การพัฒนารถไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ต้นแบบสำหรับการแข่งขัน
The Development of Solar Racing Car Prototype

นภัทร วัจนเทพินทร์[1]* สามารถ ทัดเกษ[2] กิตตินันท์ พลอยรัตน์[2] ปัญญา กล่ำเดช[2] และ สรวิศ นามแก้ว[2]

[1,2] สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ จังหวัดนนทบุรี 11000

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอการออกแบบและสร้างรถไฟฟ้าต้นแบบโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าร่วมกับแบตเตอรี่ และทดสอบผลการใช้พลังงานของรถต้นแบบฯ ในสภาวะในการใช้งานจริง รถไฟฟ้าต้นแบบที่ได้พัฒนาขึ้นนี้มีตัวถังทำด้วยไฟเบอร์กลาส ใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านขนาด 2 กิโลวัตต์ เป็นต้นกำลังขับโดย ดี.ซี.คอนเวอร์เตอร์แบบคืนพลังงาน แหล่งจ่ายไฟฟ้าใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวแบบอ่อนตัวได้ มีกำลังผลิตติดตั้งขนาด 480 วัตต์ เพื่อประจุไฟฟ้าให้แบตเตอรี่ขนาด 48 โวลต์ 132 แอมแปร์ชั่วโมง มีน้ำหนักตัวรถ 173 กิโลกรัมและน้ำหนักรถรวมน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 233.4 กิโลกรัม ที่ระยะทางทดสอบ 10 กิโลเมตร ผลการทดสอบพบว่าเมื่อใช้แบตเตอรี่เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้า รถไฟฟ้าต้นแบบวิ่งได้ที่อัตราความเร็วเฉลี่ย 45.98 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และเมื่อทดสอบโดยใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ร่วมกับแบตเตอรี่เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้า รถต้นแบบวิ่งได้นานขึ้นโดยมีอัตราความเร็วเฉลี่ย 51 กิโลเมตรต่อชั่วโมง องค์ความรู้ที่ได้จากการออกแบบและสร้างรถต้นแบบในครั้งนี้สามารถประยุกต์เพื่อพัฒนารถไฟฟ้าเพื่อใช้ในการแข่งขันได้จริงในโอกาสต่อไป

คำสำคัญ: รถไฟฟ้าต้นแบบ พลังงานแสงอาทิตย์ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน

Abstract

The objective of this paper is to construct the solar car prototype. The car uses flexible solar panels with the battery as a power source. Thereafter, the performance of the solar car is tested in the actual condition. This solar car's body was developed by fiberglass and the internal structure was made from the steel. This car uses the 2 kW brushless DC motor to be the prime mover and the motor is driven by the regenerative dc converter. The power sources are 480 watts of the flexible solar panel with a charger to charge power to four of 12V 33Ah battery. The total weight of the solar car is 173 kg. The solar car's weight including driver is about 233.4 kg. The solar car test drive is on 10 km distance. The result found that the car has: (1) the average speed is equal to 45.98 km/h by using only battery (2) the average speed is equal to 51 km/h when the battery is combined with solar panels. This knowledge should be applied to develop the next version of the solar racing car.

Keywords: Solar Car; Flexible Solar Panels; Brush-less DC Motor

** ผู้นิพนธ์ประสานงานไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ watjanatepin.n@gmail.com โทร. 08 1947 8880*

1. บทนำ

การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงฟอสซิล (Fossil Fuel) ทำให้เกิดมลพิษทางอากาศ และเป็นส่วนหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่อโลกอย่างมาก นั่นคือสภาวะโลกร้อนในปัจจุบัน ทำให้ทุกภาคส่วนพยายามที่จะลดการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลลง โดยการใช้พลังงานทดแทน และเทคโนโลยีเขียวเพิ่มขึ้น แนวโน้มการใช้ยานพาหนะในการเดินทางเริ่มเปลี่ยนแปลงเป็นพาหนะที่ใช้พลังงานขับเคลื่อนมาจากพลังงานไฟฟ้ามากขึ้น เช่น รถไฟฟ้า (Electric Car, Electric Vehicle) จักรยานยนต์ไฟฟ้า จักรยานไฟฟ้า สกูตเตอร์ (Scooter) เซ็กเวย์ (Segway) ฯลฯ ดังจะเห็นได้จากบริษัทผู้ผลิตรถยนต์ชั้นนำหลายบริษัท ได้มีการผลิตรถยนต์ที่ใช้พลังงานไฟฟ้า เพื่อใช้ในการขับเคลื่อนแทนรถยนต์ที่ใช้เครื่องยนต์แบบสันดาปด้วยการเผาไหม้เชื้อเพลิง ซึ่งก่อให้เกิดผลกระทบต่อสภาพแวดล้อม เนื่องจากมลภาวะทางอากาศที่เป็นพิษ ในอนาคตรถที่ใช้พลังงานไฟฟ้าจะเป็นที่แพร่หลายในอุตสาหกรรมการผลิตรถยนต์ เพื่อเป็นการอนุรักษ์สภาพแวดล้อมไม่ก่อให้เกิดมลพิษกับโลก รถที่ขับเคลื่อนด้วยพลังงานไฟฟ้าเหล่านี้มักจะใช้ระบบ ควบคุมการทำงานด้วยวงจรควบคุมแบบคืนพลังงาน (Regenerative Energy Control) มาใช้ประโยชน์ เพื่อให้พลังงานที่เกิดขึ้นหลังจากการเบรกและแรงเฉลี่ยของรถสามารถเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานไฟฟ้าเพื่อนำกลับไปประจุเก็บไว้ในแบตเตอรี่ได้

