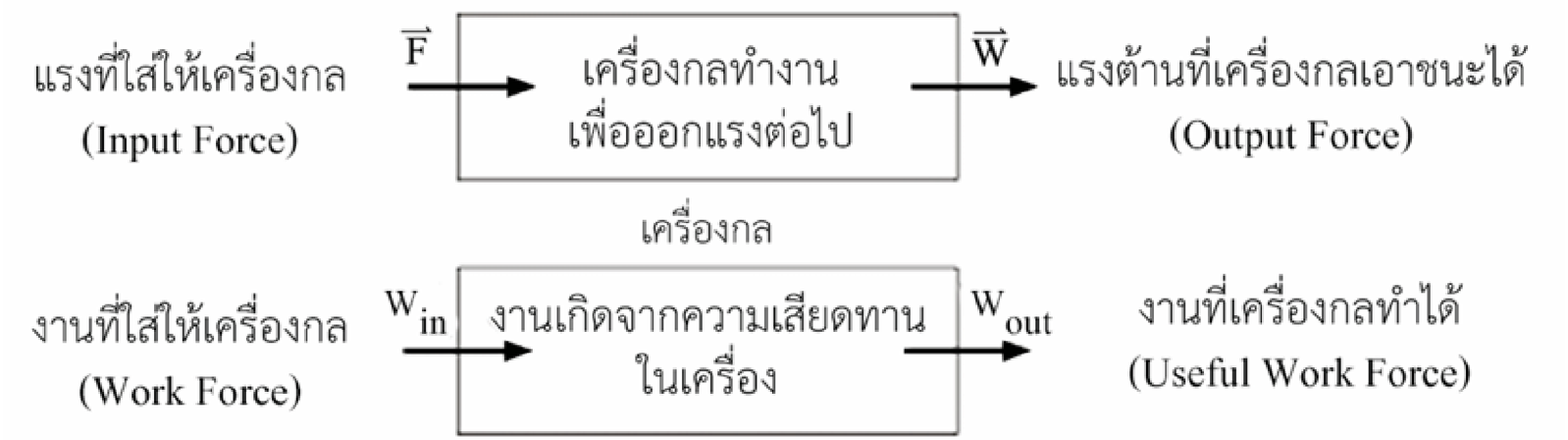
บทเรียนที่ 10

การประยุกต์ใช้ในงานเครื่องกล

วิชา กลศาสตร์เครื่องกล

การได้เปรียบเชิงกล (Mechanical Advantage : MA)

การที่เครื่องกลสามารถทำให้ใช้แรงน้อยลงหรือเพิ่มความสามารถในการทำงานได้มากขึ้น
โดยการได้เปรียบนี้อาจมาจากการเปลี่ยนแปลงในทิศทางหรือขนาดของแรง
และงานที่ใช้ในการทำงานของเครื่องกลนั้น ๆ
ซึ่งเครื่องมือต่าง ๆ เช่น ล้อและเพลา, รอก, หรือแท่งยก
สามารถช่วยให้ใช้แรงน้อยลงในการยกหรือเคลื่อนย้ายวัตถุหนักได้
การคำนวณการได้เปรียบเชิงกลมีหลายวิธี
แต่หลักการสำคัญคือ การพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่ใช้ (Input Force)
กับแรงที่ได้ (Output Force) หรือระหว่างการเคลื่อนที่ของวัตถุ



การได้เปรียบเชิงกล คือ อัตราส่วนระหว่างแรงความต้านทานกับแรงความพยายาม

$$MA = \frac{W}{F}$$

MA คือ การได้เปรียบเชิงกล
W คือ แรงความต้านทานหรือภาระ
F คือ แรงความพยายาม

1.1 การได้เปรียบเชิงกลที่แท้จริงของเครื่องกล

การได้เปรียบเชิงกลจากนิยามนั้น เราเรียกกันโดยเฉพาะว่า การได้เปรียบเชิงกลแท้จริง (Actual Mechanical Advantage : AMA) เราพิจารณาจากขนาดของแรงโดยไม่คิดถึงทิศทางของแรง

$$AMA = \frac{W}{F}$$

เครื่องกลบางชนิด เช่น ประแจปากตาย หรือ แม่แรงยกรถยนต์ ถูกออกแบบมาเพื่อยกภาระที่หนักกว่าแรงที่เราออกหลายเท่า ทำให้มี AMA มากกว่า 1 ในทางกลับกัน เครื่องกลบางชนิด เช่น จักรยาน หรือ คีมคีบถ่าน มี AMA น้อยกว่า 1 ซึ่งหมายความว่าเราต้องออกแรงมากกว่าภาระที่ต้องการยกหรือเคลื่อนย้าย แต่เครื่องมือเหล่านี้ ยังคงอำนวยความสะดวกและประโยชน์ใช้สอยที่แตกต่างกันไป ทั้งนี้ ประสิทธิภาพของเครื่องกลที่ใช้งานจริงทั่วไปมักมีค่าน้อยกว่า 1 หรือน้อยกว่า 100% เสมอ

