



## การศึกษาพลศาสตร์ของวีลแชร์สามล้อไฟฟ้าที่ความเร็วสูง Study on Dynamics of Electric Tricycle Wheelchair at High Velocity

สมเจตน์ ถนอมพุทธ<sup>1\*</sup>, และ ทวี งามวิไลกร<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและการผลิต คณะวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสกลนคร 59 หมู่ 1 ตำบล เชียงเครือ อำเภอ เมือง จังหวัด สกลนคร 47000

\*ติดต่อ: email: somjet.tha@ku.th, เบอร์โทรศัพท์ 042-725033, เบอร์โทรสาร 042-725034

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ ได้ทดลองพัฒนาวีลแชร์ไฟฟ้า เพื่อนำไปใช้กับคนบกพร่องทางการเดินที่ไม่สามารถใช้มือขับเคลื่อนวีลแชร์ธรรมดาได้ นอกจากนี้ วีลแชร์ธรรมดาก็ยังไม่เหมาะสมกับการเดินทางระยะไกลหรือการเดินทางบนเส้นทางที่ไม่เอื้ออำนวย อันจะส่งผลให้ผู้ใช้เกิดอาการเจ็บป่วยเนื่องจากความล้าได้ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อช่วยให้ผู้บกพร่องทางการเดินสามารถดำเนินกิจกรรมในชีวิตประจำวันได้สะดวก โดยได้ทดลองออกแบบวีลแชร์ไฟฟ้าที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์คู่มือขนาด 1 กิโลวัตต์ ที่ล้อหน้าซึ่งประกอบเพิ่มเข้าไปกับวีลแชร์มาตรฐานที่รับน้ำหนักผู้ใช้ได้ถึง 100 กิโลกรัม โดยมอเตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อนล้อนั้น ใช้พลังงานจากแบตเตอรี่จำนวน 4 ก้อน ต่อกันแบบอนุกรมเพื่อผลิตแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 48 โวลต์ แล้วทำการศึกษาค้นคว้าสมบัติทางพลศาสตร์ของยานพาหนะ อันได้แก่ ระยะทางความเร็ว ความเร่ง อัตราการสิ้นเปลืองพลังงาน การเบรก และเสถียรภาพบนทางโค้งแนวราบ ผลการทดสอบพบว่า วีลแชร์ที่พัฒนาขึ้นมีความเร็วสูงสุด 45 กิโลเมตรต่อชั่วโมง การเพิ่มความเร็วจาก 0 ถึง 45 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ใช้เวลา 17.9 วินาที หรือคิดเป็นค่าความเร่งได้เท่ากับ 0.70 เมตรต่อวินาทียกกำลังสอง การเลี้ยวเป็นวงกลม 360° ล้อหลังข้างหนึ่งของวีลแชร์เริ่มยกจากพื้นถนนที่ความเร็ว 10 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ที่รัศมีวงเลี้ยวแคบสุด 1.25 เมตร การเลี้ยว 90° ที่รัศมีวงเลี้ยว 2.40 เมตร และ 4.90 เมตร ล้อหลังข้างหนึ่งเริ่มยกจากถนนที่ความเร็ว 14 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และ 20 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ การเบรกของวีลแชร์จากความเร็ว 45 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ถึง 0 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ใช้ระยะทาง 10.6 เมตร รวมเวลา 1.7 วินาที หรือคิดเป็นค่าความหน่วงได้เท่ากับ 7.37 เมตรต่อวินาทียกกำลังสอง โดยแบตเตอรี่ที่ออกแบบสามารถใช้ขับเคลื่อนวีลแชร์ต่อเนื่องได้เป็นระยะทางรวม 11.4 กิโลเมตร หรือประมาณ 25.2 นาที และมีความเร็วเฉลี่ยอยู่ที่ 27.1 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

**คำหลัก:** วีลแชร์ไฟฟ้า; มอเตอร์; รัศมีวงเลี้ยว; ความเร่ง; ความหน่วง

### Abstract

This research aims to develop an electric wheelchair for disabled person who cannot push the rim of wheelchair by hands. Moreover, manual wheelchairs do not suit for a long distance travel or a terrible route because user can suffer from fatigue. The main purpose of this research is to help disabled people to live by themselves conveniently. In this study, the electric tricycle wheelchair was developed by assembly a front wheel, which is propelled by a 1 kW hub motor, to a common



wheelchair. The frame for mounting the driven wheel, steering arm, motor control box, batteries and braking system were designed by using a 100-kg passenger load where power of motor comes from four batteries in series which produce a direct current of 48-Volt. After that, the dynamic aspects of vehicle such as kinematics, energy consumption, brakes and dynamic stability of wheelchair on the horizontal curve road were investigated. The experimental results reveal that the maximum speed of the prototype for electric wheelchair is around 45 km/h. The maximum acceleration on a straight route is around  $0.70 \text{ m/s}^2$  in which the speed of vehicle can be gained from 0 to 45 km/h in 17.9 seconds. Results from the driven test on  $360^\circ$  circle route indicate that the minimum turning radius is 1.25 m and there is a rear wheels lift up when speed of vehicle reach 10 km/h. For the tests on driving through  $90^\circ$  route, it is found that speed of vehicle at 14 km/h and 20 km/h cause a rear wheel lift up when the turning radius are 2.40 m and 4.50 m, respectively. Furthermore, the results from braking tests reveal that speed of vehicle can be reduced from 45 km/h to zero in 1.7 seconds where the deceleration is around  $7.37 \text{ m/s}^2$  and 10.6 m is needed to stop the vehicle. However, the prototype for electric wheelchair can be continuously driven only 11.4 km or 25.2 minutes before battery is run out and the average speed of vehicle is around 27.1 km/h.

