

การออกแบบกลไกการปรับเปลี่ยนจุดศูนย์ถ่วงรถเข็นคนพิการ

Design of the Center of Gravity Adjustment Mechanics for Wheel Chair

เอี่ยมชัย มะโนวรรณ*, อรรถนพ เรืองวิเศษ

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
กรุงเทพฯ 10140

*ติดต่อ: eamchai@hotmail.com, 0-2470-9289, 0-2470-9111

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบกลไกการปรับเปลี่ยนจุดศูนย์ถ่วงของรถเข็นคนพิการ เพื่อให้รถเข็นสามารถยกล้อหน้าได้โดยอาศัยหลักการการสมดุลโมเมนต์ โดยออกแบบลักษณะของรถเข็นคนพิการเป็นระบบขับเคลื่อน 4 ล้อที่มีขนาดล้อเท่ากัน 4 ล้อ ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า ทำการปรับเปลี่ยนจุดศูนย์ถ่วงด้วยการเลื่อนตำแหน่งของแบตเตอรี่ บทความนี้จะแสดงถึงการคำนวณในการออกแบบ และผลการทดสอบกลไกของต้นแบบของรถเข็นคนพิการที่สร้างขึ้น

คำหลัก: รถเข็นคนพิการ, จุดศูนย์ถ่วง, สมดุลโมเมนต์

Abstract

The research is study about designing mechanism to change the center of gravity of wheelchair to lift the front wheels by balancing moment. The prototype wheelchair was designed as a four-wheel drive system with the same size of wheels. The wheels are driven by DC motors. And the center of gravity is changed by sliding the position of batteries. This paper presents calculation in design and test results of mechanic parts of the prototype wheelchair.

Keywords: wheelchair, center of gravity, balancing moment

1. บทนำ

รถเข็นคนพิการเป็นหนึ่งในอุปกรณ์ช่วยเคลื่อนที่ที่ต้องอาศัยแรงในการขับเคลื่อน การเคลื่อนที่ไปยังพื้นที่ต่างระดับก็เป็นไปได้ลำบาก ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการพัฒนาคิดอุปกรณ์ที่มีความสามารถมากขึ้น ก็คือรถเข็นคนพิการไฟฟ้าที่สามารถปรับล้อให้สามารถเคลื่อนที่ผ่านพื้นที่ต่างระดับได้อย่างสะดวกกับผู้ใช้รถเข็นได้มากขึ้น

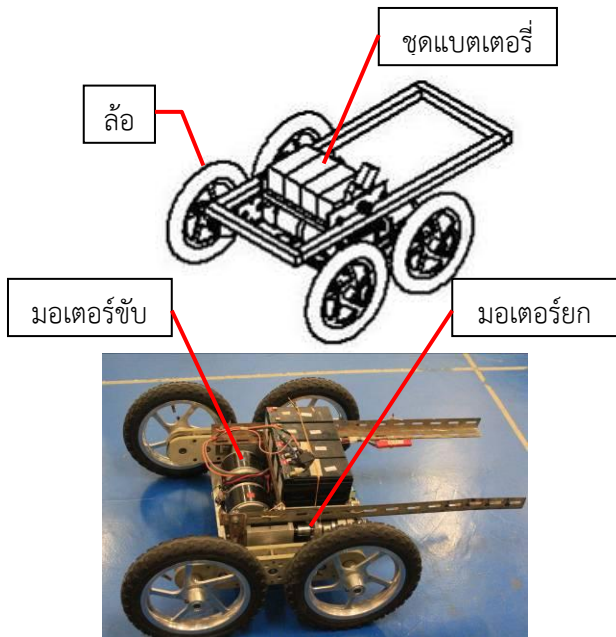
ที่มาของแนวคิดในการออกแบบรถเข็นไฟฟ้าสำหรับคนพิการในโครงการวิจัยนี้มาจาก Ibot 4000 ซึ่งเป็นรถเข็นไฟฟ้าสำหรับคนพิการที่มีความสามารถขับเคลื่อนได้ทั้งในรูปแบบสี่ล้อ และสองล้อ สามารถปรับยกเก้าอี้ได้

สามารถเคลื่อนที่ขึ้นทางต่างระดับได้ การศึกษาผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในอดีตเกี่ยวกับระบบขับเคลื่อนรถเข็นผู้พิการคือ ปี ค.ศ. 1999 Y. Takahashi และคณะ [1] ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการยกล้อหน้าของรถเข็นคนพิการโดยใช้วิธีการเลื่อนล้อหลัง และการควบคุมแบบ Inverted pendulum โดยการใช้ PI ควบคุมเพื่อยกล้อหน้า ต่อมาเมื่อปี ค.ศ. 2003 Y. Takahashi และคณะ [2] ได้ทำการวิจัยเพิ่มเติมเกี่ยวกับการยกล้อหน้ารถเข็นคนพิการอย่างช้าๆ เพื่อลดแรงกระทำกับล้อหน้าในขณะที่ล้อหน้าเคลื่อนที่ลงโดยใช้วิธีการเลื่อนเก้าอี้ขึ้น

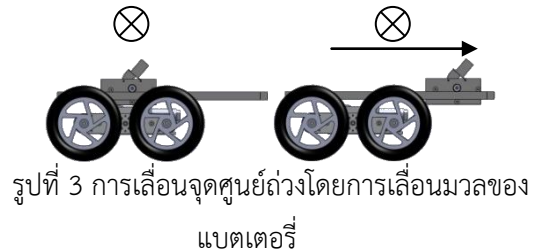
เนื่องจากรถเข็นโดยทั่วไปจะมีจุดศูนย์กลางอยู่ระหว่างล้อหน้าและล้อหลัง การจะยกล้อหน้าขึ้นได้นั้นจำเป็นต้องอาศัยแรงเหวี่ยงซึ่งจะส่งผลต่อผู้ใช้รถเข็นคนพิการ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้วิธีการยกล้อโดยการเลื่อนตำแหน่งจุดศูนย์กลางมวลมาอยู่เหนือล้อหลังที่ทำหน้าที่เป็นจุดหมุนของการยก และใช้การควบคุมลักษณะเดียวกับการควบคุม Inverse pendulum เข้าช่วยเพื่อให้รถเข็นคนพิการทรงตัวอยู่ได้ เพื่อหลีกเลี่ยงการใช้แรงเหวี่ยงในการยกล้อหน้าของรถเข็นคนพิการ

2. การออกแบบ

แนวทางการออกแบบในงานวิจัยนี้ใช้ล้อที่มีขนาดเท่ากันทั้งสี่ล้อ ใช้มอเตอร์ 2 ตัวในการขับเคลื่อน ทำงานแยกออกเป็นชุดขับเคลื่อนด้านซ้ายและด้านขวา ซึ่งล้อที่อยู่ด้านเดียวกันจะถูกขับให้หมุนพร้อมกันทั้งสองล้อ โดยการส่งกำลังด้วยชุดเฟือง การเปลี่ยนท่าเพื่อยกล้อหน้าขึ้นนั้นใช้ชุดเฟืองหนอนขับด้วยมอเตอร์สำหรับยกล้อคู่หน้าขึ้นพร้อมกัน และในการปรับเปลี่ยนจุดศูนย์กลางใช้มอเตอร์แยกอีกตัวหนึ่งเป็นตัวกำลังในการเลื่อนตำแหน่งของแบตเตอรี่



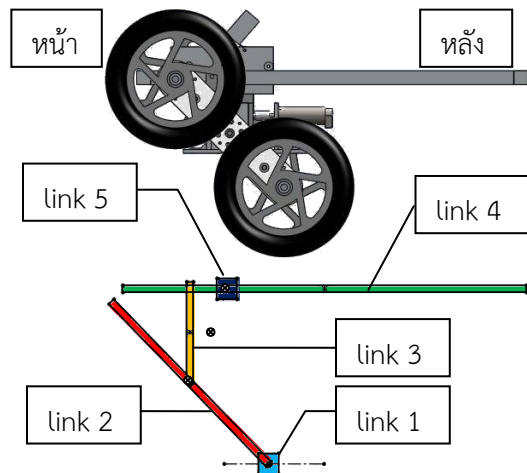
รูปที่ 1 ต้นแบบของรถเข็นคนพิการ



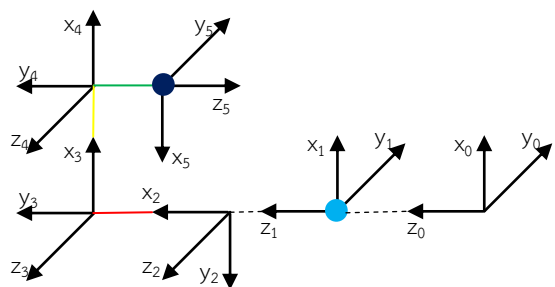
3. การวิเคราะห์ทางพลศาสตร์

โดยทำการแบ่งรถเข็นเป็น 5 link

- link 1 คือ ล้อแทนด้วยสีฟ้า
- link 2 คือ แขนด้านข้างล้อแทนด้วยสีแดง
- link 3 คือ ตัวฐานรถเข็นแทนด้วยสีเหลือง
- link 4 คือ ชุดรางเลื่อนแบตเตอรี่แทนด้วยสีเขียว
- link 5 คือ ชุดแบตเตอรี่แทนด้วยสีน้ำเงิน



รูปที่ 4 เปรียบเทียบรถเป็นlink



รูปที่ 5 การตั้งแกนตาม link เพื่อใช้หลักของ D-H Parameter ในการคำนวณระหว่าง link

จากรูปที่ 5 จะสามารถเขียนตาราง D-H Parameter ได้ดังนี้

i	α_{i-1}	a_{i-1}	d_i	θ_i
1	0	0	S	0
2	90°	0	0	$90^\circ - \theta_1$
3	0	L_1	0	$-\theta_2$
4	0	L_2	0	-
5	90°	0	d	180°

ตาราง D-H Parameter

เพื่อใช้ในการคำนวณเทียบระหว่าง link โดยมีสมการที่ใช้ในการคำนวณ 2 ส่วน คือ สมการที่ใช้คำนวณความเร็วและความเร่งโดยเริ่มจาก link แรก ไปยัง link สุดท้ายและสมการ Newton-Euler ที่ใช้ในแต่ละ link ส่วนที่สองสมการคำนวณแรงบิดที่ข้อต่อซึ่งคำนวณย้อนกลับจาก link สุดท้ายมายัง link แรก สมการส่วนแรก

$${}^{i+1}\omega_{i+1} = {}^{i+1}R^i \omega_i + \dot{\theta}_{i+1}^i \omega_i \times {}^{i+1}\hat{Z}_{i+1} \quad (1)$$

$${}^{i+1}\dot{\omega}_{i+1} = {}^{i+1}R^i \dot{\omega}_i + {}^{i+1}R^i \omega_i \times \dot{\theta}_{i+1}^i {}^{i+1}\hat{Z}_{i+1} + \ddot{\theta}_{i+1}^i {}^{i+1}\hat{Z}_{i+1} \quad (2)$$

$${}^{i+1}\dot{V}_{i+1} = {}^{i+1}R^i ({}^i\dot{\omega}_i \times {}^iP_{ci+1} + {}^i\omega_i \times ({}^i\omega_i \times {}^iP_{ci+1}) + {}^i\dot{V}_i) \quad (3)$$

$${}^{i+1}\dot{V}_{ci+1} = {}^i\dot{\omega}_{i+1} \times {}^iP_{ci+1} + {}^i\omega_{i+1} \times ({}^i\omega_{i+1} \times {}^iP_{ci+1}) + {}^{i+1}\dot{V}_{i+1} \quad (4)$$

$${}^{i+1}F_{i+1} = m_{i+1} {}^{i+1}\dot{V}_{ci+1} \quad (5)$$

$${}^{i+1}N_{i+1} = {}^{ci+1}I_{i+1} {}^{i+1}\dot{\omega}_{i+1} + {}^{i+1}\omega_{i+1} \times {}^{ci+1}I_{i+1} \times {}^{i+1}\omega_{i+1} \quad (6)$$

สมการส่วนที่สอง

$${}^i f_i = {}^{i+1}R^i {}^{i+1}f_{i+1} + {}^i F_i \quad (7)$$

$${}^i n_i = {}^i N_i + {}^{i+1}R^i {}^{i+1}n_{i+1} + {}^i P_{ci} \times {}^i F_i + {}^i P_{i+1} \times {}^{i+1}R^i {}^{i+1}f_{i+1} \quad (8)$$

$$\tau_i = {}^i n_i^T {}^i \hat{Z}_i \quad (9)$$

4.วิธีการทดลอง

ทำทดสอบด้วยสมการที่(10) ดังแสดงใน

ภาคผนวก เป็นสมการหาแรงบิดที่เกิดขึ้นที่ล้อหลัง โดยจะศึกษาในกรณีต่างๆดังนี้

1.ทำการทดลองในกรณีที่ไม่มี การเคลื่อนที่ของชุดมวลถ่วงโดยทำการกำหนดค่าของตำแหน่งเลื่อนมวลให้อยู่ที่จุดศูนย์กลางรถจากนั้นทำการปรับมุมยกล้อหน้าจาก 0-90 องศาเพื่อดูแรงบิดที่เกิดขึ้นกลับล้อ

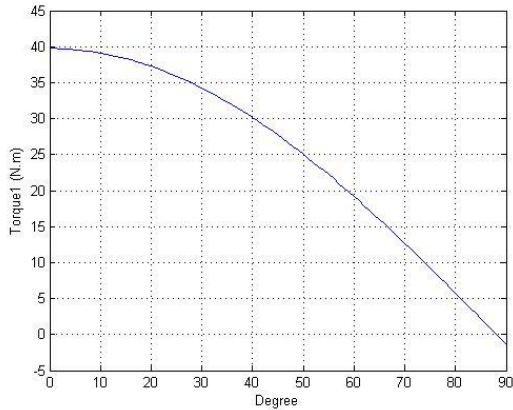
2.ทำการทดลองโดยการเลื่อนชุดมวลถ่วงไปทางด้านซ้ายเป็นระยะทางต่างๆเพื่อดูผลของแรงบิดที่กระทำกับล้อหลังในขณะที่ล้อหน้ากำลังจะยกขึ้น

3.ทำการทดลองยกโดยการเลื่อนชุดมวลถ่วงเป็นระยะไปด้วยห่างจากจุดศูนย์กลางรถจากการทดลองที่ 2 ที่แรงบิดกระทำกับล้อหลังเป็นศูนย์จากนั้นทำการยกล้อจาก 0-90 องศา พร้อมกับเลื่อนชุดมวลถ่วงเข้าหาจุดศูนย์กลางรถ

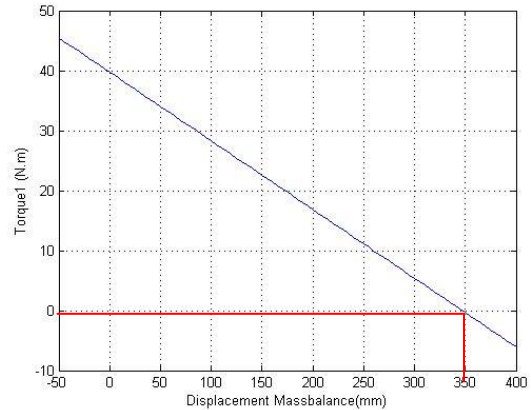
5.ผลการทดลอง

5.1 ยกล้อด้วยมุมตั้ง 0 องศาถึง 90 องศาโดยไม่มี การเลื่อนชุดมวลถ่วง

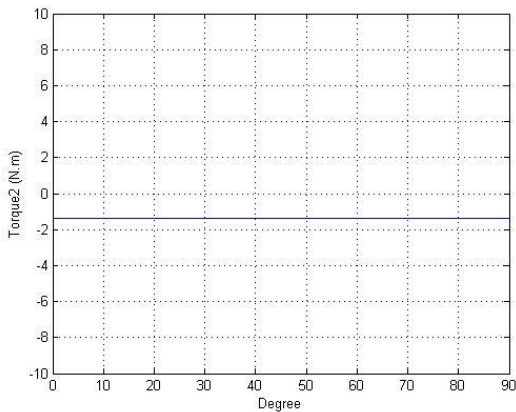
จากกราฟในรูปที่ 6(ก) จะแสดงให้เห็นว่าจะมีแรงบิดที่กระทำต่อล้อในช่วงที่รถนั้นกำลังยกขึ้นในช่วงแรกมีค่า 40 นิวตัน แล้วแรงบิดจะเริ่มลดลง เนื่องจากในขณะที่รถเริ่มตั้งขึ้นเนื่องจากจุดศูนย์กลางถ่วงนั้นอยู่ห่างจากจุดหมุนมากที่สุดแล้วเลื่อนเข้าใกล้จุดหมุนทำให้แรงบิดที่กระทำต่อล้อนั้นลดลงด้วยและจากรูปที่ 6(ข) จะเห็นได้ว่ามีแรงกระทำต่อฐานตลอดเวลาตั้งแต่รถอยู่ในแนวราบจนถึงแนวตั้งเนื่องจากจุดศูนย์กลางถ่วงของชุดฐานนั้นไม่ได้อยู่จุดเดียวกันกับจุดหมุนทำให้เกิดแรงบิดขึ้นที่จุดหมุนของฐาน



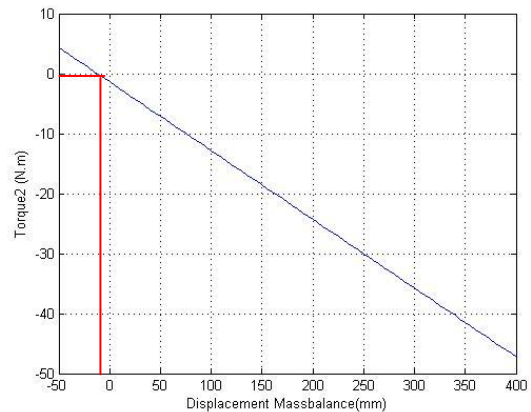
(ก) แรงบิดที่กระทำที่ล้อด้านหลังขณะรถยกขึ้นจากแนวราบเป็นแนวตั้ง



(ก) แรงบิดที่กระทำต่อล้อด้านหลังขณะที่รถอยู่ที่แนวราบขณะทำการเลื่อนชุดมวลถ่วงเพื่อหาระยะที่แรงบิดเป็นศูนย์



(ข) แรงบิดที่กระทำกับชุดฐานขณะรถยกขึ้นจากแนวราบเป็นแนวตั้ง



(ข) แรงบิดที่กระทำกับชุดฐานขณะที่รถอยู่ที่แนวราบแล้วทำการเลื่อนชุดมวลถ่วงเพื่อหาระยะที่แรงบิดเป็นศูนย์

รูปที่ 6 แรงบิดเนื่องจากการยกโดยไม่มีชุดเลื่อนมวลถ่วง

รูปที่ 7 แรงบิดที่กระทำกับล้อขณะที่รถอยู่ที่แนวราบแล้วทำการเลื่อนชุดมวลถ่วง

5.2ทำการเลื่อนมวลถ่วงในขณะที่รถหยุดนิ่งในแนวราบ โดยเลื่อนจากตำแหน่ง -10 มิลลิเมตรถึง 400 มิลลิเมตร จากกราฟในรูปที่ 7 (ก) จะเห็นว่าที่ระยะ 350 มิลลิเมตรจากกึ่งกลางรถนั้นแรงบิดที่กระทำกับล้อหลังเป็นศูนย์ซึ่งจะทำให้รถสมดุลขณะอยู่ในแนวราบ และจากกราฟรูปที่ 7(ข) ระยะที่ -10 มิลลิเมตรนั้นแรงบิดที่กระทำกับจุดหมุนของฐานเป็นศูนย์

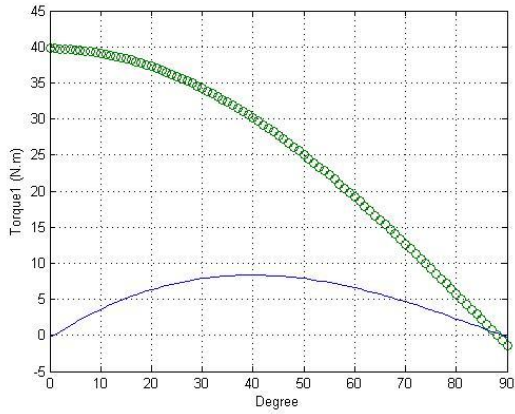
5.3ยกล้อด้วยมุมตั้ง 0 องศาถึง 90 องศาโดยทำการเลื่อนชุดมวลถ่วงเป็นเชิงเส้นที่ระยะจากรยะ 350 มิลลิเมตรมาที่ระยะ -10 มิลลิเมตร

จากกราฟรูปที่ 8(ก) จะเห็นว่าแรงบิดที่กระทำต่อล้อนั้นลดลงเข้าใกล้ค่าศูนย์ตลอดช่วงการยกจากแนวราบสู่แนวตั้งซึ่งค่าที่ได้ไม่เป็นศูนย์นั้นเนื่องจากการเคลื่อนที่ของชุดมวลถ่วงเป็นเชิงเส้น ยังไม่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงระยะของจุดศูนย์ถ่วงของรถ และกราฟรูปที่ 8(ข) แรงบิดที่กระทำกับชุดฐานจะลดลงและเข้าสู่ศูนย์เมื่อรถเข้าสู่แนวตั้ง

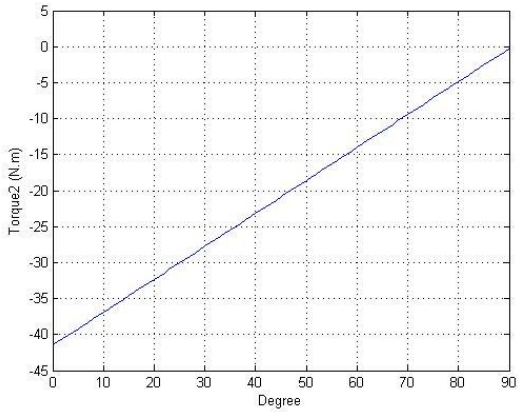
6. บทสรุป

จากผลการทดลองข้างต้นเมื่อมีการเคลื่อนที่ของชุดมวลถ่วงนั้นทำให้แรงบิดที่กระทำต่อล้อหลังของรถเข็นคนพิการเปลี่ยนไปนั้น แสดงให้เห็นว่าการเคลื่อนที่ของมวลถ่วงนั้นสามารถทำให้การยกล้อหน้าของรถเข็นคนพิการจากแนวราบขึ้นสู่แนวตั้งโดยที่ล้อหลังนั้นไม่จำเป็นต้องมีการเคลื่อนที่สามารถทำได้ โดยอาศัยการปรับตำแหน่งของชุดมวลถ่วงให้สัมพันธ์กับการยกล้อของรถเข็นคนพิการ

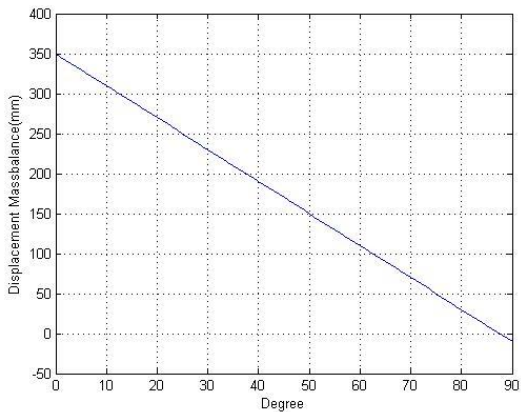
ดังนั้นในการพัฒนาต่อไปในงานวิจัยนี้จึงจะนำสมการที่ได้ไปใช้ในการควบคุมการเคลื่อนที่ให้สัมพันธ์กับมุมของที่ยกขึ้นต่อไป



(ก) แรงบิดที่กระทำที่ล้อด้านหลังขณะรถยกขึ้นจากแนวราบเป็นแนวตั้งพร้อมกับการเคลื่อนชุดมวลถ่วง(กราฟเส้นต่อเนื่อง)นั้นลดลงจากการยกแบบไม่เคลื่อนชุดมวลถ่วง(กราฟเส้นวงกลม)



(ข) แรงบิดที่กระทำกับชุดฐานขณะรถยกขึ้นจากแนวราบเป็นแนวตั้งพร้อมกับการเคลื่อนชุดมวลถ่วง



(ค) ระยะเคลื่อนชุดมวลถ่วงเทียบกับมุมยก

รูปที่ 8 แรงบิดที่กระทำกับล้อขณะที่ยกพร้อมกับการเคลื่อนมวลถ่วง

7. เอกสารอ้างอิง

[1] Takahashi, Y., Ogawa, S. and Machida, S. Front wheel, 1999, "Raising and inverse pendulum control of power assist wheel chair robot", Proc. IEEE 1111. Conz on Indushial Electronics, Control, and Instrumentation (IECON'99), p.668 (1999)

[2] Takahashi, Y., Ishikawa, N. and Hagiwava, T. 2003, "Soft Raising and Lowering of Front Wheels for Inverse Pendulum Control Wheel Chair Robot", Dept. of System Design Eng. Kanagawa Institute of Technology, Proc. IEEE 2003 IEEURS Intl. Conference on Intelligent Robots and Systems, Las Vegas, Nevada October 2003

[3] นายดลวัฒน์ หอมจำปา, นายภาณุภัทร รัตนเวช ตระกูล, ระบบต้นแบบเพื่อควบคุมรถเข็นสำหรับคนพิการ

(2551), ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะ วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

[4] ดร.เดชฤทธิ์ มณีธรรม, รถเข็นคนพิการควบคุมด้วย ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์, นักวิจัยมหาวิทยาลัย เทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

[5] นายเอกชัย เงินทอง, นายธีรวุฒิ ตันกัน, นายมานิตย์ เรือนใส, ผศ. ณรงค์ บัณชิตย์ (2551), รถเข็นคนพิการ อัตโนมัติ, งานวิจัยสาขาวิชาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ (เครื่องมือวัดและควบคุม) วทอ. มจพ.

[6] J. S. Shigley, C. R. Mischke, and R. G. Budynas (2008), Mechanical Engineering Design. 8th edition, McGraw-Hill, New York

[7] J J. Craig, Introduction to Robotics Mechanics and Control, 3rd edition, ISBN: 0-13-123629-6, Pearson Education International

ภาคผนวก

สมการแรงบิดที่กระทำกับล้อ

$$\begin{aligned}
 \tau_3 = & c^2 I_{2zz} \ddot{\theta}_2 + c^3 I_{3zz} (\ddot{\theta}_2 + \ddot{\theta}_3) + c^5 I_{5yy} (\ddot{\theta}_2 + \ddot{\theta}_3) \\
 & - d_5 m_5 \left(- \left(d_5 (\ddot{\theta}_2 + \ddot{\theta}_3) - L_2 (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3)^2 + \cos(\theta_2) \left(-g \sin(\theta_1) \right. \right. \right. \\
 & \left. \left. \left. + \ddot{d}_1 \cos(\theta_1) - L_1 (\dot{\theta}_2)^2 \right) - \sin(\theta_2) (g \cos(\theta_1) + \ddot{d}_1 \sin(\theta_1)) \right) \right) \\
 & - L y_2 m_3 \left(-L y_2 (\ddot{\theta}_2 + \ddot{\theta}_3) - L x_2 (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3)^2 + \cos(\theta_2) \left(-g \sin(\theta_1) + \ddot{d}_1 \cos(\theta_1) - L_1 (\dot{\theta}_2)^2 \right) \right. \\
 & \left. - \sin(\theta_2) (g \cos(\theta_1) + \ddot{d}_1 \sin(\theta_1)) \right) \\
 & + L x_2 m_3 \left(L x_2 (\ddot{\theta}_2 + \ddot{\theta}_3) - L y_2 (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3)^2 + \sin(\theta_2) \left(-g \sin(\theta_1) + \ddot{d}_1 \cos(\theta_1) - L_1 (\dot{\theta}_2)^2 \right) \right. \\
 & \left. + \cos(\theta_2) (g \cos(\theta_1) + \ddot{d}_1 \sin(\theta_1)) \right) \\
 & - L_2 m_5 \left(- \left(-d_5 (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3)^2 + L_2 (\ddot{\theta}_2 + \ddot{\theta}_3) + \sin(\theta_2) \left(-g \sin(\theta_1) + \ddot{d}_1 \cos(\theta_1) - L_1 (\dot{\theta}_2)^2 \right) \right. \right. \\
 & \left. \left. + \cos(\theta_2) (g \cos(\theta_1) + \ddot{d}_1 \sin(\theta_1)) \right) + \ddot{d}_5 \right) \\
 & + L_1 m_2 (L_1 \ddot{\theta}_2 + g \cos(\theta_1) + \ddot{d}_1 \sin(\theta_1)) \\
 & + L_1 \left(-\sin(\theta_2) \left(-m_5 \left(- \left(d_5 (\ddot{\theta}_2 + \ddot{\theta}_3) - L_2 (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3)^2 + \cos(\theta_2) \left(-g \sin(\theta_1) \right. \right. \right. \right. \right. \\
 & \left. \left. \left. + \ddot{d}_1 \cos(\theta_1) - L_1 (\dot{\theta}_2)^2 \right) - \sin(\theta_2) (g \cos(\theta_1) + \ddot{d}_1 \sin(\theta_1)) \right) \right) \right) \\
 & + m_3 \left(-L y_2 (\ddot{\theta}_2 + \ddot{\theta}_3) - L x_2 (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3)^2 + \cos(\theta_2) \left(-g \sin(\theta_1) + \ddot{d}_1 \cos(\theta_1) - L_1 (\dot{\theta}_2)^2 \right) \right. \\
 & \left. - \sin(\theta_2) (g \cos(\theta_1) + \ddot{d}_1 \sin(\theta_1)) \right) \\
 & + \cos(\theta_2) \left(-m_5 \left(- \left(-d_5 (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3)^2 \right. \right. \right. \\
 & \left. \left. \left. + L_2 (\ddot{\theta}_2 + \ddot{\theta}_3) + \sin(\theta_2) \left(-g \sin(\theta_1) + \ddot{d}_1 \cos(\theta_1) - L_1 (\dot{\theta}_2)^2 \right) \right. \right. \right. \\
 & \left. \left. \left. + \cos(\theta_2) (g \cos(\theta_1) + \ddot{d}_1 \sin(\theta_1)) \right) + \ddot{d}_5 \right) \right) \\
 & + m_3 \left(L x_2 (\ddot{\theta}_2 + \ddot{\theta}_3) - L y_2 (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3)^2 + \sin(\theta_2) \left(-g \sin(\theta_1) + \ddot{d}_1 \cos(\theta_1) - L_1 (\dot{\theta}_2)^2 \right) \right. \\
 & \left. + \cos(\theta_2) (g \cos(\theta_1) + \ddot{d}_1 \sin(\theta_1)) \right) \Big) \Big) \Big) \Big) \tag{10}
 \end{aligned}$$