

PRO-MEC

251

2543

๑.๒

ชุดสาธิตระบบส่งกำลังในรถยนต์

DEMONSTRATE AUTOMOTIVE TRANSMISSION SYSTEM

๐๘ ส.ค. 2544



โครงการวิศวกรรมศาสตร์นี้เป็นส่วนของการศึกษาหลักสูตร

อุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ปีการศึกษา 2543

หัวข้อโครงการวิศวกรรมศาสตร์

โดย

ภาควิชา

อาจารย์ที่ปรึกษา

ชุดสาริระบบส่งกำลังในรถยนต์

นายคำเกิง รัตมีชุมทอง

นายชัยเกษม แรมนิล

วิศวกรรมศาสตร์

อาจารย์บัญชา กังตระกูล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ อนุมัติให้นับโครงการ
วิศวกรรมศาสตร์เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต

_____ คณะบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร. ศักดิ์ กองสุวรรณ)

คณะกรรมการสอบ โครงการงานวิศวกรรมศาสตร์

_____ ประธานกรรมการ
(อาจารย์บัญชา กังตระกูล)

_____ กรรมการ
(อาจารย์วิจิต บัวแก้ว)

_____ กรรมการ
(อาจารย์ตำรวจ ละครนันท์)

_____ กรรมการ
(อาจารย์ธีรภัทร หลิมบุญเรือง)

ชุดสาธิตระบบส่งกำลังในรถยนต์

ปีการศึกษา 2543

โดย

นายคำเกิง รัชมิขุทอง

นายชัยเกษม แรมนิล

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์บัญชา กังตระกูล

บทคัดย่อ

โครงการวิศวกรรมศาสตร์นี้เป็นชุดสาธิตระบบส่งกำลังในรถยนต์ ซึ่ง Lay out ผ่า เกียร์และเฟืองท้าย เพื่อให้เห็นหลักการทำงานของเฟืองท้าย และเกียร์ ในตำแหน่งการเข้าเกียร์ในแต่ละตำแหน่งของเกียร์ ซึ่งได้ติดตั้งมอเตอร์ไว้ เพื่อขับให้ input shaft ของเกียร์หมุน เพื่อที่จะได้คำนวณ หาค่าอัตราทดของเกียร์และเฟืองได้ อัตราทดของเกียร์ คือ เกียร์ 1 ได้ 1:3.789, เกียร์ 2 ได้ 1:2.220, เกียร์ 3 ได้ 1:1.335, เกียร์ 4 ได้ 1:1 และเกียร์ถอยหลังได้ 1:4.210 และอัตราทดเฟืองท้ายได้ 1:3.889 ผลการทดลองพบว่าอัตราทดได้ใกล้เคียงกับการคำนวณจากจำนวนฟันของเฟืองทดมาก นอกจากนี้ ชุดสาธิตนี้ยังสามารถทดลองการทำงานต่าง ๆ ของชุดเฟืองท้ายและเฟืองคอกบอกให้เห็นจริงได้อีก ด้วย

DEMONSTRATE AUTOMOTIVE TRNSMISSION SYSTEM

Academic year 2000

By

Mr.Dumkerng Rutsmiyungtong

Mr.Chaikasam Ramnil

Progect Report Advisor

Mr.Bancha Kongtragool

ABSTRACT

This Engineering Project was demonstrated automotive transmission system, which shown cutaway of all transmission system. In this project we use electric motor for prime driver and can calculate transmission ratio as follow 1:3.789 for the first, 1:2.220 for the second, 1:1.335 for the third, 1:1 for the last gear and 1:4.210 for reward idler gear. From the result we can concluded transmission ratio nearly same as calculation and the other benefit was can shown the function work of rear transmission system and input shaft in realistic.

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบพระคุณ อาจารย์บัญชา กังกระกุล ที่ให้คำปรึกษาดลจดจนตรวจสอบ
แก้ไขจนทำให้โครงการวิศวกรรมศาสตร์ฉบับนี้เสร็จสิ้นด้วยดี ขอขอบพระคุณคณะกรรมการตรวจ
สอบโครงการวิศวกรรมศาสตร์ที่ให้คำแนะนำและตรวจสอบแก้ไขอีกครั้งหนึ่งเพื่อให้โครงการนี้มี
ความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น และท้ายนี้ขอขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ และคณาจารย์ทุกท่านที่ได้อบรมสั่ง
สอนให้ความรู้แก่ผู้เขียนมาตั้งแต่ต้นจนกระทั่งทำให้ผู้เขียนมีโอกาสเขียนโครงการวิศวกรรมศาสตร์
ฉบับนี้ได้สำเร็จ



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ฌ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ฎ
บทที่	
1. บทนำ	
ความสำคัญและความเป็นมาของโครงการ	1
วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
ขอบเขตของโครงการ	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
หน้าที่ของกระดูกกึ่ง	4
กลไกการเข้ากึ่ง	6
การส่งถ่ายกำลังของกึ่ง	11
อัตราทดของกระดูกกึ่ง	15
เพลากลาง	17
ชนิดของการนขับเคลื่อนของเพล	18
แบบของเพลากลาง	19
ข้อต่ออ่อน	20
การเปลี่ยนแปลงความเร็วเชิงมุมของข้อต่ออ่อน	22
การเคลื่อนที่เชิงมุม อัตราทด และอัตราเร่งของข้อต่ออ่อนแบบง่าย ๆ	25
ข้อต่อเลื่อน	26
เฟืองท้าย	27

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง(ต่อ)	
ชนิดของเฟืองที่ใช้กับเฟืองท้าย(ต่อ)	34
หลักการทำงานของเฟืองท้าย	36
อัตราทดของเฟืองท้าย	38
อัตราทดรวม	39
ชุดเฟืองคอกงอก	40
คาน	42
เสา	43
3. การออกแบบและการคำนวณ	
การคำนวณเสา	48
การคำนวณคาน	50
4. การทดสอบ	
อุปกรณ์การทดลอง วิธีการทดลอง	53
ตารางบันทึกผลจากการคำนวณ	54
ตารางบันทึกผลจากการทดลอง	55
5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	
สรุปผลการทดลอง	58
ข้อเสนอแนะ	58
บรรณานุกรม	59
ภาคผนวก	60
Lap sheet	79
ประวัติผู้จัดทำ	

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่	
2.1 อัตราทดของรอยต่อห้อยและรุ่นต่าง ๆ	16
2.2 แสดงการหมุนเกลื้อนที่สัมผัสกันระหว่างเฟืองบายศรีและเฟืองข้าง	33
4.1 ผลการคำนวณจากพื้นเฟือง	48
4.2 บันทึกผลจากการทดลอง	49
4.3 อัตราทดเฟืองท้าย	49
4.4 ค่าความเร็วของเฟืองบายศรีกับเฟืองคอกจอก	50
 ตารางภาคผนวกที่	
1.1 RULE-OF-THUMB FILLETWELD SIZES	64
1.2 MINIMUM WELD SIZES FOR THICK PLATES (AWS)	64
1.3 คุณสมบัติของงานเชื่อมไฟฟ้า	65
1.4 ค่าความแข็งแรงที่ยอมให้ได้ในรอยเชื่อม	66
1.5 ขนาดสายพานลึ้มและล้อสายพานตามมาตรฐาน	67
1.6 ค่าความปลอดภัย N_f	68
1.7 คุณสมบัติทางกลของเหล็กกล้าคาร์บอนธรรมดาและเหล็กกล้าผสม	69
1.8 H-Beam JIS G 3192	70
1.9 (ต่อ) คุณสมบัติของหน้าตัด	71

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงระบบส่งกำลังจากเครื่องยนต์ไปยังล้อ	3
2.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของแรงบิด แรงม้า ความดัดงอของเครื่องยนต์	5
2.3 แสดงกระปุกเกียร์แบบสไตรดิ้ง	5
2.4 แยกชิ้นส่วน แสดงส่วนประกอบต่าง ๆ ของเมฆกระปุกเกียร์แบบซิงโครเมท	6
2.5 รูปผ่าแสดงชิ้นส่วนต่าง ๆ ของกระปุกเกียร์แบบซิงโครเมท	7
2.6 รูปแยกชิ้นส่วนแสดงส่วนต่าง ๆ ของซิงโครไนเซอร์แบบธรรมดา	8
2.7 แสดงการทำงานของซิงโครไนเซอร์แบบธรรมดา	9
2.8 รูปแยกชิ้นส่วนของซิงโครไนเซอร์แบบเฟืองทองเหลือง	10
2.9 แสดงการติดตั้งชุดซิงโครไนเซอร์ภายในกระปุกเกียร์	10
2.10 รูปผ่าแสดงการทำงานของซิงโครไนเซอร์	11
2.11 แสดงการทำงานเมื่อเฟืองทองเหลืองเริ่มจับกับคลัตช์	11
2.12 แสดงการเข้าสุมของฟันบนปลอกเลื่อนของเฟืองกับฟันหน้า	12
2.13 รูปแยกชิ้นส่วนของซิงโครไนเซอร์แบบสลัก	12
2.14 แสดงส่วนประกอบต่าง ๆ ของเฟืองเกียร์	13
2.15 ขบวนการเฟืองแสดงการส่งถ่ายกำลังขณะเป็นเกียร์	14
2.16 ขบวนการเฟืองแสดงการส่งถ่ายกำลังขณะเป็นเกียร์ 2	15
2.17 ขบวนการเฟืองแสดงการส่งถ่ายกำลังขณะเป็นเกียร์ 3	15
2.18 ขบวนการเฟืองแสดงการส่งถ่ายกำลังขณะเป็นเกียร์ 4	16
2.19 ขบวนการเฟืองแสดงการส่งถ่ายกำลังขณะเป็นเกียร์ถอยหลัง	17
2.20 แสดงตำแหน่งการติดตั้งของเพลากลางและข้อต่ออ่อน	20
2.21 แสดงการเคลื่อนที่ของเพลากลางรถยนต์	21
2.22 เพลากลางชนิดขับเคลื่อนแบบทอร์คฮับไดร์	22
2.23 การขับเคลื่อนเพลากลางแบบฮอคคิคิสไดร์	23
2.24 อาการม้วนตัวของแหวนสปริงเมื่อเพลากลางหมุน	23
2.25 เพลากลางแบบสองข้อต่ออ่อน	24
2.26 เพลากลางแบบสามข้อต่ออ่อน	25

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.27 แสดงข้อต่ออ่อนแบบสุกชนิดลูกถ้วยลูกปืนเชลล์	22
2.28 การเปลี่ยนแปลงความเร็วเชิงมุมของข้อต่ออ่อนแบบก้ามปู	23
2.29 การแสดงข้อต่ออ่อน	25
2.30 รูปข้อต่ออ่อน 2 ข้อ	26
2.31 แสดงตำแหน่งติดตั้งของเฟืองท้ายในรถยนต์ขับเคลื่อนล้อหลัง	27
2.32 เปรียบเทียบการหมุนของล้อด้านซ้ายกับล้อด้านขวา	28
2.33 แสดงโครงสร้างของเฟืองท้าย	29
2.34 ส่วนประกอบของเฟืองท้ายที่ใช้กับรถยนต์ขับเคลื่อนล้อหลัง	29
2.35 ตำแหน่งการจัดวางของเฟืองขับและเฟืองบางศรีแบบสเปอร์บีเวล	30
2.36 ตำแหน่งการจัดวางของเฟืองขับกับเฟืองบางศรีแบบไฮสปอยด์บีเวล	30
2.37 ตำแหน่งการจัดวางของเฟืองขับกับเฟืองบางศรีแบบสไปรอลบีเวล	31
2.38 ตำแหน่งการจัดวางของเฟืองขับและเฟืองบางศรีแบบเฮลิคอล	31
2.39 แสดงการทำงานของเฟืองท้ายในขณะที่รถเคลื่อนที่ไปข้างหน้า	32
2.40 แสดงการทำงานของเฟืองท้ายก่อนเข้าโค้ง	33
2.41 เฟืองท้าย	36
2.42 เฟืองดอกจอก	36
2.43 ชุดการโค้งของคาน	38
2.44 แสดงรอยเชื่อมต่าง ๆ	41
2.45 แสดงลักษณะการใช้งานของรอยเชื่อม	42
2.46 แสดงโมเมนต์ความเค้นของรอยเชื่อม	43
2.47 แสดงการเยื้องศูนย์ของแรง	43
2.48 แสดงโมเมนต์คดและเส้นแรง	44
2.49 แสดงภาพการรวมความเค้น	44
2.50 ทิศทางกระทำของแรง	46
2.51 อุปกรณ์ล็อกโดยอาศัยความเสียดทาน	47
2.52 อุปกรณ์ล็อกการเคลื่อนที่โดยตรง	48

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่(ต่อ)	
3.1 แสดงการกระทำของแรงบนเสา	48
3.2 แสดง (SFD) และ (BMD) ของคานกลาง	50
3.3 แสดง (SFD) และ (BMD) ของคานด้านหลัง	52
4.1 การส่งกำลังเกียร์เดินหน้า	54
4.2 การส่งกำลังเกียร์ถอย	54
4.3 เฟืองบายศรี กับเฟืองคอกจอก	57
รูปภาพภาคผนวกที่	
1.1 ขนาดของล้อ	62
1.2 ชุดสาริตระบบส่งกำลัง (ด้านหน้า)	72
1.3 ชุดสาริตระบบส่งกำลัง (ด้านข้าง)	72
1.4 ชุดสาริตระบบส่งกำลัง (ด้านหลัง)	73
1.5 ภาพผ่าของกระปุกเกียร์	73
1.6 ภาพของเฟืองเกียร์ 1 ถึงเกียร์ 4	74
1.7 ภาพของเฟืองท้าย	74
1.8 ภาพของเฟืองบางศรี, เดือยหนู, คอกจอก	75
1.9 ภาพก้านปูและชุดชิงโครเมท	75

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
A	พื้นที่หน้าตัด	m^2
B	ความกว้างของสิ่งประดิษฐ์ตั้งฉาก กับความเร็วลม	-
F.S.	ค่าความปลอดภัย	-
F	แรงกระทำ	N
I	โมเมนต์ความเฉื่อย	mm^4
Le	ความยาวสมมูล	-
L	ความยาวของสิ่งประดิษฐ์	m
M	โมเมนต์ค้ำ	Nm
N	จำนวนใบพัด	-
P	กำลังงาน	watt
Ps	กำลังของเพลลา	watt
ρ	ความหนาแน่นของของไหล	kg/m^3
σ	อัตราส่วน solidity	-
τ	ความเค้นเฉือน	N/m^2
σ	ความเค้น	N/m^2
ω	ความเร็วเชิงมุม	rad/s
ϕ	มุมที่สายพานคล้อย	-
T	แรงบิด	Nm

บทที่ 1

บทนำ

ความสำคัญและที่มาของโครงการ

โครงการเป็นโครงการที่จัดทำขึ้น เป็นสื่อประกอบการเรียนการสอนสำหรับนิสิตนักศึกษาในคณะวิศวกรรมเครื่องกลและผู้สนใจระบบการส่งกำลังของรถยนต์เบื้องต้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งให้ได้รู้เห็นระบบการทำงานอย่างชัดเจนของระบบการส่งกำลังรถยนต์ ดังนั้น ความสำคัญของโครงการนี้จึงมุ่งเน้นให้นิสิตนักศึกษาได้ฝึกฝนทำความเข้าใจได้ง่ายกับการทำงานของระบบส่งกำลังรถยนต์ที่ซับซ้อนและนิสิตนักศึกษาจะได้ศึกษาส่วนประกอบชิ้นส่วนต่าง ๆ อีกด้วย

ที่มาของโครงการ

เนื่องจากได้เล็งเห็นความสำคัญในการศึกษาถึงหลักการทำงานของการทำงานของรถส่งกำลังรถยนต์ รวมถึงชิ้นส่วนการทำงานภายในของแต่ละชิ้นส่วน เช่น การทำงานภายในเกียร์ , เพื่อง่ายเป็นต้น จึงได้มีการคิดโครงการนี้ขึ้น ซึ่งนิสิตนักศึกษา จะได้ทำการศึกษาหลักการทำงานของชิ้นส่วนต่าง ๆ ของระบบส่งกำลังรถยนต์ จะทำให้การเรียนการสอนมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

ในการจัดทำโครงการครั้งนี้ ได้มีการแสดงหลักการทำงานของชิ้นส่วนต่าง ๆ อย่างชัดเจน และยังรวมไปถึงขั้นตอนของการทำงานในแต่ละชิ้นส่วนและความสัมพันธ์ต่าง ๆ ในการทำงานของระบบ เพื่อให้ง่ายต่อการศึกษานิสิตนักศึกษาและผู้ที่เกี่ยวข้อง

วัตถุประสงค์ของโครงการ

เนื่องจากโครงการนี้เป็นการจัดทำสื่อการเรียนการสอน สามารถสรุปวัตถุประสงค์ได้ดังนี้

1. เพื่อใช้สำหรับเป็นสื่อการเรียนการสอนของภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

2. เพื่อให้นิสิตนักศึกษาได้ทำการศึกษาถึงหลักการทำงานของระบบส่งกำลังรถยนต์ ได้อย่างเข้าและถูกต้อง
3. เพื่อให้นิสิตนักศึกษา รู้จักชิ้นส่วนต่าง ๆ ของระบบส่งกำลังรถยนต์
4. เพื่อให้นิสิตนักศึกษาเข้าใจหลักการทำงานของชิ้นส่วนต่าง ๆ ของระบบส่งกำลังรถยนต์
5. เพื่อให้นิสิตนักศึกษารู้จักวิธีการถอดประกอบที่ถูกต้อง

ขอบเขตของโครงการ

1. ชุดของเกียร์มีสูงสุดได้แค่ 4 เกียร์ เดินหน้า และ 1 เกียร์ ถอยหลัง
2. ความเร็วรอบของ (Input Shaft) ของเกียร์จะคงที่ตลอด
3. ชุดของเฟืองท้ายจะถูกยึดแน่น

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

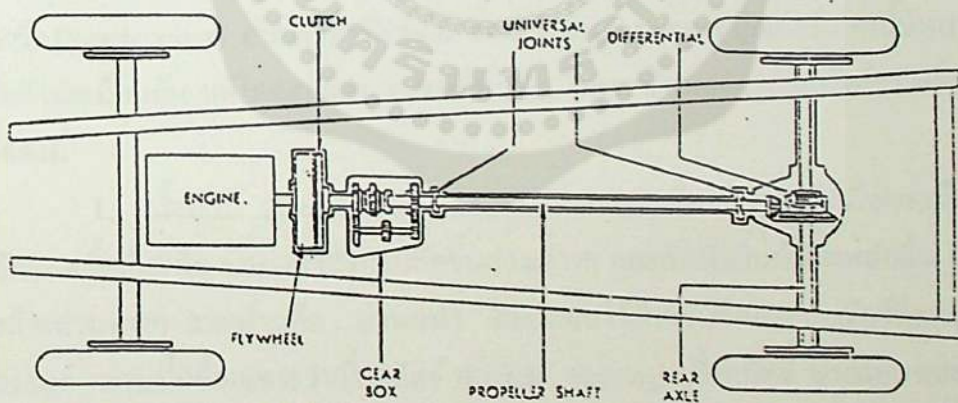
1. ภาควิชาจะได้ใช้เป็นสื่อการเรียนการสอนให้นิสิตนักศึกษา
2. นิสิตนักศึกษจะได้มีความเข้าใจถึงหลักการทำงานของระบบส่งกำลังรถยนต์เบื้องต้นอย่างถูกต้อง
3. นิสิตนักศึกษจะได้รู้จักชิ้นส่วนต่าง ๆ ของระบบส่งกำลังรถยนต์
4. นิสิตนักศึกษจะได้รู้จักหลักการทำงานของชิ้นส่วนต่าง ๆ
5. นิสิตนักศึกษจะได้รู้จักวิธีการถอดประกอบของระบบส่งกำลังรถยนต์ได้ถูกต้อง
6. ข้อดังกล่าวมาข้างต้น จะทำให้นิสิตนักศึกษามีพื้นฐานที่ดีในการศึกษาในภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

กระปุกเกียร์ (TRANSMISSION OR GEARBOX)

กระปุกเกียร์ประกอบด้วยขบวนเฟือง (Gear train) ประกอบอยู่ในเสื้อเกียร์ (Transmission case) ซึ่งทำด้วยโลหะเป็นเหล็กหล่อหรืออะลูมิเนียม ขบวนเฟืองที่ใช้เป็นขบวนเฟือง 2 ชั้น (Compound gear train) กำลึงจากเครื่องยนต์จะส่งผ่านคลัตช์ กระปุกเกียร์ เฟลากลาง เฟืองท้าย และเฟลาท้ายเพื่อขับหมุนล้อ ดังรูปที่ 1 กระปุกเกียร์บางแบบมีเกียร์พิเศษ (Transfer gear) เกียร์นี้จะส่งกำลังไปเฟลาใช้งาน ซึ่งอาจใช้กับอุปกรณ์อื่นที่ไม่ใช่ขับหมุนล้อเกียร์นี้มักจะทำงานเมื่อรถอยู่กับที่ เกียร์บางแบบมีโอเวอร์ไดรฟ์ต่อท้ายกระปุกเกียร์เพื่อหมุนเฟลากลางให้เร็วกว่าเฟลาส่งกำลังของกระปุกเกียร์



รูปที่ 2.1 แสดงระบบส่งกำลังจากเครื่องยนต์ไปยังล้อ

เครื่องยนต์ที่ใช้สำหรับรถยนต์ ไม่ว่าจะเป็นเครื่องยนต์แกสโซลีน ดีเซล หรือโรตารี เป็นเครื่องยนต์สันดาปภายใน (Internal combustion engine) เครื่องยนต์ประเภทนี้แรงบิดจะต่ำเมื่อความเร็วของเครื่องยนต์ถึงต่ำ ไม่พอที่จะทดกระชากโมเมนตัม จึงจำเป็นต้องมีกระปุกเกียร์

หน้าที่ของกระปุกเกียร์

กระปุกเกียร์ของรถยนต์มีหน้าที่ดังนี้

1. เพิ่มแรงบิด เพื่อใช้สำหรับเริ่มออกรถ
2. เปลี่ยนอัตราทด เมื่อรถมีแรงเฉื่อยมากพอ การลดอัตราทดของเกียร์ลงจะช่วยให้รถมีความเร็วสูงขึ้น ทำให้ประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิงและถึงที่หมายได้เร็วขึ้น ฉะนั้นรถยนต์จึงมีเกียร์ต่าง ๆ เช่น เกียร์ 1,2,3 และ 4 เป็นต้น การเลือกใช้เกียร์ให้เหมาะสมจะช่วยให้ประหยัดเชื้อเพลิงและขับขีไ้ได้อย่างนุ่มนวล

3. ถอยหลัง การใช้รถยนต์จำเป็นจะต้องถอยหลังเพื่อกลับรถหรือเมื่อหยุดเลขที่หมายไปในช่วงระยะสั้นๆ ซึ่งจะช่วยทำให้การใช้งานสะดวกขึ้น จึงจำเป็นต้องมีเกียร์ถอยหลัง (Reverse gear)

ตัดกำลังของเครื่องยนต์ การใช้รถยนต์นั้นจำเป็นต้องติดเครื่อง หรือจอร์คลอยโดยไม่ต้องดับเครื่อง ถ้าใช้คลัตช์เป็นตัวกำลังจะทำให้ยุ่งยากในการใช้งาน และทำให้อายุใช้งานของคลัตช์สั้นลง อีกประการหนึ่งก็คือ การเปลี่ยนอัตราทดหรือเปลี่ยนเกียร์นั้น จะต้องปลดเกียร์อื่นออกก่อนแล้วจึงเข้าเกียร์ใหม่ ถ้าเข้าสองเกียร์ได้พร้อมกัน จะเกิดการขัดตัวที่ฟันเฟืองยึดยึดให้เครื่องยนต์หมุน ฉะนั้นก่อนจะเข้าเกียร์หนึ่งจะต้องปลดเกียร์อื่นออกเป็นเกียร์ว่างหรือตัดกำลังของเครื่องยนต์เสียก่อนแล้วจึงจะเข้าเกียร์อื่นได้

กระปุกเกียร์ซิงโครเมช (Synchromesh Transmissio) รูปที่ 4 เป็นรูปแยกแสดงชิ้นส่วนต่าง ๆ ของกระปุกเกียร์ซิงโครเมช แต่ออกแบบให้เฟืองทุกตัวขบกันตลอดเวลา และมีกลไกปรับความเร็ว (Synchronizer) เพื่อให้เข้าเกียร์ง่าย ชิ้นส่วนต่าง ๆ ของกระปุกเกียร์แบบนี้มีหลายชิ้น แต่ละชิ้นก็ทำไม่เหมือนกัน แต่โดยหลักการแล้วเหมือนกัน โครงสร้างของกระปุกเกียร์แบ่งเป็นส่วนใหญ่ ๆ ได้ดังนี้

1. เสื้อเกียร์ (Transmission case of housing) เสื้อเกียร์บางทีก็เรียกว่าเรือนเกียร์ หน้าที่หลักของเสื้อเกียร์คือ เป็นโครงสำหรับยึดชิ้นส่วนต่างๆ และเป็นที่เก็บน้ำมันหล่อลื่น เสื้อเกียร์ประกอบด้วยส่วนต่างๆ สามส่วนคือ ส่วนหน้า ออกแบบไว้สำหรับยึดกระปุกเกียร์ติดกับเสื้อสูบของเครื่องยนต์ ส่วนนี้มีชื่อเฉพาะว่าเสื้อคลัตช์ (Clutch housing) เสื้อคลัตช์ บางแบบหล่อเป็นตัวเดียวกับกระปุกเกียร์ ซึ่งมักจะเป็นเสื้อเกียร์แบบบอลูมิเนียม บางแบบก็หล่อแยกต่างหากแล้วใช้สลักเกลียวยึดติดกับเสื้อเกียร์ เสื้อเกียร์นี้มักทำด้วยเหล็กหล่อ ส่วนกลาง ใช้สำหรับยึดชิ้นส่วนต่างๆ ซึ่งได้แก่ ชุดเพลาคลัตช์ (Clutch shaft) ชุดเพลารอง (Countershaft) และชุดเพลาส่งกำลัง (Main shaft) นอกจากนี้ยังเป็นที่ยึดน้ำมันหล่อลื่นอีกด้วย ส่วนนี้มีชื่อเรียกเฉพาะว่าเสื้อเกียร์ (Transmission case) ส่วนหลังเรียกว่าเสื้อเพลา (Extension housing) ใช้สำหรับรองรับเพลาส่งกำลังไปยังเพลากลางเนื่องจากมีน้ำมันหล่อลื่นอยู่ภายใน ฉะนั้นเกียร์จะมีปะเก็นและซิลกันน้ำมันรั่วอยู่ด้วย ซึ่งมักจะอยู่ที่รอยประกบของส่วนต่าง ๆ เช่น ด้านท้ายของเสื้อเพลาและเพลาคลัตช์

สวมอยู่ในนู้ชหรือลูกปืนที่อยู่ทีปลายด้านหลังของเพลาข้อเหวี่ยงเพื่อให้ได้ศูนย์เดียวกัน ปลายเพลาคลัตช์ด้านที่อยู่ภายในเสื้อเกียร์จะมีเฟืองซึ่งเป็นเนื้อเดียวกันกับเพลาคลัตช์เฟืองนี้จะขบอยู่กับเฟืองที่เพลารองอยู่ตลอดเวลา เนื่องจากเฟืองเพลาคลัตช์มีขนาดเล็กกว่าเฟืองเพลารอง ฉะนั้นจะมีการทดรอบขึ้นคั่นที่เฟืองคู่นี้ รูปที่ 5 เป็นรูปแสดงการประกอบของชิ้นส่วนต่าง ๆ ของกระปุกเกียร์แบบชิงโครเมซ

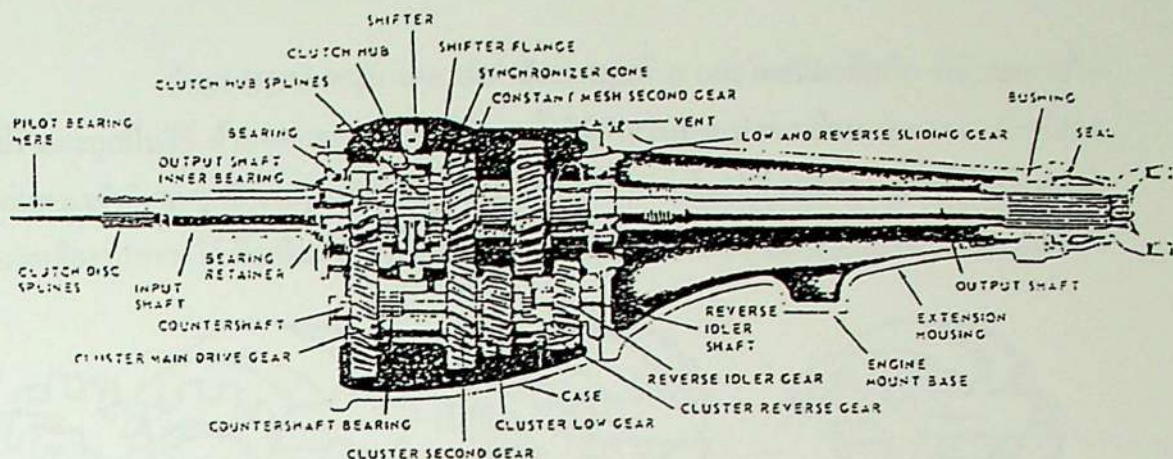
2.2 เพลารอง (Countershaft) เพลารองอยู่ด้านล่างของเพลาคลัตช์ ติดตั้งอยู่ภายในเสื้อเกียร์ ที่เพลาตัวนี้จะมีเฟืองอยู่หลายตัว แต่ละตัวยึดติดเป็นเนื้อเดียวกันจึงหมุนไปด้วยกัน ขนาดของเฟืองแต่ละตัวคลลกัน เพืองตัวใหญ่ที่สุดคือเฟืองตัวที่ขบกับเฟืองเพลาคลัตช์ เฟืองเกียร์ถอยหลังจะมีขนาดเล็กที่สุด ตัวที่โคขึ้นมาเป็นลำดับที่สองคือเฟืองเกียร์ 1 ลำดับที่สามคือเฟืองเกียร์ 2 สำหรับรถที่มี 4 เกียร์ เฟืองที่โคเป็นทีสี่คือ เฟืองเกียร์ 3 ถ้าเป็นรถที่มีเกียร์เดินหน้า 3 เกียร์ เฟืองสำหรับเกียร์ 3 จะใช้เฟืองที่เพลาคลัตช์ส่งกำลังแทน เฟืองที่เพลารองนี้จะมี 4 หรือ 5 ตัว สุดแล้วจำนวนเกียร์ บางทีก็เรียกว่าเฟือง 4 ชั้น หรือ 5 ชั้น เฟืองของเพลารองนี้นอกจากจะทำหน้าที่ปรับอัตราทดให้ผู้ขับรถเลือกใช้เกียร์ได้เหมาะสมแล้วยังทำหน้าที่เปลี่ยนทิศทางหมุนอีกด้วย

2.3 เพลาส่งกำลัง (Main shaft) เพลาส่งกำลังอยู่ในแนวเดียวกับเพลาคลัตช์ เพลาส่งกำลังจะมีเฟืองสำหรับรับการถ่ายทอดกำลังจากเฟืองในเพลารองเป็นคู่กัน เฟืองทุกตัวในเพลาส่งกำลังจะขบกับเฟืองในเพลารองตลอดเวลา ยกเว้นเฟืองเกียร์ถอยหลัง และหรือเฟืองเกียร์ 1 การที่เฟืองขบกันอยู่ตลอดเวลาแต่ไม่ถ่ายทอดกำลังไปยังเพลาส่งกำลังเพราะมีนู้ชสวมอยู่ระหว่างเพลาทั้งสองทำให้เฟืองหมุนได้อิสระ เวลาเข้าเกียร์จะต้องเลื่อนชุดเข้าเกียร์ (Synchronizer) เข้าขบกับฟันหน้าเฟือง (Dog or dog teeth) บนเพลาส่งกำลังหรือเพลาคลัตช์

ที่เพลาและเฟืองทุกตัวจะมีนู้ชหรือแบร็กรองรับเพื่อให้ชิ้นส่วนต่าง ๆ หมุนได้คล่อง มีระยะเบียดน้อย และทำให้เฟืองให้ศูนย์ (Alignment)

กลไกการเข้าเกียร์ (Shifting mechanism)

ทำหน้าที่เลื่อนชุดเข้าเกียร์ให้ขบกับฟันหน้าของเฟือง หรือเลื่อนเฟืองเข้าขบกัน กลไกเข้าเกียร์อาจอยู่ที่ฝารอบเกียร์หรือที่เสื้อเกียร์ เมื่อเลื่อนคันเกียร์เพื่อเลือกเกียร์ กลไกเข้าเกียร์จะบังคับให้เป็นเกียร์ว่างก่อนแล้วจึงเข้าเกียร์ได้ การเข้าเกียร์จะเข้าได้ทีละเกียร์ จะเข้าพร้อมกันสองเกียร์ไม่ได้ เพราะจะเกิดการขัดตัวทำให้เครื่องชนคดับ เกียร์และอุปกรณ์อื่นชำรุด กลไกเข้าเกียร์จะบังคับให้เข้าเกียร์ได้เพียงเกียร์เดียว และยังป้องกันมิให้เกียร์หลุดอีกด้วย

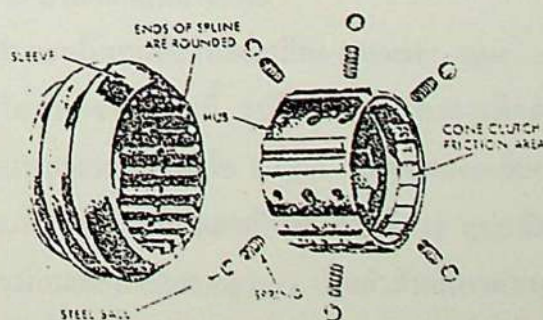


รูปที่ 2.5 รูปผ่าแสดงชิ้นส่วนต่าง ๆ ของกระปุกเกียร์แบบซิงโครเมช

ซิงโครไนเซอร์หรือซิงโครเมช (Synchronizer or sychromesh)

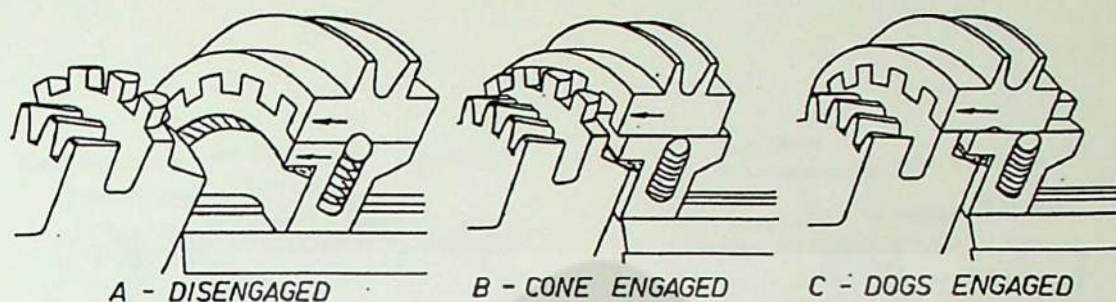
เป็นเกียร์แบบซิงโครเมชนั้นเพื่องบนเพลาส่งกำลังเข้ากับเพื่องบนเพลารองตลอดเวลา (Constantmesh) เวลาเข้าเกียร์จะต้องเลื่อนปลอกเลื่อน (Sliding sleeve or hub sleeve) เข้าขบกับฟันหน้าเฟือง (Dog teeth) แต่การเลื่อนปลอกเลื่อนเข้าขบกับฟันหน้าเฟืองนั้นทำได้ยาก และเกิดเสียงดังเพราะความเร็วของตัวปลอกเลื่อนกับเฟืองไม่เท่ากัน ชุดซิงโครไนเซอร์จะดันและจับให้เฟืองและปลอกเลื่อนมีความเร็วเท่ากันเสียก่อนแล้วจึงเข้าขบกันทำให้เข้าเกียร์ง่าย ซิงโครไนเซอร์มีหลายแบบ แต่ละแบบมีรูปร่างแตกต่างกันแต่หลักการทำงานเหมือนกัน คือจะจับให้เฟืองและปลอกเลื่อนมีความเร็วเท่ากันเสียก่อนจึงจะให้ร่องฟันเข้าขบกัน

1. ซิงโครไนเซอร์แบบธรรมดา (Plain type synchronizer) เป็นรูปแยกชิ้นส่วนแสดงส่วนต่าง ๆ ของซิงโครไนเซอร์แบบนี้ คุมของชุดเข้าเกียร์ (Hub) เฆาะร่อง (Spline) อยู่ภายในสวมอยู่กับร่อง (Spline) บนเพลากำลังส่ง



รูปที่ 2.6 รูปแยกชิ้นส่วนแสดงส่วนต่าง ๆ ของซิงโครไนเซอร์แบบธรรมดา

ถ้าคุม (Hub) หมุน เพลาส่งกำลังจะหมุนด้วย และโดยนัยกลับกัน ที่ตัวคุมจะใส่ สปริงและลูกปืนไว้ ด้านนอกของคุมทำเป็นร่องเพื่อใช้สำหรับสวมปลอกเลื่อน (Sleeve) เมื่อปลอกเลื่อนสวมเข้ากับคุมลูกปืนจะถูกสปริงดันให้ติดกับร่องกลางภายในปลอกเลื่อน ที่หัวท้ายของคุมฝังทองเหลืองรูปกรวยไว้เพื่อเป็นตัวยึดให้ความฝืดตรงบริเวณที่เรียกว่า (Cone clutch friction area)



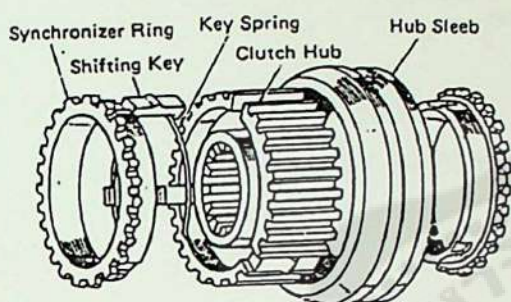
รูปที่ 2.7 แสดงการทำงานของซิงโครไนเซอร์แบบธรรมดา A ยังไม่เข้าขบ (ว่าง) B คลัตช์จับ C ปลอกเลื่อนเข้าขบฟันหน้าเฟือง

