**การผลิตเฟือง**

**เฟือง (Gear)** เป็นเครื่องกลที่ทำงานโดยการหมุน เป็นที่รู้จักกันมานานแล้ว คาดว่าตั้งแต่ยุคที่มนุษย์เริ่มมีอาริยะธรรมและคิดประดิษฐ์เครื่องมือเครื่องใช้ขึ้นมา เฟืองก็เป็นชิ้นส่วนหนึ่งที่ถูกมนุษย์ทำขึ้นมา โดยเริ่มต้นที่เฟืองไม้ในยุคโบราณ แต่สำหรับเฟืองสมัยใหม่นั้นเพิ่งมีการปรับปรุงและเปลี่ยนแปลงลักษณะดังที่เราเห็นเมื่อไม่กี่ร้อยกว่าปีที่ผ่านมา เฟืองทำขึ้นมาเพื่อวัตถุประสงค์ในการ ใช้สำหรับการส่งกำลังในลักษณะของแรงบิด (Torque) โดยการหมุนของตัวเฟืองที่มีฟันอยู่ในแนวรัศมี โดยการส่งกำลังจะสามารถเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อมีฟันเฟืองตั้งแต่สองตัวขึ้นไป

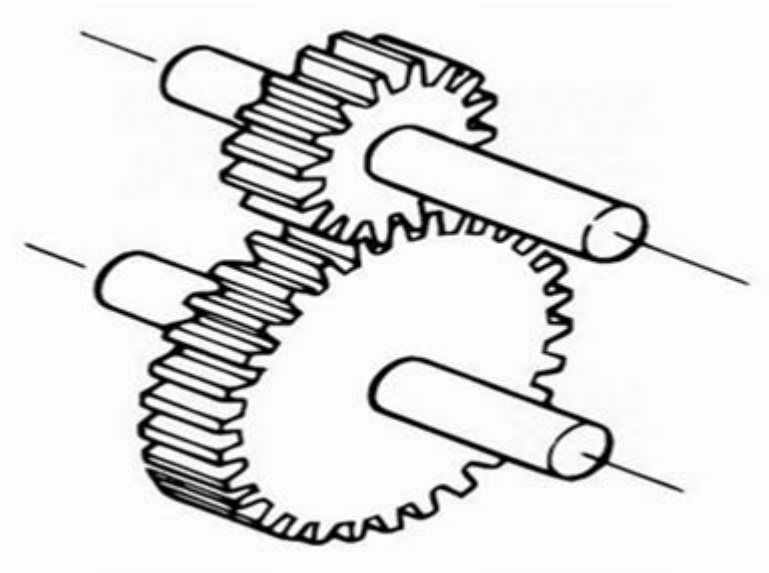
**รูปที่ 1** แสดงรูปเฟืองไม้สมัยโบราณ

### 1. ชนิดของเฟือง (Type of Gears)

ดังที่กล่าวมาแล้วว่าเฟืองนั้นถือกำเนิดขึ้นมานานแล้วและผ่านการปรับปรุงทั้งในเรื่องของวัสดุที่ใช้ทำเป็นตัวเฟืองและลักษณะหรือแบบต่าง ๆ เพื่อความเหมาะสมต่อการใช้งานและอย่างอื่น โดยทั่วไปแล้วเราแบ่งชนิดย่อยๆของเฟืองออกเป็นชนิดต่างๆตามรูปร่างและลักษณะการใช้งานดังนี้คือ

### 1.1 เฟืองตรง (Spur Gears)

เฟืองตรง (Spur gear) ดังรูปที่ 2 เป็นเฟืองที่มีใช้งานกันมากที่สุดในบรรดาเฟืองชนิดต่าง ๆ จะมีลักษณะเฉพาะคือฟันของเฟืองจะเป็นแนวขนานไปกับรูเพลา โดยเฟืองตรงเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าเฟืองขนานกับเพลา (Parallel–shaft Gear)



**รูปที่ 2** เฟืองตรง (Spur Gear)

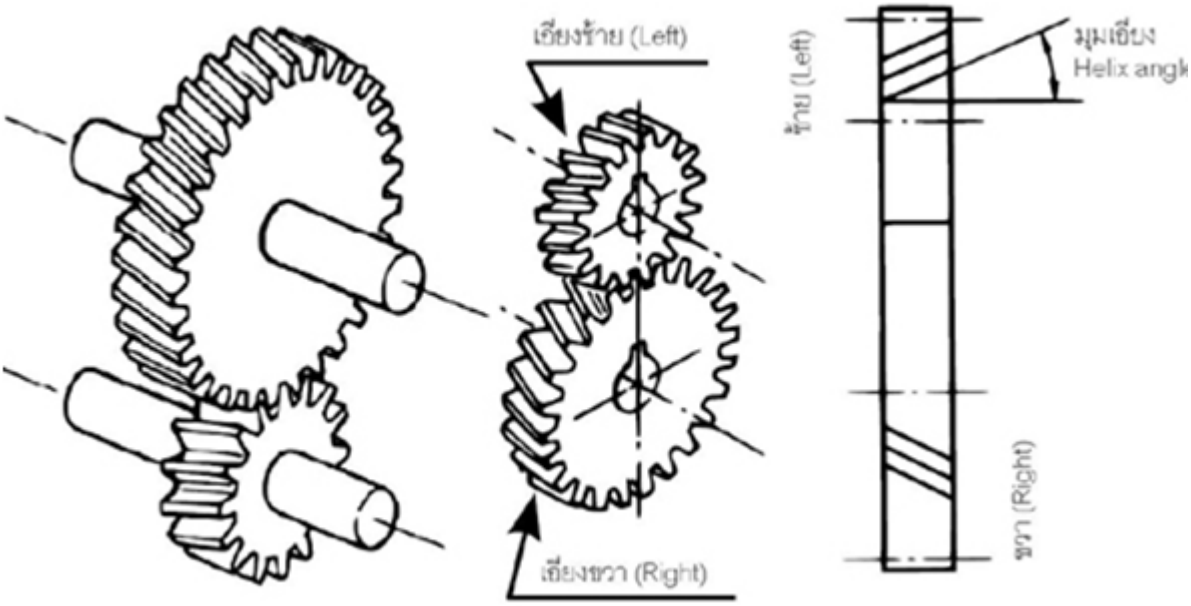
เฟืองตรงเป็นเฟืองที่มีโครงสร้างง่ายและไม่สลับซับซ้อน โดยถ้าเฟืองตรงสองตัวขบกันเราเรียกว่าเฟืองพีเนียน (Pinion Gears) โดยทั่วไปแล้วเฟืองตรงที่ใช้ส่งกำลังแต่ละคู่นั้นจะมีขนาดของฟันเฟืองหรือโมดูล (Module, m) เท่า ๆ กัน หมุนด้วยความเร็วเชิงเส้นที่เท่ากันแต่การได้เปรียบเชิงกลที่เกิดขึ้นจะเกิดจากจำนวนฟันที่ต่างกัน (อัตราทด, Ratio) ของเฟืองแต่ละตัว เฟืองตรงส่วนมากจะนำมาใช้ในระบบส่งกำลัง (Transmission Component)

**ลักษณะเฉพาะของเฟืองตรง**

* มีความง่ายในการผลิตเนื่องจากรูปแบบของฟันเฟืองไม่สลับซับซ้อน ส่งผลให้ราคาต่ำกว่าเฟืองชนิดอื่น
* ไม่มีแรงรุน (Trust) ที่เกิดขึ้นในแนวแกน (No Axial Force) ในขณะที่ทำงาน
* มีความง่ายในการผลิตให้มีคุณภาพสูง
* เนื่องจากเป็นเฟืองแบบธรรมดาจึงมีความง่ายในการหาซื้อ

**1.2 เฟืองเฉียง (Helical Gears)**

เฟืองเฉียงมีลักษณะทั่วไปเหมือนเฟืองตรง แต่ลักษณะแนวของฟันเฟืองจะไม่ขนานกับเพลาโดยจะทำมุมเฉียงไปเป็นมุมที่ต้องการ โดยอาจจะเอียงไปทางซ้ายหรือเอียงไปทางขวาขึ้นอยู่กับลักษณะความต้องการในการใช้งานและการออกแบบของผู้ผลิต เฟืองเฉียงมีลักษณะรูปร่างดังรูปที่ 3 โดยเฟืองเฉียงแต่ละคู่ที่ขบกันเพื่อส่งกำลังนั้น เฟืองหนึ่งฟันเฟืองจะเอียงไปทางซ้ายและอีกฟันเฟืองหนึ่งจะเอียงไปทางขวาในมุมที่เท่ากัน




**รูปที่ 3** เฟืองเฉียงและรายละเอียดของฟันเฟือง (Helical Gears)

**ลักษณะเฉพาะของเฟืองเฉียง**

* เมื่อเปรียบเทียบการรับภาระ (Load) แล้ว สำหรับเฟืองขนาดเดียวกัน เฟืองเฉียง (Helical Gear) จะรับภาระ (Load) ได้มากกว่าเฟืองตรง (Spur Gear) เนื่องจากการที่ฟันเฟืองมีลักษณะเอียงจึงทำให้ความยาวของฟันเฟืองยาวกว่าและพื้นที่หน้าสัมผัสของฟันมีมากกว่าเฟืองตรง

