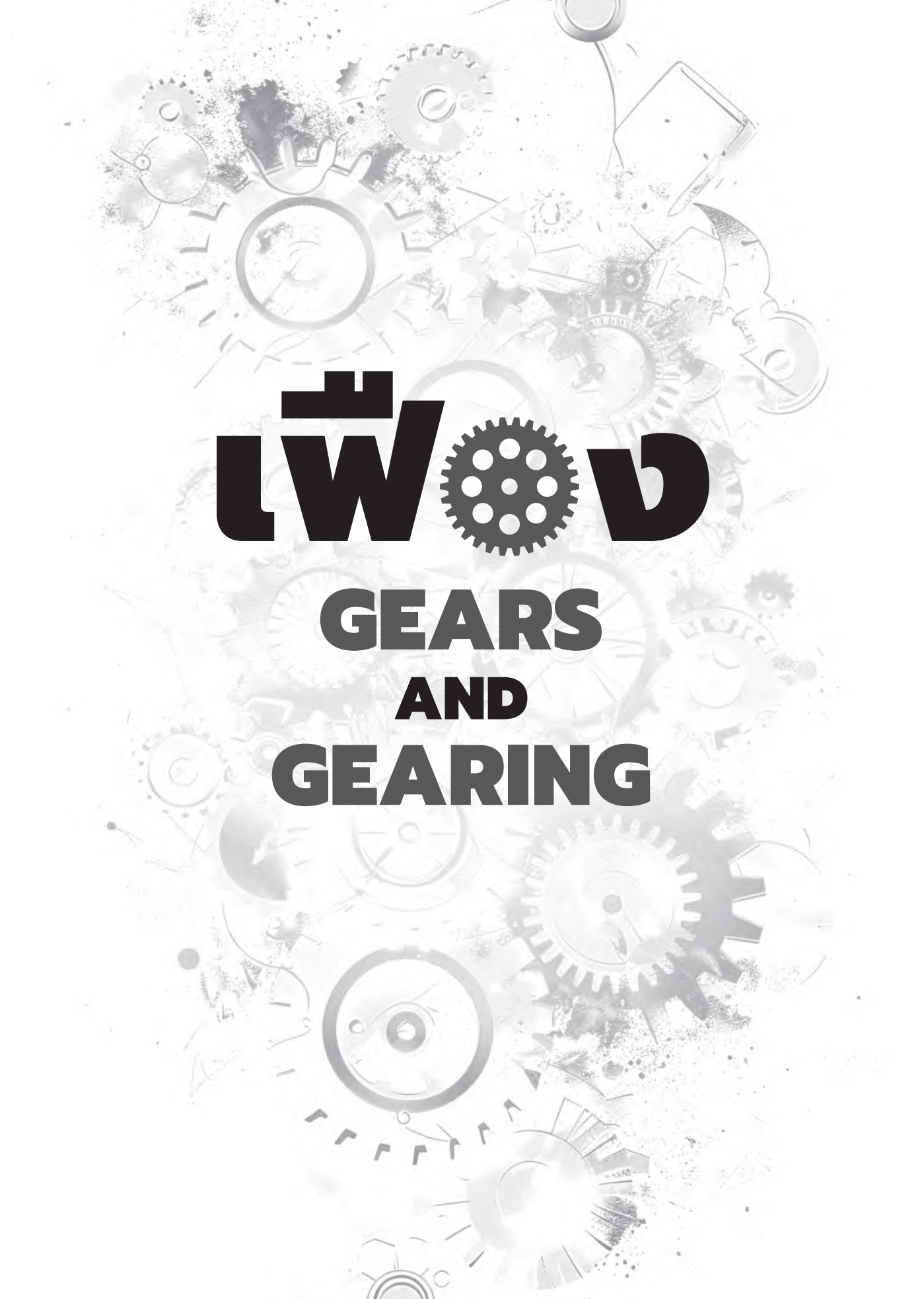
SKYBOOK
e-book

เฟือง

GEARS AND GEARING


GEARS
AND
GEARING

จักรกลต่าง ๆ ตั้งแต่ขนาดเล็กจนถึงขนาดใหญ่ แม้แต่ในระบบของคอมพิวเตอร์ ซึ่งกำลังนิยมใช้ในปัจจุบันนี้ "เฟือง" นับว่าเป็นตัวจักรที่สำคัญที่จะทำให้ส่วนต่าง ๆ นั้นเคลื่อนไหวหรือเคลื่อนที่ไปมาได้ตามต้องการจะให้มันทำงาน จักรกลที่ใช้เทคโนโลยีชั้นสูงล้วนมี "เฟือง" เป็นส่วนประกอบที่สำคัญที่จะพบได้เสมอ ๆ บัดนี้อาจารย์จำเนียร ศิลปวานิช ได้พยายามเรียบเรียงเขียนหนังสือเรื่อง "เฟือง" ขึ้นมา โดยได้รวบรวมข้อมูลต่าง ๆ จากตำราต่างประเทศ พร้อมทั้งอาศัยประสบการณ์จากการที่ได้ไปฝึกอบรมจากต่าง-ประเทศ และจากการอบรมสั่งสอนนักเรียนนักศึกษามานาน ได้พบว่า ถ้าจะมีตำราเรื่อง "เฟือง" ไว้เพื่อให้เป็นสิ่งสำหรับอ้างอิง ค้นคว้าต่อนักศึกษา และนักอุตสาหกรรม โดยทั่วไปใช้เป็นข้อมูลที่จะสร้างเฟืองขึ้นมาหนังสือเล่มนี้ จะบอกถึงการคิดคำนวณหาค่าต่าง ๆ ของเฟือง ระบบต่าง ๆ และจะกล่าวถึงภาคปฏิบัติในการตัดเฟือง ซึ่งมีหลายชนิดหลายแบบจะหาได้ในหนังสือเรื่อง "เฟือง" นี้

อาจารย์จำเนียร ศิลปวานิช ซึ่งปัจจุบันเป็นผู้ช่วยผู้อำนวยการฝ่ายวางแผนและพัฒนา และเป็นอาจารย์ผู้สอนในวิชาช่างอุตสาหกรรมของวิทยาเขตนนทบุรีมาเป็นเวลานาน ได้พยายามรวบรวมเรียบเรียงตำราเรื่องเฟืองขึ้นมาเหมาะสำหรับเป็นเอกสารและตำราที่ใช้สอนและมีไว้ประจำห้องสมุดของสถาบันต่าง ๆ สำหรับนักศึกษา นักอุตสาหกรรม และผู้สนใจใช้เป็นข้อมูลได้เป็นอย่างดี จึงเป็นที่น่ายินดีและหวังว่าจะช่วยการเรียนการสอนในวิชาที่เกี่ยวข้องมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น จึงขอให้กำลังใจต่ออาจารย์จำเนียร ศิลปวานิช ไว้ ณ. ที่นี้ เพื่อจะได้ผลิตตำราเพื่อเผยแพร่ในวิชาการอื่น ๆ ต่อไป

(นายชาญวุฒิ แก่นจันดา)
ผู้อำนวยการ
สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล
วิทยาเขตนนทบุรี