การทำงาน รูปที่ 2. 7 แสดงการทำงานของซิงโครไนเซอร์แบบธรรมดา A เมื่อเลื่อนคันเกียร์ปลอกเลื่อนจะถูกดันไปทางซ้ายมือดังแสดงด้วยลูกศร เนื่องจากสปริงดันลูกปืนติดกับปลอก จึงทำให้คุมเลื่อนตามไปด้วย B คุมจะเลื่อนไปจนคลัตช์ทองเหลืองชนกับคลัตช์รูปกรวยตัวผู้ของเฟืองทำให้เกิดความฝืดยึดให้เฟืองและคุมหมุนด้วยความเร็วเท่ากัน C เลื่อนคันเกียร์ต่อไปอีก ปลอกเลื่อนจะถูกดันเลยเข้าไปขบกับฟันหน้าเฟือง (Dog teeth) ขณะนี้สปริงจะยุบตัวให้ลูกปืนถูกกดลงไปข้างล่างเนื่องจากแรงจากคันเกียร์มากกว่าแรงอัดของสปริง

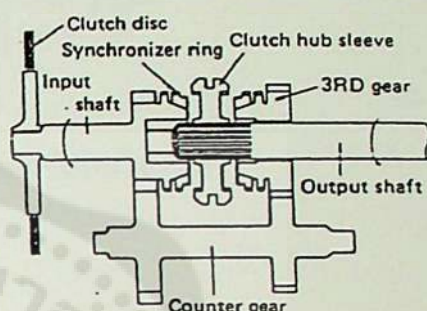
จะเห็นได้ว่าคลัตช์ทองเหลืองจะทำหน้าที่จับให้เฟืองและคุมมีความเร็วเท่ากันก่อน แล้วจึงขบฟันหน้าเฟืองทำให้เข้าเกียร์ได้ง่ายและไม่เกิดเสียงดัง ถ้าไม่มีชุดซิงโครไนเซอร์แล้วฟันเฟืองหน้าจะปะทะกับฟันของปลอกเลื่อนทำให้เข้าเกียร์ยากหรือเข้าไม่ได้ และทำให้เกิดเสียงดังอีกด้วย ซิงโครไนเซอร์แบบนี้ใช้กับรถอังกฤษบางยี่ห้อ

1. ซิงโครไนเซอร์แบบเฟืองทองเหลือง (Blocker type synchronizer) รูปที่ 2.8 เป็นรูปแยกชิ้นส่วนของซิงโครไนเซอร์แบบนี้ รูปที่ 2.9 แสดงการติดตั้งอยู่ภายในกระปุกเกียร์ ลักษณะสำคัญที่แตกต่างจากแบบธรรมดาตามข้อ 1 ก็คือ คลัตช์ทองเหลืองไม่ได้ติดอยู่กับคุมคลัตช์ (Clutch hub) แต่จะทำเป็นเฟืองทองเหลืองแยกเป็นชิ้นส่วนอิสระ คุมคลัตช์จะเลื่อนไม่ได้ เหมือนแบบธรรมดาตามข้อ 1 แต่จะมีลิ้มเลื่อน (Shifting key) เป็นตัวดันเฟืองทองเหลือง สปริงใช้เหล็กม้วนเป็นรูปวงกลมเรียกว่าสปริงดันลิ้ม (Key spring) แทนสปริงขด ตัวลิ้มเลื่อนจะทำหน้าที่แทนลูกปืนด้วย เมื่อประกอบเข้าในกระปุกเกียร์แล้วซิงโครไนเซอร์แบบนี้จะอยู่ในลักษณะดังรูปที่ 2.10 โดย

ลิ้มเลื่อน (Shifting sleeve) จะฝังอยู่ในร่องของคุมคลัตช์ (Clutch hub) โดยมีสปริง (Key spring) ค้างลิ้มเลื่อนให้อัดตัวกับปลอกเลื่อน (Hub sleeve) เพื่อทองเหลือง (Synchronizer ring) จะถอยด้วยอยู่ด้านหน้า แต่จะต้องหมุนไปพร้อมกับคุมคลัตช์ เพราะปลายของลิ้มเลื่อนสอดอยู่ระหว่างที่เฟืองทองเหลือง



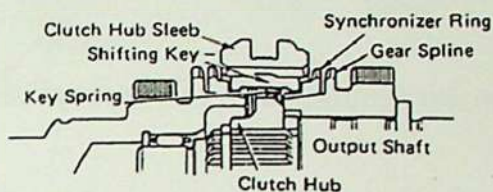
รูปที่ 2.8 รูปแยกชิ้นส่วนของซิงโครไนเซอร์
แบบเฟืองทองเหลือง (Blocker type
synchronizer)



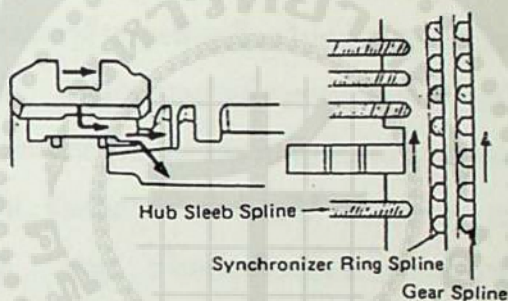
รูปที่ 2.9 แสดงการติดตั้งชุด
ซิงโครไนเซอร์ภายในกระปุกเกียร์

การทำงาน จากรูปที่ 2.10 เมื่อเข้าเกียร์ ปลอกเลื่อน (Clutch hub sleeve) จะเคลื่อนที่ตามมุขไปทางขวามือ ปลอกเลื่อนจะพาเอาลิ้มเลื่อน (Shifting key) เคลื่อนที่ไปด้วย ทำให้เฟืองทองเหลือง (Synchronizer ring) ถูกดันไปทางขวามือด้วยเฟืองทองเหลืองจะเบียดคลิดกับคลัตช์รูปกรวยบนเฟือง ทำให้ความเร็วของเฟืองทองเหลืองเท่ากับความเร็วของเฟืองของเพลาส่งกำลัง ดังรูปที่ 2.11 แต่เนื่องจากเฟืองทองเหลืองหมุนไปกับคุมคลัตช์ซึ่งสวมอยู่กับเพลาส่งกำลัง ฉะนั้นความเร็วของคุมคลัตช์และเฟืองบนเพลาส่งกำลังจึงเท่ากัน เมื่อลิ้มเลื่อนคันเกียร์ต่อไปอีกปลอกเลื่อนจะเคลื่อนที่ต่อไปอีก ทำให้ร่อง (Shline) ของปลอกเลื่อนชนกับร่องบนเฟือง (Gear spline) ร่องของปลอกเลื่อนและเฟืองปากมุม (Chamfer) ไว้ทำให้ฟันของปลอกเลื่อนเข้าขบกับฟันหน้าของเฟืองได้ง่าย ดังรูปที่ 2.12 เมื่อปลอกเลื่อนเข้าสวมกับเฟืองแล้ว กำลังงานจากเครื่องยนต์จะส่งผ่านเพลาคลัตช์ เพลารองส่งให้เฟืองบนเพลาส่งกำลังโดยผ่านปลอกเลื่อน คุมคลัตช์ ไปยังเพลาส่งกำลังเพื่อส่งผ่านเพลากลางต่อไป เนื่องจากเฟืองบนเพลาส่งกำลังที่ขบอยู่กับเฟืองบนเพลารองนั้นจัดอัตราทดไปเรียบร้อยแล้ว ฉะนั้นการเข้าเกียร์ก็คือ การเลือกปลอกเลื่อนว่าจะสวมกับเฟืองคู่ใด เช่น เป็นเกียร์ 1 เกียร์ 2 เกียร์ 3 หรือเกียร์ 4 สำหรับเกียร์ 4 ปลอกเลื่อนจะสวมเข้ากับฟันหน้าเฟืองเพลาคลัตช์ ทำให้ส่งกำลังตรง (Direct drive) จากเพลาคลัตช์ไปยังเพลาส่งกำลัง

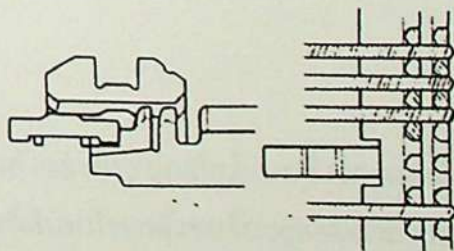
ชุดซิงโครไนเซอร์แบบเฟืองทองเหลืองเป็นแบบที่นิยมใช้กันแพร่หลาย มีใช้กับรถเกือบทุกยี่ห้อ ไม่ว่าจะเป็นรถญี่ปุ่น อเมริกัน หรือยุโรป



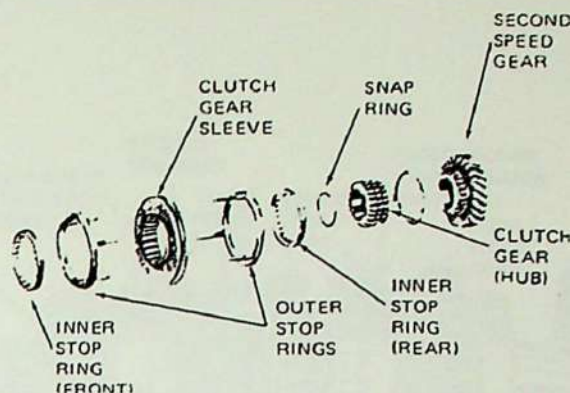
รูปที่ 2.10 รูปผ่าแสดงการทำงานของซิงโครไนเซอร์



รูปที่ 2.11 แสดงการทำงานเมื่อเฟืองทองเหลืองเริ่มจับกับคลัตช์ รูปกรวยที่เฟืองทำให้ความเร็วเท่ากัน



รูปที่ 2.12 แสดงการเข้าสวามของฟันบนปลอกเลื่อนของเฟืองกับพื้นหน้า



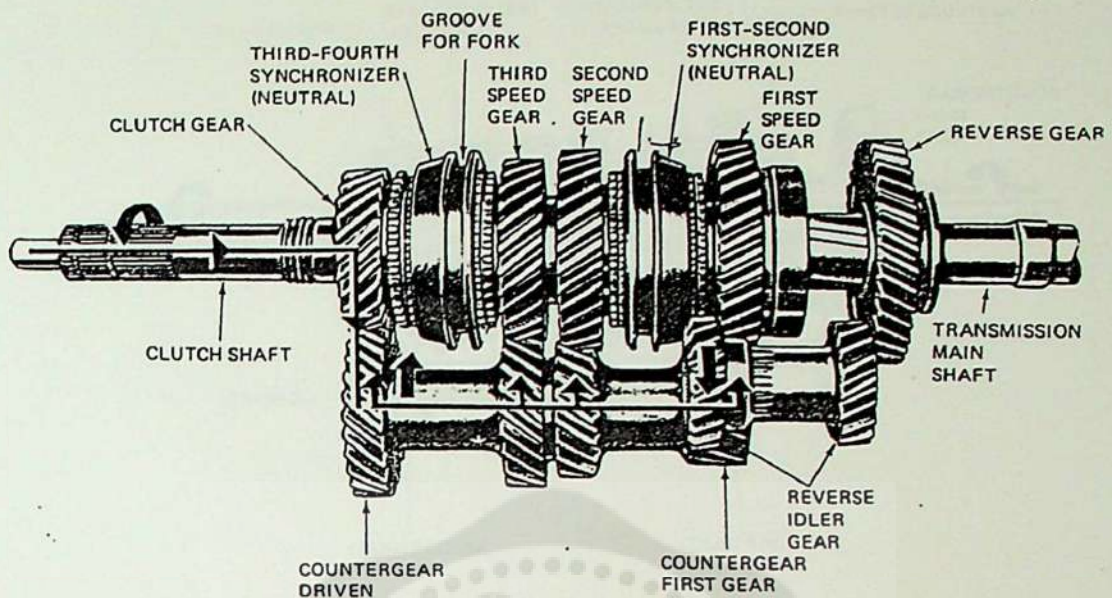
รูปที่ 2.13 รูปแยกชิ้นส่วนของซิงโครไนเซอร์แบบสลัก (Pin type synchronizer)

2. ซิงโครไนเซอร์แบบสลัก (Pin type synchronizer) รูปที่ 2.13 ชุดซิงโครไนเซอร์ ประกอบด้วยแหวนความฝืด (Stop ring) 2 อัน คือ แหวนความฝืดนอก (Outer stop ring) และแหวนความฝืดใน (Inner stop ring) แหวนความฝืดนอกมีสลักอยู่ 3 ตัว สวมอยู่กับปลอกเลื่อน (Clutch gear sleeve) ปลอกเลื่อนสวมอยู่กับคุมคลัตช์ (Clutch gear hub) โดยมีร่องฟัน (Spline) ขบกันอยู่ คุมคลัตช์สวมอยู่กับเพลาด้วยร่องฟันหรือสไปลน์ (Spline) เมื่อเพลาส่งกำลัง (Main shaft) หมุน คุมคลัตช์, ปลอกเลื่อน, และแหวนความฝืดจะหมุนไปด้วยกันเป็นชุด เมื่อเข้าเกียร์ ปลอกเลื่อน (Clutch gear sleeve) จะพยายามเลื่อนเข้าสวมกับฟันหน้าของเฟือง แต่เนื่องจากความเร็วของปลอกเลื่อนและเฟืองไม่เท่ากัน จึงเข้าสวมจึงทันทีไม่ได้ การเลื่อนของปลอกเลื่อนนี้จะทำให้แหวนความฝืดอันใน (Inner stop ring) เมื่อบดกับเฟืองซึ่งจะมีผลให้ความเร็วของปลอกเลื่อนเท่ากับความเร็วของเฟืองปลอกเลื่อนจะถูกดันเลยเข้าไปขบกับฟันหน้าของเฟือง ทำให้ส่งกำลังจากเฟืองในเพลาส่งกำลังไปยังเพลาได้ เมื่อผ่อนคลัตช์ผ้าคลัตช์จะจับ ทำให้กำลังจากเครื่องยนต์ส่งถ่ายไปยังล้อด้วยอัตราทดตามที่ปลอกเลื่อนเข้าขบกับชุดเฟือง เช่น ปลอกเลื่อนสวมกับชุดเฟืองเกียร์ 2 ก็จะทำให้อัตราทดเป็นเกียร์ 2

การส่งถ่ายกำลังของเกียร์

การส่งถ่ายกำลังของกระปุกเกียร์แบบซิงโครเมซมีหลักการเช่นเดียวกับแบบสไลด์คิงเมต แต่เนื่องจากเฟืองเกียร์เดินหน้าทุกตัวขบกันอยู่ตลอดเวลา การเข้าเกียร์ต้องใช้ชุดซิงโครไนเซอร์ช่วยดังก่อนแล้ว การส่งกำลังจะเป็นดังนี้

เกียร์ว่าง (Neutral) รูปที่ 2.14 ปลอกเลื่อนของทุก ๆ เกียร์จะอยู่ในตำแหน่งว่าง (Neutral) กำลังงานที่จะส่งไปจับเคลื่อนล้อถูกตัดที่กระปุกเกียร์ ถึงแม้ว่าเพลาคลัตช์จะหมุนก็ไม่สามารถส่งกำลังงานให้กับเพลาส่งกำลังได้สภาพเช่นนี้จะยอมให้เริ่มติดเครื่องยนต์หรือเมื่อรถจอดอยู่

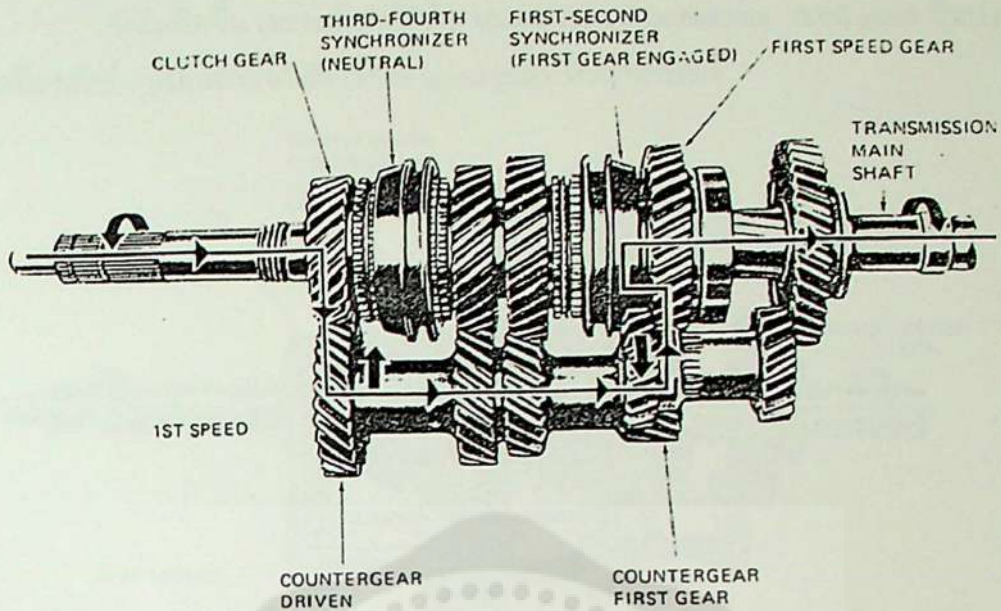


รูปที่ 2.14 แสดงส่วนประกอบต่าง ๆ ของขบวนเฟือง 4 ความเร็วเดินหน้า (Four speed) ชนิดซิงโครเมฆทั้งหมด แสดงการส่งถ่ายกำลังในตำแหน่งเกียร์ว่าง

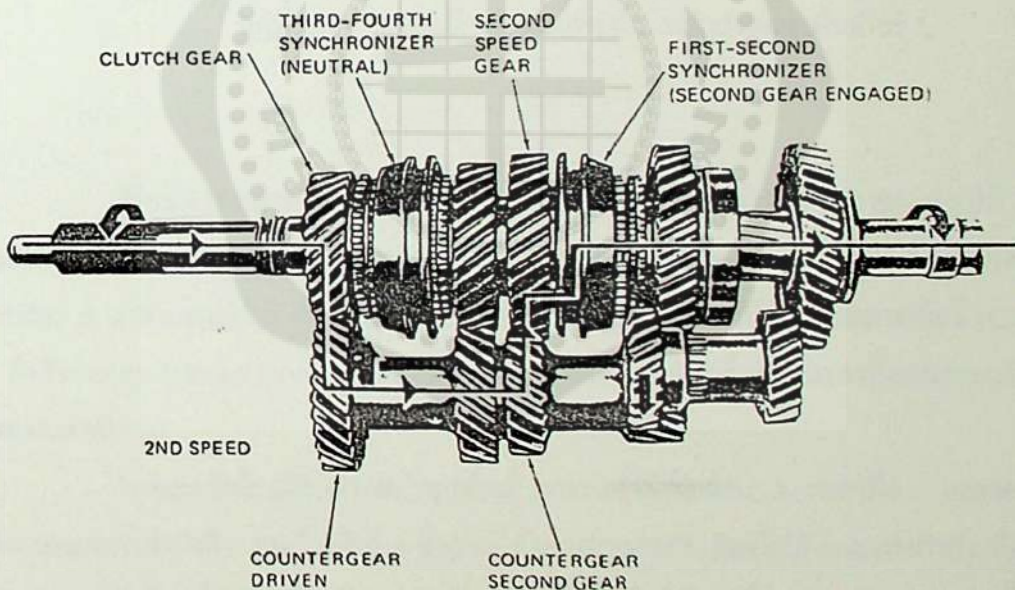
กับที่ ขณะนี้กำลังงานจากเครื่องยนต์จะส่งผ่านแผ่นคลัตช์มายังเพลาคลัตช์ เฟืองเพลาคลัตช์ เฟืองเพลากรองทุกตัว (เฟืองเพลากรองตัวใดที่ติดอยู่กับเฟืองเพลาคลัตช์ตลอดเวลา) ทำให้เฟืองบนเพลาส่งกำลังทุกตัวที่ติดอยู่กับเฟืองบนเพลากรองหมุนด้วย แต่เนื่องจากเฟืองบนเพลาส่งกำลังที่ติดกับเฟืองบนเพลากรองนั้นไม่ได้เข้าระรอก (Spline) ไว้ จึงทำให้หมุนฟรี ด้วยเหตุนี้ถึงแม้ว่าเฟืองเหล่านี้จะหมุนไปแต่ก็ไม่ได้พาให้เพลาส่งกำลังหมุนไปด้วย

เกียร์ 1 (First gear) รูปที่ 2.15 เมื่อเข้าเกียร์ 1 ปลอกเลื่อนเกียร์ 1-2 ของชุดซิงโครไนเซอร์ (First-second synchronizer) จะเลื่อนเข้าสวมกับฟันหน้าเฟืองของเฟืองเกียร์ 1 (First speed gear) บนเพลาส่งกำลัง (Main shaft) ส่วนเฟืองคู่อื่นจะอยู่ในตำแหน่งว่าง (Neutral) ในชุดเฟืองเกียร์ 1 เฟืองเกียร์ 1 บนเพลากรอง (Countergear เพลาส่งกำลัง (Main first gear) ซึ่งขณะนี้เป็นเฟืองรับกำลังขับ มีขนาดใหญ่ที่สุด ฉะนั้นอัตราทดจึงสูงรูป 16. ขบวนเฟืองแสดงการส่งถ่ายระบบส่งกำลัง

เกียร์ 2 (Second gear) รูปที่ 2.16 เมื่อเข้าเกียร์ 2 ปลอกเลื่อนเกียร์ 1-2 ของชุดซิงโครไนเซอร์ (First second synchronizer) จะปลดจากชุดเฟืองเกียร์ 1 มาตำแหน่งว่าง และเลื่อนเลยไปสวมกับฟันหน้าเฟืองของเฟืองเกียร์ 2 (Second speed gear) บนเพลาส่งกำลัง อัตราทดจะลดลง (ความเร็วของเพลาส่งกำลังเพิ่มขึ้น) เพราะเฟืองเกียร์ 2 บนเพลากรอง (Countergear second gear) มีขนาดโตขึ้น แต่เฟืองเกียร์ 2 บนเพลาส่งกำลัง (Second speed gear) มีขนาดเล็กลง



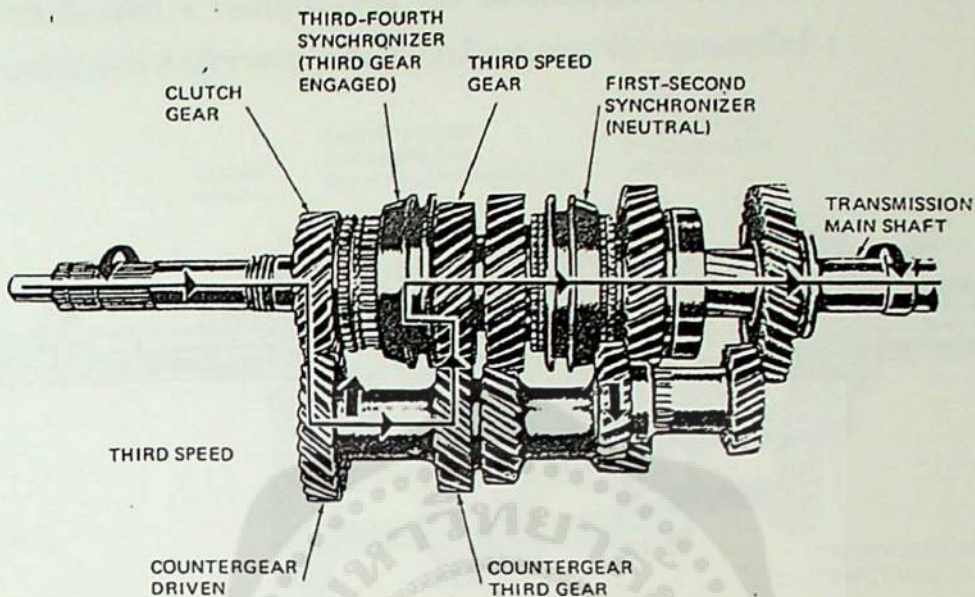
รูปที่ 2.15 ขบวนการแสดงการส่งถ่ายกำลังขณะเป็นเกียร์ 1



รูปที่ 2.16 ขบวนการแสดงการส่งถ่ายกำลังขณะเป็นเกียร์ 2

เกียร์ 3 (Third gear) รูปที่ 2.17 เมื่อเข้าเกียร์ 3 ปลอกเลื่อนเกียร์ 1-2 ของชุดซิงโครไนเซอร์ (First-second synchronizer) ถูกปลดมาอยู่ตำแหน่งว่าง (Neutral) คันเลือกเกียร์จะเลื่อน ปลอกเลื่อนเกียร์ 3-4 ของชุดซิงโครไนเซอร์ (Third-fourth synchronizer) เข้าสวมกับฟันหน้าเฟืองเกียร์ 3 (Third speed gear) บนเพลาส่งกำลัง อัตราทดลดลงจากเกียร์ 2 ทำให้ความเร็วของเพลาส่ง

กำลังเพิ่มขึ้น เพราะเฟืองเกียร์ 3 บนเพลารอง (Countergear third gear) มีขนาดโตขึ้น และเฟืองเกียร์ 3 บนเพลาส่งกำลัง (Third speed gear) มีขนาดเล็กลง



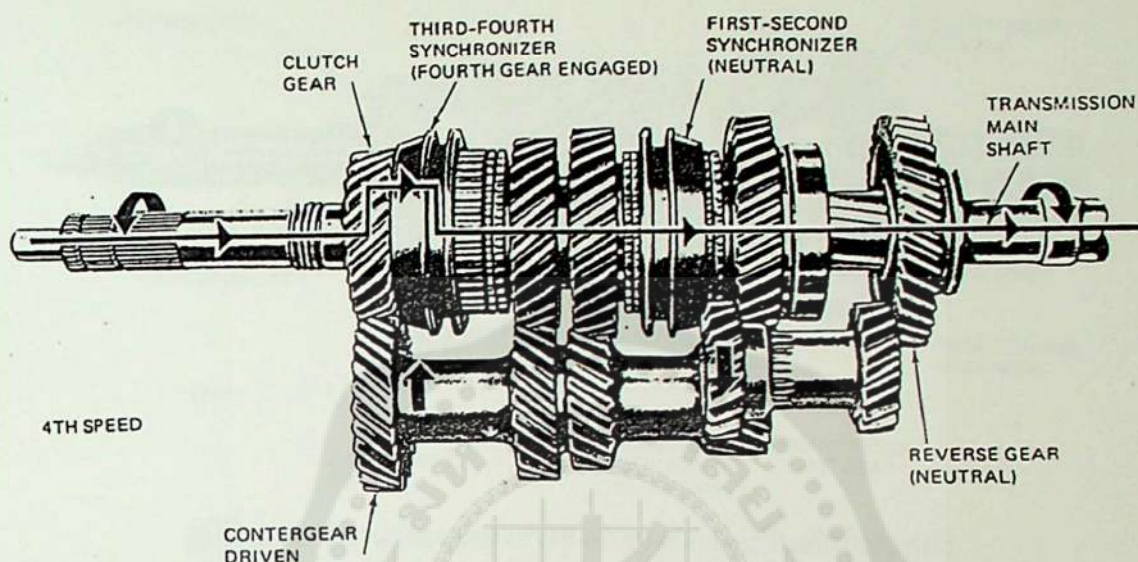
รูปที่ 2.17 ขบวนการเฟืองแสดงการส่งกำลังขณะเป็นเกียร์ 3.

เกียร์ 4 (Fourth or high gear) หรือที่เรียกว่าขับโดยตรง (Direct drive) รูปที่ 2.18 เมื่อเข้าเกียร์ 4 ปลอกเลื่อนเกียร์ 3-4 ของชุด ซิงโครไนเซอร์ (Third-fourth synchronizer) จะปลดจากชุดเฟืองเกียร์ 3 มาตำแหน่งว่าง (Neutral) แล้วเลื่อนเลยไปสวมกับฟันหน้าเฟืองเพลาคลัตช์ (Clutch gear) กำลังงานจะส่งตรงจากเพลาคลัตช์ไปยังเพลาส่งกำลัง ความเร็วของเพลาทั้งสองจะเท่ากัน อัตราทดจะเท่ากับ 1:1

ในขณะที่เป็นเกียร์เดินหน้าทุกเกียร์ การส่งกำลังจะผ่าน 3 เพลา คือ เพลาคลัตช์ เพลารอง และเพลาส่งกำลัง ยกเว้นเกียร์ 4 ซึ่งส่งกำลังตรงจากเพลาคลัตช์ไปยังเพลาส่งกำลัง ทิศทางหมุนของเพลาส่งกำลังจะไปทางเดียวกับเพลาคลัตช์ ทำให้เป็นเกียร์เดินหน้า

เกียร์ถอยหลัง (Reverse gear) รูปที่ 2.19 ปลอกเลื่อนของทุก ๆ เกียร์จะอยู่ตำแหน่งว่าง (Neutral) เฟืองเกียร์ ถอยหลังบนเพลาส่งกำลัง (เฟืองตัวขวามือสุด) จะเลื่อนเข้าขบกับเฟืองเปลี่ยนทางหมุนตัวหลัง (Rear reverse idler gear) ตัวหน้าของเฟืองเปลี่ยนทางหมุนขบอยู่กับเฟืองเกียร์ 1 บนเพลารองตลอดเวลา (เพลาเฟืองเปลี่ยนทางหมุนนี้มีเฟืองอยู่ 2 ตัว) กำลังงานจากเพลาคลัตช์จะส่งผ่านมายังเพลารองที่เฟืองเกียร์ 1 ส่งผ่านไปยังเฟืองเปลี่ยนทางหมุนตัวหน้าและตัวหลัง แล้วไปยังเฟืองถอยหลังบนส่งกำลัง เนื่องจากตรงกลางเฟืองถอยหลังบนเพลาส่งกำลังเจาะรูไว้ และสวมอยู่กับรองหรือสไปดน์บนเพลาส่งกำลัง ดังนั้นเมื่อเฟืองถอยหลังนี้หมุนไปจะพาเพลาส่ง

กำลังหมุนไปด้วย แต่หมุนในทิศทางสวนกับเพลาคลัตช์ ดังนั้นรถจึงถอยหลังได้ ถ้าเฟืองถอยหลังมีขนาดเท่ากับเฟืองเกียร์ 1 บนเพลาส่งกำลัง อัตราทดของเกียร์ถอยหลังบนเพลาส่งกำลังใดก็ว่าเฟืองเกียร์ 1 บนเพลาส่งกำลังอัตราทดของเกียร์ถอยหลังจะมากกว่าอัตราทดของเกียร์ 1



รูปที่ 2.18 ขบวนการเฟืองแสดงการส่งถ่ายกำลังขณะเป็นเกียร์ 4

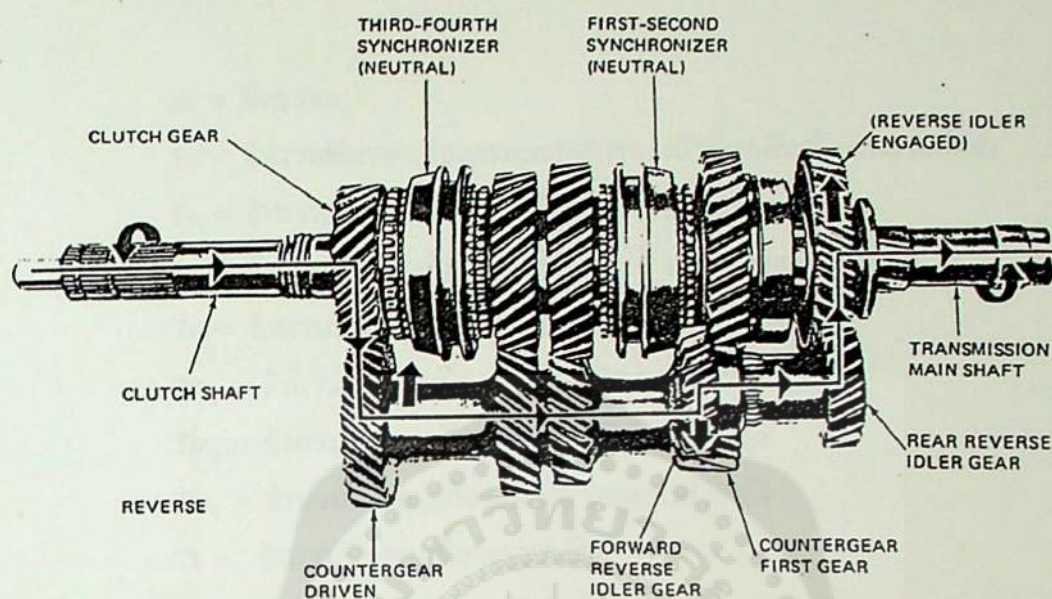
การที่เพลาส่งกำลังและเพลาคลัตช์หมุนสวนทางกันขณะเป็นเกียร์ถอยหลัง เป็นเพราะว่า เพลาของเฟืองที่ใช้ส่งถ่ายกำลังมี 4 เพลา คือ เพลาคลัตช์ (Clutch shaft) เพลารอง (Countershaft) เพลาเฟืองเปลี่ยนทางหมุน (Reverse idler gear shaft) และเพลาส่งกำลัง (Transmission main shaft)

สำหรับเกียร์เดินหน้า การส่งถ่ายกำลังจะผ่านเพียง 3 เพลา คือ เพลาคลัตช์ เพลารอง และเพลาส่งกำลัง ทำให้ทิศทางหมุนของเพลาคลัตช์และเพลาส่งกำลังเหมือนกัน

อัตราทดของกระปุกเกียร์ (Gear ratio)

อัตราทดของกระปุกเกียร์แต่ละรุ่น แต่ละยี่ห้อไม่เท่ากันทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสมรรถนะของเครื่องยนต์ น้ำหนักบรรทุก ความต้องการอัตราเร่งของรถ ฯลฯ รถแต่ละรุ่นแต่ละแบบมีจุดประสงค์ในการออกแบบและสภาพการใช้งานไม่เหมือนกัน ฉะนั้นจะหาคำว่าเกียร์อะไรจะเป็นอัตราทดเท่าไรไม่ได้ ยกเว้นเกียร์สูง (Top or high gear) ซึ่งเป็นการส่งกำลังตรงมีอัตราทด 1:1 คำทางเทคนิค

เกี่ยวกับอัตราทดของเกียร์นิยมนิยมเขียนเลขตัวเดียว เช่นอัตราทด 3.321:1 จะเขียนเพียง 3.321 เท่านั้น



รูปที่ 2.19 ขบวนการแสดงการส่งถ่ายกำลังขณะเป็นเกียร์ถอยหลัง

ตารางที่ 2.1 อัตราทดของรถยนต์ยี่ห้อและรุ่นต่าง ๆ

ยี่ห้อ	แบบ	อัตราทด(เกียร์)				
		1	2	3	4	ถอย
DATSUN	CEDRIC	3.321	2.007	1.308	1	3.382
	URVAN	4.128	2.637	1.662	1	3.657
		3.757	2.169	1.404	1	3.64
TOYOTA	3 - SPEED	3.337	1.679	1	0	4.449
CORONA	4 - SPEED	3.579	2.081	1.6997	1	4.399

การคำนวณอัตราทดใช้หลักเกณฑ์ดังกล่าวที่แล้วในเรื่องขบวนการ แต่เพื่อความสะดวกสามารถทำเป็นสูตรสำเร็จได้ดังนี้

$$\text{เกียร์ 1 } Gr_1 = \frac{T_c}{T_t} \times \frac{T_{m_1}}{T_{c_1}} \quad \text{เกียร์ 2 } Gr_2 = \frac{T_c}{T_t} \times \frac{T_{m_2}}{T_{c_1}}$$

$$\text{เกียร์ 1 } Gr_1 = \frac{T_c}{T_t} \times \frac{T_{m_1}}{T_{c_1}} \quad \text{เกียร์ 4 (เกียร์สูง) อัตราทด 1:1}$$

Gr = อัตราทด

T_c = จำนวนฟันของเฟืองตามบนเพลาารอง (ตัวที่ขบกันเฟืองเพลาคลัตช์)

T_{c_1} = จำนวนฟันของเฟืองของเฟืองเกียร์ 1 บนเพลาารอง

T_{c_2} = จำนวนฟันของเฟืองของเฟืองเกียร์ 2 บนเพลาารอง

T_{c_3} = จำนวนฟันของเฟืองของเฟืองเกียร์ 3 บนเพลาารอง

T_{m_1} = จำนวนฟันของเฟืองเกียร์ 1 บนเพลาส่งกำลัง

T_{m_2} = จำนวนฟันของเฟืองเกียร์ 2 บนเพลาส่งกำลัง

T_{m_3} = จำนวนฟันของเฟืองเกียร์ 3 บนเพลาส่งกำลัง

T_t = จำนวนฟันของเฟืองเพลาคลัตช์

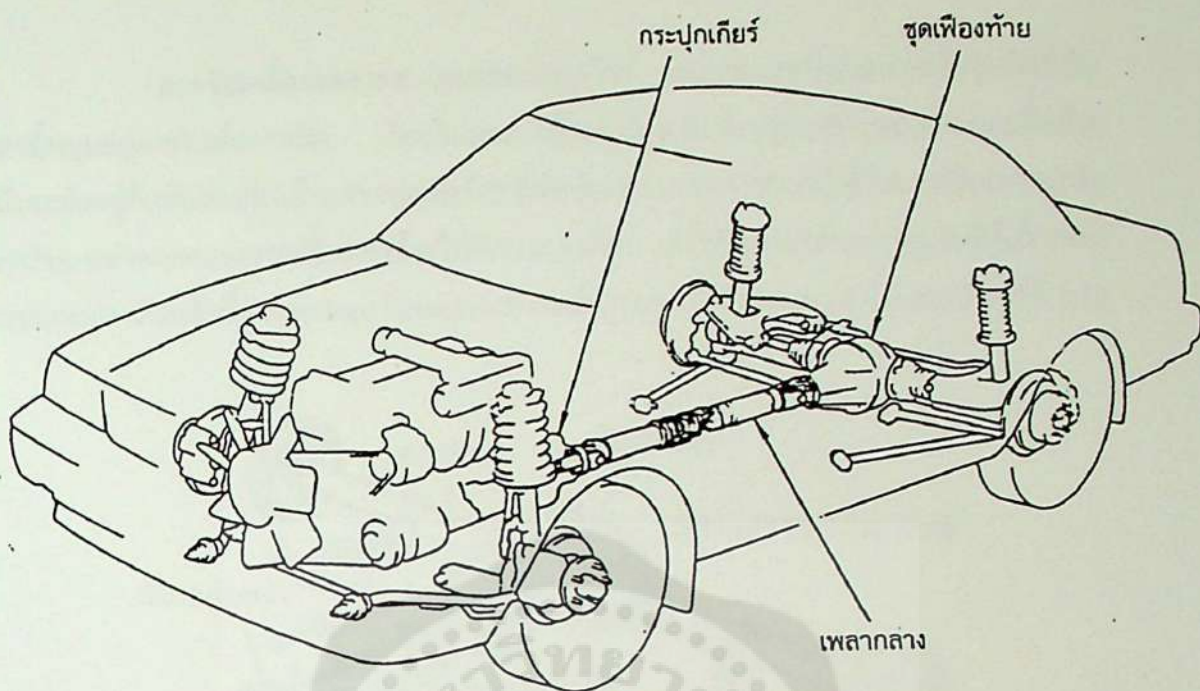
สำหรับเกียร์ถอยหลังไม่ทำสูตรไว้ให้ เพราะการออกแบบอาจแตกต่างกันไปสุดแต่เฟืองกลับทิศทางหมุน (Reverse idler gear) การคำนวณให้หาว่าเฟืองตัวใดเป็นเฟืองขับ และเฟืองตาม แล้วทำสูตรขึ้นเองได้

เพลากลาง

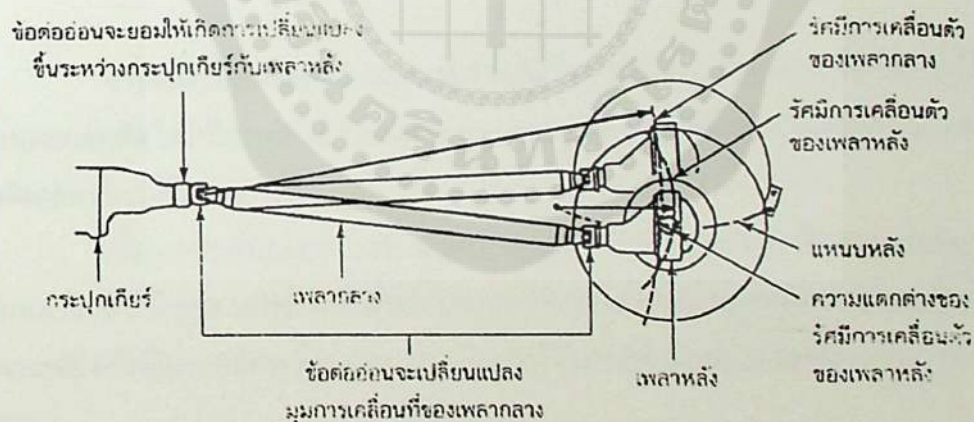
พื้นฐานการออกแบบเพลากลางโดยทั่วไปแล้ว การส่งกำลังแรงขับจะถูกออกแบบให้ต่ออยู่ระหว่างกระปุกเกียร์กับชุดเฟืองท้าย เพื่อที่จะส่งแรงบิดจากเครื่องยนต์ไปขับให้ล้อเคลื่อนที่ ซึ่งตามปกติแล้วกระปุกเกียร์จะยึดติดกับแชลชีส แต่สำหรับชุดเฟืองท้ายและเพลาขับจะถูกรองรับด้วยระบบรองรับ ดังแสดงในรูปที่ 2.20

ดังนั้นตำแหน่งของชุดเฟืองท้ายจะถูกเคลื่อนที่เปลี่ยนแปลงสัมพันธ์อย่างคงที่กับกระปุกเกียร์ เพื่อให้เกิดการสอดคล้องกับสภาพของพื้นผิวถนนและ โหลดของรถยนต์

ด้วยเหตุนี้เพลากลาง ข้อต่ออ่อน และข้อต่อเลื่อนจึงถูกออกแบบมาเพื่อให้การถ่ายทอดแรงบิดจากกระปุกเกียร์ไปยังเฟืองท้ายเป็นไปได้อย่างราบเรียบ โดยปราศจากการขัดข้องโดยสิ้นเชิง จากเหตุผลนี้ข้อต่ออ่อนและข้อต่อเลื่อนที่ติดตั้งที่ปลายทั้งสองข้างของเพลากลางจึงทำหน้าที่ที่ช่วยลดการเปลี่ยนแปลงในมุมตั้งของระบบรองรับ ส่วนข้อต่อเลื่อนจะทำหน้าที่ลดการเปลี่ยนแปลงระหว่างกระปุกเกียร์และชุดเฟืองท้ายในแนวตรง ดังแสดงในรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.20 แสดงตำแหน่งการติดตั้งของเฟลากลางและข้อต่ออ่อน

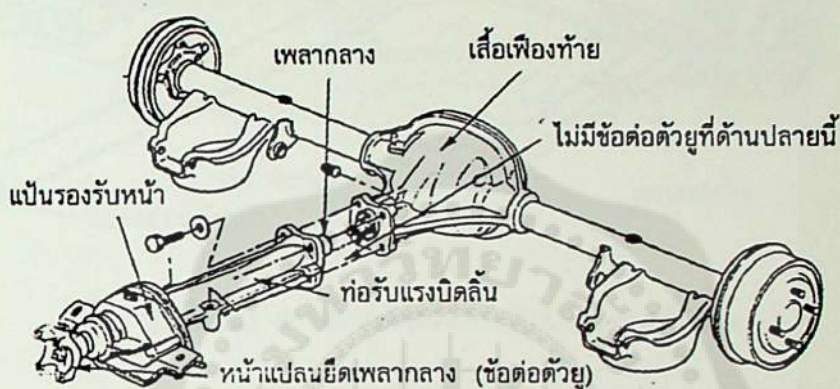


รูปที่ 2.21 แสดงการเคลื่อนที่ของเฟลากลางรถยนต์

ชนิดของการขับเคลื่อนของเฟลากลาง

เฟลากลางของรถยนต์ได้ถูกแบ่งออกตามลักษณะของการขับเคลื่อนเป็น 2 ชนิดก็คือ การขับเคลื่อนของเฟลากลางแบบทอร์คทูบไดรฟ์และการขับเคลื่อนเฟลากลางแบบฮอส์ดริฟไดรฟ์

การขับเคลื่อนเพลากลางแบบทอร์คทูบไคร์ เพลากลางชนิดแบบทอร์คทูบไคร์เป็นเพลาที่หมุนอยู่ภายในท่อแรงบิด โดยที่ปลายท่อด้านหนึ่งจะยึดติดอยู่กับเสื้อเพลาท้ายและอีกด้านหนึ่งจะต่ออยู่กับข้อต่ออ่อนด้านกระปุกเกียร์ท่อที่ห่อหุ้มเพลากลางจะทำหน้าที่รับแรงบิดจากการขับเคลื่อนหลังและถ่ายทอดแรงจากเสื้อเพลาท้ายไปยังกระปุกเกียร์ ทำให้ท่อแรงบิดควบคุมไม่ให้เสื้อเพลาท้ายเกิดการม้วนตัวขึ้น (wind up) ในขณะเร่งความเร็ว ลดความเร็วและเบรก ดังแสดงในรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 เพลากลางชนิดขับเคลื่อนแบบทอร์คทูบไคร์

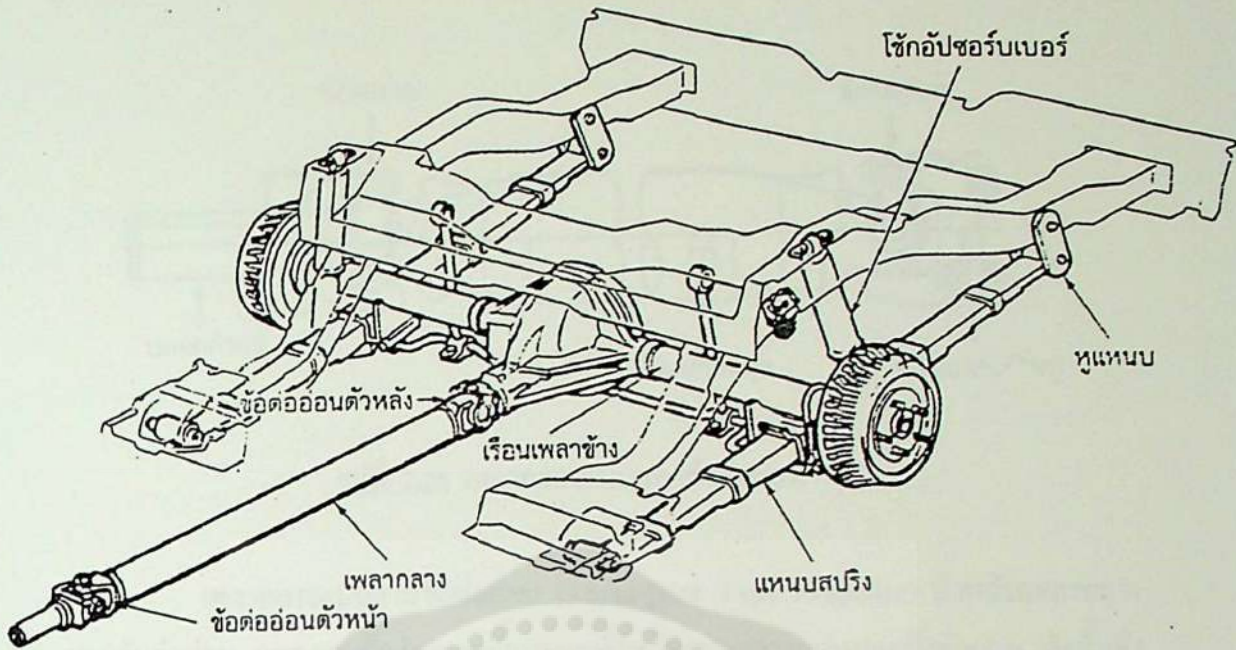
การขับเคลื่อนเพลากลางแบบฮอตคิสไคร์ (Hotchkiss Drive) เพลากลางชนิดขับเคลื่อนแบบฮอตคิสไคร์เป็นการขับเคลื่อนเพลากลางแบบเปิด ซึ่งก็มีทั้งสองข้อต่ออ่อนและสามข้อต่ออ่อนดังแสดงในรูปที่ 2.23

ซึ่งการขับเคลื่อนเพลากลางแบบนี้ แรงบิดที่เกิดจากการขับเคลื่อนของล้อจะถูกส่งผ่านเสื้อเพลามาทำให้เกิดอาการม้วนตัวขึ้นที่แหนบสปริงหรือแกนควบคุม ดังแสดงในรูปที่ 2.24 ดังนั้นแหนบสปริงที่ใช้ในการขับเคลื่อนแบบฮอตคิสไคร์จึงทำหน้าที่แก้แรงบิดที่ตัวจากการขับเคลื่อนของเพลากลาง

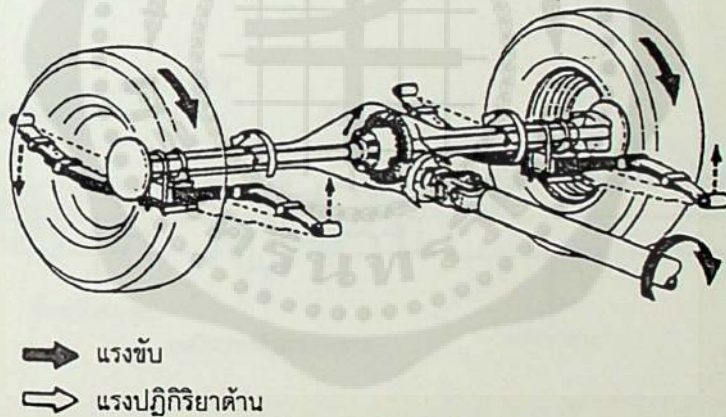
แบบของเพลากลาง

เพลากลาง (Propeller shaft) ทำจากท่อชุบเหล็กกล้าชุบแข็งเกรดสูง ภายในกรวง มีน้ำหนักเบา ทนแรงบิดและการโค้งงอได้ดี ที่ปลายทั้งสองข้างของเพลากลางจะมีก้านปูของข้อต่ออ่อนเชื่อมติดอยู่

ดังนั้นเพลากลางที่ใช้กับรถยนต์โดยทั่วไปจึงมีอยู่ 2 แบบด้วยกันคือ เพลากลางแบบสองข้อต่ออ่อนและเพลากลางสามข้อต่ออ่อน

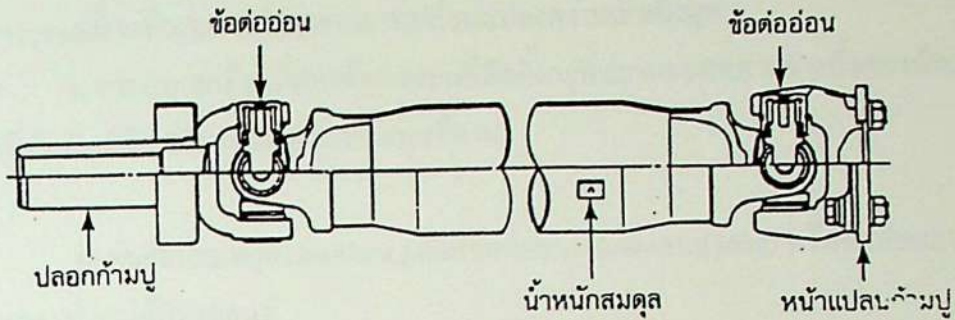


รูปที่ 2.23 การขับเคลื่อนเพลากลางแบบฮอคค์คิสไคร์



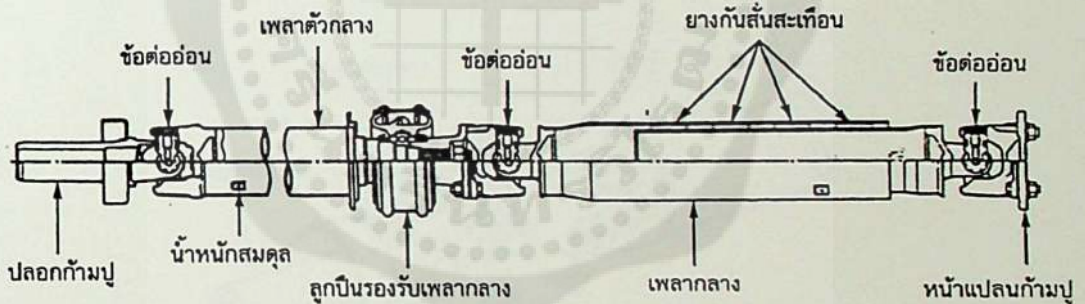
รูปที่ 2.24 อาการม้วนตัวของแหนบสปริงเมื่อเพลากลางหมุน

เพลากลางแบบสองข้อต่อออด (Two-joint Type Propeller Shaft) ในรูปที่ 2.25 ความยาวทั้งหมดของเพลากลางจะมีข้อต่อออดติดอยู่ทั้งสองปลาย ซึ่งแต่ละส่วนของข้อต่อออดจะต้องทำงานสัมพันธ์กันอย่างมาก ในขณะที่เพลากลางหมุนด้วยความเร็วสูง เพลากลางจะเริ่มเกิดการสั่นและโค้งตัวมากขึ้น ทั้งนี้เป็นผลสืบเนื่องมาจากการไม่สมดุลของเพลากลางหลังเหลืออยู่บ้างบางส่วนด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นต้องติดตั้งน้ำหนักไว้ที่เพลากลางเพื่อให้มีการสมดุลที่ดีขึ้น เป็นการลดการสั่นและการเบี่ยงเบนของเพลากลางที่มีน้อยที่สุด



รูปที่ 2.25 เพลากลางแบบสองข้อต่ออ่อน

เพลากลางแบบสามข้อต่ออ่อน (Three-joint Type Propeller) ทำห้ปลเพลากลางแบบสามข้อต่ออ่อน ความยาวข้อต่อเพลาท้ทั้งสองจะสั้นกว่าเพลากลางแบบสองข้อต่ออ่อน ดังนั้นจึงทำให้การเบี่ยงเบน การสั่น และที่ความเร็วรอบสูงมีไม่มืเสืยง ซ้่งเป็นผลมาจากการสมดุลที่ดี ซ้่งเป็นข้อที่ดืที่ดีรยชนค้ณยมใช้กันในปัจจุบัน ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.26



รูปที่ 2.26 เพลากลางแบบสามข้อต่ออ่อน

ข้อต่ออ่อน

ข้อต่ออ่อน (Universal joint) ทำหน้าที่คู่ค้ดกับการเปล่ียนแปลงเจ้ิงมุมของการเคลื่อนที่ให้สัมพันธ์กันระหว่างกระปุกเก้ียร์และชุดเพืองท้าย เพื่อให้การถ่ายทอดแรงบิดเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ

นอกจากนี้ข้อต่ออ่อนยังต้องมืคุณสมบัติที่ดีในขณะส่งถ่ายกำลังก็ค้ือ

1. ความเร็วเจ้ิงมุมของข้อต่ออ่อนในการถ่ายทอดกำลังจะต้องไม่มืการเปล่ียนแปลงเมื่่อมุมของเพลากลางเคลื่อนที่สัมพันธ์กับกระปุกเก้ียร์และชุดเพืองท้ายมากขึ้น

2. ข้อต่ออ่อนจะต้องส่งถ่ายกำลังให้เป็นไปได้อย่างราบเรียบปราศจากเสียงดัง ซึ่งเกิดจากการหมุนเคลื่อนที่และการหักเหจากการเปลี่ยนแปลงความเร็วเชิงมุม

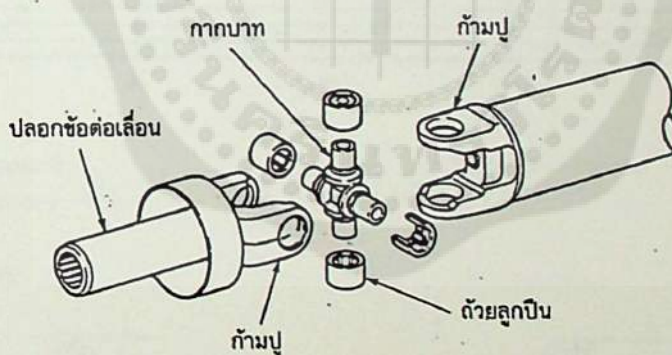
3. การหมุนเคลื่อนที่ของข้อต่ออ่อนที่ติดตั้งอยู่ที่ปลายของเพลากลางทั้งสองด้านจะต้องเคลื่อนที่สัมพันธ์กัน แม้การหักเหในการหมุนก็ตาม

ข้อต่ออ่อนแบบฮุก (Hooke's joint) ข้อต่ออ่อน (universal joint) หรือข้อต่อของฮุก (Hooke's joint) นำมาใช้กับรถยนต์

1. ถ่ายทอดกำลังจากเพลาหลักของชุดเพืองทก ซึ่งวางอยู่ในแนวระดับ ไปยังเพลากลางซึ่งตามปกติจะทำมุมกับแนวระดับ เพราะว่าชุดเพืองท้ายมักจะอยู่ต่ำกว่าเพลาหลักของชุดเพืองทก

2. ถ่ายทอดกำลังในขณะที่เพนบดงขึ้นลง เมื่อวิ่งบนถนนขรุขระซึ่งจะเปลี่ยนแปลงมุมที่เพลากลางทำกับแนวระดับไปด้วย

เนื่องจากเพลาหลักของชุดเพืองทกกับเพืองท้ายเคลื่อนของชุดเพืองท้ายขนานกันแต่ไม่อยู่ในแนวเดียวกัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้ข้อต่ออ่อนตรงปลายของเพลาทั้งคู่เพื่อให้ส่งกำลังไปได้



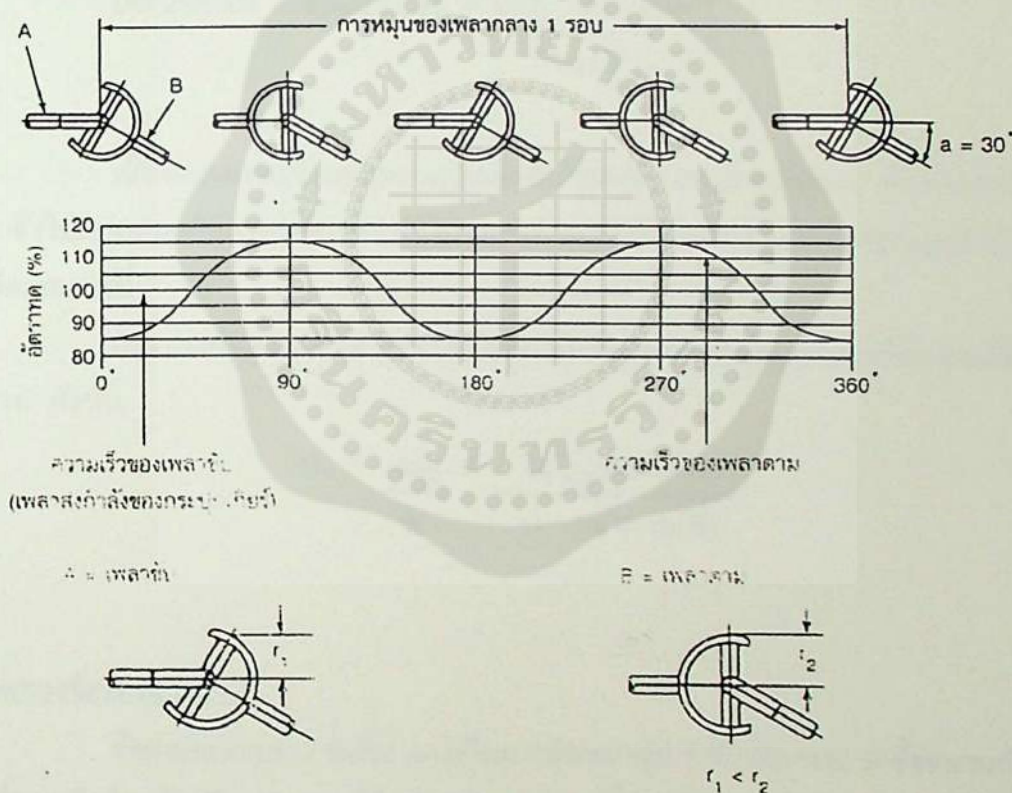
รูปที่ 2.27 แสดงข้อต่ออ่อนแบบฮุกชนิดลูกถ้วยลูกปืนเซลด

การเปลี่ยนแปลงความเร็วเชิงมุมของข้อต่ออ่อน

ในรูปที่ 2.28 เป็นกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงความเร็วของเพลาตาม B ที่ทำมุม 30 องศาสัมพันธ์กับเพลาขับ A เมื่อเพลาขับ A หมุนเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ (เพลาขับ A คือเพลากำลังในกระปุกเกียร์ เพลาตาม B คือเพลากลาง)

ดังนั้นเมื่อข้อต่ออ่อนที่ติดตั้งกับเพลาลำดับ A หมุนเคลื่อนที่ไปหนึ่งรอบ ก็จะทำให้เพลาลำดับ B หมุนไปหนึ่งรอบเช่นกัน รัศมีการหมุนของข้อต่ออ่อนจะมีมากขึ้น (r_2) เมื่อการบิดทำมุมตั้งฉากกับเพลาลำดับ (เมื่อหมุนทำมุม 90, 270 องศา) และจะมีรัศมีการหมุนของข้อต่ออ่อนที่แคบลงเมื่อการบิดไม่ทำมุมตั้งฉากกับเพลาลำดับ (ที่มุม 0, 180, 360 องศา)

นอกจากนี้ความเร็วของก้านปูของเพลาลำดับจะถูกเปลี่ยนแปลงไปทุกรอบที่เคลื่อนที่ผ่านมุม 90 องศาการเปลี่ยนแปลงของความเร็วเชิงมุมที่เกิดขึ้นจะต้องสัมพันธ์กันกับเพลาลำดับ A และเพลาลำดับ B จะมีมาก เมื่อมุมของก้านปูเพลาลำดับ B และเพลาลำดับ A มีมากเช่นกัน แต่ในทางตรงกันข้าม ถ้ามุมของเพลาลำดับ A และเพลาลำดับ B แคบ การเปลี่ยนแปลงความเร็วเชิงมุมก็จะน้อยลงเช่นกัน



รูปที่ 2.28 การเปลี่ยนแปลงความเร็วเชิงมุมของข้อต่ออ่อนแบบก้านปู

รูปสเกตช์ง่ายๆ ของข้อต่ออ่อนได้แสดงไว้ในรูป ในรูปเพลาลำดับ A ถูกต่อกับแกน yy ของกาบขาด้วยง่ามจับ (driving yoke) และแกน xx อีกแกนหนึ่งของกาบขาต่อกับเพลาลำดับ B ด้วยง่ามตาม (driven yoke) ง่ามจับวางอยู่ในแนวตั้งโดยแกน yy ในแนวตั้งบนระนาบเดียวกัน ส่วนง่ามตามนั้นวางอยู่บนระนาบที่เอียงมุม θ กับแนวระดับ โดยแกน xx อยู่ในแนวระดับ

ออกจากสมการนี้ได้

$$\frac{\omega_B}{\omega_A} = \frac{\cos\theta}{1 - \cos^2\alpha \sin^2\theta}$$

อัตราหาคจะมีค่าสูงสุดเมื่อ $\omega_A = 0^\circ$ หรือ 180° และมีค่าต่ำสุด เมื่อ $\omega_A = 90^\circ$ หรือ

270°

$$\text{ดังนั้น } (\omega_B)_{\max} = \omega_A \left[\frac{\cos\theta}{1 - \sin^2\theta} \right] \frac{\omega_A}{\cos}$$

$$\text{และ } (\omega_A)_{\min} = \omega_A \cos\theta$$

$$\text{เพราะฉะนั้น speed range} = \omega_A \left[\frac{1 - \cos\theta}{\cos\theta} \right]$$

เนื่องจากความเร็วของเพลตามแปรผันไม่คงที่ตามสมการข้างบน ข้อต่ออ่อนเพียงอันเดียวจึงไม่เหมาะสมกับการถ่ายทอดกำลังในรถยนต์ แต่ถ้าใช้ข้อต่ออ่อน 2 ข้ออย่างถูกต้องจะทำให้ได้อัตราทดคงที่

อัตราเร่งของเพลตาม จะหาได้โดยการดิฟเฟอเรนเชียลสมการของอัตราทดเทียบกับเวลา t ดังนั้น

$$\alpha_B = \frac{d\omega_B}{dt} = \frac{\omega_A^2 \cos\theta \sin^2\alpha}{(1 - \cos^2\alpha \sin^2\theta)^2}$$

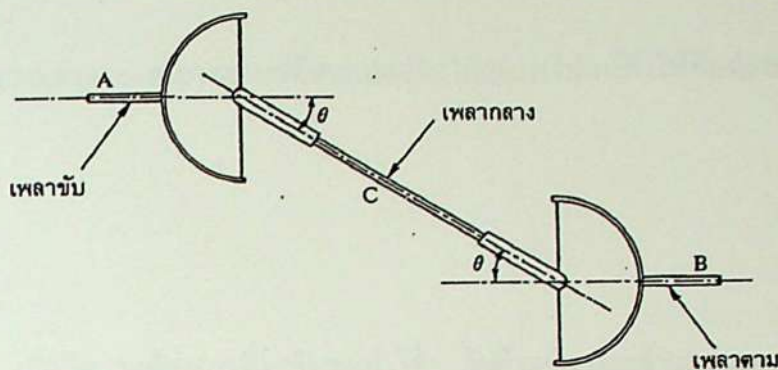
อัตราทดของข้อต่ออ่อน 2 ข้อ

ข้อต่ออ่อนแบบ 2 ข้อที่นำมาใช้ในการต่อเพลขาขับ A กับเพลตาม B ซึ่งขนานกันแต่วางอยู่ต่างระดับกัน โดยมีเพลากลางเชื่อมต่อยกหว่างข้อต่อทั้ง 2 ได้แสดงไว้ในรูปการแสดงข้อต่ออ่อน ง่ายของเพล A และเพล B วางอยู่ในระนาบเดียวกัน แต่แกนของเพล C วางอยู่ต่างระนาบกัน

ประยุกต์เข้ากับสมการในหัวข้อที่แล้ว เราจะได้

$$\tan \alpha_A = \tan \Phi_C \cdot \cos\theta$$

$$\text{และ } \tan \alpha_B = \tan \Phi_C \cdot \cos\theta$$



รูปที่ 2.30 รูปข้อต่ออ่อน 2 ข้อ

$$\begin{aligned}
 &\alpha_A = \alpha_B \\
 \text{อัตราทด} \quad &\frac{\omega_B}{\omega_C} = \frac{\cos \theta}{1 - \cos^2 \alpha_A \sin^2 \theta} \\
 \text{และ} \quad &\frac{\omega_C}{\omega_B} = \frac{\cos \theta}{1 - \cos^2 \alpha_B \sin^2 \theta} \\
 &\frac{\omega_B}{\omega_A} = \frac{\omega_C}{\omega_A} \times \frac{\omega_B}{\omega_C} = \frac{1 - \cos^2 \alpha_B \sin^2 \theta}{1 - \cos^2 \alpha_A \sin^2 \theta} = 1
 \end{aligned}$$

(เพราะว่า $\alpha_A = \alpha_B$)

ตำแหน่งที่ถูกต้องของง่าม โดยเฉพาะของเพลากลางจำเป็นต้องรักษาให้เป็นมุมที่เหมือนกันทั้ง 2 ข้าง จึงจะได้อัตราทดคงที่

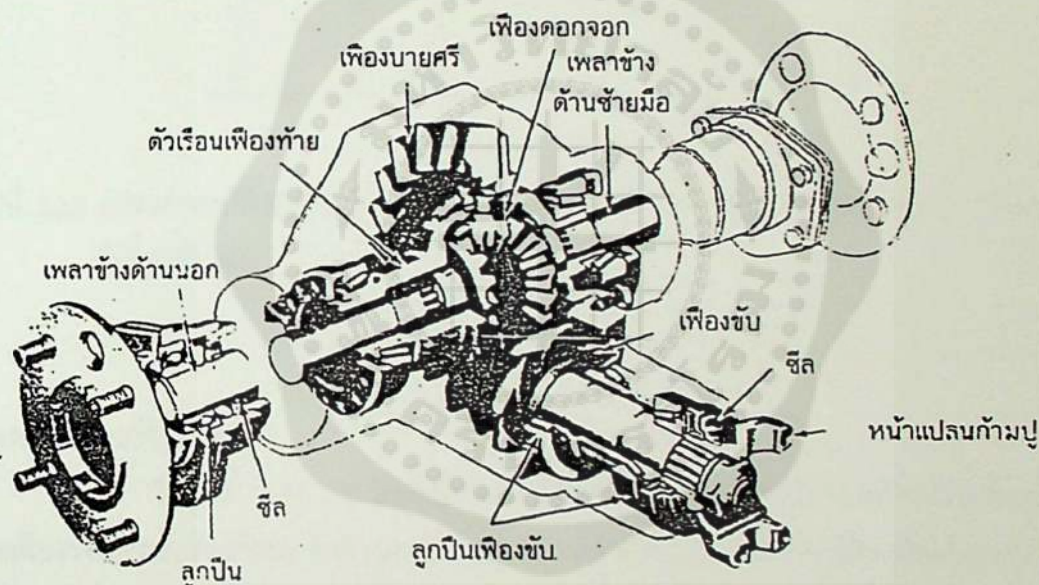
ข้อต่อเลื่อน

เพลากลางจะเอียงจากชุดเฟืองทกลองไปสู่ชุดเฟืองท้าย เมื่อเพลากลางยกตัวขึ้นเนื่องจากแหวนเบ็งขึ้น ความยาวของเพลากลางจะน้อยลง และเมื่อแหวนเบ็งลงเพลากลางก็จะกลับมามีความยาวเท่าเดิมการเปลี่ยนแปลงความยาวเพลากลางนี้ทำได้โดยการใช้ข้อต่อเลื่อน (Slip joint) และสามารถถ่ายทอดกำลังในขณะที่เปลี่ยนแปลงความยาวของเพลากลางได้อีกด้วย ข้อต่อเลื่อนจะอยู่ระหว่างเพลาลักของชุดเฟืองทกกับข้อต่ออ่อนที่ติดอยู่กับเพลากลาง ข้อต่ออ่อนประกอบด้วยสไปดน์ที่ปลายของเพลาลัก โดยเรียกว่าข้อต่อตัวผู้ (Male Member) ซึ่งสามารถเลื่อนเข้า-ออกของข้อ

ต่อเดือนทำให้ความยาวของเพลากลางเปลี่ยนแปลงไปได้และสไปลน์ทำให้ข้อต่อสามารถส่งกำลังได้

เฟืองท้าย

เมื่อมีความต้องการที่จะจับรถเข้าโค้ง ล้อด้านซ้ายและด้านขวาจะหมุนเคลื่อนที่ไปในความเร็วที่เท่ากันเสมอ ทั้งเป็นมาจากสาเหตุสภาพของพื้นผิวถนนในระหว่างที่เลี้ยวเข้าโค้ง ดังนั้นรถยนต์ส่วนใหญ่จึงมีความจำเป็นที่จะต้องมียุทธภัณฑ์ชนิดพิเศษไว้เพื่อให้ล้อด้านซ้ายและด้านขวาหมุนไปด้วยความเร็วที่แตกต่างกัน ยุทธภัณฑ์นั้นก็คือ เฟืองท้าย (differential) ดังแสดงในรูปที่ 2.31 ซึ่งแสดงตำแหน่งติดตั้งของเฟืองท้ายในรถยนต์ขับเคลื่อนล้อหลัง

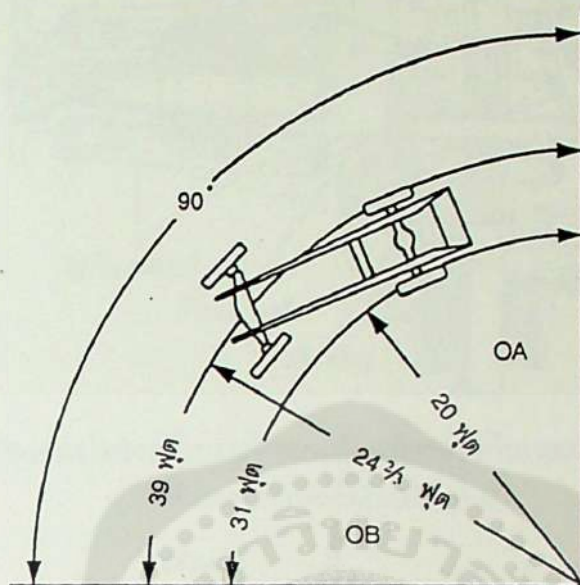


รูปที่ 2.31 แสดงตำแหน่งติดตั้งของเฟืองท้ายในรถยนต์ขับเคลื่อนล้อหลัง

จากการเปรียบเทียบการหมุนเคลื่อนที่ของล้อด้านซ้าย (A) และล้อด้านขวา (B) ในขณะที่ยานยนต์เลี้ยวเข้าโค้ง จะเห็นว่าล้อด้านขวามีรัศมีส่วนโค้งเป็นระยะ (OB) และล้อด้านซ้ายจะมีระยะเท่ากับ (OA) ดังนั้นจึงทำให้ระยะการเดินทางของล้อด้านขวามีระยะทางที่ยาวกว่าล้อด้านซ้าย ดังแสดงในรูปที่ 2.32

จากสาเหตุนี้จึงทำให้ล้อด้านขวามุ่งเร็วกว่าล้อด้านซ้าย ในทำนองเดียวกัน ถ้าล้อด้านใดด้านหนึ่งหมุนเคลื่อนที่ที่อยู่นิ่งของพื้นราบเรียบกว่าอีกด้าน และอีกด้านอยู่ในพื้นที่ผิวของถนนขรุขระ จะมีความเร็วในการเคลื่อนที่ที่สูงกว่าด้านที่อยู่นิ่งบนพื้นที่ถนนที่ราบเรียบ ทั้งนี้เป็นการ

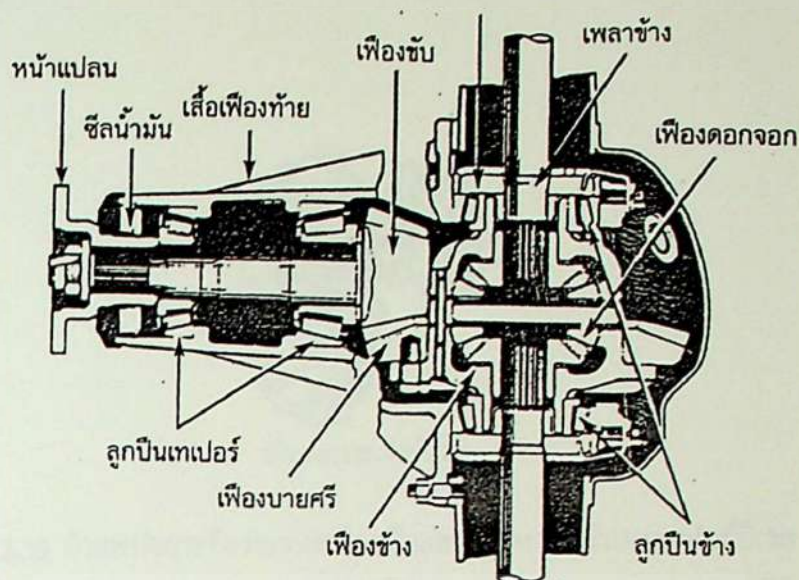
ออกแบบเพื่อง่ายให้มีรอบการหมุนที่แตกต่างกันในขณะที่ถ่ายทอดแรงบิดที่เท่ากัน



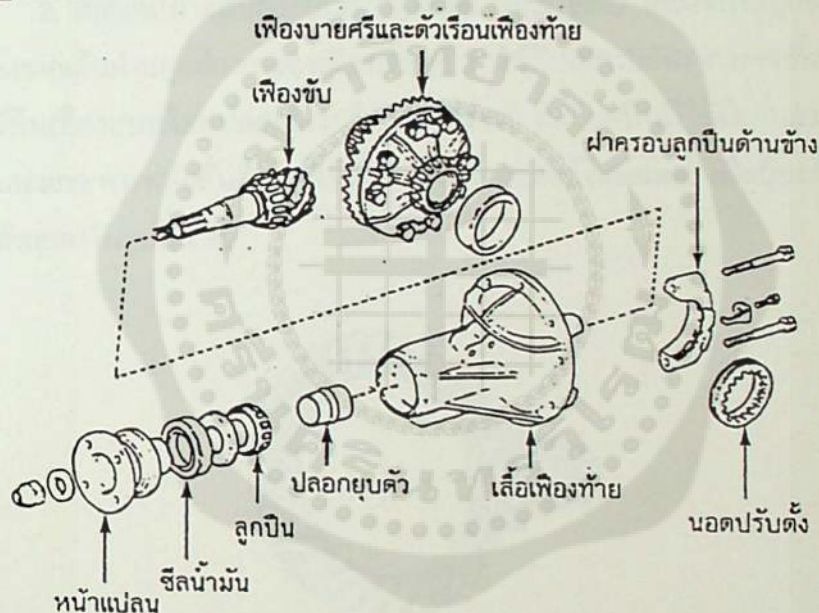
รูปที่ 2.32 แสดงการเปรียบเทียบลักษณะการหมุนเคลื่อนที่ของล้อด้านซ้ายและล้อด้านขวาในขณะ
ที่เลี้ยวเข้าโค้ง

โครงสร้างของเพื่อง่าย

ในรูปที่ 2.33 ภายในตัวเรือนของเพื่อง่ายที่ใช้กับรถยนต์ขับเคลื่อนล้อหลังจะประกอบด้วยเฟืองวงแหวนหรือเฟืองบายศรีและเฟืองขับ โดยจะติดตั้งร่วมกับตัวเรือนเพื่อง่ายผ่านแรงบิดให้ลูกปืนข้างทั้งสองด้าน การหมุนส่งกำลังงานจากเพลากลางไปหมุนให้เฟืองขับหมุน คอยส่งผ่านหน้าแปลนเพื่อง่ายและลูกปืนเทเปอร์ที่สามารถปรับความตึงของลูกปืนได้ ส่วนน็อตที่ยึดลูกปืนข้างทั้งสองด้านจะมีไว้ปรับตั้งระยะห่างของเฟืองขับกับเฟืองบายศรีของเบ็กแลช ส่วนเฟืองคอกจอกและเฟืองข้างจะทำหน้าที่ให้ความเร็วของเพลทั้งสองมีความเร็วที่แตกต่างกัน โดยเฟืองข้างทั้งสองด้านจะรองสไปดน์ไว้ติดตั้งเพลข้าง ในรูปที่ 2.34 แสดงส่วนประกอบของเพื่อง่ายที่ใช้กับรถยนต์ขับเคลื่อนล้อหลัง



รูปที่ 2.33 ภาพตัดแสดงโครงสร้างภายในของเฟืองท้ายที่ใช้กับรถยนต์ที่ขับเคลื่อนล้อหลัง



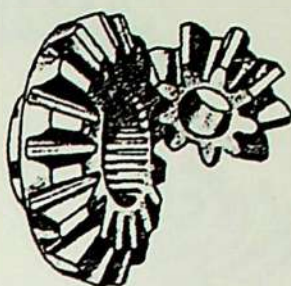
รูปที่ 2.34 ส่วนประกอบของเฟืองท้ายที่ใช้กับรถยนต์ขับเคลื่อนล้อหลัง

ชนิดของเฟืองที่ใช้กับเฟืองท้าย

เพื่องวงแหวนหรือเพื่องบายศรีและเพื่องจับที่ใช้กับเพื่องทำรถยนต์มีอยู่หลายแบบด้วยกันคือ

I. เพืองแบบสปูร์บีเวล (spur bevel gear) จะมีลักษณะของฟันเพืองตรง เพืองขับจะถูกจัดวางไว้ในตำแหน่งกึ่งกลางของเพืองบายศรี จึงทำให้จุดสัมผัสของฟันเพืองเพียงคู่เดียวเท่านั้น ดังนั้นการขับเคลื่อนมีเสียงดังและการสึกหลอสูงมาก ปัจจุบันจึงไม่เป็นที่นิยมนำมาใช้กับเพืองท้าย

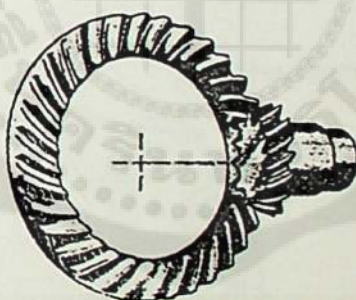
ดังในรูปที่ 2.35



เฟืองแบบสเปอร์บีเวล

รูปที่ 2.35 ตำแหน่งการจัดวางของเฟืองขับและเฟืองนายศรีแบบสเปอร์บีเวล

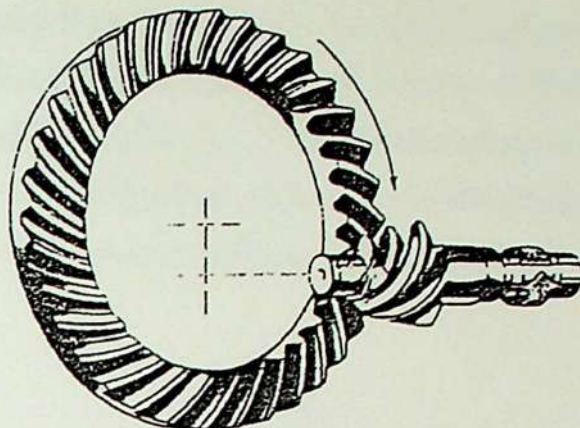
2. เฟืองแบบไฮสพอยด์บีเวล (hypoid bevel gear) เฟืองขับจะถูกจัดให้วางอยู่ในตำแหน่งที่เอียงจากเส้นผ่านศูนย์กลางของเฟืองนายศรี ทำให้ฟันเฟืองมีอัตราการใช้ที่มากกว่า ดังนั้นเฟืองท้ายที่ใช้ฟันเฟืองแบบไฮสพอยด์บีเวลจึงมีเสียงเงียบ และลูกปืนที่ใช้จึงทนแรงกดได้ทั้งแนวรัศมีและตามแนวยาว การหล่อลิ้นจึงต้องใช้น้ำมันเกียร์ไฮสพอยด์โดยเฉพาะ เพื่อป้องกันการสึกหรอที่เร็วเกินไป ดังแสดงในรูปที่ 2.36



เฟืองแบบสไปรอลบีเวล

รูปที่ 2.36 ตำแหน่งการจัดวางของเฟืองขับกับเฟืองนายศรีแบบไฮสพอยด์บีเวล

3. เฟืองแบบสไปรอลบีเวล (spiral bevel gear) ลักษณะของฟันเฟืองจะเฉียงโค้ง ทำให้ความกว้างของหน้าสัมผัสของเฟืองนายศรีและเฟืองขับจะเหลื่อมล้ำกัน เป็นสาเหตุให้ฟันเฟืองที่ขบกันในขณะที่หมุนไม่มีเสียงดัง การถ่ายเทของแรงบิดในเฟืองถัดไปจะเกิดขึ้นได้อย่างต่อเนื่อง จึงเป็นการกระจายโหลดไปยังฟันเฟืองแต่ละฟันได้อย่างเท่ากัน ดังแสดงในรูปที่ 2.37



เฟืองแบบไฮโปอยด์บีเวล

รูปที่ 2.37 ตำแหน่งการจัดวางของเฟืองขับและเฟืองบายศรีแบบไฮโปอยด์บีเวล

4. เฟืองแบบเฮลิคอล (helical gear) มีลักษณะของฟันเฟืองที่เฉียงของเฟืองขับและเฟืองบายศรีฟันเฟืองทั้งสองจะสัมผัสกันในตำแหน่งเดียวกัน โดยจะไม่เลื่อนไถลไปยังเฟืองถัดไป จึงทำให้เกิดการสั่นและเสียงดังที่ต่ำ การส่งถ่ายกำลังของเฟืองจะราบเรียบ ดังนั้นการจัดวางของเฟืองแบบนี้จึงนิยมนำมาใช้กับเฟืองท้ายของรถยนต์ที่ขับเคลื่อนล้อหน้า ดังรูปที่ 2.38

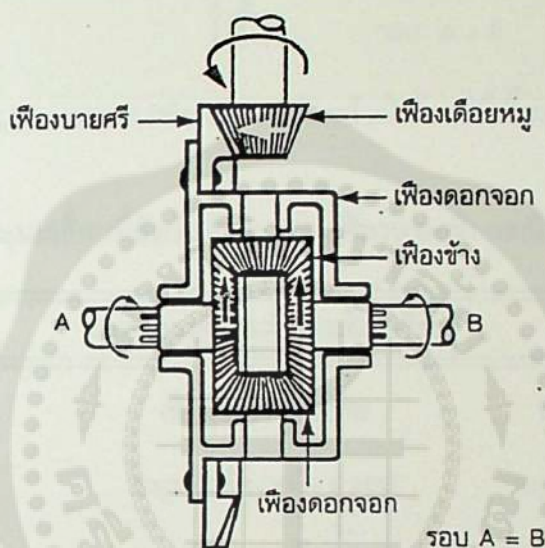


รูปที่ 2.38 ตำแหน่งการจัดวางของเฟืองขับและเฟืองบายศรีแบบเฮลิคอล

หลักการทำงานของเฟืองท้าย

ชุดเฟืองท้ายที่ประกอบด้วยเฟืองบายศรี เฟืองขับ และเฟืองคอกจอกจะมีลักษณะการทำงานพื้นฐานที่สามารถทำความเข้าใจได้ดังนี้

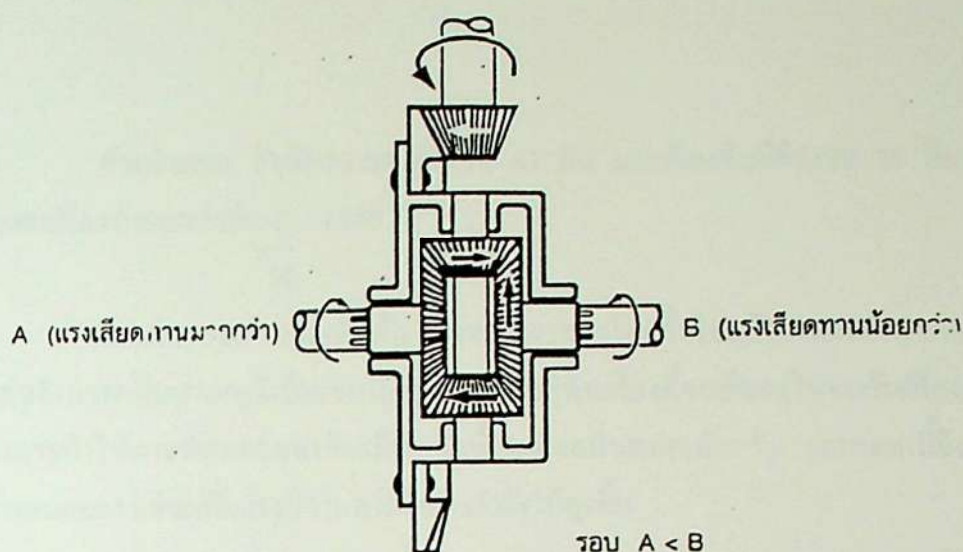
- ในขณะที่รถเคลื่อนที่ ในรูปที่ 2.39 เมื่อรถวิ่งไปข้างหน้าบนถนนที่มีระดับเดียวกันเพลาช้างทั้งสองด้านจะหมุนเคลื่อนที่ไปด้วยความเร็วที่เท่ากัน ทำให้ส่วนประกอบของเฟืองท้ายทั้งหมดหมุนเคลื่อนที่ไปเป็นหน่วยเดียวกัน ดังนั้นเมื่อมีแรงเสียดทานในการขับเคลื่อนที่เท่ากันเฟืองดอกจอกจะไม่หมุนเคลื่อนที่ด้วยตัวเอง แต่มันจะหมุนไปพร้อมกับเฟืองบายศรีแต่อย่างไรก็ตามเฟืองดอกจอกจะทำหน้าที่เชื่อมต่อการขับเคลื่อนระหว่างเฟืองช้างด้านซ้ายและด้านขวาให้เคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่เท่ากัน



รูปที่ 2.39 แสดงการทำงานของเฟืองท้ายในขณะที่รถเคลื่อนที่ไปข้างหน้า

- จะเมื่อรถเลี้ยวเข้าโค้ง ในรูปที่ 2.40 ในขณะที่รถวิ่งเข้าโค้ง ก็จะทำให้ล้อด้านในมีระยะทางการเคลื่อนที่ที่น้อยกว่าด้านนอก เนื่องจากแรงขับที่ส่งถ่ายกำลังผ่านเฟืองดอกจอกไปยังเฟืองช้างด้านนอกหมุนด้วยความเร็วที่แตกต่างกัน ดังนั้นทำให้เฟืองช้างด้านนอกมีรอบหมุนที่เพิ่มมากขึ้น นั่นก็คือเมื่อเฟืองดอกจอกหมุนรอบเฟืองช้างด้านใดด้านหนึ่ง มันทำให้จำนวนรอบของเฟืองทั้งสองหมุนเป็นสองเท่าของเฟืองบายศรี ดังแสดงในรูปที่ 2.40

- ถ้ารถด้านหนึ่งติดหลุมหรือโคลนตม เมื่อล้อด้านหนึ่งด้านใดเกิดติดโคลนหรือหลุม อาการของล้อจะหมุนฟรีมาก เนื่องจากขาดแรงเสียดทานจากโคลน ทำให้เกิดการลื่นไถล ดังนั้นการเคลื่อนที่ในการทำงานของเฟืองดอกจอกและเฟืองช้างจึงมีลักษณะที่แตกต่างจากการเลี้ยวเข้าโค้งโดยสิ้นเชิง



รูปที่ 2.40 แสดงการทำงานของเฟืองท้ายในขณะที่เลี้ยวเข้าโค้ง

ตารางที่ 2.2 แสดงการหมุนเคลื่อนที่สัมพันธ์กันระหว่างเฟืองบายศรีและเฟืองข้าง

การหมุนเคลื่อนที่ของเฟืองท้าย		
เฟืองบายศรี	เฟืองข้างด้านซ้าย	เฟืองข้างด้านขวา
1 รอบ	หมุนไปข้างหน้า 1 รอบ	หมุนไปข้างหน้า 1 รอบ
1 รอบ	หมุนไปข้างหน้า 1 รอบ	หมุนไปข้างหน้า 1 รอบครึ่ง
1 รอบ	ไม่หมุน	หมุนไปข้างหน้า 2 รอบ
ไม่หมุน	หมุนไปข้างหน้า 1 รอบ	หมุนกลับหนึ่งรอบ

อัตราทดของเฟืองท้าย

อัตราทดของเฟืองท้ายก็คืออัตราทดของแรงบิดภายหลังการถูกเปลี่ยนโดยกระปุกเกียร์ที่ส่งกำลังไปยังเพลากลาง (รถยนต์ขับเคลื่อนล้อหลัง) หรือแรงบิดที่ส่งกำลังจากเพลากำลัง (รถยนต์ที่ขับเคลื่อนล้อหน้า) (A) กับความเร็วรอบและแรงบิดที่เป็นจริงของเครื่องยนต์ (B) ซึ่งทั้งหมดนี้เราเรียกว่า อัตราทดของเฟืองท้าย

ดังนั้นอัตราทดของเฟืองท้ายจึงสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\text{อัตราทดของเฟืองท้าย} = \frac{\text{จำนวนฟันของเฟืองบายศรี (A)}}{\text{จำนวนฟันของเฟืองขับ (B)}}$$

ตัวอย่างเช่น ถ้าเฟืองบายศรีจำนวน 43 ฟัน และเฟืองขับมีจำนวน 10 ฟัน ดังนั้น อัตราทดของเฟืองท้ายจะเท่ากับ $\frac{43}{10} = 4.300$

จากตัวอย่างคำนวณข้างต้น ซึ่งตามธรรมดาโดยทั่วไปแล้วจำนวนอัตราทดจะไม่เป็นตัวเลขจำนวนเต็มสาเหตุที่เป็นเช่นนี้ก็เพื่อป้องกันคู่ฟันเฟืองที่ขบกันอยู่ไปขบกับเฟืองถัดไป และเป็นการทำให้การสึกหลอของฟันเฟืองเกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอเท่าๆกัน นอกจากนี้ยังทำให้ความเร็วยรอบลดลง แต่จะเพิ่มแรงบิดในการส่งถ่ายกำลังให้สูงขึ้น

ดังนั้นในการคำนวณหาค่าส่งงานที่เป็นจริง จึงมีวิธีการได้ดังนี้

$$\text{กำลังงานของเครื่องยนต์ (PS)} = \text{ค่าคงที่ (K)} \times \text{ความเร็วยรอบ (N)} \times \text{แรงบิด (T)}$$

ซึ่งค่าของ K เป็นค่าคงที่ของความสัมพันธ์ระหว่างกำลังจากเพลากำลังและล้อหลัง ซึ่งก็มีวิธีคำนวณได้ดังนี้

$$\text{ความเร็วยรอบของเพลาส่งกำลัง X (T)} = \text{ความเร็วยรอบของล้อหลัง X (T)}$$

จากการคำนวณหาทางสมการจะทำให้แรงบิดเพิ่มขึ้นแต่ความเร็วยรอบลดลง อัตราทดของเฟืองท้ายที่ถ้าทอดแรงบิดไปยังล้อหลังจึงถูกกำหนดได้โดยกำลังของเครื่องยนต์ โหลดของรถ และสมรรถนะการเร่งการไต่ขึ้นที่สูง จากการต้องการสมรรถนะให้ไต่ขึ้นที่สูงได้นี้ จึงทำให้ต้องมีอัตราทดเพิ่มขึ้นแต่สมรรถนะความเร็วยรอบลดลง ด้วยเหตุนี้รถบรรทุกจึงต้องมีกลไกสำหรับเปลี่ยนอัตราทดจากสูงไปต่ำเพื่อให้สอดคล้องกับโหลด

อัตราทดรวม

เป็นการรวมของอัตราทดเกียร์ส่งกำลังและอัตราทดของเฟืองท้ายเข้าด้วยกันดังสมการ

$$RrT = Rg \times Rr F$$

$$RrT = \text{อัตราทดรวม}$$

โดยที่

R_g = อัตราทดของเกียร์

R_r = อัตราทดของเฟืองท้าย

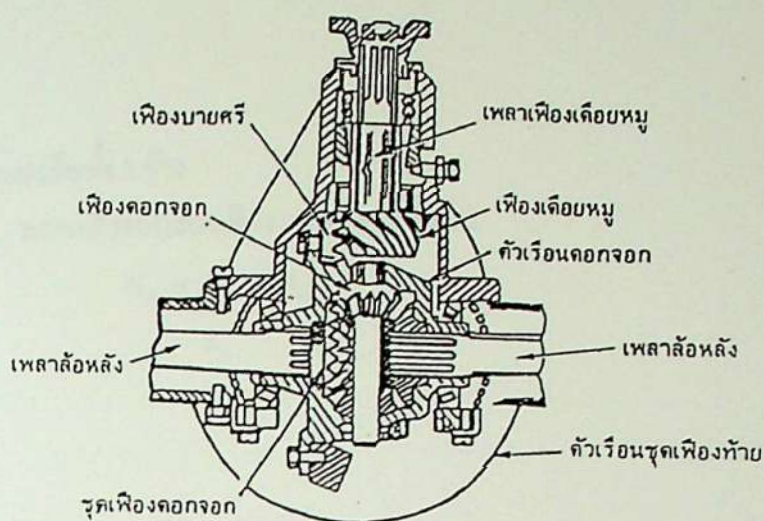
ชุดเฟืองคอกจอก

ในขณะที่รถยนต์วิ่งเข้าโค้ง ล้อด้านนอกจะต้องหมุนเร็วกว่าล้อด้านใน เพื่อให้ได้ระยะทางมากกว่าล้อด้านใน สำหรับรถยนต์ที่ขับเคลื่อนด้วยล้อหลัง ที่ล้อหน้าไม่มีปัญหาย่างไร เพราะล้อหน้าแต่ละล้อสามารถหมุนเป็นอิสระต่อกัน แต่ที่ล้อหลังจะต่อเข้ากับเพลาล้อและหมุนไปด้วยกัน จึงต้องมีอุปกรณ์มาช่วยให้ล้อทั้ง 2 ข้าง หมุนด้วยความเร็วต่างกันได้ ชุดเฟืองคอกจอกจะทำให้ล้อหลังหมุนด้วยความเร็วต่างกัน โดยไม่มีผลต่อการขับเคลื่อนของรถยนต์ในขณะที่วิ่งเข้าโค้ง

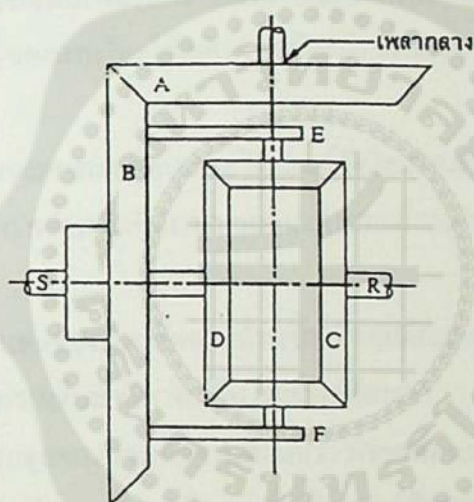
ชุดเฟืองคอกจอก (รูปที่ 2.41) ประกอบด้วยเรือนชุดเฟืองคอกจอกซึ่งยึดเข้ากับเฟืองบายศรีเฟืองคอกจอก ซึ่งเป็นเฟืองขับ (Differential pinion) จำนวนหนึ่ง (ตามปกติจะมี 2 หรือ 4 เฟือง) จะยึดติดกับเรือนชุดเฟืองคอกจอกด้วยสลักและขบอยู่กับเฟืองคอกจอกทางด้านข้าง (Differential side gear) 2 เฟือง

เฟืองคอกจอกทางด้านข้างจำนวน 2 เฟือง จะอยู่บนสไปนดิลของเพลาล้อทั้ง 2 ข้างที่สอดเข้ามาในเรือนชุดเฟืองคอกจอกแต่ละด้าน เพลาล้อจะหมุนอยู่ในเรือนชุดเฟืองคอกจอกและขับล้อให้หมุน ตามธรรมดาแล้วเฟืองคอกจอกจะเป็นเฟืองฉากเกลียว

กำลังจะถ่ายทอดจากเฟืองบายศรี ไปยังเพลาล้อผ่านเฟืองคอกจอกขับและเฟืองคอกจอกทางด้านข้าง เมื่อรถยนต์เคลื่อนที่ในแนวเส้นตรง ความเร็วของเฟืองบายศรี เฟืองคอกจอกขับ เฟืองคอกจอกทางด้านข้าง และเพลาล้อจะเท่ากัน เฟืองคอกจอกขับและเฟืองคอกจอกทางด้านข้างจะไม่หมุนขั้กันในกรณีนี้ แต่จะหมุนเป็นชุดเดียวกันกับเรือนชุดเฟืองคอกจอก เมื่อรถยนต์วิ่งเข้าโค้ง ล้อข้างหนึ่งจะต้องหมุนเร็วกว่าล้ออีกข้างหนึ่ง ดังนั้นในกรณีนี้เฟืองคอกจอกขับจะหมุนไปรอบ ๆ พื้นของเฟืองคอกจอกทางด้านข้าง มีผลทำให้เฟืองคอกจอกทางด้านข้าง เพลาล้อและล้อชุดหนึ่งจะหมุนเร็วกว่าอีกชุดหนึ่ง ความเร็วเฉลี่ยของเฟืองคอกจอกทางด้านข้าง เพลาล้อหรือล้อจะเท่ากับความเร็วของชุดเฟืองท้าย



รูปที่ 2.41 เฟืองท้าย



รูปที่ 2.42 เฟืองคอกจอก

$$1.) \quad \frac{N_C - N_B}{N_C - N_B} = \frac{Z_D}{Z_B} \times \frac{Z_B}{Z_C} = \frac{-Z_D}{Z_C}$$

$$= -1$$

(เพราะว่า $Z_D = Z_C$)

$$\text{หรือ } N_C - N_B = N_D + N_B$$

ดังนั้น

$$N_B = \frac{N_C + N_D}{2}$$

ดังนั้นความเร็วรอบของเรือนชุดเฟืองคอกจอกหรือความเร็วรอบของเพื่องบายศรี จะมีค่าเท่ากับ

ความเร็วรอบเฉลี่ยของล้อทั้ง 2 ข้าง

2. ความเร็วรอบของเฟืองบายศรี จะมีค่าเป็น

$$N_B = \frac{Z_A}{Z_B} \times N_A$$

คาน

ในการออกแบบคานเพื่อใช้ในงาน โครงสร้าง เราจำเป็นต้องทราบแรงเฉือน (shear) และ โมเมนต์คด (bending moment) ที่เกิดขึ้นในส่วนต่าง ๆ ของคาน ดังนั้นเราจึงแสดงค่าแรงเฉือนในส่วนต่าง ๆ ของคานโดยใช้แผนภาพเรียกว่า แผนภาพแรงเฉือน (shear force diagram) และแสดงค่าโมเมนต์คดในส่วนต่าง ๆ ของคานโดยใช้แผนภาพเรียกว่า แผนภาพโมเมนต์คด (bending moment diagram)

ในการคำนวณหาแรงเฉือน และ โมเมนต์คดในส่วนต่าง ๆ ของคาน เราจะใช้วิธีการคิดสมดุลของส่วนตัดของคาน การกำหนดทิศทางบวกของค่าแรงเฉือนและ โมเมนต์คดให้กำหนดทิศทางดังรูป กล่าวคือ

1. ถ้าคิดสมดุลของส่วนตัดคานด้านซ้ายที่รอยตัดแรงเฉือนในทิศลงจะเป็นแรงเฉือนบวกและ โมเมนต์คดในทิศทวนเข็มนาฬิกาจะเป็น โมเมนต์คดบวก
2. ถ้าคิดสมดุลของส่วนตัดคานด้านขวา ที่รอยตัดแรงเฉือนในทิศขึ้นจะเป็นแรงเฉือนบวกและ โมเมนต์คดในทิศตามเข็มนาฬิกาจะเป็น โมเมนต์คดบวก

ในการลากเส้นรอยตัดผ่านส่วนต่าง ๆ ของคาน แล้วนำส่วนตัดของคานทางซ้ายหรือด้านขวามาคิดสมดุล เพื่อหาแรงเฉือนและ โมเมนต์คดที่รอยตัดนั้นเราจะลากเส้นรอยตัดผ่านส่วนของคานในตำแหน่งดังนี้

1. ระหว่างแรงกระทำเป็นจุด 2 แรง
2. ระหว่างแรงกระทำเป็นจุด 1 แรง และแรงที่กระจายเป็นบริเวณ
3. ในช่วงของแรงกระจายเป็นบริเวณที่มีความต่อเนื่องของแรง

ค่าความปลอดภัย หมายถึง ตัวเลขที่นำไปหารค่าความต้านแรงดึงหรือความต้านแรงดึงครากของวัสดุ เพื่อให้ได้ความเค้นใช้งาน (working stress) ในชิ้นส่วนที่กำลังออกแบบซึ่งเรียกสั้น ๆ ว่า ความเค้นออกแบบ (design stress) หรือความเค้นใช้งาน

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

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

การโก่งของคาน (DEFLECTION OF BEAM)

คานจะรับแรงกระทำแล้วเกิดโมเมนต์คด และโมเมนต์นี้จะทำให้เกิดความเค้นขึ้น ถ้าความเค้นที่เกิดขึ้นในคานนี้ไม่เกินความเค้นที่กำหนดของวัสดุที่นำมาทำคานแล้วคานจะไม่พัง แต่บางที่ส่วนประกอบอื่น ๆ อาจเสียหายได้ ทั้งนี้เพราะคานมีการโก่ง จากสูตร

สำหรับแรงกระทำ

$$Y (\text{ระยะโก่ง}) = \frac{FL^3}{48EI}$$

และสำหรับแรงกระจายสม่ำเสมอ

$$Y (\text{ระยะโก่ง}) = \frac{5FL^3}{384EI}$$

$y_{\max} = -\frac{FL^3}{48EI}$
 To $x = \frac{L}{2}$, $V_x = \frac{F}{2}$
 $M_x = \frac{Fx}{2}$
 $x = 0 : \theta = -\frac{FL^3}{16EI}$
 $x = \frac{L}{2}$, $M_{\max} = \frac{FL}{4}$
 To $x = \frac{L}{2}$, $y = -\frac{F}{48EI}(3L^2x - 4x^3)$

$y_{\max} = -\frac{5FL^3}{384EI}$
 $R_1 = wL/2$, $F = wL$, $R_2 = wL/2$
 $V_x = \frac{w}{2}(L-2x)$
 $M_x = \frac{w}{2}(Lx - x^2)$
 $x = \frac{L}{2}$: $M_{\max} = \frac{FL}{8} = \frac{wL^2}{8}$
 $x = 0 : \theta = -\frac{wL^3}{24EI}$
 $y = -\frac{wx}{24EI}(L^3 - 2Lx^2 + x^3)$

รูปที่ 2.43 การโก่งของคาน

เสา

เสามีลักษณะเป็นท่อนตรงและรับแรงกดในแนวแกน ถ้าแรงมีค่าไม่มากนักเสาที่เรียวยาวก็ยังคงอยู่ในสภาพที่ตรงได้ แต่ถ้าแรงเพิ่มขึ้นถึงค่าหนึ่ง เสาดังกล่าวก็อาจจะเกิดการโก่งงอขึ้น (buckling) แรงที่ทำให้เกิดการโก่งงอนี้เรียกว่า แรงวิกฤต (critical load) ความเค้นที่เกิดในเสา

ขณะที่จะเริ่มเกิดการโก่งงออาจจะต่ำกว่าความเค้นใช้งานก็ได้ อย่างไรก็ตามเมื่อเกิดการโก่งงอขึ้นแล้ว ชิ้นงานนั้นก็ไม่สามารถที่จะทำหน้าที่ได้ตามต้องการ ฉะนั้นการออกแบบจึงอาจจะจำกัดแรงที่ทำให้เกิดการโก่งงอแทนที่จะจำกัดความเค้น

ชิ้นส่วนของเครื่องจักรกลจำนวนมากที่ทำหน้าที่เช่นเดียวกับเสา เช่น ก้านสูบ ตูตอร์ที่ใช้กับเสาจะจำแนกออกตามอัตราส่วนความเพียว (Slenderness ratio) $\frac{L_c}{k}$ โดยที่

L_c คือ ความยาวสมมูล (equivalent length)

$$K = \left[\frac{I}{A} \right]^{1/4} \text{ รัศมีเรชัน}$$

I คือ โมเมนต์ความเฉื่อยของหน้าตัด

A คือ พื้นที่หน้าตัด

เนื่องจากการออกแบบเสาที่อาจจะเกิดการโก่งงอจะจำกัดแรง แทนที่จะจำกัดความเค้น ดังนั้นจึงต้องใช้ค่าความปลอดภัยกับแรงกด ถ้าให้ F_c เป็นแรงวิกฤต แรงกดใช้งานคือ $F = \frac{F_c}{N}$

สำหรับเสาที่มีขนาดยาวจะนิยมใช้สูตรของออยเลอร์ (Euler) คือ

$$\begin{aligned} F &= \frac{\pi^2 EA}{N(L_c/k)^2} \\ &= \frac{\pi^2 EI}{NL_c^2} \end{aligned} \quad (2.1)$$

ซึ่งถ้าเป็นเหล็กโครงสร้างแล้วจะใช้สูตรของออยเลอร์เมื่ออัตราส่วนความเพียวมากกว่า 115 จากสูตรจะเป็นว่าเสาจะเกิดการโก่งรอบแกน ซึ่งโมเมนต์ความเฉื่อยของหน้าตัดหรือรัศมีไจเรชันมีค่าน้อยที่สุด ส่วนค่าความปลอดภัยสำหรับเสายาวนี้ ในทางการออกแบบเครื่องกลแนะนำให้ใช้ประมาณ 3.5

สำหรับค่าความยาวสมมูลนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะของปลายชิ้นงานที่ยึดอยู่ ดังรูปที่

2.40

ปลายยึดแบบธรรมดา (SS: simply supported)

$$L_c = L \quad (2.2)$$

ปลายยึดแน่นสองข้าง (CC: clamped) $L_e = \frac{L}{2}$ (2.3)

ปลายยึดแบบธรรมดา ยึดแน่น (SC: simply supported-clamped) $L_e = 0.70 L$ (2.4)

ปลายยึดแน่น อิสระ (CF: clamped-free) $L_e = 2 L$ (2.5)

$$\left. \begin{array}{c} d \left(\frac{F}{A} \right) \\ d \left(\frac{L_e}{k} \right) \end{array} \right\} \text{ออกเตอร์} = \left. \begin{array}{c} d \left(\frac{F}{A} \right) \\ d \left(\frac{L_e}{k} \right) \end{array} \right\} \text{จอห์นสัน}$$

ซึ่งจะได้จุดเปลี่ยนคือ

$$\frac{L_e}{k} = \sqrt{\frac{2 \pi^2 E}{\sigma_y}} \quad (2.6)$$

สำหรับสูตรของเสาอื่น ๆ ที่มีอยู่ แต่ไม่เป็นที่นิยมใช้ในการออกแบบเครื่องจักรกล คือ สูตรเส้นตรงและสูตรซีแคนต์ (Secant formula) จะไม่กล่าวถึงในที่นี้ ผู้อ่านที่สนใจจะหาได้จากหนังสือกลศาสตร์วัสดุทั่วไป

สมการ (2.1) และสมการที่ (2.3) อาจจัดรูปใหม่ได้เป็น

$$\sigma_c = \alpha \frac{F}{A}$$

โดยที่ $\alpha = \frac{\sigma_y (L_e / k)^2}{\pi^2 E}$ สำหรับสูตรของออกเตอร์

$\alpha = \frac{1}{1 - \frac{\sigma_y (L_e / k)^2}{4 \pi^2 E}}$ สำหรับสูตรของจอห์นสัน

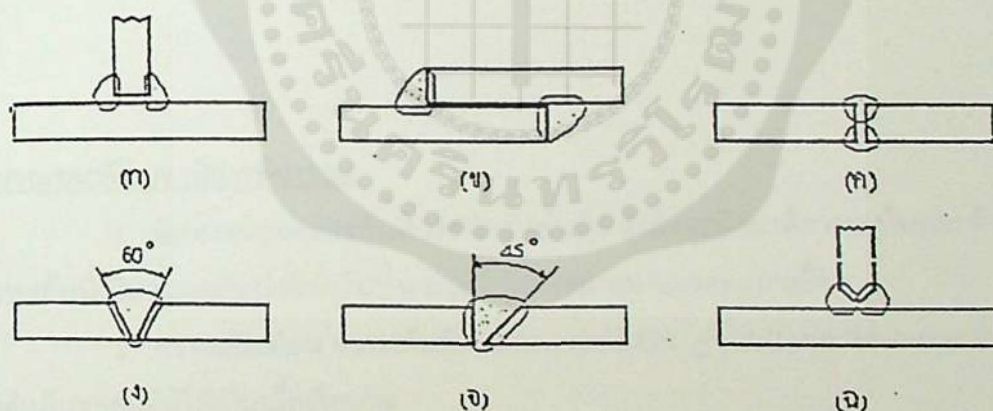
ค่า σ_c เรียกว่า ความดันสมมูล (equivalent stress) ซึ่งได้มาจากการให้

$$N = \frac{Fc}{F} = \frac{\sigma_y}{\sigma_e}$$

และเป็นการบอกถึงความปลอดภัยอีกวิธีหนึ่งว่า ความดันที่เกิดขึ้นมีค่าต่ำกว่าความต้านแรงดึงครากเท่าไร

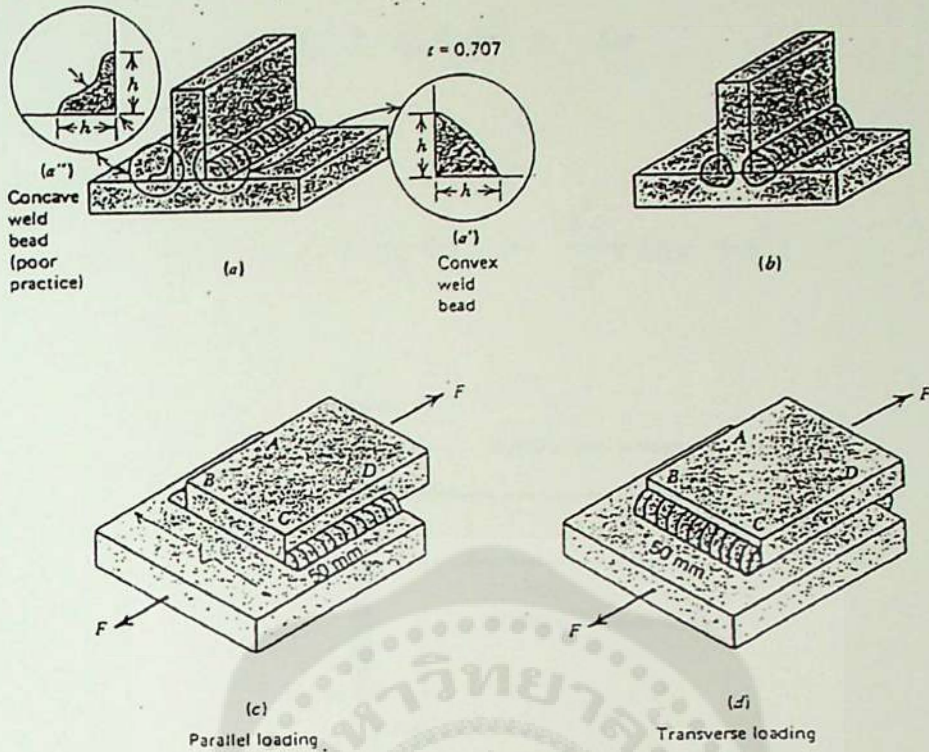
การเชื่อมต่อ

การเชื่อมต่อ (welded joint) เป็นวิธีการต่อชิ้นงานเข้าด้วยกัน ซึ่งนิยมใช้กันมากในงานอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนต่าง ๆ สำหรับรอยเชื่อมต้องรับแรงสูง นิยมวิธีการเชื่อมด้วยไฟฟ้า (arc welding) การเชื่อมด้วยแก๊ส (gas welding) และการเชื่อมด้วยความต้านทานไฟฟ้า (resistant welding)



รูปที่ 2.45 แสดงรอยเชื่อมต่างๆ

ตามรูปที่ 2.17 เป็นรูปแบบการเชื่อมในลักษณะต่าง ๆ รูปที่ 2.17c แสดงรอยเชื่อมที่มีภาระกระทำขนานกับรอยเชื่อมซึ่งเรียกภาวะนั้นว่า parallel load และรูปที่ 2.17d แสดงรอยเชื่อมที่มีภาระกระทำตั้งฉากกับรอยเชื่อมซึ่งเรียกภาวะนั้นว่า transverse load ซึ่ง parallel load จะทำให้เกิดแรงเฉือนกระทำกับแนวเชื่อม และ transverse load จะทำให้เกิดแรงดึงและแรงเฉือนกระทำกับแนวเชื่อมไปพร้อมกัน รูปที่ 2.18a แสดงขนาดของรอยเชื่อมซึ่ง h คือขาของรอยเชื่อม (leg length) และ t คือคอคของรอยเชื่อม (throat length) โดยที่ $t = 0.7070h$



รูปที่ 2.46 แสดงลักษณะการใช้งานของรอยเชื่อม

การคำนวณรอยเชื่อมจะมีการพิจารณา

1. ทิศทางของความเค้นที่กระทำกับพื้นที่หน้าตัดจะนำมาพิจารณาในการคำนวณ และความเค้นนี้เป็นความเค้นปกติทั่วไปซึ่งสมมุติให้มีค่าสม่ำเสมอตลอดแนวเชื่อม

2. ความเค้นเฉือน ความเค้นดัด จะคำนวณได้จาก $\tau = T/r$ และ M/I และชิ้นส่วนที่เชื่อมต่อกันจะสมมุติให้เป็นเนื้อเดียวกัน

ค่า I และ J เป็นแฟกเตอร์ที่เพิ่มเข้ามาเพื่อใช้ในการคำนวณแนวเชื่อมซึ่งสามารถหาค่าได้โดยสูตรดังนี้

$$I_{x'} = \int y^2 dA = 2 \int_0^{L/2} y^2 (t dy) = \frac{L^3}{12} \quad (2.7)$$

$$I_{y'} = 0$$

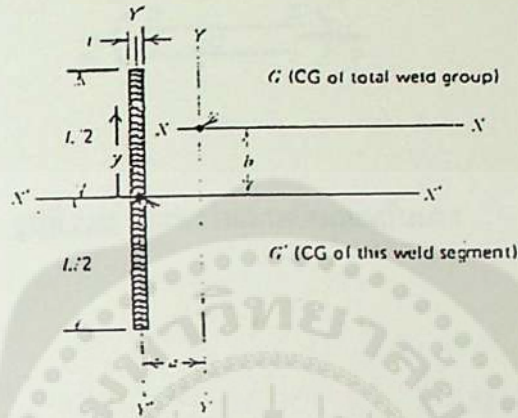
เมื่อ

$$I_x = I_{x'} + Ab^2 = \frac{L^3 t}{12} + Ltb^2 \quad (2.8)$$

$$I_Y = I_{Y'} + Ab^2 = Lta \quad (2.9)$$

และ

$$J = I_X + I_Y = \frac{L^3 t}{12} + Lt(a^2 + b^2) \quad (2.10)$$

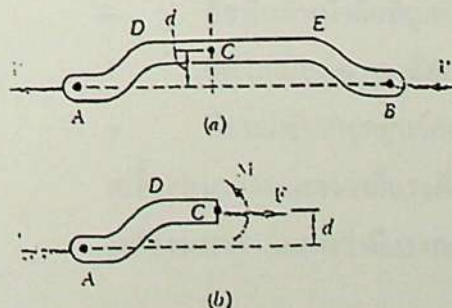


รูปที่ 2.19 แสดงโมเมนต์ความเฉื่อยของรอยเชื่อม

ภาระเยื้องศูนย์กลาง

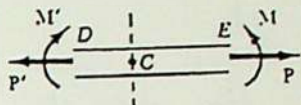
ภาระเยื้องศูนย์กลางเกิดจากการที่มีแรงกระทำเยื้องศูนย์กลางลงบนพื้นที่หน้าตัดที่ถูกกระทำ ซึ่งแสดงไว้ดังรูปที่ 2.21a เมื่อมีแรงกระทำเยื้องศูนย์กลางลงและจะทำให้เกิดโมเมนต์แรงคู่ควบเกิดขึ้นดังรูปที่ 2.21b ที่ส่วนตัด AC แรง F มีขนาดเท่ากับแรง P' และโมเมนต์แรงคู่ควบ M มีค่าเท่ากับโมเมนต์ของแรง P' แต่ทิศทางตรงกันข้ามซึ่งกระทำที่จุด C และ d เป็นระยะทางจากจุดศูนย์กลางมวลถึงเส้น AB ซึ่งมีแรง P และ P' กระทำกันอยู่ในแนวแกนนี้ ซึ่งจะได้

$$F = P \text{ และ } M = Pd$$

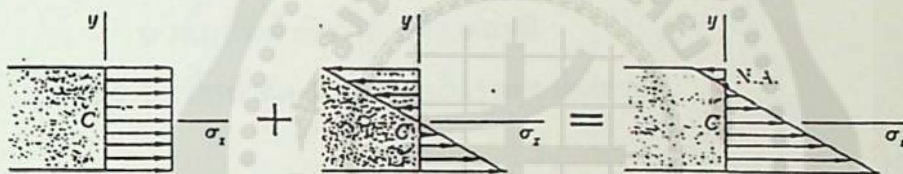


รูปที่ 2.47 แสดงการเยื้องศูนย์กลางของแรง

สังเกตว่าตามแนวเส้น AB จะมีแรงกระทำที่จุดศูนย์กลางมวล คือ แรง P และ P' และจะทำให้เกิดโมเมนต์ของแรงคู่ควบ M และ M' ดังรูปที่ 2.20 ดังนั้น จึงเกิดแรงกระทำที่จุดศูนย์กลางมวลและโมเมนต์ที่กระทำที่ปลายทั้งสองตามรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.48 แสดงโมเมนต์คดและเส้นแรง



รูปที่ 2.49 แสดงภาพการรวมความเค้น

จะได้

$$\sigma_x = (\sigma_x)_{centric} + (\sigma_x)_{bending} \quad (2.11)$$

$$\sigma_x = \frac{P}{A} \pm \frac{My}{I} \quad (2.12)$$

เมื่อ

- A คือพื้นที่หน้าตัดที่ถูกกระทำ
- I คือโมเมนต์ความเฉื่อยรอบจุดศูนย์กลางมวล
- y คือระยะจากจุดศูนย์กลางมวลถึงปลายสุดของแต่ละด้าน
- เครื่องหมาย + แสดงว่ามีแรงดึงที่กระทำที่พื้นที่หน้าตัดนั้น ๆ
- เครื่องหมาย - แสดงว่ามีแรงกดกระทำที่พื้นที่หน้าตัดนั้น ๆ

ความเค้นปกติ (Normal Stress)

เป็นความเข้มของแรง หรือแรงภายในต่อหน่วยพื้นที่ที่แรงกระทำ แรงภายในกระทำตั้งฉากกับพื้นที่ ΔA ใช้สัญลักษณ์ว่า σ (Sigma) โดยใช้วิธี take limit จะได้ว่า

$$\sigma = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F_n}{\Delta A}$$

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

โดยกำหนดให้

σ หมายถึง ความเค้นปกติ (ความเค้นดึงหรืออัด ณ หน้าตัดนั้น ๆ)

F หมายถึง แรงลัพธ์ภายในที่กระทำตั้งฉากกับพื้นที่หน้าตัดนั้น แรง F นี้จะมีทิศทางตั้งหรือบนพื้นที่หน้าตัดก็ได้ แล้วแต่กรณี

A หมายถึง พื้นที่หน้าตัด ณ ตำแหน่งที่แรงภายในกระทำ

ความเค้นเฉือน (Shear Stress)

เป็นความเข้มของแรง หรือแรงภายในที่กระทำต่อหน่วยพื้นที่ แรงภายในนั้นจะขนานพื้นที่ ΔA ใช้สัญลักษณ์ว่า τ (Tau) โดยใช้วิธี take limit จะได้ว่า

$$\tau = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F_t}{\Delta A}$$

$$\tau = \frac{F}{A}$$

โดยกำหนดให้

τ หมายถึง ความเค้นเฉือน ณ ตำแหน่งหน้าตัดนั้น ๆ

F หมายถึง แรงลัพธ์ภายในที่กระทำขนานกับหน้าตัดนั้น ๆ

A หมายถึง พื้นที่หน้าตัดที่แรงลัพธ์ภายในกระทำ

สูตรของการบิด (The Torsion Formula)

ถ้าวัสดุเป็น Linear - Elastic จากกฎของฮุค (Hooke's Law), กำหนดค่า $\tau = G\gamma$ และ
เปลี่ยนแปลงความเครียดเฉือนเป็นเส้นตรง ความเค้นเฉือนเป็นเส้นตรงจาก $\gamma = \left(\frac{\rho}{C}\right) \gamma_{\max}$ และ

$$\tau = G\gamma \text{ สามารถเขียนใหม่ได้เป็น } \gamma = \frac{\tau}{G} = \left(\frac{\rho}{C}\right) \gamma_{\max} \therefore \tau = \left(\frac{\rho}{C}\right) G\gamma_{\max}$$

$$\tau = \left(\frac{\rho}{C}\right) \tau_{\max} \text{ จากรูป 3-4 ส่วนเล็ก ๆ ของพื้นที่}$$

คือ dA อยู่ ณ ตำแหน่งรัศมี ρ ใด ๆ

$$\therefore \text{แรงที่กระทำ } dF \text{ เท่ากับ } \tau dA$$

$$\therefore \text{Torque ที่เกิดขึ้นเป็น } dT = \rho (\tau dA)$$

$$\text{รวมแรงบิด } dT \text{ ย่อยจะได้ } \int dT = \int \rho (\tau dA)$$

$$T = \int \rho \left(\frac{\rho}{C}\right) \tau_{\max} dA$$

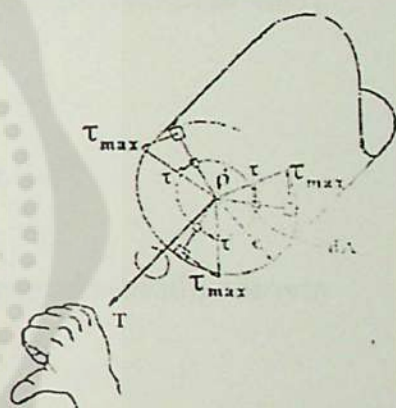
$$\therefore T = \frac{\tau_{\max}}{C} \int \rho^2 dA$$

สมการ Integral นี้ขึ้นอยู่กับเรขาคณิตของเพลลา และใช้แทนด้วย

Polar Moment of Inertia ของหน้าตัดเพลลา (J)

$$\text{จะได้สมการ } T = \frac{\tau_{\max}}{C} J$$

$$\therefore \tau_{\max} = \frac{TC}{J}$$



รูปที่ 2.50 ทิศทางกระทำของแรง

กำหนดให้ $\tau_{\max}$ หมายถึง ความเค้นเฉือนสูงสุดของเพลลาที่ผิวนอกสุด

T หมายถึง ผลลัพธ์ของแรงบิดภายในที่กระทำต่อหน้าตัด หากจากวิธีตัดหน้าตัด

(Section) และสมการสมดุลของโมเมนต์รอบแนวแกน

J หมายถึง Polar Moment of Inertia ของพื้นที่หน้าตัดมีค่าเท่ากับ $\int \rho^2 dA$

C หมายถึง รัศมีของเพลลา

อุปกรณ์ล็อก

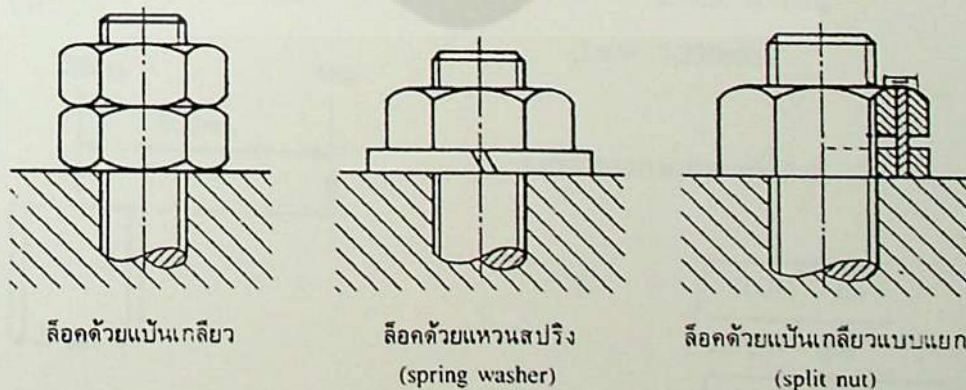
ในการยึดชิ้นงานด้วยเกลียวทั่วไปจะต้องคิดถึงแรงสองชนิด ซึ่งรอยต่อมีผลตรงข้ามกันคือ

1. แรงที่ทำให้รอยต่อหลวม ซึ่งเกิดจากแรงในแนวแกน พยายามทำให้เกลียวคลายตัวหรือเกิดจากการสั่นสะเทือน
2. แรงที่เกิดจากความเสียดทานซึ่งต้านทานการคลายตัวของเกลียว

การออกแบบรอยต่อด้วยเกลียวจะออกแบบให้มีแรงเสียดทานเพื่อป้องกันเกลียวคลายตัว ปกติรอยต่อจะต้องแน่นเมื่ออยู่ภายใต้แรงนิ่ง แต่อย่างไรก็ตามรอยต่อส่วนมากจะอยู่ภายใต้แรงเปลี่ยนแปลงหรือมีการสั่นสะเทือนซึ่งจะทำให้รอยต่อหลวมได้ ดังนั้นรอยต่อประเภทนี้จึงต้องมีอุปกรณ์เพิ่มเติม เพื่อต่อต้านการคลายตัวแทนที่จะใช้ความเสียดทานจากเกลียวแต่เพียงอย่างเดียว อุปกรณ์ล็อกมีใช้กันอยู่มาก ซึ่งอาจแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดใหญ่ๆ คือ

1. อุปกรณ์ล็อกโดยอาศัยความเสียดทาน
2. อุปกรณ์ล็อกการเคลื่อนที่โดยตรง (positive locked)

อุปกรณ์ล็อกโดยอาศัยความเสียดทาน ใช้ป้องกันการคลายตัวของแป้นเกลียวจากสลักเกลียวหรือสตั๊ด โดยเพิ่มความเสียดทานที่เกลียวให้มากขึ้นดังรูปที่ 2.51



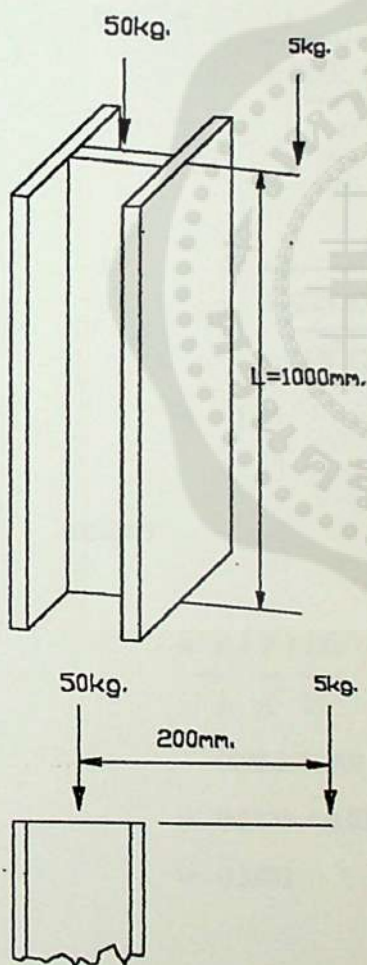
รูปที่ 2.51 อุปกรณ์ล็อกโดยอาศัยความเสียดทาน

บทที่ 3

การคำนวณการออกแบบ

เสา

ตัวอย่างการคำนวณ เสา 2



วัสดุ SS 400 H – Beam 100x100mm.

จากตารางภาคผนวก H-Baem ได้ค่า

ต่างๆ ดังนี้

$$G = 100 \text{ mm.}$$

$$Q = 96 \text{ mm.}$$

$$H = 100 \text{ mm.}$$

$$H = 84 \text{ mm.}$$

$$A = 2190 \text{ mm.}$$

$$E = 207 \text{ kg/mm.}$$

$$\sigma_y = 23 \text{ kg/mm.}$$

$$= 225.63 \text{ N/mm.}$$

$$L_x = 3,230 \text{ mm.}$$

จากตารางภาคผนวกที่ 2.2

$$\begin{aligned} K &= \sqrt{\frac{I(GH^3 - qh^3)}{12(GH - qh)}} \\ &= \sqrt{\frac{I(100 \times 100^3) - 96(84^3)}{12(100(100) - 96(84))}} \\ &= 43.07 \end{aligned}$$

รูปที่ 3.1 แรงกระทำบนเสา

การยึดปลายเสาเป็นแบบ CF ดังนั้น $L_e = 2L$

$$L = 1000$$

$$L_r = 2 \times 1000 = 2000$$

$$\text{ดังนั้น } \frac{L_c = 2000}{K \quad 43.07} = 46.43$$

และจากสูตร

$$\begin{aligned} \alpha &= \frac{1}{\frac{1 - \sigma_y (L_c / k)^2}{4I} \frac{2E}{1}} \\ &= \frac{1}{\frac{1 - 225.63 (43.07)^2}{4 \times 10^9 (207000)}} \\ &= 1.05 \end{aligned}$$

จากสูตร

$$\begin{aligned} &= \frac{P}{A} + \frac{P}{A} + \frac{Mc}{I_x} \\ &= (490.5/2190) + (1.05 \times 49.05)/2190 - (49.05 \times 200 \times 50)/323000 \\ &= 0.2239 + 0.02352 + 0.1518 \\ &= 0.3992 \end{aligned}$$

จากสูตร

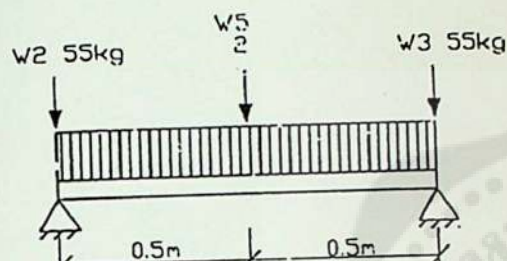
$$\sigma_1 = \frac{\sigma_y}{N}$$

$$N = 225.63/0.3992$$

$$N = 565.205$$

การคำนวณของคานตรงกลาง

จากตารางคุณสมบัติของ H-Beam ขนาด 100x100 mm. มีน้ำหนัก - 17.2 kg/m. จะได้



$$W2 = W3 = 17.2 \times 0.8 \times 9.81 = 134.985 \text{ N}$$

$$W4 = 17.2 \times 9.81 \times 1 = 168.732 \text{ N}$$

$$55 \text{ kg} \times 9.81 = 539.55 \text{ N}$$

ดังนั้นจะได้

$$RA = RB = \frac{(134.985 + 539.55) + (303.71/4) + (168.732)}{2}$$

$$= 834.278 \text{ N}$$

ที่หน้าตัด $0 < x < 0.5$

$$V = 834.278 - 674.535 - 168.732X$$

เมื่อ $X = 0$, $V = 159.743 \text{ N}$

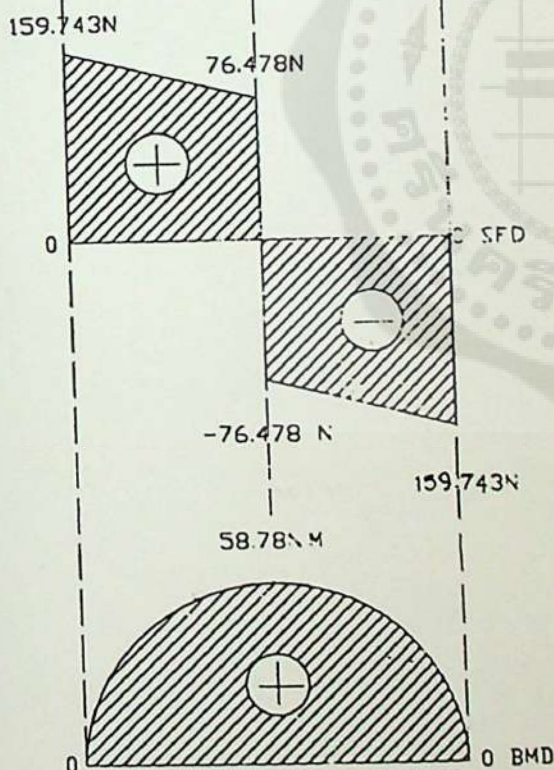
เมื่อ $X = 0.5$, $V = 834.278 - (168.732 \times 0.5)$

$$= 749.912 \text{ N}$$

$$M = 834.278X - 674.535X - 168.732 \times \frac{X^2}{2}$$

$$X = 0, M = 0$$

$$X = 0.5, M = 58.78 \text{ N.M.}$$



รูปที่ 3.2 แสดง (SFD) และ (BMD) ของคานกลาง

ที่หน้าตัด $0.5 < x < 1$

$$V = 834.278 - 674.535 - 151.855 - (168.732 \times 0.5) - 168.732(X - 0.5)$$

$$X = 0.5, V = -76.478 \text{ N}$$

$$X = 1, V = -160.844 \text{ N}$$

$$M = 834.278X - 674.535X - 151.855(X - 0.5) - 168.732 \times 0.5 \times (X - 0.25) - 168.732(X - 0.5) \times \frac{0.5}{2}$$

$$X = 0.5, M = 58.78 \text{ N.M}$$

$$X = 1, M = -0.5505 \text{ N.M}$$

ดังนั้น โมเมนต์คัตสูงสุดเท่ากับ 58.78 N.M กระทำที่กึ่งกลางของคาน

คำนวณคานด้านหลัง

จากตารางคุณสมบัติของ H-Beam 100*100 mm. มีน้ำหนัก = 17.2 kg/m.

$$W1 = 9.81 \times 17.2 \times 1 = 168.732 \text{ N.}$$

$$W5 = 9.81 \times 17.2 \times 1.8 = 303.71 \text{ N.}$$

$$40 \text{ kg} \times 9.81 \text{ m/s} = 392.4 \text{ N.}$$

จากรูปจะได้

$$RA = \frac{((168.732 + 392.4)1.8) + (303.71 \times 0.9)}{1.8}$$

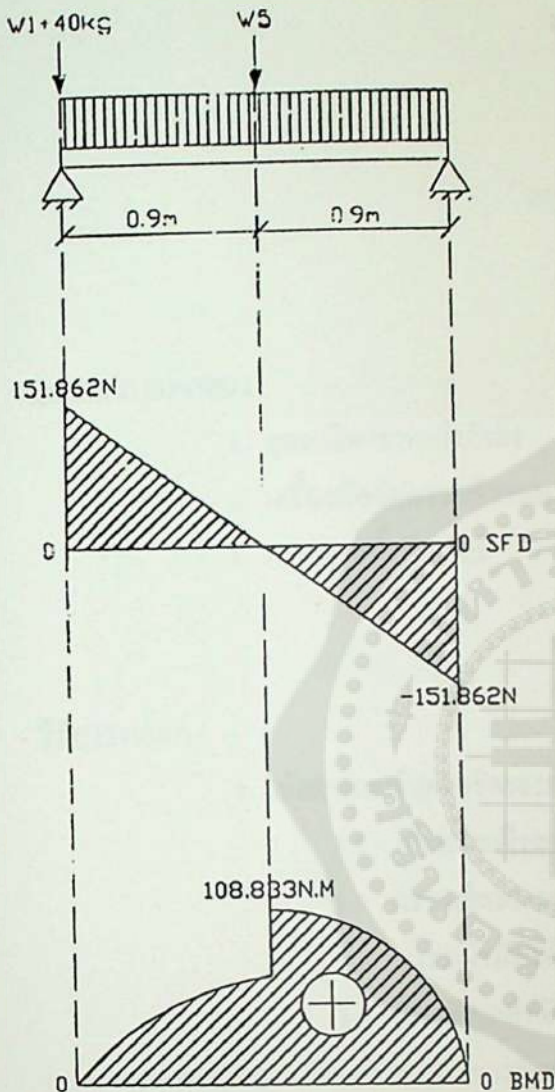
$$RA = 712.989 \text{ N.}$$

$$RB = 168.732 + 362.4 + 303.71 - 712.989$$

$$RB = 151.855 \text{ N.}$$

ที่หน้าตัด $0 < x < 0.9$

$$V = 712.987 - 168.732 - 392.4 - 168.732X$$



$$X=0, V=151.855 \text{ N.}$$

$$X=0.8, V = -3.8 \times 10 \text{ N.}$$

$$M = \frac{712.987X - 1.132X^2 - 168.732X}{2}$$

$$X=0, M=0$$

$$X=0.9, M=68.33 \text{ N.m}$$

ที่หน้าตัด $0.9 < x < 1.8$

$$V = 712.987 - 561.132 - (168.732 \times 0.9) - 168.732(X - 0.9)$$

$$X=0.9, V = 3.8 \times 10 \text{ N.}$$

$$X=1.8, V = -151.862 \text{ N}$$

รูปที่ 3.3 แสดง (SFD) และ (BMD) ของคานด้านหลัง

หมายเหตุ :

จากการคำนวณออกแบบ Over Design เพราะว่าการเสาและคานเป็นเหล็กเนื้อเดียวตลอดจากตารางภาคผนวก พื้นที่หน้าตัดเล็กสุดแล้ว

บทที่ 4

การทดสอบ

อุปกรณ์การทดลอง

- | | |
|-----------------------------|------|
| 1. ชุดสาริระบบส่งกำลัง | 1ชุด |
| 2. เครื่องมือวัดความเร็วรอบ | 1ชุด |
| 3. กาหยอดน้ำมันเกียร์ | 1อัน |

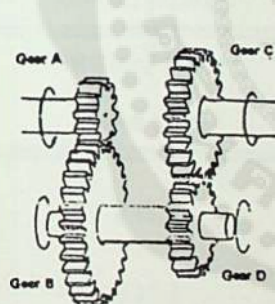
วิธีการทดลอง

1. เช็อุปกรณ์ชุดสาริระบบส่งกำลังให้พร้อมก่อนเริ่มการทดลอง
 - 1.1 เช็ความตึงของชุดสายพานขับเกียร์
 - 1.2 ตรวจเช็สภาพเกียร์และเฟืองท้าย
 - 1.3 ซิลอน้ำมันให้กับเฟืองเกียร์เฟืองท้าย
 - 1.4 คัดตติเกอร์ตัวจับสัญญาณความเร็วรอบของเครื่องมือวัดความเร็วที่ input shaft เพลากลาง เฟืองท้ายและเพลาข้างทั้งสองข้าง
2. นับจำนวนเฟืองต่างๆ ของชุดเกียร์และเฟืองท้าย แล้วบันทึกผลการทดลอง
3. ปรับตำแหน่งเกียร์ให้อยู่ในตำแหน่งเกียร์ว่าง แล้วเปิดสวิชช์มอเตอร์ ตั้งเกดผลการทดลอง แล้วปิดสวิชช์มอเตอร์
4. ปรับตำแหน่งเกียร์ให้อยู่ในตำแหน่ง เกียร์ 1 แล้วเปิดสวิชช์มอเตอร์วัดค่าความเร็วรอบตามจุดต่างๆ ที่ได้ติดตั้งไว้ บันทึกผลการทดลอง
5. ทดลองเหมือนข้อ 4 แต่เปลี่ยนตำแหน่งเกียร์ 2 ถึง เกียร์ 4 และเกียร์ถอยหลัง ตั้งเกดผลการทดลอง แล้วบันทึกผลการทดลอง
6. ทำการขัน bolt ที่แกนเสื้อเพลาท้าย โดยให้ความเร็วของเพลาข้างทั้งสองข้างหมุนในอัตราที่ไม่เท่ากัน บันทึกผลการทดลอง
7. คำนวนหาอัตราทดของเกียร์ เฟืองท้ายและความแตกต่างของเพลาข้าง

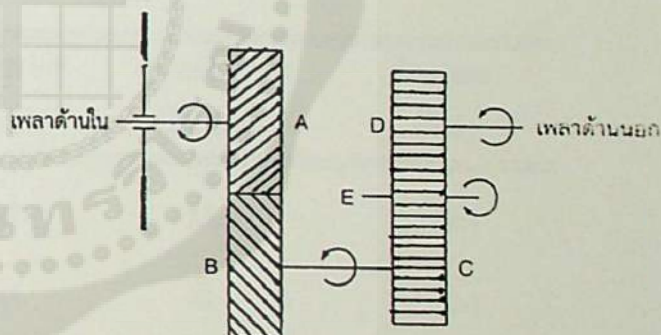
ตารางที่ 4.1 ผลการคำนวณจากฟันเฟือง

เกียร์	จำนวนฟันเฟือง					อัตราทด
	A	B	C	D	E	
1	19	32	36	16		3.789:1
2	19	32	29	22		2.220:1
3	19	32	23	27		1.434:1
4						1.000:1
ถอย	19	32	16	40	30	4.210:1

การหาอัตราทดของเกียร์โดยใช้สูตร



รูปที่ 4.1 การส่งกำลังเกียร์เดินหน้า



รูปที่ 4.2 การส่งกำลังเกียร์ถอย

จากสูตรหาอัตราทดเกียร์

$$\text{อัตราทดเกียร์เดินหน้า} = \frac{B \times C}{A \times D}$$

$$\text{เกียร์ 1} = \frac{32}{19} \times \frac{32}{16} = 3.789$$

$$\text{เกียร์ 2} = \frac{32}{19} \times \frac{29}{27} = 2.220$$

$$\text{เกียร์ 3} = \frac{32}{19} \times \frac{23}{27} = 1.434$$

เกียร์ 4 = 1:1 เพราะเป็นการต่อกำลังโดยตรงระหว่าง input shaft กับ output shaft

สูตรอัตราทดเกียร์ถอย

$$\begin{aligned} \text{อัตราทดเกียร์ถอย} &= \frac{B}{A} \times \frac{E}{C} \times \frac{D}{C} \\ &= \frac{B}{A} \times \frac{D}{C} \end{aligned}$$

จะได้

$$\begin{aligned} \text{อัตราทดเกียร์ถอย} &= \frac{32}{19} \times \frac{40}{16} \\ &= 4.210 \end{aligned}$$

ตารางที่ 4.2 บันทึกผลจากการทดลอง

เกียร์	ความเร็วรอบ input shaft	ความเร็วรอบ เพลากลาง	ความเร็วรอบ เฟืองท้าย	อัตราทด เกียร์
1	548.3	144.6	37.3	3.789:1
2	547.2	246.3	63.4	2.220:1
3	545.4	379.3	97.5	1.434:1
4	544	544	139.8	1.100:1
ถอยหลัง	546.9	129.3	32.4	4.210:1

ตารางที่ 4.3 อัตราทดเฟืองท้าย

จำนวนเฟืองบายศรี	จำนวนเฟืองเคี้ยวหมู	อัตราทดเฟืองท้าย
35	9	3.889:1

ตารางที่ 4.4 ค่าความเร็วของเฟืองบายศรีกับเฟืองคอกจอก

	เฟืองบายศรี (rpm)	เฟืองคอกจอกขวา (rpm)	เฟืองคอกจอกซ้าย (rpm)
ความเร็วต่างกัน	139.8	199.5	80
เพลาช้างซ้ายล็อก	139.8	279	0

การหาค่าอัตราทดจากการทดลอง

จากสูตรการหาค่าอัตราทดของเกียร์ = $\frac{\text{ความเร็วรอบของ Input shaft}}{\text{ความเร็วรอบของเพลากลาง}}$

จะได้

$$\text{เกียร์ 1} = \frac{548.3}{144.6} = 3.791$$

$$\text{เกียร์ 2} = \frac{547.2}{246.2} = 2.222$$

$$\text{เกียร์ 3} = \frac{545.4}{379.4} = 1.437$$

$$\text{เกียร์ 4} = \frac{544.0}{544.0} = 1.100$$

$$\text{เกียร์ถอยหลัง} = \frac{546.9}{129.8} = 4.213$$

การหาค่าความสัมพันธ์ของเฟืองบายศรีกับเฟืองคอกจอก

ความเร็วรอบของเฟืองบายศรี = $\frac{\text{ความเร็วเฟืองคอกจอกขวา} + \text{ความเร็วเฟืองคอกจอกซ้าย}}{2}$

2

เมื่อ N_B = ความเร็วรอบของเฟืองบายศรี

N_C = ความเร็วรอบของเฟืองคอกจอกขวา

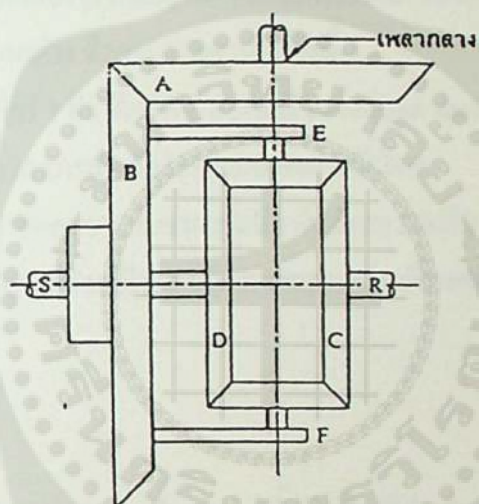
N_D = ความเร็วรอบของเฟืองคอกจอกซ้าย

$$N_B = \frac{N_C + N_D}{2}$$

คิดที่ความเร็วของเกียร์ 4 จะได้

$$N_B = \frac{199.5 + 80.5}{2}$$

$$N_B = 140 \text{ rpm}$$



รูปที่ 4.3 เฟืองบายศรีกับเฟืองคอกจอก

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองจะสังเกตได้ว่า เมื่อเปลี่ยนเกียร์ไปในตำแหน่งเกียร์ต่างค่า ความเร็วรอบของจุดต่างๆจะแตกต่างกัน จึงสามารถสรุปได้ดังนี้

1. เมื่อเข้าเกียร์ 1 ถึง เกียร์ 4 ค่าความเร็วของ Input shaft จะเปลี่ยนแปลง นั่นก็แสดงว่าตำแหน่งที่มีอัตราทดมาก การเสียดทานของมอเตอร์จะมีน้อย
2. จากผลการทดลองการหาความสัมพันธ์ระหว่างเพื่อง่ายกับเพื่องคอกจอก สรุปได้ว่า ความเร็วของเพื่องบายศรี จะเป็น 2 เท่าของผลรวมของเพื่องคอกจอก

ข้อเสนอแนะ

1. ก่อนการทดลอง ควรที่จะหยอดน้ำมันเกียร์ให้หล่อลื่นให้ทั่วถึง เมื่อผลการทดลองจะไม่คลาดเคลื่อนมาก
2. ควรทำการทดลองด้วยความระมัดระวัง เพราะเพื่องเมื่อเสียดสีกัน ฟันเพื่องจะมีความคม
3. ควรบันทึกค่าต่างๆ ที่ได้จากการทดลอง ที่ค่าแน่นอนที่จริง ๆ

บรรณานุกรม

1. เกษม ประพาศิธรรม และคณะ, ระบบส่งกำลังรถยนต์, พิมพ์ครั้งที่ 4, กรุงเทพฯ, 2533.
2. ชาญ ถนัดงาน, การออกแบบเครื่องจักรกล, พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ: บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด.
3. ชาญ ถนัดงาน, กลศาสตร์วัสดุ, พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ, 2523.
4. ชนะ กสิภาร, ความแข็งแรงวัสดุ, พิมพ์ครั้งที่ 3, กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์กิจสยามการพิมพ์, 2517.
5. วรวิทย์ อึ้งภากรณ์, พินัยสุขวรรณ, กลศาสตร์วัสดุ, พิมพ์ครั้งที่ 2, กรุงเทพฯ: บริษัทเบญจรักษ์ จำกัด, 2522.
6. สุระเชษฐ รุ่งวัฒนพงษ์, กลศาสตร์วัสดุ, พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ: บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด, 2540.
7. ศรีณรงค์ ตู้ทองคำ และคณะ, ทฤษฎีและปฏิบัติส่งกำลัง 1, พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์เจริญธรรม.
8. ประสานพงษ์ หาเรือนชัย, ทฤษฎีและปฏิบัติส่งกำลังรถยนต์, พิมพ์ครั้งที่ 1: บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด, 2542.
9. Beer Ferdinand P. and Jonston Jr. E Russell, Mechanics of Materials, London: Megraw-Hill Book Company, 1992.



WELDING

Rule of Thumb for Filler Weld Size

เพื่อให้แนวเชื่อมมีความแข็งแรงเต็มที่ ความกว้างของแนวเชื่อม ควรมีขนาด $\frac{3}{4}$ ของความหนาชิ้นงาน

$$W = \frac{3t}{4}$$

โดยสมมุติให้

1. ชิ้นงานทั้งสองด้าน เป็นแนวเชื่อมแบบ Fillet Weld
2. แนวเชื่อมเป็นแบบ Fillet Weld ตลอดทั้งชิ้นงาน
3. t = ความหนาของชิ้นงานที่บางที่สุด

สำหรับเหล็กเหนียว การต่อด้วยการเชื่อมสามารถรับแรงได้ทุกชนิดและทุกทิศทาง ชิ้นงานที่มีการออกแบบเพื่อให้ค่า Stiffness หรือ Rigidity มีค่าที่จำกัดค่า Stress ย่อมมีค่าต่ำไปด้วย แนวเชื่อมไม่สามารถเพิ่มค่า Stiffness ให้เห็น ได้ชัดเจน ขนาดของแนวเชื่อมยังคงขึ้นกับแรงที่มีการส่งผ่าน แม้ว่าจะมีค่าน้อยก็ตาม

ในการออกแบบให้ Rigidity การคำนวณแรงยากมากและบางครั้งสามารถสมมุติให้ค่า Stress ในบริเวณใกล้เคียงกับชิ้นงานมีค่าน้อยกว่า $\frac{1}{3}$ ถึง $\frac{1}{2}$ เท่าของชิ้นงาน ดังนั้นกฎของ Thumb คือการออกแบบให้มี Rigidity ต้องให้ความกว้างของแนวเชื่อม Fillet Weld มีขนาด $\frac{1}{3}$ ถึง $\frac{1}{2}$ เท่าของ Strength ที่ออกแบบไว้

$$W = \frac{1t}{4} \text{ to } \frac{3t}{8}$$

โดยสมมุติให้แนวเชื่อมทั้งสองข้างยาวตลอดแนวและเท่ากับชิ้นงานส่วนที่บางกว่า ขนาดของความกว้างแนวเชื่อม $\{\frac{1}{4} \text{ to } \frac{3}{8}\}$ เป็นสัดส่วนของ Fillet Weld ถ้าการเชื่อมเป็นการเชื่อมด้านเดียวขนาดของแนวเชื่อมควรเพิ่มเป็นสองเท่า ตารางที่ 1 แสดงค่าของความกว้างของแนวเชื่อมแบบ Fillet Weld สำหรับเหล็กแผ่นที่ความหนาแตกต่างกัน โดยใช้สมการที่ 1 และ 2 ซึ่งค่าต่าง ๆ สามารถปรับเปลี่ยนได้ใช้ของ AWS ดังแสดงไว้ตารางภาคผนวกที่ 1.2

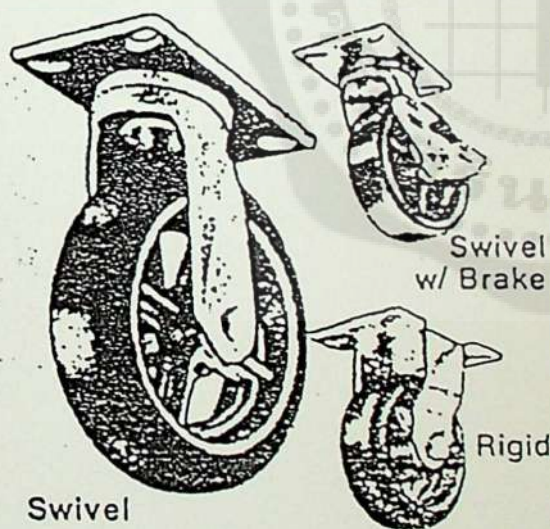
WHEEL

Mauler weldless casters 290 to 1400 lb. Capacities ถัดไปของ Makler รับแรง 290 lb. 1400 lb. มีรูปแบบให้เลือกหุ้มยาง, Polyurethane, Phenolic, Polyester ถัดไปหุ้มรอบทิศทางพร้อมด้วย Ball Bearing

แผ่น Plate ประกอบติดล้อขนาด $4\frac{1}{2}$ นิ้ว x $6\frac{1}{4}$ นิ้ว ระยะห่างระหว่าง Center รูยึด = $2\frac{7}{16}$ นิ้ว x $4\frac{15}{16}$ นิ้ว ระยะสามารถเลื่อนได้ $3\frac{3}{8}$ นิ้ว x $5\frac{1}{4}$ นิ้ว ใช้ Bolt $\frac{1}{2}$ นิ้ว

โครงยึดทำโดยกรรมวิธี Hot Gorged สลัก $\frac{3}{4}$ นิ้ว และมีรางวิ่งของ Lower Ball Bearing และหมุนได้รอบทิศทางอย่างราบรื่น ถัดไปนี้เหมาะใช้สำหรับใช้งาน ถัดไปของตู้ต่าง ๆ ถัดไปขึ้น

ถัดไปแกนหมุนได้รอบทิศทางจะมีแหวนกันฝุ่น (Seal Ring) ติดตั้งอยู่ส่วนบนของลูกปืน (Upper Ball Bearing) เพื่อเก็บรักษาจารบีไม่ให้สกรปรกจากฝุ่น และตั้งแปลกลดลง ถัดไปเป็นเหล็ก Cold Forged ที่ถูกทำด้วยกรรมวิธีทางความร้อยซึ่งให้ความแข็งแรงของถัดไปเพิ่มขึ้น แกนของถัดไป $\frac{1}{2}$ นิ้ว ขาของถัดไปหน้า $\frac{1}{4}$ นิ้ว ชิ้นส่วนที่เป็นโลหะทุกชิ้นได้รับการพ่นผง Epoxy Power เพื่อป้องกันการผุกร่อน



Wheel Sz., In.	Mount Ht., In.	Cap. Ea., Lbs.
MOLD-ON RUBBER WHEELS		
4x2	5 $\frac{5}{8}$	290
5x2	6 $\frac{1}{2}$	350
6x2	7 $\frac{1}{4}$	410
8x2	9 $\frac{1}{2}$	500
POLYURETHANE WHEELS		
4x2	5 $\frac{5}{8}$	600
5x2	6 $\frac{1}{2}$	700
6x2	7 $\frac{1}{4}$	1000
8x2	9 $\frac{1}{2}$	1200
PHENOLIC WHEELS		
4x2	5 $\frac{5}{8}$	800
5x2	6 $\frac{1}{2}$	1000

รูปภาคผนวกที่ 1.1 ขนาดของถัดไป

การเลือกใช้

$$\begin{aligned} \text{ภาระ Load} &= \left[\frac{100 + (3)(17.2) + 1.8(17.2)}{3} \right] \\ &= 133.87 \text{ lb.} \end{aligned}$$

เลือกใช้

$$\text{Wheel} = 290 \text{ lb.}$$

$$N = \frac{290}{133.87} \times \frac{\text{lb}}{16} = 2.166$$



ตารางภาคผนวกที่ 1.1 RULE-OF-THUMB FILLETWELD SIZES

PLATE THICKNESS (t)	STRENGTH DESIGN	RIGIDITY DESIGN	
	FULL STRENGTH WELD (w = 3/4 t)	50% OF FULL STRENGTH WELD (w = 3/8 t)	33% OF FULL STRENGTH WELD (w = 1/4 t)
1/4	3/16	3/16 *	3/16 *
5/16	1/4	3/16 *	3/16 *
3/8	5/16	3/16 *	3/16 *
7/16	3/8	3/16	3/16 *
1/2	3/8	3/16	3/16 *
9/16	7/16	1/4	1/4 *
5/8	1/2	1/4	1/4 *
3/4	9/16	5/16	1/4 *
7/8	5/8	3/8	5/16 *
1	3/4	3/8	5/16 *
1 1/8	7/8	7/16	5/16
1 1/4	1	1/2	5/16
1 3/8	1	1/2	3/8
1 1/2	1 1/8	9/16	3/8
1 5/8	1 1/4	5/8	7/16
1 3/4	1 3/8	3/4	7/16
2	1 1/2	3/4	1/2
2 1/8	1 5/8	7/8	9/16
2 1/4	1 3/4	7/8	9/16
2 3/8	1 3/4	1	5/8
2 1/2	1 7/8	1	5/8
2 5/8	2	1	3/4
2 3/4	2	1	3/4
3	2 1/4	1/8	3/4

* These values have been adjusted to comply with AWS-recommended minimums.

ตารางภาคผนวกที่ 1.2 MINIMUM WELD SIZES FOR THICK PLATES (AWS)

THICKNESS OF THICKER PLATE JOINED t	MINIMUM LEG SIZE OF FILLET WELD w
to 1/2" incl.	3/16"
over 1/2" thru 3/4"	1/4"
over 3/4" thru 1 1/2"	5/16"
over 1 1/2" thru 2 1/4"	3/8"
over 2 1/4" thru 6"	1/2"
over 6"	5/8"

Minimum leg size need not exceed thickness of the thinner plate.

ตารางภาคผนวกที่ 1.3 คุณสมบัติของงานเชื่อมไฟฟ้า

งานเชื่อมไฟฟ้า									
ฉวคเชื่อม					DIN 1913, T 1 (1.76)				
คุณสมบัติทางกลของแนวเชื่อม									
หมายเลข ชนิด	ความแข็งแรง ดึง N/mm ² จุดอ่อนปึก	ความแข็งแรง ดัด N/mm ² จุดอ่อนปึก	การปักตัว As เป็น X จุดอ่อนปึก	ความเหนียวของ รอยเชื่อมจากการกระแทก ค่า 28 J ที่ 0°C	ค่าที่ วัดได้ °C	งานในการกระแทก			
43 51	430...550 510...650	≥ 360 ≥ 380	0	ไม่กำหนด	0	ไม่กำหนด			
			1	22	+20	1	+20		
			2		0	2	0		
			3		-20	3	-20		
			4		-30	4	-30		
ชนิดทดสอบตามภาพ ISO			5	-40	5	-40			
การจำแนกฉวคเชื่อม					ค่าเฉพาะสำหรับท่าเชื่อม				
ชนิด	ท่าเชื่อม	ชนิดการ เชื่อม	พื้นที่ใช้	เกรด	หมายเลข	ท่าเชื่อม			
A1	1	5	ประเภทกรงหมวก	1	1	เชื่อมโคกทุกท่า			
A2	1	5	ประเภทกรงหมวก	2		เชื่อมโคกทุกท่ายกเว้นท่าเชื่อมลง			
R2	1	5	ดัดเป็นรูปอกไขควง	3	3	เชื่อมค้อนบวกร่องหัว			
R(C)3	1	2	ดัดเป็นรูปอกไขควง			เชื่อมค้อนบวกร่องหัว			
C4	1	0+	Cellulose ทาปากกลาง	4	4	เชื่อมค้อนบวกร่องหัว			
A5	2	5	ประเภทกรงหมวก	5		เชื่อมค้อนบวกร่องหัว			
RR6	2	2	ดัดเป็นรูปอกไขควง	6	4	เชื่อมค้อนบวกร่องหัว			
RR(C)6	1	2	ดัดเป็นรูปอกไขควง			เชื่อมค้อนบวกร่องหัว			
AR7	2	5	ดัดเป็นรูปอกไขควง	7	เชื่อมค้อนบวกร่องหัว				
RR(B)7	2	5	ดัดเป็นรูปอกไขควง		เชื่อมค้อนบวกร่องหัว				
RR8	2	2	ดัดเป็นรูปอกไขควง	8	เชื่อมค้อนบวกร่องหัว				
RR(B)8	2	5	ดัดเป็นรูปอกไขควง		เชื่อมค้อนบวกร่องหัว				
B9	1	0+	ประเภทกรงหมวก	9	เชื่อมค้อนบวกร่องหัว				
D(R)9	1	6	ประเภทกรงหมวก		เชื่อมค้อนบวกร่องหัว				
B10	2	0+	ประเภทกรงหมวก	10	เชื่อมค้อนบวกร่องหัว				
B(R)10	2	6	ประเภทกรงหมวก		เชื่อมค้อนบวกร่องหัว				
RR11	4	5	ดัดเป็นรูปอกไขควง	11	เชื่อมค้อนบวกร่องหัว				
AR11	4	5	ดัดเป็นรูปอกไขควง		เชื่อมค้อนบวกร่องหัว				
B12	4	0+	ประเภทกรงหมวก	12	เชื่อมค้อนบวกร่องหัว				
B(R)12	4	0+	ประเภทกรงหมวก		เชื่อมค้อนบวกร่องหัว				
ตัวอย่างสัญลักษณ์ของแนวเชื่อม									
สัญลักษณ์	ความแข็งแรง ดึง N/mm ²	อัตราการปักตัว ที่จุดอ่อนปึก เป็น %	งานในการ กระแทก 28 J ที่ 0°C	ความเหนียวของ รอยเชื่อมในการกระ แทก 47 J ที่ 0°C	พื้นที่ ใช้	เกรด			
ฉวคเชื่อม: E 43 32 AR7 DIN 1913	430...550	24	-20	2	AR	7			
ฉวคเชื่อม: E 51 43 RR11 160 DIN 1913	510...650	24	-30	3	RR	11			
160 = อัตราการปักตัวคือ 160X (ฉวคเชื่อมที่ปักตัวลึกกว่าปกติ)									
การแบ่งกลุ่มประเภทของแนวเชื่อมเหล็กเหนียว									
DIN 8553 T 3 (7.75)									
ข้อสังเกตในการ ประเมินผล (หรือออกมา) จากตัว:	แนวเชื่อม จากตัว:	ค่าประมาณจากรูป				เชื่อมต่องาน	ค่าประมาณจากรูป		
		AS	BS	CS	OS		AK	BK	CK
แนวเชื่อมบน		จะตองเอาแนวเชื่อมที่บนออก					จะตองเอาแนวเชื่อมที่บนออก		
รอยต่อเหลื่อมกัน		จะตองเอาแนวเชื่อม ที่เหลื่อมออก					จะตองเอาแนวเชื่อม ที่เหลื่อมออก		
ร่องถูกเผาไหม้		ไม่ใช้ จะตองเอาแนวเชื่อม ที่ไหม้ออก					ไม่ใช้ จะตองเอาแนวเชื่อม ที่ไหม้ออก		
มีผลอยู่ในแนวเชื่อม		ไม่ใช้ จะตองเอา แนวเชื่อมออก					ไม่ใช้ จะตองเอา แนวเชื่อมออก		

ตารางภาคผนวกที่ 1.4 ค่าความแข็งแรงที่ยอมให้ได้ในรอยเชื่อม

ชนิดของการเชื่อม	ชนิดของความเค้นที่เกิดขึ้น บนชิ้นงานเมื่อมี load กระทำ	คุณภาพ ของ งาน เชื่อม	สภาพการบรรทุก (Loading Condition) วัสดุของชิ้นงานเชื่อม					
			I		II		III	
			SI37	SI50	SI37	SI50	SI37	SI50
ต่อชนมีแนวราก (Butt seam with root weld.)	ดึง	I	169	220	110	130	55	65
		II	130	175	85	105	45	50
		III	110	155	75	90	40	45
	ดัดเฉือน	I	100	140	70	80	35	40
		II	80	110	55	65	30	32
		III	70	100	50	55	25	28
ต่อชนไม่มีแนวราก (Butt seam with out root weld.)	ดึง	I	140	180	95	100	45	50
		II	110	145	75	80	35	40
		III	100	125	65	70	32	35
	ดัดเฉือน	I	90	110	60	70	30	35
		II	70	85	50	55	25	30
		III	60	75	40	50	20	25
Mitre fillet weld. Concave fillet weld.	ทุกชนิด	I	90	110	60	70	30	35
		II	70	85	50	55	25	30
		III	60	75	40	50	20	25
	ทุกชนิด	I	120	150	75	90	40	45
		II	95	120	60	70	30	35
		III	85	100	50	60	25	30
Double fillet weld.	ทุกชนิด	I	140	190	90	120	50	55
		II	110	150	70	95	40	45
		III	100	130	60	85	35	40
Fillet weld in normal shear.	ดึง, อัด	I	180	220	120	140	60	75
		II	145	175	95	110	50	60
		III	125	155	85	100	40	50
	ดัด	I	240	280	155	180	75	95
		II	190	220	125	145	60	75
		III	170	190	110	125	50	65
	บิด	I	125	155	85	100	50	65
		II	100	125	70	80	40	50
		III	85	110	60	70	35	45

ตารางภาคผนวกที่ 1.5 ขนาดสายพานลิ้มและล้อสายพานตามมาตรฐาน

หน้าตัดสายพาน		Y	Z	A	B	C	D	E	
1 _p		5.3	8.5	11	14	19	27	32	
h		4	6	8	11	14	19	25	
b _w		5.3	8.5	11	14	19	27	32	
b ₁		6.3	9.7	12.7	16.3	22	32	40	
c		1.6	2	2.8	3.5	4.8	8.1	12	
e		8±0.3	12±0.3	15±0.3	19±0.4	25.5±0.5	37±0.6	44.5±0.7	
f		6±0.5	8±0.6	10±0.6	12.5±0.8	17±1	24±2	29±2	
t _{min}		7	11	14	18	24	28	33	
32°	สำหรับ	≤63	-	-	-	-	-	-	
34°	เส้นผ่าน	-	63-80	90-118	140-190	224-315	-	-	
36°	ศูนย์กลาง	63	-	-	-	-	≤500	≤630	
38°	พิตร dp	-	>80	>118	>190	>315	>500	>630	
b ₂	จำนวน ร่องบน ล้อสาย พาน	1	12	16	20	25	34	48	58
		2	20	28	35	44	59.5	85	102.5
		3	28	40	50	63	85	122	147
		4	36	52	65	82	110.5	159	191.5
		5	44	64	80	101	136	196	236
		6	52	76	95	120	161.5	233	280.5
		7	60	88	110	139	187	270	325
		8		100	125	158	212.5	307	369.5
		9		112	140	177	238	344	411
		10		124	155	196	263.5	381	458.5
		11		136	170	215	289	418	503
		12		148	185	234	314.5	455	547.5
d _{pmin}		28	50	80	125	200	355	500	

ตารางภาคผนวกที่ 1.7

คุณสมบัติทางกลของเหล็กกล้าคาร์บอนธรรมดาและเหล็กกล้าผสม (mechanical properties of plain carbon and alloy steelsX) (ชิ้นทดสอบมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 25 mm)

AISI Type	Condition	Tensile Strength, ksi	Yield Strength, ksi	Elongat. in 2 in., %	Reduction in Area, %	Hardness, BHN	Machinability (Based on 1112 = 100)
1010	HR	64	42	28	67	107	45
	CD	78	68	16	63	129	55
	CDA	64	48	28	65	131	55
1020	HR	65	43	36	59	143	50
	CD	78	66	20	55	156	65
	A	57	52	37	66	111	90
1030	N	64	50	36	68	131	75
	HR&turned	72	44	31	63	140	-
	CD	84	76	16	57	177	65
1040	A	67	50	31	58	126	-
	N	76	51	32	61	149	-
	HR	91	58	27	50	201	63
1045	CD	100	88	17	42	207	65
	A	75	51	30	57	149	-
	N	85	50	28	55	170	60
1050	HR	98	59	24	45	212	56
	CD	103	90	14	40	217	60
	A	90	55	27	54	174	60
1095	N	99	61	25	49	207	-
	HR	105	67	15	-	-	-
	CD	114	104	9	-	-	54
1118	A	92	43	24	40	187	-
	N	109	62	20	39	217	-
	HR	142	83	18	38	295	-
2330	A	95	38	13	21	192	-
	N	147	73	10	14	293	-
	HR	75	50	35	55	140	-
3140	CD	85	75	25	55	170	80
	A	65	41	35	67	131	90
	N	69	46	34	66	143	80
4130	CD	105	90	20	50	212	50
	A	86	61	28	58	179	50
	N	100	68	26	56	207	-
4140	CD	107	92	17	50	212	55
	A	100	61	25	51	197	55
	N	129	87	20	58	262	-
4340	HRA	86	56	29	57	183	65
	CDA	98	87	21	52	201	70
	N	97	63	26	60	197	50
4340	HRA	90	63	27	58	187	57
	CDA	102	90	18	50	223	66
	N	148	95	18	47	302	-
4340	HRA	101	69	21	45	207	45
	CDA	110	99	16	42	223	50
	N	185	126	11	41	363	-

ตารางภาคผนวกที่ 1.6 ค่าความปลอดภัย N_y

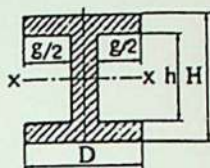
ชนิดของแรง	เหล็กเหนียวและโลหะเหนียว		เหล็กหล่อและโลหะประ
	N_y	N_u	N_u
แรงอยู่นิ่ง	1.5-2	3-4	5-6
แรงซ้ำทิศทางเดียวหรือ แรงกระแทกเล็กน้อย	3	6	7-8
แรงซ้ำสองทิศทางหรือ แรงกระแทกเล็กน้อย	4	8	10-12
แรงกระแทกอย่างหนัก	5-7	10-15	15-20

ตารางภาคผนวกที่ 1.8

H-Beam JIS G 3192

Standard Sectional Dimension mm					Sectional Area cm ²	Unit Weight kg/m	Reference					
Nominal Dimension (Height x flange)	HxB	t ₁	t ₂	r			Geometrical Moment of Inertia cm ⁴		Radius of Gyration of Area cm		Modulus of Section cm ³	
							I _x	I _y	i _x	i _y	Z _x	Z _y
100 x 50	100 x 50	5	7	8	11.85	18.30	187	14.8	3.98	1.12	37.5	5.91
100 x 100	100 x 100	6	8	10	21.90	34.22	383	134	4.18	2.47	76.5	26.7
125 x 60	125 x 60	6	8	9	16.84	23.32	413	29.2	4.95	1.32	66.1	9.73
125 x 125	125 x 125	6.5	9	10	30.31	43.81	847	293	5.29	3.11	136	47.0
150 x 75	150 x 75	5	7	8	17.85	24.40	666	49.5	6.11	1.66	88.8	13.2
150 x 100	148 x 100	6	9	11	26.84	42.16	1020	151	6.17	2.37	138	30.1
150 x 150	150 x 150	7	10	11	40.14	51.51	1640	563	6.39	3.75	219	75.1
175 x 90	175 x 90	5	8	9	23.04	31.81	1210	97.5	7.26	2.06	139	21.7
175 x 175	175 x 175	7.5	11	12	51.21	64.21	2880	984	7.50	4.38	330	112
200 x 100	198 x 99	4.5	7	11	23.18	31.82	1580	114	8.26	2.21	184	23.0
	200 x 100	5.5	8	11	27.16	41.32	1840	134	8.24	2.22	184	26.8
200 x 150	194 x 150	6	9	13	39.01	53.06	2690	507	8.30	3.61	277	67.6
200 x 200	200 x 200	8	12	13	63.53	74.99	4720	1600	8.62	5.02	472	160
	200 x 204	12	12	13	71.53	86.22	4980	1700	8.35	4.88	498	167
250 x 125	248 x 124	5	8	12	32.68	45.77	3540	255	10.4	2.79	285	41.1
	250 x 125	6	9	12	37.66	52.66	4050	294	10.4	2.79	324	47.0
250 x 175	244 x 175	7	11	16	56.24	74.44	6120	984	10.4	4.18	502	113
250 x 250	250 x 250	9	14	16	92.18	122.44	10800	3650	10.8	6.29	867	292
	250 x 255	14	14	16	104.7	148.22	11500	3860	10.5	6.09	919	304
300 x 150	298 x 149	5.5	8	13	40.80	52.20	6320	442	12.4	3.29	424	59.3
	300 x 150	6.5	9	13	46.78	58.75	7210	508	12.4	3.29	481	67.7
300 x 200	294 x 200	8	12	18	72.38	95.68	11300	1600	12.5	4.71	771	160
300 x 300	294 x 302	12	12	18	107.7	145.55	16900	5520	12.5	7.16	1150	365
	300 x 300	10	15	18	119.8	160.42	20400	6750	13.1	7.51	1360	450
	300 x 305	15	15	18	134.8	186.40	21500	7100	12.6	7.26	1440	466
350x175	346 x 174	6	9	14	52.68	71.74	11100	792	14.5	3.88	641	91.0
	350x175	7	11	14	63.14	89.55	13600	984	14.7	3.95	775	112
350 x 250	340 x 250	9	14	20	101.5	139.77	21700	3650	14.6	6.00	1280	292

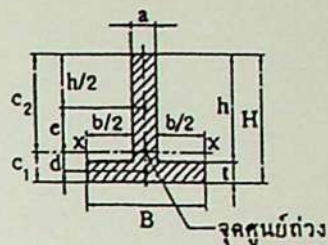
ตารางภาคผนวกที่ 1.9 (ต่อ) คุณสมบัติของหน้าตัด



$$I_x = \frac{1}{12} (GH^3 - gh^3)$$

$$Z_x = \frac{GH^3 - gh^3}{6H}$$

$$k_x = \sqrt{\frac{1}{12} \left(\frac{GH^3 - gh^3}{GH - gh} \right)}$$



$$c_1 = \frac{aH^2 + bt^2}{2(aH + bt)}, \quad c_2 = H - c_1$$

$$I_x = \frac{Bt^3}{12} + (Bt)d^2 + \frac{ah^3}{12} + (ah)e^2$$

$$\text{พื้นที่} = Bt + a(H - t); \quad k = \sqrt{I/A}$$



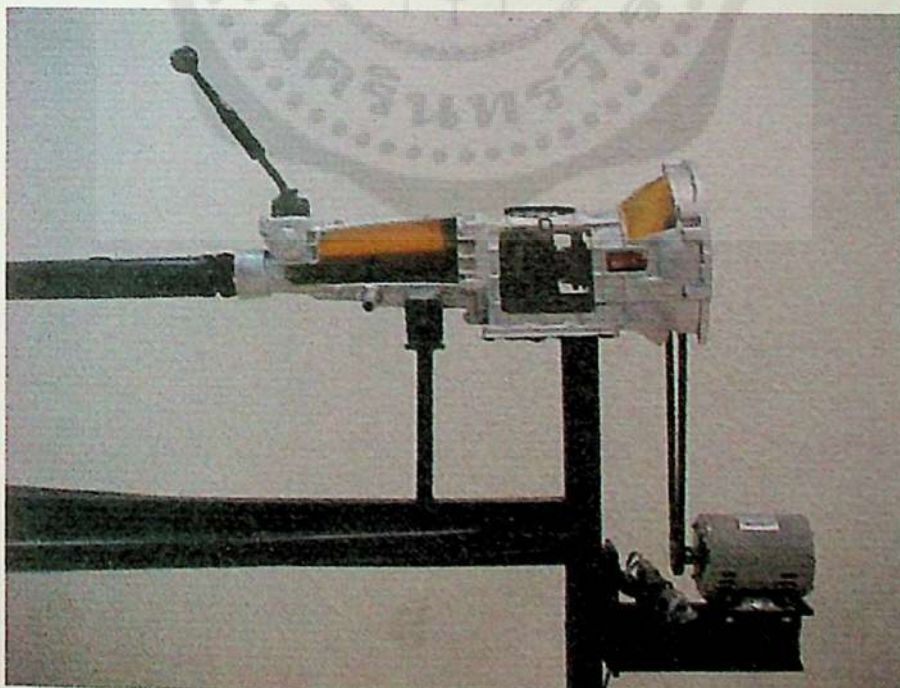
รูปภาคผนวกที่ 1.2 ชุดสาธิตระบบส่งกำลัง (ด้านหน้า)



รูปภาคผนวกที่ 1.3 ชุดสาธิตระบบส่งกำลัง (ด้านข้าง)



รูปภาคผนวกที่ 1.4 ชุดสาริตระบบส่งกำลัง (ด้านหลัง)



รูปภาคผนวกที่ 1.5 ภาพผ่าของกระปุกเกียร์



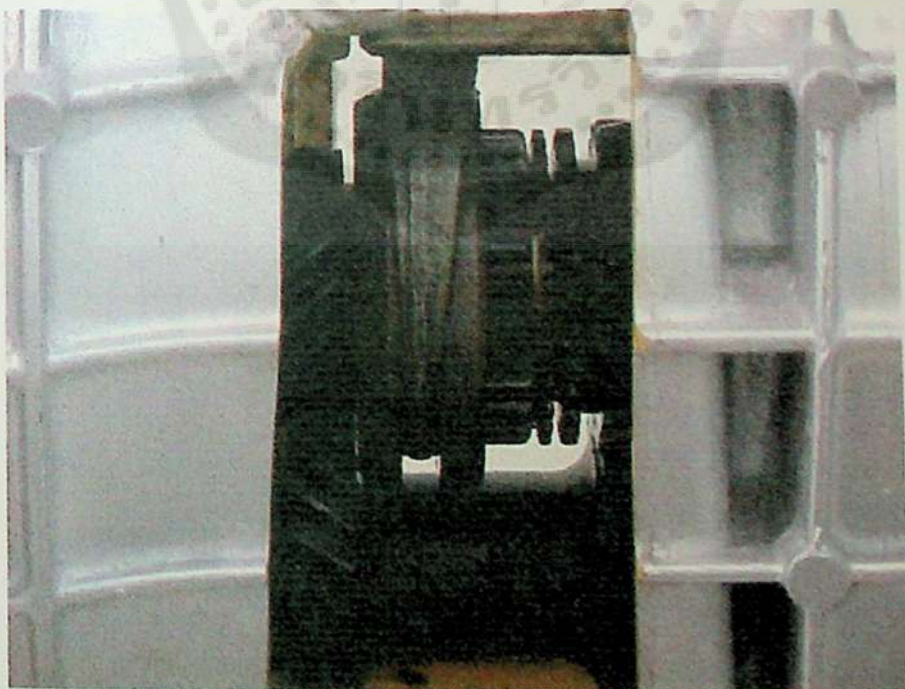
รูปภาคผนวกที่ 1.6 ภาพของเฟืองเกียร์ 1 ถึงเกียร์ 4 และเกียร์ถอย



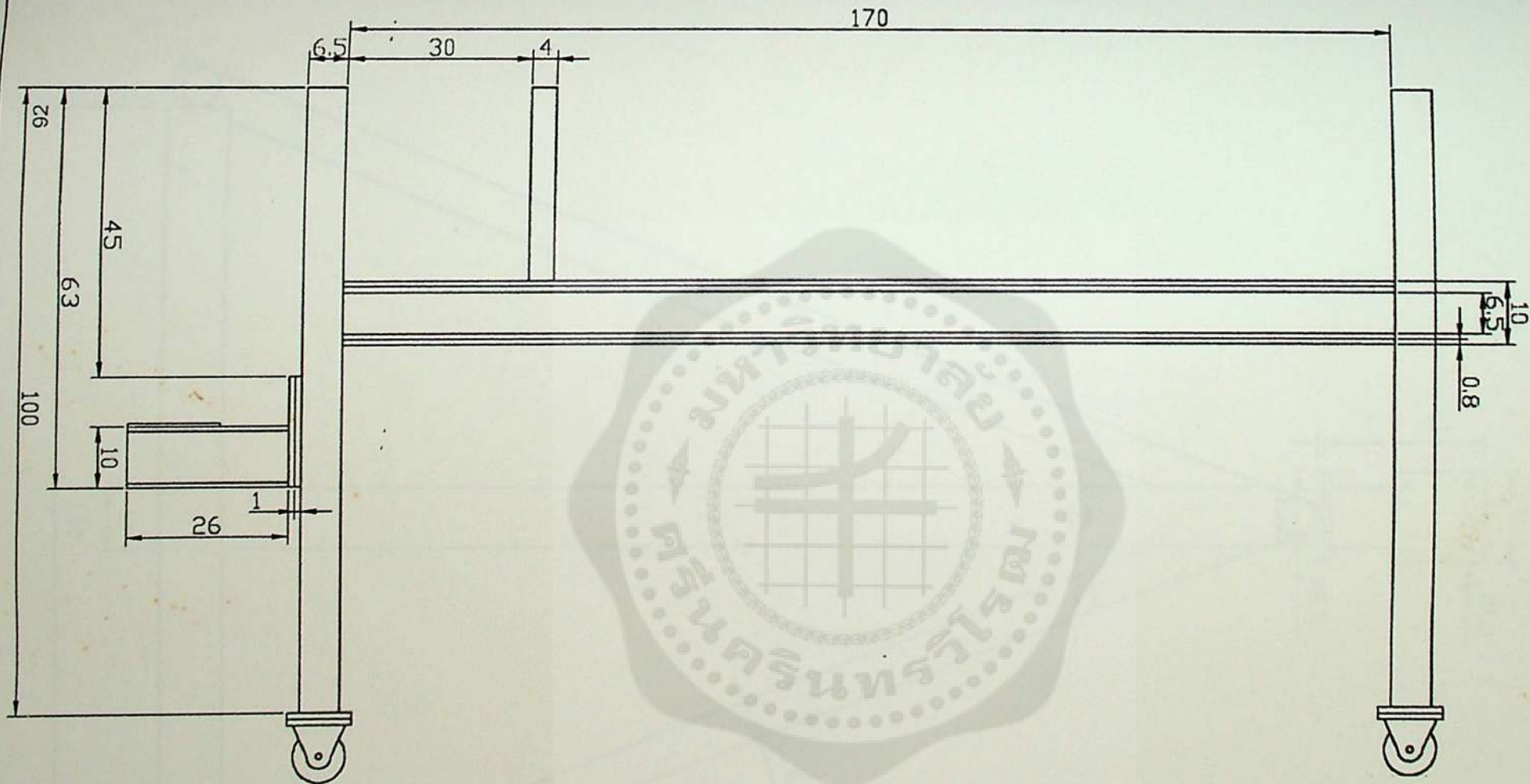
รูปภาคผนวกที่ 1.7 ภาพของเฟืองท้าย



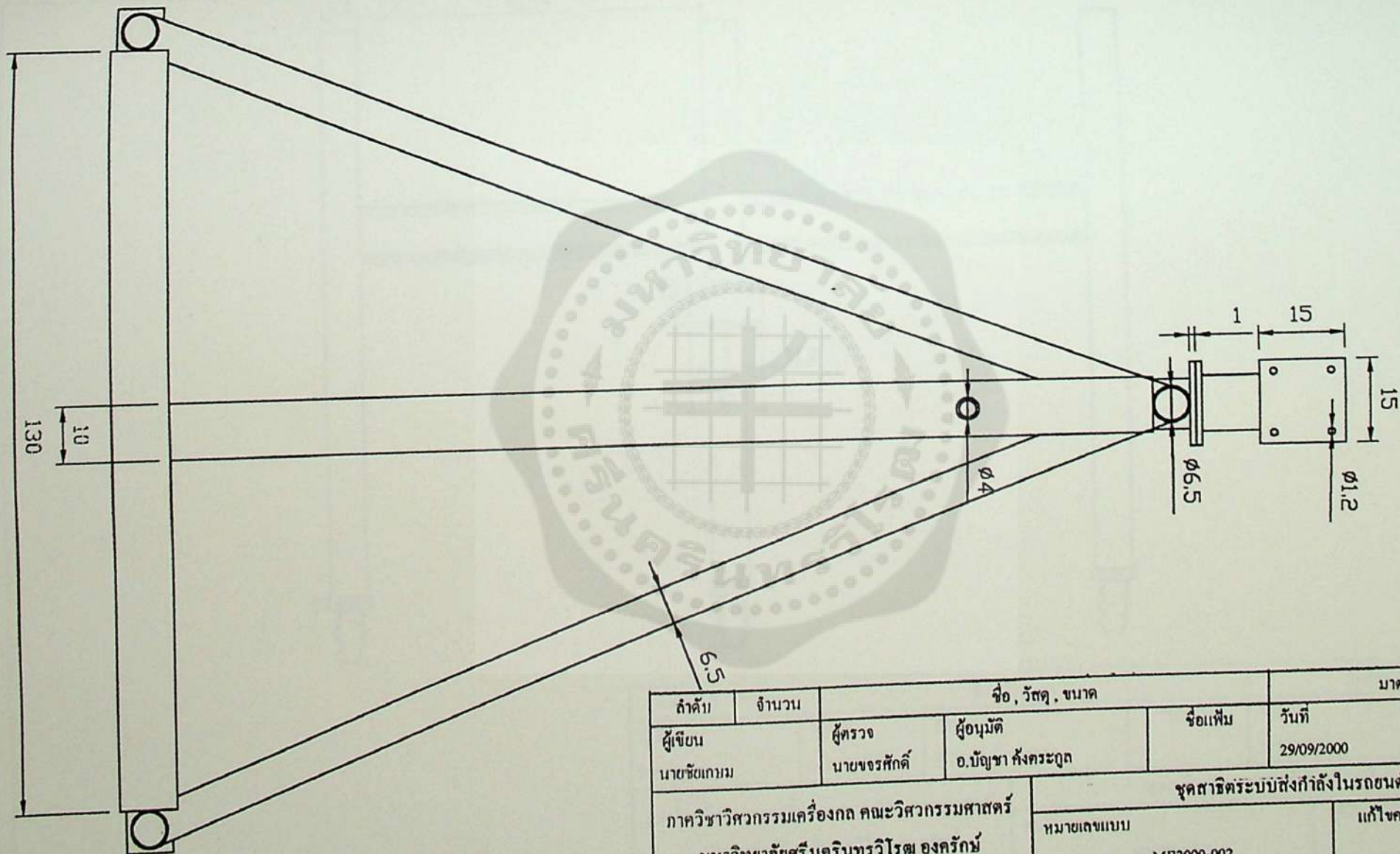
รูปภาคผนวกที่ 1.8 ภาพของเพื่องบายศรี,เคียบหนู,ดอกจอก



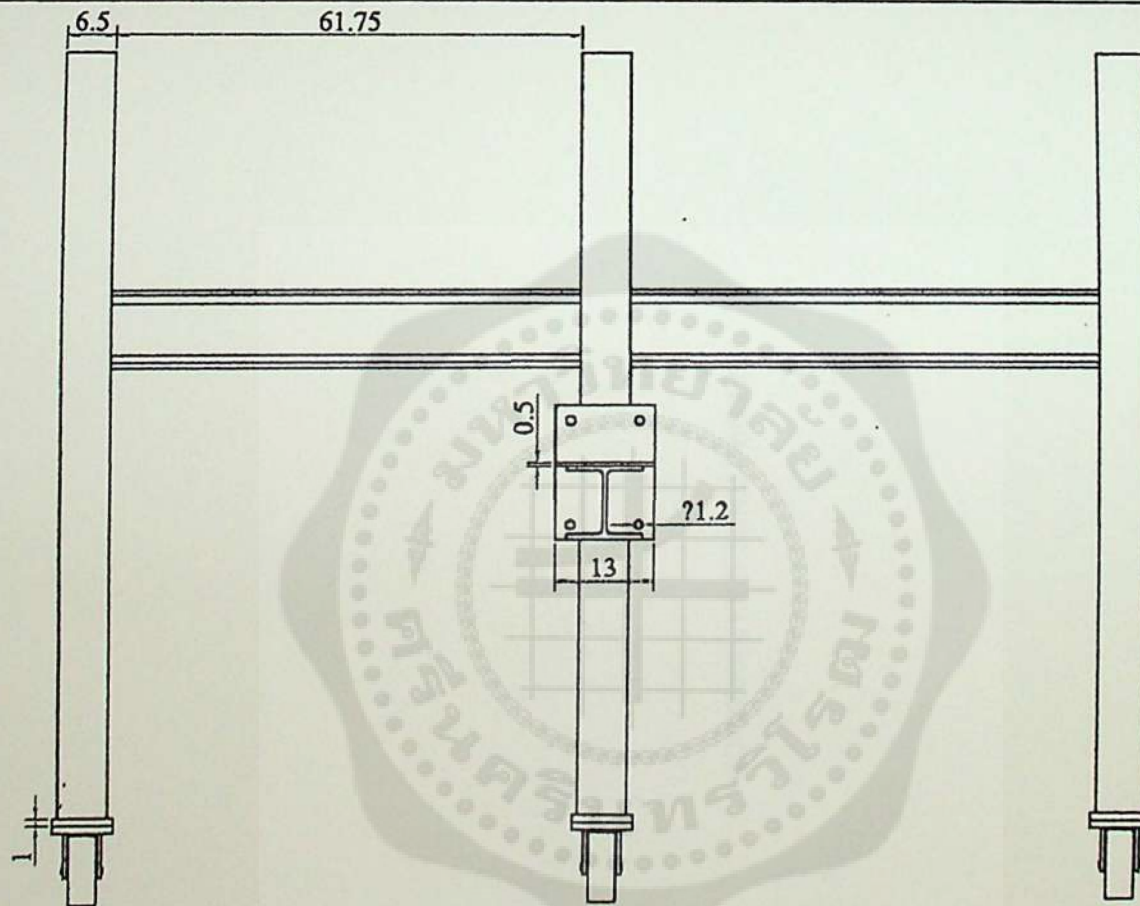
รูปภาคผนวกที่ 1.9 ภาพาก้านปูและชุดชิงโครเมท



ลำดับ	จำนวน	ชื่อ, วัสดุ, ขนาด			มาตรฐาน	
ผู้เขียน		ผู้ตรวจ	ผู้อนุมัติ	ชื่อเพิ่ม	วันที่	มาตราส่วน
นายชัยเกษม		นายจอร์จศักดิ์	อ.บัญชา กังกระดุก		29/09/2000	1:100
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์			ชุดสาริครระบบส่งกำลังในรถยนต์			
			หมายเลขแบบ		แก้ไขครั้งที่	แผ่นที่
			MU2000-001			

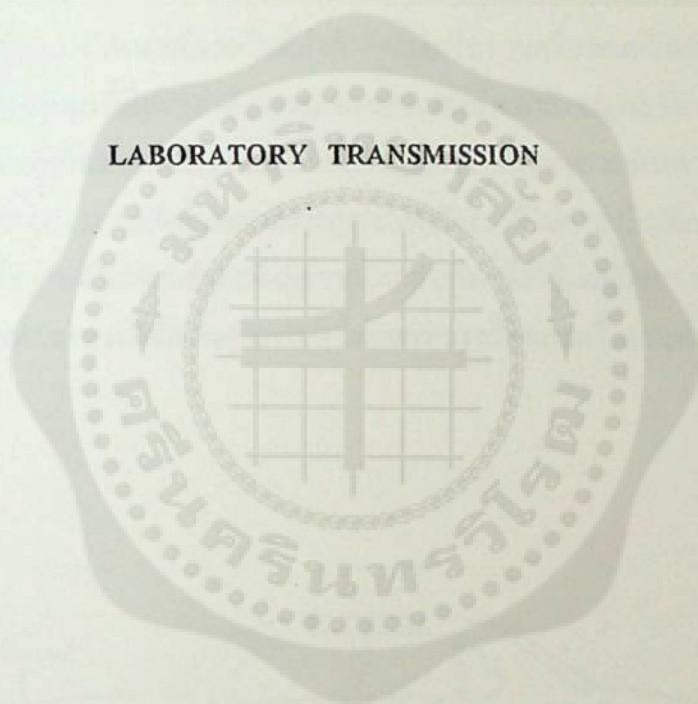


ลำดับ		ชื่อ, วัสดุ, ขนาด			มาตรฐาน	
ผู้เขียน		ผู้ตรวจ	ผู้อนุมัติ	ชื่อเพิ่ม	วันที่	มาตราส่วน
นายชัยเกษม		นายชจรศักดิ์	อ.บัญชา กังกระภูถ		29/09/2000	1:100
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์				ชุดภาษีระบบบั้งกำลังในรถยนต์		
				หมายเลขแบบ	แก้ไขครั้งที่	แผ่นที่
				MB2000-002		



ลำดับ	จำนวน	ชื่อ, วัสดุ, ขนาด			มาตรฐาน	
ผู้เขียน นายชัยเกษม		ผู้ตรวจ นายชอรรถศักดิ์	ผู้อนุมัติ อ.ปัญญา กังตระกูล	ชื่อเพิ่ม	วันที่ 29/09/2000	มาตราส่วน 1:100
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์				ชุดสาธิตระบบส่งกำลังในรถยนต์		
				หมายเลขแบบ ME2000-003		แก้ไขครั้งที่

LABORATORY TRANSMISSION



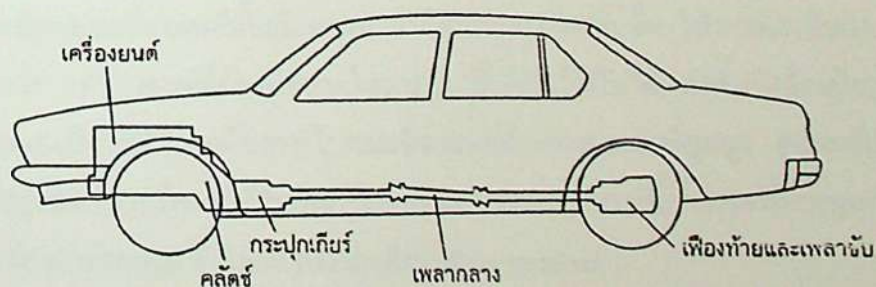
ME-DREPARTMENT SWU.ONGKHARAK	ทฤษฎีระบบส่งกำลัง วัตถุประสงค์	AUTOMATIVE LABORATORY
---------------------------------	-----------------------------------	--------------------------

วัตถุประสงค์

1. เพื่อให้ศึกษาและเข้าใจหลักการทำงานของเกียร์
2. เพื่อให้ศึกษาและเข้าใจหลักการทำงานของเพืองท้าย
3. ศึกษาอัตราทดของเกียร์และเพืองท้าย
4. ศึกษาอัตราทดของเพืองท้ายเมื่อรถเข้าโค้ง

ทฤษฎี

การส่งกำลังหมายถึงกลไกที่ส่งกำลังที่เกิดขึ้นจากเครื่องยนต์ไปขับเคลื่อนให้ล้อรถทั้ง 4 ล้อหมุนเคลื่อนที่ซึ่งการส่งกำลังงานของระบบส่งกำลังจะถูกเปลี่ยนแปลงไปตามการถ่ายทอดแรงบิดที่เกิดจากเครื่องยนต์และสภาพภูมิประเทศของการเดินทางในขณะที่รถเคลื่อนที่ไปยังบนท้องถนนการส่งถ่ายขอมมีการสูญเสียกำลังงานที่ไม่อาจหลีกเลี่ยงได้ ดังนั้นแรงบิดที่ส่งจากเครื่องยนต์ไปหมุนล้อรถจึงมีความแตกต่างกัน ซึ่งก็ขึ้นอยู่กับสภาพภูมิประเทศที่แตกต่างกัน แรงบิดที่ล้อรถจะมีอัตราของแรงบิดที่น้อยกว่าแรงบิดของเครื่องยนต์เสมอ



รูป Lab ที่ 1 แสดงส่วนประกอบของระบบส่งกำลัง

ME-DREPARTMENT SWU.ONGKHARAK	ทฤษฎีระบบส่งกำลัง เกียร์	AUTOMATIVE LABORATORY
---------------------------------	-----------------------------	--------------------------

หน้าที่ของเกียร์ (Function of Transmission)

เมื่อเริ่มออกรถการเร่งเครื่องขณะไต่ขึ้นเนิน หรือบรรทุกหนัก รถยนต์ต้องการแรงขับเคลื่อนแต่เมื่อรถยนต์แล่นด้วยความเร็วบนที่ราบ รถยนต์ต้องการให้ล้อหมุนด้วยความเร็วสูงมากกว่าต้องการแรงขับเคลื่อน ดังนั้นแรงบิดที่เกิดขึ้นกับเครื่องยนต์นั้น ก็จำกัดและขึ้นอยู่กับลักษณะของเครื่องยนต์ด้วย

แรงขับเคลื่อนที่ถ่ายทอดจากเครื่องยนต์มาลงล้อ ทำให้ล้อหมุน แรงนี้กระทำในแนวทาสันสัมผัส (เส้นรอบวง) ของยางจากรูป จะเห็นว่าถ้าแรงบิดของเครื่องยนต์คงที่ แรงนี้จะผันแปรไปตามขนาดของยาง

สมมติว่า เหยี่ยามหยุดการหมุนของเพลาที่มีแรงบิดคงที่ถ้าไปจับคันเล็ก ก็จะต้องออกแรงมาก แต่ถ้าไปจับคันใหญ่ก็จะทำให้หยุดได้ง่าย นั่นหมายความว่าแรงบิดจะน้อยลงเมื่ออัตราเพิ่มขึ้น สำหรับรถยนต์เมื่อแรงบิดคงที่ แรงขับของยางลดลงเมื่ออัตราของยางเพิ่มขึ้น

ดังนั้นจะเห็นได้ว่า แรงขับพิจารณาจากแรงบิดและอัตราของยาง

$$T = \text{แรงบิดของล้อ (กก-ม)}$$

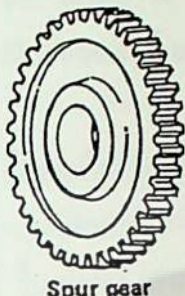
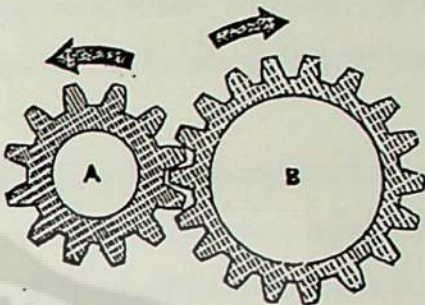
$$r = \text{รัศมีของล้อ (ม)}$$

$$F = \text{แรงขับ (กก)}$$

$$F = T/r$$

ดังนั้นจากสมการพิจารณาได้ว่า แรงขับสามารถเพิ่มขึ้นได้โดยเพิ่มแรงบิด อย่างไรก็ตามแรงบิดของเครื่องยนต์นั้นเกือบคงที่ ถ้าต้องการแรงบิดเพิ่มขึ้น ให้พอเพียงกับการขับรถยนต์ทุกสภาวะ เครื่องยนต์ก็ต้องมีขนาดใหญ่มาก ซึ่งก็เป็นไปไม่ได้ ดังนั้นจึงต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มแรงบิดให้ได้ตามต้องการในขณะที่รถยนต์ต้องการแรงขับที่สูง อุปกรณ์เพิ่มแรงบิดนี้ติดตั้งอยู่ระหว่างเครื่องยนต์กับเพลาขับของรถยนต์และอุปกรณ์นี้สามารถที่จะหมุนกลับทิศทางได้ เมื่อต้องการถอยรถ ซึ่งได้แก่ กระปุกเกียร์ (Transmission)

การเพิ่มแรงบิดทำได้โดย ลดความเร็วรอบของเพลากำลังลง ด้วยการเปลี่ยน เกียร์เป็นเกียร์ต่ำ ถ้าต้องการความเร็วสูง ก็เปลี่ยนเป็นเกียร์ความเร็วสูง แรงบิดก็ลดลง ดังนั้นจึงเห็นได้ว่ากระปุกเกียร์จึงทำหน้าที่ทั้งการเพิ่มและลดแรงบิด โดยเปลี่ยนแปลงการหมุนของ เพลากำลัง รถยนต์ก็จะแล่นไปได้ทุกสภาวะ

ME-DEPARTMENT SWU.ONGKHARAK	ทฤษฎีระบบส่งกำลัง เกียร์	AUTOMATIVE LABORATORY
 Spur gear  <u>รูป Lab ที่ 2</u> สเปียร์เกียร์ <u>รูป Lab ที่ 3</u> ทิศทางการจับของเฟือง โครงสร้างและการทำงานของกระปุกเกียร์ 1. เกียร์ (Gear) กระปุกเกียร์ของรถยนต์ประกอบด้วยขบวนเฟืองหลายขนาดที่ประกอบกันอยู่ในกระปุกเกียร์ ปกติกระปุกเกียร์อยู่ด้านหลังของฝาครอบคลัทช์ ซึ่งกำลังของเครื่องยนต์ถูกส่งจากเพลาคลัทช์ ผ่านกระปุกเกียร์ ไปยังเพลากลาง นอกจากนี้ประปุกเกียร์ยังทำหน้าที่เปลี่ยนทิศทางการหมุนของล้อเมื่อเข้าเกียร์ถอยหลัง ทั้งนี้เพราะเครื่องยนต์หมุนไปทางเดียวกันเสมอไม่ว่ารถยนต์จะแล่นไปข้างหน้าหรือถอยหลังหน้าที่สำคัญอีกประการหนึ่งของประปุกเกียร์คือการได้เปรียบเชิงกล ให้เพียงพอที่จะเพิ่มแรงบิด ให้ขับล้อหมุนไปได้โดยเฉพาะในขณะออกรถ หรือรับน้ำหนักมาก เมื่อเฟืองเกียร์ขบกันอยู่ 2 อัน โดยเฟือง เกียร์อันหนึ่งเป็นเฟืองขับอีกอันหนึ่งเป็นเฟืองตาม คำนวณได้จากอัตราฟันเฟืองเกียร์ทั้งสองที่ขบกัน ถ้าฟันของเฟืองเกียร์ทั้งสองจำนวนเท่ากัน ความเร็วในการหมุนก็เท่ากัน สมมุติว่าเฟืองเกียร์อันหนึ่งมีฟันเฟืองอยู่ 20 ฟัน แรงบิดและอัตราทดของเกียร์ (Torque and gear ratio) ลูกสูบได้รับแรงจากการระเบิดภายในกระบอกสูบ ส่งผ่านก้านสูบมายังเพลาข้อเหวี่ยงซึ่งเปลี่ยนการเคลื่อนที่จากทางตรงเป็นทางหมุนแล้วเพลาข้อเหวี่ยงก็ถ่ายทอดแรงบิดไปยังเกียร์ แรงบิดคือแรงที่ทำให้เกิดการบิดหรือการหมุนเพลาหรือเกียร์ไม่สามารถหมุนได้ ถ้าไม่มีแรงบิดส่งมาให้หน่วยที่ใช้วัดแรงบิดเป็น กก-ม.		

ME-DREPARTMENT
SWU.ONGKHARAK

ทฤษฎีระบบส่งกำลัง
เกียร์

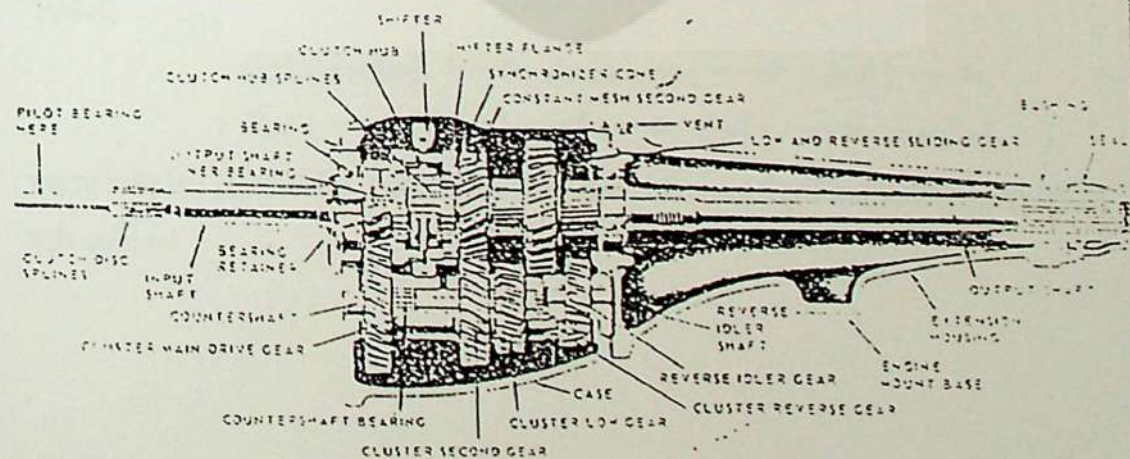
AUTOMATIVE
LABORATORY

แรงบิดของเพลาหรือเกียร์ คำนวณได้โดยการคูณแรงรัศมี (*Tangential Force*) ด้วยรัศมีของการขบ (*Ratio of Gyration*) ซึ่งวัดจากจุดใช้งานของแรง นั่นก็คือถ้า (*Spring Balance*) กับพื้นเฟืองของเกียร์ และคูณด้วยรัศมีการหมุนของเฟืองเกียร์นั้น ซึ่งก็สามารถหาแรงบิดได้

ถ้าเฟืองเกียร์มีขนาดต่างกัน 2 อันขบกันอยู่โดยเกียร์อันเล็กอยู่ด้านเครื่องยนต์มีแรงรัศมีที่เกิดจากแรงบิดของเครื่องยนต์ที่พื้นเฟืองที่ขบกัน 10 กก. ถ้าเฟืองเกียร์อันเล็กมีรัศมี 10 ซม. แรงบิดที่เกิดขึ้นเท่ากับ $10 \text{ กก.} \times 0.1 \text{ ม.} = 1 \text{ กก.} \cdot \text{ม.}$ ถ้าเฟืองเกียร์มีรัศมี 20 ซม. แรงบิดที่ทำให้หมุนก็จะเท่ากับ $10 \text{ กก.} \times 0.2 \text{ ม.} = 2 \text{ กก.} \cdot \text{ม.}$ ดังนั้นการถ่ายทอดแรงบิดผันแปรไปตามรัศมีของเฟืองเกียร์ หรือพื้นของเกียร์

ถ้าเกียร์อันเล็กขับเกียร์ใหญ่ และมีแรงบิดเป็น 2 เท่าเกียร์นั้นจะมีอัตราทดเป็น 2 เท่า ในกรณีนี้ความเร็วของเกียร์ก็ลดลง $\frac{1}{2}$ หรืออาจกล่าวได้ว่าอัตราทดนั้นแสดงออกโดย แรงบิดกำลัง (*Output torque*) แรงบิดขับ (*Input torque*) หรือพื้นเฟืองของเกียร์กำลัง (*Output gear*) พื้นเฟืองของเกียร์ขับ (*Input gear speed*) ความเร็วของเกียร์กำลัง (*Output gear speed*)

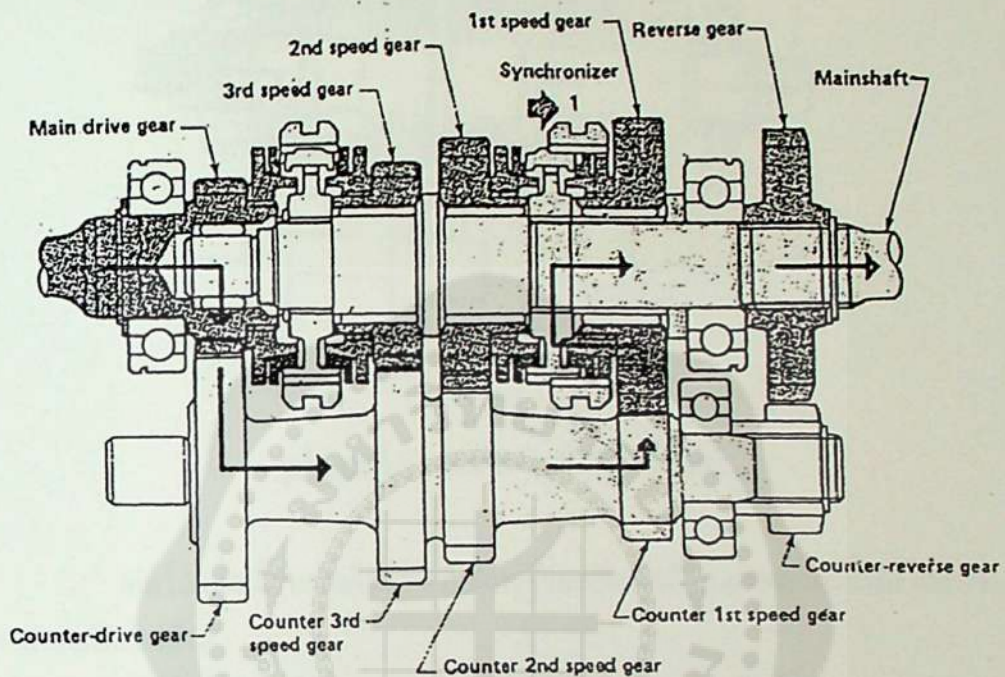
ส่วนประกอบต่าง ๆ ของกระปุกเกียร์แบบซิงโครเมซถึงแม้ว่าจะมีการ ออกแบบกระปุกเกียร์แบบซิงโครเมซต่าง ๆ กันออกไป แต่ส่วนประกอบที่สำคัญก็เหมือนกันคือ



รูป Lab ที่ 4 เกียร์ซิงโครเมซ

ME-DREPARTMENT SWU.ONGKHARAK	ทฤษฎีระบบส่งกำลัง เกียร์	AUTOMATIVE LABORATORY
1. เพลาคลัทช์ (Main drive Shaft) เป็นเพลาที่รับแรงงานจากเครื่องยนต์เพื่อง เกียร์บนเพลาคลัทช์ที่ขบกันกับเฟืองเกียร์บนเพลารองเรียกว่าเกียร์เพลาคลัทช์(Main drive gear) 2. เพลารอง (Counter shaft) เป็นเพลาที่มีเฟืองเกียร์หลายขนาดอยู่บนเพลาเดียวกัน และเป็นหน่วยเดียวกันเฟืองเกียร์เหล่านี้จะขบกับเฟืองเกียร์บนเพลากำลังอยู่ตลอดเวลา 3. เฟือง (Gear) บนเพลากำลัง จะมีเฟืองเกียร์ขบอยู่กับเฟืองเกียร์บนเพลารอง สำหรับรถยนต์ 4 เกียร์ มีเฟืองเกียร์ 1,2,3. 4. ชุดปรับความเร็ว (Synchronizer) เป็นกลไกชุดปรับความเร็วเพื่อให้ความเร็ว ของเฟืองเกียร์ทั้งสองเท่ากันก่อนจึงจะเข้าเกียร์ ชุดปรับความเร็วอยู่ระหว่างเกียร์ 1 กับเกียร์ 2 และเกียร์ 3 กับเกียร์ 4 5. เพลากำลัง (Main shaft) เป็นเพลาที่รับการส่งกำลังจากเกียร์ต่าง ๆ แล้วส่งต่อ ไปยังเพลากลาง และเฟืองท้าย การส่งถ่ายกำลังของกระปุกเกียร์ 4 ความเร็ว (Power flow in a 4 speed Transmission) การส่งถ่ายกำลังของกระปุกเกียร์ ชนิด 4 ความเร็วนี้ เปลี่ยนไปตามการเข้าเกียร์ ดังนี้ เกียร์ 1 เมื่อเลื่อนเข้าเกียร์ 1-2 ก็เลื่อนเข้าขบกับเกียร์ 1 และเพลาส่งกำลัง การส่งถ่ายกำลังจะเป็น ไปดังนี้ เกียร์เพลาคลัทช์ → เกียร์เพลารอง → เกียร์ 1 → เกียร์ 1 → ชิงโครไนเซอร์ → เกียร์ 1 → เพลากำลัง ขณะเมื่อชิงโครไนเซอร์เกียร์ 1-2 ทำงาน ชิงโครไนเซอร์เกียร์ 3-4 ก็ถูกยึดอยู่ในตำแหน่งว่างด้วย อุปกรณ์ล็อก		

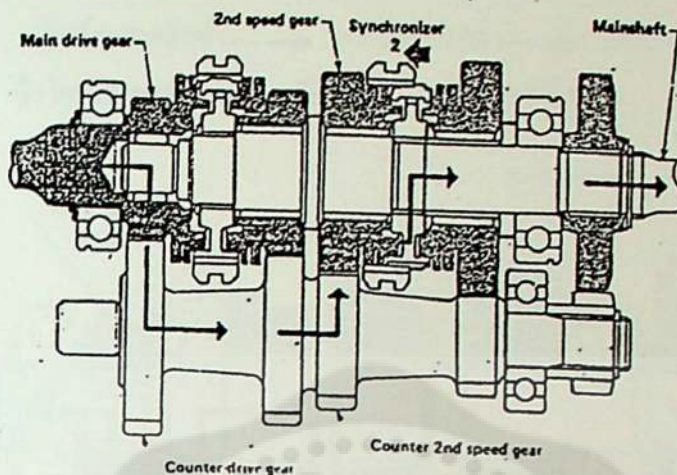
ME-DREPARTMENT SWU.ONGKHARAK	ทฤษฎีระบบส่งกำลัง อัตราทด	AUTOMATIVE LABORATORY
---------------------------------	------------------------------	--------------------------



รูป Lab ที่ 5 การถ่ายทดกำลังของเกียร์

เกียร์ 2 เมื่อเลื่อนเข้าเกียร์ 2 ก็เลื่อนเข้าขบกับเกียร์ 2 และเพลาส่งกำลัง การส่งถ่ายกำลังจะเป็นไปดังนี้

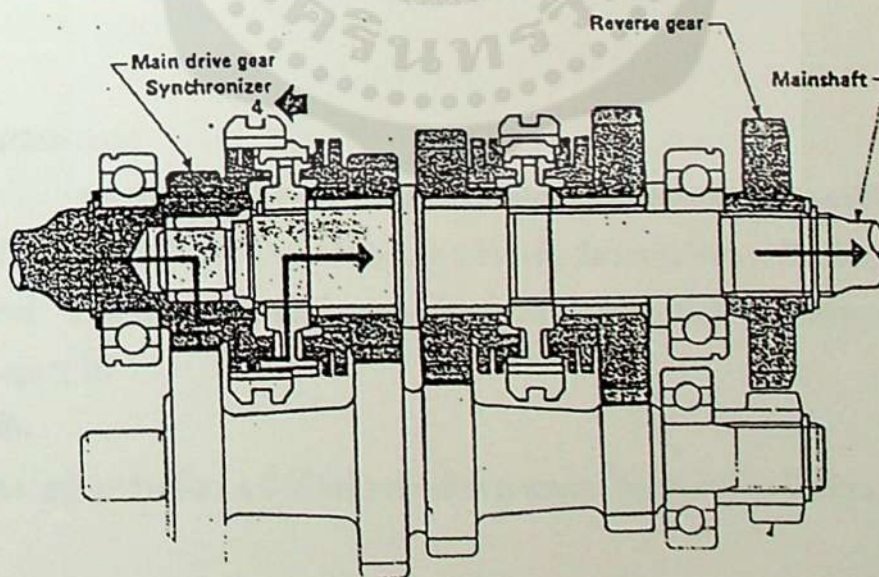
เกียร์เพลาคลัทช์ → เกียร์เพลาอง → เกียร์ 2
 เกียร์ 2 → ซิงโครไนเซอร์ → เกียร์ 2 → เพลาส่งกำลัง



รูป Lab ที่ 6 การถ่ายทอดกำลังของเกียร์ 2

เกียร์ 3 เมื่อเลื่อนเข้าเกียร์ 3-4 ก็เลื่อนเข้าขบกับเกียร์ 3 และเพลาส่งกำลัง การส่งถ่ายกำลังจะเป็นไปดังนี้

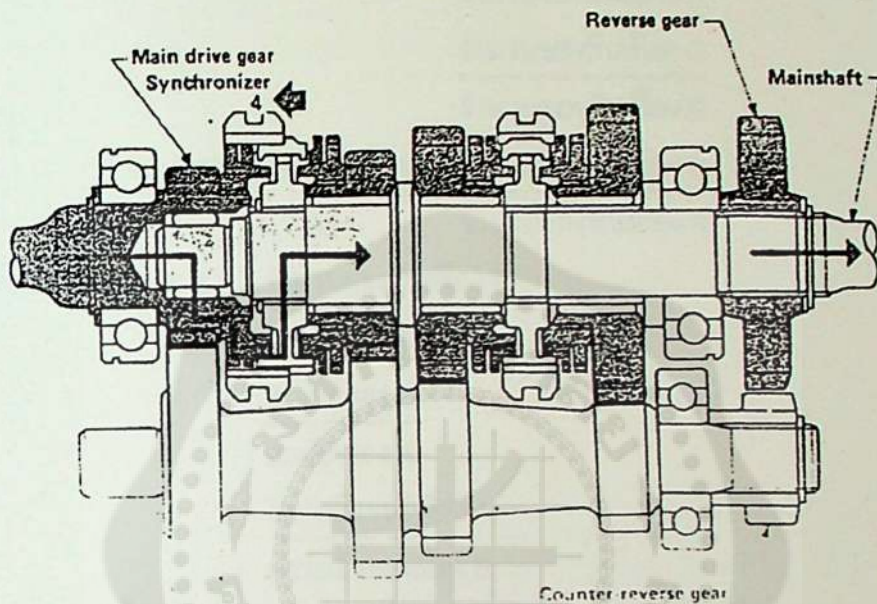
เกียร์เพลาคลัทช์ → เกียร์เพลากรอง → เกียร์ 3
 เกียร์ 3 → ชิงโครไนเซอร์ → เกียร์ 3 → เพลากำลัง



รูป Lab ที่ 7 การถ่ายทอดกำลังของเกียร์ 3

เกียร์ 4 เมื่อเลื่อนเข้าเกียร์ 3-4 ก็เลื่อนเข้าขบกับเกียร์ 4 และเพลาส่งกำลัง การส่งกำลังต่อไปจะเป็นไปดังนี้

เกียร์เพลาคลัทช์ → เกียร์เพลารอง → เกียร์ 4
 เกียร์ → ซิงโครไนเซอร์ → เกียร์ 3 → เพลาส่งกำลัง



รูป Lab ที่ 8 การถ่ายทอดกำลังของเกียร์ 4

อัตราทด (Gear ratio)

เมื่อเฟืองสองอันขบกัน อัตราทดของเฟืองก็เป็นไปตามอัตราทดของเฟือง ของ กระปุกเกียร์ของรถยนต์ ซึ่งมีเฟืองขบกันอยู่มา 2 อัน เช่น อัตราของเฟือง 4 อัน ที่ขบกัน เกียร์ เพลาคลัทช์ เกียร์ขบเพลารอง เกียร์เพลารอง เกียร์ความเร็ว แต่ละเกียร์ ซึ่งการคำนวณหาจาก เกียร์เป็นชุด ๆ ไป

เฟือง 3 อัน

เมื่อเฟือง C อยู่ระหว่างเฟือง A ซึ่งเป็นเฟืองขับ เฟือง B จะหมุนไปในทิศทางเดียวกับเฟือง A

$$\text{ความเร็วของเฟือง C} = \text{ความเร็วของเฟือง A} \times \frac{\text{จำนวนของฟันเฟือง A}}{\text{จำนวนของฟันเฟือง C}}$$

$$\text{ความเร็วของเฟือง B} = \text{ความเร็วของเฟือง C} \times \frac{\text{จำนวนของฟันเฟือง C}}{\text{จำนวนของฟันเฟือง B}}$$

ME-DREPARTMENT SWU.ONGKHARAK	ทฤษฎีระบบส่งกำลัง อัตราทด	AUTOMATIVE LABORATORY
$= \frac{\text{ความเร็วของเฟือง A} \times \text{จำนวนของฟันเฟือง A}}{\text{จำนวนของฟันเฟือง C}}$ $= \frac{\text{ความเร็วของเฟือง A} \times \text{จำนวนของฟันเฟือง A}}{\text{จำนวนของฟันเฟือง B}}$		
อัตราทดระหว่าง A และ B = $\frac{\text{จำนวนของฟันเฟือง B}}{\text{จำนวนของฟันเฟือง A}}$ $= \frac{\text{แรงบิดของ B}}{\text{แรงบิดของ A}}$ $= \frac{\text{ความเร็วของเฟือง A}}{\text{ความเร็วของเฟือง B}}$ ดังนั้นจึงเห็นได้ว่า เฟือง C ซึ่งเป็นเฟืองสะพาน ทำหน้าที่เปลี่ยนทิศทางการหมุนของเฟือง B เท่านั้น เฟืองเพลาขนาน (Parallel shaft gears) จากรูปแสดงให้เห็นถึงเฟือง 4 อัน ขบอยู่บนเพลาขนานกัน ซึ่งเฟืองนี้ เป็นเฟืองเกียร์ของกระปุกเกียร์ เฟือง A เป็นเกียร์บนเพลาคลัทช์ เฟือง B และ D เป็นเฟืองของเพลารอง เฟือง C เป็นเฟืองความเร็ว อัตราทดของเฟือง ระหว่างเฟือง A และเฟือง C คือ $\text{อัตราทด} = \frac{\text{ความเร็วของเฟือง A}}{\text{ความเร็วของเฟือง C}}$ $\text{ความเร็วของเฟือง C} = \frac{\text{ความเร็วของเฟือง D}}{\text{อัตราทดระหว่าง D และ C}}$ $= \frac{\text{ความเร็วของเฟือง D} \times \text{จำนวนของเฟือง D}}{\text{จำนวนของเฟือง C}}$		

ME-DRPARTMENT SWU.ONGKHARAK	ทฤษฎีระบบส่งกำลัง อัตราทด	AUTOMATIVE LUBORATORY
--------------------------------	------------------------------	--------------------------

$$\begin{aligned}
 \text{ความเร็วของเฟือง D} &= \text{ความเร็วของเฟือง B} = \frac{\text{ความเร็วของเฟือง A}}{\text{อัตราทดระหว่าง A และ C}} \\
 &= \text{ความเร็วของเฟือง A} = \frac{\text{จำนวนของเฟือง A}}{\text{จำนวนของเฟือง B}}
 \end{aligned}$$

ดังนั้นของเกียร์จึงเป็นดังนี้

$$\begin{aligned}
 \text{อัตราทด} &= \frac{\text{ความเร็วของเฟือง A}}{\text{ความเร็วของเฟือง C}} \\
 &= \frac{\text{ความเร็วของเฟือง A} \times \text{จำนวนของเฟือง A} \times \text{จำนวนฟันเฟือง D}}{\text{จำนวนของเฟือง B} \times \text{จำนวนฟันเฟือง C}} \\
 &= \frac{\text{จำนวนของเฟือง B} \times \text{จำนวนของเฟือง C}}{\text{จำนวนของเฟือง A} \times \text{จำนวนของเฟือง D}}
 \end{aligned}$$

เพลากลาง

หน้าที่ของเพลากลาง

รถยนต์ที่มีเครื่องยนต้อยู่ด้านหน้าขับเคลื่อนล้อหลัง เพลากลางจะต่ออยู่ระหว่างกระปุกเกียร์กับเฟืองท้าย ปกติกระปุกเกียร์จะยึดอยู่กับโครงรถ โดยมียางรอง ขณะที่ล้อเฟืองท้าย และเพลาข้างจะยึดอยู่กับโครงรถหรือแกน

ขณะที่รถแล่นไป ล้อหลังของรถจะเดินขึ้นลง ตามสภาพของพื้นถนน เป็นสาเหตุให้ระยะทางระหว่างกระปุกเกียร์กับเฟืองท้ายเปลี่ยนแปลงไป นั่นหมายถึงเพลากลางต้องปรับระยะตามการขึ้นลงของล้อไปด้วย ดังนั้นในการออกแบบเพลากลางจึงต้องคำนึงถึง

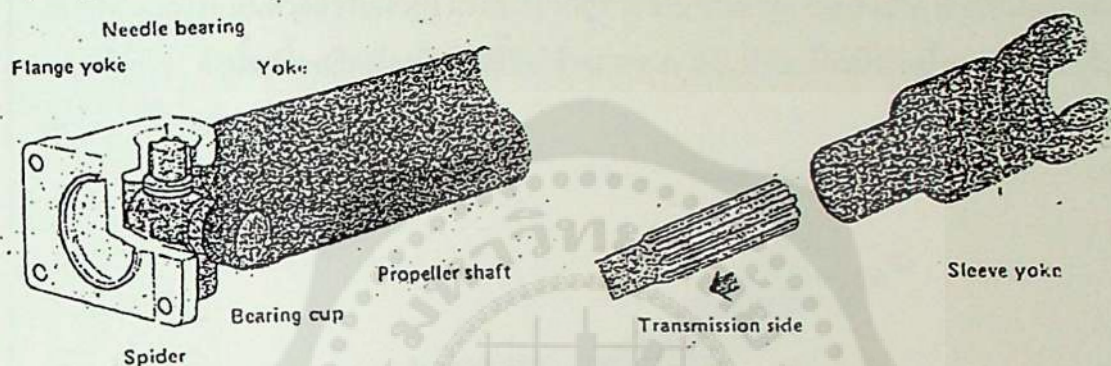
1. ให้มีการส่งกำลังไปยังล้อเฟืองท้ายได้อย่างสม่ำเสมอ
2. ให้การผันแปรมุมของเพลากลางขณะล้อเดินเป็นไปอย่างถูกต้อง
3. ปรับระยะความยาวของเพลากลางได้เอง
4. มีข้อต่ออ่อนเพื่อปรับการเปลี่ยนแปลงมุมของเพลากลาง

ME-DREPARTMENT
SWU.ONGKHARAK

ทฤษฎีระบบส่งกำลัง
ข้อต่อ

AUTOMATIVE
LABORATORY

เพื่อแก้ปัญหาที่กล่าวมาแล้ว จึงต้องมีการออกแบบส่วนประกอบของเพลากลาง
เพิ่มขึ้นอีกคือ



รูป Lab ที่ 9 ข้อต่ออ่อนและข้อต่อเลื่อน

ข้อต่อเลื่อน (Sleeve yoke) เป็นข้อต่อที่เพลากลางปรับระยะได้

ข้อต่ออ่อน (Universal joint) 2-3 อันเพื่อปรับการผันแปรมุมระหว่างกระปุกเกียร์
กับเพืองท้าย

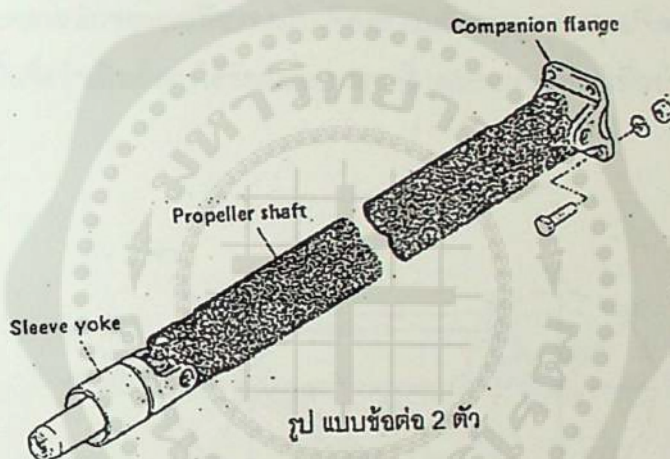
โครงสร้างของเพลากลาง โดยทั่วไปเพลากลางทำจากเหล็กท่อกลมกลวง เพื่อให้มีน้ำหนักเบา และต้องมีความแข็งแรงสูง เพียงพอที่จะทนต่อความเค้นที่เกิดขึ้นได้เพราะขณะ
ออกรถ เกียร์ 1 และเกียร์ถอยหลังเพลากลางต้องรับแรงบิดเพื่อส่งไปยังเพืองท้ายมาก ทั้งยังอาจ
จะได้รับแรงเพิ่มขึ้นอีกเท่า ๓ ขณะที่มีการกระชาก

ในขณะที่รถแล่นด้วยความเร็วสูง เพลากลางจะหมุนด้วยความเร็วสูงเท่ากับ
ความเร็วของเครื่องยนต์ แรงเหวี่ยงที่เกิดขึ้นกับเพลากลางก็เพิ่มขึ้นมาก และอาจจะถึงจุด
อันตราย จนกระทั่งทำให้เพลาแตกร้าวได้ ถ้าเพลากลางมี ความแข็งแรงไม่เพียงพอ ดังนั้นเพลา
กลางต้องมีความสมดุลย์ในขณะที่หมุนด้วย การที่จะให้เพลากลางหมุนอย่างสมดุลย์ก็ต้องใช้
เครื่องมือตรวจสอบความสมดุลย์ของเพลากลางนั้น ถ้าพบความไม่สมดุลย์ก็ต้องจัดการแก้ไขให้สม
ดุลย์

ME-DREPARTMENT SWU.ONGKHARAK	ทฤษฎีระบบส่งกำลัง ข้อต่อ	AUTOMATIVE LABORATORY
---------------------------------	-----------------------------	--------------------------

นอกจากนี้การที่จะถอดแยกส่วนประกอบของเพลากลางกับข้อต่ออ่อนก็ต้องทำเครื่องหมายเดิมไว้ เพื่อให้ประกอบเข้าที่เดิม เป็นการรักษาความสมดุลเดิมไว้

