหล็กหล่อที่ผสมแมกนีเซียมหรือซีเรียม (cerium) เข้าไป ทำให้ได้เหล็กหล่อที่มีความแข็งแรงมากขึ้น แต่ยังคงไว้ซึ่งคุณสมบัติอย่างอื่นที่ได้กล่าวมาแล้ว

เหล็กกล้าที่ใช้ในการทำเฟืองโดยมากเป็นเหล็กกล้าคาร์บอนธรรมดา (plain-carbon steel) หรือเหล็กกล้าผสม (alloy steel) ซึ่งมีความต้านแรงดึงสูงกว่าเหล็กหล่อ โดยที่ราคาไม่สูงมากนัก แต่เนื่องจากผิวหน้าของเหล็กกล้ามีความแข็งน้อย ดังนั้นจึงต้องมีกระบวนการทำผิวหน้าให้แข็งแรงขึ้น โดยกรรมวิธีทางความร้อน (heat-treatment) เพื่อให้ฟันเฟืองทนต่อการสึกหรอได้ดี แต่กรรมวิธีทางความร้อนมักจะทำให้ฟันเฟืองเกิดการบิดเบี้ยวขึ้นเล็กน้อย ดังนั้นแรงที่มากกระทำฟันจึงไม่กระจายออกไปอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งอาจทำให้ฟันเฟืองเสียหาย เนื่องจากการบิดเบี้ยวนี้เกิดในเหล็กกล้าผสมน้อยกว่าเหล็กกล้าคาร์บอนธรรมดา ผู้ออกแบบจึงนิยมใช้เหล็กกล้าผสมมากกว่า

โลหะผสมที่นำมาใช้ทำเฟืองได้แก่ ทองแดง สังกะสี อลูมิเนียม และไทเทเนียม (titanium) ทองแดงผสมที่นิยมใช้ทำเฟืองเป็นอย่างมากคือ บรอนซ์ เพราะทนต่อการกัดกร่อน (corrosion) ได้ดี มีความเสียดทานน้อย และทนต่อการสึกหรอ

โลหะที่นิยมใช้ทำเฟืองได้แก่ rawhide nylon และพลาสติกชนิดต่าง ๆ เป็นต้น เฟืองที่ทำด้วยวัสดุเหล่านี้จะทำงานเงียบมาก มีความเสียดทานน้อย และผลิตได้ง่าย นอกจากนี้แล้ว วัสดุประเภทนี้ยังช่วยดูดซับการสั่นสะเทือนได้เป็นอย่างดี แต่ก็มีข้อเสียคือเป็นวัสดุที่มีความแข็งแรงน้อย และนำความร้อนได้ไม่ดี ทำให้มีความร้อนสะสมอยู่ในเฟืองขณะใช้งานมาก และอาจจะเป็นที่ทำให้ฟันเฟืองบิดเบี้ยวได้

บทที่ 3

มอเตอร์ดีซี

3.1 ลักษณะและคุณสมบัติต่าง ๆ ของมอเตอร์ดีซี

ตามประวัติ ไมเคิล ฟาราเดย์ (Michael Faraday) เป็นผู้ประดิษฐ์มอเตอร์ขึ้นเป็นคนแรก เมื่อ พ.ศ. 2263 และมอเตอร์ที่ประดิษฐ์ขึ้นนั้นเป็นมอเตอร์ดีซีหรือมอเตอร์กระแสตรง

มอเตอร์ดีซีมีข้อได้เปรียบ คือ

- 1) มีคุณสมบัติเหมาะสมในการควบคุมอัตราเร็วของการขับเคลื่อนโดยมีพิสัยของอัตราเร็วกว้างมาก ซึ่งเราสามารถเพิ่มอัตราเร็วให้สูงหรือให้ต่ำกว่าอัตราเร็วปกติ
- 2) มีแรงหมุนขณะสตาร์ทสูงมากซึ่งเหมาะสมกับงานยกของ จุดลากและขับเคลื่อน
- 3) วิธีการควบคุมของมอเตอร์ดีซี ง่ายกว่า เรียบร้อยกว่าและนุ่มนวลกว่ามอเตอร์เอซีที่ทำงานคล้ายกัน

