

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 14
2-3 พฤศจิกายน 2543 โรงแรม โนวาเทล เชียงใหม่

รถไฟฟ้าคนพิการ DC MOTOR FOR WHEELCHAIR

อรุพงษ์ ลัทธิสองเนิน* และ ทวี เทศเจริญ**

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
กรุงเทพฯ 10520

Urupong Latthisoongnern and Thavee Teschareon

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering,

King Mongkut Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand

บทคัดย่อ

รถไฟฟ้าสำหรับคนพิการ จัดสร้างขึ้นเพื่อความสะดวกสบายของคนพิการโดยไม่ต้องพึ่งพาผู้อื่นแต่ผู้พิการสามารถควบคุมรถขึ้นได้ด้วยตนเองโดยมีการนำมอเตอร์กระแสตรง (DC MOTER) มาประยุกต์ใช้เพื่อขับเคลื่อน อีกทั้งชุดส่วนหน้าที่ยึดทำขึ้นมานี้ยังสามารถนำไปประกอบใช้กับรถเข็นคนพิการทั่วๆไปได้โดยไม่ต้องทำการดัดแปลงใดๆ และที่สำคัญวัสดุที่นำมาใช้เป็นวัสดุที่หาได้ง่ายตามท้องตลาดซึ่งทำให้ประหยัดต้นทุนได้มาก

ABSTRACT

The electrical wheelchair is convenient for disable men. They can use this wheelchair by themselves. Therefore, a motor drive wheelchair was designed to comfort them. And it can be easily fixed to the front part of an ordinary wheelchair with effective cost.

1.บทนำ

ในปัจจุบันมีผู้ป่วยและคนพิการเพิ่มขึ้นอย่างมาก เขาเหล่านี้จำเป็นต้องใช้รถเข็นเมื่อต้องการเดินทางไปยังที่ที่ต้องการ ซึ่งรถเข็นที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันยังมีความสะดวกไม่เพียงพอเพราะต้องใช้ผู้อื่นช่วยเข็น หรือเมื่อต้องการขึ้นเองก็ต้องใช้แรงมากซึ่งคนพิการบางคนไม่สามารถขึ้นเองได้ จึงเป็นการจำกัดโลกของคนพิการให้แคบลง ทั้งนี้ในปัจจุบันได้

มีการผลิตรถสำหรับคนพิการที่นำมอเตอร์ไฟฟ้าชนิดกระแสตรงมาใช้ในการขับเคลื่อนซึ่งใช้แหล่งพลังงานจากแบตเตอรี่ โดยนำมอเตอร์มาติดไว้กับล้อทั้งสองของรถเข็นคนพิการ และมีแผงควบคุมสำหรับบังคับการเคลื่อนที่และปรับระดับความเร็วอยู่ด้านหน้า ซึ่งถ้าส่วนควบคุมหรือมอเตอร์เกิดขัดข้องจะทำให้ไม่สามารถใช้รถได้จนกว่าจะซ่อมเสร็จ

ดังนั้นจึงเกิดแนวความคิดที่จะทำอย่างไรเมื่อเกิดเหตุขัดข้องกับอุปกรณ์ใดๆก็ตาม จะสามารถถอดส่วนประกอบต่างๆออกได้และยังสามารถใช้เป็นรถเข็นคนพิการได้เหมือนเดิมอีกทั้งราคาโดยทั่วไปของรถไฟฟ้าคนพิการยังมีราคาสูงทำให้จำนวนผู้ใช้มีค่อนข้างน้อย ดังนั้นจึงมีการนำวัสดุที่หาได้ง่ายและราคาถูกมาสร้างซึ่งเป็นการช่วยลดต้นทุนในการผลิตให้ถูกลงมาก เพื่อที่จะได้เป็นทางเลือกสำหรับผู้พิการที่มีฐานะยากจน

