รหัสโครงการ SUT7-711-61-12-07

รายงานการวิจัย

โครงการสาธิตระบบรถรางไฟฟ้าไร้สายที่ใช้ Super Capacitor สำหรับการขนส่งมวลชนในพื้นที่มหาวิทยาลัยสีเขียว

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

รหัสโครงการ SUT7-711-61-12-07

รายงานการวิจัย

โครงการสาธิตระบบรถรางไฟฟ้าไร้สายที่ใช้ Super Capacitor สำหรับการขนส่งมวลชนในพื้นที่มหาวิทยาลัยสีเขียว

หัวหน้าโครงการ

รองศาสตราจารย์ ดร.ธนัดชัย กุลวรวานิชษ์

สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผู้ร่วมวิจัย

1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญเรือง มะรังศรี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภกิจ รูปขันธ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
3. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุเทน ลีตน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
4. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เอกรงค์ สุขจิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
5. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทศพล รัตน์นิยมชัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2561

ผลงานการวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

กรกฎาคม 2565

บทสรุปผู้บริหาร (Executive summary)

ตามที่คณะรัฐมนตรีแถลงต่อสภานิติบัญญัติแหล่งชาติ วันศุกร์ที่ 12 กันยายน 2557 กำหนดให้นโยบายด้านระบบรางอยู่ในนโยบายเศรษฐกิจระยะยาว เช่น โครงการรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนในกรุงเทพมหานครและรถไฟฟ้าเชื่อมกรุงเทพมหานครกับเมืองบริวาร จัดตั้งหน่วยงานกำกับดูแลระบบราง เพื่อทำหน้าที่กำหนดมาตรฐานการให้บริการและความปลอดภัย เป็นต้น รวมถึงการพัฒนาและส่งเสริมการใช้ประโยชน์จากวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี การวิจัยและพัฒนาและนวัตกรรม นอกจากนี้ยังมีการลงนามในบันทึกความเข้าใจ (MOU) กับประเทศ สาธารณรัฐประชาชนจีน ความร่วมมือการก่อสร้างรถไฟความเร็วปานกลาง 160-180 km/h และโครงการรถไฟฟ้าความเร็วสูงไทย-จีน สายกรุงเทพฯ-หนองคาย โครงการความร่วมมือด้านการรถไฟระหว่างไทย-จีนนี้จะสอดคล้องกับยุทธศาสตร์การพัฒนาของประเทศไทย ซึ่งมีนัยสำคัญต่อ การพัฒนาระบบขนส่งทางรางของประเทศไทย แสดงให้เห็นว่าประเทศไทยกำลังดำเนินการลงทุนพัฒนาด้านระบบขนส่งทางรางครั้งใหญ่ จึงเป็นโอกาสอันดีที่ควรใช้โอกาสนี้ให้เกิดการพัฒนาเทคโนโลยีระบบขนส่งทางรางและอุตสาหกรรมการผลิตเพื่อความมั่นคงและยั่งยืนของระบบขนส่งทางรางในอนาคต โครงการนี้จึงมุ่งเน้นไปที่การพัฒนาต้นแบบระบบรางไฟฟ้าไร้สายขนาดเล็กโดยการติดตั้งแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน ซึ่งไม่มีการใช้งานสายจ่ายไฟฟ้าพาดอากาศหรือรางตัวนำที่สาม ฉะนั้นจะสามารถช่วยแก้ปัญหาในพื้นที่เขตเมืองเก่าหรืออุทยานที่ต้องการรักษา ทัศนียภาพไม่ให้มีสายไฟฟ้าบดบังสายตา

วัตถุประสงคของโครงการวิจัย

1. เพื่อออกแบบและพัฒนาต้นแบบขบวนรถรางไฟฟ้าไร้สายขนาดเล็กด้วย Super Capacitor โดยผู้ประกอบการในประเทศ จำนวน 2 ขบวน โดยขบวนที่ 1 มีความกว้างราง 12 in ประกอบ 1 หัวรถจักรและ 4 ตู้โดยสาร สร้างและทดสอบในบริเวณศูนย์อนุรักษ์พันธุกรรมพืช อพ.สธ. คลองไผ่ ระยะทางวิ่งประมาณ 1.4 km และขบวนที่ 2 มีความกว้างราง 10 ¼ in ประกอบ 1 หัวรถจักรและ 2 ตู้โดยสาร สร้างและทดสอบในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ระยะทางวิ่งประมาณ 250 m โดยที่ 1 ตู้พ่วงบรรทุกผู้โดยสารได้ 4 คน

2. เพื่อทดสอบการใช้งานระบบรางไฟฟ้าไร้สายขนาดเล็กเพื่อประเมินสมรรถนะและความพึงพอใจ การทดสอบบนทางวิ่งตลอดเส้นทางทั้งสองแห่งให้สามารถวิ่งได้ครบตามระยะทางโดยที่ไม่ตกราง มีการวิ่งที่ราบเรียบ และมีความปลอดภัยต่อผู้ขับขี่และผู้โดยสาร ขณะทดสอบจะประเมินสมรรถนะด้านการใช้พลังงานของแบตเตอรี่ลเทียมไอออนในการขับเคลื่อนมอเตอร์ของรถรางไฟฟ้าไร้

สายขนาดเล็กในระยะทางการวิ่ง 1 รอบ และประเมินลักษณะความเร็วของรถไฟที่เหมาะสมเพื่อเป็นแนวทางให้คนขับรถไฟระวังไม่ให้เกินขอบเขตที่กำหนด

3. เพื่อเป็นองค์ความรู้ในการพัฒนาต้นแบบของรถรางไฟฟ้าไร้สายขนาดเล็กที่ใช้พลังงานจาก Super Capacitor มีการออกแบบโครงสร้างต้นแบบทางกลของรถรางไฟฟ้าไร้สายขนาดเล็กและการออกแบบระบบควบคุมไฟฟ้า ระบบขับเคลื่อน และระบบจ่ายพลังงานด้วย Super Capacitor ซึ่งสามารถนำไปพัฒนาสร้างรถรางไฟฟ้าไร้สายขนาดเล็กขบวนถัดไปได้

4. เพื่อสนับสนุนการวิจัยพัฒนาของอุตสาหกรรมระบบรางจากผู้ผลิตในประเทศ ในการออกแบบและพัฒนาสร้างต้นแบบรถรางไฟฟ้าไร้สายขนาดเล็กในโครงการนี้ดำเนินการโดยทีมวิจัยในโครงการและผู้ประกอบการในประเทศไทย ดังนั้น การวิจัยและพัฒนาอุตสหกรรมระบบรางขนาดเล็กดังต้นแบบของโครงการนี้ สามารถผลิตและสร้างได้ในประเทศไทย

5. เพื่อบูรณาการความร่วมมือวิจัยจากหลายสาขาความชำนาญและความร่วมมือของเครือข่าย ภาครัฐและเอกชน จากการดำเนินงานโครงการมีการบูรณาการความร่วมมือวิจัยจากสาขาด้านวิศวกรรมเครื่องกลในการการออกแบบและสร้างต้นแบบตัวรถรางไฟฟ้าไร้สายขนาดเล็ก สาขาด้านวิศวกรรมโยธาในการออกแบบและสร้างทางวิ่งของรถรางไฟฟ้าไร้สายขนาดเล็ก และสาขาด้านวิศวกรรมไฟฟ้าในการออกแบบและสร้างระบบควบคุมไฟฟ้า ระบบขับเคลื่อน และระบบจ่ายพลังงานด้วย Super Capacitor

จากผลการออกแบบทางกล ทีมวิจัยออกแบบแคร่ของรถรางไฟฟ้าไร้สายขนาดเล็กมีขนาดกว้างxยาวxสูง เป็น 420x590x211 mm และมีระยะห่างระหว่างล้อ 450 mm และขนาดของตู้พ่วงมีขนาด กว้างxยาวxสูง เป็น 500x3300x660 mm วัสดุที่ใช้เป็นเหล็กทั้งหมด จากการออกแบบทางโยธา ทีมวิจัยใช้รางรถไฟขนาด GB 6 kg รางวิ่งในบริเวณศูนย์อนุรักษ์พันธุกรรมพืช อพ.สธ. คลองไผ่ กว้าง 12 in ระยะทางวิ่งประมาณ 1.4 km มีทางแยก 8 จุด และยังประกอบด้วย 1 Depot และ 1 ชานชาลา และรางวิ่งในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี กว้าง 10 ¼ in ระยะทางวิ่งประมาณ 250 m มีทางแยก 12 จุด นอกจากนี้ยังประกอบด้วย 1 Depot และ 1 ชานชาลาเช่นกัน และจากการออกแบบทางไฟฟ้า ทีมวิจัยเลือกมอเตอร์เหนี่ยวนำ แรงดันไฟฟ้าพิกัด 48 Vdc ขนาดกำลังไฟฟ้าพิกัด 5 kW กำลังไฟฟ้าสูงสุด 15 kW ความเร็ว 3000-6500 rpm แรงบิดพิกัด 10 Nm แรงบิดสูงสุด 80 Nm น้ำหนัก 35 kg และอินเวอร์เตอร์ควบคุมมอเตอร์ แรงดันไฟฟ้าพิกัด 48 Vdc กระไฟฟ้าพิกัดต่อเนื่อง 120 A กระแสไฟฟ้าสูงสุด 350 A และน้ำหนัก 5 kg ระบบจ่ายพลังงานไฟฟ้าด้วย Super Capacitor มีขนาดแรงดันไฟฟ้าพิกัดและสูงสุด 48 Vdc และ 51 V กระแสไฟฟ้าสูงสุด 1900 A พลังงานที่เก็บสะสมได้ 53 Wh น้ำหนัก 13.5 kg และในการออกแบบระบบจ่ายไฟฟ้าให้กับรถราง

ไฟฟ้าไร้สายขนาดเล็กได้เพิ่มเติมแบตเตอรี่ขับเคลื่อนชนิดลิเทียมไอออน เป็นอุปกรณ์ช่วยจ่ายพลังงานไฟฟ้าด้วย แรงดันไฟฟ้าพิกัด 51.80 V ความจุกระแสไฟฟ้า 100 Ah พลังงานของแบตเตอรี่ 5.18 kWh ย่านแรงดันไฟฟ้าทำงานในช่วง 42-58.24 V กระแสไฟฟ้าอัดประจุต่อเนื่องและสูงสุด 25 A กระแสไฟฟ้าคายพลังงานต่อเนื่องและสูงสุด 62.50 A และ 125 A น้ำหนัก 43 kg ขณะขับเคลื่อนรถรางไฟฟ้าไร้สายสามารถเลือกสลับแหล่งจ่ายไฟฟ้าได้

ทีมวิจัยได้ดำเนินการทดสอบการวิ่งของรถรางไฟฟ้าไร้สายขนาดเล็กที่ใช้ Super Capacitor ใน 2 เส้นทางการวิ่ง ได้แก่ เส้นทางศูนย์อนุรักษ์พันธุพืช อพ.สธ.คลองไผ่ ตำบลคลองไผ่ อำเภอสีคิ้ว จังหวัด นครราชสีมา ระยะทาง 1.4 km ขบวนรถประกอบด้วย 1 หัวรถจักร 4 ตู้โดยสาร และเส้นทางมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ตำสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา ระยะทาง 250 m ขบวนรถประกอบด้วย 1 หัวรถจักร 2 ตู้โดยสาร โดยการทดสอบในเส้นทางที่ 1 (อพ.สธ. คลองไผ่) การทดสอบวิ่งได้เพียงแค่ 100 m ใช้เวลาวิ่งทดสอบได้เพียง 40 s เท่านั้น และพลังงานที่สะสมใน Super Capacitor หมดไม่สามารถวิ่งทดสอบต่อได้ จากผลการทดสอบพบว่า รถรางไฟฟ้าไร้สายขนาดเล็กใช้พลังงานในการขับเคลื่อน 150 Wh และมีความเร็วเฉลี่ยที่ 15 km/h (ความเร็วสูงสุดที่ 25 km/h) แรงดันไฟฟ้าของ Super Capacitor ลดลงจาก 50 V เหลือ 37 V กระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าสูงสุดของมอเตอร์ขับเคลื่อนเป็น 190 A และ 9 kW ตามลำดับ ในขณะที่อุณหภูมิของมอเตอร์และกล่องควบคุมอยู่ในช่วง 42-53 °C ซึ่งถือว่าอยู่ในย่านที่ยอมรับได้ และการทดสอบในเส้นทางที่ 2 (มทส.) การทดสอบวิ่งได้เพียงแค่ 100 m เช่นกัน ใช้เวลาวิ่งทดสอบได้เพียง 100 s เท่านั้น พบว่า รถรางไฟฟ้าไร้สายขนาดเล็กใช้พลังงานในการขับเคลื่อน 0.53 kWh และมีความเร็วเฉลี่ยที่ 7 km/h (ทางตรงอาจมีความเร็วสูงถึง 9 km/h) แรงดันไฟฟ้าของ Super Capacitor ลดลงจาก 57 V เหลือ 39 V กระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าสูงสุดของมอเตอร์ขับเคลื่อนเป็น 250 A และ 13 kW ตามลำดับ ในขณะที่อุณหภูมิของมอเตอร์และกล่องควบคุมอยู่ในช่วง 35-49 °C ซึ่งถือว่าอยู่ในย่านที่ยอมรับได้

จากผลสำเร็จของโครงการจะได้ต้นแบบขบวนรถรางไฟฟ้าไร้สายขนาดเล็กที่ใช้ Super Capacitor พร้อมเส้นทางวิ่งสาธิต ระยะทางไม่น้อยกว่า 1 km (Primary Result) จำนวน 2 ขบวน โดยในเส้นทางศูนย์อนุรักษ์พันธุพืช อพ.สธ.คลองไผ่ (เส้นทางหลัก) ระยะทางวิ่งทดสอบ 1.4 km และในเส้นทางมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (เส้นทางเสริม) ระยะทางวิ่งทดสอบ 250 m

ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากขนาด Super Capacitor ที่ออกแบบใช้งานในโครงการนี้มีขนาดไม่มากนัก (48 Vdc, 1900 A, 53 Wh) ทำให้ช่วยจ่ายพลังงานขับเคลื่อนขบวนรถรางไฟฟ้าไร้สายขนาดเล็กวิ่งได้เพียงแค่ 100 m เท่านั้น ดังนั้น ถ้าต้องการให้ขบวนรถรางไฟฟ้าไร้สายขนาดเล็กวิ่งได้ไกลกว่านี้ควรพิจารณาออกแบบและติดตั้ง Super Capacitor ให้มีขนาดใหญ่กว่านี้เพื่อเป็นแหล่งพลังงานไฟฟ้าหลักได้ หรือพิจารณาใช้ Super Capacitor เป็นแหล่งพลังงานไฟฟ้าสำรอง โดยมีแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนเป็นแหล่งพลังงานไฟฟ้าหลัก โดย Super Capacitor จะทำหน้าที่ในการเก็บพลังงานสำรองเพื่อใช้ในกรณีที่แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนไม่สามารถจ่ายพลังงานได้ และ Super Capacitor เหมาะที่จะใช้เก็บพลังงาน Regenerative braking ในช่วงที่รถรางไฟฟ้าขนาดเล็กเบรกและขณะเคลื่อนที่บนทางวิ่งที่มีความลาดเอียงลง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทคัดย่อ

ระบบรถรางไฟฟ้าสามารถใช้พื้นที่บนถนนร่วมกับยานยนต์อื่นได้ สามารถขนย้ายผู้โดยสารได้จำนวนมากในระยะเวลาสั้นและลดการใช้ เชื้อเพลิงฟอสซิลและมลภาวะ แต่อย่างไรก็ตาม ในเมืองใหญ่ที่ไม่มีการวางระบบไฟฟ้าสำหรับรถรางที่ใช้ระบบไฟฟ้าแบบสายพาดเหนือศีรษะไว้นั้นเป็นสิ่งที่เป็นไปได้ยากในการที่จะติดตั้งระบบนี้ภายหลัง และอาจจะต้องใช้งบประมาณใน การลงทุนโครงสร้างระบบจ่ายไฟแบบสายพาดเหนือศีรษะที่ค่อนข้างสูง นอกจากนี้ข้อเสียที่สำคัญของระบบจ่ายไฟ แบบพาดสายเหนือศีรษะ คือ การกีดขวางหรือบดบังทัศนียภาพของอาคารหรือสถานที่สำคัญ ๆ ในบริเวณที่รถรางวิ่งผ่าน ดังนั้น ทีมวิจัยจึงเล็งเห็นถึงข้อเสียที่กล่าวมาและต้องการพัฒนาระบบรถ รางไฟฟ้าไร้สายในประเทศที่ พัฒนาโดยคนไทย โครงการนี้จึงมุ่งเน้นไปที่การสาธิตระบบรถรางไฟฟ้าไร้สายขนาดเล็กที่ใช้ Super Capacitor สำหรับการขนส่งมวลชนในพื้นที่มหาวิทยาลัยสีเขียว ซึ่งไม่มีการใช้งานสายจ่ายไฟฟ้าพาดอากาศหรือรางตัวนำที่สาม ฉะนั้นจะสามารถช่วยแก้ปัญหาในพื้นที่เขตเมืองเก่าหรืออุทยานที่ต้องการรักษา ทัศนียภาพไม่ให้มีสายไฟฟ้าบดบังสายตา โดยนักวิจัยได้ออกแบบ พัฒนาสาธิตและทดสอบสมรรถนะของต้นแบบขบวนรถรางไฟฟ้าไร้สายขนาดเล็กใช้ Super Capacitor โดยผู้ประกอบการในประเทศ จำนวน 2 ขบวน โดยขบวนที่ 1 มีความกว้างราง 12 นิ้ว ประกอบด้วย 1 หัวรถจักรและ 4 ตู้โดยสาร สร้างและทดสอบในบริเวณศูนย์อนุรักษ์พันธุกรรมพืช อพ.สธ. คลองไผ่ ระยะทางวิ่งประมาณ 1.4 กิโลเมตร และขบวนที่ 2 มีความกว้างราง 10 ¼ นิ้ว ประกอบด้วย 1 หัวรถจักรและ 2 ตู้โดยสาร สร้างและทดสอบในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ระยะทางวิ่งประมาณ 250 เมตร การดำเนินโครงการสนับสนุนการวิจัยพัฒนาและการใช้ชิ้นส่วน ผลิตภัณฑ์ของอุตสาหกรรมระบบรางและยานยนต์สมัยใหม่จากผู้ผลิตในประเทศ ตลอดจนบูรณาการความร่วมมือวิจัยจากหลายสาขาความชำนาญและความร่วมมือของเครือข่าย ภาครัฐและเอกชน จากผลสำเร็จของโครงการจะได้ต้นแบบขบวนรถรางไฟฟ้าไร้สายขนาดเล็กที่ใช้ Super Capacitor พร้อมเส้นทางวิ่งสาธิต ระยะทางไม่น้อยกว่า 1 km (Primary Result) จำนวน 2 ขบวน โดยในเส้นทางศูนย์อนุรักษ์พันธุพืช อพ.สธ. คลองไผ่ (เส้นทางหลัก) ระยะทางวิ่งทดสอบ 1.4 กิโลเมตร และในเส้นทางมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (เส้นทางเสริม) ระยะทางวิ่งทดสอบ 250 เมตร การวิ่งทดสอบขบวนรถรางไฟฟ้าไร้สายขนาดเล็กใช้ Super Capacitor ทั้งสองเส้นทางวิ่ง สามารถวิ่งได้เพียงแค่ 100 เมตร เท่านั้น เนื่องจาก Super Capacitor มีพิกัดค่อนข้างน้อย ทำให้เหมาะสำหรับการใช้เป็นแหล่งเก็บพลังงานสำรอง

คำสำคัญ: รถรางไฟฟ้าไร้สายขนาดเล็ก Super Capacitor แหล่งเก็บพลังงานสำรอง

Abstract

Electric trams can share road space with other vehicles and are able to transport many passengers in a short period of time and reduce consumption of fossil fuels and pollution. However, in large cities where electrification for overhead trams is not available, it is difficult to install the system later, and the budget in the investment in the overhead power distribution system is relatively high. In addition, a significant disadvantage of the power supply system as overhead lines is those that obstruct or obscure views of buildings or landmarks in the area that the tram passes. Therefore, the research team recognized the disadvantages and wanted to develop a wireless electric tram system in countries were developed by Thai people. The project, therefore, focuses on the demonstration of a super capacitor powered small electric tram system for public transportation in green campus areas, where there is no use of an overhead power line or a third conductor rail. Therefore, it can help to solve problems in the old city area or the park that needs to be maintained. The scenery is not obscured by electric wires. Researchers have designed, developed, demonstrated, and tested the performance of two prototype of a small wireless electric trams using Super Capacitor by domestic operators. The first tram has a rail width of 12 inches, comprising 1 locomotive and 4 passenger cars, built and tested in the area of the Plant Genetic Conservation Center, