

## บทที่ 2

### หลักการและทฤษฎี

ยานยนต์ประกอบไปด้วยชิ้นส่วนกลไก ซึ่งประกอบกันเป็นระบบต่างๆ อันได้แก่ ระบบขับเคลื่อน ระบบบังคับเลี้ยว ระบบช่วงล่าง และระบบอื่นๆ อีกมากมาย ทั้งนี้ในการออกแบบชิ้นส่วนและอุปกรณ์ของระบบที่จะใช้ในชุดกลไกปีนป่ายขั้นบันไดจำลองนี้ จะมีหลักการและทฤษฎีส่วนใหญ่เหมือนกับรถยนต์ทั่วไป แต่จะไม่ใช้หลักการบางส่วน เช่น การเผาไหม้เชื้อเพลิง ส่วนประกอบของเครื่องยนต์ ระบบตัดต่อกำลังหรือคลัชต์ และเพิ่มบางส่วนที่จำเป็นกับการออกแบบเช่นระบบวงจรควบคุมมอเตอร์ ซึ่งสามารถแบ่งออกได้ดังนี้

- 1) ระบบขับเคลื่อน ประกอบด้วย กำลังขับเคลื่อน, เพลา, เฟือง, ล้อ, มอเตอร์ และ แบตเตอรี่
- 2) โครงสร้าง ประกอบด้วย ตัวถัง, การเชื่อมต่อ, โรลลิงแบร์ริง
- 3) ระบบบังคับเลี้ยว ประกอบด้วย การควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์กระแสตรง ด้วยรีเลย์

ซึ่งหลักการและทฤษฎีต่างๆจะกล่าวละเอียดดังต่อไปนี้

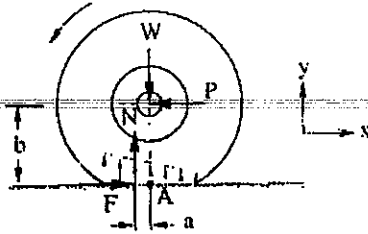
#### 2.1 ระบบขับเคลื่อน

##### 2.1.1 กำลังขับเคลื่อน

โดยจะพิจารณาจากแรงต้านทานการเคลื่อนที่ทั้งหมด เพื่อนำไปหาขนาดของมอเตอร์ โดยใช้มอเตอร์สองตัว ขับเคลื่อนล้อหน้าแยกซ้ายและขวาเพื่อความสะดวกในการบังคับเลี้ยวให้มีรัศมีวงเลี้ยวแคบ โดยที่แรงบิดของมอเตอร์ชุดนี้ต้องมีค่ามากกว่าแรงต้านทานการเคลื่อนที่ทั้งหมด โดยหลักการเกี่ยวกับกำลังขับเคลื่อนส่วนใหญ่จะพิจารณาเหมือนกับรถยนต์ ซึ่งการเคลื่อนที่ของรถยนต์จะต้องอาศัยแรงขับเคลื่อนที่ถ่ายทอดมาจากเครื่องยนต์จนถึงล้อรถยนต์ แรงขับเคลื่อนจะเกิดขึ้นที่บริเวณผิวสัมผัสระหว่างล้อกับถนนทำให้รถยนต์เคลื่อนที่ไปได้ เมื่อนำแรงขับเคลื่อนมาพิจารณา จะได้เป็นกำลังขับเคลื่อนได้ดังนี้

### 2.1.1.1 แรงต้านการเคลื่อนที่

แรงต้านการหมุนของล้อเนื่องจากยางรถยนต์และผิวถนน



รูปที่ 2.1 แรงต้านการหมุนล้อที่เกิดจากการขยุบตัวของยางซึ่งกึ่งอยู่บนพื้นแข็ง  
(ที่มา : วิศวกรรมยานยนต์, พิมพ์ครั้งที่ 3, ชีระยุทธ สุวรรณประทีป)

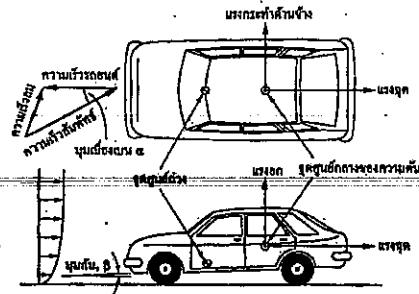
เมื่อ  $P$  เป็นแรงที่กระทำให้ล้อกลิ้งไปบนถนนด้วยความเร็วคงที่ แรงต้านการหมุนของล้อจะมีค่าเท่ากับแรง  $P$  ในขณะนั้น โดยที่  $F$  คือ แรงเสียดทานของพื้น  $N$  คือแรงปฏิกิริยาที่พื้น

แรงต้านการหมุนของล้อจะมีค่ามากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับสัดส่วนระหว่าง  $\frac{a}{b}$  และเรียกสัดส่วนนี้ว่า สัมประสิทธิ์แรงต้านการหมุนของล้อ (coefficient of rolling resistance) ใช้สัญลักษณ์  $K_r$  ดังนั้นถ้าเส้นผ่านศูนย์กลางของล้อน้อย แรงต้านการหมุนของล้อจะมีค่ามาก และถ้าเส้นผ่านศูนย์กลางของล้อมาก แรงต้านการหมุนของล้อจะมีค่าน้อย แรงต้านการหมุนของล้อจึงหาได้จากความสัมพันธ์ต่อไปนี้

$$R_r = K_r W \quad \dots\dots\dots(2.1)$$

- เมื่อ  $R_r$  คือ แรงต้านการหมุนของล้อ หน่วยเป็น N  
 $K_r$  คือ สัมประสิทธิ์แรงต้านการหมุนของล้อ  
 $W$  คือ น้ำหนักของรถยนต์ หน่วยเป็น N

## แรงต้านอากาศ



รูปที่ 2.2 แรงอากาศพลวัต (aerodynamic force) บนรถยนต์  
(ที่มา : วิศวกรรมยานยนต์, พิมพ์ครั้งที่ 3, ชีระยุทธ สุวรรณประทีป)

เนื่องจากความเร็วของรถยนต์และความเร็วของลม อาจมีทิศทางไม่อยู่ในเส้นตรงเดียวกัน ลมอาจพัดเข้าหารยนต์ในแนวเฉียง ทำให้ความเร็วสัมพัทธ์กับรถยนต์มีแนวเฉียงเบนเป็นมุม  $\alpha$  ดังนั้นจะมีแรงอากาศพลวัตกระทำต่อรถยนต์ซึ่งได้แก่ แรงกด (drag force) แรงกระทำด้านข้าง (side force) นอกจากนี้ยังมีแรงยก (lift force) อีกด้วย มุมก้ม (angle of incidence,  $\beta$ ) ของรถยนต์ และลักษณะของพื้นถนนจะมีผลอย่างมากต่อแรงยก

ลักษณะเฉพาะของแรงต้านอากาศที่กระทำกับตัวรถยนต์สามารถอธิบายได้ด้วยสมการต่อไปนี้

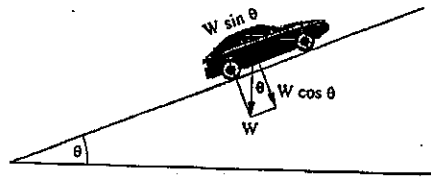
$$R_a = K_a AV^2 \quad \dots\dots\dots(2.2)$$

- เมื่อ  $R_a$  คือ แรงต้านทานอากาศ หน่วยเป็น N  
 $K_a$  คือ สัมประสิทธิ์ของแรงต้านทานของอากาศ  
 $A$  คือ พื้นที่หน้าตัดที่ต้านอากาศ หน่วยเป็น  $m^2$   
 $V$  คือ ความเร็วของรถยนต์ หน่วยเป็น m/s

### แรงต้านทางชัน

แรงต้านทางชันจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ

- 1) น้ำหนักของรถยนต์
- 2) ความชันของถนน



รูปที่ 2.3 แรงต้านทางชัน

(ที่มา : วิศวกรรมยานยนต์, พิมพ์ครั้งที่ 3, ธีระยุทธ สุวรรณประทีป)

น้ำหนัก (  $W$  ) ของรถยนต์สามารถแตกออกเป็นสองแนว ได้แก่  $W \sin \theta$  และ  $W \cos \theta$  แรงต้านทางชันเกิดจาก  $W \sin \theta$  คือ รถยนต์จะต้องเพิ่มแรงขับเคลื่อนเพื่อเอาชนะแรง  $W \sin \theta$  ดังนั้นแรงต้านทางชัน

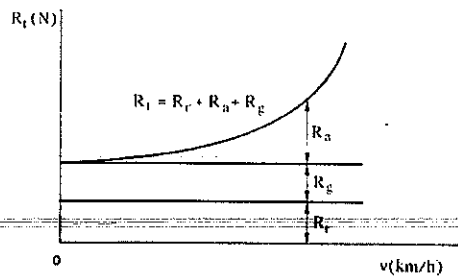
$$R_g = W \sin \theta \quad \dots\dots\dots(2.3)$$

**แรงต้านทั้งหมด**

เมื่อรวมแรงต้านการหมุนของล้อ แรงต้านอากาศ และแรงต้านทางชัน จะได้แรงต้านทั้งหมดของรถยนต์ในขณะที่กำลังวิ่งขึ้นทางชัน (ถ้ารถยนต์วิ่งบนถนนระดับ แรงต้านทั้งหมดจะมีเพียงแรงต้านการหมุนของล้อและแรงต้านอากาศ) ดังนั้นจะได้

$$R_t = R_r + R_a + R_g \quad \dots\dots\dots(2.4)$$

- เมื่อ  $R_t$  คือ แรงต้านทั้งหมด มีหน่วยเป็น N  
 $R_r$  คือ แรงต้านการหมุนของล้อ มีหน่วยเป็น N  
 $R_a$  คือ แรงต้านอากาศ มีหน่วยเป็น N  
 $R_g$  คือ แรงต้านทางชัน มีหน่วยเป็น N



รูปที่ 2.4 แรงต้านการเคลื่อนที่ทั้งหมด

(ที่มา : วิศวกรรมยานยนต์, พิมพ์ครั้งที่ 3, ชีระยุทธ สุวรรณประทีป)

จากรูป 2.4 จะเห็นว่าเมื่อความเร็วข้อมรถเพิ่มขึ้นแรงต้านทั้งหมดจะเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งในส่วนของแรงต้านทางชันและแรงต้านการหมุนของล้อจะคงที่ แต่แรงต้านอากาศจะเพิ่มขึ้นตามความเร็วของรถ

#### 2.1.1.2 แรงขับเคลื่อน

แรงขับเคลื่อนที่ล้อสามารถหาได้จากกำลังเครื่องยนต์ หรือในทางกลับกันก็สามารถหา กำลังเครื่องยนต์ได้จากแรงขับเคลื่อนที่ล้อ โดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังเครื่องยนต์กับทอร์กของเครื่องยนต์ดังต่อไปนี้

$$P_e = 2\pi N T_e \quad \dots\dots\dots(2.5)$$

เมื่อ  $P_e$  คือ กำลังของเครื่องยนต์ มีหน่วยเป็นวัตต์ (W)

$N$  คือ อัตราเร็วรอบของเครื่องยนต์ มีหน่วยเป็นรอบต่อวินาที (rpm)

$T_e$  คือ ทอร์กของเครื่องยนต์ มีหน่วยเป็นนิวตัน-เมตร (Nm)

ทอร์กจากเครื่องยนต์ที่ถ่ายทอดไปยังล้อขับเคลื่อนจะมีบางส่วนสูญเสียไปในกระบวนการถ่ายเทกำลัง แต่ทอร์กเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากอัตราทดเฟือง ดังนั้นเมื่อรวมทั้งหมดแล้วจะได้ความสัมพันธ์ระหว่างทอร์กของเครื่องยนต์ดังนี้

$$T_w = \frac{\eta_{t \& g} i_f T_e}{100} \quad \dots\dots\dots(2.6)$$

เมื่อ	$T_w$	คือ ทอร์กที่ล้อขับเคลื่อน มีหน่วยเป็น Nm
	$\eta_t$	คือ ประสิทธิภาพการถ่ายทอดกำลัง มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์
	$i_g$	คือ อัตราทดเฟืองของห้องเกียร์
	$i_f$	คือ อัตราทดเฟืองของชุดเฟืองท้าย
	$T_e$	คือ ทอร์กที่เครื่องยนต์ มีหน่วยเป็น Nm

ทอร์กที่ล้อขับเคลื่อนสามารถเปลี่ยนเป็นแรงขับเคลื่อนได้โดยใช้สูตรดังนี้

$$F = \frac{T_w}{r} \quad \text{.....(2.7)}$$

เมื่อ	$F$	คือ แรงขับเคลื่อน มีหน่วยเป็น N
	$T_w$	คือ ทอร์กที่ล้อขับเคลื่อน มีหน่วยเป็น Nm
	$r$	คือ รัศมีของยางรถยนต์ มีหน่วยเป็น m

ดังนั้นเมื่อรวมสูตรทั้งสองเข้าด้วยกันจะสามารถหาแรงขับเคลื่อนได้ดังนี้

$$F = \frac{\eta_t i_g i_f T_e}{100r} \quad \text{.....(2.8)}$$

หรือ

$$F = \frac{\eta_t i_o T_e}{100r} \quad \text{.....(2.9)}$$

เมื่อ  $i_o = i_g \cdot i_f$  คือ อัตราทดเฟืองรวมทั้งหมด (overall gear ratio)

### 2.1.1.3 กำลังที่ใช้ในการขับเคลื่อน

จากกฎข้อที่หนึ่งของนิวตัน สามารถสรุปได้ว่าในขณะที่รถยนต์กำลังเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงที่นั้น แรงขับเคลื่อนจะมีค่าเท่ากับแรงต้านทั้งหมดในขณะนั้น

ดังนั้น  $\text{แรงขับเคลื่อน (F)} = \text{แรงต้านทั้งหมด (R}_t\text{)}$

สามารถหากำลังขับเคลื่อนที่ล้อรถยนต์ได้โดยใช้แรงขับเคลื่อนคูณกับอัตราเร็วของรถยนต์ในขณะนั้น ดังนั้นจะได้

$$P_w = Fv \quad \text{.....(2.10)}$$

- เมื่อ  $P_w$  คือ กำลังขับเคลื่อนที่ล้อ มีหน่วยเป็น W  
 $F$  คือ แรงขับเคลื่อน มีหน่วยเป็น N  
 $v$  คือ อัตราเร็วของรถยนต์ มีหน่วยเป็น m/s

จากกำลังขับเคลื่อนที่ล้อ สามารถหาคำลังของเครื่องยนต์ได้ เนื่องจากการถ่ายทอดกำลัง จะมีการสูญเสียกำลังไปบางส่วน ดังนั้นเมื่อหาย้อนกลับไปที่เครื่องยนต์จะต้องมีค่ามากกว่ากำลังขับเคลื่อนที่ล้อ ดังนั้นจะได้

$$P_e = \frac{100P_w}{\eta_t} \quad \dots\dots\dots(2.11)$$

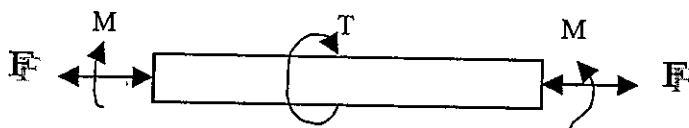
หรือสามารถเขียนได้ดังนี้

$$P_e = \frac{100Fv}{\eta_t} \quad \dots\dots\dots(2.12)$$

- เมื่อ  $P_e$  คือ กำลังของเครื่องยนต์ มีหน่วยเป็น W  
 $\eta_t$  คือ ประสิทธิภาพการถ่ายทอดกำลัง มีหน่วยเป็น %

### 2.1.2 เพลลา

เป็นชิ้นส่วนที่สำคัญในการส่งถ่ายกำลังสำหรับชุดกลไกปืนป่ายบันไดจำลองชุดนี้ซึ่งเพลลาจะติดกับเฟืองที่รับกำลังมาจากมอเตอร์ และส่งต่อไปยังล้อแต่ละล้อ นอกจากนั้นเพลลายังทำหน้าที่รองรับน้ำหนักของกลไกชุดนี้อีกด้วยพิจารณาเพลลาเป็นท่อนยาวและกลวง โดยมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในและภายนอกเท่ากับ  $d_i$  และ  $d_o$  ตามลำดับ ความเค้นต่างๆที่เกิดขึ้นบนเพลลามีดังนี้คือ



รูปที่ 2.5 เพลลาอยู่ภายใต้แรงต่างๆ

(ที่มา : การออกแบบเครื่องจักรกลเล่ม 1, พิมพ์ครั้งที่ 10, วริทธิ์ อึ้งภากรณ์)

ความเค้นดึงหรือกด 
$$\sigma_a = \frac{4F}{\pi(d_o^2 - d_i^2)} \quad \dots\dots\dots(2.13)$$

ความเค้นดัด 
$$\sigma_b = \frac{Mc}{I} = \frac{32Md}{\pi(d^4 - d_i^4)} \dots\dots\dots(2.14)$$

ความเค้นเฉือน 
$$\tau_{xy} = \frac{Tr}{J} = \frac{16Td}{\pi(d^4 - d_i^4)} \dots\dots\dots(2.15)$$

ในกรณีที่เป็นแรงกด อาจจะมีควมโค้งโก่งงอได้ ( buckling ) ได้ดั่งนั้นสมการที่ (2.13)

จะกลายเป็น

$$\sigma_a = \frac{4\alpha F}{\pi(d^2 - d_i^2)} \dots\dots\dots(2.16)$$

เพลส่วนมากจะหมุนอยู่ตลอดเวลา ดั่งนั้นเพลจึงเกิดความเสียหายเนื่องมาจากความล้า เป็นส่วนใหญ่ ดั่งนั้นต้องมีตัวประกอบความล้า ( fatigue factor ) มาเกี่ยวข้องกับด้วย

ถ้าให้  $C_m$  = ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการดัด

$C_t$  = ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการบิด

ดั่งนั้นสมการที่ (2.14) และสมการที่ (2.15) จึงกลายเป็น

$$\sigma_b = \frac{32C_m Md}{\pi(d^4 - d_i^4)} \dots\dots\dots(2.17)$$

และ 
$$\tau_{xy} = \frac{16C_t Td}{\pi(d^4 - d_i^4)} \dots\dots\dots(2.18)$$

ความเค้นกดหรือความเค้นดึงรวมคือ

$$\sigma = \sigma_a + \sigma_b \dots\dots\dots(2.19)$$

จากทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด

$$\tau = \left[ \tau_{xy}^2 + \left( \frac{\sigma}{2} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots(2.20)$$

แทนค่าสมการที่ (2.16), (2.17), (2.18) และสมการที่ (2.19) ลงในสมการข้างบนนี้แล้วจัดรูปใหม่จะได้

$$d^3 = \frac{16}{\pi\tau(I-K)} \left[ (C_t T)^2 + \left( \frac{\alpha F d (I+K^2)}{8} + (C_m M) \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots(2.21)$$



โดยที่  $K = \frac{d_i}{d}$

ในกรณีที่ไม่มีแรง  $F$  กระทำอยู่ด้วย สมการที่ (2.21) ก็จะได้สมการที่มีรูป ดังนี้คือ

$$d^3 = \frac{16}{\pi\tau(1-K^4)} \left[ (C_t T)^2 + (C_m M)^2 \right]^{1/2} \quad \dots\dots\dots(2.22)$$

หรือในกรณีของเพลาดัน  $K = \frac{d_i}{d} = 0$  เมื่อแทนค่าลงในสมการที่ (2.22) ก็จะได้สมการที่มีรูป ดังนี้คือ

$$d^3 = \frac{16}{\pi\tau} \left[ (C_t T)^2 + (C_m M)^2 \right]^{1/2} \quad \dots\dots\dots(2.23)$$

ถ้ากำหนดวัสดุของเพล่าให้ใช้ค่าความเค้นเฉือนใช้งานจากสมการที่ (2.24) โดยเลือกใช้ค่าน้อยมาคำนวณคือ

$$\tau_d = 0.3\sigma_y \quad \text{หรือ} \quad \tau_d = 0.18\sigma_u \quad \dots\dots\dots(2.24)$$

### 2.1.3 เฟือง

หน้าที่หลักคือถ่ายทอกำลังจากมอเตอร์แล้วส่งต่อไปยังล้อแต่ละล้อ และเป็นชิ้นส่วนที่เพิ่มอัตราทดจากมอเตอร์ โดยในการออกแบบจะแยกเฟืองเป็นสองชุดตามหน้าที่เพื่อความง่ายในการสั่งทำ คือเฟืองที่เพิ่มอัตราทดจากมอเตอร์ไปยังเฟืองเพลากลางและเฟืองที่ถ่ายทอกำลังจากเพลากลางไปแต่ละล้อ

**อัตราทด (Velocity ratio)  $m_\omega$**

คืออัตราส่วนระหว่างความเร็วเชิงมุมของเฟืองพินเนียนต่ออัตราเร็วเชิงมุมของเฟืองตาม ถ้าให้ “1” และ “2” แทนเฟืองพินเนียนและเฟืองตาม ตามลำดับ จะได้ว่า

$$m_\omega = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{d_2}{d_1} = \frac{N_2}{N_1} \quad \dots\dots\dots(2.25)$$

โดยที่  $\omega$  คือ ความเร็วเชิงมุม มีหน่วยเป็น rad/s

$n$  คือ ความเร็วรอบ มีหน่วยเป็น rpm

$d$  คือ เส้นผ่านศูนย์กลางพิตซ์ มีหน่วยเป็น mm หรือ in

$N$  คือ จำนวนพิน

**อัตราส่วนเฟือง (Gear ratio)  $m_g$**  คืออัตราส่วนระหว่างจำนวนพินของเฟืองต่อพินเนียน ถ้าพินเนียนเป็นตัวขับแล้ว

$$m_g = m_\omega = \frac{N_2}{N_1}$$

โมดูล คือ .....(2.26)

$$m = \frac{d}{N} \quad \text{.....(2.27)}$$

เมื่อ  $d$  คือ เส้นผ่านศูนย์กลางเฟือง

$N$  คือ จำนวนฟันเฟือง

แรงกดที่กระทำกับเฟือง  $F_b = \sigma b Y m$  .....(2.28)

โดยที่  $Y$  คือ ค่าตัวประกอบรูทิสจากตารางที่ ข.8

$\sigma$  คือ ค่าความต้านทานแรงดึง

$m$  คือ โมดูล

$b$  คือ ความหนาของเฟือง

### 2.14 ล้อ

ในการออกแบบชุดกลไกนี้จำเป็นต้องมีล้อทำหน้าที่รองรับน้ำหนักและเป็นส่วนที่ช่วยในการขับเคลื่อน โดยถ่ายทอดการหมุนและแรงบิดในการขับเคลื่อนยานยนต์ และแรงบิดในการห้ามล้อสำหรับการลดความเร็วของยานยนต์ ล้อที่มีโครงไม่สมดุลจะทำให้เกิดการสั่นสะเทือนมากซึ่งจะมีผลทำให้ยางและสลักล้อหน้า (king pin) สึกหรือมาก

ชิ้นส่วนที่จำเป็นของล้อคือ คุมล้อ ซึ่งยึดติดอยู่กับแกนล้อและขอบกระทะล้อซึ่งใช้ในการใส่ยางคุมล้อกับกระทะล้อจะถูกยึดต่อเข้าด้วยกัน โดยใช้ชิ้นส่วนที่เป็นจานหรือซี่ลวด (หรือซี่กงล้อ) ก็ได้ และโครงสร้างของล้อมีอยู่หลายแบบ แล้วแต่วิธีการของยานยนต์

### 2.1.5 มอเตอร์

เป็นส่วนที่สำคัญอีกส่วนหนึ่ง ของชุดกลไกนี้และเป็นอุปกรณ์หลักในการขับเคลื่อน เพราะในการออกแบบชิ้นส่วนและอุปกรณ์ของชุดกลไกส่วนใหญ่จะรับกำลังมาจากมอเตอร์

มอเตอร์ที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบันมีอยู่ 2 ประเภท คือ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง และมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ แต่ในที่นี้จะขอกล่าวถึงมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเท่านั้น เนื่องจากมอเตอร์กระแสตรงเป็นมอเตอร์ที่เลือกใช้ เพราะสามารถเปลี่ยนทิศทางการหมุนได้ง่ายกว่ามอเตอร์กระแสสลับ โดยมีรายละเอียดดังนี้

### 2.1.5.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ถูกใช้งานอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรม เนื่องจากความสัมพันธ์ระหว่าง ความเร็วกับแรงบิด สามารถที่จะเปลี่ยนแปลงการใช้งานได้เกือบทุกรูปแบบการทำงานอย่างต่อเนื่องของ มอเตอร์กระแสตรงโดยทั่วไปจะอยู่ในช่วงความเร็ว 8 ต่อ 1 รวมทั้งการลดภาระหรือการลดความเร็วในระยะเวลาสั้นๆ จะอยู่ในช่วงไร้ขอบเขต (ควบคุมการลดความเร็วลงถึงศูนย์รอบต่อนาทีได้อย่างนุ่มนวล) มักจะใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเมื่อมันต้องจ่ายแรงบิดที่จะทำให้มอเตอร์หมุนมากกว่าแรงบิดขณะใช้งานปกติ 3 เท่าหรือมากกว่า และในสถานการณ์ฉุกเฉิน มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงสามารถที่จะจ่ายแรงบิดมากกว่า 5 เท่าของแรงบิดใช้งานปกติ โดยปราศจากการหยุดกลางคัน (Stalling) (ต้นกำลังสามารถจ่ายกำลังให้ได้)

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงสามารถจะควบคุมความเร็วจนถึงศูนย์รอบต่อนาทีได้อย่างไม่มีอุปสรรคโดยการเร่งในทิศทางตรงกันข้ามอย่างทันทีทันใด โดยไม่ต้องสับเปลี่ยนวงจรกำลังและ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจะตอบสนองการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณควบคุมได้อย่างรวดเร็วเนื่องจากมีอัตราแรงบิดต่อความเฉื่อยสูง

$$\begin{array}{l} \text{โดยแรงบิดจากมอเตอร์} \\ \text{เมื่อ } F_b \text{ คือ แรงกดจากมอเตอร์} \\ \quad r \text{ คือ รัศมีของเพลลาที่ติดกับมอเตอร์} \end{array} \quad T = F_b r \quad \dots\dots\dots(2.29)$$

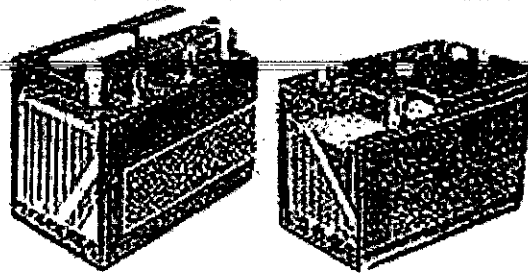
$$\begin{array}{l} \text{แรงบิดทางไฟฟ้าของมอเตอร์} \\ \text{เมื่อ } N \text{ คือ ความเร็วรอบของมอเตอร์} \\ \quad P \text{ คือ กำลังทางไฟฟ้า} \end{array} \quad T = \frac{9.55P}{N} \quad \dots\dots\dots(2.30)$$

$$\begin{array}{l} \text{กำลังทางไฟฟ้า} \\ \text{เมื่อ } I \text{ คือ กระแสไฟฟ้าที่มอเตอร์} \\ \quad V \text{ คือ ความต่างศักย์ที่มอเตอร์ใช้} \end{array} \quad P = IV \quad \dots\dots\dots(2.31)$$

### 2.1.6 แบตเตอรี่

เป็นแหล่งพลังงานที่ใช้ในการขับเคลื่อน ซึ่งในการเลือกใช้แบตเตอรี่ต้องคำนึงถึงประสิทธิภาพและอายุการใช้งานเพราะถ้าแบตเตอรี่ไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอชิ้นส่วน และอุปกรณ์ทั้งหมดก็ไม่สามารถทำงานได้ตามที่ออกแบบไว้

ซึ่งแบตเตอรี่ที่ใช้ทั่วไปในรถยนต์เป็นชนิดตะกั่วกรดบรรจุอยู่ในโครงซึ่งเปลือกทำจากยางแข็งโดยแบ่งเป็นช่องๆ ละ 2 โวลต์ กล่าวคือแบตเตอรี่ 6 โวลต์ จะมี 3 ช่องและ 12 โวลต์จะมี 6 ช่อง



รูปที่ 2.6 แสดงลักษณะโครงสร้างของแบตเตอรี่  
(ที่มา : รถพลังงานไฟฟ้า, สมบัติ แสงจันทร์)

แบตเตอรี่เป็นหัวใจของระบบไฟฟ้าในรถยนต์ โดยเป็นตัวเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าไว้ในรูปของสารเคมี เมื่อมีการต่อวงจรไฟฟ้าระหว่างขั้วบวก (+) และขั้วลบ (-) สารเคมีจะทำปฏิกิริยาระหว่างแผ่นธาตุ แล้วเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้านำไปใช้งาน

แบตเตอรี่ประกอบด้วยจำนวนเซลล์ทุกชนิดต่อกันเข้าด้วยกันหลายเซลล์ เป็นแหล่งของพลังงานเคมีที่ทำให้เกิดพลังงานไฟฟ้า แบตเตอรี่มีด้วยกัน 3 ชนิด คือ

1. ชนิดตะกั่ว-กรด (Lead Acid Type) ซึ่งมีแรงเคลื่อนไฟฟ้าเซลล์ละ 2.2 โวลต์
2. ชนิดนิกเกิล-เหล็ก-ด่าง(Nickel-iron-Alkaline Type)
3. ชนิดนิกเกิล-แคดเมียม-ด่าง(Nickel-Cadmium-Alkaline Type)

สองชนิดหลังนี้จะมีแรงเคลื่อนไฟฟ้าเซลล์ละ 1.2 โวลต์ โดยในจำนวนแบตเตอรี่ทั้ง 3 ชนิดนี้ ชนิดตะกั่ว-กรด ถูกนำไปใช้อย่างกว้างขวาง เพราะราคาถูกและหาซื้อได้ง่าย ในที่นี้จะกล่าวถึงแบตเตอรี่แบบตะกั่วกรดเพียงอย่างเดียวเท่านั้น ซึ่งแบตเตอรี่ชนิดนี้ได้นำมาใช้ในชุดจำลองกลไกปีนป่าฉบับนี้

#### 2.1.6.1 แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด (Lead - Acid Battery)

ในสภาพที่มีประจุไฟฟ้า (Charged) เต็มที่ วัสดุที่ทำให้เกิดปฏิกิริยา (Active Materials) ในแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด จะใช้ตะกั่วเปอร์ออกไซด์ (Lead Peroxide) เป็นแผ่นบวก และใช้ตะกั่วพรุน (Spongy Lead) เป็นแผ่นลบ โดยน้ำยาอิเล็กโทรไลต์เป็นส่วนผสมของกรดกำมะถัน (Sulfuric Acid) กับน้ำ ความเข้มข้นของน้ำยาอิเล็กโทรไลต์วัดด้วยค่าอยู่ในรูปของความถ่วงจำเพาะนั้นคืออัตราส่วน

ระหว่างน้ำหนักของน้ำยาอิเล็กโทรไลต์ต่อน้ำหนักของน้ำบริสุทธิ์ที่ปริมาณเท่ากัน กรดกำมะถันที่เข้มข้นจะมีความถ่วงจำเพาะ 1.83 น้ำบริสุทธิ์มีความถ่วงจำเพาะ 1.00 กรดกำมะถันและน้ำจะนำมาผสมกันในอัตราส่วนที่จะทำให้ได้ถ่วงจำเพาะตามต้องการ เช่น น้ำยาอิเล็กโทรไลต์มีความถ่วงจำเพาะ 1.21 จะประกอบด้วยกรดกำมะถันอย่างเข้มข้น 1 ส่วนและน้ำ 4 ส่วนในกรณีที่เป็นแบตเตอรี่ประจุไฟฟ้าไว้เต็ม (Fully Charged) แผ่นบวกจะมีตะกั่วเปอร์ออกไซด์บริสุทธิ์ (Pure lead Peroxide) แผ่นลบจะมีตะกั่วบริสุทธิ์ (Pure Lead) และกรดทั้งหมดที่เป็นอิเล็กโทรไลต์จะมีความถ่วงจำเพาะขณะนี้สูงสุด วัตถุที่เป็นตัวทำให้เกิดปฏิกิริยา (Active Material) ทั้งแผ่นบวกและลบจะมีลักษณะเป็นรูพรุนไปหมด

## 2.2 โครงสร้าง

### 2.2.1 โครงสร้าง

ในการออกแบบโครงสร้างของกลไกจะออกแบบในลักษณะเดียวกับคาน (Beam) รับแรงในแนวตั้งคือ จะเกิดความเสียหายเนื่องจาก แรงเฉือน, ความเค้นดัด และการยุบตัว ซึ่งโครงสร้างจะต้องมีน้ำหนักเบา แต่จะต้องแข็งแรงพอที่จะรับแรงจากภายนอกได้ตามขอบเขตที่กำหนด สิ่งต่างๆ เหล่านี้จะใช้เป็นข้อจำกัดในการออกแบบ แรงเฉือน ของเหล็ก โครงสร้างความเค้นดัดสูงสุดเกิดขึ้นที่ผิวนอกสุดของคานที่ตำแหน่งของโมเมนต์ดัด (Bending moment) มีค่าสูงสุด ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\sigma_b = \frac{Mc}{I} \quad \dots\dots\dots(2.32)$$

- เมื่อ
- M คือ โมเมนต์ดัด
  - c คือ ระยะจากแกนสะเทิน(neutral axis)
  - I คือ โมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่

### 2.2.2 การต่อยึด

ในการออกแบบโครงสร้างจะแยกพิจารณา ในแต่ละส่วนซึ่งได้แก่ การยึดด้วยสลักเกลียว และการเชื่อมซึ่งส่วนของโครงสร้างนี้ต้องออกแบบให้สามารถรับแรงเนื่องจากน้ำหนักของตัวเอง และน้ำหนักบรรทุกขณะป็นป้ายได้

#### 2.2.2.1 การยึดด้วยสลักเกลียว

ในการคำนวณหาขนาดของสลักเกลียว จะต้องพิจารณาทั้งความเค้นดึงและความเค้นเฉือนที่เกิดขึ้นบนสลักเกลียว โดยที่

ความเค้นดึง 
$$\sigma_t = \frac{F_i}{A_s} \dots\dots\dots(2.33)$$

และ 
$$F_i = F_n \geq \frac{F_n}{z \times f} = \frac{F_s}{z \times f} \dots\dots\dots(2.34)$$

เมื่อ  $F_i$  คือ แรงดึงขั้นต้น

$F_s$  คือ แรงเฉือนจากภายนอก

$A_s$  คือ พื้นที่หน้าตัดที่รับแรง

$F_n$  คือ แรงปฏิกิริยาตั้งฉากกับผิวสัมผัส

$F_r$  คือ แรงเสียดทานที่ผิวสัมผัส

$z$  คือ จำนวนสลักเกลียว

$f$  คือ สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

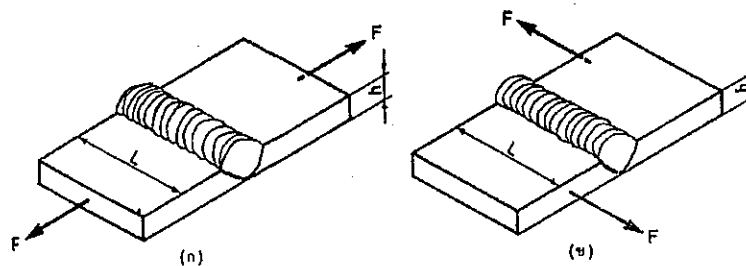
ความเค้นเฉือน 
$$\tau = \frac{F_s}{A_s} \dots\dots\dots(2.35)$$

เมื่อ  $F_s$  คือ แรงเฉือนจากภายนอก

$A_s$  คือ พื้นที่หน้าตัดที่รับแรง

เมื่อรู้ค่า  $A_s$  แล้วก็สามารถหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระบุของเกลียวที่ควรเลือกใช้  
จากตารางที่ ข.5

### 2.2.2.2 การเชื่อม



รูปที่ 2.7 รอยเชื่อมรับแรงมีสมมาตร

(ที่มา : การออกแบบเครื่องจักรกลเล่ม 2 , พิมพ์ครั้งที่ 10 , วริทธิ์ อึ้งภากรณ์)

จากรูปที่ 2.7 แสดงถึงรอยต่อชน ที่รับแรงดึงและแรงเฉือน โดยปกติแล้วลวดเชื่อมจะมีความต้านแรงไม่น้อยกว่าความต้านแรงของแผ่นโลหะที่จะนำมาเชื่อมต่อกัน ดังนั้นประสิทธิภาพของรอยเชื่อมจึงอยู่ในระดับเข้าใกล้ 100 % สำหรับแรงที่รอยเชื่อมในรูป (ก) ควรรับได้ สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$F = \frac{\sigma_y Lh}{N} \quad \dots\dots\dots(2.36)$$

โดยที่ N เป็นค่าความปลอดภัย

ในกรณีที่รอยต่อชนรับแรงเฉือนดังรูป ( ข ) แรงที่รอยเชื่อมควรรับได้สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$F = \frac{\tau_y Lh}{N} \quad \dots\dots\dots(2.37)$$

หรือ

$$F = \frac{\tau_y 2tL}{N} \quad \dots\dots\dots(2.38)$$

เมื่อ t คือความหนาของรอยเชื่อม = h' cbs 45 กรณีที่ต้องเชื่อมทำมุม 90 องศา

ถ้าใช้ค่าความต้านแรงดึงค่าสุดในการออกแบบรอยเชื่อม ค่าความปลอดภัยที่แนะนำให้ใช้กับแรงชนิดอยู่นิ่งประมาณ  $N = 3.75$  ถ้ามีแรงกระตุกก็ต้องเพิ่มค่าความปลอดภัยขึ้นอีก

### 2.2.3 โรลลิงแบร์ริง

จะทำหน้าที่ยึดเพลาให้ติดกับโครงสร้างเพราะส่วนของโครงสร้างไม่ได้หมุนไปพร้อมกับเพลาด้วยแต่เพลาเป็นชิ้นส่วนเครื่องจักรกลที่ต้องหมุนดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีโรลลิงแบร์ริงยึดเพลาให้ติดกับโครงสร้าง

ในการใช้งานจริง โรลลิงแบร์ริง (Rolling bearing) อาจจะได้รับทั้งแรงในแนวรัศมีและแนวแกน และวงแหวนในหรือนอกจะเป็นอันที่หมุนก็ได้ แต่ผู้ผลิตจะระบุให้เฉพาะอายุประเมินในเทอมของแรงในแนวรัศมีเท่านั้น ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องเปลี่ยนแรงและเงื่อนไขจากที่ใช้ทำงานจริง ๆ มาให้เป็นแรงในแนวรัศมีโดยมีวงแหวนในเป็นตัวหมุน เรียกว่า แรงสมมูล เพื่อจะได้ใช้ในการเลือกแบร์ริงจากรายการสินค้าได้

แรงสมมูลหมายถึง แรงในแนวรัศมีซึ่งถ้าให้กระทำต่อโรตลิ่งแบร์ริง โดยที่วงแหวนในหมุนและแหวนนอกอยู่นิ่งแล้ว จะทำให้แบร์ริงมีอายุการใช้งานเท่ากับอายุการใช้งานของแบร์ริงที่รับแรงจริง และคำนวณได้จากสมการ

$$P = XV_{F_r} + YF_a \quad \dots\dots\dots(2.39)$$

หรือ  $P = V_{F_r} \quad \dots\dots\dots(2.40)$

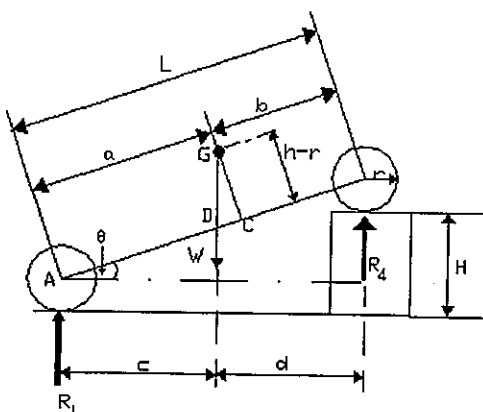
- โดยที่
- P คือ แรงสมมูล
  - $F_r$  คือ แรงในแนวรัศมี
  - $F_a$  คือ แรงในแนวแกนหรือแรงรุน
  - V คือ ตัวประกอบการหมุน (Rotation factor)
  - X คือ ตัวประกอบแรงในแนวรัศมี (Radial load factor)
  - Y คือ ตัวประกอบแรงรุน (Thrust load factor)

**2.2.4 ความสูงของจุดศูนย์ถ่วง**

ความสูงของจุดศูนย์ถ่วงในการออกแบบชุดกลไกเราต้องคำนึงถึงความปลอดภัยเป็นส่วนสำคัญซึ่งจุดศูนย์ถ่วงมีผลต่อการปั่นป่วนและการพลิกคว่ำ ตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงต้องมีลักษณะดังนี้

1. ความสูงของจุดศูนย์ถ่วงจะสูงเท่าใดก็ได้ ถ้ารว้งขึ้นหรือลงจากทางลาดชัน น้ำหนักที่กระทำผ่านจุดศูนย์ถ่วงจะต้องไม่เกินแนวของคานหน้าหรือคานหลังของตัวรถ
2. เมื่อเลี้ยวรถด้วยความเร็วต่างๆ บนถนนที่มีความเอียงแตกต่างกัน จุดศูนย์ถ่วงจะต้องลงไม่เกินจุดสัมผัสที่ผิวถนนของล้อด้านข้าง

การหาดำแหน่งความสูงของจุดศูนย์ถ่วงโดยวิธียกเพลาท้าย



รูปที่ 2.8 การหาความสูงของจุดศูนย์ถ่วงของรถยนต์โดยยกเพลาท้าย  
(ที่มา : กลศาสตร์ยานยนต์, เผล็จ แสแกนเกษม)



จากรูปที่ 2.8 พิจารณาโมเมนต์ที่จุด A

$$\begin{aligned}
 R_4(c+d) &= Wc \\
 \text{หรือ} \quad Wc &= R_4 L \cos \theta \\
 c &= AB - CD \\
 &= a \cos \theta - (h-r) \sin \theta \\
 \therefore R_4 L \cos \theta &= Wa \cos \theta - W(h-r) \sin \theta \\
 h-r &= \frac{(Wa - R_4 L)}{W} \cot \theta \quad \dots\dots\dots(2.41)
 \end{aligned}$$

จากรูปกำหนดให้

$$\sin \theta = \frac{H}{L} \quad \dots\dots\dots(2.42)$$

$$\begin{aligned}
 \operatorname{cosec}^2 \theta &= 1 + \cot^2 \theta \\
 \cot^2 \theta &= \frac{1}{\sin^2 \theta} - 1 \quad \dots\dots\dots(2.43)
 \end{aligned}$$

แทน (2.43) ใน (2.44)

$$\begin{aligned}
 \cot^2 \theta &= \frac{L^2 - H^2}{H^2} \\
 \cot \theta &= \frac{\sqrt{L^2 - H^2}}{H}
 \end{aligned}$$

จาก (2.42) จะได้

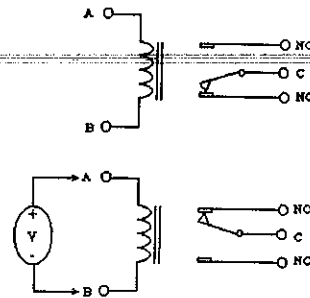
$$h = \frac{(Wa - R_4 L) \sqrt{L^2 - H^2}}{HW} + r \quad \dots\dots\dots(2.44)$$

### 2.3 ระบบบังคับลิ้ว

ชุดกลไกนี้จะใช้มอเตอร์ 2 ตัวในการขับเคลื่อน ดังนั้นในการบังคับลิ้วเมื่อใช้รีโมทสั่ง มอเตอร์ตัวใดตัวหนึ่งชุดกลไกนี้ก็จะสามารถลิ้วไปด้านที่มอเตอร์หยุดหมุน (คล้ายกับการ ลิ้วของรถยนต์ทั่วไป) สำหรับกรณีที่มีพื้นที่ในการลิ้วที่จำกัดหรือต้องการให้มีรัศมีการลิ้วที่ แคบลงก็สามารถทำได้โดยใช้รีโมทบังคับให้มอเตอร์ด้านที่ต้องการลิ้วหมุนกลับหลังและมอเตอร์ อีกตัวก็ยังหมุนไปข้างหน้าเหมือนเดิมชุดกลไกนี้จะหมุนรอบตัวเองซึ่งจะใช้พื้นที่น้อยและลิ้วได้ รัศมีการลิ้วที่แคบกว่ากรณีแรก

2.3.1 รีเลย์

รีเลย์ อุปกรณ์แม่เหล็ก (Megnetics device) ที่เก่าแก่และโบราณ แต่ก็ยังคงนิยมใช้กันอยู่ แต่ในปัจจุบันนี้ รีเลย์ ถูกพัฒนาให้มีคุณภาพดีกว่าสมัยก่อนมาก แต่ยังคงหลักการ และโครงสร้างเดิมเอาไว้



รูปที่ 2.9 โครงสร้างภายในและการทำงานของรีเลย์

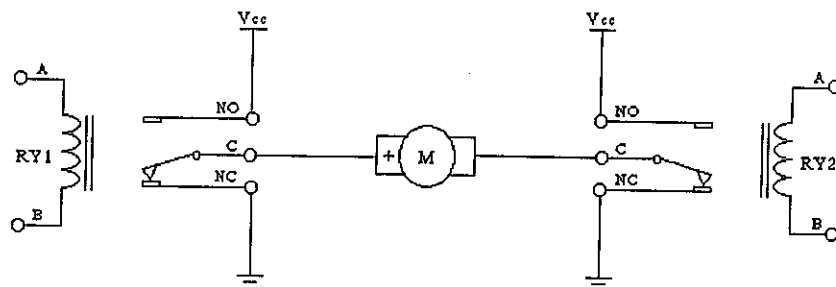
ภายในโครงสร้างของ รีเลย์ จะประกอบไปด้วยขดลวด (Coil) 1 ชุด และ หน้าสัมผัส (Contactor) ซึ่งในหน้าสัมผัส 1 ชุด จะประกอบไปด้วย

หน้าสัมผัสแบบปกติปิด (Normally Close หรือ NC.) ซึ่งในสภาวะปกติ ขานี้จะต่ออยู่กับ ขาร่วม (Common)

หน้าสัมผัสแบบปกติเปิด (Normally Open หรือ NO.) ขานี้จะต่อเข้ากับขาร่วม (Common) เมื่อขดลวดมีแรงดันตกคร่อม หรือกระแสไหลผ่าน (ในปริมาณที่เพียงพอ)

ใน รีเลย์ 1 ตัว อาจมีหน้าสัมผัสมากกว่า 1 ชุด เช่น 2 ชุด, 4 ชุด แล้วแต่ผู้ผลิต

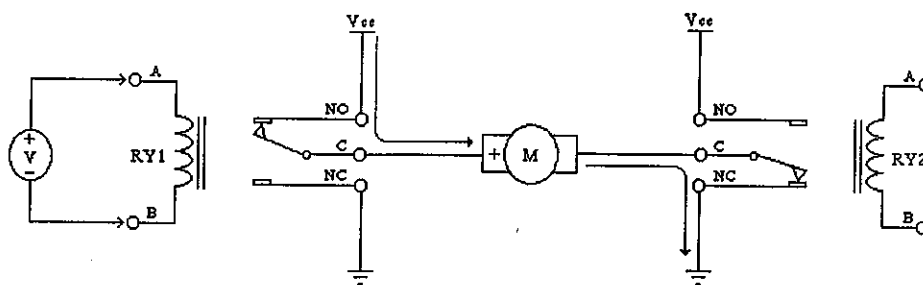
เมื่อขดลวดได้รับแรงดันตกคร่อม (ขา A และ B) จะทำให้มีกระแสไหลผ่านขดลวด ซึ่งจะ ทำให้เกิดอำนาจสนามแม่เหล็ก ดึงดูดให้หน้าสัมผัส NO และ C ติดกัน



รูปที่ 2.10 วงจรควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์กระแสตรงด้วยรีเลย์

วงจรที่ใช้ควบคุมมอเตอร์จะประกอบไปด้วย รีเลย์ 2 ตัว คือ RY1 และ RY2 ซึ่ง Load ก็คือ DC-Motor ซึ่งต่ออยู่กับขาร่วม (C.) ของ RY1. และ RY2. โดยขั้วบวก (+) ของมอเตอร์ ต่ออยู่ที่ขา C. ของ RY1 และขั้วลบ (-) ของมอเตอร์ ต่ออยู่ที่ขา C. ของ RY2 โดยที่ขา NO. ของ RY1 และ RY2 จะต่ออยู่กับขั้วบวก ของแหล่งจ่ายไฟ ที่จะจ่ายให้มอเตอร์ (Vcc) และขา NC. ของ RY1 และ RY2 จะต่อลงกราวด์

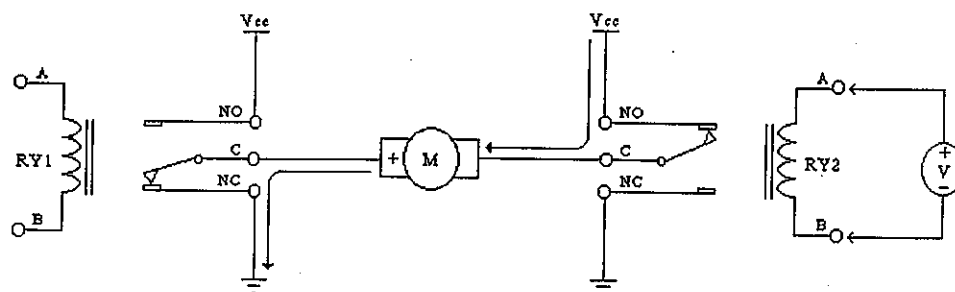
#### - กรณีที่ RY1 ทำงาน



รูปที่ 2.11 วงจรควบคุมทิศทางการหมุน Forward ของมอเตอร์กระแสตรงด้วยรีเลย์

เมื่อ RY1 ทำงาน (มีกระแสไหลผ่านขดลวดในปริมาณที่เพียงพอ) จะทำให้เกิดอำนาจสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ดึงดูดให้ขา NO และขา C ของ RY1 ติดกัน ส่งผลให้มีกระแสไหลจากแหล่งจ่าย (Vcc) ผ่านเข้าสู่ขั้วบวก (+) ของมอเตอร์ ผ่านไปยังขา C ของ RY2 ซึ่งต่ออยู่ที่ NC และลงกราวด์ ทำให้มีกระแสไหลผ่านมอเตอร์ในทิศทางบวก และครบวงจร จึงทำให้มอเตอร์สามารถหมุนในทิศทาง Forward ได้

#### - กรณีที่ RY2 ทำงาน

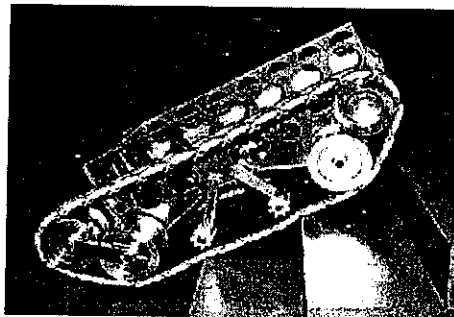


รูปที่ 2.12 วงจรควบคุมทิศทางการหมุน Reward ของมอเตอร์กระแสตรงด้วยรีเลย์

เมื่อ RY2 ทำงาน (มีกระแสไหลผ่านขดลวดในปริมาณที่เพียงพอ) จะทำให้เกิดอำนาจสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ดึงดูดให้ขา NO และขา C ของ RY2 ติดกัน ส่งผลให้มีกระแสไหลจากแหล่งจ่าย (Vcc) ผ่านเข้าสู่ขั้วลบ (-) ของมอเตอร์ ผ่านไปยังขา C ของ RY1 ซึ่งต่ออยู่ที่ NC และลงกราวด์ ทำให้มีกระแสไหลผ่านมอเตอร์ในทิศทางลบ และครบวงจร จึงทำให้มอเตอร์สามารถหมุน ในทิศทาง Reward ได้

## 2.4 หุ่นยนต์ปีนป้ายชั้นบันไดทั่วไป

ในปี 1996 ได้มีความต้องการที่จะมีหุ่นยนต์ที่สามารถปฏิบัติงานในสภาพพื้นที่ต่างระดับ ไม่สม่ำเสมอ แต่ในปัจจุบันหุ่นยนต์ดังกล่าวยังไม่ได้รับการยอมรับ ให้สามารถนำมาใช้งานได้อย่างเป็นทางการ แต่ก็ยังเป็นแนวคิดเริ่มต้น ในการประดิษฐ์หุ่นยนต์ที่ใช้ในการปีนป้ายบันไดสำหรับหลักการในการปีนป้ายบันไดตัวแรกนี้ จะใช้ปุ่มของล้อแบบตีนตะขาบ เป็นตัวจับขอบบันได แต่โดยปกติแล้ววิธีนี้จะมีล้อเพียงข้างเดียวเท่านั้น ที่สามารถจับชั้นบันไดได้ เพราะเกิดช่องว่างระหว่างปุ่มล้อตีนตะขาบ กับพื้นบันไดที่ยึดเกาะกันไม่สนิท และไม่สามารถรับภาระที่หนักได้ นอกจากนี้ยังเกิดการลื่นไถลขณะลงบันได



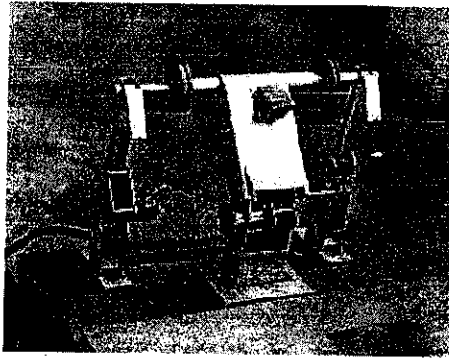
รูปที่ 2.13 หุ่นยนต์ปีนป้ายบันไดแบบตีนตะขาบ

(ที่มา : <http://mozu.mes.titech.ac.jp/>)

ดังนั้นจึงได้มีแนวคิด ในการปรับปรุงหุ่นยนต์ปีนป้ายชั้นบันไดขึ้นมาใหม่ โดยใช้รอกยึดติดกับร่องสายพาน ของล้อตีนตะขาบ ซึ่งรอกนี้จะแนบติดกับส่วนหน้าของสายพาน ที่สามารถตามขอบของชั้นบันไดได้ ดังรูป 2.13 ซึ่งชุดรอกนี้จะไม่ทำให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับ ความไม่ต่อเนื่อง ในการปีนป้ายระหว่างช่วงของชั้นบันได ทำให้หุ่นยนต์ปีนป้ายบันไดชุดนี้ถูกยอมรับมากกว่ารุ่นแรกในการปีนป้ายขึ้นและลงบันได ซึ่งจะได้รับการพัฒนาและปรับปรุง ให้สามารถปีนป้ายบันไดได้

เมื่อมีสิ่งกีดขวาง และจะเพิ่มประสิทธิภาพในการเลี้ยว ให้มากกว่าเดิมในอนาคต ส่วนรายละเอียดต่างๆของหุ่นยนต์ปีนป้ายบันไดมีดังนี้

- ยาว×กว้าง×สูง = 1180×830×430 (mm) , น้ำหนัก(รวมแบตเตอรี่) = 65 (kg)
- น้ำหนัก(รวมแบตเตอรี่) = 65 (kg) , ชั่วโมงใช้งานสูงสุด = 45 (min)
- ปีนป้ายบันได ได้ที่ความชัน 30 องศา , บรรทุกน้ำหนักได้ 60 kg



รูปที่ 2.14 หุ่นยนต์ปีนป้ายบันไดแบบ 3 ขา  
(ที่มา : <http://web.mit.edu/>)

จากรูปที่ 2.14 หุ่นยนต์ 3 ขา เป็นหุ่นที่เน้นในเสถียรภาพในการทรงตัว เพราะมีขาตรงกลางที่เป็นตัวช่วยในการทรงตัว การทำงานใช้มอเตอร์กระแสตรง 2 ตัว ตัวแรกอยู่ที่ขาค้นนอก และมอเตอร์อีกตัวอยู่ที่ขาตรงกลางถูกออกแบบมาให้คล้ายคลึงกับการเคลื่อนไหวของมนุษย์