การพัฒนารถไฟฟ้าต้นแบบในประเทศไทยมีอยู่บ้าง ส่วนมากจะมีการพัฒนารถไฟฟ้าที่ใช้ภายในมหาวิทยาลัยฯ เช่น รถไฟฟ้า 2 ที่นั่งปรับอากาศ และรถบัสที่ใช้พลังงานไฟฟ้า เป็นต้น (ฉัตรชัย, 2556; ไพโรจน์, 2553; สุเทพ และคณะ, 2551) อย่างไรก็ตามการพัฒนารถไฟฟ้า มักจะนำไปสู่การแข่งขัน ในเชิงความคิด การออกแบบและเทคโนโลยีของระบบควบคุม รวมถึงเทคโนโลยีการแปลงพลังงาน ปัจจุบันการแข่งขันรถไฟฟ้าประหยัดพลังงานเริ่มเป็นที่นิยมและมีการส่งเสริมจากหน่วยงานต่าง ๆ ทั้งภาครัฐและภาคเอกชนเพื่อให้นิสิตนักศึกษาของมหาวิทยาลัยต่างๆได้เข้าร่วมการแข่งขันในระดับประเทศ และในต่างประเทศ สำหรับการแข่งขันในประเทศไทยได้จัดขึ้นเป็นครั้งแรกในปี พ.ศ. 2554 ที่สนามแข่งพีระอินเตอร์เนชั่นแนล เซอร์กิต เมืองพัทยา จังหวัดชลบุรี โดยใช้ชื่อในการแข่งขันว่า World Eco Car Grand Prix Thailand และต่อมาในปี พ.ศ. 2555 ได้เพิ่มการแข่งขันรถพลังงานแสงอาทิตย์ โดยการแข่งขันเป็นระยะทาง 2.4 กิโลเมตร ในปัจจุบันไม่มีการแข่งขันนี้แล้ว ส่วนการแข่งขันในระดับนานาชาติมีการจัดการแข่งขันรถพลังงานแสงอาทิตย์จัดขึ้นครั้งแรกในปี พ.ศ. 2530 ที่ประเทศออสเตรเลีย การแข่งขันนี้ใช้ชื่อว่า World Solar Challenge (WSC) โดยมีระยะทางการแข่งขัน 3021 กิโลเมตร ข้ามทวีปออสเตรเลียจากเมือง Darwin ทางตอนเหนือของประเทศไปยังเมือง Adelaide ที่อยู่ทางใต้ของประเทศออสเตรเลียนับเป็นระยะทางที่ไกลและเป็นการแข่งขันที่มีชื่อเสียงมายาวนาน การแข่งขันรายการนี้จัดขึ้นทุก ๆ 2 ปี และผู้ชนะเลิศในปี 2013 คือ ทีม Nuon Solar Car Team จากประเทศเนเธอร์แลนด์ ด้วยสถิติ 33 ชั่วโมง 3 นาที ความเร็วเฉลี่ย 90.71 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ส่วนผู้ชนะเลิศในปี 2009 และ 2011 คือทีม Tokai Challenger จากมหาวิทยาลัยโตไก (Tokai University) ประเทศญี่ปุ่น ด้วยสถิติโลกคือ 29 ชั่วโมง 49 นาที ด้วยความเร็วเฉลี่ย 100.54 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และการแข่งขัน American Solar Challenge ซึ่งจัด

ให้มีการแข่งขันรถพลังงานแสงอาทิตย์ขึ้น ข้ามประเทศระหว่างสหรัฐอเมริกา ไปยังแคนาดา ระยะทาง 1,652 ไมล์ จัดการแข่งขันครั้งแรกในปี พ.ศ. 2533 เริ่มต้นจากเมือง Tulsa สิ้นสุดที่ Naperville และผู้ชนะเลิศในปี 2010 และ 2012 คือ ทีม University of Michigan จากประเทศสหรัฐอเมริกา ด้วยสถิติ 44:36:21 ชั่วโมง ความเร็วเฉลี่ย 68.98 กิโลเมตรต่อชั่วโมง นอกจากนี้ยังมีการแข่งขันที่ทวีปแอฟริกาคือ South African Solar Challenge อีกด้วย การแข่งขันดังกล่าวเริ่มต้นจากเมือง Johannesburg และสิ้นสุดที่เมือง Pretoria รวมระยะทางการแข่งขัน เท่ากับ 4,100 กิโลเมตร (Photovoltaics Bulletin, 2003a; Reinforced Plastics, 2007; Photovoltaics Bulletin, 2003b; Barrit and Salih-Ali, 2012) จากความเป็นมาของหลักการและเหตุผลดังกล่าวคณะผู้วิจัยจึงเกิดแรงจูงใจในการพัฒนาการพัฒนารถไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ต้นแบบสำหรับการแข่งขัน การพัฒนานี้จะมุ่งประเด็นการพัฒนารถต้นแบบโดยใช้แนวคิดการออกแบบจากรถ Tokai Challenger ของมหาวิทยาลัยโตไก (Tokai University) ดังรูปที่ 1

รูปที่ 1 รถไฟฟ้าของ Tokai University แชมป์ WSC ปี 2009 และ 2011

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างรถไฟฟ้าที่ใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับแบตเตอรี่มีการขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ใช้คอนเวอร์เตอร์แบบคืนพลังงานในการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ และทดลองหาผลการใช้พลังงานในการขับเคลื่อนรถไฟฟ้าต้นแบบ โดยกำหนดขอบเขตของการวิจัยไว้ว่าน้ำหนักบรรทุกรวมน้ำหนักรถต้องไม่เกิน 250 กิโลกรัม และรถไฟฟ้าต้นแบบสามารถทำความเร็วได้ไม่น้อยกว่า 50 กิโลเมตร ต่อชั่วโมง เพื่อให้ได้องค์ความรู้และแนวทางที่สามารถนำไปสู่การพัฒนาสมรรถนะของรถไฟฟ้าดังกล่าว ต่อไปจากรถต้นแบบในการพัฒนาเพื่อแข่งขันในงาน World Solar Challenge ต่อไปในอนาคต

2. วิธีการทดลอง

2.1 อุปกรณ์ และขั้นตอนการพัฒนา

ขั้นตอนวิธีการดำเนินการการวิจัยและพัฒนารถไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ต้นแบบ เพื่อการแข่งขัน มีรายละเอียด 12 ขั้นตอน ทั้งนี้รายละเอียดด้านการออกแบบและสร้าง ได้แสดงด้วยภาพกระบวนการทำงานแสดงดังรูปที่ 2 ถึง รูปที่ 5

1. ศึกษารูปแบบของรถไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้แนวคิดการออกแบบรถจากแนวคิดของทีมจากมหาวิทยาลัยโตไก ประเทศญี่ปุ่น และข้อกำหนดของการแข่งขัน World Solar Challenge ในด้านพิกัดขนาด และชนิดของแหล่งจ่ายไฟฟ้า

2. ร่างแบบและสร้างโครงสร้างของรถต้นแบบฯ

3. ร่างแบบตามแนวคิดข้อ 1 และสร้างตัวถังรถต้นแบบฯ

4. ออกแบบและพิจารณาความเหมาะสมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่จำนำมาใช้งานกับตัวถังรถ

5. คำนวณเพื่อเลือกขนาดของมอเตอร์ขับ

6. ออกแบบระบบควบคุมการบังคับล้อและระบบเบรก

7. จัดหาอุปกรณ์และติดตั้ง มอเตอร์ ระบบขับเคลื่อนระบบควบคุมการบังคับล้อ ระบบเบรก และระบบควบคุมการประจุแบตเตอรี่

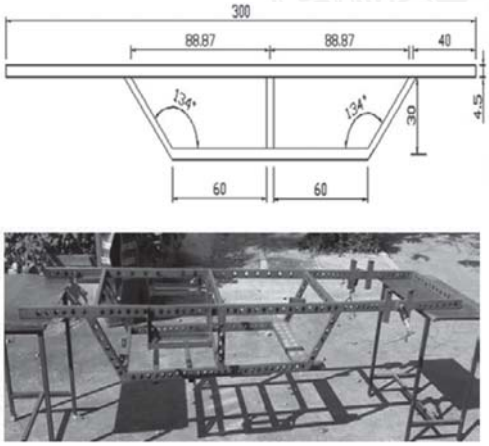
8. ทดสอบการทำงานของระบบขับเคลื่อนของรถต้นแบบโดยใช้แบตเตอรี่

9. ออกแบบและติดตั้งระบบไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

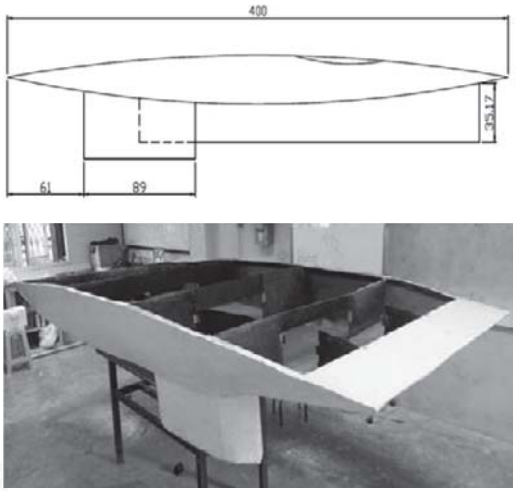
10. ทดสอบการทำงานของระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ และการประจุพลังงานเข้าแบตเตอรี่ด้วยระบบควบคุมแบบ MPPT

11. ประกอบชิ้นส่วนต่าง ๆ ทั้งหมดของรถต้นแบบพลังงานแสงอาทิตย์

12. ทดสอบการทำงาน และสมรรถนะของรถไฟฟ้าต้นแบบพลังงานแสงอาทิตย์โดยการวัดกระแสไฟฟ้า

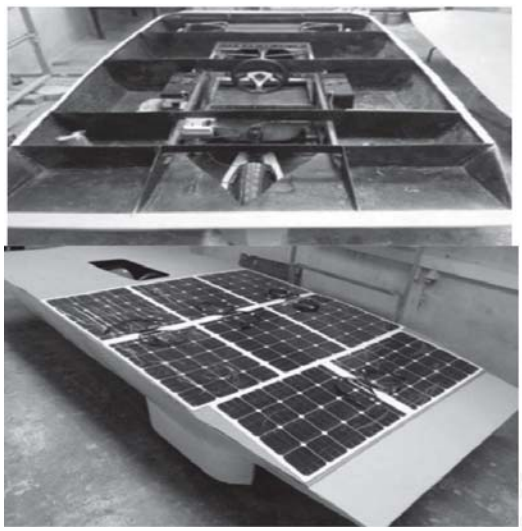


รูปที่ 2 แบบและการสร้างโครงสร้างของรถต้นแบบ (หน่วย: เซนติเมตร)



รูปที่ 3 แบบและการสร้างตัวถังไฟเบอร์กลาสของรถต้นแบบ (หน่วย: เซนติเมตร)

รูปที่ 4 แกนพวงมาลัย ระบบบังคับเลี้ยว และเพลาล้อหน้า

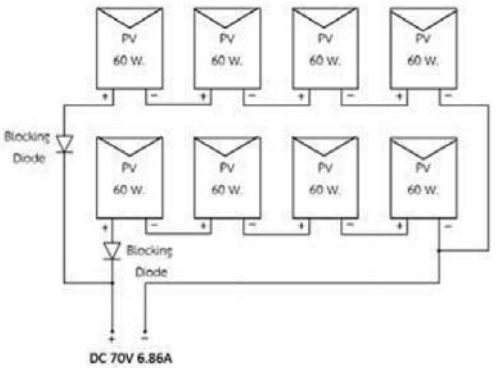


รูปที่ 5 การติดตั้งระบบไฟฟ้าและแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาด 480 วัตต์ และแรงดันไฟฟ้า ที่แบตเตอรี่ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ และมอเตอร์และวัดความเร็วของรถ

2.2 แหล่งจ่ายกำลังและระบบควบคุม

2.2.1 แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า

สำหรับรถไฟฟ้าต้นแบบ มี 2 ส่วน คือ 1) แบตเตอรี่ ขนาด 12 โวลต์ 33 แอมแปร์ จำนวน 4 ลูก แบตเตอรี่ที่ใช้เป็นแบบแห้ง รุ่น RR MP 33 A-12V วงจรการต่อแบตเตอรี่แสดงในรูปที่ 9 2) แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ชนิดผลึกเดี่ยวแบบอ่อนตัวได้ (Mono Silicon Flexible Solar Panel) รุ่น JA-60W/18V สมบัติของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ คือ กำลังไฟฟ้าสูงสุด (Pmax) 60 วัตต์ แรงดันไฟฟ้าสูงสุด (Vmp) 17.5 โวลต์ กระแสไฟฟ้าสูงสุด (Imp) 3.43 แอมแปร์ แรงดันไฟฟ้าเมื่อเปิดวงจร (Voc) 21.32 โวลต์ และกระแสไฟฟ้าลัดวงจร (Isc) 3.72 แอมแปร์ ขนาด 60 วัตต์ จำนวน 8 แผง ต่ออนุกรมกัน 4 แผง จำนวน 2 ชุดและนำมาต่อขนานกันให้เป็นระบบไฟฟ้ากระแสตรง 70 โวลต์ 6.86 แอมแปร์ ไดอะแกรมของแหล่งจ่ายไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 ไดอะแกรมของแหล่งจ่ายไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์

2.2.2 ระบบควบคุมการประจุ

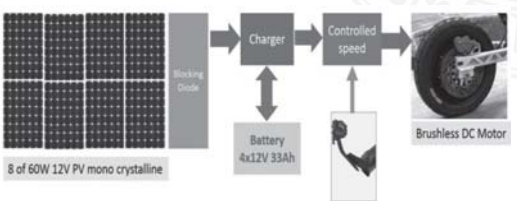
แบตเตอรี่ จะมี อุปกรณ์ควบคุมการประจุไฟฟ้าเพื่อเก็บพลังงาน คือ Solar-charger ที่มีฟังก์ชันการติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Maximum Power Point Tracking, MPPT) 1 ตัว พิกัด 48 โวลต์ 30 แอมแปร์ อินพุตของมันมาจาก 2 ทาง คือ จากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ 50 เฮิรตซ์ ภายนอก หรือมาจากชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนตัวรถ โดยมีสวิตช์เลือกวิธีการประจุไฟฟ้าได้

2.2.3 มอเตอร์ และระบบควบคุมมอเตอร์

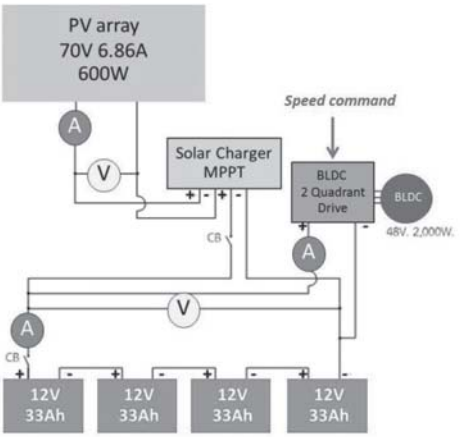
มอเตอร์ที่ใช้เป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อนรถไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ต้นแบบนี้ เป็น มอเตอร์กระแสตรง แบบไร้แปรงถ่าน (Brushless DC Motor, BLDC) ขนาดกำลังไฟฟ้า 2 กิโลวัตต์ แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 48 โวลต์ มอเตอร์ชนิดนี้จะไม่มีแปรงถ่านทำให้ไม่มีการสึกหรอของแปรงถ่าน ไม่ต้องการการบำรุงรักษามากนัก มอเตอร์แบบนี้จะอยู่ที่ศูนย์กลางของล้อ ซึ่งเรียกอีกชื่อ

หนึ่งว่า In-wheel Motor ในบทความนี้ใช้มอเตอร์ BLDC รุ่น PW16 มีขนาดล้อ 16 นิ้ว น้ำหนักรวมมอเตอร์ ดุมล้อ และยางรถเท่ากับ 9.5 กิโลกรัม ส่วนชุดควบคุมตัวขับมอเตอร์เป็นแบบ 2 จัตุภาค (Two Quadrant Drive) คือ เป็นวงจรขับมอเตอร์ที่คืนพลังงานได้เมื่อมอเตอร์หมุนไปด้วยแรงเฉื่อย มอเตอร์ก็จะทำงานในสถานะเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และจะทำงานเป็นมอเตอร์เมื่อได้รับกระแสไฟฟ้าจากชุดขับมอเตอร์ตัวขับมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน (BLDC Drive) ที่ใช้ในโครงการนี้คือ รุ่น BAC-0501 พิกัด (48 โวลต์ 2,000 วัตต์) ดังรูปที่ 7 ไดอะแกรมของระบบการควบคุมและแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า ของรถไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ต้นแบบเพื่อการแข่งขัน แสดงในรูปที่ 8 และวงจรไฟฟ้าของรถต้นแบบแสดงในรูปที่ 9

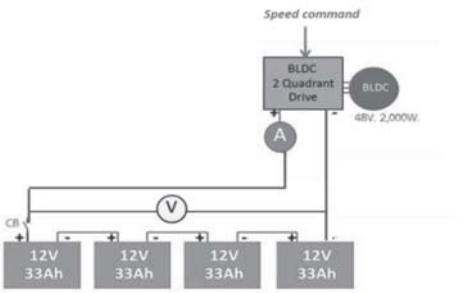
รูปที่ 7 มอเตอร์ BLDC และตัวขับมอเตอร์ กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน (BLDC Motor Drive) 48 โวลต์ 2 kW



รูปที่ 8 ไดอะแกรมของระบบการควบคุมและแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า



(ก) วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้า จากแบตเตอรี่ และเซลล์แสงอาทิตย์



(ข) วงจรแหล่งจ่าไฟฟ้าจากแบตเตอรี่

รูปที่ 9 วงจรไฟฟ้าของรถไฟฟ้าต้นแบบ

2.3 วิธีการทดสอบ

2.3.1 การทดสอบสมรรถนะ โดยการขับเคลื่อนด้วยแบตเตอรี่ในการขับเคลื่อนเพื่อวัดค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้จริง เวลาในการทำงาน และความเร็วของรถไฟฟ้า ระยะทางทดสอบ 10 กิโลเมตร โดยมีน้ำหนักตัวรถ 173 กิโลกรัม น้ำหนักผู้ขับรถ 60 กิโลกรัม น้ำหนักรวม 223 กิโลกรัม โดยเก็บข้อมูลดังกล่าวทุกระยะทาง 200 เมตร สถานที่ที่ใช้ทดสอบ คือ ถนนวังข่า-วัดสิงห์ทอง วิ่งเลียบคลองขุนมหาดไทย ตำบลบางพลับ อำเภอปากเกร็ด

จังหวัดนนทบุรี ทำการทดสอบในวันที่ 30 มีนาคม พ.ศ. 2558 เวลา 11.00-12.30 น.

2.3.2 การทดสอบสมรรถนะทั้งระบบโดยการใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 480 วัตต์ ต่อเข้ากับแบตเตอรี่ 12 โวลต์ 33 แอมแปร์ จำนวน 4 ลูก ในการขับเคลื่อนรถไฟฟ้า เพื่อทดสอบผลตามข้อ 1 โดยทำการทดสอบเมื่อวันที่ 31 มีนาคม พ.ศ. 2558 เวลา 12.00-14.00 น. สถานที่ทดสอบและระยะทางทดสอบเหมือนข้อ 1

2.3.3 พารามิเตอร์ที่ใช้เป็นตัวชี้วัดสมรรถนะของรถไฟฟ้าต้นแบบ คือ พลังงานที่ใช้ในการขับเคลื่อนรถในระยะทางเท่า ๆ กัน เมื่อใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าจากแบตเตอรี่เพียงอย่างเดียว เปรียบเทียบกับการใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ร่วมกับชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์

2.3.4 เครื่องมือวัดที่ใช้ในการวัด กระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า คือ โวลต์มิเตอร์ที่มีคุณสมบัติ Range 0-500 VDC, Operating Temperature 0-60, humidity 70%, Accuracy Class 1.5 และแอมป์มิเตอร์มีคุณสมบัติคือ Range 0-50 ADC, Operating Temperature 0-60 ˚C, Humidity 70%, Accuracy Class 1.5 เครื่องมือวัดความเร็วรถที่ใช้ในการทดลอง มีคุณลักษณะดังนี้ Average Speed: 0.0 ~105.9 km/h Current Speed: 0.0 (4.0) ~105.9 km/h, Elapsed Time: 0:00’00”~9:59’59”, Trip Distance 1: 0.0~999.99 km, Trip Distance 2: 0.00 ~9999.9 km Maximum Speed: 0.0 (4.0) ~105.9 km/h Total Distance (Odometer): 0~99999 km

2.3.5 ข้อจำกัดของการทดสอบนี้มีข้อจำกัดดังนี้ คือ (1) ไม่สามารถทำการศึกษาช่วงเวลาการ Regenerative Breaking ของมอเตอร์ได้ (2) ถนนที่ใช้ทดสอบมีระยะทางประมาณ 2 กิโลเมตร จึงต้องทำการทดสอบจำนวน 5 รอบต่อเนื่องกันเพื่อให้ได้ระยะทางรวม 10 กิโลเมตร (3) การทดสอบนี้ไม่ได้วัดค่าพลังงานไฟฟ้าของแบตเตอรี่ก่อนการใช้งาน และหลังจากการใช้งาน (4) ความเข้มของแสงอาทิตย์ในวันที่ทำการทดสอบให้ประเมินว่าเท่ากัน เพราะทดสอบในเวลาใกล้เคียงกัน

รูปที่ 10 ถนนวังข่า-วัดสิงห์ทอง เลียบคลองขุนมหาดไทย ตำบลบางพลับ อำเภอ ปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี

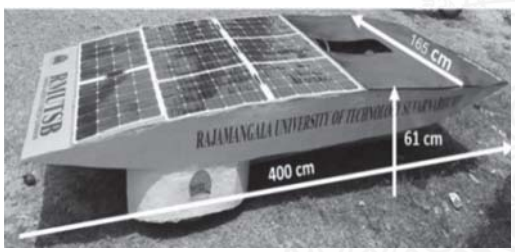
3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

3.1 ผลการพัฒนารถพลังงานแสงอาทิตย์ต้นแบบเพื่อการแข่งขัน

คุณลักษณะด้านวัสดุ ขนาดและพิกัดของตัวรถ และด้านระบบไฟฟ้าและการควบคุมของรถไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อการแข่งขัน ต้นแบบที่ได้จากการวิจัยนี้แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณลักษณะของรถไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ต้นแบบ

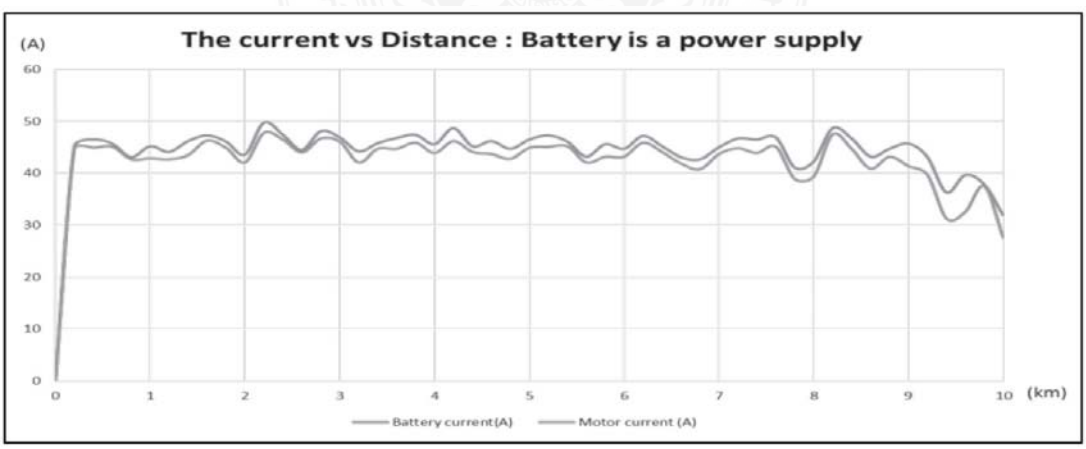
คุณลักษณะของรถไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ต้นแบบ		
รายละเอียด	กิโลกรัม	ร้อยละ
น้ำหนักโครงรถ	48.5	20.8
ตัวถังรถ ไฟเบอร์กลาส	62	26.6
มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน	9.5	4.1
แผงเซลล์แสงอาทิตย์ 8 แผง	11	4.7
แบตแตอรี่ 4 ลูก	42.4	18.2
น้ำหนักบรรทุก	60	25.7
รวมน้ำหนัก	233.4	100.0
พิกัดรถ	400 ซม x 165 ซม x 61 ซม	
จำนวนล้อ	3 ล้อ	
ขับเคลื่อนล้อหลัง		
ระบบไฟฟ้าและการควบคุม	จำนวน	พิกัด
Hub motor(Brushless DC motor)	1	48V 2 kW
Flexible solar panel	8	60W 12V
Battery(Dry cells)	4	12 V 33 Ah
MPPT solar charger	1	20A 48V
Regenerative DC motor drive	1	2 kW



รูปที่ 11 รถไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ต้นแบบเพื่อการแข่งขัน

3.2 ผลการทดสอบการขับเคลื่อนของรถไฟฟ้าโดยใช้พลังงานจากแบตเตอรี่

การทดสอบสมรรถนะของรถไฟฟ้า โดยการพลังงานจากแบตเตอรี่เพียงอย่างเดียว ในการขับเคลื่อนรถไฟฟ้า และวัดค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้จริงที่มอเตอร์ และที่จ่ายออกมาจากแบตเตอรี่ จับเวลาในการวิ่งและวัดความเร็วของรถไฟฟ้า ผลการทดสอบพบว่าที่ระยะทาง 10 กิโลเมตรใช้เวลาในการวิ่ง 17.62 นาที ที่อัตราความเร็วเฉลี่ย 45.98 กิโลเมตร ต่อชั่วโมง ได้ความเร็วสูงสุด 51.2 กิโลเมตรต่อชั่วโมง จากรูปที่ 12 พบว่าเมื่อรถไฟฟ้าใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ขับเคลื่อนเพียงอย่างเดียว ตั้งแต่กิโลเมตรแรกถึงกิโลเมตรที่ 8 กระแสไฟฟ้าที่จ่ายออกมาจากแบตเตอรี่เพียงพอที่จะขับมอเตอร์ที่ความเร็วเดิมและกระแสไฟฟ้าค่อนข้างจะคงที่ แต่เมื่อระยะทางวิ่งช่วงกิโลเมตรที่ 9 เป็นต้นไป จนถึงกิโลเมตรที่ 10 กระแสไฟฟ้าที่แบตเตอรี่จ่ายออกมาจะเริ่มลดลง ทำให้กระแสไฟฟ้าที่มอเตอร์ได้รับจะลดลงตามไปด้วยส่งผลให้ความเร็วของรถไฟฟ้าลดลง



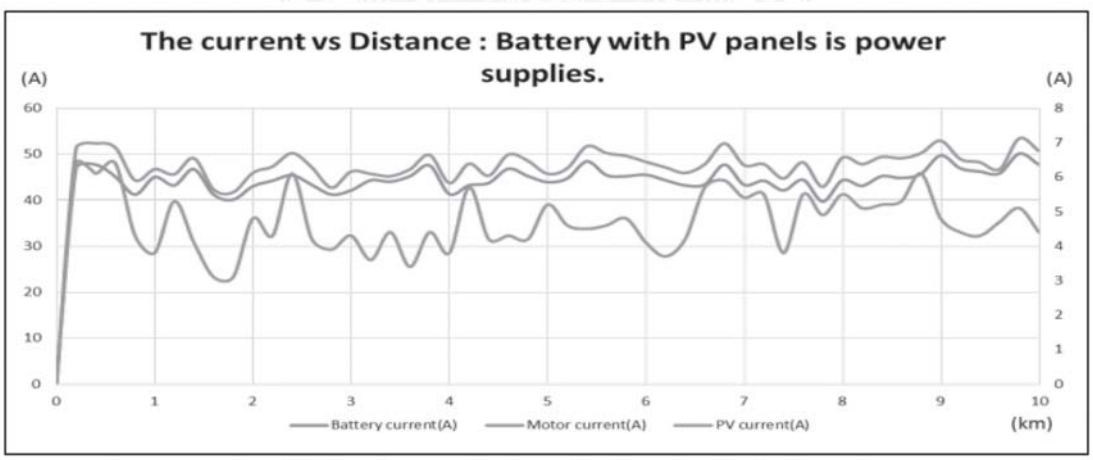
รูปที่ 12 ความสัมพันธ์ของกระแสไฟฟ้าที่แบตเตอรี่จ่ายออกมาและที่มอเตอร์ใช้ในการทำงานต่อระยะทางเมื่อรถไฟฟ้าใช้แบตเตอรี่เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้า

3.3 ผลการทดสอบการขับเคลื่อนของรถไฟฟ้าโดยใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ร่วมกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์

การทดสอบสมรรถนะของรถไฟฟ้า โดยการขับเคลื่อนด้วยพลังงานจากแบตเตอรี่ร่วมกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในการขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้า เพื่อวัดค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้จริง เวลาในการทำงานและความเร็วของรถไฟฟ้า ผลการทดสอบพบว่าที่ระยะทาง 10 กิโลเมตร ใช้เวลาในการวิ่งเท่ากับ 16.01 นาที ที่อัตราความเร็วเฉลี่ย 51 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ได้ความเร็วสูงสุด 51.8 กิโลเมตรต่อชั่วโมง จากกราฟรูปที่ 13 แสดงให้เห็นว่าเมื่อรถไฟฟ้าใช้พลังงานไปได้อย่างต่อเนื่องตลอดระยะทาง 10 กิโลเมตร ที่ใช้ในการวิ่งทดสอบกระแสไฟฟ้าที่แบตเตอรี่จ่ายออกมายังคงปกติ

ตารางที่ 2 ผลการทดลองเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้า (Wh) ที่แบตเตอรี่จ่ายเมื่อขับมอเตอร์ในสภาวะจ่ายพลังงานร่วมกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์และจ่ายพลังงานเพียงลำพัง

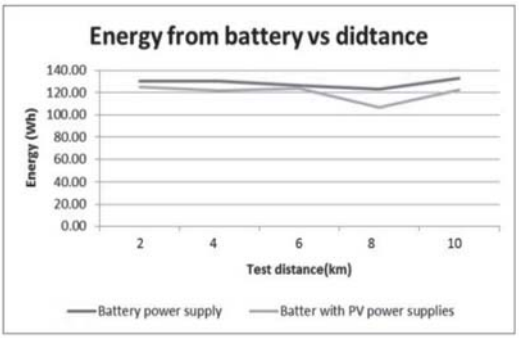
	Battery power source						Battery with Photovoltaic power sources							
Distance (km)	Speed (km/h)	Time (min)	Power of Battery(W)	Power of Motor(W)	Energy from Battery(Wh)	efficiency (%)	Speed (km/h)	Time (min)	Power of Battery(W)	Energy from Battery(Wh)	Power of PV(W)	Total power sources(W)	Power of Motor(W)	efficiency (%)
2	51.20	3.19	2455.26	2145.34	130.54	87.38	51.80	3.13	2400.31	125.22	305.26	2705.56	2258.40	83.47
4	50.70	3.23	2417.87	2114.51	130.16	87.45	51.40	3.15	2319.23	121.76	283.44	2602.67	2137.16	82.11
6	49.50	3.35	2261.71	1956.48	126.28	86.50	50.90	3.20	2318.31	123.64	301.87	2620.18	2226.40	84.97
8	43.00	3.54	2090.11	1804.46	123.32	86.33	50.70	3.24	1971.50	106.46	331.91	2303.41	2178.10	94.56
10	35.50	4.31	1852.53	1541.97	133.07	83.24	50.20	3.29	2236.22	122.62	327.77	2563.99	2287.58	89.22
Average	**45.98**		2215.49	1912.55	129.98	**86.18**	*51.00*		2249.11	119.95	310.05	2559.16	2217.53	**86.87**
Total		**17.62**	11077.47	**9562.76**	**643.37**		255.00	**16.01**	11245.55	**599.70**	1550.25	12795.81	**11087.64**	



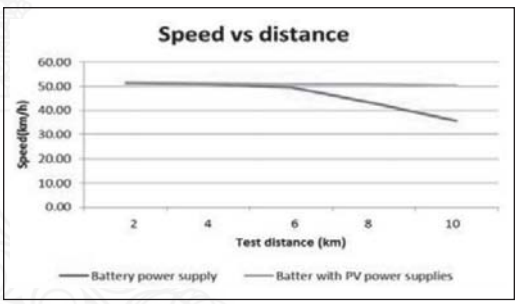
รูปที่ 13 ความสัมพันธ์ของกระแสไฟฟ้าที่แบตเตอรี่จ่ายออกมาและที่มอเตอร์ใช้ในการทำงาน ต่อระยะทางเมื่อรถไฟฟ้าใช้แบตเตอรี่และแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้า

ค่อนข้างคงที่ ไม่ลดลง เหมือนกรณีแรก ทำให้กระแสที่จ่ายให้มอเตอร์ไม่ลดลง ความเร็วของรถไม่ลดลงตามไปด้วย รถไฟฟ้ายังรักษาความเร็วอยู่ได้ตามเป้าหมายที่ผู้วิจัยต้องการ

จากตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการขับเคลื่อนมอเตอร์ของรถฟ้าต้นแบบเมื่อทดสอบที่ระยะทาง 10 กิโลเมตรเท่ากัน เมื่อใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าจากแบตเตอรี่เพียงอย่างเดียว แบตเตอรี่จะจ่ายพลังงานสูงกว่ากรณีที่ใช้แบตเตอรี่จ่ายพลังงานร่วมกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เท่ากับ (634.37-599.70) 43.67 วัตต์-ชั่วโมง นั่นแสดงให้เห็นว่าการใช้เซลล์แสงอาทิตย์ช่วยจะทำให้รถไฟฟ้าต้นแบบวิ่งไปได้ในระยะทางที่ไกลขึ้น เมื่อใช้ความเร็วเฉลี่ยเท่า ๆ กัน ในขณะเดียวกันจะพบว่าในช่วงเวลาที่เซลล์แสงอาทิตย์จ่ายพลังงานไฟฟ้าออกมาสูง แบตเตอรี่ก็จะจ่ายพลังงานออกมาน้อยลง และจากผลการศึกษาพบว่าในขณะรถไฟฟ้าวิ่งทดสอบในช่วงเวลาที่ความเข้มของแสงอาทิตย์สูงทำให้กำลังไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้สูงขึ้นทันทีทันใด จะส่งผลให้ประสิทธิภาพของมอเตอร์สูงขึ้นตามไปด้วย สังเกตได้จากตารางที่ 2 ช่วงระยะทาง 8 กิโลเมตรใน ประสิทธิภาพของมอเตอร์สูงที่สุดเท่ากับร้อยละ 94.56 เมื่อพิจารณาในรูปที่ 14 ความสามารถในการจ่ายพลังงานจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าไปยังมอเตอร์จะพบว่ากรณีที่ใช่แหล่งจ่ายจากแบตเตอรี่พียงอย่างเดียว แบตเตอรี่จะจ่ายพลังงานออกมามากกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้แบตเตอรี่ร่วมกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และในรูปที่ 15 แสดงให้เห็นว่าในการใช้พลังงานจากแบตเตอรี่เพียงอย่างเดียวจะรักษาระดับความเร็วให้คงที่ได้ในระยะทาง 6 กิโลเมตรแรกเท่านั้น หลังจากนั้นความเร็วของรถไฟฟ้าต้นแบบจะลดลงอย่างต่อเนื่อง แต่ในกรณีที่ใช้แบตเตอรี่ร่วมกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ รถไฟฟ้าจะรักษาความเร็วค่อนข่างคงที่ตลอดระยะทางทดสอบ 10 กิโลเมตร



รูปที่ 14 พลังงานที่แบตเตอรี่จ่ายออกมาในระยะทางทดสอบ 10 กิโลเมตร



รูปที่ 15 ความเร็วเฉลี่ยของรถไฟฟ้าต้นแบบในระยะทางทดสอบ 10 กิโลเมตร

4. สรุป

รถไฟฟ้าต้นแบบพลังงานแสงอาทิตย์ที่พัฒนาขึ้นนี้ เป็นการพัฒนาระยะแรกซึ่งเป็นไปตามเป้าหมายของการวิจัยรถต้นแบบวิ่งได้ความเร็วเฉลี่ย 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เป็นรถที่มีล้อ 3 ล้อ ขับเคลื่อนล้อหลัง โดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านขนาด 2 กิโลวัตต์ ชนิด In-wheel Motor ส่วนการบังคับล้อจะใช้แขนส่งกำลังไปยังคันส่งของล้อหน้า ควบคุมการเลี้ยวด้วยพวงมาลัย เพิ่มความเร็วโดยใช้เท้าเหยียบคันเร่งและมีเบรกแบบดิสก์ การทดสอบการขับเคลื่อนที่โดยใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ร่วมกับการประจุแบตเตอรี่ ทำให้

รถทำความเร็วเฉลี่ย 45.98 กิโลเมตรต่อชั่วโมง มีความเร็วสูงสุด 51.2 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ทั้งนี้การใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์จะช่วยให้ระยะทางในการวิ่งของรถไฟฟ้าต้นแบบ มีระยะทางที่ไกลขึ้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเข้มของแสงอาทิตย์ในขณะนั้น

ในงานวิจัยนี้ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดกำลังผลิตติดตั้ง 480 วัตต์ ซึ่งไม่เพียงพอที่จะขับรถได้ในระยะทางไกล อย่างไรก็ตามขนาดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เหมาะสม และควรมีกำลังไฟฟ้ารวม 1.75-1.80 กิโลวัตต์ และประสิทธิภาพของแผงเซลล์ไม่ควรน้อยกว่าร้อยละ 27-30 ซึ่งสอดคล้องกับรถไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้ในการแข่งขันจริงจาก Tokai Challenge Team และจาก University of Twente (Toto, 2009; Wang *et al*., 2014)