ในยุคปัจจุบันความเจริญก้าวหน้าทางเทคโนโลยีก้าวหน้าไปอย่างไม่หยุดยั้ง ทำให้การเรียนการสอนวิชาชีพ สาขาช่างอุตสาหกรรมต้องพัฒนาวิธีการตามให้ทันกับความเจริญดังกล่าวทุกวิถีทาง ด้วยการใฝ่หาแหล่งความรู้ ค้นคว้า หากมีการหยุดนิ่งเมื่อใด ความล้าหลังจะก้าวเข้ามาเยือนวงการศึกษาวิชาชีพทันที อาจารย์จำเนียร ศิลปวานิช เป็นผู้หนึ่งที่ไม่ปรารถนาจะเห็นการศึกษาวิชาชีพล้าหลังก้าวไม่ทันกับเทคโนโลยีปัจจุบัน ได้นำเอาหนังสือ "เฟือง" ที่ตนเองได้เรียบเรียงไว้แล้วนำมาปรับปรุงอีกครั้งหนึ่ง ด้วยการเพิ่มเติมเนื้อหา ซึ่งเป็นความรู้ภาคทฤษฎี และภาคปฏิบัติเกี่ยวกับการดำเนินงานตัดเฟือง เพิ่มเติมเรื่องเฟืองในระบบ "ดีพี" การเปลี่ยนระบบ "ดีพี" เข้าสู่ระบบ "โมดูล" ซึ่งมีประโยชน์อย่างมากมาย ต่อการเรียนการสอนของนักเรียนนักศึกษา ไม่ใช่แต่เท่านั้นประชาชนผู้ปฏิบัติงานในอาชีพที่เกี่ยวข้องก็จะได้รับประโยชน์จากการได้อ่านได้ศึกษาเนื้อหาในหนังสือนี้เป็นอย่างมากทีเดียว

ขอชมเชยในความวิริยะ อุตสาหะ พยายามที่จะสร้างมรดกทางวิชาการขึ้นมา เพื่อพัฒนาวิชาการทางช่างอุตสาหกรรมของ อาจารย์จำเนียร ศิลปวานิช เห็นสมควรที่จะเผยแพร่ตำราดังกล่าว ให้แก่สถานศึกษา ห้องสมุดประชาชน และสถาบันวิชาช่างต่าง ๆ ได้ศึกษาต่อไป

(นายไพบูลย์ ชามาตย์)
ผู้อำนวยการวิทยาลัยเทคนิคลำพูน

ในระยะที่ความต้องการบุคลากรที่มีความสามารถทางช่างอุตสาหกรรมขยายเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว "ครู" คือผู้ประสิทธิประสาทวิชาความรู้แก่ศิษย์ อาจารย์จำเนียร ศิลปวานิช ก็เป็นครูผู้หนึ่งซึ่งใช้ความวิริยะอุตสาหะ ทุ่มเทกำลังกาย กำลังใจ จัดทำและปรับปรุงหนังสือเรื่อง "เฟือง" ที่ตนเองมีความรู้และเข้าใจวิธีการทำเป็นอย่างดี

บัดนี้ หนังสือดังกล่าวได้มีการปรับปรุงเพิ่มเติมด้วยเนื้อหาความรู้ทางทฤษฎี, ปฏิบัติและวิธีการต่าง ๆ ในการดำเนินงานตัดเฟือง เพื่อผู้ใฝ่ศึกษาจะสามารถศึกษาด้วยตนเองได้เป็นอย่างดี โดยเนื้อหาจะเน้นและกล่าวถึงเฟืองในระบบ "ดีพี" และการเปลี่ยนระบบดีพีเข้าสู่ระบบ "โมดูล" เหมาะสำหรับผู้ต้องการศึกษาค้นคว้าและนักศึกษาทุกระดับ

นับได้ว่าผู้เรียบเรียงเป็นแบบอย่างที่ดีทางวิชาการ ที่ตั้งใจรวบรวม ค้นคว้าเขียนออกมาเพื่อขยายความรู้ ความคิดสู่สาธารณชน อันจะเป็นประโยชน์ในการพัฒนาทรัพยากรบุคคลด้านช่างอุตสาหกรรมของประเทศชาติให้มีคุณภาพมากยิ่งขึ้น จึงใคร่ขอให้ท่านได้ให้กำลังใจต่อ อาจารย์จำเนียร ศิลปวานิช ในอันที่จะผลิตหนังสือตำราทางวิชาการ เพื่อเผยแพร่ความรู้ให้มากยิ่งขึ้นต่อไป

(นายอดุลย์ สมาศิลป์)

ผู้อำนวยการวิทยาลัยเทคนิคอุตรดิตถ์

คำนำ

จุดเริ่มต้นที่หนังสือเล่มนี้เกิดขึ้นสาเหตุหนึ่งคือ ในการเรียนการสอนของนักศึกษาช่างทุกระดับ มีปัญหาในเรื่องตำราเรียน กล่าวคือตำราเรียนทางช่างกลโรงงานที่เป็นภาษาไทยมีจำนวนน้อยไม่พอเพียงต่อการใช้สำหรับค้นคว้าของนักศึกษาได้อย่างกว้างขวาง เมื่อได้มอบงานให้นักศึกษาทำรายงานมักจะกำหนดหนังสือให้นักศึกษาได้ยาก เนื่องจากตำราภาษาต่างประเทศเป็นที่เข้าใจยากแก่นักศึกษา อีกทั้งทางสถานศึกษาได้จัดให้มีการสัมนาทางวิชาการและมีนโยบายที่ครู-อาจารย์มีคู่มือสอนในทุกวิชาช่าง

ผู้จัดทำมีความเห็นว่าการที่จะช่วยขจัดปัญหาดังกล่าวข้างต้นให้หมดไป และยังเป็นการช่วยให้นักศึกษาและผู้ที่ต้องการความรู้ทางวิชาช่างกลโรงงานได้มีตำราทางช่างที่เป็นภาษาไทยเพิ่มมากขึ้น ผู้จัดทำได้คำนึงถึงประโยชน์อันพึงมีต่อการศึกษาเป็นสำคัญ จึงได้จัดแปลและเรียบเรียงหนังสือ "เฟือง" เล่มนี้จากตำราภาษาต่างประเทศหลายเล่ม รวมทั้งประสบการณ์ที่ได้รับและมีโอกาสได้ไปฝึกอบรม ณ ต่างประเทศได้ทราบถึงวิธีการ ปัญหา หลักการ และการแก้ไข เรื่องเฟืองโดยตรง

หนังสือเล่มนี้ประกอบด้วยความรู้ทางภาคทฤษฎี, ภาคปฏิบัติ, วิธีการต่าง ๆ ศัพท์เทคนิค ตลอดจนภาพต่าง ๆ ของเฟืองอย่างสมบูรณ์ที่ควรทราบเพื่อผู้ศึกษาจะสามารถเข้าใจได้ง่าย โดยจะเน้นเฟืองในระบบ "ดีพี" และแปลงระบบ "ดีพี" เข้าสู่ระบบ "โมดูล" ทั้งนี้ผู้จัดทำมีความเห็นว่าในโรงเรียนช่าง, วิทยาลัยต่าง ๆ ทางช่างอุตสาหกรรมยังมี "คัตเตอร์" และเครื่องจักรกลที่ใช้เฟืองระบบนี้อยู่เป็นจำนวนมาก รวมทั้งได้มีคณะอาจารย์หลาย ๆ ท่านเคยปรารภกับผู้จัดทำว่ามีปัญหาในเรื่องการหาข้อมูลรายละเอียดได้ยาก ดังนั้นจึงหวังเป็นอย่างยิ่งว่าหนังสือเล่มนี้คงเป็นประโยชน์แก่นักศึกษาและผู้สนใจ ดังเจตนารมณ์ที่ผู้จัดทำตั้งใจไว้

จำเนียร ศิลปวานิช

ลักษณะรายวิชา

1. รหัสและชื่อ	ซก. 1211 ทฤษฎีเครื่องกล 3 MACHINE TOOL III
2. สภาพรายวิชา	วิชาชีพเฉพาะช่างกลโรงงาน
3. ระดับรายวิชา	ปีที่ 2 ภาคเรียนที่ 1
4. พื้นฐาน	ต้องเรียน ซก. 1112 มาก่อน
5. เวลาศึกษา	36 คาบ ต่อภาคเรียน 18 สัปดาห์ ทฤษฎี 2 คาบ/สัปดาห์ ปฏิบัติ 0 คาบ/สัปดาห์ และศึกษานอกเวลาอีก 2 คาบ/สัปดาห์
6. หน่วยกิต	2 (2-0-2)
7. จุดมุ่งหมายรายวิชา	1. รู้จักส่วนประกอบของเครื่องกัด และเครื่องเจียระไน 2. รู้จักส่วนประกอบของหัวแบ่ง 3. เข้าใจโครงสร้างและส่วนประกอบของหินเจียระไน 4. คำนวณส่วนต่าง ๆ ของเฟืองตรง 5. คำนวณการแบ่งตัดเฟืองโดยใช้แบ่งซ้อน และแบ่งมุม
8. คำอธิบายรายวิชา	ศึกษาส่วนสำคัญต่าง ๆ ของเครื่องกัด และเครื่องเจียระไน ส่วนประกอบของหัวแบ่ง โครงสร้างและส่วนประกอบของหินเจียระไน การคำนวณส่วนต่าง ๆ ของเฟืองตรง การคำนวณแบ่งตัดเฟือง

ลักษณะรายวิชา

1. รหัสและชื่อ	ซก. 1311 ทฤษฎีเครื่องมือกล 5 MACHINE TOOL V
2. สภาพรายวิชา	วิชาชีพเฉพาะสาขาช่างกลโรงงาน
3. ระดับรายวิชา	ปีที่ 3 ภาคเรียนที่ 1
4. พื้นฐาน	ต้องเรียน ซก. 1212 มาก่อน
5. เวลาศึกษา	36 คาบ ต่อภาคเรียน 18 สัปดาห์ ทฤษฎี 2 คาบ/สัปดาห์ ปฏิบัติ 0 คาบ/สัปดาห์ และศึกษานอกเวลาอีก 2 คาบ/สัปดาห์
6. หน่วยกิต	2 (2-0-2)
7. จุดมุ่งหมายรายวิชา	1. เข้าใจหลักการทำงานของเครื่องกัดทุกประเภท 2. เข้าใจวิธีการลับดอกกัด 3. เข้าใจการกลึงงานรูปทรงพิเศษ 4. รู้หลักการของเครื่องไสช่วงยาว 5. เข้าใจระบบเฟืองและการทำเฟืองเฉียง 6. คำนวณตัดเฟืองเฉียง 7. เข้าใจโครงสร้างเฟืองบายศรีและเฟืองหนอน
8. คำอธิบายรายวิชา	ศึกษาเกี่ยวกับทฤษฎีเครื่องมือกลชั้นสูงเพื่อเน้นให้นำความรู้เหล่านี้ไปใช้งานให้กว้างขวาง ทั้งวิธีการ และหลักของเครื่องกัด เครื่องลับคัตเตอร์ การกลึงงานรูปทรงพิเศษ เครื่องไสช่วงยาว (Planer) เน้นเนื้อหาระบบเฟือง การทำเฟืองเฉียง การคำนวณกัดเฟืองเฉียง โครงสร้างและการทำงานของเฟืองบายศรี เฟืองหนอน

ลักษณะรายวิชา

1. รหัสและชื่อ	ซก. 1222 งานเครื่องมือกล 4 MACHINE TOOL PRACTICE IV
2. สภาพรายวิชา	วิชาชีพเฉพาะสาขาช่างกลโรงงาน
3. ระดับรายวิชา	ปีที่ 2 ภาคเรียนที่ 2
4. พื้นฐาน	ต้องเรียนวิชา ซก. 1221 มาก่อน
5. เวลาศึกษา	216 คาบ ต่อภาคเรียน 18 สัปดาห์ ทฤษฎี 0 คาบ/สัปดาห์ ปฏิบัติ 12 คาบ/สัปดาห์ และศึกษานอกเวลาอีก 3 คาบ/สัปดาห์
6. หน่วยกิต	4 (0-12-3)
7. จุดมุ่งหมายรายวิชา	1. ปฏิบัติงานกลึงที่ต้องการความประณีตในระบบงานรวม 2. ปฏิบัติงานไสที่มีการใช้อุปกรณ์ประกอบเพิ่มขึ้น 3. ปฏิบัติงานกัดเฟืองตรง โดยการแบ่งแบบธรรมดาและซับซ้อน 4. ปฏิบัติงานกลึงเกลียวสี่เหลี่ยมและเกลียวหลายปาก
8. คำอธิบายรายวิชา	ปฏิบัติงานเครื่องกลึง เครื่องไส และเครื่องกัดในลักษณะงานที่มีความยากให้มีความซำนาญมากขึ้น โดยการเน้นถึงการใช้อุปกรณ์ประกอบ การกลึงเกลียวหลายปาก

ลักษณะรายวิชา

1. รหัสและชื่อ	ซก. 1321 งานเครื่องมือกล 5 MACHINE TOOL PRACTICE V
2. สภาพรายวิชา	วิชาชีพเฉพาะสาขาช่างกลโรงงาน
3. ระดับรายวิชา	ปีที่ 3 ภาคเรียนที่ 1
4. พื้นฐาน	ต้องเรียน ซก. 1222 มาก่อน
5. เวลาศึกษา	216 คาบ ต่อภาคเรียน 18 สัปดาห์ ทฤษฎี 0 คาบ/สัปดาห์ ปฏิบัติ 12 คาบ/สัปดาห์ และศึกษานอกเวลาอีก 3 คาบ/สัปดาห์
6. หน่วยกิต	4 (0-12-3)
7. จุดมุ่งหมายรายวิชา	1. ปฏิบัติงานกัดต่าง ๆ เช่น งานกัดร่องตัวที่ร่องหางเหยี่ยว 2. ปฏิบัติงานการตัดเฟืองเฉียงหรือร่องปิด 3. ปฏิบัติงานโดยใช้เครื่องเจียระไนราบและงานเจียระไนกลม 4. ปฏิบัติการลับคมตอกกัด
8. คำอธิบายรายวิชา	ปฏิบัติงานเกี่ยวกับการใช้เครื่องกัด โดยเน้นหนักในการใช้กับงานชนิดต่าง ๆ งานเจียระไนราบ งานเจียระไนกลม งานเจียระไนภายในบนเครื่องเจียระไน การตัดร่องปิด ฝึกหัดลับคมตัดของตอกกัดทั่วไป

สารบัญ

บทที่ 1 เฟืองตรง ____ 10

- *พัฒนาการของเฟือง* ____ 14
- *การใช้พูลเลย์และสายพานไขว้* ____ 14
- *การใช้ล้อเสียดทาน* ____ 15
- *การใช้เฟือง* ____ 15
- *ระบบเฟือง* ____ 22
- *ขนาดของฟันเฟือง* ____ 23
- *มาตรฐานฟันเฟือง* ____ 23
- *คัตเตอร์ที่ใช้สำหรับตัดเฟือง* ____ 27
- *วัตถุที่ใช้ทำเฟือง* ____ 31
- *การตัดเฟืองด้วย Formed Cutter บนเครื่องกัด* ____ 32
- *การ Set Up สำหรับการตัดเฟือง* ____ 52
- *การยึดงาน* ____ 52
- *การจับยึดชิ้นงานเฟืองขนาดใหญ่* ____ 52
- *การประกอบชิ้นงาน* ____ 52
- *การตรวจสอบขนาดฟันเฟือง* ____ 57
- *การใช้เวอร์เนียร์วัดฟันเฟือง* ____ 57
- *ช่องว่างระหว่างฟันเฟือง* ____ 57

บทที่ 2 เฟืองสะพาน ____ 67

- *การตัดเฟืองสะพาน* ____ 68
- *การ Set-Up เครื่องเพื่อตัดเฟืองสะพานสั้น ๆ* ____ 68
- *การ Set-Up เครื่องเพื่อตัดเฟืองสะพานยาว ๆ* ____ 69
- *การตรวจสอบขนาดพิตช์ของเฟืองสะพาน* ____ 72

บทที่ 3 เฟืองเฉียง ____ 75

- *ความหมายของ Helical และ Spiral* ____ 76
- *ปฏิกิริยาของฟันเฟือง* ____ 78
- *ประสิทธิภาพของเฟืองเฉียง* ____ 79
- *ความกว้างหน้าฟันสำหรับ Continuous Helix Action* ____ 80

- *ทิศทางของมุมบิดเฉียง* ——— 80
- *มุมเอียงของฟัน* ——— 81
- *ทิศทางของแรงรุน* ——— 81
- *การเลือกคัตเตอร์สำหรับการตัดเฟืองเฉียง* ——— 83
- *การใช้ Continuous Fractions* ——— 86
- *การคำนวณเพื่อตัดเฟืองเฉียงระบบเมตริก* ——— 109
- *การตัดเฟืองเฉียง* ——— 111
- *ทฤษฎีของเฟือง Spiral* ——— 117
- *มุมบิดเฉียงของเฟือง Spiral* ——— 117
- *ทิศทางการหมุน* ——— 118
- *ประสิทธิภาพของเฟือง Spiral* ——— 119
- *คุณลักษณะของเฟือง Spiral* ——— 119

บทที่ 4 เฟืองหนอน ——— **123**

- *ทฤษฎีเฟืองหนอน* ——— 124
- *ประโยชน์ของเฟืองหนอน* ——— 124
- *รูปร่างของเฟืองหนอน* ——— 125
- *ลักษณะการส่งกำลังขับแบบล็อคตัวเอง* ——— 126
- *ประสิทธิภาพสูงสุด* ——— 127
- *การใช้เกลียวปากเดียวและเกลียวหลายปาก* ——— 127
- *มุมของเกลียวหนอน* ——— 128
- *การหล่อลื่น* ——— 129
- *ขอบของเฟืองหนอน* ——— 153
- *การตัดฟันล้อเฟืองด้วยวิธีอื่น* ——— 161
- *การตัดเกลียวหนอนบนเครื่องกลึง* ——— 162
- *การคำนวณชุดเฟืองประกอบ* ——— 162
- *มีดกลึงตัดเกลียวหนอน* ——— 164
- *การประกอบมีดกลึง* ——— 165
- *การตรวจสอบรูปร่างของมีดกลึงเกลียวหนอน* ——— 166
- *การตัดเกลียวหนอนด้วยเครื่องกัด* ——— 169

บทที่ 5 เฟืองดอกจอก ——— **175**

- *หลักการของเฟืองดอกจอก* ——— 176
- *มุมเพลา* ——— 177
- *ลักษณะและรูปร่างของเฟืองดอกจอก* ——— 178
- *การตัดเฟืองดอกจอก* ——— 181
- *การคำนวณหาส่วนต่าง ๆ ของเฟืองดอกจอก* ——— 191
- *การตรวจสอบชิ้นงาน* ——— 220
- *หลักการเจเนอเรต* ——— 220
- *วิธีการเจเนอเรต* ——— 222

บรรณานุกรม ——— **228**

บทที่ 1
เฟืองตรง

วัตถุประสงค์บทเรียน เพื่ออธิบายหลักการที่สำคัญในการสร้างเฟืองตรง การคำนวณหาส่วนต่าง ๆ การตัดเฟืองตรงบนเครื่องกัดและเพื่อเป็นพื้นฐานในการศึกษาเฟืองชนิดอื่น ๆ ในลำดับต่อไป

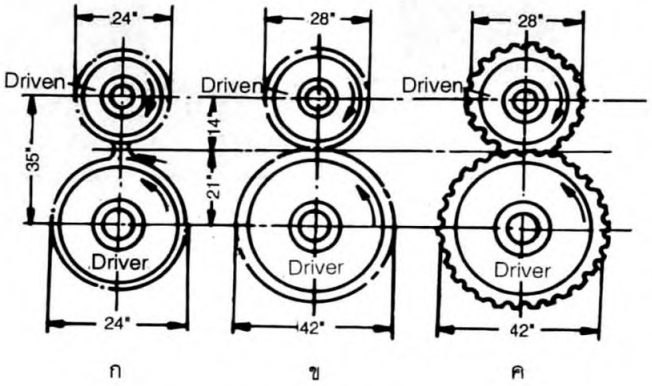
นิยาม เฟืองตรงหมายถึง เฟืองที่มีฟันตรงขนานไปกับแกนเพลาของตัวมันเอง

พัฒนาการของเฟือง

ปัญหาพื้นฐานปัญหาหนึ่งของโครงสร้างเครื่องจักรกลก็คือ การเคลื่อนไหวในการส่งกำลังขับจากเพลาหนึ่งไปยังเพลาหนึ่งให้มีอัตราความเร็วคงที่ การแก้ปัญหาประการหนึ่งก็คือ การพัฒนาของฟันเฟือง การพัฒนานี้สามารถจะทำความเข้าใจได้ โดยเปรียบเทียบกับการส่งกำลังของสายพานกับพูลเลย์ (Pulley) และล้อเสียดทาน (Friction Discs) โดยสมมติว่าต้องการส่งกำลังระหว่างเพลาสองเพลา โดยเพลาหนึ่งทำหน้าที่เป็นเพลาขับส่งกำลังไปยังอีกเพลาหนึ่งให้มีทิศทางตรงกันข้าม โดยจำกัดอัตราความเร็ว และให้มีปฏิกิริยาการขับที่ราบเรียบ กำหนดระยะห่างระหว่างเพลา 35 นิ้ว เพลาขับหมุนด้วยความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที หรือความเร็วเป็น 1 1/2 เท่าของเพลาขับ

มีวิธีการ 3 วิธีที่จะแก้ไขปัญหานี้ได้คือ

1. โดยใช้พูลเลย์และสายพานไขว้
2. โดยการใช้ล้อเสียดทาน
3. โดยใช้เฟือง



รูปที่ 1.1 *วิธีส่งกำลังขับ 3 วิธี*

การใช้พูลเลย์และสายพานไขว้

การใช้พูลเลย์และสายพานไขว้ ดังรูปที่ 1.1 พูลเลย์ขับจะต้องมีขนาดโตกว่าพูลเลย์ตัวตาม 1 1/2 เท่า ตามอัตราความเร็วที่กำหนด ซึ่งผลรวมทางขนาดของพูลเลย์ทั้งสองตัวจะต้องอยู่ในอัตราส่วน 3:2 (เช่น 36 นิ้ว และ 24 นิ้ว) หรือ 30 นิ้ว และ 20 นิ้ว และต้องมีช่องว่างเพียงพอระหว่างล้อพูลเลย์ สำหรับสายพานไขว้จากข้อกำหนดจะช่วยแก้ปัญหาได้เมื่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางถูกต้อง และไม่เกิดการลื่นไถลของสายพานขณะใช้งาน

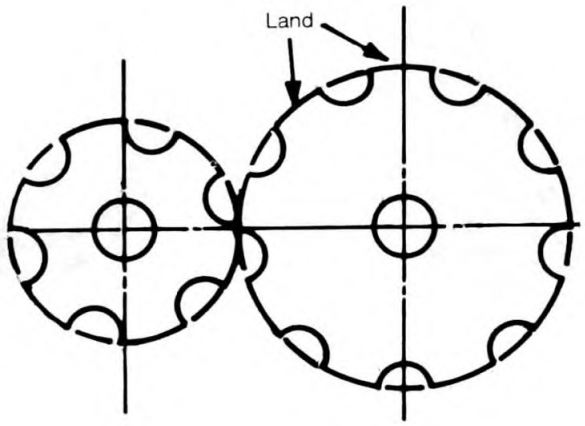
การใช้ล้อเสียดทาน

วิธีที่ 2 ใช้ล้อเสียดทานสองตัว ส่งกำลังขับโดยอาศัยแรงเสียดทาน ดังรูปที่ 1.(1) ข. ล้อเสียด-ทานตัวขับจะต้องมีขนาดโตกว่าตัวตาม 1 1/2 เท่า ซึ่งจะให้อัตราเร็วและทิศทางตามกำหนด ผลรวมของรัศมีของล้อทั้งสองจะต้องเท่ากับระยะห่างระหว่างเพลา คือ 35 นิ้ว ดังนั้นเมื่อล้อทั้งสองถูกกดเข้าหากัน เพลาทั้งสองจะต้องมีระยะห่างที่ต้องการด้วย ถ้าผลรวมของรัศมีเท่ากับ 35 นิ้ว และมีอัตราส่วนเป็น 3:2 รัศมีของล้อตัวใหญ่เท่ากับ $\frac{35x3}{5}$ = 21 นิ้ว และรัศมีของล้อตัวตาม $\frac{35x2}{5}$ = 14 นิ้ว ดังนั้นล้อเสียดทานทั้งสองจะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางโต 42 นิ้ว และ 28 นิ้ว ซึ่งถ้าล้อทั้งสองมีขนาดที่แตกต่างไปกว่านี้จะทำให้อัตราทดเปลี่ยนแปลงไป

อย่างไรก็ตาม ล้อเสียดทานไม่สามารถป้องกันการลื่นไถล (Slip) ภายใต้การรับ Load ได้ จึงไม่อาจจะมั่นใจได้ว่าการส่งกำลังขับจะอยู่ในรูปแบบที่มีอัตราความเร็วคงที่

การใช้เฟือง

วิธีที่ 3 เป็นการพัฒนามาจากวิธีที่ 2 โดยการสร้างรูปแบบฟันเฟืองขึ้นที่ผิวของล้อเสียดทาน ดังรูปที่ 1.1 ค. รูปแบบง่าย ๆ ของฟันเฟืองก็คือ ตัดร่องบนล้อเสียดทานทั้งสองตัว ดังรูปที่ 1.2 ซึ่งฟันของล้อหนึ่งสามารถที่จะขบเข้ากับร่องฟันของล้ออีกตัวหนึ่งได้ ในกรณีนี้จำเป็นที่เพลาทั้งสองจะหมุนส่งกำลังใกล้กันมาก ๆ เพื่อให้ฟันขับกันได้ อย่างไรก็ตามการส่งกำลังขับด้วยวิธีการนี้จะกำจัดการลื่นไถล ขณะส่งกำลังขับได้ และยังทำให้อัตราความเร็วอยู่ในพิกัดที่คงที่อีกด้วย



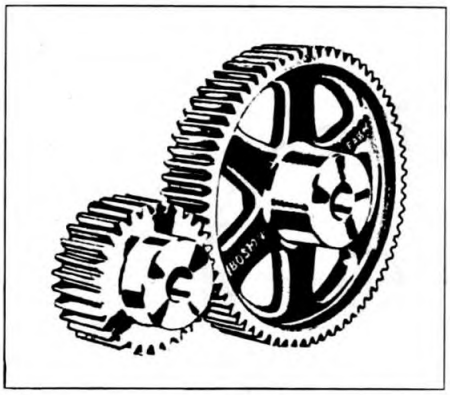
รูปที่ 1.2 *แสดงการส่งกำลังขับของล้อฟัน 2 ตัว*

จากรูปแบบของฟันตามความคิดนี้ได้ถูกนำมาดัดแปลงให้มีรูปร่างของฟันที่มีความโค้งที่ถูกต้องและให้ประสิทธิภาพในการทำงานมากขึ้น รวมทั้งมีลักษณะการส่งกำลังขับที่ราบเรียบอีกด้วย

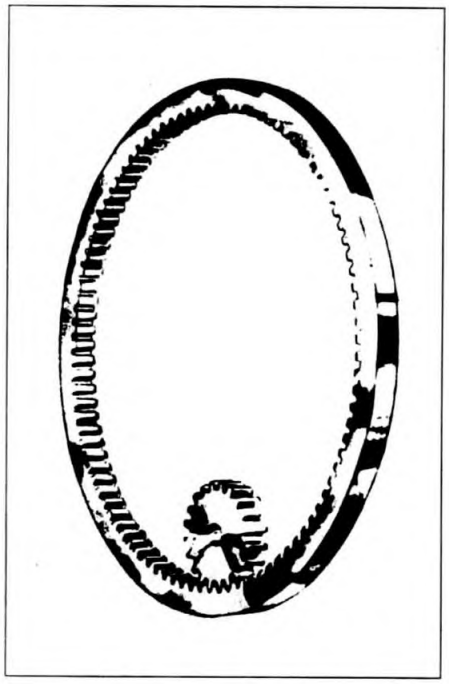
ชนิดของเฟือง

เฟืองตรง (Spur Gear) รูปที่ 1.3 เป็นเฟืองที่ใช้ส่งกำลังขับระหว่างเพลาสองเพลาที่ขนานกัน ฟันของเฟืองชนิดนี้มีลักษณะตรงและขนานกับเพลาของตัวมันเอง เมื่อเฟืองสองตัวมีขนาดแตกต่างกันขับกัน เฟืองตัวใหญ่เรียกว่า เกียร์ (Gear) เฟืองตัวเล็กเรียกว่า Pinion เฟืองตรงจะใช้ส่งกำลังขับสำหรับงานที่ต้องการความเร็วขับไม่มากนัก

เฟืองภายใน (Internal Gear) รูปที่ 1.4 เป็นเฟืองที่ใช้ส่งกำลังขับ ระหว่างเพลาที่ขนานกันเช่นกัน แต่มีระยะห่างระหว่างศูนย์อยู่ใกล้กันมากจนไม่อาจจะใช้เฟืองตรงหรือเฟืองเฉียงได้ เฟืองชนิดนี้มักใช้กับงานที่ต้องการพื้นที่น้อยสำหรับลดความเร็วรอบ เฟืองภายในใช้กับงานประเภท Heavy Duty Tractor ซึ่งต้องการแรงบิด (Torque) สูง



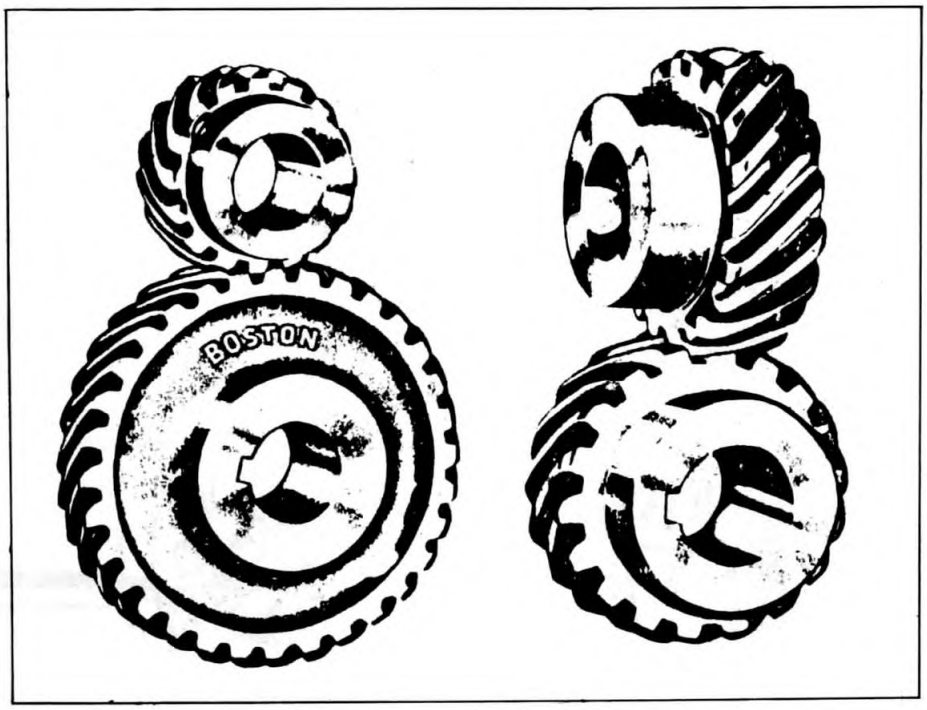
รูปที่ 1.3 *เฟืองตรง*



รูปที่ 1.4 *เฟืองภายใน*

เฟืองเฉียง (Helical Gear) รูปที่ 1.5 ใช้สำหรับการส่งกำลังขับระหว่างเพลาที่ขนานกันหรือเพลาทำมุมต่อกัน เฟืองเฉียงมีลักษณะการขับที่เรียบ และมีเสียงเงียบกว่าเฟืองตรงในขณะที่มีขนาดและระยะฟิตเท่ากัน อย่างไรก็ตามเมื่อเฟืองชนิดนี้หมุน จะทำให้เกิดแรงรุนที่ปลายเพลา (End Thrust) จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องใช้แบริ่งรองรับเพลาเพื่อแก้ปัญหา

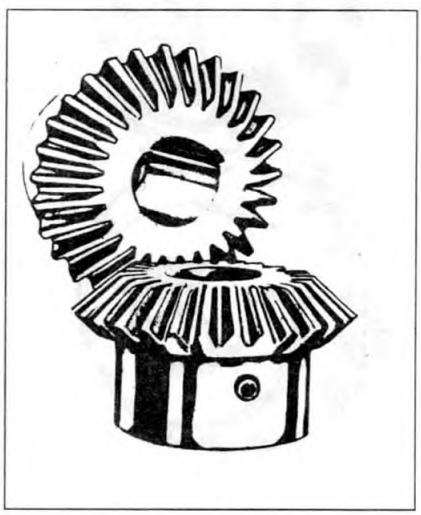
เฟืองก้างปลา (Herringbone Gear) รูปที่ 1.6 เฟืองชนิดนี้เปรียบเสมือนกับนำเฟืองเฉียง 2 ตัวมาประกบกัน ซึ่งข้างหนึ่งจะมีฟันบิดในทิศทางบิดขวาและอีกข้างหนึ่งจะมีทิศทางบิดซ้าย เฟืองชนิดนี้จะให้ปฏิกิริยาการส่งกำลังขับที่เรียกว่าเฟืองเฉียง และยังกำจัดอาการรุนที่ปลายเพลาให้หมดไปด้วย ดังนั้นเฟืองชนิดนี้จึงไม่จำเป็นต้องใช้แบริ่ง ช่วยรองรับเพลาในการส่งกำลัง



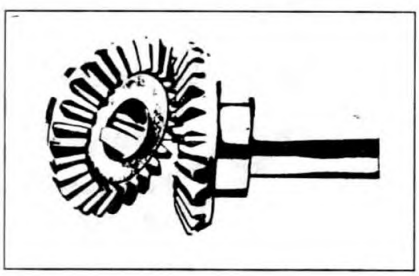
รูปที่ 1.5 *เฟืองเฉียง*

รูปที่ 1.6 *เฟืองก้างปลา*

เฟืองดอกจอก (Bevel Gear) รูปที่ 1.7 เมื่อเพลาสองเพลาวางทำมุมต่อกัน เส้นแนวแกนตัดกันเป็นมุม 90 องศา ปกติจะใช้เฟืองดอกจอกเป็นตัวส่งกำลัง เมื่อเพลาทำมุมฉากและเฟืองสองตัวมีขนาดเท่ากัน เราเรียกเฟืองดอกจอกชนิดนี้ว่า "Mitrer Gear" การส่งกำลังขับของเฟืองดอกจอกไม่จำเป็นที่เพลาจะทำมุมฉากเสมอไป แกนเพลาอาจจะตัดกันเป็นมุมมากหรือน้อยกว่าก็ได้

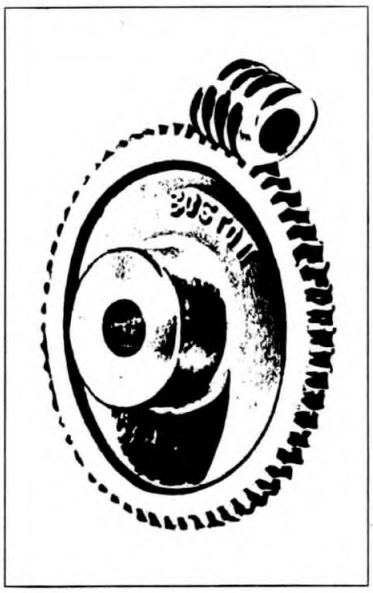


รูปที่ 1.7 *เฟืองดอกจอกที่เพลาทำมุมฉากกัน*

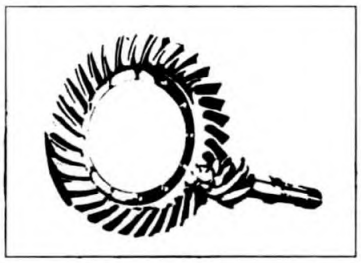


รูปที่ 1.8 *เฟืองดอกจอกที่เพลาไม่ทำมุมฉากกัน*

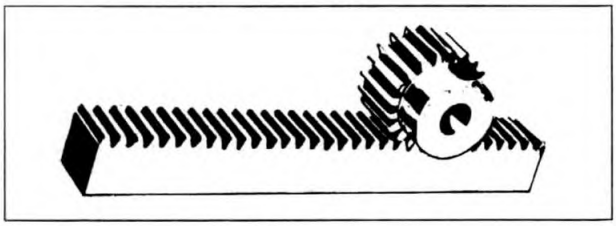
เราเรียกเฟืองดอกจอกชนิดนี้ว่า Angular Bevel Gear รูปที่ 1.8 โดยปกติเฟืองดอกจอกจะมีฟันตรงคล้ายกับเฟืองตรงมาก แต่ยังมีเฟืองดอกจอกอีกชนิดหนึ่ง มีรูปแบบของฟันบิดเฉียง ดังรูปที่ 1.9 เรียกเฟืองดอกจอกชนิดนี้ว่า Hypoid Gear เพลาของเฟืองชนิดนี้จะทำมุม 90 องศาต่อกัน แต่ไม่อยู่ในแนวแกนเดียวกัน ดังนั้นเพลาทั้งสองจึงไม่ตัดกัน Hypoid Gear ใช้กับงานส่งกำลังในรถยนต์



รูปที่ 1.10 *เฟืองหนอน*



รูปที่ 1.9 *เฟืองดอกจอกที่เพลาไม่อยู่ในแนวแกนเดียวกัน*



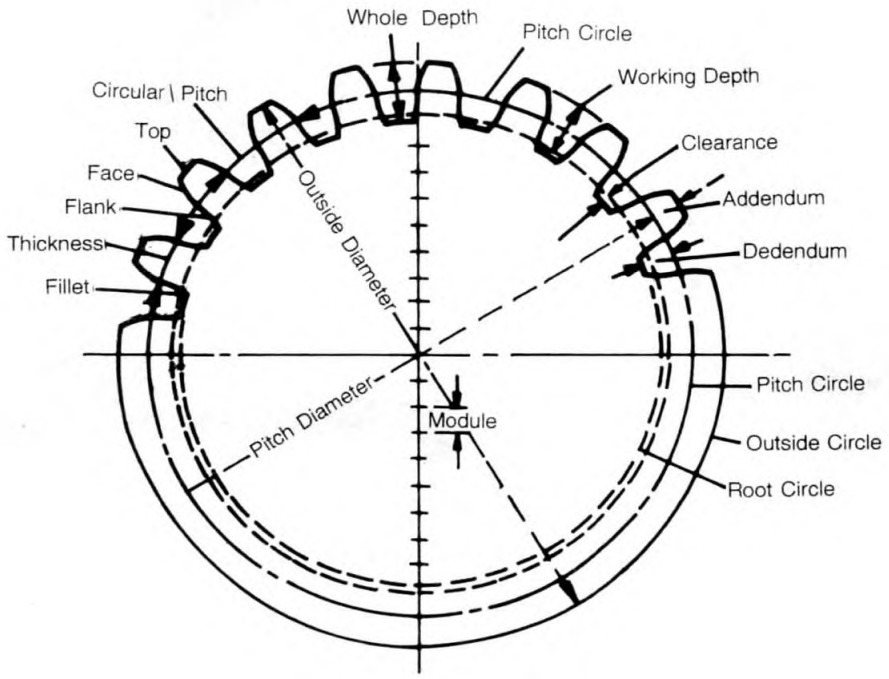
รูปที่ 1.11 *เฟืองสะพาน*

เฟืองหนอน (Worm Gear) เมื่อเพลาสองเพลาทำมุมฉากต่อกันและต้องคำนึงถึงการลดกำลังขับ เฟืองหนอนและเกลียวหนอน (Worm Gear and Worm Shaft) ดังรูปที่ 1.10 เป็นชุดเฟืองที่เหมาะสมกับการใช้งาน เกลียวหนอนที่ใช้ขับล้อเฟืองหนอนปกติจะเป็นเกลียวปากเดียวหรืออาจจะมีหลายปากก็ได้ เกลียวหนอน 2 ปาก จะหมุนขับล้อเฟืองหนอนได้เร็วเป็นสองเท่าของเกลียวหนอนปากเดียว ขณะที่มีระยะฟิตเท่ากัน

เฟืองสะพาน (Rack Gear) รูปที่ 1.11 เป็นเฟืองที่ใช้ส่งกำลังขับในแนวเส้นตรงที่มีลักษณะหมุนกลับไปกลับมา เฟืองชนิดนี้เป็นแผ่นเฟืองที่มีผิวราบแบบมีฟันตรง เพื่อขับกับเฟืองตรงหรือฟันเฉียงเพื่อขับกับเฟืองเฉียง

รูปร่างของเฟือง

สิ่งแรกที่จะต้องทำความเข้าใจก็คือ ความรู้เกี่ยวกับกลุ่มคำที่ใช้เรียกส่วนต่าง ๆ ของเฟือง เพราะเป็นสิ่งที่จะนำไปสู่การคำนวณและการดัดเฟือง กลุ่มคำส่วนใหญ่จะใช้ได้ทั้งเฟืองระบบนิ้วและเฟืองระบบเมตริก แม้ว่าวิธีการคำนวณทั้งสองระบบจะแตกต่างกันก็ตาม



รูปที่ 1.12 *รูปร่างและส่วนต่าง ๆ ของเฟืองตรง*

ADDENDUM คือระยะห่างผิวตามโค้งระหว่างวงกลมพิตกับเส้นผ่าศูนย์กลางนอกสุดหรือความสูงของฟันเหนือวงกลมพิต

CHORDAL ADDENDUM คือระยะห่างตามผิวโค้งวัดจากยอดฟันไปยังจุดที่ซึ่งวัดความหนาของฟันตามเส้นคอร์ด

CHORDAL THICKNESS คือความหนาของฟันวัดที่วงกลมพิตหรือความยาวที่เส้นคอร์ด ซึ่งลากตัดส่วนโค้งของฟันตามวงกลมพิต จากขอบฟันด้านหนึ่งไปยังขอบฟันอีกด้านหนึ่ง

CIRCULAR PITCH คือระยะห่างจากจุด ๆ หนึ่งบนฟัน ๆ หนึ่งไปยังจุดเดียวกันของฟันที่อยู่ถัดไปวัดบนวงกลมพิต

CIRCULAR THICKNESS คือความหนาของฟันวัดตามเส้นรอบวงกลมพิต ซึ่งเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Arc-Thickness

CLEARANCE คือระยะห่างวัดตามผิวโค้งระหว่างยอดฟันกับโคนฟันของเฟืองที่นำมาขบกัน

DEDENDUM คือระยะห่างวัดตามผิวโค้งจากวงกลมพิตถึงโคนร่องฟัน Addendum จะเท่ากับ Addendum บวก Clearance

DIAMETRAL PITCH คืออัตราส่วนจำนวนฟันกับเส้นผ่าศูนย์กลางวงกลมพิตของเฟือง

LINEAR PITCH คือระยะห่างจากจุด ๆ หนึ่งบนฟัน ๆ หนึ่งไปยังจุดเดียวกันของฟันถัดไปตามแนวเส้นฟิตของเฟืองสะพาน

MODULE (ระบบเมตริก) คือเส้นผ่าศูนย์กลางวงกลมฟิตของเฟืองหารด้วยจำนวนฟัน ซึ่งเป็นขนาดจริงไม่เหมือนกับ Diametral Pitch ซึ่งเป็นอัตราส่วนของจำนวนฟันกับเส้นผ่าศูนย์กลางวงกลมฟิต

OUTSIDE DIAMETER คือขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางโตสุดของเฟือง ซึ่งเท่ากับวงกลมฟิตบวกด้วย 2 เท่าของ Addendum

PITCH CIRCLE คือวงกลมซึ่งมีรัศมีเท่ากับครึ่งหนึ่งของเส้นผ่าศูนย์กลางวงกลมฟิต ซึ่งมีจุดศูนย์กลางอยู่ที่แกนของเฟือง

PITCH CIRCUMFERENCE คือเส้นรอบวงกลมพิตช์

PITCH DIAMETER คือขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางวงกลมฟิตเท่ากับวงกลมนอกลบด้วย 2 เท่าของ Addendum

PRESSURE ANGLE คือมุมระหว่างเส้นตรงที่ลากผ่านจุดสัมผัสของฟันเฟืองสองฟันที่ขบกัน และเส้นสัมผัสวงกลมพื้นฐาน (Base Circle) ของเฟืองทั้งสองและเส้นที่ทำมุมฉากกับเส้นผ่าศูนย์กลางของเฟือง

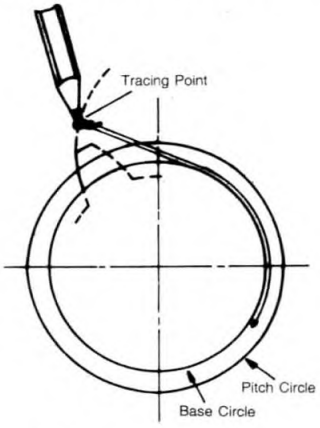
ROOTH CIRCLE คือวงกลมที่เกิดจากโคนของร่องฟันเฟือง

TOOTH THICKNESS คือความหนาของฟันวัดบนวงกลมฟิต

WHOLE DEPTH คือความลึกเต็มของฟันหรือระยะที่เท่ากับ Addendum+Dedendum

WORKING DEPTH คือระยะที่ฟันของเฟืองตัวหนึ่งขบเข้าหากับช่องว่างของฟันเฟืองอีกตัวหนึ่ง ซึ่งเท่ากับ 2 เท่าของ Addendum

INVOLUTE CURVE ถ้าเราพันเชือกไว้โดยรอบวงกลม โดยดึงปลายเชือกด้านหนึ่งไว้ด้วยหมุด เมื่อคลี่ปลายเชือกด้านที่เหลือแล้วดึงให้ตึงตลอดเวลา แนวของปลายเชือกที่เคลื่อนไป มีลักษณะเป็นเส้นโค้งแบบ Involute (ดังรูปที่ 1.13) ลักษณะของฟันเฟืองจะมีความโค้งฟันเป็นแบบ Involute นี้



รูปที่ 1.13 *การสร้างความโค้ง Involute*

ระบบเฟือง

เฟืองที่ใช้กันอยู่ทั่ว ๆ ไป มี 3 ระบบ คือ

1. Circular Pitch System
2. Diametral Pitch System
3. Module System

CIRCULAR PITCH SYSTEM คือระยะห่างจากจุด ๆ หนึ่งบนฟัน ๆ หนึ่งไปยังจุดเดียวกันของฟันที่อยู่ถัดไปวัดตามเส้นรอบวงกลมพิต ดังนั้นแสดงว่าจะต้องมี Circular Pitch เป็นจำนวนมากบนล้อฟันเฟืองหรือ Circular Pitch เท่ากับเส้นรอบวงของวงกลมพิตหารด้วยจำนวนฟัน เส้นรอบวงกลมพิตจะเท่ากับเส้นผ่าศูนย์กลางวงกลมพิต x 3.1416 ดังนั้นเมื่อรู้เส้นผ่าศูนย์กลางวงกลมพิตและจำนวนฟันก็จะหา Circular Pitch ได้จาก

$$\text{Circular Pitch} = \frac{\text{P.D} \times 3.1416}{\text{N}}$$

เมื่อ CP = Circular Pitch

PD = Pitch Diameter

N = Number of Teeth

ก่อนที่วิธีการตัดเฟืองสมัยใหม่จะถูกพัฒนาขึ้น การผลิตเฟืองจะทำโดยใช้วิธีการหล่อ ซึ่ง Circular Pitch จะถูกนำมาใช้ในการออกแบบขนาดของฟันเฟือง ผู้ทำแบบหล่อพบว่าการนำเส้นตรงที่ลากตัดเส้นโค้ง (เส้นคอร์ด) ของ Circular Pitch มาใช้ในการหาขนาดร่องฟันบนแบบหล่อ จะช่วยให้เกิดความสะดวกในการทำแบบหล่อมากขึ้นขนาดอื่น ๆ ของเฟือง เช่น เส้นผ่าศูนย์กลางวงกลมพิตและความลึกฟันมีพื้นฐานการคำนวณ ขึ้นอยู่กับ Circular Pitch ด้วย ซึ่งทำให้ง่ายต่อการคำนวณหา

เมื่อเข้ามาสู่ยุคของวิธีการแบ่งงานสมัยใหม่ด้วยหัวแบ่ง การใช้ Circular Pitch และเครื่องจักรกลตัดเฟือง วิธีการหล่อเฟืองค่อยหมดไป

DIAMETRAL PITCH SYSTEM (D.P.) คืออัตราส่วนระหว่างจำนวนฟันของเฟืองกับเส้นผ่าศูนย์กลางวงกลมพิตในระบบนิ้ว เขียนเป็นสูตรได้ดังนี้

$$\text{Diametral Pitch} = \frac{\text{Number of Teeth}}{\text{Pitch Diameter}}$$

$$\text{DP} = \frac{\text{N}}{\text{PD}}$$

DP = Diametral Pitch

N = Number of Teeth

PD = Pitch Diameter

MODULE SYSTEM ถ้าเส้นผ่าศูนย์กลางวงกลมพิตของเฟืองถูกแบ่งออกเป็นหลาย ๆ ส่วนในขณะที่มีฟันอยู่บนล้อเฟือง และแต่ละส่วนมีระยะห่างที่แน่นอน เราเรียกว่าโมดูล (Module)

ถ้าเฟืองมี 40 ฟัน และเส้นผ่าศูนย์กลางวงกลมพิตเท่ากับ 4 นิ้ว ดังนั้นโมดูลจึงเท่ากับ 4/40 หรือ 1/10 นิ้ว เมื่อเปรียบเทียบกับระบบ D.P. เราจะได้ D.P. = 40/4 = 10 หรือ 10 D.P. ซึ่งถ้าเรานำระบบทั้งสองมาเปรียบเทียบกันแล้ว จะพบว่า Module = 1/DP

ขนาดของฟันเฟือง

ผู้ออกแบบจะต้องพยายามพิจารณาหาจำนวนฟันบนล้อเฟืองให้เหมาะสม เมื่อกำหนดเส้นผ่าศูนย์กลางวงกลมพิตมาให้ ตัวอย่างเช่น เฟืองตัวหนึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลางวงกลมพิต 6 นิ้ว จำนวน 30 ฟัน ขณะที่เฟืองอีกตัวหนึ่งมีขนาดวงกลมพิตเท่ากันแต่มีจำนวน 60 ฟัน ในกรณีเช่นนี้เฟือง 30 ฟันจะมีขนาดฟันที่ใหญ่กว่า แข็งแรงมากกว่า แต่เฟือง 60 ฟัน ก็จะหมุนส่งกำลังขับได้เรียบกว่า

ด้วยเหตุที่ D.P. คือ จำนวนฟันของเฟืองในแต่ละนิ้วของเส้นผ่าศูนย์กลางวงกลมพิต ดังนั้น D.P. จึงมีความสำคัญในการกำหนดขนาดของฟันเฟือง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเฟืองที่มีขนาด D.P. เดียวกันจะสามารถส่งกำลังขับกันได้

มาตรฐานฟันเฟือง

ถ้าเฟืองที่ใช้สามารถสับเปลี่ยนกันได้ จะต้องมีมาตรฐานเดียวกัน มีขนาดและรูปร่างของฟันที่เกี่ยวข้องกัน ด้วยเหตุที่ในวงงานอุตสาหกรรมได้กำหนดมาตรฐาน ของฟันเฟืองแตกต่างกันออกไป ล้อเฟืองระบบหนึ่งไม่อาจจะนำไปสับเปลี่ยน เพื่อใช้งานกับเฟืองมาตรฐานอื่น ๆ ได้ จึงจำเป็นที่จะต้องเรียนรู้และทำความเข้าใจขนาดมาตรฐานของเฟืองที่ใช้กันอยู่ทั่ว ๆ ไป ซึ่งถ้ามีการสับเปลี่ยนหรือซ่อมแซม เราจะได้สร้างหรือจัดทำขึ้นใช้งานให้ถูกต้องกับระบบของมัน

มาตรฐานของเฟืองที่มีใช้กันอยู่หลายมาตรฐาน พอจะแบ่งแยกมาตรฐานของเฟืองที่ผลิตบนเครื่องกัดได้ดังนี้

1. Cycloidal (เลิกใช้แล้ว)
2. Brown & Sharpe Involute
3. British Standard
4. Compound Stub
5. A.G.M.A. Stub
6. Metric