1.2 การได้เปรียบเชิงกลอุดมคติของเครื่องกล

เราเรียกการได้เปรียบเชิงกลของเครื่องกลชนิดนี้ว่าการได้เปรียบเชิงกลอุดมคติ (Ideal Mechanical Advantage : IMA) เราพิจารณาหา IMA ได้ดังนี้ ถ้าในเวลา t แรงความพยายาม $\vec{F}$ เคลื่อนที่เป็นระยะทาง H และแรงความต้านทาน $\vec{W}$ เคลื่อนที่เป็นระยะทาง h เนื่องจากประสิทธิภาพของเครื่องกลอุดมคติมีค่าเท่ากับ 1 หรือ 100% เพราะงานที่แรงพยายาม กระทำเท่ากับงานที่เครื่องกลทำให้เกิดประโยชน์ คือ FH = Wh

$$\frac{W}{F} = \frac{H}{h}$$

ค่าของ $\frac{W}{F}$ คือ การได้เปรียบเชิงกลของเครื่องกล และค่านี้มีค่าเท่ากับ $\frac{H}{h}$ เฉพาะเมื่อเครื่องกลเป็นเครื่องกลอุดมคติเท่านั้น (เครื่องกลธรรมดามีค่าไม่เท่ากัน) ดังนั้นจึงเรียกชื่อเฉพาะว่า การได้เปรียบเชิงกลอุดมคติ

$$IMA = \frac{H}{h} = \frac{\text{ระยะทางที่แรง F เคลื่อนที่}}{\text{ระยะทางที่แรง W เคลื่อนที่}}$$

เนื่องจากระยะทาง H และ h นี้ต่างเกิดในเวลา t เท่ากัน ค่า H จึงเรียกได้อีกอย่างหนึ่งว่า อัตราส่วนความเร็ว (V)

$$IMA = \frac{H}{h} = V$$

ในความเป็นจริงของการใช้เครื่องกลนั้น จะใช้แรงความพยายามมีค่าน้อยโดยได้ระยะทางมาก เพื่อให้ได้งานมาก เมื่อผ่านเครื่องกลแล้ว เครื่องกลทำให้ชนะแรงความต้านทานซึ่งมีค่ามาก โดยใช้ระยะทางน้อยกว่า แต่ได้งานเท่าเดิม ดังนั้น $H > h$ เสมอ

1.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง AMA และ IMA ในเครื่องกลที่ปรากฏขึ้นจริง

1. เนื่องจากเครื่องกลจริงที่ใช้งานโดยทั่วไปนั้นมีความฝืดอยู่ในเครื่องกลเสมอ ดังนั้นการได้เปรียบเชิงกลอุดมคติย่อมมีค่ามากกว่าการได้เปรียบเชิงกลแท้จริงเสมอ IMA > AMA

2. ประสิทธิภาพของเครื่องกลจริง ๆ อาจจะหาได้โดยการเปรียบเทียบค่าของการได้เปรียบเชิงกลแท้จริง (AMA) และการได้เปรียบเชิงกลอุดมคติ (IMA) ดังนั้น

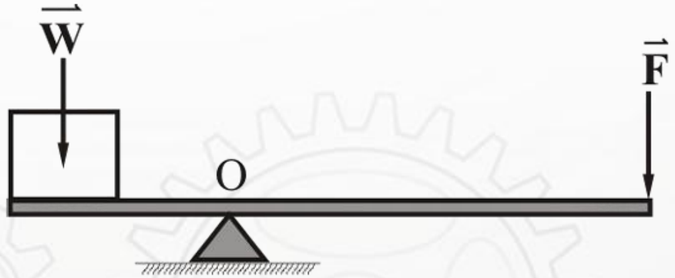
$$\eta = \frac{\text{งานที่เป็นประโยชน์}}{\text{งานที่แรงพยายามกระทำ}} = \frac{Wh}{FH} = \frac{AMA}{IMA}$$

$$\eta = \frac{AMA}{IMA} = \frac{AMA}{V}$$

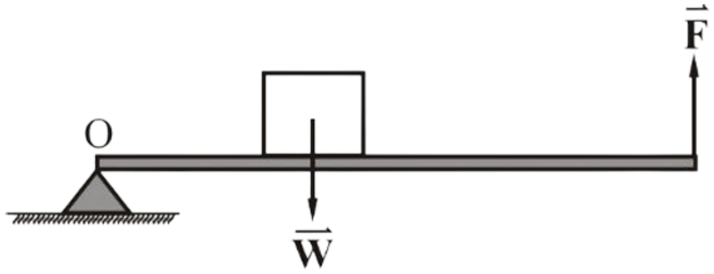
2 การประยุกต์ใช้ในเครื่องกล

ถ้าแรงพยายามออกแรงกระทำที่จุดจุดหนึ่ง แล้วส่งผลกระทำไปเอาชนะภาระหรือน้ำหนักบรรทุกที่จุดอีกจุดหนึ่ง เรียกว่า คาน ซึ่งคานอาจหมายถึงวัตถุที่แข็งแรงใด ๆ ที่หมุนรอบแกนที่จุดหนึ่ง โดยคานแบบง่ายที่สุดที่นิยมใช้กัน คือ แท่งเหล็กกลมที่เรียกว่าชะแลง คานอาศัยหลักของทอร์ก (หลักของโมเมนต์) แบ่งเป็น 3 แบบ ได้แก่

แบบที่ 1 มีจุดหมุนระหว่าง $\vec{F}$ กับ $\vec{W}$ เช่น คีม กรรไกร ชะแลงงัดตะปู ตาชั่งจีน



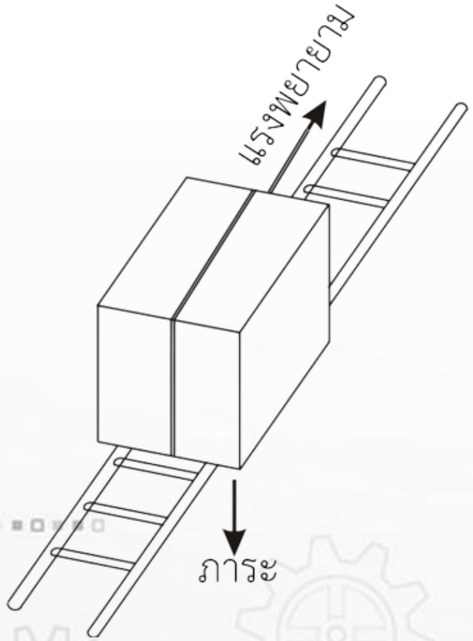
แบบที่ 2 มี $\vec{W}$ อยู่ระหว่างจุดหมุนกับ $\vec{F}$ เช่น มีดตัดกระดาษ รถเข็นดิน

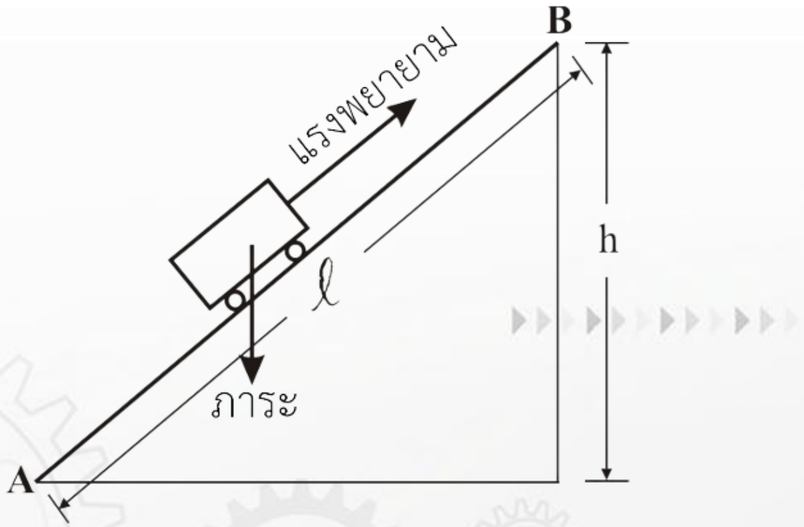


แบบที่ 3 มี $\vec{F}$ อยู่ระหว่างจุดหมุนกับ $\vec{W}$ ซึ่งแบบนี้จะเสียเปรียบเชิงกล เช่น แหนบถอนหนวด คีมคีบถ่าน ตะเกียบ พลั่วตักดิน วงเวียน ปากกาช้อนส้อม

2.2 ระนาบเอียง

วัตถุที่มีน้ำหนักมาก อาจยกขึ้นไปยังที่สูงโดยการลากไปตามพื้นเอียงได้ง่ายกว่าการยกขึ้นในแนวดิ่ง โดยพื้นที่เอียงนี้เรียกว่า ระนาบเอียง การยกหีบห่อหนัก ๆ ขึ้นไปบนรถบรรทุกมักลากขึ้นไปตามระนาบเอียงที่ใช้บันไดวางพาด ดังรูป หรือจะใช้ไม่กระดานวางพาดเป็นระนาบเอียงก็ได้





จากรูปจะแสดงการลากวัตถุ (ภาระ) ขึ้นไปตามระนาบเอียง AB เมื่อลากวัตถุขึ้นไปสูง h ก็จะต้องออกแรงพยายามเป็นระยะทางเท่ากับความยาว ℓ ของระนาบเอียง และจะต้องทำความเข้าใจให้ถูกต้องว่า ระยะทางที่เอาชนะภาระ (น้ำหนักของวัตถุ) คือ h ไม่ใช่ ℓ เพราะว่าน้ำหนักของวัตถุกระทำในแนวดิ่งจากบนลงล่าง จากรูปที่แสดงการได้เปรียบเชิงกลอุดมคติ (IMA) คือ

$$\text{IMA} = \frac{\text{ระยะทางที่แรงพยายามเคลื่อนที่}}{\text{ระยะที่วัตถุขึ้น}}$$

$$= \frac{\text{งานที่เป็นประโยชน์}}{\text{งานที่แรงพยายามกระทำ}}$$

$$\text{IMA} = \frac{\ell}{\text{h}}$$

โดยจากสมการก่อนหน้าสามารถหาได้จากหลักของงาน เมื่อไม่คิดความเสียดทาน คือ

น้ำหนัก × ระยะทางที่ภาระเคลื่อนที่ = แรงพยายาม × ระยะทางที่แรงพยายามเคลื่อนที่

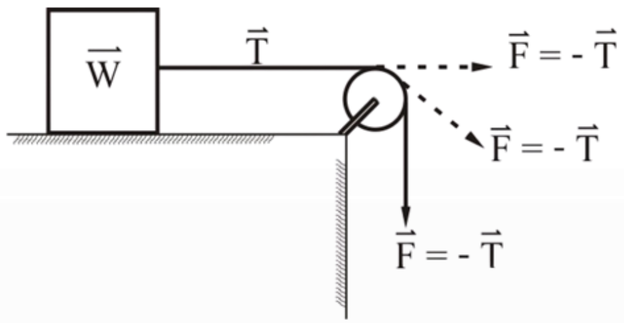
$$\text{ประสิทธิภาพของระนาบเอียง} = \frac{\text{งานที่เป็นประโยชน์}}{\text{งานที่แรงพยายามกระทำ}}$$

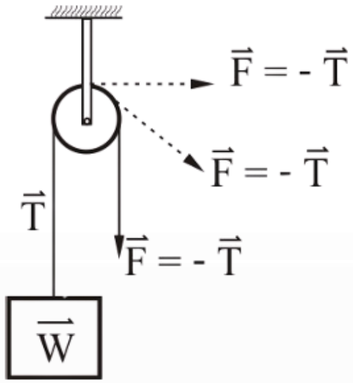
$$\text{ประสิทธิภาพของระนาบเอียง} = \frac{W \times \text{ความสูงของระนาบเอียง}}{F \times \text{ความยาวของระนาบเอียง}}$$

2.3 รอก

ล้อที่มีร่องตรงกลางขอบ ซึ่งอาจจะประกอบเป็นชุดหลายตัวติดกัน ใช้เชือกคล่องผ่านรอก เพื่อช่วยในการออกแรงดึงหรือยกน้ำหนัก

1 **รอกเดี่ยวตายตัว (Fixed Pulley)** คือ รอกตัวเดียวที่ติดอยู่ในลักษณะต่าง ๆ ดังรูป ซึ่งรอกนี้เคลื่อนที่ไม่ได้ มีประโยชน์ในการเลี้ยวทิศของแรงไปในแนวต่าง ๆ

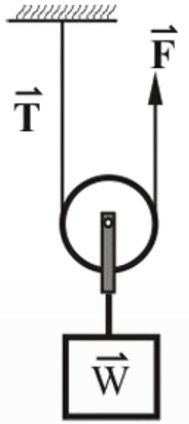




รอกนี้ไม่มีผลในทางเปลี่ยนค่าของแรงแต่อย่างใด ถ้าความตึงของเชือก = $\vec{T}$

ดังนั้น แรงความพยายาม $\vec{F} = -\vec{T}$ เสมอ

2 รอกเดี่ยวเคลื่อนที่ (Movable Pulley) ในการคำนวณโดยทั่วไปเรามักจะไม่คิดน้ำหนักของรอกและความเสียดทาน เพราะส่วนมากรอกเบาและมีความเสียดทานน้อย ดังรูป



รูปที่ 10.11

ถ้าใช้แรง $\vec{F}$ ดึงปลายเชือกในทิศดิ่งขึ้น

$\vec{T}$ เป็นแรงดึงในเส้นเชือกที่คล้องผ่านรอกซึ่งมีน้ำหนัก $\vec{W}$ ติดอยู่

เมื่อรอกอยู่นิ่งหรือเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสม่ำเสมอ

$$\vec{F} = -\vec{T}$$

ถ้าพิจารณาเฉพาะขนาดของ F และ T จะได้ว่า

$$F = T \text{ และ } 2T = W$$

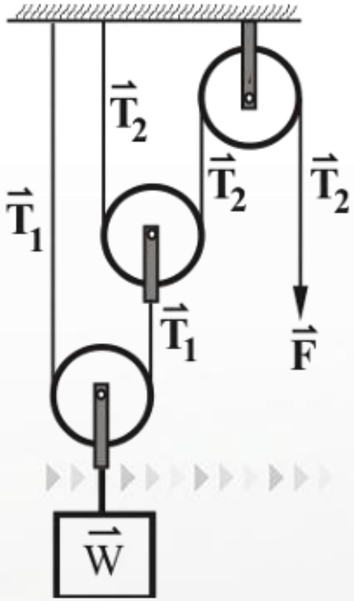
นั่นคือ IMA ของรอก $= \frac{W}{F} = 2 =$ จำนวนเส้นเชือกที่ดึงรอกในทิศดิ่งขึ้นนั่นเอง

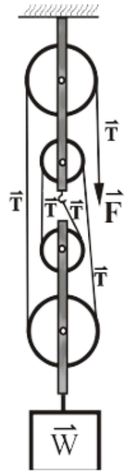
3 **รอกพวง (Block Pulley)** คือ การใช้รอกหลายตัวร่วมกันเป็นระบบเดียว เพื่อเพิ่มการได้เปรียบเชิงกล และลดแรงที่ต้องใช้ในการยกหรือเคลื่อนย้ายวัตถุหนัก นิยมใช้ระบบรอกพวงแบบ 3 รอก (Triple Pulley System) โดยเมื่อรอกเบาและไม่คิดความเสียดทาน สามารถหา IMA ของแต่ละระบบได้ดังนี้

ระบบที่ 1 จะได้ความสัมพันธ์ คือ $2T_1 = W$ และ $T_1 = 2T_2 = 2F$

ดังนั้น $W = 4F$

$$IMA = \frac{W}{F} = 4$$

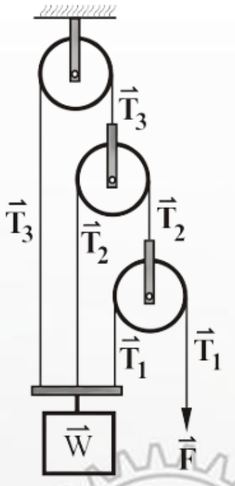




ระบบที่ 2 จะได้ความสัมพันธ์ คือ $4T = W$ และ $T = F$

ดังนั้น $W = 4F$

$$IMA = \frac{W}{F} = 4$$



ระบบที่ 3 จะได้ความสัมพันธ์ คือ $T_1 + T_2 + T_3 = W$

และ $T_1 = F, \quad T_2 = 2T_1 = 2F, \quad T_3 = 2T_2 = 4F$

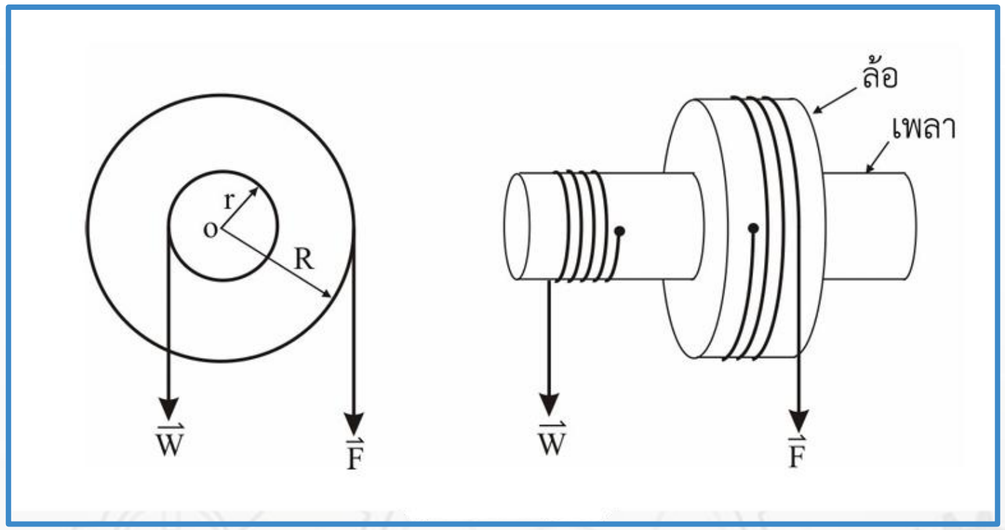
ดังนั้น $W = F + 2F + 4F$

$$= 7F$$

$$IMA = \frac{W}{F} = 7$$

2.4 ล้อกับเพลา

เป็นเครื่องกลอย่างง่าย ซึ่งประกอบไปด้วยวัตถุทรงกระบอกสองอันติดกัน และหมุนรอบแกนเดียวกัน ที่มีรูปทรงกระบอกอันใหญ่ เรียกว่า ล้อ (Wheel) ส่วนอันเล็ก เรียกว่า เพลา (Axle) มีเชือก 2 เส้น เส้นหนึ่งพันไว้ที่เพลาโดยมีปลายหนึ่งยึดก่อนน้ำหนักที่จะยกขึ้น ซึ่งเชือกทั้งสองจะต้องพันสวนทิศทางกัน ดังนั้นเมื่อล้อหมุน 1 รอบ เพลาก็จะหมุนไป 1 รอบเช่นเดียวกัน ดังรูป



การได้เปรียบเชิงกลอุดมคติ คือ $$IMA = \frac{\text{งานที่เป็นประโยชน์}}{\text{งานที่แรงพยายามกระทำ}}$$

$$= \frac{2\pi R}{2\pi r}$$

$$IMA = \frac{R}{r}$$

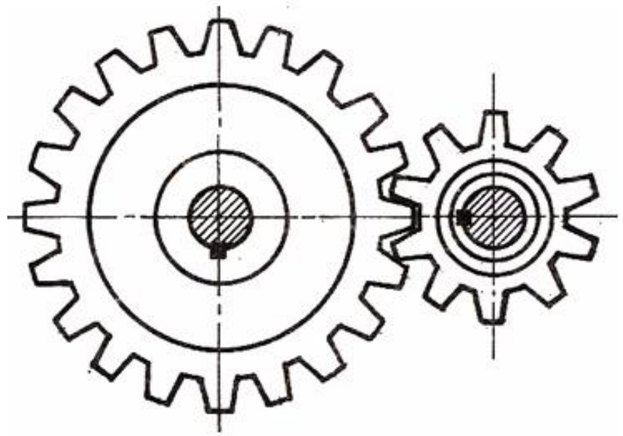
เมื่อ $\vec{F}$ คือ แรงพยายาม

$\vec{W}$ คือ แรงต้านทาน หรือน้ำหนักวัตถุที่ยก

R คือ รัศมีของล้อ

r คือ รัศมีของเพลา

การประยุกต์ใช้หลักการของล้อและเพลาในวงการอุตสาหกรรมสมัยใหม่ ผ่านการใช้เกียร์บ็อกซ์ (Gear–box) ช่วยให้การควบคุมแรงบิดและอัตราเร็วเป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยการเลือกใช้เกียร์ที่มีขนาดต่างกัน ทำให้สามารถปรับแรงบิดและอัตราเร็วได้ตามความต้องการของงาน ทั้งในงานที่ต้องการแรงบิดที่อัตราเร็วต่ำจะได้เปรียบเชิงกลสูง หรือที่อัตราเร็วสูงจะได้เปรียบเชิงกลต่ำ แสดงดังรูป

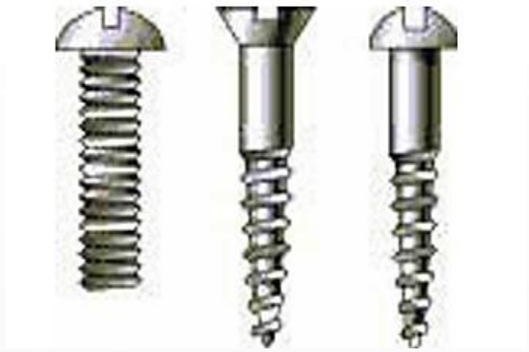


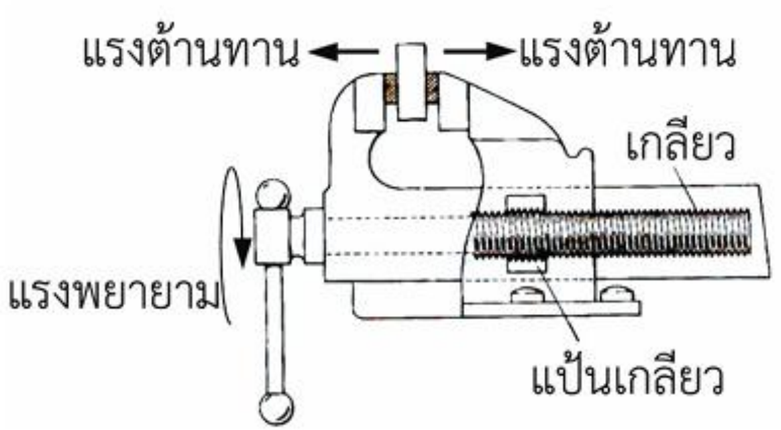
โดยสำหรับล้อฟันเฟืองนั้น จากแรงพยายามและน้ำหนักวัตถุกระทำที่เพลาเกียร์ จะได้สมการ การได้เปรียบเชิงกล คือ

$$\text{IMA} = \frac{\text{จำนวนฟันในล้อที่ใช้ในการขับเคลื่อน}}{\text{จำนวนฟันในล้อที่ได้รับกำลังจากเครื่อง}}$$

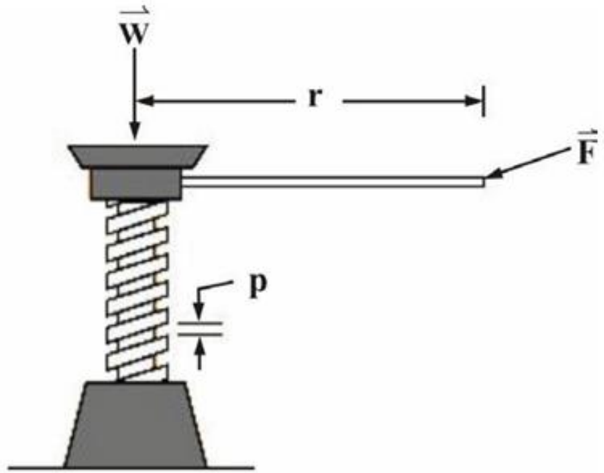
2.5 สกรู

สกรู (Screw) มีประโยชน์ในการยึดสิ่งของต่าง ๆ เข้าด้วยกัน มีลักษณะเป็นแท่งทรงกระบอกตัน มีเกลียวรอบตัว เช่น ตะปูเกลียว แม่แรงยกรถ สว่าน ชิ้นส่วนในเครื่องกลึง





การทำงานของสกรูนั้นจะเคลื่อนที่ในลักษณะทีละระยะเกลียว (Pitch) เมื่อหมุนหัวสกรูไป 1 รอบ สกรูจะเคลื่อนที่ขึ้น–ลง เป็นระยะทางเท่ากับ 1 ระยะเกลียว (Pitch) พอดี แสดงดังรูป



เมื่อ $\vec{W}$ คือ แรงต้านทานของวัตถุ

$\vec{F}$ คือ แรงพยายามที่ให้แก่สกรู

p คือ ความกว้างของระยะเกลียวแต่ละเกลียว

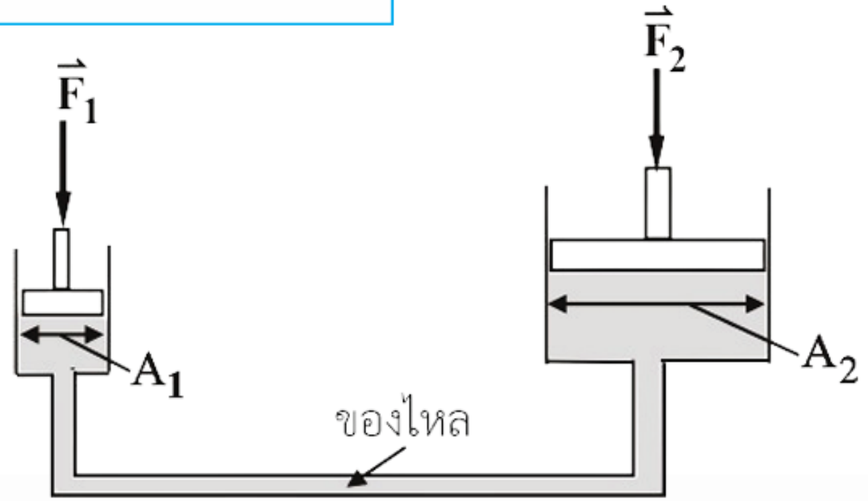
r คือ รัศมีของแรงพยายามกระทำให้สกรูเคลื่อนที่ไปเป็นวงกลม

จะได้สมการ $F \times 2\pi r = W \times p$

$$\frac{W}{F} = \frac{2\pi r}{p} = AMA$$

2.6 เครื่องอัดไฮดรอลิก

เมื่อบรรจุของไหลไว้เต็มภาชนะพอดี
และมีความดันกระทำต่อผิวของของไหล ณ จุดใดก็ตาม
ความดันนั้นจะถ่ายทอดออกไปเท่า ๆ กัน ตลอดทั่วก้อนของ
ของไหลในภาชนะปิดนั้น
นี่คือ หลักของพาสคัล (Pascal's Principle)



ความดันที่ลูกสูบเล็ก = ความดันที่ลูกสูบใหญ่

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$$

เครื่องอัดไฮดรอลิกแบบง่ายที่สุด ประกอบด้วยกระบอกสูบและลูกสูบที่มีท่อจากกระบอกสูบใหญ่
ต่อไปยังกระบอกสูบเล็กกว่า น้ำมันในอ่างจะถูกสูบอัดเข้าไปในกระบอกสูบและลูกสูบ (เครื่องกระทุ้ง)
ซึ่งจะมีแรงกระทำสูงมาก มีลิ้นหนึ่งตัวสำหรับไว้ปล่อยลดความดัน
และยอมให้น้ำมันไหลกลับไปยังอ่าง ภายหลังที่เครื่องอัดทำงานเสร็จ
การได้เปรียบเชิงกลอุดมคติระหว่างกระบอกสูบทั้งสองของระบบไฮดรอลิก หาได้โดยใช้หลักที่ว่า
ปริมาตรของของไหลถูกสูบอัดออกไปย่อมเท่ากับปริมาตรของของไหลที่เข้ามาในลูกสูบใหญ่

ถ้า S_S = ระยะทางที่ลูกสูบเล็กเคลื่อนที่

S_B = ระยะทางที่ลูกสูบใหญ่ที่เคลื่อนที่ เมื่อคำนวณปริมาตรแล้วออกมาเท่ากัน จะได้

$$S_S \times \text{พื้นที่ของลูกสูบเล็ก} = S_B \times \text{พื้นที่ของลูกสูบใหญ่}$$

$$IMA = \frac{S_S}{S_B}$$

$$IMA = \frac{\text{งานที่เป็นประโยชน์}}{\text{งานที่แรงพยายามกระทำ}}$$

เมื่อ R = รัศมีของสูบใหญ่
r = รัศมีของสูบเล็ก

$$IMA = \frac{\pi R^2}{\pi r^2} = \frac{R^2}{r^2}$$

สมการนี้เป็นค่าของการได้เปรียบเชิงกลอุดมคติ ระหว่างลูกสูบทั้งสองเท่ากัน ถ้าต้องการ การได้เปรียบเชิงกลอุดมคติทั้งหมดจะต้องเอาค่า IMA ของคาน ที่ใช้กดสูบเล็กมาคูณเข้ากับ $\frac{R^2}{r^2}$ อีกด้วย