ประเด็นที่ควรพัฒนาสมรรถนะของรถต้นแบบในระยะต่อไปคือ การแก้ไขระบบการบังคับเลี้ยว เนื่องจากน้ำหนักรถเมื่อวิ่งไปในระยะทางไกลๆ ทำให้แกนล้อ คดงอ อาจต้องพิจารณาเลือกเปลี่ยนแกนล้อและระบบรองรับน้ำหนักที่เหมาะสม และควรเลือกยางล้อที่มีขนาดใหญ่ขึ้น และขณะวิ่งทดสอบในสภาพถนนที่ไม่เรียบมากนัก จะทำให้ลูกปืนตาเหลือก (Rod Ends) ชำรุดบ่อย ๆ ควรหาทางแก้ไขต่อไป ระบบรับน้ำหนักที่ล้อหน้าควรพัฒนาให้เป็นระบบที่รองรับน้ำหนักและการสั่นสะเทือนที่ดีกว่าระบบเดิม เช่น ใช้ระบบ Leading Arm Suspension หรือระบบ Double A-arm Construction ส่วนการพัฒนาทางไฟฟ้าควรพัฒนาระบบประจุและจัดเก็บพลังงานเพราะแบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์ที่สำคัญมาก ในโครงการนี้ใช้แบตเตอรี่ชนิดกรดตะกั่ว (Pb-Acid) มีความจุไฟฟ้าไม่สูงนัก แต่มีน้ำหนักมากเก็บพลังงานได้ไม่มากนักซึ่งส่งผลกับระยะทางวิ่งของรถไฟฟ้าด้วย ควรเปลี่ยนเป็นแบตเตอรี่ที่มีคุณภาพสูงน้ำหนักเบากว่า เช่น Lithium Ion Battery (Toto, 2009) หรือ Lithium Polymer Battery ที่มีค่าความจุไม่น้อยกว่า 5 กิโลวัตต์-ชั่วโมง (Toto, 2009) และควรพัฒนาระบบการมอนิเตอร์แบบไร้สาย (PC-based Wireless Monitoring System) ที่สามารถวัดและอ่านค่าปริมาณทางไฟฟ้าต่างของระบบ และความเร็ว อุณหภูมิ และพารามิเตอร์อื่น ๆ ที่จำเป็นต้องนำมาใช้วิเคราะห์ เพื่อปรับปรุงพัฒนาในระยะต่อไป และประเด็นสำคัญคือต้องพัฒนารถให้มีน้ำหนักเบาลง มีความทนทานและทำความเร็วได้สูงขึ้น รถไฟฟ้าต้นแบบที่สร้างขึ้นนี้มีน้ำหนัก 173 กิโลกรัม ซึ่งมีน้ำหนักไม่มากนักเมื่อเปรียบเทียบกับรถไฟฟ้า Tokai Challenge Team มีน้ำหนักรถ 160 กิโลกรัม (Toto, 2009) รถไฟฟ้าของ University of Twente มีน้ำหนักน้อยกว่า 230 กิโลกรัม และรถไฟฟ้าจาก Delft University of Technology มีน้ำหนักรถ 190 กิโลกรัม ประเด็นการพิจารณาปรับปรุง ด้านโครงสร้างและวัสดุตัวถังรถ การใช้ไฟเบอร์กลาสสำหรับรถไฟฟ้าต้นแบบ นั้นมีราคาถูกขึ้นรูปได้ด้วยตนเอง แต่ก็ทำให้รถมีน้ำหนักมาก ควรใช้วัสดุที่มีน้ำหนักเบามีความแข็งแกร่งสูงเพื่อให้น้ำหนักรถลดลงเพื่อให้สามารถเพิ่มจำนวนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้มากขึ้นกว่านี้ เช่น Carbon Fiber Reinforce Plastic Composites (Toto, 2009) หรือ Carbon Fiber Sandwich Construction เป็นต้น ส่วนมอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้นั้นเป็นชนิด In-wheel Direct Drive Brushless DC Motor ซึ่งสอดคล้องกับ มอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้ในรถไฟฟ้าจาก Tokai Challenge Team, University of Twente และ Nuon Solar Team จาก Delft University of Technology แต่ควรเพิ่มขนาดพิกัดกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ให้มากขึ้น โดยใช้

มอเตอร์ขนาดไม่น้อยกว่า 4 กิโลวัตต์ สอดคล้องกับการศึกษาของ Wang และคณะ (2014) เพื่อจะให้รถไฟฟ้าต้นแบบสามารถทำความเร็วได้สูงขึ้น การออกแบบภายนอกสามารถพัฒนาโดยการเพิ่มพื้นที่ที่จะติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้อีก โดยไม่มีขนาดไม่เกิน 450 เซนติเมตร x 180 เซนติเมตร ตามข้อกำหนดของการแข่งขัน World Solar Challenge 2015 (Lalor, 2015) และน้ำหนักรวมของรถไฟฟ้า ที่จะพัฒนาต่อไปก็ไม่ควรเกินกว่า 200 กิโลกรัม

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ และสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ศูนย์นนทบุรี ที่สนับสนุนเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย และขอขอบคุณ ผศ.ดร.ไพบูลย์ เกียรติสุขคณาธร สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ศูนย์สุพรรณบุรี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ที่ให้คำปรึกษาเกี่ยวกับการวิเคราะห์ผลการวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

ฉัตรชัย ศิริสัมพันธ์วงษ์. (2556). การพัฒนารถไฟฟ้าต้นแบบ. พิษณุโลก: มหาวิทยาลัยนเรศวร.

ไพโรจน์ ทองประศรี. (2553). รถไฟฟ้า 2 ล้อ. กรุงเทพฯ: สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุเทพ วัชราเรืองวิทย์, เทอดเกียรติ ลิมปิทีปราการ และปรัชญา เปรมปราณีรัชต์. (2551). ระบบปรับอากาศรถไฟฟ้าขนาด 2 ที่นั่ง. กรุงเทพฯ: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.

Photovoltaics Bulletin. (2003a). Solar racing across Australia. Photovoltaics Bulletin, 2003(9), 5.

Reinforced Plastics. (2007). Solar car team enlists composites. Reinforced Plastics, 51(9), 5.

Photovoltaics Bulletin. (2003b). PV cars race across the US-The 2003 American Solar Challenge. Photovoltaics Bulletin, 2003(8), 7-9.

Barrit, D. and Salih-Ali, Y. (2012). Ralos Car: Solar Powered Car with a Hybrid Backup System. IEEE Symposium on Industrial Electronics and Applications (ISIEA2012) (pp.224-229), September 23-26, 2012 Bandung, Indonesia.

Toto, S. (2009). Tokai Challenger: Solar cell-Powered “green” Race Car. สืบค้นเมื่อ 9 ธันวาคม 2558. จากเว็บไซต์: http://techcrunch.com/2009/09/08/tokai-challenger-solar-cell-powered-green-race-car/.

Wang, J, Zhang, X. and Kang, D. (2014). Parameters Design and Speed Control of a Solar Race Car with In-wheel Motor. Transportation Electrification Conference and Expo (ITEC) 2014 IEEE. (pp.1-6). June 15-18, 2014. Dearborn, Michigan, USA.

Lalor, J. (2015). World Solar Challenge. สืบค้นเมื่อ 8 ธันวาคม 2558. จาก World Solar Team. เว็บไซต์: http://www.worldsolarchallenge.org/files/522_2015_world_solar_challenge_event_regulations.pdf.