มอเตอร์ดีซีมีข้อเสียเปรียบหลายประการ คือ

- 1) ต้องจัดหาแหล่งจ่ายไฟฟ้าดีซีไว้ใช้งานเป็นพิเศษ
- 2) สำหรับขนาดของแรงม้าเท่ากัน มอเตอร์ดีซีมีขนาดใหญ่และมีราคาสูงกว่ามอเตอร์เหนี่ยวนำ
- 3) ในการสตาร์ท มอเตอร์ดีซีต้องมีวิธีพิเศษและยุ่งยากกว่าของมอเตอร์เอซี ยกเว้นสำหรับมอเตอร์ขนาดเล็กจิ๋วเท่านั้นที่ไม่ต้องการวิธีสตาร์ทพิเศษ
- 4) ต้องการการซ่อมบำรุงรักษามากกว่ามอเตอร์เอซี ทั้งนี้เนื่องมาจากคอมมิวเตเตอร์ (commutator) มีการสึกหรอที่เกิดจาก อาร์ค ประกายไฟ และการขัดสีระหว่างแปรงถ่านกับคอมมิวเตเตอร์
- 5) ระหว่างเซ็กเมนต์ (segment) ของคอมมิวเตเตอร์มีแรงดันแตกต่างกันสูงสุดได้ประมาณ 20 โวลต์ จึงจะให้คอมมิวเตชันเป็นผลดี เพราะฉะนั้นจึงไม่สามารถ

สร้างมอเตอร์ดีซีให้มีขนาดอัตราแรงดันสูงกว่า 600 โวลต์ และมีขนาดใหญ่หลายพัน-
แรงม้าได้

ถึงแม้ว่ามอเตอร์ดีซีที่มีข้อได้เปรียบเพียงสองสามข้อ แต่เป็นข้อได้เปรียบที่สำคัญ
มาก เราจึงยังมีการใช้งานมอเตอร์ดีซีอยู่ตราบเท่าทุกวันนี้

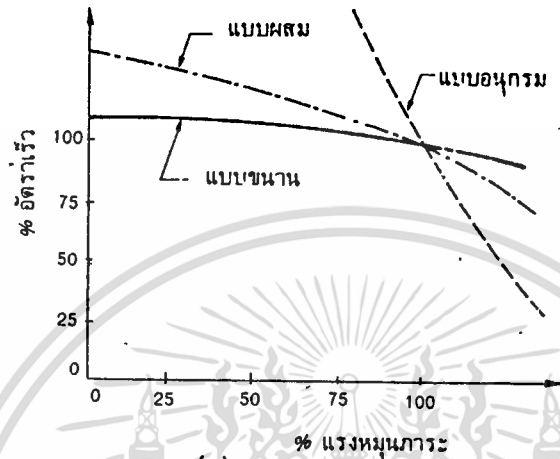
ในปัจจุบัน มอเตอร์ดีซีมีแบบขนาน (shunt) แบบอนุกรม (series) แบบ-
ผสม (compound) แล้วยังมีแบบแม่เหล็กถาวร (PM motor หรือ permanent -
magnet motor) ซึ่งในสมัยนี้ได้มีการประดิษฐ์แม่เหล็กได้แรงขึ้นและมีราคาถูกลงมาก
เช่น อัลนิโค-ห้า (Alnico V) และแม่เหล็กเซรามิก (ceramic magnet) เป็นต้น
ซึ่งได้มีการนิยมนำไปประดิษฐ์มอเตอร์ขนาดเล็กที่มีแรงม้าเป็นค่าเศษส่วน (fractional
horse power) โดยนิยมนำไปใช้ในงานควบคุมต่าง ๆ เช่น นำไปใช้ในรถยนต์ เป็น
เครื่องปิดน้ำฝน เครื่องยกกระจกหน้าต่าง เครื่องยกหรือเลื่อนที่นั่ง เป็นต้น

มอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรมีลักษณะสมบัติคล้ายกับของมอเตอร์ดีซีแบบขนาน
โดยมีอัตราเร็วเกือบคงที่แต่มีค่าลดลงบ้างเล็กน้อยตามค่าของภาระหรือแรงหมุนของภาระ
ตั้งเส้นโค้งลักษณะสมบัติระหว่างอัตราเร็วกับแรงหมุนภาระที่แสดงไว้ในรูปที่ 3.11 ซึ่ง
มอเตอร์ดีซีแบบขนานมีสูตรคำนวณหาค่าอัตราเร็ว ดังนี้