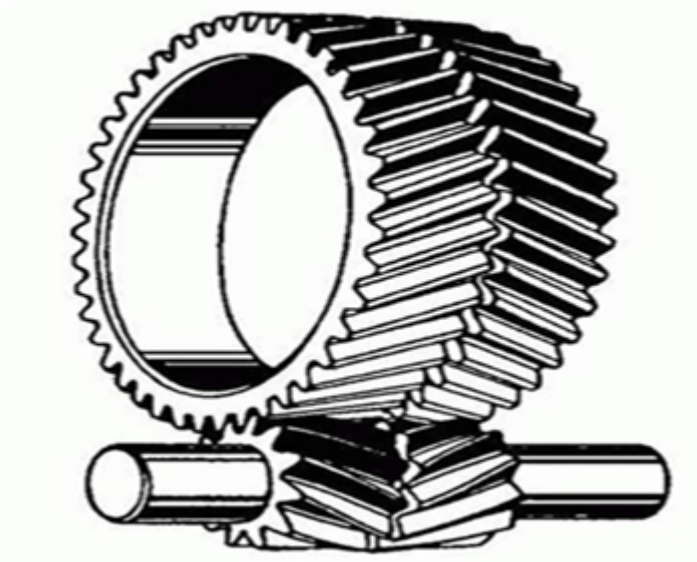
* เสียงในขณะทำงานของเฟืองเฉียงจะเงียบกว่าเฟืองตรงเนื่องจากการขบกันของเฟืองจะกระทำอย่างนิ่มนวลกว่า เนื่องจากมุมที่เฉียงของฟันเฟืองทำให้เกิดการเหลื่อม (Overlap) กันของฟันเฟืองขณะหมุน

* เกิดแรงรุน (Trust) ตามแนวแกนมากกว่าในขณะที่หมุนเนื่องจากการเอียงของฟันเฟืองที่มากซึ่งจะส่งผลให้อายุการใช้งานของแบริ่งลดต่ำลง

**1.3 เฟืองก้างปลา (Herringbone Gears or Double Helical Gears)**

เพื่อลดแรงรุนด้านข้างในขณะทำงานของเฟืองเฉียง จึงได้ถูกพัฒนารูปแบบจากเฟืองเฉียงมาเป็นเฟืองก้างปลา ซึ่งมีลักษณะของฟันเฟืองที่เฉียงเข้าหากันในมุมที่เท่ากัน ทำให้แรงลัพธ์ของแรงรุน (Trust) เท่ากับศูนย์

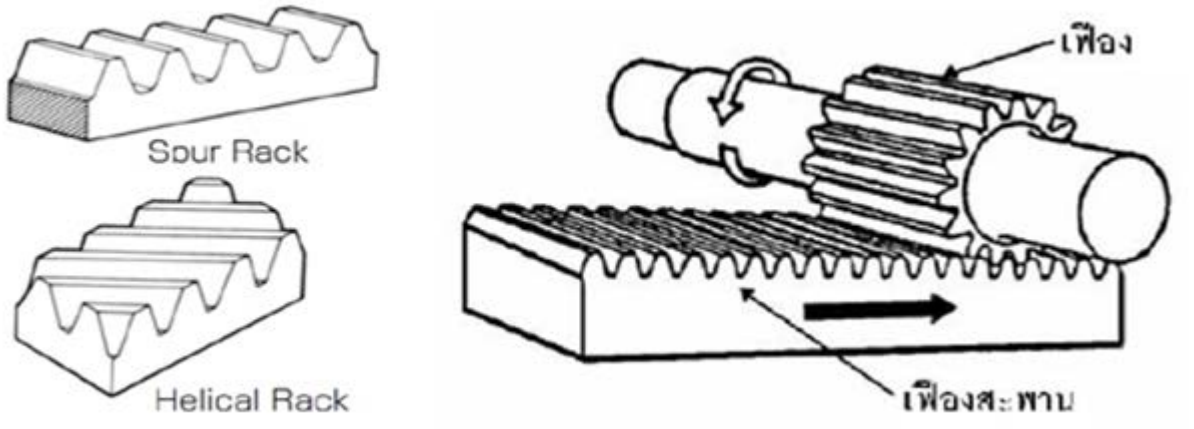
จากลักษณะของเฟืองก้างปลาดังรูปที่ 4 จะเห็นว่ามีลักษณะเหมือนกับการเอาเฟืองเฉียงมาประกบกันในลักษณะที่สมมาตร ทำให้เฟืองก้างปลาสามารถรักษาข้อดีของเฟืองเฉียงไว้ได้ คือเสียงที่เงียบขณะทำงานรับภาระ (Load) ได้มากกว่าเฟืองตรง ในขณะเดียวกันแรงสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นในขณะทำงานก็ยังคงน้อยเมื่อเทียบกับเฟืองตรง แต่ลดข้อเสียที่มีอยู่เพียงอย่างเดียวของเฟืองเฉียงคือแรงรุน จากลักษณะของเฟืองก้างปลาที่มุมเอียงของเฟืองเอียงเข้าหากันในลักษณะที่องศาเท่ากันทำให้ผลลัพธ์ของแรงรุนไม่มี



**รูปที่ 4** เฟืองก้างปลา (Double Helical Gears or Herringbone Gears)

**1.4 เฟืองสะพาน (Rack Gears)**

ในหนึ่งชุดของเฟืองสะพานนั้นประกอบด้วยสองส่วนคือส่วนที่เป็นเฟือง (Gear) ตัวขับซึ่งส่วนมากแล้วจะเป็นเฟืองตรง (Spur Gear) แต่ในบางอุปกรณ์อาจเป็นเฟืองเฉียงก็มี และส่วนที่เป็นเฟืองสะพาน (Rack) ซึ่งมีลักษณะเป็นแท่งยาวตรงและมีฟันเฟืองอยู่ด้านบนขบอยู่กับส่วนที่เป็นฟันเฟือง (Gear)หน้าที่ของเฟืองสะพานคือใช้ในการเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่จากการเคลื่อนที่ในลักษณะการหมุนหรือการเคลื่อนที่เชิงมุมเป็นการเคลื่อนที่เชิงเส้นหรือการเคลื่อนที่เชิงเส้นหรือการเคลื่อนที่กลับไปกลับมา




**รูปที่ 5** เฟืองสะพาน (Rack Gears)

**การใช้งานเฟืองสะพาน**

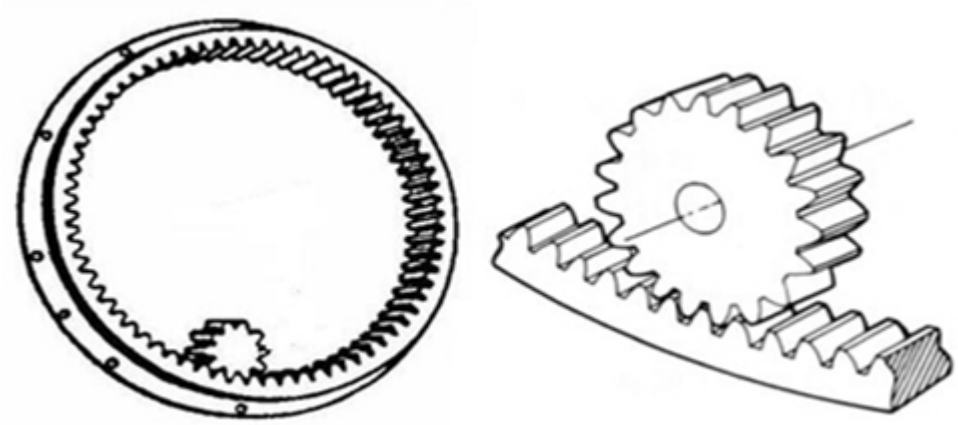
* การส่งถ่ายกำลังในเครื่องจักรกล
* ใช้กับเครื่องพิมพ์หรือเครื่อง Plot ขนาดใหญ่
* หุ่นยนต์ (Robot)
* การส่งถ่ายกำลังในระบบบังคับเลี้ยวของรถยนต์ (Steering)

**1.5 เฟืองวงแหวน (Internal Gear, Ring Gear)**

เฟืองวงแหวนเป็นเฟืองตรงอีกชนิดหนึ่งซึ่งมีลักษณะเหมือนกับเฟืองตรง แต่ฟันเฟืองจะอยู่ด้านในของวงกลมต้องใช้คู่กับเฟืองขนาดเล็กกว่าที่ขบอยู่ด้านในดังรูปที่ 6 เฟืองวงแหวนจะใช้งานในลักษณะที่ต้องการให้เฟืองขับและเฟืองตามทำงานหรือหมุนในทิศทางเดียวกัน

สำหรับอัตราทดนั้นสามารถออกแบบให้มากหรือน้อยได้โดยขึ้นอยู่กับขนาดของเฟืองตัวนอก (Ring) และเฟืองตัวใน (Pinion) ดังรูปที่ 6 โดยที่ถ้าหากเฟืองตัวในเล็กกว่าเฟืองตัวนอกมากอัตราทดก็จะมากและถ้าหากเฟืองตัวในมีขนาดใกล้เคียงกับ

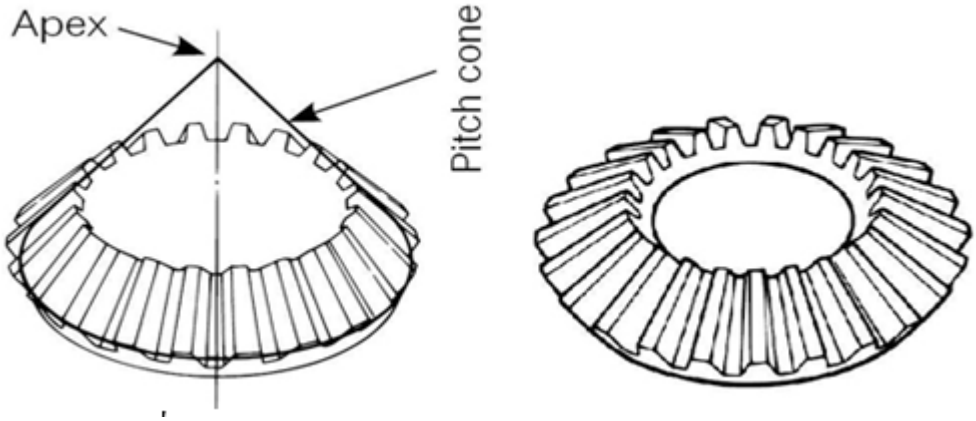
เฟืองตัวนอกอัตราทดก็จะน้อย โดยปกติของเฟืองวงแหวนแล้วเฟืองตัวเล็ก (Pinion Gear) ที่อยู่ด้านในจะทำหน้าที่เป็นตัวขับ



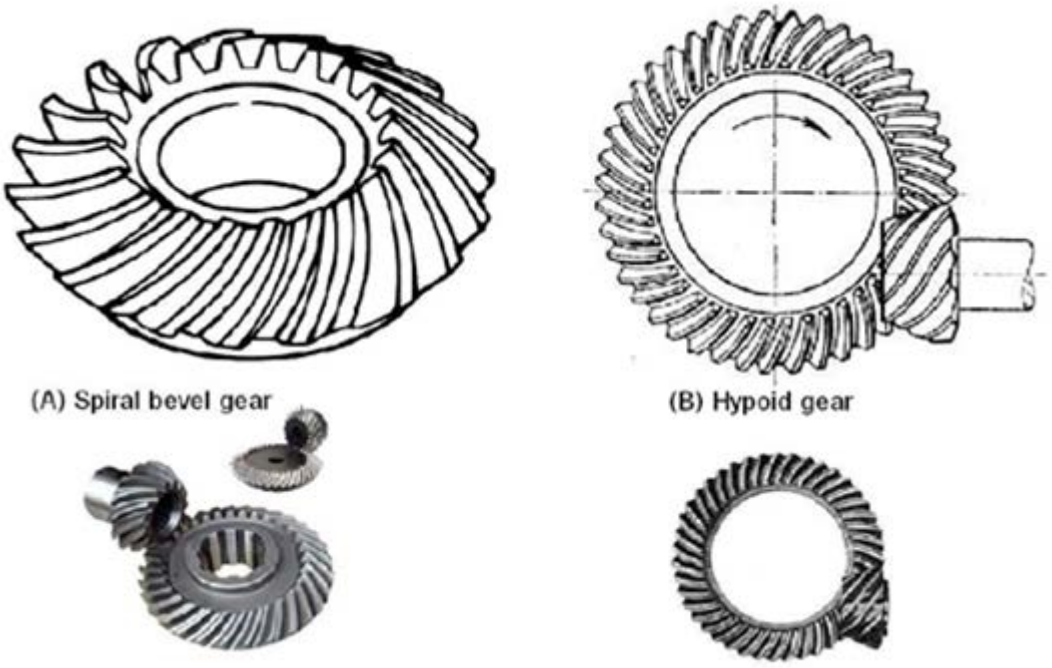
**รูปที่ 6** เฟืองวงแหวน Internal Gear

### 1.6 เฟืองดอกจอก (Bevel Gear)

เฟืองดอกจอกจะมีรูปทรงคล้ายกับกรวยมีทั้งแบบเฟืองตรง (Straight Bevel Gear) และแบบเฟืองเฉียง (Spiral Bevel Gear) เฟืองดอกจอกจะเป็นเฟืองสองตัวที่ขบกันในลักษณะแนวเพลา (Shaft) ของเพลาทั้งคู่จะตั้งฉากหรือตัดกัน (Intersect) ส่วนมากแล้วเพลาของเฟืองทั้งคู่จะตั้งฉากกันเป็นมุม 90 องศา




**รูปที่ 7** เฟืองดอกจอกแบบเฟืองตรง (Straight Bevel Gear)




**รูปที่ 8** เฟืองดอกจอกแบบเฟืองเฉียง (Spiral Bevel Gear) และเฟืองไฮปอยด์

### 1.6.1 เฟืองดอกจอกแบบเฟืองตรง (Straight Bevel Gear)

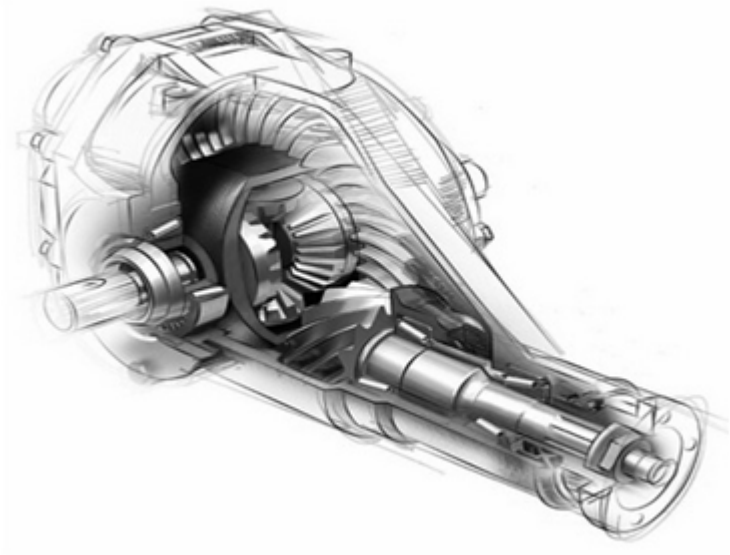
จะมีลักษณะของฟันเฟืองที่เป็นเฟืองตรง โดยที่แนวของฟันเฟืองจะเป็นแนวเดียวกับยอดของเฟืองโดยที่แนวของฟันเฟืองจะเป็นมุมตัดกับแนวแกนเพลา

คุณสมบัติเฉพาะของเฟืองแบบนี้คือ

* ง่ายต่อการผลิตจึงทำให้มีราคาถูกกว่า

* สามารถทำอัตราทดสูงสุดได้ถึง 1:5

ส่วนใหญ่แล้วจะใช้ในงาน ส่วนประกอบของเครื่องจักร และเฟืองท้ายของรถยนต์ โดยทำหน้าที่เป็นเฟืองบายศรี (Differential Gear) ป้องกันการสะบัดของล้อทั้งสองข้างขณะเลี้ยว



**รูปที่ 9** เฟืองบายศรีในเฟืองท้ายรถยนต์ซึ่งประกอบด้วยชุดเฟืองดอกจอก

### 1.6.2 เฟืองดอกจอกแบบเฟืองเฉียง (Spiral Bevel Gear)

ฟันของเฟืองแบบนี้จะมีลักษณะเป็นแนวโค้ง (Curve ดังรูปที่ 8A) ออกไปรอบ ๆ รัศมีของเฟือง (ต่างจากแบบฟันตรงที่ฟันของแบบนั้นจะออกมาตรง ๆ ตามแนวรัศมีของเฟือง) และแนวด้านบนของฟันก็จะลาดลงในลักษณะโค้งจากด้านในออกไปสู่ด้านนอกขอบฟัน การที่เฟืองมีลักษณะโค้งแบบนี้ทำให้มีพื้นที่สัมผัสหรือพื้นที่รับแรงมากกว่าแบบเฟืองตรง ทำให้มีความทนทานมากกว่าและเสียงในขณะการทำงานน้อยกว่าเฟืองดอกจอกแบบเฟืองเฉียง

คุณสมบัติเฉพาะในการใช้งานเฟืองดอกจอกแบบเฟืองเฉียง ที่โดดเด่นมีดังนี้คือ

* สามารถออกแบบให้อัตราทด (Ratio) มากกว่า โดยมีความแข็งแรงทนทาน

มากกว่าเฟืองดอกจอกแบบเฟืองตรง

* เหมาะสำหรับใช้กับอัตราทดของเฟืองที่มาก ๆ

* มีประสิทธิภาพในการส่งถ่ายกำลังที่ดีกว่าในขณะที่การทำงานเงียบกว่าเฟืองดอกจอกแบบเฟืองตรง

* มีความยากกว่าในการออกแบบและสร้าง จึงทำให้มีราคาแพงกว่า

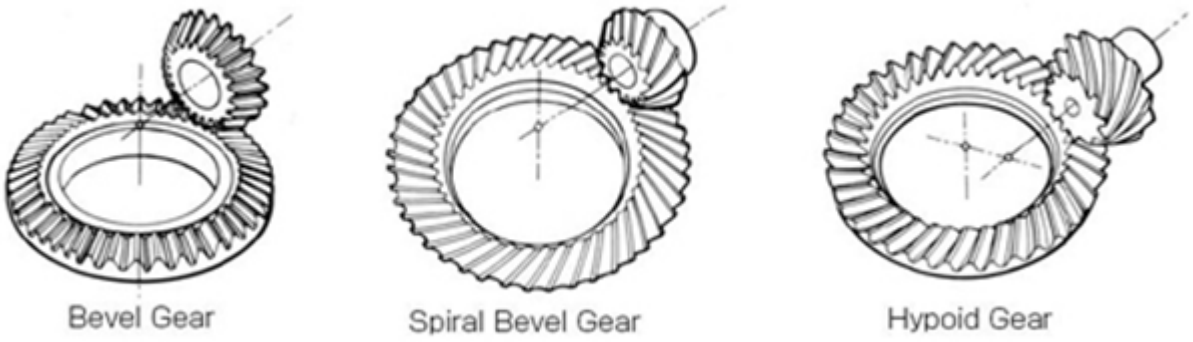
การใช้งานเฟืองดอกจอกแบบเฟืองเฉียงจะพบใช้งานมากในยานพาหนะทั้งบกและน้ำ เช่น ในอุปกรณ์และชิ้นส่วนยานยนต์ โดยเฉพาะในระบบส่งกำลังและขับเคลื่อนในรถแทรกเตอร์ ในระบบเฟืองส่งกำลังของเรือ

### 1.6.3 เฟืองไฮปอยด์ (Hypoid Gears)

เป็นเฟืองที่จัดอยู่ในประเภทเฟืองดอกจอกแบบเฟืองเฉียง แต่จะต่างกันตรงที่แกนเพลาของเฟืองไฮปอด์ยนั้นระนาบแกนของเพลาของเฟืองขับและเพลาของเฟืองตามจะไม่ตัดกันซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 8B ลักษณะรูปทรงของเฟืองไฮปอยด์จะมีลักษณะการหมุนเป็นไฮเปอร์บอลิกและที่ผิวของเฟืองไฮปอยด์จะมีลักษณะเป็นผิวไฮเปอร์บอลิก ในขณะที่ผิวของเฟืองดอกจอกแบบเฉียงจะมีลักษณะเป็นรูปทรงกรวยธรรมดา (Normally Conical)

**รูปที่** 10 เฟืองไฮปอยด์ในเพลาท้ายรถยนต์

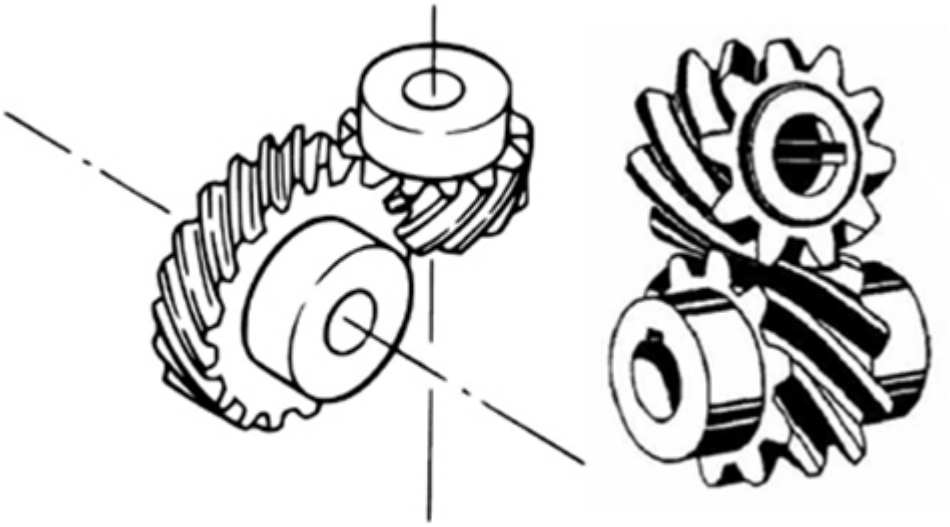
ในการส่งถ่ายกำลังระหว่างฟันเฟืองของเฟืองไฮปอยด์นั้น การถ่ายถอดกำลังจากเฟืองขับไปสู่เฟืองตามจะเป็นไปในลักษณะการลื่นไถล (Sliding) อยู่กึ่งกลางระหว่างเฟืองตรง (Straight Gear) และเฟืองตัวหนอน (Worm Gear) ดังนั้นจึงต้องการสารหล่อลื่นที่ถูกต้องและมีประสิทธิภาพในการหล่อลื่นสูงสุดซึ่งโดยปกติแล้วต้องใช้น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้ต้องมีความหนืดกว่าเฟืองดอกจอกสำหรับเฟืองที่มีขนาดเท่ากัน



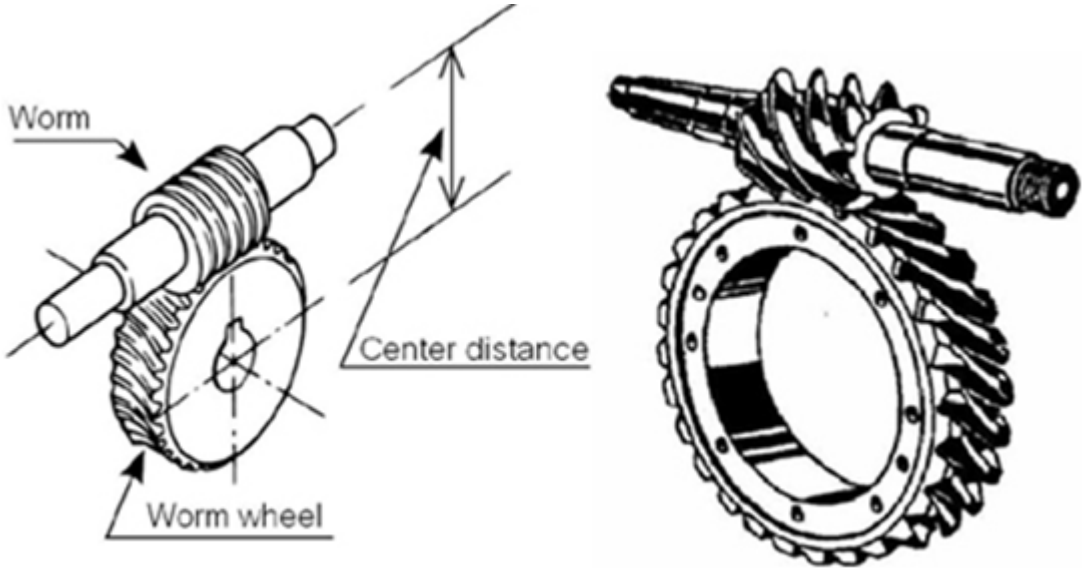
**รูปที่ 11** ความแตกต่างระหว่าเฟืองดอกจอกชนิดต่าง ๆ กับเฟืองไฮปอยด์

### 1.7 เฟืองดอกจอกแบบสมมาตร (Miter Gear)

Miter Gear เป็นเฟืองดอกจอกแบบพิเศษแบบหนึ่ง โดยเป็นเฟืองที่มีอัตราทด (Ratio) 1:1 หรืออาจเรียกอีกอย่างว่าเฟืองเปลี่ยนทิศทางก็ไม่ผิดโดยเพลาของเฟืองขับและเฟืองตามทำมุมกัน 90 องศาดังรูปที่ 12



**รูปที่ 12** Miter Gear



**รูปที่ 13** เฟืองเกลียวสกรู (Screw Gears or Spiral Gears)

**1.8 เฟืองเกลียวสกรู (Screw Gears or Spiral Gears)**

มีลักษณะเป็นเฟืองเฉียงหรือเฟืองเกลียวใช้ส่งกำลังระหว่างเพลาที่ทำมุมกัน 90 องศา มีลักษณะดังรูปที่ 13 การใช้งานเฟืองชนิดนี้ส่วนมากจะใช้ในการเปลี่ยนทิศทางในการส่งกำลังของเพลา โดยลักษณะเฉพาะของเฟืองแบบนี้มีดังนี้คือ

* ใช้กับชุดเฟืองที่มีการทดรอบมากและมีจำนวนเฟืองมากหลายอัน
* การสึกหรอจะเกิดขึ้นค่อนข้างมากเนื่องจากลักษณะการเคลื่อนที่ส่งกำลังของเฟืองจะมีลักษณะในการลื่นไถล (Sliding Contact) ระหว่างผิวของฟันเฟืองคู่ที่ใช้ส่งกำลัง

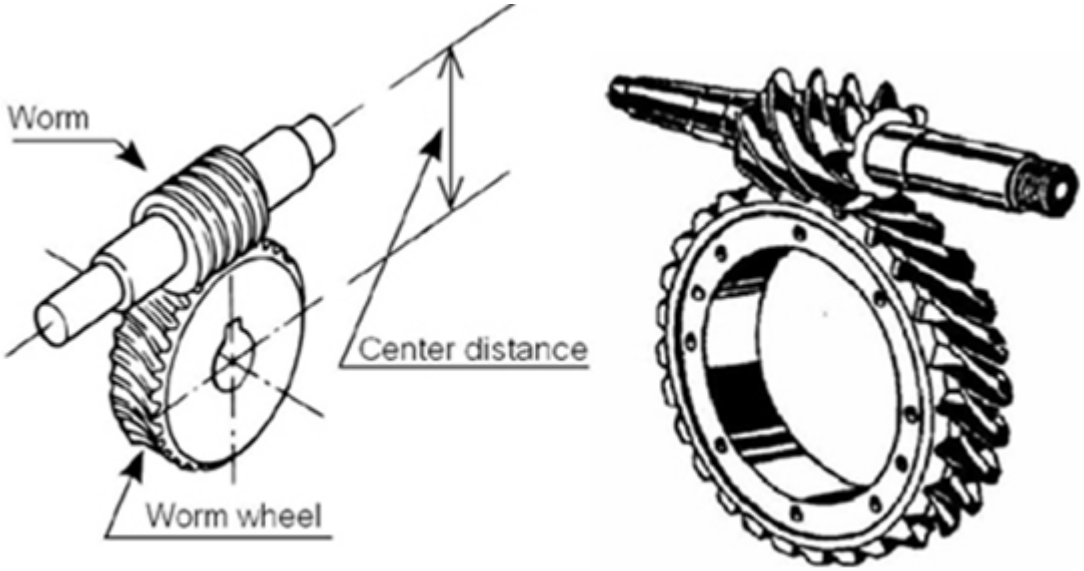
* ไม่เหมาะที่จะใช้กับระบบส่งกำลังที่มีกำลังมาก ๆการใช้งานเฟืองเกลียวสกรูมักจะนิยมใช้กับงาน ในระบบเฟืองส่งกำลังของรถยนต์ (Driving Gear for Automobile) และในเครื่องจักรตรงจุดที่ต้องการเปลี่ยนมุมในการส่งกำลัง

**1.9 เฟืองหนอน (Worm Gears)**

เป็นชุดเฟืองที่ประกอบด้วยเกลียวตัวหนอน (Worm) ซึ่งมีลักษณะของเกลียวที่วางอยู่บนก้านเกลียวตัวหนอน (Shank) เหมือนลักษณะของสกรูและเฟือง (Worm Wheel) ซึ่งมีลักษณะเป็นล้อเฟืองคล้าย ๆ กับเฟืองเฉียง (Helical Gear) แต่จะต่างกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งตรงสันฟันเฟืองจะมีลักษณะเว้าเพื่อให้รับกับความโค้งของเกลียวตัวหนอน ดังรูปที่ 14

แนวเพลาขับ (Worm Shaft) และเพลาตาม (Worm Wheel Shaft) ของเฟืองตัวหนอนจะทำมุมกันที่มุมฉาก 90องศา การทำงานของเฟืองตัวหนอนจะเงียบและมี

แรงสั่นสะเทือนเกิดขึ้นน้อย เนื่องจากการส่งถ่ายกำลังจากเฟืองขับไปยังเฟือง ตามนั้นการส่งถ่ายกำลังจะเป็นไปในลักษณะของการลื่นไถล (Sliding)




**รูปที่ 14** เฟืองหนอน (Worm Gears)

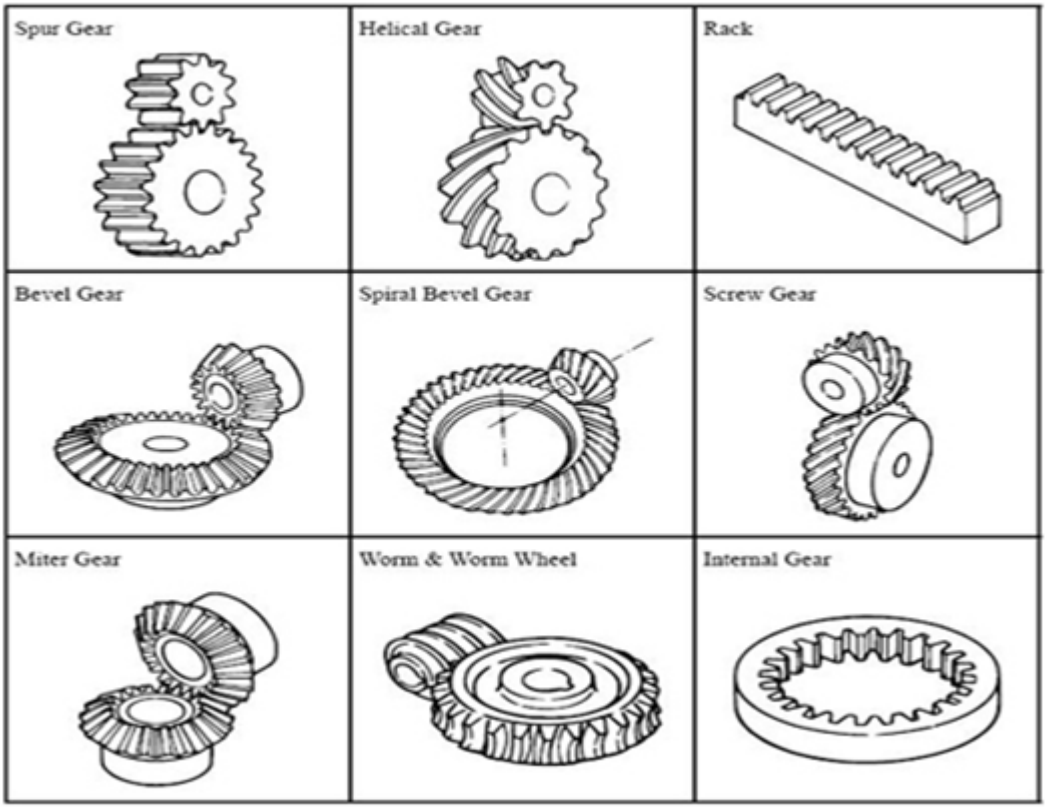
อัตราทดของเฟืองตัวหนอนสามารถทำได้มาก เนื่องจากลักษณะเฉพาะทางรูปแบบของเฟือง โดยอัตราทดสามารถคำนวณได้จากระยะห่างระหว่างศูนย์กลางของก้านเกลียวตัวหนอน (Shank) ถึงศูนย์กลางของเฟือง (Worm Wheel) หรือที่เรียกว่าระยะห่างระหว่างศูนย์กลาง (Center Distance) โดยถ้า Center Distance ยิ่งมาก แสดงว่าอัตราทดของเฟืองจะยิ่งมาก ซึ่งในบางชุดเฟืองอาจทดมากกว่า 1 ชุด โดยอาจเป็นสองหรือสามชุด ในการส่งถ่ายกำลังของเฟืองตัวหนอนนั้นความเค้นที่เกิดขึ้นบนผิวฟันเฟืองจะมากกว่าเฟืองแบบเฟืองตรงหรือแบบเฟืองเฉียง อัตราทดของเฟืองตัวหนอน (Worm Gear Ratio)

สามารถคำนวณได้จากสมการ

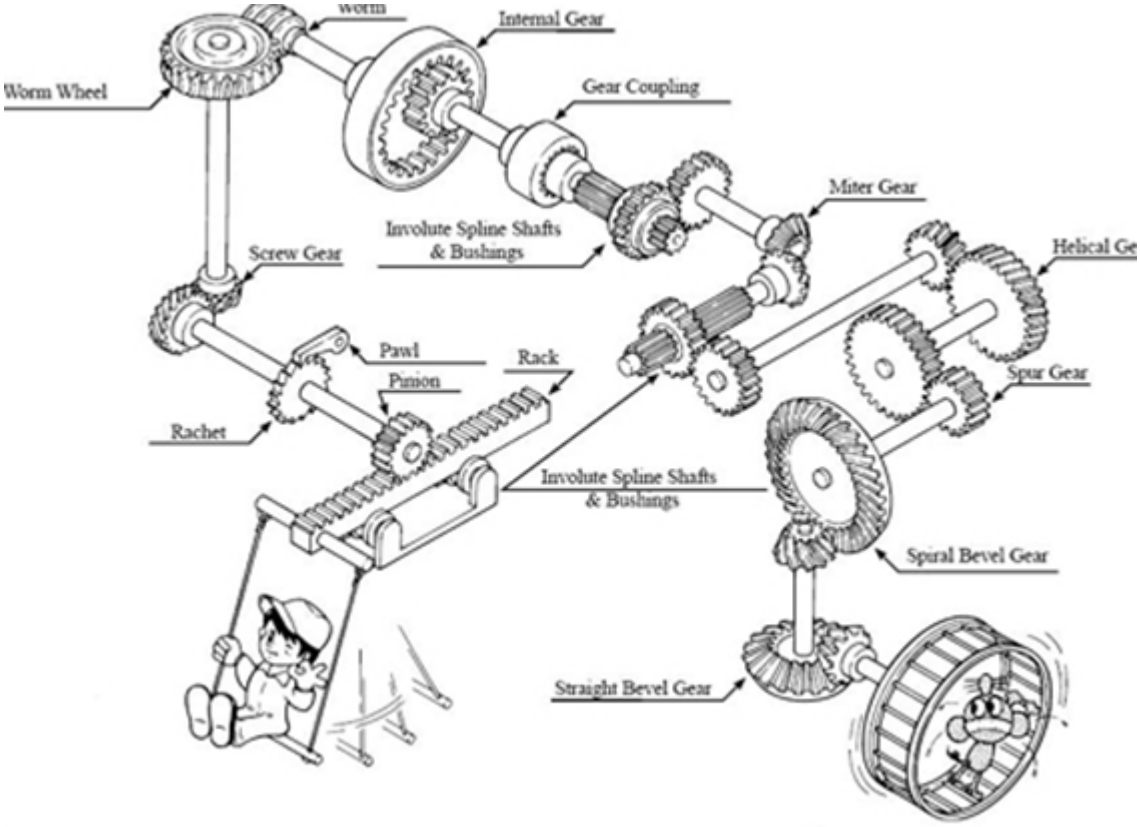
ลักษณะเฉพาะของเฟืองตัวหนอนโดยสรุปได้มีดังนี้คือ

* สามารถทำอัตราทดได้สูงโดยการเพิ่มความห่างของระยะห่างระหว่างศูนย์กลาง (Center Distance)

* ขณะทำงานจะมีความเงียบและการสั่นสะเทือนน้อย




**รูปที่ 15** รูปแบบของเฟืองชนิดต่าง ๆ




**รูปที่ 16** ลักษณะการถ่ายทอดกำลังของเฟืองแบบต่าง ๆ

**สรุปเรื่องชนิดของเฟือง**

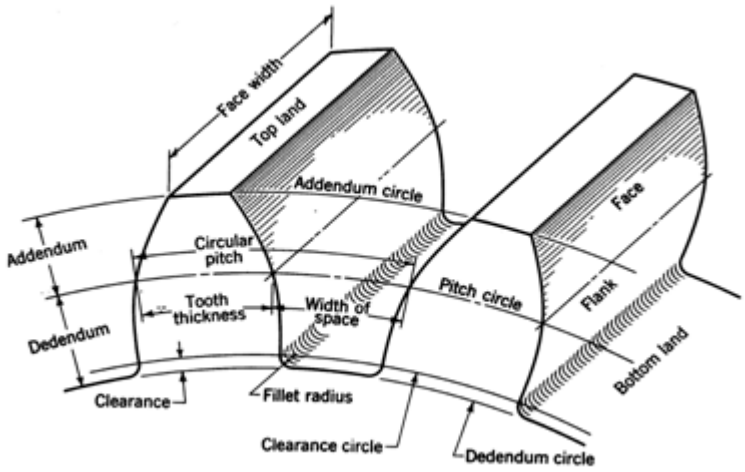
จากรายละเอียดเรื่องชนิดของเฟืองที่ผ่านมา คงจะทำให้ผู้อ่านมีความเข้าใจเรื่องเฟืองขึ้นมาไม่มากก็น้อย แต่ในการแบ่งประเภทของเฟืองยังมีการแบ่งอีกอย่างหนึ่งคือลักษณะของฟันและแนวหรือการจัดวางของเพลาดังรายละเอียดในตารางที่1

**ตารางที่ 1** รูปแบบของเฟืองชนิดต่าง ๆ ตามประเภทของฟันและการจัดวางเพลา

**2. ลักษณะของฟันเฟือง**

การที่จะให้ฟันเฟืองขบกันได้สนิท ไม่มีความฝืด เสียงเงียบจะต้องให้ฟันเฟืองมีรูปทรงเหมือนกันทั้งเฟืองขับและเฟืองตาม ซึ่งปัจจุบันมีระบบฟันเฟืองแบบอีเวอร์สูง ซึ่งเป็นแนวเส้นโค้งส่วนหนึ่งของวงกลม ที่มีจุดศูนย์กลางอยู่บนวงกลม

เฟืองห่างไปจากจุดฟันเฟืองนั้นๆ ซึ่งกำหนดเป็นมาตราฐานไว้แล้ว โดยจะปรากฏในมีดกัดเฟือง ที่มี 2 ระบบคือ ระบบดีพีและระบบโมดูล




**รูปที่ 17แผนภาพ**ส่วนต่างๆ ของฟันเฟือง

**ส่วนต่างๆ ของเฟืองมีดังนี้**

1. วงกลมยอดฟัน หรือเส้นผ่านศูนย์กลางโตสุด
2. วงกลมพิตซ์pitch circle
3. วงกลมโคนฟัน
4. วงกลมฐาน
5. รัศมีที่วงกลมพิตซ์
6. ระยะพิตซ์
7. ช่วงสูงฟันบน
8. ช่วงสูงฟันล่าง
9. ความกว้างฟัน
10. ความหนาฟัน
11. ผิวฟันบน
12. ผิวฟันล่าง
13. ความกว้างฟันบน

14. ความกว้างฟันล่าง

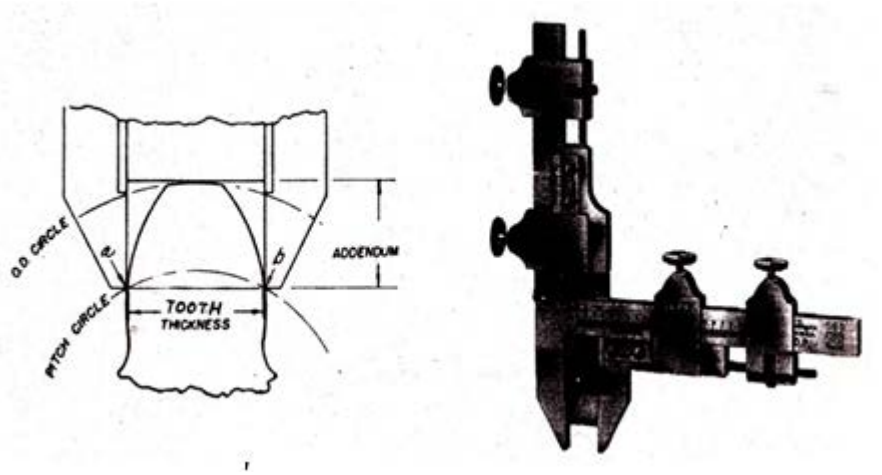
15. บ่ามนฟันล่าง

**3. วิธีการผลิตเฟือง**

การผลิตเฟืองเพื่อใช้ในงานอุตสาหกรรม ทำได้หลายวิธี เช่น การหล่อ การปั๊มขึ้นรูป การแปรรูปด้วยเครื่องจักร และการทำโมลด์พลาสติก เป็นต้น ซึ่งแต่ละวิธีนั้น ผู้ผลิตจะต้องคำนึงถึงต้นทุนการผลิต จำนวนที่ผลิต และชนิดของเฟือง แล้วมาเลือกว่าวิธีไหนจึงจะเหมาะสมและประหยัดที่สุด ส่วนการผลิตเฟืองเพื่อทำต้นแบบซึ่งจะผลิตจำนวนไม่มาก ดังเช่นที่ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ซึ่งผลิตเฟืองเพื่อทำต้นแบบอุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์นั้น ถึงแม้ว่าจะมีข้อจำกัดในเรื่องประสิทธิภาพของเครื่องจักรและเรื่องชนิดของใบมีดกัดเฟือง แต่อย่างไรก็ตามก็ได้ประยุกต์ใช้เครื่องมือต่างๆ ที่มีอยู่ผลิตเฟืองขึ้นใช้ ในที่นี้จะกล่าวถึงกรรมวิธีการผลิตเฟืองด้วยเครื่องจักรกล

งานกัดฟันเฟือง เป็นการใช้มีดกัด ที่มีรูปทรงเช่นเดียวกับชนิดของฟันเฟือง กัดบนเครื่องกัดโดยใช้หัวแบ่ง ช่วยในการแบ่งฟันเฟือง ซึ่งสามารถกัดเฟืองได้เกือบทุกชนิด ยกเว้นเฟืองใน ซึ่งมีเครื่องมือและอุปกรณ์หลักๆ คือ

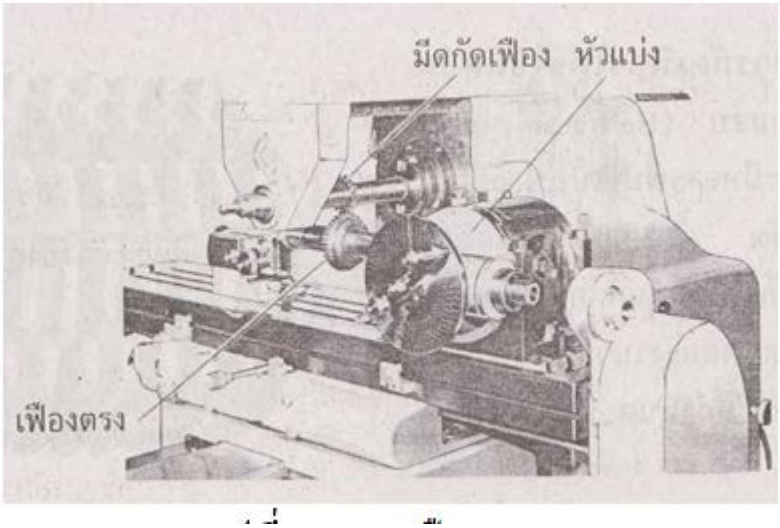
- ชุดหัวแบ่ง ใช้สำหรับแบ่งฟันที่จะกัดให้เท่าๆ กัน
- โต๊ะงานของเครื่องกัด ถ้าเป็นชนิดที่ปรับองศาได้ จะใช้ในการกัดเฟืองฟันเฉียงได้
- ชุดเฟืองเปลี่ยน เพื่อใช้ประกอบเฟืองระหว่างชุดหัวแบ่งกับโต๊ะงาน ในกรณีกัดเฟืองที่มีมุมการเลื่อยมากๆ เช่น ดอกสว่าน เฟืองเฉียงมุมมากๆ
- มีดกัดเฟือง ที่มีแบบ ดีพี หรือ โมดูล ตามขนาดที่กำหนด ซึ่งเฟืองที่จะขบกันได้จะต้องมี ดีพีหรือโมดูลเท่ากัน
- เครื่องมือวัดฟันเฟือง เช่น เวอร์เนียร์คาร์ลิปเปอร์วัดเฟือง




**รูปที่ 18** เวอร์เนียร์คาร์ลิปเปอร์วัดฟันเฟือง

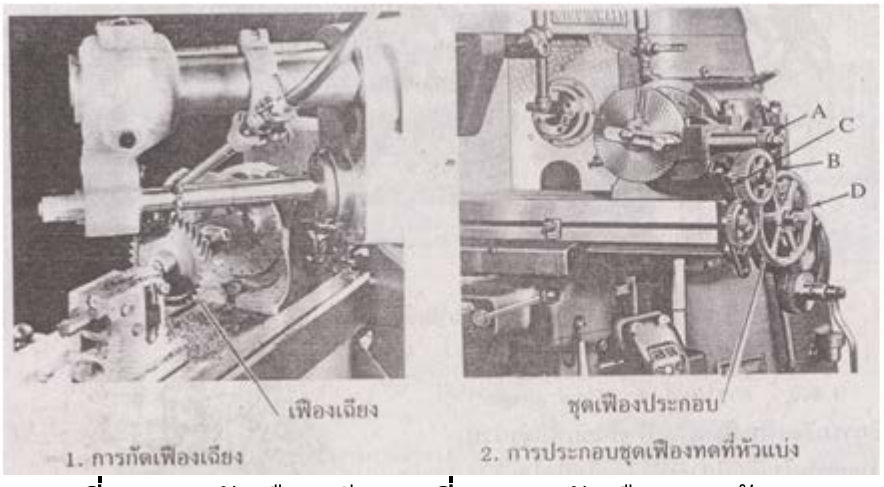
**3.1 การกัดเฟืองโดยใช้มีดกัดเฟือง** โดยปกติจะใช้เครื่องกัด กัดเฟืองได้ทั้งเฟืองตรง เฟืองเฉียง เฟืองสะพานที่ไม่ยาวมากนัก เฟืองดอกจอก เฟืองหนอน เป็นต้น ยกเว้น เฟืองใน เช่น

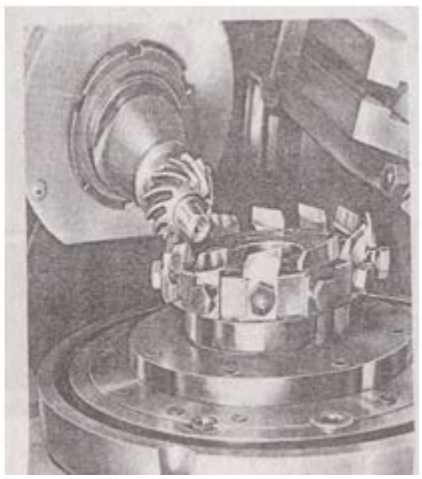
**3.1.1. การกัดเฟืองตรง** โดยเริ่มตั้งแต่การกลึงแผ่นเฟือง ที่มีขนาดความหนาและเส้นผ่านศูนย์กลางโตสุดตามที่คำนวณได้โดยกลึงบนแท่งเมลเดล จากนั้นจะนำมายึดบนหัวแบ่งและคำนวณหาการหมุนของหัวแบ่ง ว่าจะหมุนกี่รูต่อการแบ่งหนึ่งครั้ง แล้วทำการกัดครั้งละฟันจนครบทุกฟันจะเป็นได้ว่าการกัดเช่นนี้จะต้องใช้เวลามาก ต้นทุนสูง



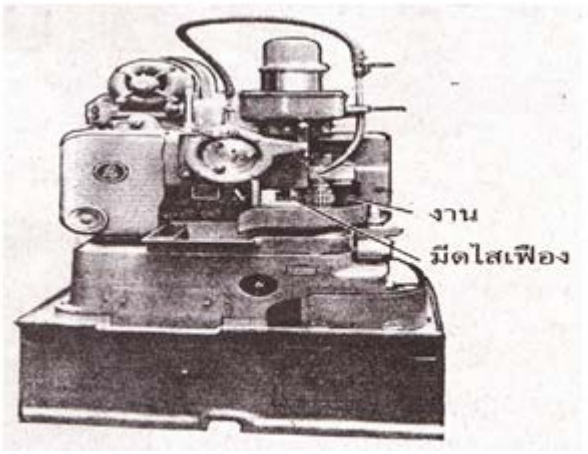

**รูปที่ 19**การกัดเฟืองตรง

**3.1.2 การกัดเฟืองเฉียง หรือดอกสว่าน** หรือดอกรีมเมอร์ หรือมีดกัดฟันเฉียง มีวิธีการกัดเช่นเดียวกับฟันตรง แต่ต่างกันที่ต้องเอียงโต๊ะงานให้เป็นมุมเท่ากับมุมเอียงของเฟือง และต้องประกอบเฟืองขับและเฟืองตามระหว่างหัวแบ่งกับเพลาขับของโต๊ะงาน เพื่อให้งานหมุนไปด้วยในระหว่างการกัด



**รูปที่ 20**การกัดเฟืองเฉียง**รูปที่ 21**การกัดเฟืองงวนก้นหอย



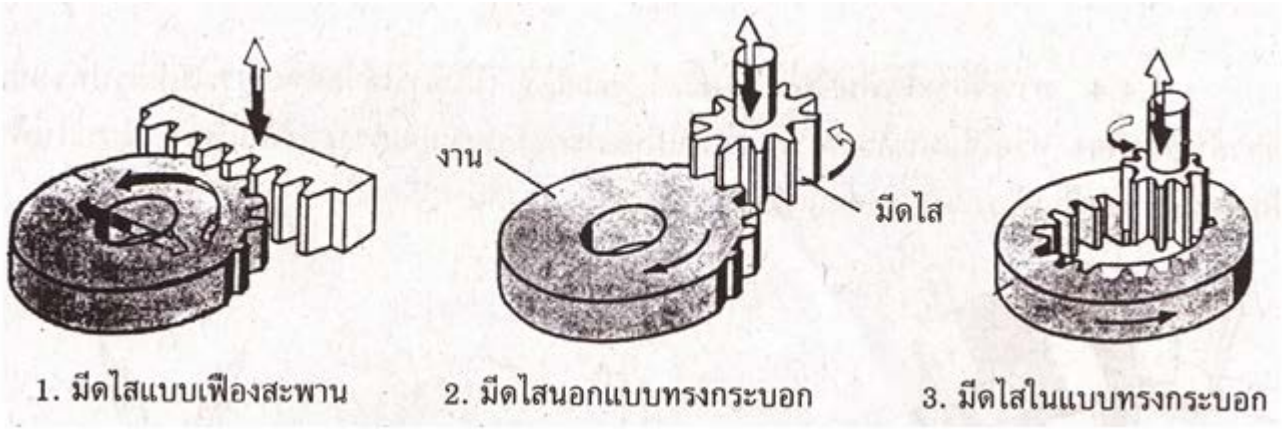

### 3.1.3 การกัดเฟืองโดยใช้มีดกัดหลายฟัน หรือมีดกัดฮอบ

มีดกัดเฟืองตัวเดียวจะมีหลายฟันที่เป็นฟอร์มของฟันเฟืองที่ต้องการกัด ลักษณะคล้ายเกลียวสี่เหลี่ยมคางหมู ทำให้การกัดหมุนกัดอย่างต่อเนื่อง ในขณะกัดเฟืองทั้งมีดกัดและงานจะหมุนตามไปด้วยกันจนได้ความลึกตามกำหนด นำไปกัดเฟืองนอกได้ทุกชนิด การกัดเฟืองด้วยวิธีนี้จะต้องใช้อุปกรณ์เฉพาะหรือเครื่องกัดโดยเฉพาะ

### 3.2. การไสเฟือง

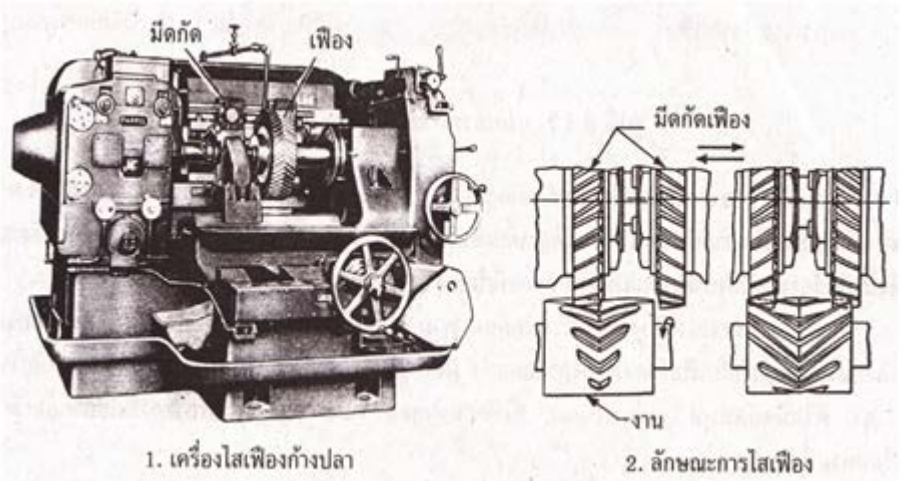
เป็นวิธีการผลิตเฟืองในหรือเฟืองนอกที่มีจำนวนฟันหลายขนาดในตัวเดียวกัน โดยใช้มีดไสเฟืองที่มีขนาดและรูปทรงของฟันเฟือง เช่นเดียวกับเฟืองที่ต้องการไส การทำงานโดยงานจะหมุนด้วยหัวแบ่งมีดไสจะเคลื่อนที่ขึ้น – ลงและหมุน

**รูปที่ 22**เครื่องไสเฟือง




**รูปที่ 23**ลักษณะการไสเฟือง

หลักการของการไสเฟืองตรงได้นำมาปรับปรุงให้สามารถไสเฟืองก้างปลาได้ โดยการให้มีดไสสองตัวไสเฟืองสลับกัน




**รูปที่ 24**การไสเฟืองก้างปลา

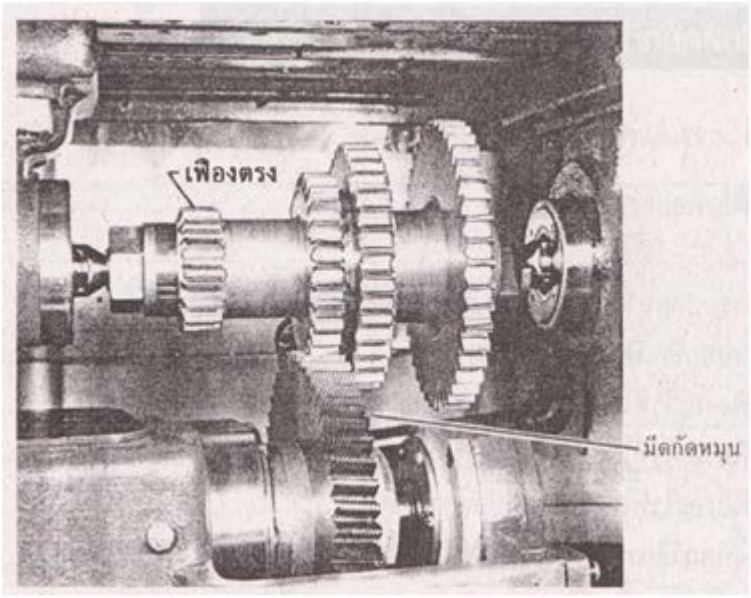
### 3.3. การเจียระไนฟันเฟือง

เป็นการใช้ล้อหินเจียระไนที่มีรูปทรงเช่นเดียวกับฟันเฟือง หรือใช้แผ่นหินเจียระไนสองแผ่นประกบกันตามรูปทรงของฟันเฟือง เจียระไนฟันเฟืองจะได้ขนาดฟันเฟืองที่เที่ยงตรงและมีคุณสมบัติผิวฟันเฟืองดีมาก

### 3.4. การตกแต่งฟันเฟือง

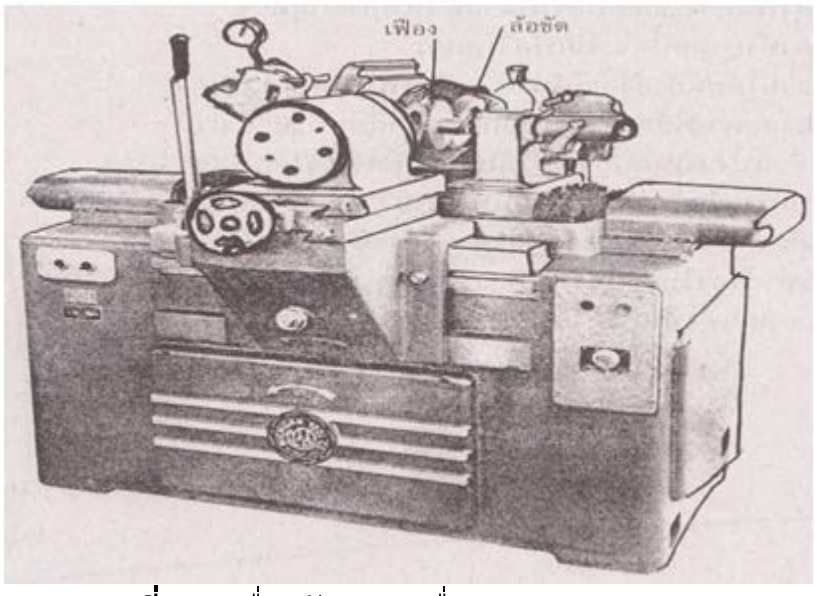
เฟืองที่ทำการกัดหรือทำด้วยวิธีต่างๆ หรือทำการชุบแข็งมาแล้ว บางชนิดยังมีความต้องการให้ฟันเฟืองเที่ยงขนาดและผิวเรียบ เพื่อให้เหมาะสมกับการไปใช้งานดังนั้นจึงต้องนำเฟืองมาตกแต่งขั้นสุดท้ายที่ต้องเอาผิวโลหะออกให้น้อยที่สุด ซึ่งมีหลายวิธี

1. การตกแต่งเฟืองตรง ด้วยมีดกัดสะพาน ซึ่งมีดกัดจะมีรูปทรงและขนาดเช่นเดียวกับเฟืองตรงที่ต้องการตกแต่ง มีดกัดสะพานจะขูดผิวฟันเฟือง โดยเคลื่อนที่กลับไป – มา หรือมีดกัดหมุน ที่ใช้ตกแต่งชุดส่งกำลัง จนได้ฟันเฟืองตรงที่มีขนาดและผิวเรียบตามที่กำหนด




**รูปที่ 25**การตกแต่งเฟืองตรงด้วยมีดกัดหมุน

2. วิธีการแลพ เป็นวิธีการตกแต่งฟันเฟืองที่ได้จากกรชุบแข็ง นอกเหนือจากการใช้ล้อหินเจียระไนแต่ง ตามรูปเป็นเครื่องแลพฟันเฟืองสองล้อขัด โดยจับยึดเฟืองที่ต้องการ ตกแต่งด้วยยันศูนย์ ใช้ล้อเฟืองด้านหน้าประคองและประคองให้เฟืองหมุนช้าๆ ทั้งสองล้อขัดฟันเฟืองจนได้ผิวเรียบและขนาดที่ต้องการ




**รูปที่ 26**เครื่องขัดและเครื่องแลพ