**Keywords:** electric wheelchair; motor; turning radius; acceleration; deceleration

### 1. บทนำ

ประชากรโลกประมาณ 650 ล้านคน หรือ 10% เป็นคนพิการ [1] สาเหตุเกิดจากการเจ็บป่วยเรื้อรัง อุบัติเหตุ สงคราม และโรคติดเชื้อ คนพิการมีจำนวนเพิ่มขึ้นทุกปี ซึ่งเป็นผลจากการเติบโตของประชากร คนสูงวัยมีมากขึ้น และความก้าวหน้าทางการแพทย์ คนพิการต้องใช้ชีวิตในสังคมด้วยความลำบากทั้งในด้านสภาพแวดล้อมและท่าทีทางสังคม คนพิการทั่วโลกจำนวนน้อยที่มีโอกาสใช้วีลแชร์ ยิ่งกว่านั้น มีเพียงน้อยคนเท่านั้นที่ใช้วีลแชร์ที่เหมาะสม [2] วีลแชร์ที่เหมาะสม คือ วีลแชร์ที่มีคุณลักษณะตรงกับความต้องการของผู้ใช้ มีความเหมาะสมกับภาวะแวดล้อม มีขนาดพอดีและประคับประคองผู้ใช้ได้ถูกท่า มีความปลอดภัย แข็งแรงทนทาน หาซื้อง่าย ซ่อมได้ และมีบริการในประเทศด้วยต้นทุนต่ำ วีลแชร์ที่เหมาะสมช่วยเปิดโอกาสให้คนพิการเข้าสู่โลกของการศึกษา การทำงาน และชีวิตทางสังคม

วีลแชร์แบบนี้ช่วยให้ร่างกายของผู้ใช้เคลื่อนไหว หายใจ และย่อยอาหารดีขึ้น และภาวะซึมเศร้าลดลง

ชนิดของวีลแชร์แบ่งตามความเหมาะสมกับผู้ใช้งานดังต่อไปนี้: วีลแชร์ธรรมดา (manual wheelchairs) คือ วีลแชร์ที่ขับเคลื่อนโดยใช้มือหมุนวงแหวนที่ติดกับล้อใหญ่ วีลแชร์ที่มีผู้ช่วยขับเคลื่อนเป็นวีลแชร์ถ่ายโอนผู้บกพร่องทางการเดินในโรงพยาบาลหรือสนามบิน วีลแชร์โครงแข็งเป็นวีลแชร์แบบที่นั่งพับเก็บไม่ได้ วีลแชร์แบบโครงพับเก็บได้เป็นวีลแชร์ที่มีโครงชนิดกลไก “X” ทำให้โครงสามารถยุบตัวทางด้านข้างได้ วีลแชร์ไฟฟ้า (electric wheelchair) เป็นวีลแชร์ที่ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขับเคลื่อนแทนมือ วีลแชร์ไฟฟ้าใช้สำหรับผู้บกพร่องทางการเดินที่ไม่สามารถใช้มือดันขอบล้อได้ หรือใช้สำหรับการเคลื่อนที่ระยะทางไกล หรือลักษณะภูมิประเทศที่ไม่เอื้ออำนวยต่อวีลแชร์ธรรมดา งานลักษณะนี้สามารถทำให้ผู้ใช้เกิดความป่วยไข้เนื่องจากความล้าได้

วิธีการหาเสถียรภาพสถิตบางชนิดกำหนดไว้ในมาตรฐาน ISO 7176 [3] มาตรฐานนี้ใช้ได้กับวิลแชร์ธรรมดาและไฟฟ้าที่มีอัตราเร็วสูงสุดไม่เกิน 15 กิโลเมตรต่อชั่วโมง สำหรับคนพิการที่มีมวลอยู่ในช่วงที่กำหนดไว้ พารามิเตอร์ที่มีความสำคัญสำหรับวิลแชร์ [3] ได้แก่ เสถียรภาพสถิตและพลวัต ความเสียดทานและประสิทธิภาพของเบรก อัตราเร็วสูงสุด ความเร่ง ความหน่วง อัตราการสิ้นเปลืองพลังงาน ระบบกำลังไฟฟ้าและการควบคุมของวิลแชร์ไฟฟ้า มิติ มวล ช่องหลบหลัก ความทนแรงสถิตและความล้าของวัสดุ ความสามารถป็น پایสิ่งกีดขวาง ที่นั่ง ระบบพนักพิง เข็มขัดรัด และอื่นๆ

เสถียรภาพพลวัตของวิลแชร์ไฟฟ้า [4] ที่มีอัตราเร็วสูงสุดไม่เกิน 15 กิโลเมตรต่อชั่วโมง กำหนดไว้ในมาตรฐาน ISO/DIS 7176-2 (en) ผู้ใช้วิลแชร์ต้องมีความปลอดภัยและสามารถเคลื่อนที่ไปได้ในช่วงกว้าง ข้อกำหนดจึงต้องพิจารณาภาวะแวดล้อมของการใช้วิลแชร์และโครงสร้างของวิลแชร์ที่ใช้งานได้เมื่อเผชิญกับความเสียหายเนื่องจากภาวะแวดล้อมเหล่านั้น เช่น การขับบนทางลาดในอาคาร และทางเดินเท้าสำหรับการพักผ่อนหย่อนใจนอกอาคาร การทดสอบวิธีนี้มีการพิจารณาการยกขึ้นของล้อในภาวะแวดล้อมของพื้นแบบต่างๆ มาตรฐานนี้ไม่รวมการยกขึ้นของล้อเล็กและการยกขึ้นชั่วคราวเมื่อขับวิลแชร์บนถนนบางภาวะ เช่น สภาพถนนขรุขระผิดปกติในบางช่วง

การขับเคลื่อนวิลแชร์ธรรมดาที่ความเร็ว 6.48 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ต้องใช้แรงที่หัวไหลเป็น 1.2 ถึง 2 เท่าของแรงที่ความเร็ว 3.24 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยที่แรงสูงสุดเกิดขึ้นในระยะสุดท้ายของการขับเคลื่อน ดังนั้นการวางไหลในตำแหน่งที่ไม่สัมพันธ์กับไหลสามารถทำให้ผู้ใช้เสี่ยงต่อการบาดเจ็บที่ไหล [5] นอกจากนี้ การขับเคลื่อนวิลแชร์ในกิจกรรมที่ต้องใช้แรงจากไหลมาก เช่น การพ่อน้ำหนัก การขับบนทางลาด การเริ่ม

เคลื่อนที่ และการหยุดรถ ที่ใช้เวลายาวนานครั้งต่อวัน และทุกวันทำให้ผู้ใช้เสี่ยงต่อการบาดเจ็บที่ข้อต่อไหล [6]

ผลกระทบของวิลแชร์ไฟฟ้าต่อผู้ใช้เคยมีนักวิจัยศึกษาไว้ อัตราการบริโภคออกซิเจนและอัตราการเต้นของหัวใจของผู้ใช้วิลแชร์ไฟฟ้าชนิดที่มีขอบต้นล้อมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับการใช้วิลแชร์ธรรมดา อย่างไรก็ตาม วิลแชร์ธรรมดาสะดวกต่อการขนย้ายด้วยรถยนต์มากกว่าวิลแชร์ไฟฟ้า [7] การพลิกคว่ำและการตกจากวิลแชร์ไฟฟ้ามีผู้ศึกษาไว้ การขับวิลแชร์ไฟฟ้าที่ความเร็ว 7.2 กิโลเมตรต่อชั่วโมง บนถนนที่มีสิ่งขวางกั้นไม่ทำให้ผู้ใช้ที่ไม่รัดเข็มขัดนิรภัยเกิดการพลิกคว่ำหรือตกจากวิลแชร์ [8] อย่างไรก็ตาม การขับวิลแชร์ไฟฟ้าที่ความเร็ว 1.2 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ถึง 5.4 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ตกบันไดหรือพื้นต่างระดับทำให้หัวของผู้ใช้กระทบกับพื้น แรงกระทบนี้กรณีผู้ใช้ไม่รัดเข็มขัดนิรภัยมีค่าสูงถึง 6,181 นิวตัน ( $\pm 2,372$  นิวตัน) และสูงกว่ากรณีผู้ใช้รัดเข็มขัดนิรภัยถึง 4.63 เท่า [9]

ลักษณะเชิงพลวัตของวิลแชร์กีฬาขณะวิ่งลงทางพื้นไม้ลาดชันที่ความเร็ว 19.1 กิโลเมตรต่อชั่วโมงเคยมีนักวิจัยศึกษาไว้ [14] แรงต้านอากาศพลศาสตร์ของวิลแชร์มาตรฐานที่ความเร็ว 32.4 กิโลเมตรต่อชั่วโมงทำให้กำลังที่ใช้ขับเคลื่อนเพิ่มขึ้นแปรผันตามความเร็วยกกำลังสาม [14, 15] โมเมนต์ของแขนนักกีฬาที่ใช้ผลักวิลแชร์แข่งที่ความเร็ว 36 กิโลเมตรต่อชั่วโมง มีค่า 40 จูลต่อรอบ กำลังแขนของนักกีฬามวล 60.0 กิโลกรัมใช้แรงวิลแชร์มวล 1.095 กิโลกรัมจากหยุดนิ่งถึงความเร็ว 23.4 กิโลเมตรต่อชั่วโมง มีค่า -2,000 วัตต์ 1,800 วัตต์ และ -1,200 วัตต์ ในช่วงเริ่มต้น 20 มิลลิวินาที และ 60 มิลลิวินาทีถัดมาตามลำดับ กำลังที่ใช้รักษาความเร็วสูงสุดของวิลแชร์ที่ 40 กิโลเมตรต่อชั่วโมง มีค่า 1,300 วัตต์ และ 600 วัตต์ สำหรับนักกีฬาที่มีมวล 60.0 กิโลกรัม และ 50.5 กิโลกรัม ตามลำดับ [16]

วิลแชร์ธรรมดาและวิลแชร์ไฟฟ้าความเร็วต่ำที่มีความเหมาะสมกับผู้ที่มีผู้ศึกษาทำวิจัยไว้จำนวนมาก แต่วิล

แอร์ไฟฟ้าความเร็วสูงมีคนทำวิจัยน้อย การขับวีลแชร์ที่ความเร็วต่ำกว่า 15 กิโลเมตรต่อชั่วโมงทำให้ผู้ใช้มีความปลอดภัยตามมาตรฐานวีลแชร์ อย่างไรก็ตาม ในภารกิจนอกอาคารบางสถานการณ์เพื่อความปลอดภัยจึงต้องการความเร็วสูงกว่า เช่น การข้ามทางแยกที่มีไฟแดงจึงต้องปรับเปลี่ยนจากขับช้าเป็นขับเร็วเพื่อข้ามถนน การประชุมพบปะ สังสรรค์ ที่ต้องการลดระยะเวลาของการเดินทางลงครึ่งหนึ่ง หรือการเล่นกับสุนัขที่ต้องการความว่องไวสูง ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาพลศาสตร์ของวีลแชร์สามล้อไฟฟ้าที่ความเร็วสูงกว่า 15 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ในด้านเสถียรภาพบนทางโค้งที่มีผลต่อความปลอดภัยของผู้ใช้

**2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง**

พารามิเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์การเคลื่อนที่ของวัตถุ ได้แก่ ระยะทาง เวลา ความเร็ว และความเร่ง ความเร่งของวีลแชร์จากความเร็ว  $u$  ถึง  $v$  โดยใช้เวลา  $t$  คำนวณจาก [10]

$$a = \frac{v - u}{t} \tag{1}$$

แรงขับเคลื่อน  $F$  ที่ทำให้วีลแชร์มวล  $m_w$  และคนขับมวล  $m_d$  เคลื่อนที่บนถนนแนวราบด้วยความเร่ง  $a$  จากกฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน [11]

$$F - R_R - R_a = (m_w + m_d)a \tag{2}$$

โดยที่  $R_R$  คือ แรงต้านการกลิ้งของล้อ คำนวณจาก

$$R_R = C_R (m_w + m_d)g \tag{3}$$

โดยที่  $C_R$  คือ สัมประสิทธิ์แรงต้านการกลิ้งของล้อ  $g$  คือ ความเร่งของความโน้มถ่วงของโลก

แรงต้านอากาศ  $R_a$  คำนวณจาก

$$R_a = 0.5C_D A \rho_a v^2 \tag{4}$$

โดยที่  $C_D$  คือ สัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศพลศาสตร์  $A$  คือ พื้นที่ด้านหน้าประสิทธิผล  $\rho_a$  คือ ความหนาแน่นของ

อากาศ  $v$  คือ ความเร็วสัมพัทธ์ของวีลแชร์และลม กรณีวีลแชร์มีความเร็วคงที่ ดังนั้น  $a = 0$

กำลัง  $P$  ที่ใช้ขับเคลื่อนวีลแชร์ หาจาก

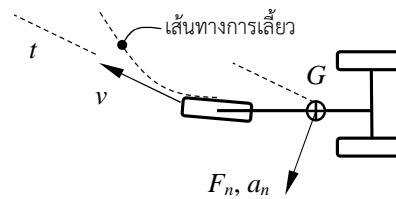
$$P = Fv \tag{5}$$

การขับวีลแชร์บนทางโค้งที่มีรัศมีความโค้ง  $\rho$  ด้วยความเร็ว  $v$  คงที่ ดังในรูปที่ 1 จุด  $G$  คือ จุดศูนย์กลางของวีลแชร์และคนขับ ดังนั้น การวิเคราะห์ความเร่งด้วยพิกัด  $n-t$  ได้ว่า  $a_t = 0$  และ  $a = a_n$  หาจาก

$$a_n = \frac{v^2}{\rho} \tag{6}$$

แรงหนีศูนย์กลาง  $F_n$  ของวีลแชร์ขณะเคลื่อนที่บนทางโค้งด้วยความเร็วคงที่ หาจาก

$$F_n = (m_w + m_d)a_n \tag{7}$$



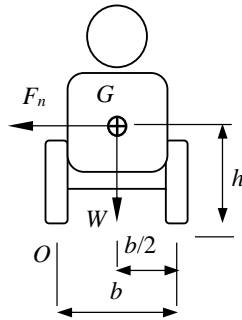
รูปที่ 1 ทิศทางของความเร่งของวีลแชร์ขณะเลี้ยวโค้ง

การเริ่มพลิกคว่ำของวีลแชร์ขณะเคลื่อนที่บนทางโค้งด้วยความเร็วคงที่วิเคราะห์จากหลักการทางสถิตศาสตร์ ดังในรูปที่ 2 การคิดโมเมนต์รอบจุด  $O$  เท่ากับศูนย์ได้ว่า

$$F_n h = (m_w + m_d)g \left( \frac{b}{2} \right) \tag{8}$$

ความเร่ง  $a_n$  ที่ทำให้วีลแชร์เริ่มพลิกคว่ำหาจากสมการ (7) และ (8) ได้ว่า

$$a_n = \frac{bg}{2h} \tag{9}$$

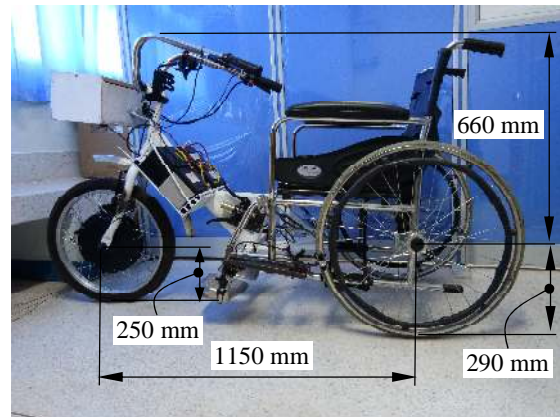


รูปที่ 2 ระบบแรงที่กระทำกับวีลแชร์ขณะเลี้ยวโค้ง

### 3. อุปกรณ์และวิธีการ

งานวิจัยนี้ศึกษาพลศาสตร์ของวีลแชร์เพื่อช่วยคนลดความเสี่ยงต่อการบาดเจ็บที่แขนและไหล่ของคนพิการอันเนื่องมาจากการขับเคลื่อนวีลแชร์ที่ความเร็วสูงหรือสภาพแวดล้อมที่ไม่เอื้ออำนวย ดังนั้นจึงเลือกใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 1 กิโลวัตต์ [14-16] อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้แก่ มอเตอร์ดุมล้อ 48 โวลต์ 1 กิโลวัตต์ ขนาดแกนเพลลา 10 มิลลิเมตร มีรูสำหรับติดตั้งซี่ลวด 36 ซี่ ขอบล้อหน้าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 406.4 มิลลิเมตร พร้อมยาง 1 เส้น ใช้สำหรับติดตั้งมอเตอร์ กล่องควบคุมมอเตอร์ 48 โวลต์ 1 กิโลวัตต์ มีกุญแจและลูกกุญแจเปิด/ปิดมอเตอร์ แบตเตอรี่ประจุแห้ง 12 โวลต์ 12 แอมแปร์-ชั่วโมง จำนวน 4 ก้อน ต่ออนุกรมเข้าด้วยกัน แขนบังคับเลี้ยวติดตั้งเข้ากับล้อหน้าโดยมีอุปกรณ์คันเร่งแบบบิดเต็มมือ ปุ่มกดสลับการทำงานแบบเดินหน้า/ถอยหลัง และคันเบรกล้อหน้าติดตั้งอยู่ เบรกล้อหน้าและล้อหลังจำนวน 3 อัน เป็นเบรกจักรยานชนิดวี (V) คันเบรก 2 อัน สำหรับควบคุมเบรกล้อหลังติดตั้งไว้บนโครงรถ เพื่อให้มือซ้ายของคนขับสามารถกำคันเบรกได้พร้อมกันขณะใช้งาน โครงล้อขับเคลื่อนทำจากเหล็กกล้าติดตั้งแบบถอด/ประกอบได้เข้ากับวีลแชร์มาตรฐาน วีลแชร์ทำจากเหล็กชุบโครเมียมมีความกว้างของเบาะนั่ง 460 มิลลิเมตร ขอบล้อหลังขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 533.4 มิลลิเมตร ประกอบเข้ากับยางตัน 2 เส้น น้ำหนักรวมของวีลแชร์หลังติดตั้งอุปกรณ์เท่ากับ 50.9 กิโลกรัม เครื่องมือวัดใช้ อุปกรณ์วัดความเร็วรถจักรยานติดตั้งไว้ที่ล้อหน้า และ

วัดมิติเตอร์สำหรับไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 60 โวลต์ 100 แอมแปร์ อุปกรณ์วัดความเร็วมีตัวรับรู้แม่เหล็กติดตั้งไว้ที่ตะเกียบและซี่ล้อ เมื่อล้อหมุนครบ 1 รอบ ตัวรับรู้ส่งสัญญาณไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อจับเวลา การป้อนความยาวเส้นรอบวงของยาง 1,571 มิลลิเมตร ให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อคำนวณความเร็วและแสดงผลที่หน้าจอในหน่วยกิโลเมตรต่อชั่วโมงโดยมีจุดทศนิยม 1 ตำแหน่ง อย่างไรก็ตาม ความคลาดเคลื่อนของจุดทศนิยมไม่มีผลต่อลักษณะเชิงพลวัตมากนัก ผลต่างความเร็วที่กระทบกับลักษณะเชิงพลวัตมีค่าเฉลี่ยที่ 4.9 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยคำนวณจากความเร็วของคนปกติเดิน วิ่งออกกำลังกาย และวิ่งเร็ว เท่ากับ 5.6 กิโลเมตรต่อชั่วโมง 10.4 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และ 15.4 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ [12] อุปกรณ์วัดความเร็วนี้ได้สอบเทียบหาความแม่นยำโดยเทียบกับการทดลองขับวีลแชร์ด้วยความเร็วคงที่ บันทึกระยะทางและเวลาเพื่อคำนวณหาความเร็วเฉลี่ย มิติของวีลแชร์ไฟฟ้าแสดงในรูปที่ 3



ตารางที่ 1 (ต่อ)



รูปที่ 3 มิติของวีลแชร์ไฟฟ้า

การทดสอบวีลแชร์ใช้คนขับ 1 คน เพศชาย อายุ 21 ปี ส่วนสูง 170 เซนติเมตร น้ำหนัก 58 กิโลกรัม วิธีการทดสอบวีลแชร์แสดงในตารางที่ 1 ในการทดสอบแต่ละวิธี ทำหลายครั้ง ผลลัพธ์เลือกมาจากการทดสอบครั้งที่ดีที่สุด

ตารางที่ 1 วิธีการทดสอบวีลแชร์

ลำดับ	การทดสอบ
1	หาความเร็วสูงสุดของวีลแชร์
2	หาความเร่งของวีลแชร์ โดยขับที่ความเร็วเริ่มต้น 0 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ถึงความเร็วสูงสุด และบันทึกเวลา
3	เบรกวีลแชร์จากความเร็วสูงสุดถึงความเร็ว 0 กิโลเมตรต่อชั่วโมง
4	อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจากแบตเตอรี่ โดยการขับวีลแชร์ที่ความเร็วคงที่ บันทึกระยะทาง และเวลา ทำการทดสอบจนกระทั่งแบตเตอรี่อ่อนกำลัง หรือ อัตราแรงของมอเตอร์ไม่ดีเท่าที่ควร มวลคนขับ $m_u = 58$ กิโลกรัม

ตารางที่ 1 วิธีการทดสอบวีลแชร์

ลำดับ	การทดสอบ
5	การเลี้ยวบนทางโค้งแนวราบที่รัศมีความโค้งของถนน 3 ค่า คือ 1.25 เมตร 2.40 เมตร และ 4.90 เมตร ทำการทดสอบโดยการเลี้ยวด้วยความเร็วคงที่ จากค่าน้อยไปมาก (ความเร็วเพิ่มขึ้นครั้งละ 1-2 กิโลเมตรต่อชั่วโมง) ทำการทดสอบจนกระทั่งล้อหลังข้างหนึ่งเริ่มยกขึ้นจากพื้นถนน หรือคนขับไม่สามารถควบคุมล้อทั้งสองข้างให้เหยียบลงบนพื้นในแนวเส้นตรงได้ วิธีนี้มีข้อดีคือใช้อุปกรณ์วัดน้อยชิ้น ข้อเสียคือการควบคุมวีลแชร์ให้เลี้ยวโค้งตามรัศมีวงเลี้ยวที่กำหนด ทำได้ยาก [10, 13]
6	หาแรงต้านการกลิ้งของล้อโดยการขับวีลแชร์บนถนนยางแอสฟัลต์ที่ความเร็วต่ำ แล้วบันทึกกำลังที่ใช้ขับเคลื่อน
7	หาแรงต้านอากาศพลศาสตร์ โดยการขับวีลแชร์ที่ความเร็วสูงสุด แล้วบันทึกกำลังที่ใช้ขับเคลื่อน

#### 4. ผลการทดสอบ

ผลการทดสอบ และการวิเคราะห์วีลแชร์ไฟฟ้าบนทางตรงแนวราบ แสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบวีลแชร์บนทางตรงแนวราบ

ลำดับ	ผลการทดสอบและการวิเคราะห์
1	ความเร็วสูงสุดของวีลแชร์ = 45 km/h
2	ความเร่งของวีลแชร์ จากความเร็วเริ่มต้น 0 km/h ถึงความเร็วสูงสุด 45 km/h ใช้เวลา 17.9 s ดังนั้น ความเร่ง $a = 0.70 \text{ m/s}^2$ ระยะทาง $s = 112 \text{ m}$
3	เบรกวีลแชร์จากความเร็วสูงสุด 45 km/h ถึงความเร็ว 0 km/h ใช้ระยะทางในการเบรก 10.6 m ดังนั้น ความเร่ง $a = -7.37 \text{ m/s}^2$ และเวลา 1.7 s
4	อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจากแบตเตอรี่ โดยการขับวีลแชร์ที่ความเร็วคงที่ในช่วง 25-30 km/h ได้ระยะทาง 11.4 km ใช้เวลา 25.2 นาที ที่ความเร็วเฉลี่ย 27.1 km/h คือ 0.21 kWh/km

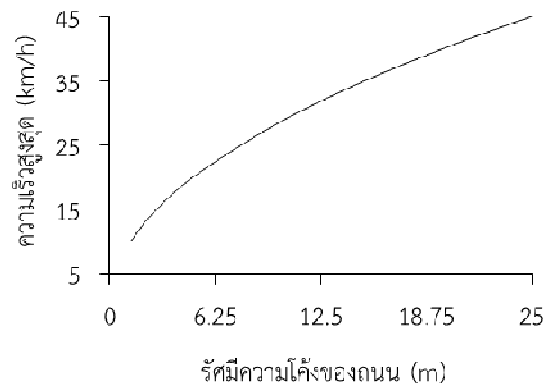
ผลการทดสอบการลื่นไถลวีลแชร์บนทางโค้งแนวราบที่ความเร็วคงที่ ได้แก่ การลื่นไถลเป็นวงกลม  $360^\circ$  ที่รัศมีความโค้ง  $1.25\text{ m}$  และลื่นไถลโค้งแนวราบ  $90^\circ$  ที่รัศมีความโค้ง  $2.40\text{ m}$  และ  $4.90\text{ m}$  พบว่า ล้อหลังข้างหนึ่งของวีลแชร์เริ่มยกขึ้นจากพื้นถนนดังในรูปที่ 4 ที่ความเร็ว  $10\text{ km/h}$   $14\text{ km/h}$  และ  $20\text{ km/h}$  ตามลำดับ เมื่อนำข้อมูลเหล่านี้มาวิเคราะห์โดยใช้สมการ (6) พบว่า ความเร่งที่ทำให้วีลแชร์เริ่มพลิกคว่ำ  $a_n = 6.30\text{ m/s}^2$  การวิเคราะห์หาความสูง  $h$  ของจุดศูนย์กลาง  $G$  ของวีลแชร์วัดจากพื้นถนน โดยใช้สมการ (9) พบว่า  $h = 0.4281\text{ m}$



รูปที่ 4 ล้อของวีลแชร์เริ่มยกสูงจากพื้นขณะลื่นไถลโค้ง

ความเร็วของคนปกติที่ทำกิจกรรมการเดิน (walking) การวิ่งออกกำลังกาย (jogging) และการวิ่งเร็ว (running) โดยไม่ทำให้กล้ามเนื้อเกิดการบาดเจ็บมีค่าเฉลี่ย  $5.6\text{ km/h}$   $10.4\text{ km/h}$  และ  $15.4\text{ km/h}$  ตามลำดับ [12] การเปรียบเทียบความเร็วของวีลแชร์ไฟฟ้านี้ขณะลื่นไถลด้วยรัศมีวงเลี้ยวแคบสุด พบว่าวีลแชร์สามารถลื่นไถลโค้งได้อย่างปลอดภัยที่ความเร็วเท่ากับความเร็วของคนปกติขณะวิ่งออกกำลังกาย วีลแชร์นี้สามารถลื่นไถลบนถนนแนวราบที่มีรัศมีความโค้งมากกว่า  $2.4\text{ m}$  ได้เร็วกว่าหรือเท่ากับความเร็วของคนวิ่งเร็ว ดังนั้น วีลแชร์นี้จึงมีความปลอดภัยและมีความเหมาะสมต่อการใช้งาน ความเร็วสูงสุดของวีลแชร์สัมพันธ์กับรัศมีความโค้งของถนนแนวราบที่วีลแชร์เริ่มพลิกคว่ำแสดงดังในรูปที่ 5

ผลการทดสอบหาแรงต้านการกลิ้งของล้อโดยการขับวีลแชร์ที่ความเร็วต่ำ ในช่วง  $1-6\text{ km/h}$  แรงต้านอากาศพลศาสตร์มีผลน้อยมากจึงไม่นำมาคิด กำลังที่ใช้ขับเคลื่อนจึงเท่ากับกำลังต้านการกลิ้งของล้อ การใช้สมการ (5) วิเคราะห์หาแรงต้านการกลิ้งของล้อได้  $R_R = 33\text{ N}$  และใช้สมการ (3) หาสัมประสิทธิ์แรงต้านการกลิ้งของล้อได้  $C_R = 0.0306$  ในที่นี้ สมมติว่า แรงต้านการกลิ้งของล้อมีค่าคงที่



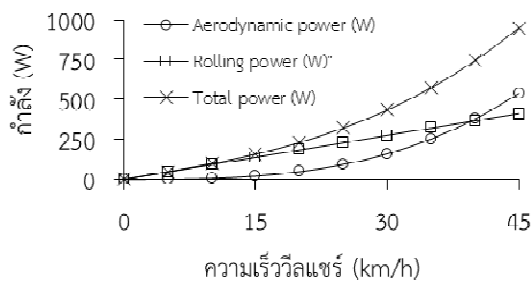
รูปที่ 5 ความเร็วสูงสุดของวีลแชร์สัมพันธ์กับรัศมีความโค้งของถนนขณะเริ่มพลิกคว่ำ

แรงต้านการกลิ้งของล้อขึ้นกับปัจจัยหลายประการ ได้แก่ ผิวถนน ดอกยาง ความดันลมของยาง และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางยาง โดยไม่คิดความสูญเสียทางกลเนื่องจากความเสียดทานของลูกปืนล้อและขบวนส่งกำลัง [11] อย่างไรก็ตาม วิธีการทดสอบในงานวิจัยนี้ได้คิดผลจากความสูญเสียทั้ง 3 ล้อ รวมอยู่ในแรงต้านการกลิ้งของล้อด้วย น้ำหนักของวีลแชร์และคนขับมีผลต่อกำลังที่ใช้ขับเคลื่อน ดังนั้น การลดน้ำหนักของชิ้นส่วน โครงกรอบ และแบตเตอรี่ทำให้แรงต้านการกลิ้งของล้อลดลง

ผลการทดสอบหาแรงต้านอากาศพลศาสตร์ โดยการขับวีลแชร์ที่ความเร็วสูงสุด  $45\text{ km/h}$  กำลังที่ใช้ขับเคลื่อน  $950\text{ W}$  การใช้สมการ (5) วิเคราะห์หาสัมประสิทธิ์  $C_D A = 0.46252$  พื้นที่ด้านหน้าประสิทธิภาพของวีลแชร์จากการวัด  $A = 0.5476\text{ m}^2$  ดังนั้น คำนวณ  $C_D = 0.8446$

ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังต้านการกลิ้งของล้อ กำลังต้านอากาศพลศาสตร์ และกำลังที่ใช้ขับเคลื่อน ที่ความเร็วของวีลแชร์ในช่วง 0 – 45 km/h แสดงในรูปที่ 6 สังเกตว่าที่ความเร็วต่ำ กำลังต้านอากาศพลศาสตร์ไม่มีผลต่อการขับวีลแชร์มากนัก อย่างไรก็ตาม ที่ความเร็วสูง กำลังต้านอากาศพลศาสตร์มีผลต่อวีลแชร์เป็นอย่างมาก

สัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศพลศาสตร์ ( $C_D$ ) มีค่าแปรผันในช่วงกว้างตามรูปร่างของวัตถุที่ต่างกัน เช่น วัตถุรูปครึ่งทรงกลมวางในทิศต้านแรงลมทำให้  $C_D$  เท่ากับ 1.42 แต่ถ้าวัตถุเดียวกันนี้วางกลับทิศทางในทิศลู่ลมทำให้  $C_D$  เท่ากับ 0.38 [13] ดังนั้น ในอนาคต การพัฒนารูปร่างของวีลแชร์ให้ลู่ลมจึงมีแนวโน้มทำให้ค่า  $C_D$  หรือกำลังต้านอากาศพลศาสตร์ของวีลแชร์ลดลงมาก



รูปที่ 6 กำลังต้านการเคลื่อนที่สัมพันธ์กับความเร็ววีลแชร์

## 5. สรุป

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาชุดขับเคลื่อนวีลแชร์ไฟฟ้าเพื่อช่วยให้ผู้บกพร่องทางการเดินสามารถดำเนินกิจกรรมในชีวิตประจำวันได้สะดวก วีลแชร์ไฟฟ้ามี 3 ล้อ โดยการใช้มอเตอร์ดุมล้อขนาด 1 kW ติดตั้งที่ล้อหน้า ชุดล้อขับเคลื่อนประกอบเข้ากับวีลแชร์มาตรฐานที่สามารถรับน้ำหนักผู้ใช้ 100 kg แบตเตอรี่ 12 V 12 Ah จำนวน 4 ก้อน ต่ออนุกรม สร้างแรงดันไฟฟ้า 48 โวลต์ การทดสอบพลศาสตร์ของวีลแชร์ พบว่า มีความเร็วสูงสุด 45 km/h อัตราเร่งจากภาวะหยุดนิ่งถึงความเร็วสูงสุด เท่ากับ 0.70 m/s<sup>2</sup> การเบรกจากความเร็วสูงสุดถึงภาวะหยุดนิ่งใช้ระยะทาง 10.6 m คิดเป็นค่าความหน่วงเท่ากับ 7.37

m/s<sup>2</sup> การทดสอบการเลี้ยวโค้งวีลแชร์แนวราบ พบว่าการเลี้ยวโค้ง 360° ที่รัศมีวงเลี้ยวแคบสุด 1.25 m ล้อหลังข้างหนึ่งของวีลแชร์เริ่มยกขึ้นจากพื้นที่ความเร็ว 10 km/h ความเร็วนี้มีค่าเท่ากับความเร็วของคนปกติวิ่งออกกำลังกาย การเลี้ยวโค้ง 90° ที่รัศมีวงเลี้ยว 2.40 m และ 4.90 m ล้อหลังข้างหนึ่งของวีลแชร์เริ่มยกขึ้นจากพื้นที่ความเร็ว 14 km/h และ 20 km/h ตามลำดับ ความเร็วเหล่านี้มีค่าเท่ากับและมากกว่าความเร็วของคนปกติวิ่งเร็ว ความสูงของจุดศูนย์ถ่วงของวีลแชร์ไฟฟ้ารวมคนขับเท่ากับ 0.4281 m ผลการวิเคราะห์ทางพลศาสตร์ พบว่าวีลแชร์นี้สามารถนำไปใช้ในชีวิตประจำวันได้ดีในกรณีที่ผู้ใช้ต้องการเคลื่อนที่ระยะทางไกลและมีความรีบเร่งในบางช่วง เช่น การข้ามทางแยกไฟแดง การไปประชุม หรือการเล่นกับสัตว์เลี้ยงบางชนิดนอกอาคาร อย่างไรก็ตาม ชิ้นส่วนของวีลแชร์มาตรฐานที่ต้องซ่อมบำรุงบ่อยเกิดเนื่องจากโหลดของความล่า คือ ลูกปืนล้อ วัสดุหล่อลื่น และยาง การขับวีลแชร์มาตรฐานที่ความเร็วสูงจึงมีโหลดของความล่ากระทำกับชิ้นส่วนเหล่านี้สูงขึ้นกว่าเดิมมาก ส่งผลให้ผลของการซ่อมบำรุงวีลแชร์สูงขึ้น แบตเตอรี่สามารถใช้ขับเคลื่อนต่อเนื่องได้เป็นระยะทาง 11.4 km หรือประมาณ 25.2 นาที มีความเร็วเฉลี่ยอยู่ที่ 27.1 km/h และอัตราการสิ้นเปลืองที่ 0.21 kWh/km การทดสอบหาแรงต้านการกลิ้งของล้อได้  $R_R = 33$  N และสัมประสิทธิ์แรงต้านการกลิ้งของล้อ  $C_R = 0.0306$  การทดสอบหาสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศพลศาสตร์ได้  $C_D A = 0.46252$  งานวิจัยในอนาคต การปรับปรุงประสิทธิภาพของวีลแชร์ ได้แก่ การลดน้ำหนักของชิ้นส่วน โครงกรอบ และแบตเตอรี่มีแนวโน้มทำให้แรงต้านการกลิ้งของล้อลดลง การพัฒนารูปร่างของวีลแชร์ให้ลู่ลมมีแนวโน้มทำให้กำลังต้านอากาศพลศาสตร์ของวีลแชร์ลดลงมาก การติดตั้งระบบโซล่าเซลล์เข้ากับวีลแชร์เพื่อเพิ่มระยะทางและเวลาการใช้งานของแบตเตอรี่





## 6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ นายพรพจน์ แสนภูวา ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ นายจักรินทร์ มุ่งหมาย นายเกียรติทวี ศรีมี นายปพน แสงธรรมมงคล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและการผลิต คณะวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสกลนคร ที่ให้ความเอื้อเฟื้อทางผู้ช่วยวิจัย วัสดุ เครื่องมือ และสถานที่

## 7. เอกสารอ้างอิง

- [1] World Health Organization, Geneva (2008). *Concept note World Report on Disability and Rehabilitation*.
- [2] World Health Organization, Regional Office for South-East Asia (2010). *Fact sheet on wheelchairs, October 2010*, URL: [http://www.sea.who.int/entity/disabilities\\_injury\\_rehabilitation/wheelchair\\_factsheet.pdf](http://www.sea.who.int/entity/disabilities_injury_rehabilitation/wheelchair_factsheet.pdf), access on 19/12/2016.
- [3] International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland (2016). *ISO/TC 173/SC 1 – Wheelchairs*.
- [4] International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland (2014). *ISO 7176-1, Wheelchairs - Part 1: Determination of static stability*.
- [5] Koontz, A.M., Cooper, R.A., Boninger, M.L., Souza, A.L. and Fay, B.T. (2002). Shoulder kinematics and kinetics during two speeds of wheelchair propulsion, *Journal of Rehabilitation Research & Development*, vol. 39(6), November-December 2002, pp. 635 – 649.
- [6] Morrow, M., Hurd, W., Kaufman, K. and An, K. (2010). Shoulder demands in manual wheelchair users across a spectrum of activities, *Journal of Electromyography and Kinesiology*, vol. 20(1), February 2010, pp. 61 – 67.
- [7] Guillon, B., Van-Hecke, G., Iddir, J., Pellegrini, N., Beghoul, N., Vaugier, I. and Figère, M. (2015). Evaluation of 3 Pushrim – Activated Power – Assisted Wheelchairs in Patients With Spinal Cord Injury, *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, vol. 96(5), May 2015, pp. 894 – 904.
- [8] Corfman, T.A., Cooper, R.A., Fitzgerald, S.G. and Cooper, R. (2003). Tips and falls during electric-powered wheelchair driving: effects of seatbelt use, legrests, and driving speed, *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, vol. 84(12), December 2003, pp. 1797 – 1802.
- [9] Erickson, B., Hosseini, M.A., Mudhar, P.S., Soleimani, M., Aboonabi, A., Arzanpour, S. and Sparrey, C.J. (2016). The dynamics of electric powered wheelchair sideways tips and falls: experimental and computational analysis of impact forces and injury, *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, vol. 13(20), 2 March 2016, pp. 1 – 10.
- [10] Meriam, J.L. and Kraige, L.G. (2012). *Engineering Mechanics Dynamics*, John Wiley & Sons, New York.
- [11] Meyera, D., Klossa, G. and Sennera, V. (2016). What is slowing me down? Estimation of rolling resistances during cycling, *Procedia Engineering*, vol. 147, 2016, pp. 526 – 531.
- [12] Montgomery, G., Abta, G., Dobsonb, C., Smithc, T. and Ditroilod, M. (2016). Tibial



impacts and muscle activation during walking, jogging and running when performed overground, and on motorised and non-motorised treadmills, *Gait & Posture*, vol. 49, 2016. pp. 120 – 126.

[13] Gillespie, T.D. (1992). *Fundamentals of Vehicle Dynamics*, Society of Automotive Engineering, Ontario, Canada.

[14] Coutts, K.D. (1991). Dynamic characteristics of a sport wheelchair, *Journal of Rehabilitation Research and Development*, vol. 28(3), 1991, pp. 45 – 50.

[15] Brubaker C.E. and Mchurin C.A. (1981). *Air drag*. Wheelchair Mobility 1976-1981, University of Virginia Rehabilitation Engineering Center, pp. 42 – 43.

[16] Masson, G., Bégin, M.-A., Lopez Poncelas, M., Pelletier, S.-K., Lessard, J.-L., Laroche, J., Berrigan, F., Langelier, E., Smeesters, C. and Rancourt, D. (2016). Contribution of limb momentum to power transfer in athletic wheelchair pushing, *Journal of Biomechanics*, vol. 49(2016), pp. 2577 – 2583.