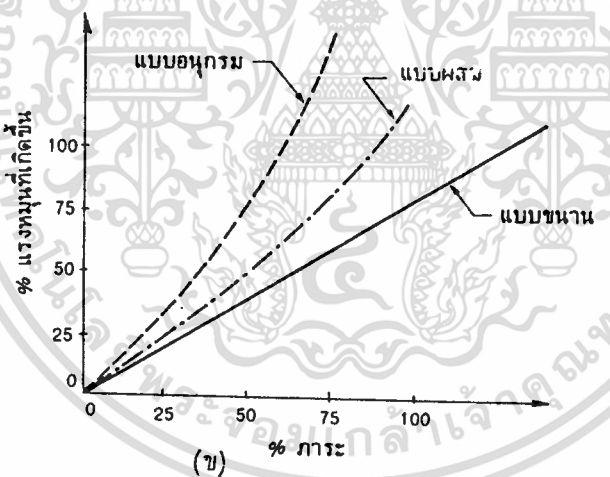
$$w = \frac{E - I_a R_a}{K_w I_f} \quad (3.1.1)$$

- เมื่อ w เป็นค่าอัตราเร็ว (รอบต่อนาที)
 E เป็นค่าแรงดันเลี้ยงวงจรดีซี หรือ แรงดันที่ขั้วไฟฟ้าของมอเตอร์ (โวลต์)
 I_a เป็นค่ากระแสไหลในวงจรอาร์มาเจอร์ (แอมแปร์)
 R_a เป็นค่าความต้านทานในวงจรอาร์มาเจอร์ (โอห์ม)
 K_w เป็นตัวคงที่สัดส่วนของอัตราเร็ว (โวลต์-นาทิต่อแอมแปร์-รอบ)
 I_f เป็นค่ากระแสไหลในวงจรฟิลด์ (แอมแปร์)

และมีสูตรคำนวณหาค่าแรงหมุนที่เกิดขึ้นได้จาก



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.1.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$T = K_a I_a \quad (3.1.2)$$

เมื่อ T เป็นแรงหมุนที่เกิดขึ้น (นิวตัน-เมตร)

K_a เป็นตัวคงที่สัดส่วนของแรงหมุน (นิวตัน-เมตรต่อแอมป์)

โดยแรงหมุนในสมการที่ (3.1.2) มีเส้นโค้งลักษณะสมบัติดังแสดงในรูปที่ 3.1.1 (ข)

มอเตอร์แบบผสมจะมีอัตราเร็วสูงขึ้นหรือช้าลงเมื่อเปรียบเทียบกับมอเตอร์แบบชานาน จะขึ้นอยู่กับวิธีการต่อฟิลด์อนุกรม (series field) ให้สนามแม่เหล็กเข้าหักล้างหรือเข้าบวกกับสนามของฟิลด์ชานาน (shunt field) ซึ่งให้ชื่อเรียกว่ามอเตอร์ผสมแบบหักล้าง (differential compound motor) และมอเตอร์ผสมแบบสะสม (cumulative compound motor) ตามลำดับ แต่มอเตอร์ผสมแบบหักล้างไม่ค่อยนิยมใช้กันและเส้นโค้งลักษณะสมบัติที่แสดงในรูปที่ 3.1.1 เป็นของมอเตอร์ผสมแบบสะสม

มอเตอร์แบบอนุกรมมีคุณสมบัติที่สำคัญมาก คือ สามารถเปรียบอัตราเร็วเป็นพิสัยกว้างและมีแรงหมุนเกิดขึ้นตอนสตาร์ทสูงมากดังเส้นโค้งลักษณะสมบัติที่แสดงในรูปที่ 3.1.1 โดยเราสามารถคำนวณหาอัตราเร็วและแรงหมุนได้จากนิพจน์ข้างล่างนี้ตามลำดับ

$$w = \frac{E - I_a R_a}{K_a I_a^2} \quad (3.1.3)$$

และ

$$T = K_a I_a^2 \quad (3.1.4)$$

กระแสที่ไหลอยู่ในอาร์มาเจอร์ และที่ไหลอยู่ในฟิลด์ของมอเตอร์แบบอนุกรมจะมีเฟสทับกันอยู่เสมอ จึงทำให้เกิดแรงหมุนอยู่ในทิศทางเดียวตามหลักการพื้นฐาน เราอาจใช้มอเตอร์แบบอนุกรมเป็นมอเตอร์ดีซีหรือมอเตอร์เอซีก็ได้ แต่มอเตอร์แบบอนุกรมที่ออกแบบธรรมดาให้ใช้กับไฟฟ้ากระแสตรง เมื่อนำไปใช้กับไฟฟ้ากระแสสลับจะทำงานไม่เป็นที่น่าพึงพอใจ ซึ่งเราจะต้องปรับปรุง ดังต่อไปนี้

- 1) จะต้องใช้เหล็กแผ่นทำโครงสร้างของฟิลด์ โยค (yoke) และแกน (core) เพื่อลดกำลังสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวนซึ่งเกิดขึ้นจากการเหนี่ยวนำ ทั้งนี้เพื่อช่วยให้มอ-

เตอร์ไม่ร้อนเกินไปและป้องกันไม่ให้มอเตอร์มีประสิทธิภาพต่ำเกินไป

2) ให้ลดแรงดันตกคร่อมฟิลด์อนุกรมลง เนื่องจากฟิลด์อนุกรมมีรีแอคแตนซ์สูงเมื่อเปรียบเทียบกับของอาร์มาเจอร์ ซึ่งเราจะทำได้ 2 วิธี คือ วิธีแรก ให้ใช้มอเตอร์แบบนี้ในงานที่ใช้ไฟฟ้าเลี้ยงวงจรความถี่ต่ำ ๆ วิธีที่สอง ให้ลดค่าเหนี่ยวนำของฟิลด์อนุกรมลง ซึ่งอาจจะทำได้ด้วยการลดจำนวนรอบของขดลวดต่อโพลให้น้อยลง ทั้งนี้จะเป็นผลทำให้จำนวนแอมแปร์-รอบลดน้อยลงไปด้วย แต่เพื่อรักษาฟลักซ์แม่เหล็กให้มีค่าพอเพียง จึงต้องลดค่าความต้านทานของวงจรแม่เหล็ก (reluctance) ให้มีค่าน้อยที่สุดซึ่งจะทำได้ด้วยการเลือกใช้ค่าหนาแน่นในส่วนที่เป็นเหล็กให้อยู่ในย่านที่จะได้ค่าความซึมได้ (permeability) สูงที่สุดเท่าที่จะทำได้ และออกแบบให้โพล (pole) และช่องอากาศ (air gap) มีความยาวสั้นเท่าที่จะทำได้

3) จะต้องเพิ่มจำนวนขดลวดในอาร์มาเจอร์ให้มากขึ้น เพื่อชดเชยกับค่าฟิลด์ - ฟลักซ์ที่ลดลงไป ทั้งนี้เพื่อทำให้มอเตอร์เกิดแรงหมุนสูงประมาณคงเดิม ดังนั้นอาร์มาเจอร์ของมอเตอร์แบบอนุกรมที่ใช้กับไฟฟ้ากระแสสลับจะมีขนาดใหญ่กว่าอาร์มาเจอร์ของมอเตอร์แบบอนุกรมที่ใช้กับไฟฟ้ากระแสตรง โดยมีแรงม้าและอัตราปัดอื่น ๆ อย่างเดียวกัน

4) เนื่องจากมอเตอร์แบบอนุกรมที่ใช้กับไฟฟ้ากระแสสลับจะมีแอมแปร์-รอบของฟิลด์น้อย แต่มีแอมแปร์-รอบของอาร์มาเจอร์มาก จึงทำให้มีปฏิกิริยาของอาร์มาเจอร์ (armature reaction) แรงมาก จึงมีอาร์คเกิดขึ้นที่คอมมิวเตเตอร์อย่างรุนแรงและมีกำลังเอาต์พุตลดต่ำลง ซึ่งเราต้องแก้ไขด้วยการฝังขดลวดชดเชยไว้ใต้ผิวหนึ่งของโพล

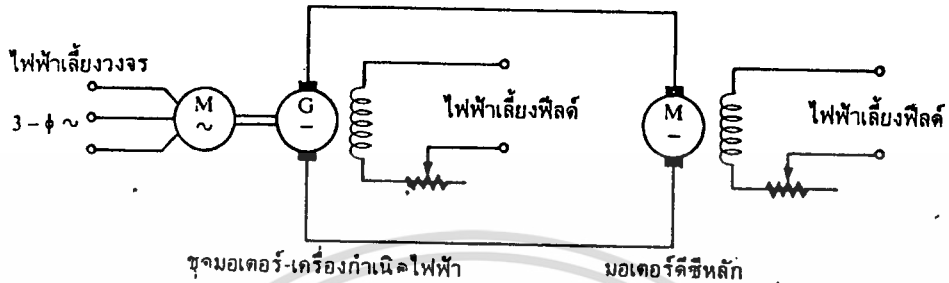
5) ขดลวดของอาร์มาเจอร์ที่กำลังเข้าทำการคอมมิวเตชัน (commutation) จะถูกตัดวงจรด้วยแปรงถ่าน จึงมีปฏิกิริยาเกิดขึ้นคล้ายกับกรณีของขดลวดทุติยภูมิของหม้อแปลงถูกตัดวงจร ซึ่งทำให้เกิดอาร์คแรงที่แปรงถ่าน และสนามแม่เหล็กที่เกิดจากการตัดวงจรจะหักล้างกับฟลักซ์ของฟิลด์โพล เป็นผลให้แรงหมุนลดลง เราแก้ไขด้วยการพัน - อาร์มาเจอร์เป็นขดลวดที่มีรอบเดียวและใส่ความต้านทานระหว่างขดลวดอาร์มาเจอร์กับคอมมิวเตเตอร์เช็กเมนต์

ตรงมีชื่อเรียกว่า "เอซี/ดีซีมอเตอร์ หรือ ยูนิเวอร์ซัลมอเตอร์" ซึ่งมีประยุกต์มากมาย จากมีดโกนหนวด เครื่องปั่น เครื่องดูดฝุ่น สว่านไฟฟ้า ไปจนถึงพัดลมเป่าเตาขนาดใหญ่ ที่มีการควบคุมอุณหภูมิ

การควบคุมอัตราเร็วของมอเตอร์ดีซีแทบทุกแบบจะทำได้คล้ายกัน ซึ่งจากสมการที่ (3.1.1) และ (3.1.3) เราจะเห็นได้ว่า วิธีการควบคุมอัตราเร็วมี 4 วิธี คือ

- 1) ควบคุมแรงดันป้อนเข้าที่ขั้วของมอเตอร์
- 2) ควบคุมจำนวนกระแสที่ไหลเข้าอาร์มาเจอร์
- 3) ควบคุมจำนวนกระแสไหลเข้าฟิลด์
- 4) ผสมวิธีที่กล่าวข้างบน

