3.2 การดลและแรงดล (Impulse and Impulsive force)

การที่วัตถุจะเปลี่ยนแปลงสภาพการเคลื่อนที่ (โมเมนตัม) ได้นั้น หมายความว่าวัตถุจะต้องมีแรงภายนอกมากระทำต่อวัตถุ ซึ่งขนาดของแรงแรงที่มากระทำจะมากหรือน้อยก็สามารถดูได้จากขนาดของโมเมนตัมที่เปลี่ยนไป นอกจากนี้ยังอาจพิจารณาได้จากช่วงเวลาที่แรงนั้นกระทำต่อวัตถุ ถ้าโมเมนตัมที่เปลี่ยนไปมีค่าคงตัว จะได้ความสัมพันธ์ว่า **ถ้าช่วงเวลาที่เปลี่ยนโมเมนตัมมีค่าน้อย ๆ แรงที่กระทำจะมีค่ามาก ๆ และถ้าช่วงเวลาที่เปลี่ยนโมเมนตัมมีค่ามาก แรงที่กระทำต่อวัตถุจะมีค่าน้อย**

ดังนั้นแรงที่ใช้ในการเปลี่ยนสภาพการเคลื่อนที่ของวัตถุ จะมากหรือน้อย นอกจากจะขึ้นอยู่กับมวลและความเร็วของวัตถุแล้ว ยังขึ้นอยู่กับช่วงเวลาที่แรงนั้นกระทำด้วย

ถ้า $\vec{F}$ เป็นแรงคงตัวที่กระทำต่อวัตถุ เพื่อเปลี่ยนโมเมนตัมของวัตถุในช่วงเวลาน้อย ๆ (Δt น้อย ๆ) เราจะเรียนแรง $\vec{F}$ นั้นว่า แรงดล (Impulsive force) ดังสมการ 3.2 – 1 และผลคูณของแรง $\vec{F}$ กับเวลา Δt ($\vec{F}\cdot\Delta t$) เรียกว่า การดล (Impulse) ใช้สัญลักษณ์ " I " ดังสมการ 3.2 – 2 และ 3.2 – 3

$$\vec{F} = \frac{m\vec{v}-m\vec{u}}{\Delta t} \quad \text{... 3.2 – 1}$$

$$\vec{F}\cdot\Delta t = m\vec{v}-m\vec{u} \quad \text{... 3.2 – 2}$$

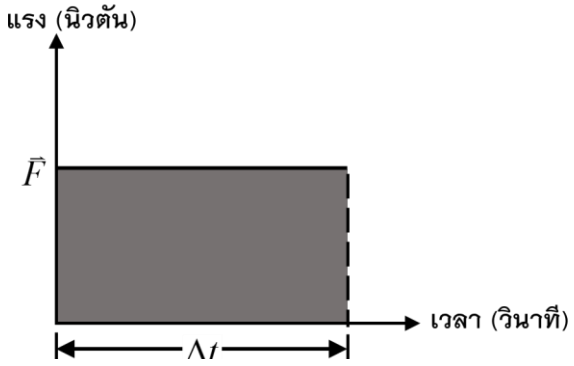
$$I = \Delta P \quad \text{... 3.2 – 3}$$

จากสมการ 3.2 – 1 อาจให้ความหมายของแรงดลได้ว่าเป็น **อัตราการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมในหนึ่งหน่วยเวลา** และสมการ 3.2 – 2 การดลคือ **ขนาดของโมเมนตัมที่เปลี่ยนไป**

3.2.1 การหาการดลและโมเมนตัมที่เปลี่ยนไปจากกราฟระหว่าง F กับ t

1) การดลของแรงคงตัว

เมื่อมีแรงดล $\vec{F}$ ที่คงตัวกระทำต่อวัตถุมวล m ในช่วงเวลา Δt จะได้กราฟดังรูป 3.2 – 1



การหาโมเมนตัมของวัตถุที่เปลี่ยนไป (ΔP) หรือการดลหาได้จาก

จากการดล (I) หรือ ΔP = $\vec{F}\cdot\Delta t$ ... 3.2 – 4

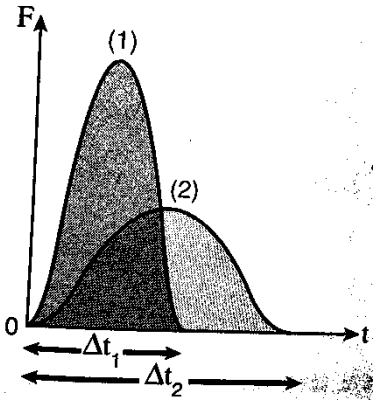
จากพื้นที่ใต้กราฟ = $\vec{F}\cdot\Delta t$ ... 3.2 – 5

สมการ 3.2 – 4 เท่ากับ สมการ 3.2 – 5 แสดงว่า

พื้นที่ใต้กราฟระหว่าง F และ t คือ การดล (I) หรือ ΔP

รูป 3.2 – 1 แสดงกราฟระหว่างแรงดลคงตัวและเวลา

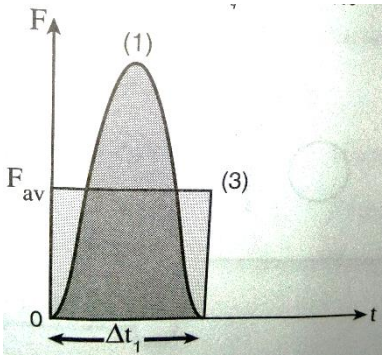
2) การดลของแรงไม่คงตัว



ภาพ 3.2 – 2 แสดงกราฟระหว่างขนาดของแรงและเวลาในขณะที่วัตถุกระทบกัน

เมื่อวัตถุสองสิ่งกระทบกัน เช่น ลูกบอลกระทบพื้นหรือไข่ตกกระทบพื้น รถชนกัน ฯลฯ แรงที่วัตถุกระทำต่อกัน ในช่วงเวลาของการกระทบกันจะไม่คงที่ ถ้าเขียนกราฟระหว่างขนาดของแรงและเวลาในขณะที่วัตถุกระทบกัน จะได้ดังภาพ 3.2 – 1 และได้ว่า พื้นที่ใต้กราฟ คือ ขนาดของการดลของวัตถุหรือขนาดของโมเมนตัมที่เปลี่ยนไป จากกราฟรูป (1) และ (2) เป็นการเปลี่ยนโมเมนตัม หรือการดลเท่ากัน แต่เวลาในการเปลี่ยนไม่เท่ากัน ดังนั้นลักษณะและการเปลี่ยนแปลงของแรงกระทำไม่เท่ากัน รูป (1) เปลี่ยนแปลงมากกว่า (2)

ในสมการ 3.2 – 2 แรง F ต้องเป็นแรงที่มีขนาดคงตัว แต่แรงที่กระทำในกราฟภาพ 3.2 – 2 ไม่คงตัว เราอาจทำให้คงตัวได้ด้วยการหาค่าเฉลี่ยของแรง F ดังกราฟภาพ 3.2 – 3 โดยพื้นที่ใต้กราฟรูป (1) และรูป (3) ต้องมีขนาดเท่ากัน F_{av} จากรูป (3) จะแทนขนาดของแรง F ในสมการ 3.2 – 2



ภาพ 3.2 – 3 แสดงการหาแรงเฉลี่ยจากการดล

สรุป การดล หรือโมเมนตัมที่เปลี่ยนไปเมื่อแรงกระทำไม่คงตัว มีค่าเท่ากับพื้นที่ใต้กราฟระหว่าง F กับ t

3.2.2 การหาการดลจากการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัม ($\Delta\vec{P}$)

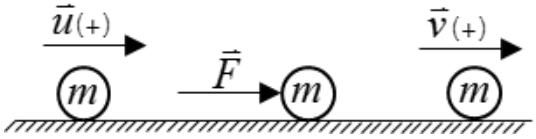
การหาการดลจากการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัม แยกคิดได้ 2 แบบ ดังนี้

1) เมื่อความเร็วก่อนเปลี่ยนและหลังเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมอยู่ในแนวเดียวกัน มีขั้นตอนดังนี้

1.1) วาดรูปแสดงการเคลื่อนที่ ณ ตำแหน่งก่อนเปลี่ยนและหลังเปลี่ยน

1.2) กำหนดทิศทางของ $\vec{u}$ และ $\vec{v}$ โดยให้ทิศทางของ $\vec{v}$ เป็นบวก (+) เสมอ ถ้า $\vec{u}$ มีทิศไปทางเดียวกับ $\vec{v}$ แล้ว $\vec{u}$ จะมีทิศเป็นบวก (+) แต่ถ้า $\vec{u}$ สวนทางกับ $\vec{v}$ แล้ว $\vec{u}$ จะมีทิศเป็นลบ (–)

ตัวอย่างเช่น วัตถุมวล m เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว $\vec{u}$ แล้วถูกแรง $\vec{F}$ กระทำเป็นเวลา t ทำให้ความเร็วเปลี่ยนเป็น $\vec{v}$ จะหาการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมและแรง $\vec{F}$ ที่กระทำดังภาพ 3.2 – 4 ถึง 3.2 – 6



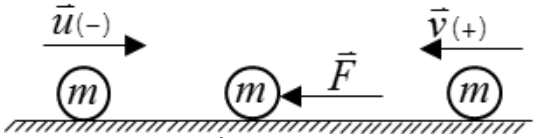
ภาพ 3.2 – 4 แสดงแรง $\vec{F}$ อยู่ในทิศทางเดียวกับ $\vec{u}$

จาก $\Delta\vec{P} = m\vec{v} - m\vec{u}$ ($v > u$)

$\Delta P = mv - mu$ (มีทิศ $\rightarrow$)

และ $\vec{F} = \dfrac{\Delta\vec{P}}{\Delta t}$

$F = \dfrac{mv - mu}{t}$ (มีทิศ $\rightarrow$) ... 3.2 – 6



ภาพ 3.2 – 5 แสดงเมื่อแรง $\vec{F}$ มีทิศตรงข้ามกับ $\vec{u}$

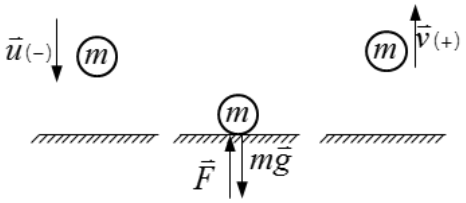
จาก $\Delta\vec{P} = m\vec{v} - m\vec{u}$ $(v < u)$

$\Delta P = mv - m(-u)$

$\Delta P = mv + mu$ (มีทิศ $\leftarrow$)

และ $\vec{F} = \dfrac{\Delta\vec{P}}{\Delta t}$

$F = \dfrac{mv + mu}{t}$ (มีทิศ $\leftarrow$) ... 3.2 – 7



ภาพ 3.2 – 6 เมื่อวัตถุตกในแนวดิ่ง

และ $\vec{F} = \dfrac{\Delta\vec{P}}{\Delta t}$

$F - mg = \dfrac{mv + mu}{t}$

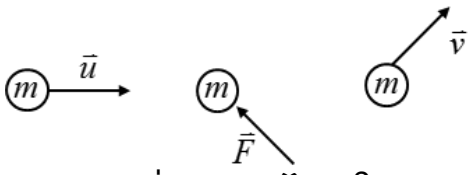
$F = \dfrac{mv + mu}{t} + mg$ ... 3.2 – 8

2) เมื่อความเร็วก่อนเปลี่ยนและความเร็วหลังเปลี่ยนอยู่คนละแนวกัน

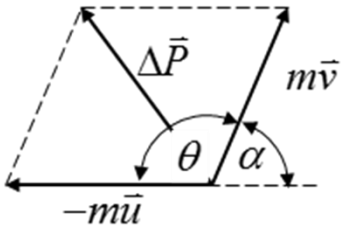
2.1) หาขนาดและทิศทางของ $m\vec{u}$ และ $m\vec{v}$ ก่อน

2.2) ใช้วิธีการทางเวกเตอร์หา $\Delta\vec{P}$, $\vec{F}$ ตามสมการ $\Delta\vec{P} = m\vec{v} - m\vec{u}$ และ $\vec{F} = \dfrac{\Delta\vec{P}}{\Delta t}$

ตัวอย่างเช่น วัตถุมวล m กำลังเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว $\vec{u}$ แล้วถูกแรง $\vec{F}$ กระทำในทิศทำมุมกับการเคลื่อนที่ ทำให้ความเร็วเปลี่ยนเป็น $\vec{v}$ ในทิศทำมุม α กับ $\vec{u}$ จะหาการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมได้ดังภาพ 3.2 – 7 และ 3.2 – 8



ภาพ 3.2 – 7 แสดงเมื่อแรง $\vec{F}$ ไม่อยู่ในแนวเดียวกับ $\vec{u}$



ภาพ 3.2 – 8 แสดงเวกเตอร์ของ $m\vec{u}$, $m\vec{v}$ และ $\Delta\vec{P}$

จากภาพ 3.2 – 7 สามารถหา $\Delta\vec{P}$ ได้โดยวาดรูปสี่เหลี่ยมด้านขนานดังภาพ 3.2 – 8 แล้วใช้สูตรคำนวณ ดังนี้

จาก $\Delta\vec{P} = m\vec{v} - m\vec{u}$

ได้ว่า $\Delta\vec{P} = \sqrt{(m\vec{v})^2 + (m\vec{u})^2 + 2(m\vec{v})(m\vec{u})\cos\theta}$ ... 3.2 – 9