2.ทฤษฎี

ในการออกแบบ เราจะต้องคำนวณหาแรงต่างๆที่มีผลต่อการเคลื่อนที่ของรถเพื่อที่จะหาขนาดของมอเตอร์จะใช้และหาขนาดของเพลายึดซึ่งต้องทำสำหรับรับแรงที่จะเกิดขึ้น เพื่อทำการติดตั้งชุดส่วนหน้ากับรถเข็นคนพิการที่เหมาะสม

ข้อมูลพื้นฐานในการออกแบบ

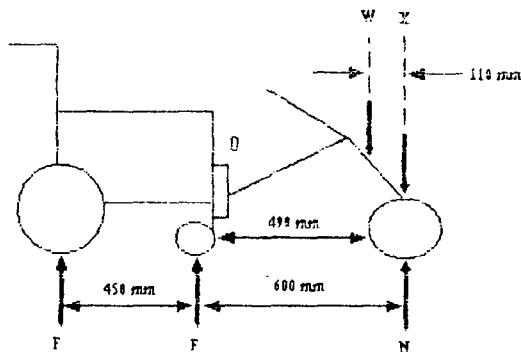
- น้ำหนักคนมาตรฐาน = 65 กิโลกรัม
- น้ำหนักรถเข็นคนพิการ = 26 กิโลกรัม
- น้ำหนักชุดส่วนหน้า = 28 กิโลกรัม(ไม่รวมแบตเตอรี่)

* นักศึกษาทดลองวิจัยปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง

** รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง

- น้ำหนักแบตเตอรี่ = 1.8 กิโลกรัม/ก้อน

2.1 การคำนวณแรงปฏิกิริยาที่กระทำต่อล้อในแต่ละล้อ



รูปที่ 1. แสดงตำแหน่งของแรงปฏิกิริยาที่กระทำ

จากรูปที่ 1. เราได้ออกแบบจุดยึดต่อ (จุด 0) ให้สามารถเคลื่อนไหวได้อย่างอิสระ ดังนั้นแรงปฏิกิริยาจึงเป็นอิสระต่อกันในชุดส่วนหน้าและตัวรถขึ้น ดังที่ได้กล่าวมาแล้วทำให้สามารถแยกพิจารณาได้เป็น 2 ส่วนคือ ส่วนของรถขึ้นคน พิกการและชุดส่วนหน้า เมื่อ F คือแรงปฏิกิริยาที่พื้นกระทำต่อล้อของรถขึ้น และ N คือ แรงปฏิกิริยาที่พื้นกระทำต่อล้อส่วนหน้า เมื่อเราพิจารณาส่วนของรถขึ้นซึ่งถือว่ามีความสมมาตรกัน ดังนั้นแรง F จึงเท่ากันทั้ง 4 ล้อ

$$\text{จากกฎความสมดุล} \quad \Sigma F = 0 \quad (1)$$

$$\text{จะได้ว่า} \quad 4F - mg = 0$$

$$F = mg / 4$$

$$\text{แทนค่า} \quad F = [(26+65) \cdot 9.807] / 4$$

$$\text{จะได้} \quad F = 223.1 \text{ N}$$

สำหรับชุดส่วนหน้า เมื่อ R คือ แรงที่สปริงดันโครงชุดส่วนหน้า

$$\text{จากสมมูลโมเมนต์รอบจุดหมุน} \quad \Sigma M_0 = 0 \quad (2)$$

จะได้

$$N(490+110) = W(490) + X(490+110)$$

แทนค่า

$$N(600) = (309.9)(490) + (35.3)(600)$$

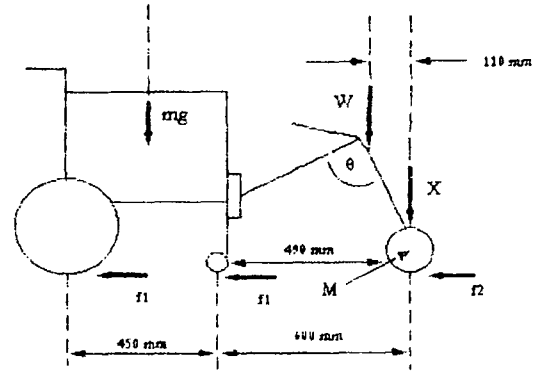
$$\text{ดังนั้น} \quad N = 288.38 \text{ N}$$

$$\text{และจาก} \quad \Sigma F_y = 0 \quad (3)$$

$$\text{จะได้} \quad R + N = W + X$$

$$\text{แทนค่า} \quad R = 309.9 + 35.3 - 288.38$$

$$\text{ดังนั้น} \quad R = 56.82 \text{ N}$$



รูปที่ 2. แสดงตำแหน่งของแรงที่กระทำต่อรถขณะเริ่มเคลื่อนที่

จากรูปที่ 2. สามารถคำนวณหาแรงเสียดทานที่ล้อของทั้งสองส่วนได้จากสมการ

$$f = \mu N \quad (4)$$

โดยจะคำนวณในขณะที่ยานเริ่มจะเคลื่อนที่เนื่องจากมอเตอร์ต้องใช้แรงขับสูงสุด และเลือกค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานจากตารางโดยเลือกค่าระหว่างล้อกับพื้นผิวเรียบ (RUBBER TIRES ON SMOOTH PAVEMENT (DRY)) ซึ่งมีค่า $\mu_s = 0.9$ และ $\mu_k = 0.8$ ดังนั้นเราสามารถคำนวณแรงเสียดทานที่ล้อได้ดังนี้

$$\text{รถขึ้น} \quad f_1 = 0.9 \cdot 223.1 = 200.8 \text{ N}$$

$$\text{ชุดส่วนหน้า} \quad f_2 = 0.9 \cdot 288.38 = 260 \text{ N}$$

2.2 การคำนวณหาแรงที่ต้องใช้ในการขับเคลื่อนให้รถเคลื่อนที่

จากแรงทั้งหมดที่เกิดขึ้นนั้นซึ่งแสดงดังรูปที่ 2. จะพบว่าแรงที่มอเตอร์กระทำต่อล้อ (M) นั้นเอียงทำมุม θ ซึ่งสามารถแจกแรง M ได้เป็น

$$M_x = M \sin \theta \quad \text{และ} \quad M_y = M \cos \theta$$

จากกฎการสมดุล ($\Sigma F = 0$) จะได้

$$\Sigma F_x = 0 \quad : \quad M_x = 4(f_1) + f_2 \quad (5)$$

$$\text{ดังนั้น} \quad M_x = 4(200.8) + 260 = 1063.2 \text{ N}$$

$$\text{และ} \quad \Sigma F_y = 0 \quad : \quad M_y = mg + W + X \quad (6)$$

$$\text{ดังนั้น} \quad M_y = (91 \cdot 9.807) + 309.9 + 35.5$$

$$M_y = 1237.63 \text{ N}$$

หามุม θ ซึ่งเป็นมุมของขาตะเกียบกระทำกับพื้นจาก

$$\tan \theta = M_y / M_x \quad (7)$$

$$\text{ดังนั้น} \quad \theta = \tan^{-1} (1237.63 / 1063.2)$$

$$\theta = 50^\circ$$

ซึ่งมุมที่วัดได้จริงของขาตะเกียบที่สร้างขึ้นคือ 48°
 ดังนั้น สามารถหาแรงที่มอเตอร์ใช้ในการขับเคลื่อน

$$M = M_y / \cos \theta \quad (8)$$

แทนค่าจะได้ $M = 1237.63 / \cos 50^\circ$

$$M = 1925.7 \text{ N}$$

แต่จากแรงบิด (Torque, T)

$$T = F * R \quad (9)$$

เมื่อ R คือ รัศมีของ STIR ของล้อมีค่าเท่ากับ 145 mm.

แทนค่าจะได้ $T = 1925.7 * 0.145$

ดังนั้น $T = 29.96 \text{ N.m}$

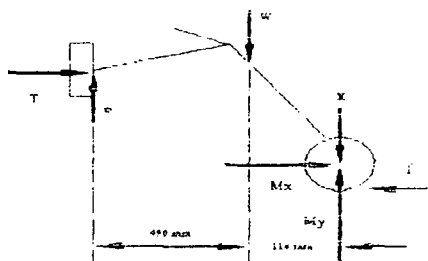
และเนื่องจาก STIR มีอัตราทดเป็น 1.82 : 1 ดังนั้นทอร์กที่มอเตอร์จะต้องขับ (T_m) คือ

$$T_m = 29.96 / 1.82$$

ดังนั้น $T_m = 16.46 \text{ N.m}$

2.3 การคำนวณขนาดของเพลาคู่มือ

เนื่องจากเพลาคู่มือนี้เป็นตัวรับแรงค่อนข้างมากดังนั้นจึงจำเป็นต้องออกแบบให้ทนต่อแรงที่เกิดขึ้นได้โดยไม่เสียหาย ซึ่งในการคำนวณจะพิจารณาเฉพาะจุดส่วนหน้าที่กำลังจะเคลื่อนที่ ซึ่งเขียนรูปได้ดังนี้



รูปที่ 3. แสดงแรงที่กระทำกับจุดส่วนหน้าของวง

โดยแรงที่ใช้ในการคำนวณขนาดของเพลาคู่มือจะเป็น

แรง T เพียงอย่างเดียวส่วนแรง R ไม่นำมาใช้เนื่องจากเป็นแรงที่สปริงกระทำต่อโครงชุดส่วนหน้าไม่เกี่ยวกับเพลาก่อนอื่นต้องหาแรงเสียดทานของล้อกับพื้นในขณะที่รถวิ่ง โดยเปลี่ยนค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน ($\mu_s \rightarrow \mu_k = 0.8$)

$$\text{จาก} \quad f = \mu_k N \quad (10)$$

ดังนั้น $f = 0.8 * 288.38$

$$= 230.7 \text{ N}$$

หาแรง T ได้จาก $\sum F_x = 0$

ดังนั้น $T + M_x - f = 0$

แทนค่า $T = 230.7 - 1063.2$

ดังนั้น $T = 832.5 \text{ N}$ ที่ศ ←

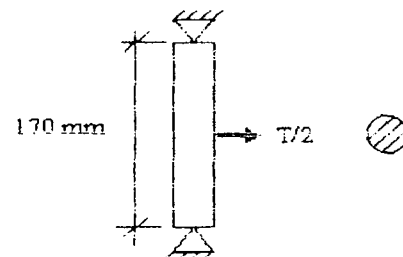
หาแรง R ได้จาก $\sum F_y = 0$

ดังนั้น $W + X - R - M_y = 0$

แทนค่า $R = 309.9 + 35.3 - 1237.82$

ดังนั้น $R = 892.6 \text{ N}$ ที่ศ ↓

ซึ่งจะได้ลักษณะของแรงที่กระทำกับเพลาดังรูป



รูปที่ 4. แสดงแรงที่กระทำต่อเพลาคู่มือเคลื่อนที่

โดยในการคำนวณชิ้นส่วนเครื่องจักรกลส่วนมากจะรับแรงในแนวตั้งลักษณะเหมือนกันทั่วไป จะใช้ความเค้นดัด (Bending Stress) และการยุบตัว (Deflection) เป็นข้อจำกัดในการออกแบบซึ่งจากรูป 4. หาโมเมนต์ได้จาก

$$M = (T/2) * L \quad (11)$$

แทนค่า $M = (832.5/2) * 0.17$

ดังนั้น $M = 70.7625 \text{ N}$

โดยที่ $I = \pi D^4 / 64$ และ $c = D/2$

หา σ_c โดยเลือกเหล็ก AISI.1040HR จะได้ $\sigma_c = 400 \text{ N/mm}^2$

และใช้ค่า Factor of safety = 4 โดยพิจารณาแรงที่มากระทำต่อเพลาคู่มือเป็นแบบแรงสองทิศทางและกระทำเล็กน้อย

ดังนั้น $\sigma_c / 4 = Mc / I$ (12)

แทนค่า $0.4 / 4 = (70.7625 * D/2) / (\pi D^4 / 64)$

ดังนั้น $D = 19.5 \text{ mm}$.

3.การทดสอบ

ในการทดสอบสมรรถนะของรถไฟฟ้าคนพิการที่สร้างขึ้นนี้ จะทำการทดสอบโดยแบ่งเป็น 4 ตอน กล่าวคือการทดสอบความเร็วของรถไฟฟ้าคนพิการที่น้ำหนักบรรทุกต่างๆ เพื่อเปรียบเทียบความเร็วของรถที่วิ่งได้จริงโดยบรรทุกน้ำหนักคนที่นั่งต่างๆ กัน ทำให้กำหนดค่าจำกัดน้ำหนักของคนที่ใช้ได้, ทดสอบหากำลังที่ใช้ไปเมื่อรถเคลื่อนที่ทั้งนี้เพื่อเป็นการประมาณว่ารถจะใช้กำลังจากแบตเตอรี่มากน้อยเพียงใด รวมทั้งการทดลองขึ้นทางลาดชันและสุดท้าย

ทดสอบมุมเลี้ยวของล้อเพื่อดูว่ารถจะสามารถเลี้ยวด้วยมุมแคบที่สุดเท่าไรและต้องใช้ความกว้างเท่าไรในการกลับรถ

3.1 ทดสอบความเร็วของรถไฟฟ้าคนพิการที่น้ำหนักบรรทุกต่างๆ

ขั้นตอนการทดสอบ

1. กำหนดจุดเริ่มต้นและจุดสุดท้ายซึ่งเป็นระยะทางที่จะใช้ทดสอบ คือ 10 เมตร
2. ทำการจับเวลาขณะที่รถวิ่งผ่านจุดเริ่มต้นไปยังจุดสุดท้าย
3. บันทึกเวลาที่น้ำหนักคนต่างๆ กัน

3.2 ทดสอบหากำลังที่ใช้ไปเมื่อรถเคลื่อนที่

ขั้นตอนการทดสอบ

1. กำหนดจุดเริ่มต้นและจุดสุดท้าย ซึ่งเป็นระยะทางรวม 40 เมตร โดยแบ่งเป็นช่วงช่วงละ 10 เมตร
2. ทำการวัดกระแสและความต่างศักย์ เมื่อรถผ่านจุดเริ่มต้น 10 เมตร, 20 เมตร, 30 เมตร จนครบ 40 เมตร
3. บันทึกกระแสความต่างศักย์ที่ระยะทางต่างๆ

3.3 การทดลองขึ้นทางชัน

3.4 การทดสอบมุมเลี้ยวของล้อ

4. ผลการทดสอบและผลการคำนวณ

จากการทดสอบตอนที่ 1. เพื่อหาความเร็วของรถที่น้ำหนักต่างๆ ซึ่งสามารถคำนวณค่าความเร็วได้โดยใช้สูตร

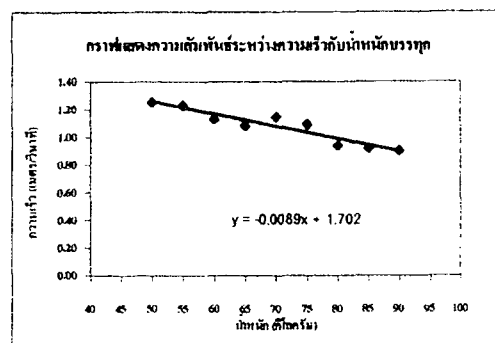
$$v = s / t \quad (13)$$

ได้ผลตามตารางที่ 1.

ตารางที่ 1. แสดงผลของความเร็วที่น้ำหนักต่างๆ

น้ำหนัก (กิโลกรัม)	เวลา (วินาที)	ความเร็ว (เมตร/วินาที)
50	8.00	1.25
55	8.14	1.23
60	8.85	1.13
65	9.24	1.08
70	8.72	1.15
75	9.16	1.09
80	10.66	0.94
85	10.88	0.92
90	11.05	0.90

เปรียบเทียบความเร็วของรถที่วิ่งได้จริงโดยบรรทุกน้ำหนักคนที่นั่งต่างๆ กันแสดงดังรูปที่ 3.



รูปที่ 3. การเปรียบเทียบความเร็วที่น้ำหนักต่างๆ

จากการทดสอบตอนที่ 2. เพื่อหากำลังที่ใช้ไปเมื่อรถเคลื่อนที่ ได้ผลการทดสอบตามตารางที่ 2.

ตารางที่ 2. แสดงผลการทดสอบที่ระยะทางต่างๆ

ระยะทาง (เมตร)	กระแส (แอมแปร์)	แรงดัน (โวลต์)	เวลา (วินาที)
0	6.47	21.46	0
10	4.34	21.32	9.48
20	4.26	21.36	8.79
30	4.54	21.29	8.90
40	4.11	21.29	8.88

ซึ่งสามารถคำนวณกำลังได้โดยใช้สูตร

$$P = V \times I \quad (14)$$

และ

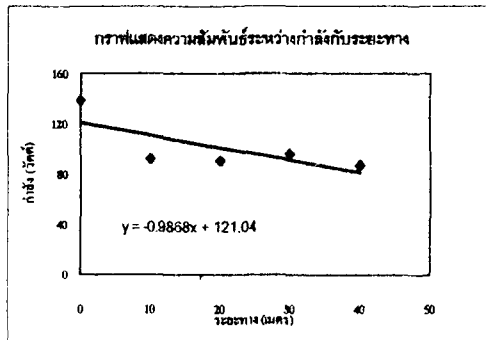
$$W = P \times t \quad (15)$$

ซึ่งได้ผลดังตารางที่ 3.

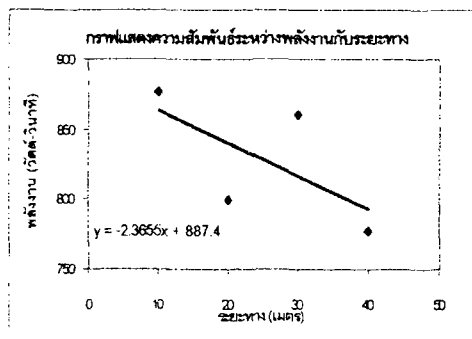
ตารางที่ 3. แสดงผลการคำนวณกำลังและพลังงาน

เวลา (วินาที)	กำลัง (วัตต์)	พลังงาน (วัตต์-วินาที)
0.00	138.97	0.00
9.48	92.44	876.37
8.79	90.89	798.92
8.90	96.73	860.88
8.88	87.48	776.86

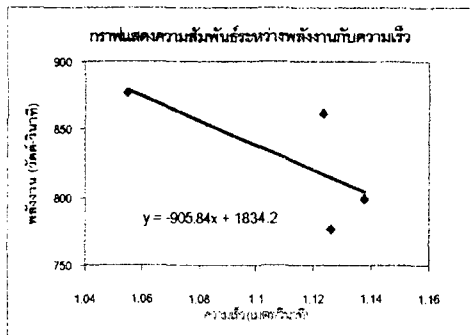
จากผลการทดสอบสามารถพล็อตกราฟหาความสัมพันธ์ได้ดังรูปที่ 4.



รูปที่ 4. กราฟแสดงการลดลงของกำลังเมื่อรถเคลื่อนที่



รูปที่ 5. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานกับระยะทาง



รูปที่ 6. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานกับความเร็ว

จากการทดสอบตอนที่ 4. เมื่อทำการทดลองขึ้นทางชันโดยเลือกถนนที่มีความชันบริเวณหน้า WORK SHOP ซึ่งมีความชันที่วัดได้ประมาณ 7-10 องศา ส่วนบริเวณอื่นๆไม่สามารถขึ้นได้เนื่องจากมีความชันค่อนข้างมาก ซึ่งจากการทดลองพบว่าสามารถขึ้นทางลาดชันประมาณ 7-10 องศาได้แต่ใช้ความเร็วได้ค่อนข้างต่ำ และถ้าถนนบริเวณก่อนขึ้นมีสภาพขรุขระเป็นอย่างมากจะทำให้ไม่สามารถขึ้นได้

จากการทดสอบตอนที่ 5. เมื่อทำการวัดในขณะที่ทำการทดลองได้ผลดังนี้

มุมเอียงของล้อ = 40 องศา

ระยะความกว้างของรัศมีการเลี้ยว = 2.25 เมตร

5.สรุปและวิจารณ์ผล

จากตารางแสดงผลการทดลองตอนที่ 1. สามารถสรุปได้ว่าน้ำหนักคนมีผลกระทบโดยตรงต่อความเร็วเป็นอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งเมื่อพิจารณาที่น้ำหนักเฉลี่ยของคนทั่วไปหรือที่ประมาณ 65 กิโลกรัม รถสามารถวิ่งได้ด้วยความเร็ว 1.08 เมตรต่อวินาที หรือประมาณ 3.89 กิโลเมตรต่อชั่วโมงซึ่งถือว่าใกล้เคียงกับอัตราเร็วเฉลี่ยในการเดินของคนทั่วไปที่อยู่ระหว่าง 3-4 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และเมื่อพิจารณากำลังที่รถใช้ในการเคลื่อนที่โดยดูจากผลการคำนวณตอนที่ 2. และจากการประมาณค่าโดยกราฟ พบว่ากำลังที่มอเตอร์ใช้จะลดลงเมื่อรถเคลื่อนที่ เมื่อพิจารณาในแง่ของพลังงานโดยดูจากกราฟแสดงผลการคำนวณเปรียบเทียบกับระยะทางในการเคลื่อนที่ ทุกๆ 10 เมตรรถจะใช้พลังงานเฉลี่ยประมาณ 828.26 วัตต์-วินาทีหรือจูล(Joule)แสดงว่าต้องใช้พลังงาน 828.26 จูลเพื่อเคลื่อนที่เป็นระยะทาง 1 เมตร หรือเมื่อพิจารณาระหว่างพลังงานกับความเร็วที่ความเร็วเฉลี่ย 1.08 เมตร/วินาที จะต้องใช้พลังงาน 856.54 วัตต์-วินาที หมายความว่าในการเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 1.08 เมตร/วินาที มอเตอร์จะต้องใช้กำลังประมาณ 85.7 วัตต์ในขับเคลื่อน ในขณะที่แบตเตอรี่ให้พลังงานได้ 120 วัตต์ รวมทั้งการทดสอบขยับขึ้นทางลาดชันและการทดสอบหามุมเอียงดังผลการทดสอบแสดงว่ารถไฟฟ้านักการค้ำนี้ยังมีสมรรถนะที่พอจะยอมรับได้และมีความคล่องตัวพอสมควร ส่วนข้อบกพร่องยังมีอยู่บางจุดเช่น การสูญเสียในระบบส่งกำลัง การสูญเสียของระบบไฟฟ้า รวมทั้งการวิ่งขึ้นทางลาดชันยังมีความเร็วต่ำมาก ซึ่งเป็นจุดที่ต้องพัฒนาต่อไป

5.กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณความกรุณาและคำแนะนำจาก รศ.ทวี เทศเจริญ และเพื่อนภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าที่ให้ข้อมูลอุปกรณ์และคำปรึกษาด้านเทคนิค

6.เอกสารอ้างอิง

- [1] ดร.วริทธิ์ อึ้งภากร,ชาญ ถนัดงาน "การออกแบบเครื่องจักรกล",2540
- [3] รศ.ดร.เอก ชัยสวัสดิ์ "การวัดและเครื่องวัดไฟฟ้า" สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น),2539
- [3] อ.จินดา เจริญพรพานิชย์, "Automotive Engineering", 2541
- [4] อ.สมชัย นรเศรษฐโสกร, "กลศาสตร์ของแข็ง",2540
- [5] William H. Crouse and Donald I. Anglin,"Automotive Mechanics", 10th Edition,1993