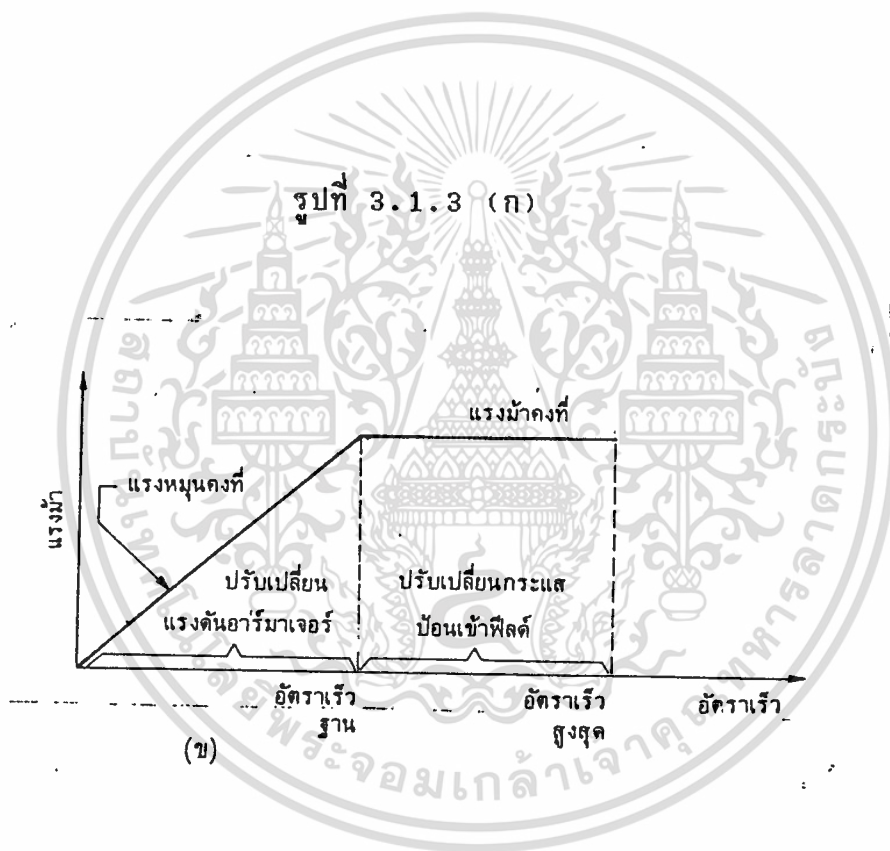
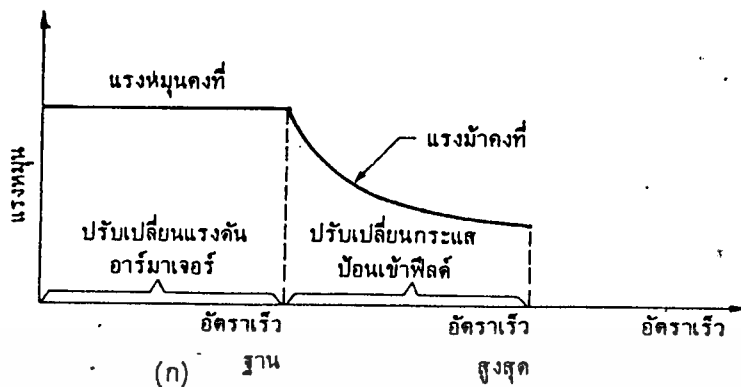
การควบคุมมอเตอร์ที่ต้องการใช้งานที่มีแรงหมุนสูงและมีกำลังขนาดใหญ่ เช่น ในโรงงานอุตสาหกรรม ในเรือขุดแร่ เป็นต้น เรานิยมใช้วิธีการที่เรียกว่า "ระบบ Ward Leonard" ดังแสดงในรูปที่ 3.1.2 ซึ่งเป็นชุดของมอเตอร์ และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหนึ่งชุดใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าดซีให้กับมอเตอร์ดีซีที่ต้องการควบคุม โดยการควบคุม จะทำได้ด้วยการปรับเปลี่ยนค่าแรงดันที่ป้อนเข้าขั้วอาร์มาเจอร์ของมอเตอร์ดีซี ซึ่งทำได้ด้วยการปรับเปลี่ยนค่าความต้านทานในวงจรฟิลด์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดซี G ทำให้เราสามารถควบคุมอัตราเร็วของมอเตอร์เป็นพิสัยที่กว้างมาก โดยการควบคุมได้กระทำในวงจรฟิลด์ที่มีขนาดกำลังต่ำ จึงสามารถควบคุมได้หลายอย่าง นอกจากอัตราเร็วแล้วยังสามารถควบคุมแรงหมุนและกำลังเอาต์พุตที่มีขนาดใหญ่ได้อีกด้วย การควบคุมเป็นไปอย่างราบรื่น เรียบร้อย และไม่มีการสะดุด แต่วิธีการนี้มีข้อเสียเปรียบที่มองเห็นได้ชัดคือ ต้องการเครื่องกลไฟฟ้าขนาดใหญ่สามตัว ซึ่งต่างมีขนาด น้ำหนัก และราคาสูง ทั้งยังมีราคาแพงในการติดตั้ง



รูปที่ 3.1.2 "ระบบ Ward Leonard" วิธีการควบคุมอัตราเร็วโดยการปรับเปลี่ยนแรงดันป้อนเข้าอาร์มาเจอร์

เพื่อที่จะได้พิสัยของอัตราเร็วกว้างที่สุดเท่าที่จะทำได้ในการปรับเปลี่ยนอัตราเร็วของระบบ Ward Leonard เราอาจใช้วิธีปรับเปลี่ยนแรงดันป้อนเข้าอาร์มาเจอร์ ผสมกับการปรับเปลี่ยนกระแสป้อนเข้าฟิลด์ของมอเตอร์ดีซี M ด้วยตัวต้านทานเปลี่ยนค่าได้ดังแสดงในรูปที่ 3.1.2 ขอให้เราสังเกตว่า อัตราเร็วที่ใช้อ้างอิงเป็นอัตราเร็วฐาน (base speed) ซึ่งนิยามว่าเป็นอัตราเร็วของมอเตอร์ที่แรงดันอาร์มาเจอร์ตามค่าอัตราปกติและที่ค่ากระแสไหลผ่านฟิลด์ของมอเตอร์ดีซี และอัตราเร็วที่มีค่าต่ำกว่าอัตราเร็วฐาน จะได้จากการปรับเปลี่ยนค่าแรงดันป้อนเข้าอาร์มาเจอร์ของมอเตอร์ดีซี

ที่พิสัยของอัตราเร็วสูงกว่าอัตราเร็วฐาน ฟิลด์ฟลักซ์จะมีค่าลดลงแต่อัตราเร็วมีค่าลดลงแต่อัตราเร็วมีค่าเพิ่มขึ้น จึงเป็นผลให้แรงเคลื่อนโวลต์กลับ E_b มีค่าคงที่ และถ้ากระแสไหลผ่านอาร์มาเจอร์ I_a มีค่าคงที่เท่ากับอัตราปกติที่เขียนไว้ที่ป้ายติดกับมอเตอร์ จะทำให้มอเตอร์มีค่าเอาต์พุตคงที่ ดังนั้นในการปรับเปลี่ยนค่าความต้านทานของวงจรฟิลด์ของมอเตอร์ดีซี จะเป็นผลทำให้มอเตอร์ดีซีมีกำลังม้าขับเคลื่อนคงที่



รูปที่ 3.1.3 (ข)

ที่พิสัยของอัตราเร็วต่ำกว่าอัตราเร็วฐาน ฟีดแบ็คมีค่าคงที่ที่ค่าสูงสุดแต่เราลดแรงดันป้อนเข้าอาร์มาเจอร์ลง ทำให้อัตราเร็วลดลงและแรงเคลื่อนโถกลับ E_b มีค่าลดลงเป็นสัดส่วนกับแรงดันอาร์มาเจอร์ที่เราลดลง เป็นผลทำให้กระแสไหลผ่านอาร์มาเจอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ลิขสิทธิ์จะอยู่กับผู้จัดแปลและต้องอ้างถึงชื่อของเอกสารทุกครั้งที่มีโอกาสอ้างได้

I มีค่าคงที่ ดังนั้นในการปรับเปลี่ยนค่าแรงดันป้อนเข้าอาร์มาเจอร์ของมอเตอร์ดีซี จะเป็นผลทำให้มอเตอร์ดีซีมีแรงหมุนคงที่

จากคำอธิบายข้างบนนี้ทำให้เราเขียนเส้นโค้งลักษณะสมบัติระหว่างแรงหมุนกับ อัตราเร็ว และกำลังกับอัตราเร็วที่ได้จากการควบคุมอัตราเร็วโดยวิธีปรับเปลี่ยนแรงดัน ป้อนเข้าอาร์มาเจอร์และปรับเปลี่ยนค่าความต้านทานของวงจรมอเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 3.1.3 (ก) และ (ข) ตามลำดับ

วิธีการควบคุมอัตราเร็วของมอเตอร์ที่ง่าย ๆ และมีราคาถูกทั้งยังสามารถใช้ในการสตาร์ทมอเตอร์ได้ด้วย คือ การใช้ตัวต้านทานเข้าต่อในวงจรอาร์มาเจอร์และวงจรมอเตอร์ การปรับเปลี่ยนค่าความต้านทานจะเป็นการปรับเปลี่ยนค่าแรงดันและค่ากระแสที่ป้อนเข้าวงจรอาร์มาเจอร์และวงจรมอเตอร์ ทำให้เราสามารถควบคุมความเร็วให้ได้ตามต้องการ และยังสามารถควบคุมค่ากระแสตอนสตาร์ทให้อยู่ในค่าที่ปลอดภัยและมีแรงหมุนตอนสตาร์ทสูงได้ เมื่อขณะมอเตอร์กำลังหมุนอยู่เราก็ยังสามารถใช้ตัวต้านทานเหล่านั้นในการควบคุมอัตราเร็วด้วย แต่วิธีนี้มีข้อเสียเปรียบ คือ มีกำลังสูญเสียกระจายในตัวต้านทานเหล่านั้น ทำให้มีประสิทธิภาพต่ำ นอกจากนี้ขณะมอเตอร์กำลังหมุน ที่คอมมิวเตเตอร์จะมีอาร์ค ทำให้เป็นหลุมเป็นบ่อที่หน้าสัมผัสและมีการสึกหรอเกิดขึ้นต้องการการซ่อมบำรุงรักษาบ่อย ๆ

รูปที่ 3.1.3 การควบคุมอัตราเร็วโดยวิธีปรับเปลี่ยนแรงดันป้อนเข้าอาร์มา - เจอร์และปรับเปลี่ยนค่าความต้านทานในวงจรมอเตอร์ ซึ่งจะให้เห็นโค้งลักษณะสมบัติ (ก) ระหว่างแรงหมุนกับอัตราเร็ว (ข) ระหว่างแรงม้ากับอัตราเร็ว

เราอาจขจัดข้อเสียเปรียบที่กล่าวข้างบนนี้โดยนำเอาไซริสเตอร์เข้ามาควบคุม แทน ซึ่งอาจแบ่งออกเป็น 2 วิธีใหญ่ ๆ ตามแบบของแหล่งจ่ายไฟฟ้า คือ

1) แหล่งจ่ายไฟฟ้าคีซี ใช้วงจรสับไฟฟ้า (chopper) เปลี่ยนไฟฟ้าคีซีจากแหล่งจ่ายให้เป็นไฟฟ้าคีซี ที่ปรับเปลี่ยนแรงดันคีซีเอาต์พุตได้

2) แหล่งจ่ายไฟฟ้าเอซี ใช้วงจรคอนเวอร์เตอร์เข้าเรียงกระแสเปลี่ยนให้เป็นไฟฟ้าดีซี ซึ่งเราอาจแบ่งย่อยวิธีนี้ออกเป็น 2 วิธี คือ

- (1) แรงดันดีซีเอาต์พุต (ของคอนเวอร์เตอร์) ที่ปรับเปลี่ยนค่าได้
- (2) แรงดันดีซีเอาต์พุต (ของคอนเวอร์เตอร์) มีค่าคงที่ แล้วใช้วงจรสับไฟฟ้าเข้าปรับเปลี่ยนค่าแรงดันดีซีอีกชั้นหนึ่ง



กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ อ.กฤดากร กล่อมการ ที่คอยให้คำปรึกษาตลอดมา
ขอบคุณศูนย์บริการและพัฒนาวิศวกรรมที่ให้ความช่วยเหลือทางด้านเครื่องคอม-
พิวเตอร์และเครื่องถ่ายเอกสาร ผู้จัดทำขอขอบคุณเพื่อนๆ ทุกคนที่คอยช่วยเหลือ
และให้กำลังใจจนปริญญาโทขั้นนี้สำเร็จไปด้วยดี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



" เครื่องจักรกลหนัก "

ยี่ห้อ: มีชูเวชย์

สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)

" กลไกและกลศาสตร์ของเครื่องจักรกล "

ผศ. วุฒิชัย กบิลกาญจน์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

" การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม 2 "

ดร. วลีทธิ์ อิงภากรณ์

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชาญ-ถนัดงาน

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

" ควบคุมเครื่องกลไฟฟ้าด้วยอิเล็กทรอนิกส์กำลัง "

วิชัย ตั้งขจันทรานนท์

สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)