สำหรับรถยนต์ขนาดใหญ่ที่มีช่วงล้อ (wheelbase) ยาว เพลากลางก็ต้องยาวด้วย เมื่อเพลากลางหมุนด้วยความเร็วสูง แรงเหวี่ยงก็สูง อาจจะทำให้เพลาบิดตัวมาก เกิดสั่นมีเสียงดัง และเสียหาย ดังนั้นเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหานี้จึงใช้เพลากลาง 2-3 ท่อน โดยมีร่องเลื่อนรองรับอยู่ในจุดที่ใกล้กึ่งกลาง



รูป Lab ที่ 10 แบบข้อต่อ 2 ตัว

ชนิดของเพลากลาง (Type of propeller shaft)

เพลากลางประกอบతోเหล็กกลม ข้อต่ออ่อน ข้อต่อเลื่อน ซึ่งเป็นส่วนประกอบที่สำคัญ ส่วนประกอบทั้งหมดของเพลากลางนี้ต้องสมดุล เพื่อป้องกันการสั่นและการเกิดเสียงดัง เพลากลางที่ใช้ในรถยนต์มีดังนี้

1. แบบข้อต่อ 2 ตัว (2 joint type) เพลากลางพร้อมข้อต่อแบบนี้เป็นแบบที่ใช้กันมากกับรถที่มีช่วงระยะสั้น
2. แบบข้อต่อ 3 ตัว (3 joint type) แบบนี้อาจจะเรียกว่าแบบ ร่องเลื่อนอยู่กลาง (Center bearing) เพลากลางมี 2 ท่อน มาต่อกันตรงกลางด้วยข้อต่ออ่อนซึ่งแต่ละท่อนก็มี ข้อต่ออ่อนทั้งด้านหน้าและด้านหลัง เพลากลางแบบนี้ มีร่องเลื่อนรองรับอยู่ใกล้กึ่งกลาง 1 ตัว โดยยึดอยู่กับ โครงรถ

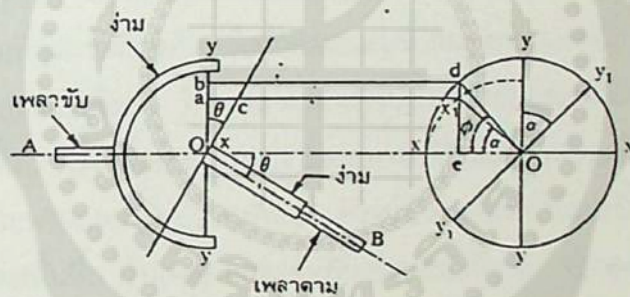
ME-DRPARTMENT SWU.ONGKHARAK	ทฤษฎีระบบส่งกำลัง ข้อต่ออ่อน	AUTOMATIVE LUBORATORY
--------------------------------	---------------------------------	--------------------------

ข้อต่ออ่อน

ข้อต่ออ่อน (universal joint) หรือข้อต่อฮุก (Hooke's joint) นำมาใช้กับรถยนต์

1. ถ่ายทอดกำลังจากเพลาหลักของชุดเฟืองทด ซึ่งวางอยู่ในแนวระดับไปยังเพลากลางซึ่งตามปกติจะทำมุมกับแนวระดับ เพราะว่าชุดเฟืองท้ายมักจะอยู่ต่ำกว่าเพลาหลักของชุดเฟืองทด
2. ถ่ายทอดกำลังในขณะที่เพลาขึ้นลง เมื่อวิ่งบนถนนขรุขระซึ่งจะเปลี่ยนแปลงมุมที่เพลากลางทำกับแนวระดับไปด้วย

เนื่องจากเพลาหลักของชุดเฟืองททดกับเฟืองท้ายเฉื่อยหมุนของชุดเฟืองท้ายขนานกันแต่ไม่ในแนวเดียวกัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้ข้อต่ออ่อนตรงปลายของเพลาทั้งคู่เพื่อให้ส่งกำลังไปได้



รูปที่ 14 การแสดงข้อต่ออ่อน

รูปสเก็ตร่างๆ ของข้อต่ออ่อนได้แสดงไว้ในรูป ในรูปเพลาชับ A ถูกต่อกับแกน yy ของบาทด้วยจ้ามขับ (driving yoke) และแกน xx อีกแกนหนึ่งของกากบาทต่ออยู่กับเพลาดำ B ด้วยตาม (driven yoke) จ้ามขับวางอยู่ในแนวตั้งโดยแกน yy ในแนวตั้งบนระนาบเดียวกัน ส่วนจ้ามตามวางอยู่บนระนาบที่เอียงมุม θ กับแนวระดับโดยแกน xx อยู่ในแนวระดับ

การเคลื่อนที่เชิงมุม อัตราทด และอัตราเร่งของข้อต่ออ่อนแบบง่าย ๆ

ให้เพลาชับหมุนไปเป็นมุม α โดยจุด y เปลี่ยนไปเป็น จุด y_1 ตามภาพที่มองจากด้าน (ขวามือของรูปที่ 14 การแสดงข้อต่ออ่อน) จุด x จะเคลื่อนที่ไปรอบแกน OB เป็นมุม ϕ ซึ่งแสดงส่วนโค้ง rd และมันเคลื่อนที่ในระนาบตั้งไปยังจุด x_1 โดยแนวการเคลื่อนที่เป็นวงรี

ME-DREPARTMENT SWU.ONGKHARAK	ทฤษฎีระบบส่งกำลัง ข้อต่อ	AUTOMATIVE LABORATORY
การต่อเพลากลางแบบนี้ ทำให้เพลากลางมีความแข็งแรง ด้านทานต่อการ โกง เมื่อหมุนด้วยความเร็วสูงได้ ทำให้ไม่ให้เกิดเสียงดัง และการสั่นสะเทือนก็หมดไป การออกแบบเพลากลางแบบนี้ เป็นการลดระดับการขึ้นลงของเพลากลาง เพราะเพลากลางลดระดับเป็นขั้น ๆ แล้ว ข้อต่ออ่อน (<i>Universal joint</i>) ข้อต่ออ่อนที่ใช้กับรถยนต์ทั่วไป มีหลายชนิดแต่ที่นิยมใช้มากได้แก่ 1. แบบฮุก (<i>Hook type Universal joint</i>) ข้อต่ออ่อนนี้ประกอบด้วยกาบคาด (<i>Spider or journal</i>) 1 อัน และก้ามปู (<i>Yoke</i>) 2 อัน ก้ามปูทั้งสองจัดให้ทำมุมกัน 90 องศา การส่งถ่ายกำลังก็ส่งผ่าน ก้ามปูหนึ่ง ผ่านกาบคาดไปยังก้ามปูอีกด้านหนึ่งได้ แม้ว่าเครื่องยนต์จะติดตั้งอยู่กับโครงรถ ในระดับที่สูงกว่าเพื่องท้าย ข้อต่ออ่อนแบบนี้ เพลาตาม (<i>driven shaft</i>) หมุนไปด้วยความเร็วที่เปลี่ยนแปลงไปเรื่อยๆ โดยเพลาตามจะหมุนไปในลักษณะที่มีทั้งอัตราหน้าวง และอัตราเร่ง ซึ่งจะเกิดขึ้น 2 ครั้ง เมื่อเพลาหมุน 1 รอบ การเปลี่ยนแปลงความเร็วของเพลาตาม ขึ้นอยู่กับขนาดของมุมระหว่างเพลาจับกับเพลาตาม ความเร็วของการผันแปรนี้จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อมุมของข้อต่อเพิ่มขึ้น ถ้ามุมของเพลาจับกับเพลาตามเป็นมุม 15 องศา จะมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วไปประมาณ 7% ถ้ามุมของเพลาทั้ง 2 เป็น 30 องศาจะมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วไปประมาณ 30 % ข้อต่ออ่อนแบบยาง (<i>Rubber coupling</i>) ข้อต่อแบบนี้ใช้ยางและผ้าใบ เป็นส่วนผสมเหมือนกับวัสดุที่ใช้ทำยางรถยนต์ หน้าแปลนสำหรับต่อกำลัง เป็นแบบ 3 ขา 2 อัน ประกบให้เข้ากันบนข้อต่ออย่าง แล้วใช้น็อตยึดไว้ แกนของหน้าแปลนเป็นร่องสำหรับยึดเข้ากับเพลา ข้อต่อแบบนี้มีการยืดหยุ่นตัวดี และไม่ต้องการหล่อลื่น แต่ไม่เหมาะที่จะใช้กับเพลาส่งกำลังที่มีมุมมากกว่า 10 องศา		

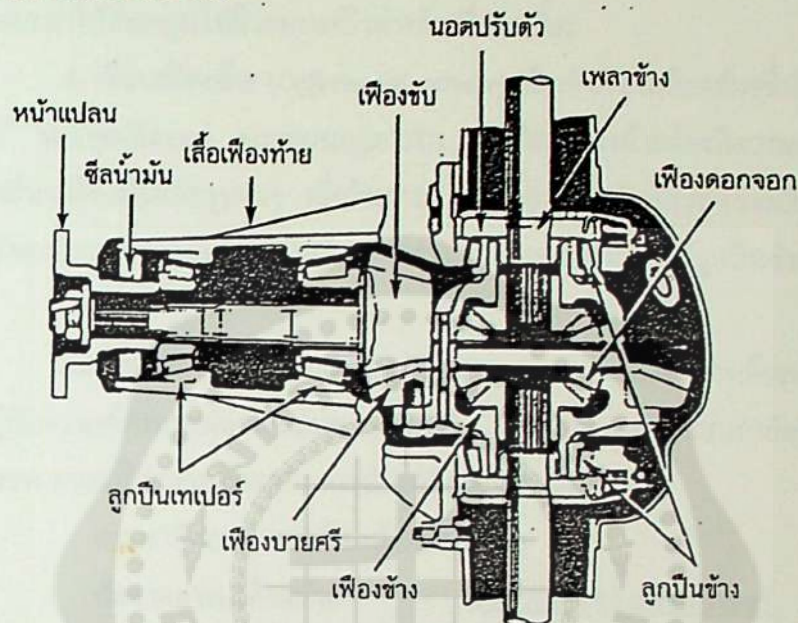
ME-DRPARTMENT SWU.ONGKHARAK	ทฤษฎีระบบส่งกำลัง ข้อต่ออ่อน	AUTOMATIVE LUBORATORY
ดังนั้นเราจะได้ $\tan \alpha = \frac{x_1 e}{oe} = \frac{oa}{oe}$ $\tan \phi = \frac{de}{oe} = \frac{ob}{oe}$ และ $\cos \theta = \frac{x_1 e}{oc} = \frac{oa}{ob}$ ดังนั้น $\tan \alpha = \tan \phi \cdot \cos \theta$ ดิฟเฟอเรนเชียลสมการนี้เทียบกับเวลา t โดยสมมติว่า $\cos \theta$ คงที่จะได้ $\sec^2 \alpha \frac{d\alpha}{dt} = \cos \theta \cdot \sec^2 \phi \frac{d\phi}{dt}$ หรือ $\sec^2 \alpha \cdot \omega_A = \cos \theta \cdot \sec^2 \phi \cdot \omega_B$ ดังนั้นอัตราทด $\frac{\omega_B}{\omega_A} = \frac{\sec^2 \alpha}{\cos \theta \cdot \sec^2 \phi}$ เมื่อ ω_A และ ω_B คือความเร็วเชิงมุมของเพลาขับและเพลาตามตามลำดับ กำจัด ϕ ออก สมการนี้จะได้ $\frac{\omega_B}{\omega_A} = \frac{\cos \theta}{1 - \cos^2 \alpha \sin^2 \theta}$ อัตราทดจะมีค่าสูงสุดเมื่อ $\alpha = 0^\circ$ หรือ 180° และมีค่าต่ำสุด เมื่อ $\alpha = 90^\circ$ หรือ 270° ดังนั้น $(\omega_B)_{\max} = \omega_A \left[\frac{\cos \theta}{1 - \sin^2 \theta} \right] = \frac{\omega_A}{\cos \theta}$ และ $(\omega_A)_{\min} = \omega_A \cos \theta$ เพราะฉะนั้น speed range = $\omega_A \left[\frac{1}{\cos \theta} - \cos \theta \right]$ เนื่องจากความเร็วของเพลาตามแปรผันไม่คงที่ตามสมการข้างบน ข้อต่ออ่อนเพียงอันเดียว ไม่เหมาะสมกับการถ่ายทอดกำลังในรถยนต์ แต่ถ้าใช้ข้อต่ออ่อน 2 ข้ออย่างถูกต้องจะทำให้ได้อัตรา คงที่		

ME-DRPARTMENT SWU.ONGKHARAK	ทฤษฎีระบบส่งกำลัง ข้อต่ออ่อน	AUTOMATIVE LUBORATORY
อัตราเร่งของเพลตาม จะหาได้โดยการดิฟเฟอเรนเชียลสมการของอัตราทดเทียบกับเวลา ดังนั้น		
$\alpha_B = \frac{d\omega_B}{dt} = \frac{\omega_A^2 \cos\theta \sin^2\alpha}{(1 - \cos^2\alpha \cdot \sin^2\theta)^2}$		
<u>อัตราทดของข้อต่ออ่อน 2 ข้อ</u>		
ข้อต่ออ่อนแบบ 2 ข้อที่นำมาใช้ในการต่อเพลลาขับ A กับเพลลาตาม B ซึ่งขนานกันแต่วางอยู่ ระดับกัน โดยมีเพลลากลางเชื่อมต่อระหว่างข้อต่อทั้ง 2 ได้แสดงไว้ในรูปการแสดงข้อต่ออ่อน ง่าม เพลลา A และเพลลา B วางอยู่ในระนาบเดียวกัน แต่ง่ามของเพลลา C วางอยู่ต่างระนาบกัน		
<u>รูป Lab ที่ 11</u>		
ประยุกต์เข้ากับสมการในหัวข้อที่แล้ว เราจะได้		
และ	$\tan \alpha_A = \tan \Phi_C \cdot \cos\theta$	
	$\tan \alpha_B = \tan \Phi_C \cdot \cos\theta$	
อัตราทด	$\alpha_A = \alpha_B$	
	$\frac{\omega_B}{\omega_C} = \frac{\cos\theta}{1 - \cos^2\alpha_A \sin^2\theta}$	
	$\frac{\omega_C}{\omega_B} = \frac{\cos\theta}{1 - \cos^2\alpha_B \sin^2\theta}$	
และ		

ME-DRPARTMENT SWU.ONGKHARAK	ทฤษฎีระบบส่งกำลัง ข้อต่อเลื่อน	AUTOMATIVE LUBORATORY
$\frac{\omega_B}{\omega_A} = \frac{\omega_C}{\omega_A} \cdot \frac{\omega_B}{\omega_C} = \frac{1 - \cos^2 \alpha_B \sin^2 \theta}{1 - \cos^2 \alpha_A \sin^2 \theta} = 1$ (เพราะว่า $\alpha_A = \alpha_B$) ตำแหน่งที่ถูกตองของง่าม โดยเฉพาะของเพลากลางจำเป็นต้องรักษาให้เป็นมุมที่เหมือนกัน 2 ข้าง จึงจะได้อัตราทดคงที่ <u>ข้อต่อเลื่อน</u> เพลากลางจะเอียงจากชุดเฟืองทดลงไปสู่ชุดเฟืองท้าย เมื่อเพลากลางยกตัวขึ้นเนื่องจาก แหนบดันขึ้น ความยาวของเพลากลางจะน้อยลง และเมื่อแหนบหยุดดันเพลากลางก็จะกลับมามี ยาวเท่าเดิมการเปลี่ยนแปลงความยาวเพลากลางนี้ทำได้โดยการใช้ข้อต่อเลื่อน (Slip joint) และสามารถ ถ่ายทอดกำลังในขณะที่เปลี่ยนแปลงความยาวของเพลากลางได้อีกด้วย ข้อต่อเลื่อนจะอยู่ระหว่าง หลักของชุดเฟืองทดกับข้อต่ออ่อนที่ติดอยู่กับเพลากลาง ข้อต่ออ่อนประกอบด้วยสไปลน์ที่ปลาย เพลากลาง โดยเรียกว่าข้อต่อตัวผู้ (Male Member) ซึ่งสามารถเลื่อนเข้า-ออกของข้อต่อเลื่อนทำให้ ยาวของเพลากลางเปลี่ยนแปลงไปได้และสไปลน์ทำให้ข้อต่อสามารถส่งกำลังได้		

ME-DREPARTMENT SWU.ONGKHARAK	ทฤษฎีระบบส่งกำลัง เฟืองท้าย	AUTOMATIVE LABORATORY
---------------------------------	--------------------------------	--------------------------

เฟืองท้าย (DIFFERRANTIAL)



รูป Lab ที่ 12 เฟืองท้าย

หน้าที่ของเฟืองท้าย (Function of differential carrier)

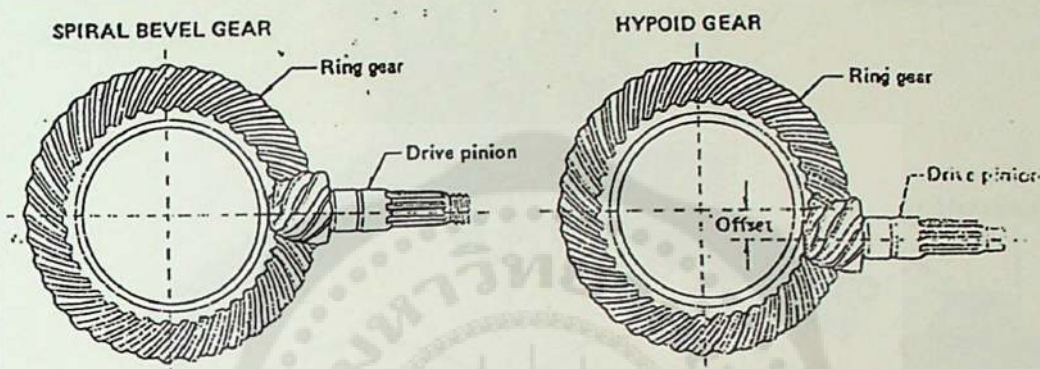
เฟืองท้ายทำหน้าที่เปลี่ยนทางการหมุนของเพลากลาง เพื่อส่งแรงขับไปยังเพลาขับและล้อ นอกจากนี้ยังทำหน้าที่ลดความเร็ว และเพิ่มแรงขับเคลื่อนล้อ เมื่อรถเลี้ยวหรือแล่นบนถนนที่ขรุขระล้อด้านหนึ่งจะหมุนด้วยความเร็วกว่าอีกด้านหนึ่ง เพราะถ้าล้อทั้งสองหมุนด้วยความเร็วเท่ากัน ล้อหนึ่งจะครูดไปบนถนน ซึ่งทำให้ยางสึกหรอและการควบคุมรถยากขึ้น เฟืองท้ายจะขจัดปัญหาเหล่านี้ได้โดยยอมให้ล้อด้านหนึ่งหมุนเร็วกว่าล้ออีกด้านหนึ่งในบางขณะ

1. เกียร์สุดท้าย (Final gear) เป็นเกียร์ที่ลดความเร็วในการหมุนจากเครื่องยนต์ เพื่อให้เกิดการขับเคลื่อน
2. เฟืองท้าย (Differential) เป็นเกียร์ที่เปลี่ยนทิศทางการหมุนจากเพลากลางเพื่อส่งไปยังล้อ

เกียร์สุดท้าย (Final gear) เกียร์เฟืองท้ายที่ใช้กับรถยนต์รุ่นเก่า เป็นเกียร์แบบเฟืองตัวหนอน (Worm gear) หรือเกียร์แบบเฟืองฟันโค้ง (Spiralbevel gear) แต่ในปัจจุบันเฟืองท้ายของรถยนต์ ใช้เฟืองเกียร์แบบเฟืองฟันโค้งเอียงศูนย์ (Hypoid gear) กันทั้งนั้น เกียร์แบบไฮปอยด์นี้ การ

ME-DREPARTMENT SWU.ONGKHARAK	ทฤษฎีระบบส่งกำลัง เฟืองท้าย	AUTOMATIVE LABORATORY
3. เฟืองทด (Differential) ทำหน้าที่ให้ล้อหมุนไปด้วยความเร็วเท่ากัน เมื่อรถแล่นทางตรงและจะทำให้ล้อหมุนไปด้วยความเร็วต่างกันเมื่อรถเลี้ยว 4. เรือนเฟืองท้าย (Differential carrier) เป็นตัวเรือนเฟืองท้ายซึ่งมีเฟืองเดือยหมุนเฟืองบายศรี และชุดเฟืองทด ประกอบอยู่ภายใน ตัวเรือนเฟืองท้ายต้องมีความแข็งแรงสูงมาก เพราะถ้าตัวเรือนเฟืองท้ายเสียรูปทรง เมื่อรับภาระ (Load) รอยสัมผัสระหว่างเฟืองเดือยหมุนกับเฟืองบายศรี จะเสียศูนย์ และเกิดแรงที่ไม่ต้องการกระทำกับลูกปืนจะทำให้ลูกปืนชำรุดเสียหายด้วย อัตราทดของเกียร์ชุดท้าย (Final gear reduction ration) การเลือกอัตราของเฟืองท้ายขึ้นอยู่กับความต้านทานต่อการแล่นของรถยนต์ ระยะทางที่รถแล่นกำลังของเครื่องยนต์ ขนาดของยาง ความเร็วสูงสุดอัตราเร่ง การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง เป็นต้น การหาอัตราทดของเฟืองท้ายหาได้โดย $\text{อัตราทดของเฟืองท้าย} = \frac{\text{จำนวนฟันของเฟืองบายศรี}}{\text{จำนวนฟันของเฟืองเดือยหมุน}}$ เช่น จำนวนฟันของเฟืองบายศรี = 35 ฟัน จำนวนฟันของเฟืองเดือยหมุน = 9 ฟัน $\text{อัตราทดของเฟืองท้าย} = \frac{35}{9} = 3.889$ 9 นั่นคือเฟืองขับเคลื่อน 3.889 รอบ จึงจะทำให้เฟืองบายศรีหมุน 1 รอบ ผลรวมของอัตราทด คือการหาอัตราทดทั้งหมดของกระปุกเกียร์กับอัตราทดของเฟืองท้ายโดย $\text{ผลรวมของอัตราทด} = \text{อัตราทดของกระปุกเกียร์} \times \text{อัตราทดของเฟืองท้าย}$ ทั้งกำลังจากเครื่องยนต์ หรือความเร็วในการหมุนของล้อ สามารถเพิ่มขึ้นได้จากเครื่องยนต์ที่มีแรงบิดเท่าเดิม โดยการเปลี่ยนแปลงผลรวมของอัตราทดปกติแล้ว อัตราทดของเฟืองท้ายของรถยนต์นั่ง หรือรถยนต์บรรทุกเล็ก อยู่ระหว่าง 3.6-4.3 แต่สำหรับรถบรรทุกหนักหรือรถโดยสารจะอยู่ระหว่าง 5.5-7.3		

ME-DEPARTMENT	ทฤษฎีระบบส่งกำลัง	AUTOMATIVE
SWU.ONGKHARAK	เฟืองท้าย	LABORATORY



รูป Lab ที่ 13 การขับของเฟืองท้าย

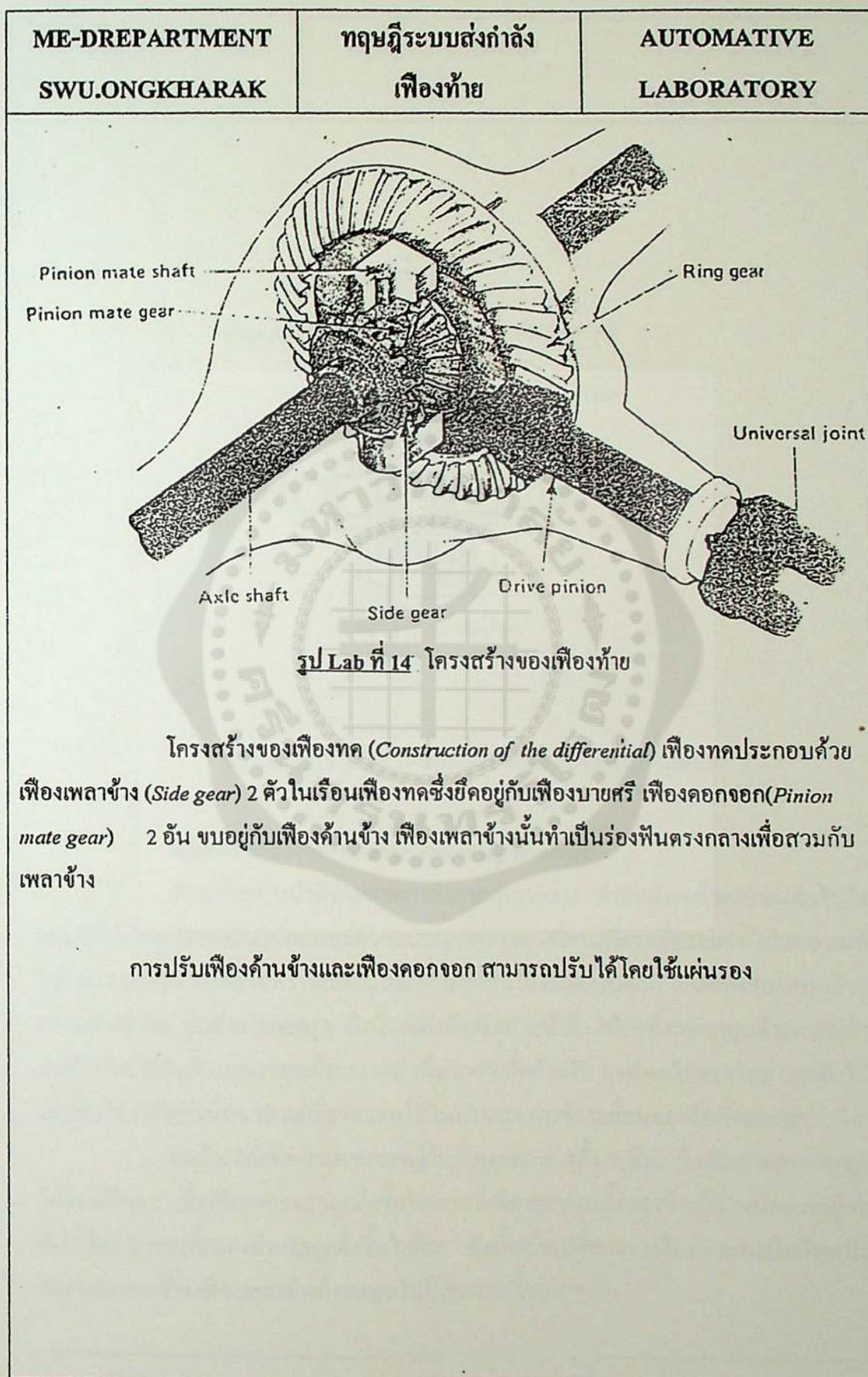
ข้อดี ของไฮพอยด์เกียร์การที่รถยนต์ในปัจจุบันนิยมใช้เกียร์แบบไฮพอยด์กันเป็น ส่วนมากก็เพราะเฟืองเคียวหมุขบอยู่กับเฟืองบายศรีในลักษณะเอียงศูนย์ ทำให้เพลากลางอยู่ใน ระดับค้ำนี้ เป็นผลให้การออกแบบห้องโดยสารสะดวกขึ้น และจุดศูนย์ถ่วงของรถก็ต่ำด้วย เป็นการเพิ่มการทรงตัวในการเล่นได้เป็นอย่างดี สำหรับรถยนต์นั่งทั่ว ๆ ไป การเอียงศูนย์ของเฟือง เคียวหมุ กับศูนย์กลางของเฟืองบายศรีประมาณ 20%

สำหรับด้านโครงสร้างฟันของเฟืองโค้ง มีจุดสัมผัสมากซึ่งเป็นการเพิ่มทั้งความ แข็งแรง ความทนทานของเกียร์ และไม่มีเสียงดังด้วยนอกจากนี้ยังเป็นการลดขนาดของน้ำมันก ลงได้ด้วย

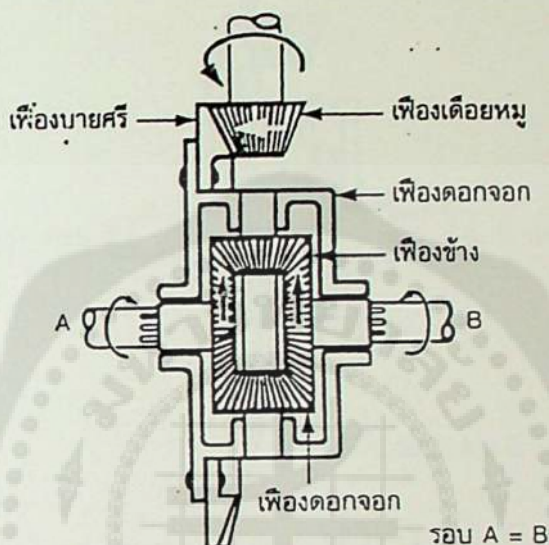
ข้อเสีย ของไฮพอยด์เกียร์ คือถึงแม้ว่าเกียร์แบบไฮพอยด์จะมีเสียงเงียบ แต่ก็ยังมีข้อ เหยที่ หัวของเฟืองเคียวหมุ ยื่นเข้าไปขบ จับเฟืองบายศรีในเรือนเฟืองท้าย ส่วนนั้นต้องมีความ แข็งแรงมาก ทั้งการปรับรอบสัมผัสก็ยาก

โครงสร้างของเกียร์สุดท้าย (Construction of the final gear)

1. เฟืองเคียวหมุหรือเฟืองขับ เป็นเฟืองที่อยู่ภายในเรือนเฟืองท้าย (Differential



ME-DEPARTMENT SWU.ONGKHARAK	ทฤษฎีระบบส่งกำลัง เฟืองท้าย	AUTOMATIVE LABORATORY
--------------------------------	--------------------------------	--------------------------



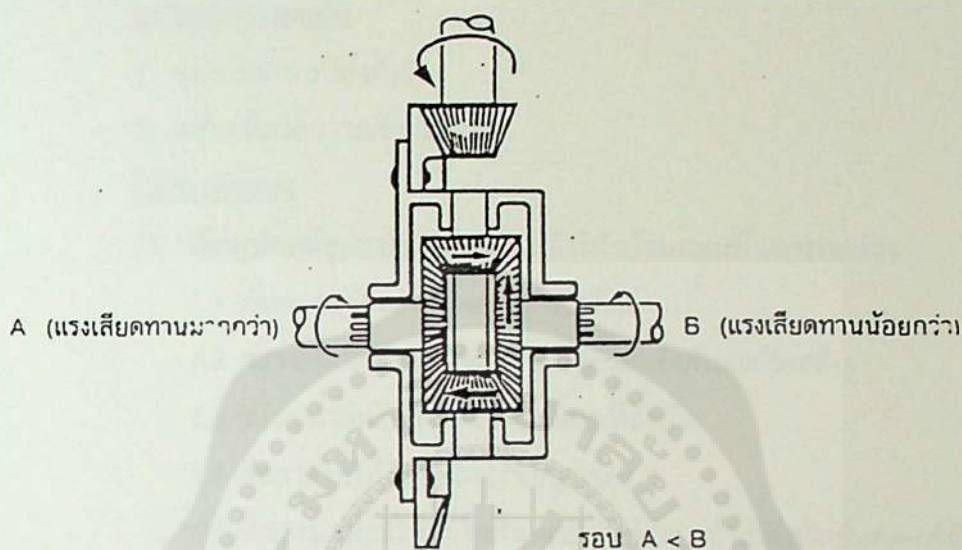
รูป Lab ที่ 15 เมื่อน้ำหนักถ่วงเท่ากันหรือรถแล่นทางตรง

หลักการของเฟืองท้าย (Principle of differential)

เฟืองท้ายทำหน้าที่ถ่ายทอดกำลังจากเพลากลาง ผ่านเกียร์ชุดท้ายแล้วส่งต่อไปยังเพลาข้างให้การขับเคลื่อนเป็นไปอย่างสะดวกสบายทุกสภาวะ เมื่อรถเลี้ยวหรือรถแล่นไปบนถนนที่ขรุขระ การหมุนของล้อระหว่างล้อด้านนอกกับล้อด้านในจะแตกต่างกัน ถ้าล้อทั้งสองหมุนด้วยความเร็วเท่ากัน ล้อด้านในจะครูด ดังนั้นเฟืองท้ายจึงทำหน้าที่ ให้ล้อทั้งสองหมุนด้วยความเร็วต่างกันโดยให้ล้อด้านนอกหมุนด้วยความเร็วที่มากกว่าล้อด้านใน ยางก็จะไม่ครูดไถล และทำให้รถเลี้ยวโค้งได้อย่างนุ่มนวล แต่เมื่อรถแล่นไปในทางตรง การขับเคลื่อนของล้อทั้งสองจะเท่ากัน

จะเห็นว่าเฟืองสะพานขบอยู่กับเฟืองดอกจอกทั้ง 2 ด้าน ซึ่งเฟืองดอกจอกหมุนได้รอบตัวเอง เมื่อเฟืองดอกจอกถูกดึงขึ้นในขณะที่เฟืองสะพานทั้งสองข้างมีน้ำหนักถ่วงอยู่เท่ากัน เฟืองสะพานทั้งสองด้านจะถูกดึงขึ้นไปด้วย ดังนั้นเมื่อเปลี่ยนจากเฟืองสะพานเป็นเฟืองฟันตรง ของเพลาข้าง เฟืองเพลาข้างก็จะหมุนไปด้วยความเร็วเท่า ๆ กัน

ME-DREPARTMENT SWU.ONGKHARAK	ทฤษฎีระบบส่งกำลัง เฟืองท้าย	AUTOMATIVE LABORATORY
---------------------------------	--------------------------------	--------------------------



รูป Lab ที่ 16 เมื่อน้ำหนักถ่วงไม่เท่ากันหรือลดเลี้ยว

จากรูปแสดงถึงเมื่อเฟืองสะพานด้านขวามีน้ำหนักถ่วงมากกว่าด้านซ้าย เมื่อถึงเฟืองคอกจอกขึ้น เฟืองคอกจอกจะหมุนรอบตัวเอง และเฟืองสะพานด้านซ้ายมือ ซึ่งเบากว่าจะถูกยกขึ้นมากกว่า ด้านขวามือ ถ้าน้ำหนักที่เฟืองเพลาช้างได้รับไม่เท่ากัน ด้านที่รับน้ำหนักมากกว่า มีความต้านทานมากกว่า จะหมุนช้ากว่าด้านเบา ดังนั้นเมื่อเฟืองเพลาช้างด้านขวา มีน้ำหนักมากกว่าด้านซ้าย จึงหมุนด้วยความเร็วรอบมากกว่าด้านขวา

การทำงานของเฟืองท้าย (Operation of differential)

เมื่อขับรถทางตรง แรงบิดจากเครื่องยนต์ ถูกถ่ายทอดผ่านกระปุกเกียร์ มายังเพลากลาง และส่งต่อไปยังเพลาลับเฟืองเดือยหมุน ขับให้เฟืองวงแหวนหรือเฟืองบายศรีหมุนและทำให้เลื้อยเฟืองทดหมุน เมื่อรถแล่นทางตรง ความต้านทานต่อการหมุนทั้งสองข้างต่างกัน เฟืองคอกจอก (Pinion mate gear) จะไม่หมุนไปรอบตัวเองบนแกนเพลาลับ (Pinion mate shaft) แต่จะหมุนไปทั้งชุดของเฟืองทด ซึ่งก็ทำให้ล้อทั้งสองหมุนด้วยความเร็วรอบเท่ากันด้วย

เมื่อขับรถเลี้ยว ความต้านทานที่เกิดขึ้นกับล้อทั้งสอง ไม่เท่ากัน ล้อด้านนอก มีความต้านทานเกิดขึ้นน้อยกว่าล้อด้านใน นั่นคือล้อด้านนอก หมุนเร็วกว่าล้อด้านใน ซึ่งหมายความว่าเกียร์เพลาช้างของล้อทั้งสองหมุนด้วยความเร็วแตกต่างกัน โดยเฟืองคอกจอกก็หมุนด้วย

ME-DREPARTMENT SWU.ONGKHARAK	ทฤษฎีระบบส่งกำลัง อุปกรณ์การทดลอง	AUTOMATIVE LABORATORY
<u>อุปกรณ์การทดลอง</u> - ชุดสาริตระบบส่งกำลัง - เครื่องมือวัดความเร็วรอบ <u>วิธีการทดลอง</u> - เช็คอุปกรณ์ชุดสาริตระบบส่งกำลังให้พร้อมก่อนเริ่มการทดลอง - เช็คความตึงของสายพานชุดขับเคลื่อน - ตรวจเช็คน้ำมันของฟันเฟืองของเกียร์และเฟืองท้าย - ชโลมน้ำมันให้กับเฟืองเกียร์และเฟืองท้าย - ต่อสายไฟให้กับมอเตอร์ขับเคลื่อน - ปรับตำแหน่งเกียร์ให้อยู่ในตำแหน่งเกียร์ว่าง แล้วเปิดสวิตช์มอเตอร์สังเกตการทดลอง แล้วปิดสวิตช์ของมอเตอร์ - ปรับตำแหน่งของเกียร์ให้อยู่ตำแหน่งเกียร์ 1 แล้วเปิดสวิตช์มอเตอร์ สังเกตผลการทดลองและเปิดสวิตช์มอเตอร์ - ทดลองเหมือนข้อ 3 แต่เปลี่ยนตำแหน่งเกียร์ตั้งแต่เกียร์ 2 ถึง เกียร์ 4 และเกียร์ถอยหลัง - บันทึกผลการทดลอง - คำนวณหาอัตราทดเกียร์ และอัตราทดเฟืองท้าย - สรุปผลการทดลอง		

ประวัติผู้จัดทำ

ชื่อนายดำเกิง รัศมีบุรทอง

ที่อยู่ 33 หมู่ 2 ต.สายดอกไม้ อ.เสนาห์ จ.สระบุรี

โครงการที่จัดทำ ชุดสารัตถะแบบส่งกำลังในรถยนต์

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

ประวัติการศึกษา จบการศึกษาระดับ ปวช. จากโรงเรียนเซนต์จอร์จอำเภอวิเศษ

ระดับ ปวส. จากวิทยาลัยเทคนิคตะวันออกเฉียงเหนือ

ชื่อนายชัยเกษม แรมนิล

ที่อยู่ 75/3 หมู่บ้านร่มไม้ ซ.2 ต.มิตรภาพ อ.มวกเหล็ก จ.สระบุรี

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

ประวัติการศึกษา จบการศึกษาระดับปวช. จากสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตตาก

ระดับ ปวส. จากสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตตาก