ป
TL
960
ส613
ว545

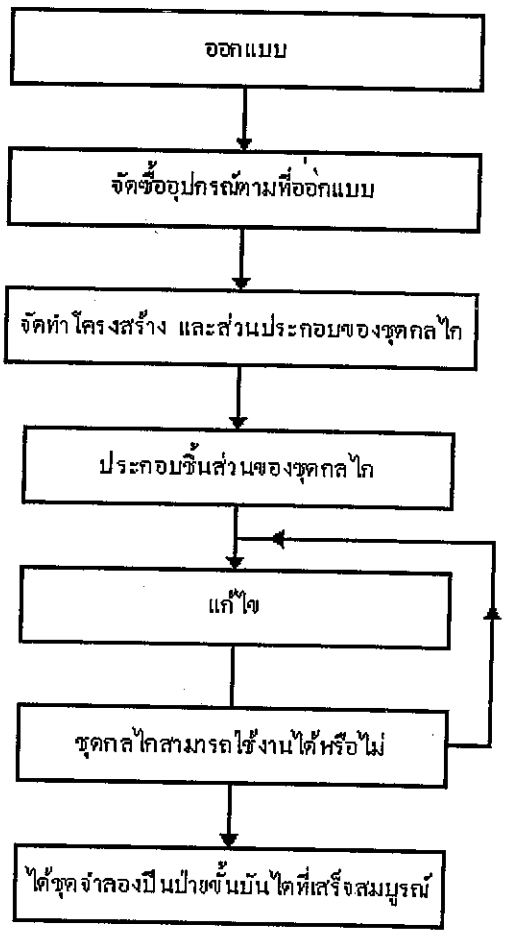
สำนักหอสมุด
26 พ.ย. 2546
4740019

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงาน

ในการดำเนินงานการออกแบบและสร้างนั้นสามารถแบ่งขั้นตอนการดำเนินงานออกเป็นดังต่อไปนี้

1. การคำนวณการออกแบบชุดจำลองกลไกปีนป่ายบันได
2. สร้างชุดจำลองกลไกปีนป่ายบันได
3. ทดสอบประสิทธิภาพชุดจำลองกลไกปีนป่ายบันได

ซึ่งขั้นตอนการดำเนินงานสามารถเขียนเป็นตารางกระบวนการทำงานได้ดังนี้



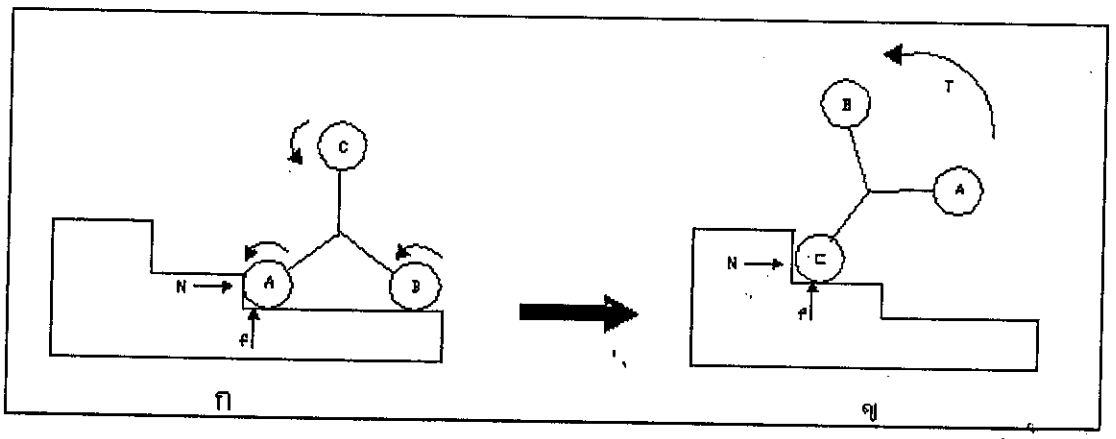
รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงขั้นตอนการออกแบบและสร้างชุดจำลองกลไกปีนป่ายขั้นบันได

3.1 การออกแบบ

ในการออกแบบชุดกลไกปีนป่ายบันไดจำลองนี้ จะทำการออกแบบเหมือนกับการออกแบบรถยนต์ทั่วไป ในที่นี้จะทำการเปลี่ยนแปลงบางส่วนเพื่อให้เหมาะสมกับชุดกลไกปีนป่ายบันไดจำลอง และเพื่อบรรลุตามจุดประสงค์ที่ตั้งไว้คือ

1. สามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้ 20 กิโลกรัม
2. ความสามารถในการไต่ขึ้นทางชัน 30 องศา

แนวคิดหลักในการออกแบบลักษณะชุดกลไกขับเคลื่อน ให้มีลักษณะดังรูป 3.2



รูป 3.2 ลักษณะการปีนป่ายขั้นบันไดของชุดกลไก

เพื่อความสามารถในการปีนป่ายบันไดได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งจากรูป 3.2ก จะเห็นได้ว่าเมื่อชุดกลไกอยู่บนทางราบ ล้อ A ,B และC จะหมุนตามปกติและเมื่อล้อ A เคลื่อนที่มาที่ขั้นบันได แรงเสียดทานที่พื้นกับล้อ ประกอบกับบันไดที่ขวางกั้นไม่ให้ล้อ A เคลื่อนที่ต่อไปได้จึงหยุดหมุน

โดยที่แรงบิด T ที่ส่งมาจากมอเตอร์ จะถูกออกแบบให้มีค่ามากกว่าแรงต้านทานเหล่านี้ เมื่อแรงจากมอเตอร์ไม่สามารถทำให้ล้อ A หมุนได้ จึงทำให้ชุดสามเหลี่ยม A B C พลิกหมุนไปทั้งชุดแทนดังรูป 3.2ข ซึ่งจะทำให้กลไกนี้ปีนป่ายบันไดทั้งชุด ตามที่ออกแบบไว้

3.1.1 การออกแบบกำลังขับเคลื่อน

การออกแบบกำลังขับเคลื่อนเป็นการหาแรงต้านการเคลื่อนที่ทั้งหมดของชุดกลไกปีนป่ายบันไดจำลองให้เป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนด เพื่อนำแรงต้านการเคลื่อนที่ทั้งหมดนี้ไปหาขนาดมอเตอร์ โดยเงื่อนไขเริ่มแรกที่กำหนดคือ

1. น้ำหนักตัวโครงสร้าง	10	กิโลกรัม
2. น้ำหนักบรรทุก	20	กิโลกรัม
3. ความเร็วสูงสุดที่น้ำหนัก 30 kg	1	กิโลเมตร/ชั่วโมง
4. รัศมีล้อเล็ก	0.04	เมตร
5. ความสามารถในการไต่ขึ้นทางชัน	30	องศา
6. อัตราทดเฟืองสำเร็จรูปที่ติดมากับมอเตอร์	70 :1	

แรงต้านการเคลื่อนที่มี 3 ชนิดคือ

1. แรงต้านการหมุนของล้อ (Rolling Resistance , R_r)

จาก $R_r = K_r W$

โดย K_r = 0.013 (จากตารางที่ ข.1 K_r = 0.01-0.016 สำหรับถนนสภาพดี เลือกใช้ค่าเฉลี่ยคือ 0.013)

W = 30 kg = 295 N

$\therefore R_r = 0.013 \times 295 = 3.84$ N

2. แรงต้านอากาศ (Air Resistance , R_a)

จาก $R_a = K_a A V^2$

โดย K_a = 0.013 (จากตารางที่ ข.2 K_a = 0.13-0.15 สำหรับพื้นที่หน้าตัดของส่วนที่ต้านทานกับอากาศ 1.0-1.3 แต่เนื่องจากชุดกลไกนี้มีพื้นที่หน้าตัดของส่วนที่ต้านทานกับอากาศน้อยจึงเลือก K_a = 0.13)

A = 1 m^2 (จากตารางที่ ข.2 A = 1-1.3 ได้เลือกใช้ A = 1 m^2 ซึ่งได้ทำการเผื่อพื้นที่ของสัมภาระที่จะบรรทุกไว้ด้วย)

V = 1 km/hr = 2.78 m/s

$\therefore R_a = 0.13 \times 1 \times 2.7778^2 = 1$ N

3. แรงต้านทางชัน (Gradient Resistance , R_g)

จาก $R_g = W \sin \theta_g$

โดย $\theta_g = 30^\circ$

$\therefore \quad R_g = 295 \sin 30^\circ = 147.50 \text{ N}$

ดังนั้น แรงต้านการเคลื่อนที่ทั้งหมดเท่ากับ

$$R_t = R_r + R_a + R_g$$
$$= 3.84 + 1 + 147.50$$
$$= 152.335 \text{ N}$$

จะได้ แรงบิดที่ล้อ (T_w) มีค่าเท่ากับ

$$T_w = Fr$$

โดยที่ F คือแรงขับเคลื่อนที่ต้องมากกว่าหรือเท่ากับแรงต้านการเคลื่อนที่ทั้งหมด (R_t)

$\therefore \quad T_w = 152.34 \times 0.04 = 6.09 \text{ Nm}$

และแรงบิดที่มอเตอร์ (T_m) มีค่าเท่ากับ

$$T_m = \frac{T_w \times 100}{\eta_t i_g}$$

โดย η_t = 83.50 % (จากตารางที่ ข.3 สำหรับรถบรรทุก η_t = 82-85 % เลือกใช้ค่าเฉลี่ยคือ 83.50 %)

$$T_m = \frac{6.0934 \times 100}{83.5 \times 70}$$

$$= 0.10 \text{ Nm}$$

$\therefore$ ความเร็วเชิงมุมของเพลาล้อขับเคลื่อน (ω_w) หาได้โดย

$$\omega_w = \frac{V}{2\pi r}$$

$$= \frac{0.278}{2\pi \times 0.04}$$

$$= 1.10 \text{ rev/s}$$

$$= 1.1 \times 2\pi$$

$$= 6.91 \text{ rad/s}$$

$\therefore$ ความเร็วเชิงมุมของเพลามอเตอร์ (ω_m) หาได้โดย

$$\omega_m = \omega_w \times 70$$

$$= 6.91 \times 70$$

$$= 483.56 \text{ rad/s}$$

จาก $P_m = \omega_m \times T_m$

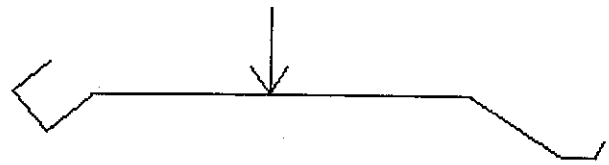
$= 483.56 \times 0.104$

$= 50.4$ W

$= 0.06$ hp

3.1.2 การออกแบบโครงสร้างชุดกลไกปีนป่ายบันไดจำลอง

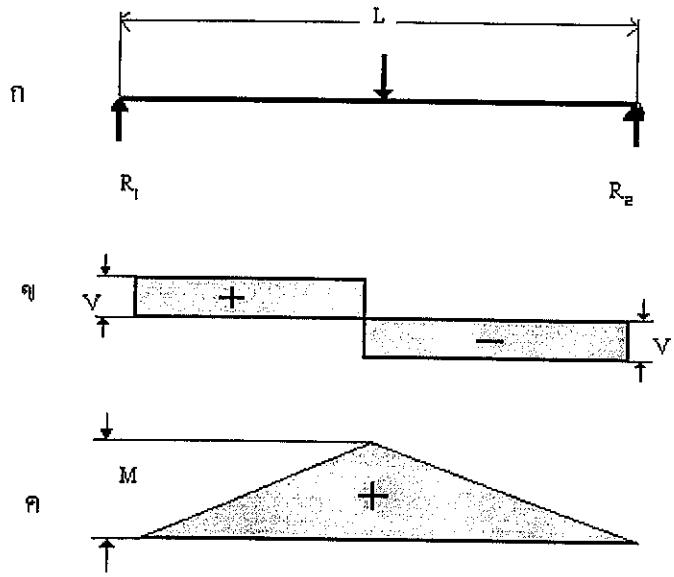
ส่วนที่รับน้ำหนักพิจารณาเป็นคาน ดังรูปที่ 3.3 ซึ่งความจริงแล้วภาระ(load) ทั้งหมดที่กระทำกับโครงสร้างจะเป็นแรงกระทำแบบกระจายสม่ำเสมอ (distributed load) แต่เพื่อความสะดวกและง่ายในการคำนวณ จึงพิจารณาให้ภาระทั้งหมดที่กระทำรวมเป็นจุดเดียว (point load)



mg

รูปที่ 3.3 ส่วนพื้นของโครงสร้างมองจากด้านข้างเมื่อรับภาระ

ซึ่งถ้าโครงสร้างสามารถรับแรงกระทำเป็นจุดได้ ก็สามารถรับแรงกระทำแบบกระจาย (distributed load)ได้เช่นกัน โดยจะพิจารณาเป็นคานตรงทั้งหมดเพื่อง่ายต่อการคำนวณและหาชนิดของเหล็กที่จะนำมาทำโครงสร้างดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ภาระที่กระทำต่อโครงสร้าง

จากภาคผนวก ตารางที่ ข.7 จะได้ค่า $M = M_{max} = \frac{FL}{4}$ คือค่าโมเมนต์ดัดสูงสุดที่กระทำกับคานโดยในที่นี้

$$F = mg = 294.3N$$

$$L = 417mm$$

เพราะฉะนั้น ค่าโมเมนต์ดัดสูงสุดที่กระทำกับคาน

$$M_{max} = \frac{294.3 \times 417}{4}$$

$$= 30680.78 Nmm^2$$

จากสมการ 2.32 ความเค้นดัดสูงสุดที่เกิดขึ้นกับคาน

$$\sigma_b = \frac{Mc}{I} = \frac{M}{Z}$$

โดยที่ $Z = \frac{I}{C} = \frac{2b^2h}{9}$

h คือ ความสูงของหน้าตัดคาน มีความหนาของเหล็ก 1.5 mm.

b คือ ความกว้างของหน้าตัดคาน มีความกว้างโดยรวมของโครงสร้าง 250 mm

เพราะฉะนั้น

$$Z = \frac{2 \times 250^2 \times 1.5}{9} = 20833.33 mm^3$$

จะได้ ความเค้นดัดสูงสุดที่เกิดขึ้นกับคาน $\sigma_b = \frac{30680.78}{20833.33}$

$$= 1.47 \frac{N}{mm^2}$$

จากภาคผนวก ตารางที่ ข.15 (เหล็กแผ่นที่มีความหนาน้อยกว่า 3 mm) เราเลือกใช้เหล็กแผ่นชนิด Tst 10 มีค่า $\sigma_y = 280 - 500 \frac{N}{mm^2}$ ซึ่งมีค่าที่ปลอดภัย

การเชื่อมต่อและยึดด้วยสลักเกลียว

ในส่วนของการเชื่อมสิ่งที่เราต้องการคำนวณหาคือความยาวของรอยเชื่อม L จากสมการ 2.38

$$F = \frac{\tau_y 2tL}{N}$$

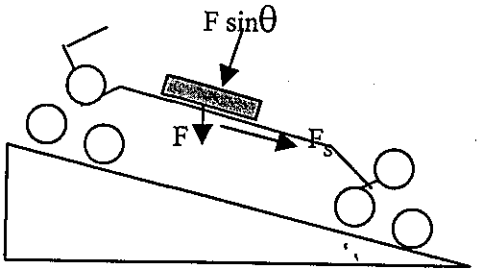
เพราะฉะนั้นความยาวของรอยเชื่อม $L = \frac{FN}{\tau_y 2t}$

$$= \frac{294.3 \times 3.75}{147.6 \times 2 \times 0.707 \times 5}$$

$$= 10.5\text{mm}$$

ในการยึดด้วยสลักเกลียวเราจะใช้ในการยึดในแผงวงจรติดกับโครงรถและยึดคานที่ใช้ยึดโครงรถส่วนท้ายของโครงสร้างซึ่งรับน้ำหนักต่างกัน

ซึ่งในการคำนวณเราพิจารณาที่มุม 30 องศา เพราะจุดที่ยึดด้วยสลักเกลียวที่มุมเอียง 30 องศาจะรับแรงมากกว่าการวิ่งในแนวราบ ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 การรับแรงของสลักเกลียวขณะกำลังปีนบันไดที่ความชัน 30 องศา

เมื่อ F คือน้ำหนักของวงจร เท่ากับ 0.4 kg

จากตารางที่ ข.13 ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเท่ากับ 0.15 และ Z คือจำนวนสกรูที่ใช้ 4 ตัว

ดังนั้นจากสมการที่ 2.15 $F_n = \frac{F_s}{Zf} = \frac{3.91}{4 \times 0.15} = 6.52$

และ $F_i = F_n + \frac{F \sin\theta}{4}$

$$= 6.25 + \frac{1.962}{4} = 14.098\text{N}$$

จากตารางที่ ข.6 ให้ สกรู มีค่า $\sigma_y = 260 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

ใช้ค่าความปลอดภัยเท่ากับ 3

ความเค้นดึง $\sigma_t = \frac{F_i}{A_s} = \frac{14.098}{A_s}$

ความเค้นเฉือน $$\tau = \frac{F_s}{A_s} = \frac{3.91}{A_s}$$

จากทฤษฎีความเค้นเฉือน (Octhhedral)

$$\frac{\sigma_y}{N} = (\sigma^2 + 3\tau^2)^{\frac{1}{2}}$$

$$86.66 = \left((\frac{14.098}{A_s})^2 + \frac{(3\times 3.91)^2}{A_s} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$A_s = 0.089 mm^2$$

ซึ่งค่า A_S = 0.089 mm^2 นี้ อยู่นอกตาราง ข.5 เกลียวเมตริกมาตรฐานระหว่างประเทศในที่นี้เราใช้เกลียว M3 เพราะหาง่ายในท้องตลาดซึ่งมีค่า A_S = 5.030 mm^2

ส่วนคานที่ใช้ยึดโครงสร้างรถส่วนท้ายก็คำนวณในลักษณะเดียวกันแต่แรงที่กระทำกับสลักเกลียว จะใช้แรงเนื่องจากน้ำหนักรถทั้งหมดคือ 294.3 N และจะใช้สลักเกลียวแค่ 2 ตัว ซึ่งจะได้ค่า

จาก $$F_n = \frac{F_z}{Zf} = \frac{254.87}{2\times 0.15}$$

$$= 849.57N$$

และ $$F_i = F_n + \frac{F\sin\theta}{4}$$

$$= 849.75 + \frac{147.15}{4}$$

$$\sigma_t = \frac{F_i}{A_s} = \frac{886.35}{A_s}$$

$$\tau = \frac{F_s}{A_s} = \frac{254.87}{A_s}$$

จากตารางที่ ข.6 ให้สกรู มีค่า σ_y เท่ากับ 260 $\frac{N}{mm^2}$ ใช้ค่าความปลอดภัย N เท่ากับ 3

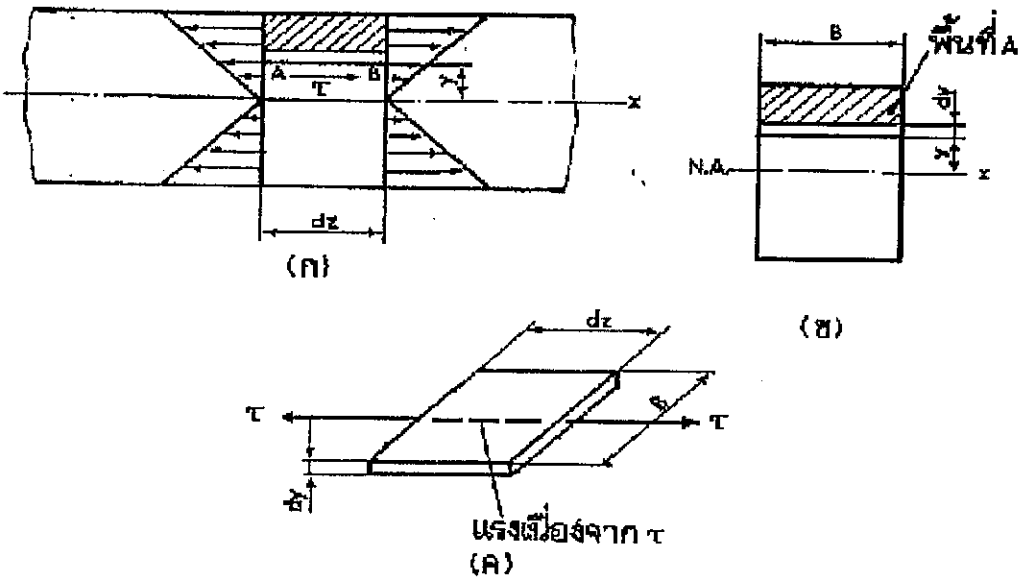
จาก $$\frac{\sigma_y}{N}=\left(\sigma^2+3\tau^2\right)^{\frac{1}{2}}$$

$$86.66=\left[\left(\frac{886.35}{A_s}\right)^2+3\left(\frac{254.87}{A_s}\right)^2\right]^{\frac{1}{2}}$$

จะได้ $A_s=11.42mm^2$

จาก ตารางที่ ข.5 เกลียวเมตริกมาตรฐานระหว่างประเทศ เราเลือกใช้สลักเกลียว M5 ซึ่งมีค่า $A_s=14.2mm^2$

การหาความแข็งแรงของโครงสร้างเมื่อเจาะรู



รูป 3.6 ทิศของความเค้นเฉือนที่กระทำกับโครงสร้าง
(ที่มา : กลศาสตร์, ชาญ ถนัดงาน)

จากรูป 3.6 $\tau=\frac{VA\bar{y}}{IB}$

เมื่อ τ คือความเค้นเฉือนที่กระทำกับโครงสร้างส่วนพื้น

dz คือความยาวของแผ่นพื้นที่ที่รับความเค้นเฉือน

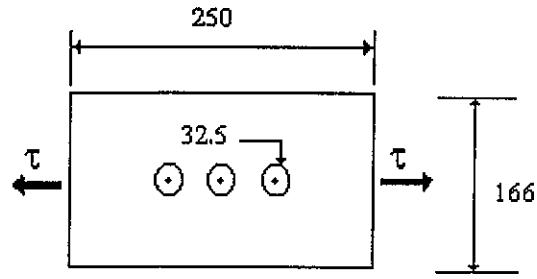
$\bar{y}$ คือระยะจากจุดศูนย์ถ่วง N.A. ถึงขอบของพื้นที่ที่รับความเค้นเฉือน เท่ากับ125 mm

B คือความกว้างของพื้นที่ที่รับความเค้นเฉือน เท่ากับ 166 mm

V คือแรงเฉือน เท่ากับ 294.30 N

A คือพื้นที่ที่รับความเค้นเฉือน เท่ากับ 41500 mm สำหรับโครงสร้างที่ยังไม่เจาะรู

I คือโมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่ เท่ากับ 216,145883.30 mm^4



รูป 3.7 โครงสร้างส่วนพื้นที่เจาะรูเมื่อรับความเค้นเฉือน

ในส่วนของโครงสร้างที่รับแรงมากที่สุด คือโครงสร้างส่วนพื้นดังรูป 3.7 ซึ่งเมื่อรับน้ำหนักโครงสร้างส่วนพื้นนี้จะรับความเค้นเฉือนตรงบริเวณขอบของโครงสร้าง ดังนั้น เมื่อโครงสร้างพื้นยังไม่เจาะรูจะรับความเค้นเฉือน τ

$$= \frac{294.30 \times 41{,}500 \times 125}{216{,}145{,}883.3 \times 166}$$

$$= 4.21 \times 10^{-2} \frac{N}{mm^2}$$

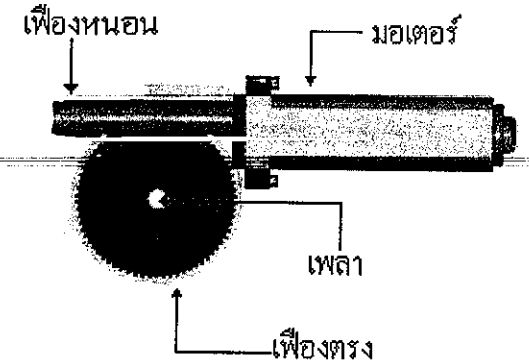
เมื่อเจาะรูโครงสร้างส่วนพื้น ดังรูป 3.7 ทำให้พื้นที่และโมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่ลดลง และโครงสร้างส่วนพื้นจะรับความเค้นเฉือนเพิ่มขึ้น

$$= \frac{294.30 \times 40{,}707 \times 125}{216{,}145{,}883.3 \times 166}$$

$$= 4.25 \times 10^{-2} \frac{N}{mm^2}$$

ดังนั้นจะเห็นว่าเมื่อเจาะรู จะทำให้โครงสร้างส่วนพื้นรับความเค้นเฉือนเพิ่มขึ้นเท่ากับ $0.04 \frac{N}{mm^2}$ เท่ากับ 0.94% ซึ่งจากค่าที่คำนวณได้จะพิจารณาได้ว่าการเจาะรูในส่วนของโครงสร้างพื้นนี้มีผลทำให้ความแข็งแรงของโครงสร้างพื้นลดลงน้อยมาก

3.1.3 การออกแบบชุดเฟือง



รูป 3.8 ชุดเฟืองเพิ่มอัตราทดพร้อมมอเตอร์

สำหรับเฟืองที่ทำหน้าที่เพิ่มอัตราทด เป็นชุดเฟืองที่ติดมาพร้อมกับมอเตอร์ อัตราทดของเฟืองชุดนี้คือ 70 : 1 โดยที่เฟืองตรงดังกล่าวจะมีเพลาส่งกำลังยึดอยู่ตรงกลาง ซึ่งส่งกำลังไปยังเพลากลางของล้อที่ใช้ขับเคลื่อนโดยตรง ดังรูป 3.8 โดยที่นี้จะต้องทำการออกแบบชุดเฟืองส่งถ่ายกำลังขึ้นเอง

ซึ่งในกรณีนี้สิ่งที่ต้องการหาคือความหนา (b) และจำนวนฟัน (N) ของเฟือง ซึ่งเมื่อได้ระยะความหนาแล้ว จะนำมาตรวจสอบค่าความปลอดภัยอีกครั้ง เพราะถ้ากำหนดค่าความปลอดภัยมากๆไว้ก่อน ระยะความหนาของเฟืองก็จะมากตามไปด้วย ซึ่งจะส่งผลทำให้ต้นทุนในการจัดทำเพิ่มขึ้นด้วย โดยข้อกำหนดต่างๆมีดังนี้ คือ

เส้นผ่านศูนย์กลางเฟือง (d) เท่ากับ 30 mm

มุมกด ϕ เท่ากับ 20 องศา

โมดุล m เท่ากับ 1.5

วัสดุที่ใช้ทำเฟืองเป็นพลาสติกสังเคราะห์เพราะน้ำหนักเบาและเหนียวซึ่งจากการนำไปทดสอบได้ค่าความต้านทานแรงดึง σ_y เท่ากับ 213 $\frac{N}{mm^2}$

หาจำนวนฟันจากสมการ 2.27 $m = \frac{d}{N}$

เพราะฉะนั้นจำนวนฟัน $N = \frac{d}{m}$

$$= \frac{30}{1.5} = 20 \text{ฟัน}$$

จากสมการ 2.28 $F_b = \sigma bYm$

โดยที่ Y คือค่าตัวประกอบลูอิสจากตารางที่ ข.8 เมื่อจำนวนฟันเท่ากับ 20 จะได้ Y เท่ากับ 0.32

σ คือ ค่าความต้านทานแรงดึง 213 $\frac{N}{mm^2}$

b คือ ความหนา

m คือ โมดุล

F_b คือ แรงกดที่กระทำกับเฟือง หาได้จากสมการ 2.29

$$T = F_b r$$

เมื่อ r คือ รัศมีของเพลาเท่ากับ 12 mm

T คือ แรงบิด จากคำนวณข้างต้นมีค่าเท่ากับ 6.0934 Nm

ดังนั้น แรงกด F_b ที่กระทำกับเฟือง $= \frac{6.0934}{0.012} = 507.78N$

เพราะฉะนั้นความหนาของเฟือง $b = \frac{F_b}{\sigma Ym}$

$$= \frac{507.78}{213 \times 0.32 \times 1.5} = 4.96mm$$

เพื่อความสะดวกในการทำจึงใช้ค่าความหนาของเฟืองเท่ากับ 5 mm

นำค่าความหนา 5 mm นี้กลับไปคำนวณจากสมการ 2.15 อีกครั้งเพื่อตรวจสอบค่าความแข็งแรงของวัสดุ ซึ่งจะได้ค่า $\sigma = \frac{F_b}{bYm}$

$$= \frac{507.78}{5 \times 0.32 \times 1.5} = 211.575 \frac{N}{mm^2}$$

ซึ่งเป็นค่าความเค้นที่เกิดขึ้นกับเฟืองจะเห็นได้ว่าค่านี้ยังน้อยกว่าค่าความต้านทานแรงดึงของวัสดุ ดังนั้นค่าความหนา b เท่ากับ 5 mm และ มีค่าความปลอดภัยเท่ากับ $\frac{213}{211.57} = 1.01$

3.1.4 การออกแบบเพลาส่งกำลัง

ในการออกแบบเพลาเราจะเลือกใช้วัสดุคือทองเหลืองเพราะไม่เกิดสนิมและขึ้นรูปได้ง่ายกว่าเหล็ก จากสมการ 2.23

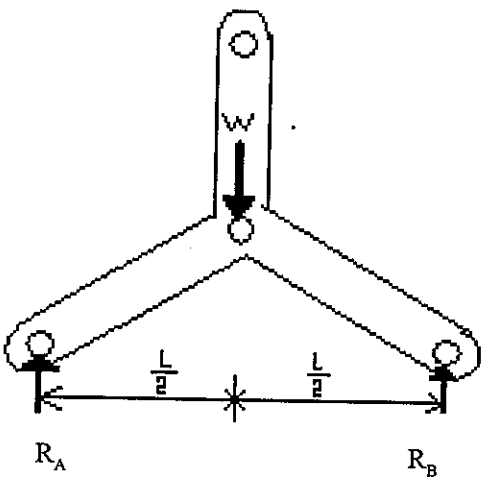
$$d^3 = \left(\frac{16}{\pi\tau}\right)\left[(C_t T)^2 + (C_m M)^2\right]^{\frac{1}{2}}$$

ซึ่งจำเป็นต้องทราบค่า M หรือโมเมนต์ดัดสูงสุดที่เกิดกับเพลาซึ่งเราจะพิจารณาว่าเพลาเป็นคานที่ต้องรับแรงกดคือน้ำหนักโดยที่ T คือแรงบิดหรือทอร์คที่หาได้จากมอเตอร์ เท่ากับ 6039.4 Nmm และ C_t , C_m คือค่าตัวประกอบความล้าเนื่องจากการดัดและการบิดซึ่งหาได้จากตารางที่ ข.14ซึ่งเท่ากับ 1 และ 1.5 ตามลำดับ

และค่า $\tau = 0.18\sigma_u$ จากตารางที่ ข.11 ค่า σ_u ของทองเหลืองหรือทองแดงสังกะสีผสมแบบรีด ที่ใช้กับงานกลึงง่าย มีค่าอยู่ระหว่าง 390 - 670 $\frac{N}{mm^2}$ โดยจะเลือกใช้ค่ากลางคือ 530 $\frac{N}{mm^2}$ เพราะฉะนั้นเราจะได้ค่า

$$\tau_d = 0.18 \times 530 = 95.4 \frac{N}{mm^2}$$

ในการคำนวนจะพิจารณาแค่เพลากลางล้อหน้า และเพลากลางล้อหลังเพราะเป็นส่วนที่รับแรงมากที่สุดส่วนเพลาที่เหลือจะออกแบบให้มีลักษณะเหมือนกันเพื่อง่ายต่อการสั่งซื้อและขึ้นรูปแต่รับแรงน้อยกว่าเพราะ ไม่ได้รับแรงบิดโดยตรงจากมอเตอร์และรับแรงกดเนื่องจากน้ำหนักน้อยกว่าเพลากลาง ซึ่งแสดงดังรูปที่ 3.9

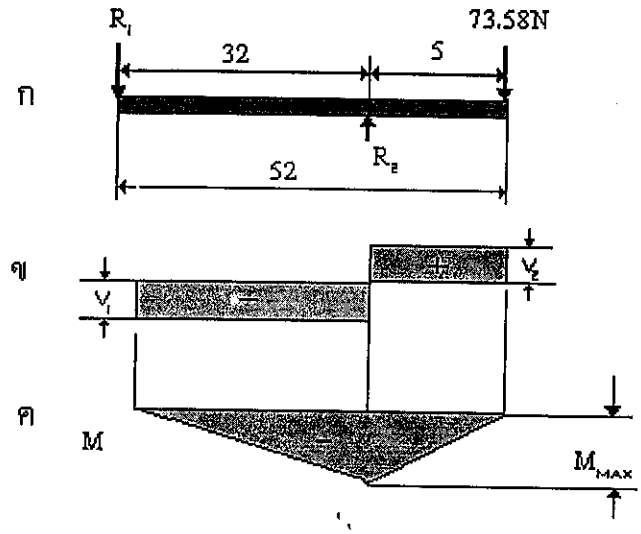


รูปที่ 3.9 จุดรับแรงที่ขาล้อ

จากรูปที่ 3.5 W คือน้ำหนักที่กดลงมาที่เพลากลาง ส่วน R_A และ R_B คือแรงปฏิกิริยาที่กดขึ้นที่กระทำกับเพลาส่วนที่ติดอยู่กับล้อ ซึ่งจะได้ว่า $W = R_A + R_B$

- เพลากลางล้อหลัง

จากรูป 3.6 R_1 ,R_2 คือแรงปฏิริยาที่ แบริ่งทั้งสองด้าน โดยที่1/4ของน้ำหนักที่กดลงมาคือ 73.58 N แสดงดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 แรงปฏิกริยาที่แบริ่งทั้งสองด้าน

$\Sigma M_{R1} = 0$; $(73.58)(37) - R_2(32) = 0$ (ทิศตามเข็มนาฬิกาเป็นบวก)

$R_2 = 85.07N$

$\Sigma F_Y = 0$; $85.07 - 73.58 - R_1 = 0$ (ทิศขึ้นเป็นบวก)

$R_1 = 11.5N$

จากค่าที่ได้ R_1 ,R_2 มีเครื่องหมายเป็นบวกแสดงว่าทิศทางของแรงกระทำถูกต้อง

จากภาคผนวก ตารางที่ ข.7 $M_{MAX} = (73.58)(5) = 367.9N \cdot mm$

นำค่า M_{MAX} ที่ได้ไปหาค่า d จากสมการ 2.23

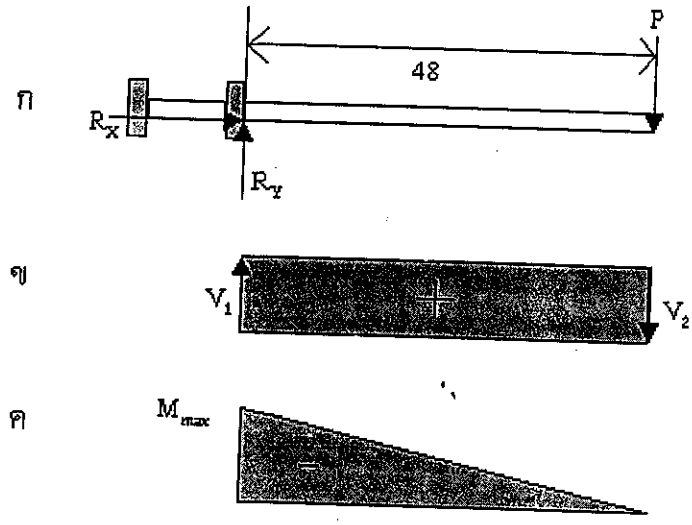
$$d^3 = \left(\frac{16}{\pi\tau}\right)\left[(C_t T)^2 + (C_m M)^2\right]^{\frac{1}{2}}$$

$$d^3 = \left(\frac{16}{95.4\pi}\right)\left\{[(1)(6039.4)]^2 + [(1.5)(367.9)]^2\right\}^{\frac{1}{2}}$$

$$d^3 = 747.97\text{mm}^3$$

$$d = 6.86\text{mm}$$

- เพลากลางล้อหน้า เพื่อให้ง่ายในการคำนวณเราจะพิจารณาช่วงระยะตั้งแต่แบริ่งตัวที่สองถึงตำแหน่งที่แรงหรือน้ำหนักโครงสร้างกระทำที่เพลา โดยที่น้ำหนักที่กระทำกับเพลานี้ก็คือ ¼ ของน้ำหนักโครงสร้างทั้งหมด ซึ่งเราจะพิจารณาว่าแรงจะกระทำรวมกันที่ส่วนปลายของเพลาคือบริเวณที่รับน้ำหนักโครงสร้าง และรับแรงบิดมาจากมอเตอร์ แสดงดัง รูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 แรงกระทำรวมกันที่ส่วนปลายของเพลา

จากตารางที่ ข.7 ค่า $M_{MAX} = -PL$

โดยที่ Pคือน้ำหนักที่กดลงมาคือ 73.58 N และ L = 48 mm. เพราะฉะนั้นค่าโมเมนต์ดัดสูงสุดที่กระทำกับเพลากลางล้อหน้า $M_{MAX} = (73.58)(48) = 3531.48\text{N}\cdot\text{mm}$

จากสมการ 2.23

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

$$d^3 = \left(\frac{16}{95.4\pi}\right)\left\{\left[(1)(6039.4)\right]^2 + \left[(1.5)(3531.48)\right]^2\right\}^{\frac{1}{2}}$$

$$d^3 = 799.15\text{mm}^3$$

$$d = 7.54\text{mm}$$

ในที่นี้จะเลือกใช้เพลาที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง d = 9.5 mm. ทั้งหมดเพื่อให้ง่ายต่อการจัดซื้อและง่ายต่อการกลึงเพื่อขึ้นรูป และเพื่อความปลอดภัยเราจะนำค่า d = 9.5 mm นี้กลับไปคำนวณเพื่อตรวจสอบอีกครั้ง จากสมการ 2.23

$$(9.5)^3 = \left(\frac{16}{\pi\tau}\right)\left\{\left[(1)(6039.4)\right]^2 + \left[(1.5)(3531.48)\right]^2\right\}^{\frac{1}{2}}$$

จะได้ค่า $\tau = 47.72 = 0.18\sigma_u$

เพราะฉะนั้น $\sigma_u = \frac{47.72}{0.18} = 265.11 \frac{N}{mm^2}$

น้อยกว่าค่า σ_u ของทองเหลือง ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 390-670 $\frac{N}{mm^2}$ ซึ่งมีความปลอดภัย

3.1.5 การหาขนาดแบริ่งที่เพลาส่งกำลัง

การออกแบบขนาดแบริ่งของล้อหน้าและหลัง

แรงกระทำต่อเพลาหลังส่วนใหญ่เป็นแรงในแนวรัศมี ซึ่งเป็นแรงที่กระทำต่อล้อ ส่วนแรงตามแนวแกนหรือแรงรุนมีค่าน้อยมากจึงไม่นำมาพิจารณา

ในการออกแบบแบริ่งของล้อหน้าจะเลือกบอลแบริ่งชนิด Single-row deep groove จากการคำนวณจะได้แรงในแนวรัศมี 294.3 นิวตัน วงแหวนรอบในหมุน มีแรงเรียบสม่ำเสมอมากระทำ และมีอายุการใช้งาน 12000-20000 hr อายุการใช้งานนี้เลือกจากตารางที่ ข.10 ที่เครื่องจักรที่ใช้งาน 8 hr แต่ไม่ได้ทำงานเต็มที่ เช่น มอเตอร์ไฟฟ้า ชุดเฟืองทดสำหรับงานทั่วไป

จากความเร็วของล้อ 66 rpm จะเท่ากับความเร็วสูงสุดที่เพลาหมุน ในการเลือกแบริ่งหมายถึงการพยายามคำนวณ โดยการสุ่มหาขนาดที่ต้องการหลายๆครั้ง จนกว่าจะได้แบริ่งที่ใช้งานได้ตามต้องการ โดยในที่นี้จะเลือกใช้บอลแบริ่งชนิด Single-row deep groove และเลือกจากอนุกรมมิติ 02 ที่ขนาดรูสวม 5 mm มาทดลองคำนวณหาอายุการใช้งานจากตารางที่ ข.9

$$C_0 = 940N$$

$$C = 1850N$$

จากตารางที่ ข.4 ตัวประกอบการกระแทก ชนิดแรงราบเรียบสม่ำเสมอ N_s เท่ากับ 1 วงแหวนในหมุนจะได้ V เท่ากับ 1

จาก $P = VF_r$

ดังนั้น $P = (1)(294.3) = 294.3N$

อายุการใช้งานหาได้โดย

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^{k}$$

$$= \left(\frac{1850}{294.3}\right)^{3}$$

$$= 248.39 \text{mr}$$

หรือ

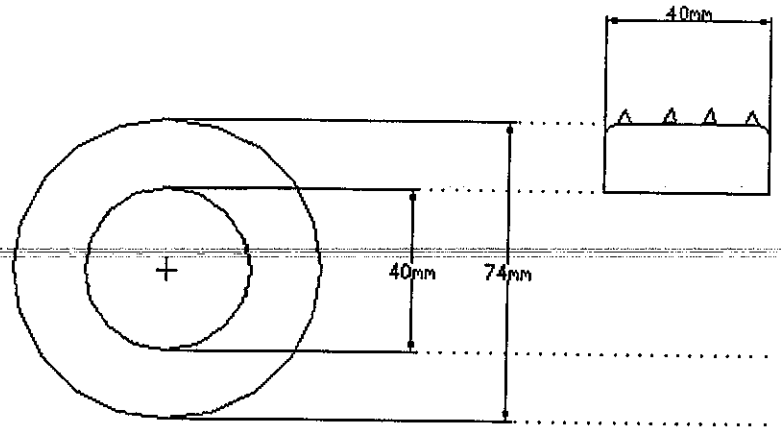
$$L_{10} = \frac{\left(248.39 \times 10^{6}\right)}{(66 \times 60)}$$

$$= 62724.74 \text{hr}$$

ดังนั้นแบริ่งขนาดรูสวม 5 mm อนุกรมมิติ 02 สามารถใช้งานได้เป็นเวลา 62724.74 ชั่วโมง อายุการใช้งานดังกล่าวอยู่นอกช่วงออกไปมาก ซึ่งแสดงถึงความปลอดภัย ดังขนาดรูสวม 5mm อนุกรมมิติ 02 จึงสามารถใช้งานได้ตามต้องการ แต่เพื่อความเหมาะสมกับรถปีนป่ายบันไดจึงเลือกใช้รูสวมขนาด 9.5 mm

3.1.6 ล้อ

ในการเลือกล้อรถที่นำมาใช้กับกลไกปีนป่ายบันไดจำลองนั้น จำเป็นที่ต้องทำการศึกษาว่าล้อที่เลือกนั้นสามารถรับแรงได้และมีคุณลักษณะที่ตรงตามความต้องการที่จะนำมาใช้ ซึ่งในส่วนนี้หมายถึงล้อจะต้องมีลักษณะที่เป็นปุ่มยื่นออกมา เพื่อที่จะเป็นตัวยึดเกาะขั้นบันไดให้ตัวรถสามารถที่จะปีนขึ้นไปได้ตามที่ได้ออกแบบไว้ โดยล้อที่เลือกใช้นั้นต้องเป็นล้อยางสามารถที่จะยืดหยุ่นได้ซึ่งจะเลือกใช้ล้อที่ติดมากับรถวิทยุบังคับเด็กเล่นโดยทั่วไป มาใช้เพราะมีขนาดที่ใกล้เคียงและตรงตามความต้องการมากที่สุด ซึ่งแต่ละล้อก็สามารถที่จะรับแรงทั้งหมดของตัวรถได้ ในการรับแรงนั้นก็จะกระจายแรงออกไปทุกๆ ล้อในเวลาวิ่งที่พื้นราบล้อทั้ง 8 ล้อก็จะเฉลี่ยกันรับแรง แต่ในเวลาปีนบันไดความเป็นไปได้ ที่จะเกิดขึ้นเวลาล้อหน้าและล้อหลังเกิดการพลิกพร้อมกันนั้นเกิดขึ้นได้ ซึ่งก็จะเหลือเพียง 4 ล้อเท่านั้นที่จะรับแรงซึ่งก็สามารถที่จะรับแรงได้ตามที่ออกแบบไว้ รายละเอียดของล้อ แสดงได้ดังรูปที่ 3.12 โดย ความกว้างของยางมีขนาด 40 mm ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของกระทะล้อ เท่ากับ40 mm และเส้นผ่านศูนย์กลางวงนอกสุดของยางเท่ากับ 74 mm



รูปที่ 3.12 แสดงรายละเอียดของล้อที่นำมาใช้กับกลไกปีนป่ายบันไดจำลอง

3.1.7 มอเตอร์ไฟฟ้า

มอเตอร์ไฟฟ้าที่นำมาใช้กับกลไกปีนป่ายบันไดจำลอง คือมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงซึ่งเป็นชุดที่ถูกติดตั้งมากับเฟืองหนอนสำเร็จแล้วให้อัตราทด 70 : 1 จากการคำนวณหากำลังของมอเตอร์ที่ผ่านมาได้มอเตอร์ขนาด 50.4 วัตต์ หรือ 0.06 hp แต่มอเตอร์ที่มีขายทั่วไปในท้องตลาดมีกำลัง 40.08 วัตต์ ซึ่งเป็นขนาดที่ใกล้เคียงที่สุดกับกำลังของมอเตอร์ที่คำนวณได้ และมีรูปร่าง น้ำหนักที่เหมาะสมกับชุดกลไกที่ออกแบบไว้ด้วย ซึ่งมอเตอร์ชุดนี้ใช้กระแสไฟเท่ากับ 3.34 แอมป์ ต่อชั่วโมงและใช้ความต่างศักย์ 12 โวลท์

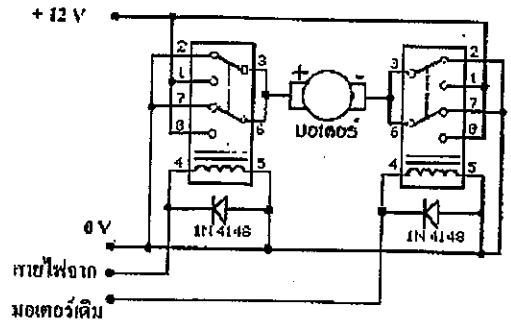
3.1.8 แบตเตอรี่

แบตเตอรี่เป็นแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าที่เป็นกระแสตรงให้กับมอเตอร์ไฟฟ้า ซึ่งแบตเตอรี่นี้จะต้องเลือกให้มีขนาดที่พอเหมาะกับการใช้งานกับมอเตอร์ไฟฟ้า ในกรณีนี้ใช้แบตเตอรี่ขนาด 12 โวลท์ ให้กระแส 11 แอมป์ ต่อชั่วโมง เพราะต้องใช้ แบตเตอรี่ที่จ่ายกระแสไฟได้เท่ากับหรือมากกว่ากระแสของมอเตอร์ที่ต้องใช้

3.1.9 ระบบบังคับเลี้ยว

ระบบบังคับเลี้ยวที่ใช้ในกลไกปีนป่ายบันไดจำลองนี้เป็นการเลี้ยวแบบอิสระซ้ายขวา นอกจากจะเลี้ยวซ้ายและเลี้ยวขวาปกติแล้ว ยังจะเลี้ยวในลักษณะที่ทำให้หมุนวน ซึ่งสามารถทำได้รอบทิศทางทั้งวนซ้ายหรือขวาเป็นมุม 360 องศา ด้วยคุณสมบัตินี้จึงสามารถเลี้ยวได้ในที่แคบซึ่งทำให้สามารถที่จะเลี้ยวกลับตัวได้ดีและเหมาะสมกับการใช้งานในกรณีที่มีพื้นที่จำกัด

รีโมทที่ใช้กับชุดกลไกนั้นจะนำมาจากรถบังคับวิทยุตามท้องตลาดทั่วไปซึ่งมีความสะดวกไม่ต้องทำวงจรขึ้นใหม่ทั้งหมดและมีราคาถูกกว่าด้วย แต่ต้องทำการดัดแปลงให้มีการควบคุมปริมาณกระแสไฟฟ้าให้มากขึ้น เพราะมอเตอร์ที่ใช้ต้องการกระแสไฟฟ้ามากกว่าเดิม ในการดัดแปลงนั้นจะใช้ตัวรีเลย์เป็นสวิตช์เปิด-ปิดกระแสไฟฟ้าให้มอเตอร์ โดยผู้ใช้งานจะบังคับรีโมทเป็นตัวควบคุมรีเลย์ให้ทำงาน เพื่อจ่ายไฟให้มอเตอร์หมุนในทิศทางที่ต้องการ โดยรายละเอียดวงจรจะแสดงดังรูปที่ 3.13



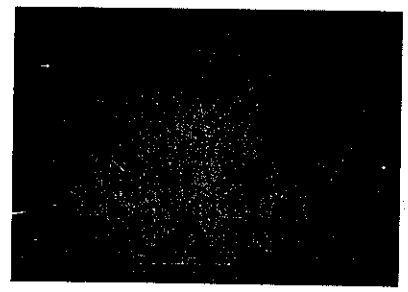
รูปที่ 3.13 วงจรไฟฟ้าควบคุมมอเตอร์

3.2 วิธีการดำเนินการสร้าง

ในการสร้างกลไกปืนป่ายบันไดจำลองสามารถทำได้ดังนี้

1.หลังจากการสำรวจกลไกปืนป่ายเรียบร้อยแล้ว จากนั้นจึงจัดหาซื้อวัสดุอุปกรณ์หรือชิ้นส่วนที่นำมาสร้างกลไกปืนป่ายบันไดจำลอง ซึ่งส่วนบางส่วนจะเป็นของใหม่และบางส่วนก็จะเป็นชิ้นส่วนที่ไม่ใช้แล้วจึงได้นำมาดัดแปลงให้เหมาะสมกับการใช้งาน

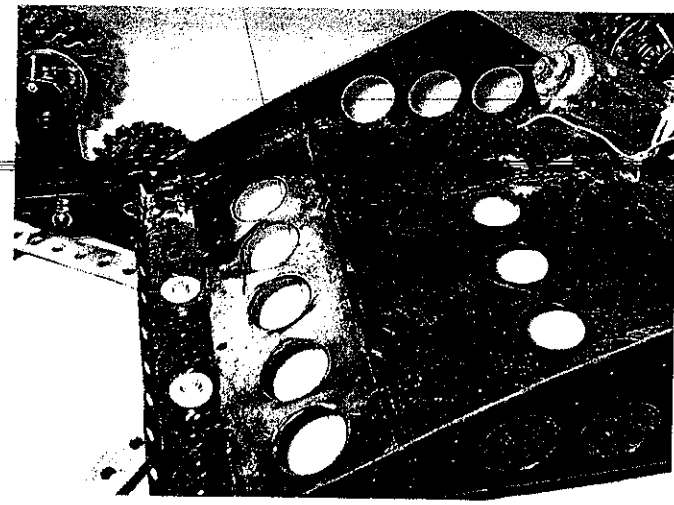
2. กัดเฟืองตามที่ได้ออกแบบและคำนวณไว้จำนวน 14 ตัว แสดงได้ดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 เฟืองที่ใช้ในการขับเคลื่อน

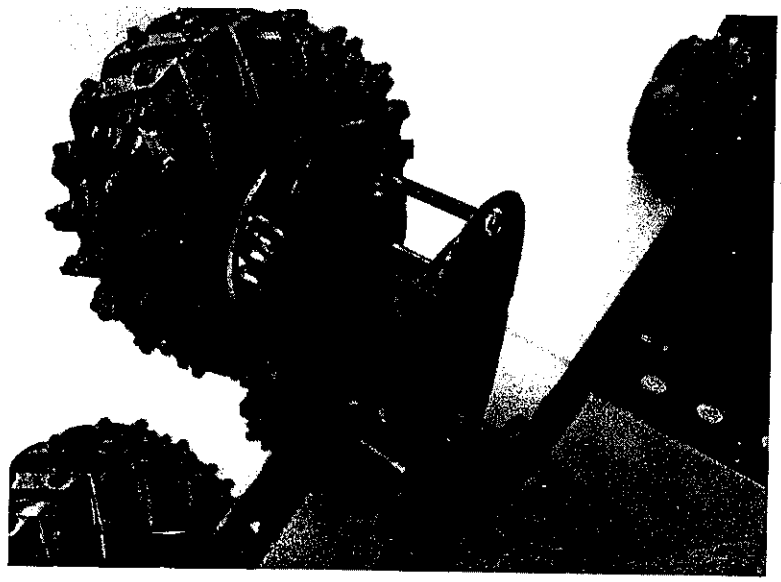
3. เริ่มสร้างโครงสร้างด้านข้างและพื้นก่อน โดยจะสร้างจากเหล็กแผ่นบางหนา 1.5 mm

4.ทำการเชื่อมโครงสร้างด้านข้างและพื้นเข้าด้วยกันโดยโครงสร้างที่สร้างเสร็จแล้วจะแสดงได้ดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 โครงสร้างพื้นและด้านข้างที่ประกอบเสร็จ

5. ตัดโครงสร้างที่ใช้ประกอบชุดล้อมีลักษณะสามแฉกจำนวน 8 ชิ้น พร้อมเจาะรูตามขนาดที่ได้ออกแบบไว้ โดยใช้เหล็กแผ่นบาง 1.5 mm แสดงได้ดังรูปที่ 3.16

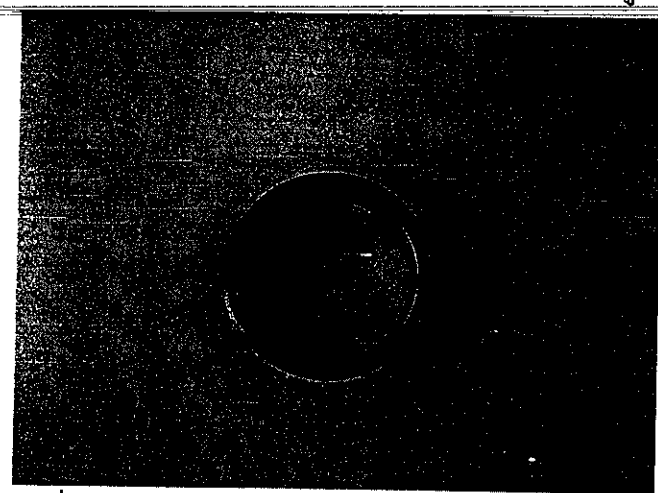


รูปที่ 3.16 โครงสร้างขาล้อที่ใช้สำหรับประกอบชุดล้อ

6. ตัดเหล็กกลม

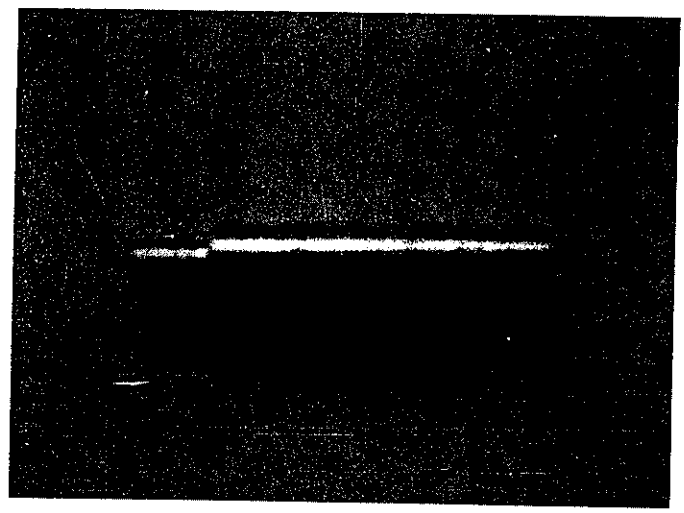
- เส้นผ่านศูนย์กลางวงนอก 26.8 mm
- เส้นผ่านศูนย์กลางวงใน 22.0 mm
- หนา 7.0 mm

จำนวน 44 ชิ้น เพื่อใช้เป็นตัวครอบยึดแบริ่ง แสดงได้ดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 ตัวอย่างเหล็กกลมเพื่อใช้เป็นตัวครอบยึดแบริ่ง

7. กลึงเพลาทองเหลืองเพื่อใช้สำหรับยึดเฟืองประกอบกับแบริ่งตามที่ได้ออกแบบและคำนวณไว้ แสดงได้ดังรูปที่ 3.18

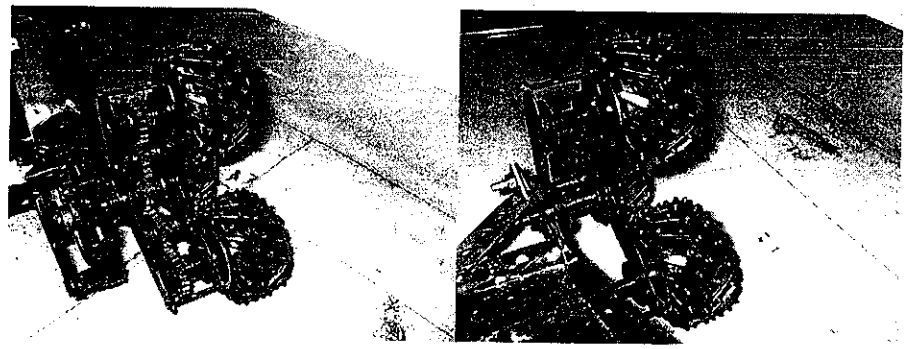


รูปที่ 3.18 ตัวอย่างเพลาที่ใช้ในกลไกปืนป่ายบันไดจำลอง

8. ประกอบที่ครอบแบริ่งเข้ากับชุดขาล้อที่มีลักษณะสามแฉกด้วยวิธีการเชื่อม

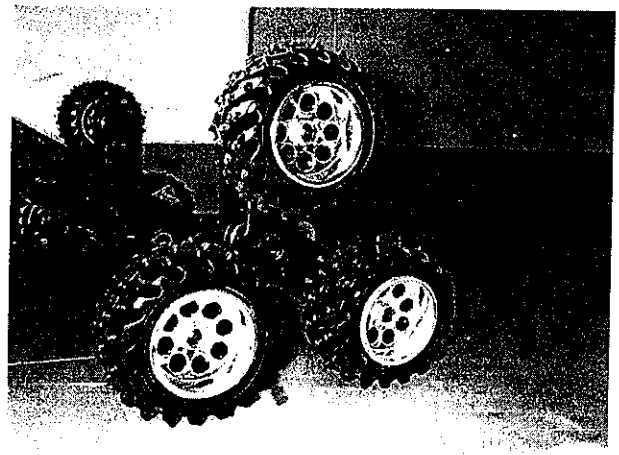
- ชุดล้อหน้า จะติดตั้งเพลาทั้งหมด 7 ตัว ในแต่ละชุด และมีเฟืองทั้งหมด 7 ตัวที่ทำหน้าที่ขบกันเพื่อส่งกำลัง โดยติดตั้งทั้งหมด 2 ชุดคือซ้ายและขวาเพื่อเป็นการแยกระบบขับเคลื่อนออกจากกันแบบอิสระ

- ชุดล้อหลัง จะติดตั้งเพลาทั้งหมด 4 ตัว ในแต่ละชุด และไม่มีเฟืองที่ทำหน้าที่ขบกันเพราะชุดขับเคลื่อนหลังออกแบบมาให้เคลื่อนที่เป็นอิสระ โดยติดตั้งทั้งหมด 2 ชุดซ้ายและขวาแยกออกจากกันเพื่อความเป็นอิสระในการขับเคลื่อน ทั้งหมดแสดงได้ดังรูปที่ 3.19



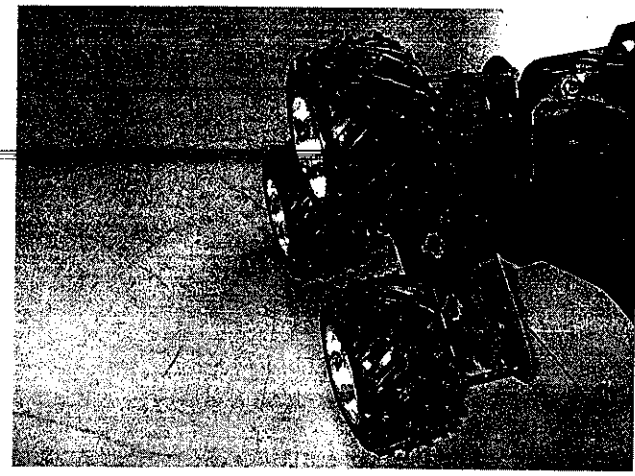
รูปที่ 3.19 ชุดขับเคลื่อนหน้า และหลังตามลำดับ

9. ประกอบเฟือง แบริ่งเข้ากับชุดขาล้อ โดยเฟืองใช้วิธีการยึดด้วยสลักเกลียว ส่วนแบริ่งใช้วิธีการสวมอัด แสดงได้ดังรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 ชุดขาล้อที่ประกอบเสร็จ

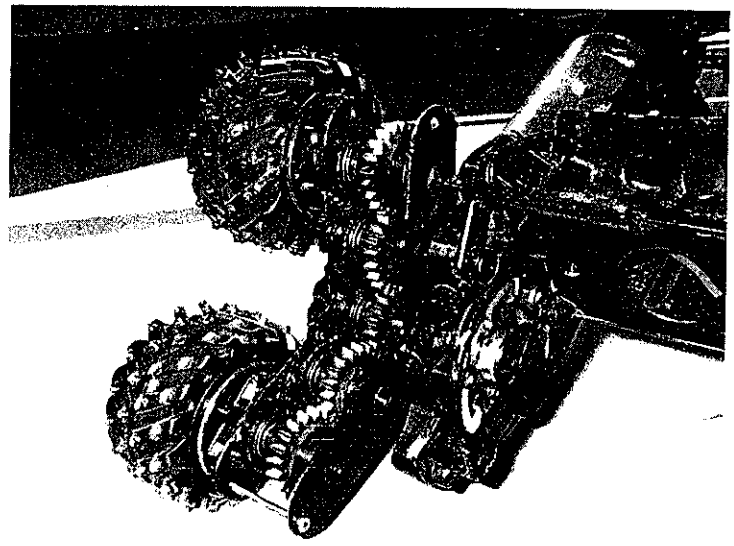
10. นำล้อทั้ง 12 ล้อ มาประกอบเข้ากับชุดขับเคลื่อนทั้งหน้า และหลัง และยึดปลายด้วยสลักเกลียวหรือน๊อต แสดงได้ดังรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.21 ล้อที่ประกอบยึดเข้ากับชุดขับเคลื่อนหน้า และหลังตามลำดับ

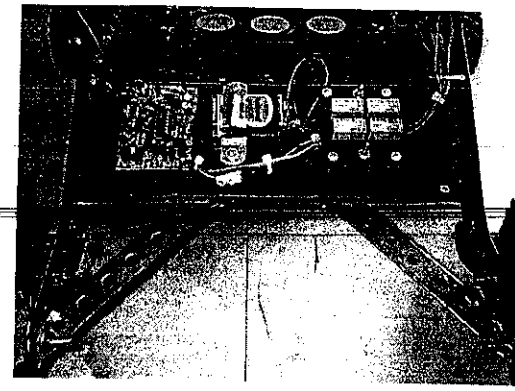
11. นำชุดขับเคลื่อนมาประกอบเข้ากับตัวโครงสร้างรถ ทั้งชุดขับเคลื่อนหน้าและหลัง

12. ติดตั้งมอเตอร์เข้ากับชุดขับเคลื่อนหน้าโดยแยกเป็นอิสระซ้ายและขวา ด้วยวิธีการการยึดด้วยสลักเกลียวหรือน๊อต พร้อมกับยึดเฟืองมอเตอร์เข้ากับเพลากลางของชุดขับเคลื่อนด้วยสลักเกลียวหรือน๊อต แสดงได้ดังรูปที่ 3.22



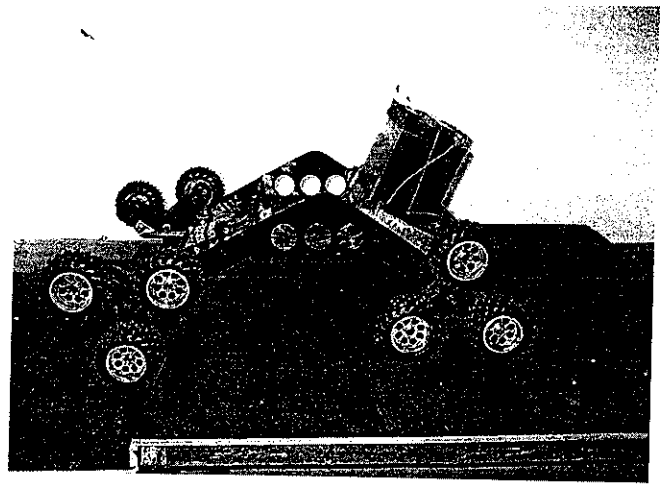
รูปที่ 3.22 การติดตั้งมอเตอร์เข้ากับชุดขับเคลื่อนล้อหน้า

13. ติดตั้งแผงวงจรควบคุมเข้ากับตัวรถบริเวณพื้นด้านบน แสดงได้ดังรูปที่ 3.23



รูปที่ 3.23 จุดที่ใช้ติดตั้งแผงวงจรควบคุม

14. ทำการพ่นสีชุดกลไก เสร็จแล้วจะได้ชุดกลไกตามที่ออกแบบไว้ดัง รูปที่ 3.24



รูปที่ 3.24 ชุดกลไกปืนป่ายบันไดจำลองที่เสร็จสมบูรณ์

สามารถที่จะแสดงรายละเอียดต่างๆ ของกลไกปีนป่ายบันไดจำลองที่ได้จากการออกแบบได้ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงรายละเอียดต่างๆ ของกลไกปีนป่ายบันไดจำลองที่ได้จากการออกแบบ

SPECIFICATION		
ELECTRIC MOTOR	DC 12 V	
BATTERY TYPE	1 Unit x 12 V, Capacity 11 Ah	
CHARGER	Stationary	
TRANSMISSION	Gear	
MAX SPEED	1 km/hr	
GRADIENT	30°	
WHEEL & TIRES	40 mm – 74 mm	
DIMENSION	Length	548.0 mm
	Width	424.0 mm
	Height	180.0 mm
EMPTY WEIGHT	10 kg.	
CARRYING WEIGHT	20 kg.	
TOTAL WEIGHT	30 kg.	

สรุปรายการอุปกรณ์

1. มอเตอร์กระแสตรง	2	ตัว
2. ล้อ	12	ล้อ
3. แบตเตอรี่	1	ลูก
4. เพลา	22	อัน
5. เฟือง	14	อัน
6. แบริ่ง	44	อัน
7. ชุดรีโมทคอนโทน	1	ชุด
8. เหล็กแผ่นบางเรียบ	0.5	ตารางเมตร

3.3 ขั้นตอนการทดสอบ

การทดสอบกลไกปีนป่ายบันไดจำลองที่ได้สร้างขึ้นนี้ มีจุดประสงค์เพื่อต้องการทราบข้อมูลต่างๆ ของกลไกปีนป่ายบันไดจำลองในสภาพใช้งานจริงเปรียบเทียบกับข้อมูลตามทฤษฎี เพื่อเป็นประโยชน์สำหรับการพัฒนาต่อไป และผลการทดสอบนี้จะได้แสดงถึงสมรรถนะของกลไกปีนป่ายบันไดจำลองคันนี้ด้วย

ในการทดสอบที่ได้ทำการทดสอบจริงต้องมีการดัดแปลงให้เข้ากับความจำกัดของอุปกรณ์ทดสอบ ดังนั้นจึงทำให้ผลการทดสอบที่ได้ไม่สามารถถือเป็นมาตรฐานที่จะใช้เปรียบเทียบกับมาตรฐานสากลได้

เนื่องจากกลไกปีนป่ายบันไดจำลองนี้ทำการสร้างขึ้น เพื่อเป็นต้นแบบในการนำไปประยุกต์ใช้งานกับรถเข็นคนพิการ ดังนั้นการทดสอบจึงต้องมีความเกี่ยวข้องกับการบรรทุก และการปีนป่ายขั้นบันได ซึ่งมีดังนี้

1. การหาความเร็วของกลไกที่สภาวะและระดับภาระต่างๆ
2. การหาความสูงของจุดศูนย์ถ่วง
3. รัศมีวงเลี้ยว
4. จำนวนชั่วโมงการใช้งานของแบตเตอรี่ที่ภาระต่างๆ

3.3.1 การทดสอบหาความเร็วของชุดกลไกที่สภาวะและระดับภาระต่างๆ

อุปกรณ์

1. ชุดกลไกปีนป่ายบันไดจำลองพร้อมแบตเตอรี่
2. ตลับเมตร
3. นาฬิกาจับเวลา
4. ชอล์ก
5. ตุ้มน้ำหนักขนาด 5 กิโลกรัม จำนวน 4 อัน
6. บันไดจำลอง (ความชัน 30 องศา)

รูป 3.24 แสดงตำแหน่งการจับเวลาในการทดสอบ

วิธีทดสอบ

1.ใช้ตลับเมตรวัดพื้นราบระยะทางเป็น 2 ช่วง ๆ 2.5 เมตรดังรูป 3.24 จากนั้นให้ใช้ชอล์กทำเครื่องหมายไว้

2. บังคับกลไกปีนป่ายบันไดจำลองโดยไม่บรรทุกน้ำหนัก

3. จับเวลาที่ได้ระยะทางช่วง 2.5 เมตรแรก และ 2.5เมตรหลัง ที่ภาระดังกล่าว บันทึกผลการทดสอบ ทำการทดสอบซ้ำอีกสองครั้ง

4. ทำตามขั้นตอนที่ 2 - 3 โดยเพิ่มน้ำหนักบรรทุกเป็น 5,10,15,20 กิโลกรัม ตามลำดับ

5. ทำตามขั้นตอนที่ 2 - 4 โดยทดสอบบนบันไดจำลอง

3.3.2 การทดสอบหาความสูงของจุดศูนย์ถ่วง

อุปกรณ์

1. กลไกปีนป่ายบันไดจำลองพร้อมแบตเตอรี่

2. ตลับเมตร

3. เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล จำนวน 2 เครื่อง

4. แท่นสำหรับยกเพลา สูง 0.2 เมตร จำนวน 1 อัน

5. ตุ้มน้ำหนักขนาด 20 กิโลกรัม จำนวน 1 อัน

วิธีการทดสอบ

1. นำกลไกปีนป่ายบันไดจำลองพร้อมแบตเตอรี่ขึ้นชั่งเพื่อหาน้ำหนักที่กระทำที่ ล้อหลังและล้อหน้าโดยชั่งพร้อมกัน บันทึกผล

2. ยกเพลาหน้าของกลไกปีนป่ายบันไดจำลองพร้อมแบตเตอรี่ขึ้นบนแท่น สำหรับยกเพลา โดยที่ล้อหลังจะอยู่บนเครื่องชั่งน้ำหนัก บันทึกผลและคำนวณหาความสูงของจุดศูนย์ถ่วง

3 ทำตามขั้นตอนที่ 1 - 2 โดยเพิ่มน้ำหนักบรรทุกเป็น 20 กิโลกรัม

3.3.3 การทดสอบหารัศมีวงเลี้ยว

อุปกรณ์

1. กลไกปีนป่ายบันไดจำลองพร้อมแบตเตอรี่

2. ตลับเมตร

วิธีการทดสอบ

1. บังคับกลไกปีนป่ายบันไดจำลองโดยให้เลี้ยวซ้ายสุดเป็นวงกลม แล้ววัดขนาดวงกลมของล้อหน้า ด้านนอกและด้านใน บันทึกผล

2. ทำตามขั้นตอนที่ 1 แต่เปลี่ยนจากเลี้ยวซ้ายเป็นเลี้ยวขวา, หมุนซ้าย และหมุนขวา ตามลำดับ

3.3.4 การทดสอบชั่วโมงการใช้งานของแบตเตอรี่

อุปกรณ์

1. แบตเตอรี่ 12 โวลต์ 11 แอมแปร์/20ชั่วโมง จำนวน 1 ลูก
2. เครื่องชาร์ตแบตเตอรี่
3. มัลติมิเตอร์
4. ชอล์ก
5. ตลับเมตร
6. นาฬิกาจับเวลา
7. ตุ้มน้ำหนักขนาด 20 กิโลกรัม

วิธีการทดสอบ

1.ก่อนทำการทดสอบใช้มัลติมิเตอร์ วัดความต่างศักย์ไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ที่ชาร์ตแล้วบันทึกเป็นค่าเริ่มต้น

2. เริ่มจ่ายกระแสไฟฟ้าแก่มอเตอร์ให้กลไกปีนป่ายบันไดจำลองเคลื่อนที่โดยไม่มีน้ำหนักบรรทุก โดยขับเคลื่อนรถเป็นวง ระยะทาง 60 เมตรต่อรอบ

3. จับเวลาและวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าเมื่อครบทุก 5 รอบ จากนั้นหยุดพัก 10 นาที เพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับมอเตอร์

4. ทดสอบจนกว่ากลไกปีนป่ายบันไดจำลองจะไม่เคลื่อนที่เนื่องจากมีกำลังไฟฟ้าไม่เพียงพอ แล้วบันทึกระยะทาง เวลา และความต่างศักย์ไฟฟ้า

5. นำแบตเตอรี่ไปชาร์ตใหม่ แล้วทดสอบตามขั้นตอนที่ 1-4 โดยเพิ่มน้ำหนักบรรทุกเป็น 20 กิโลกรัม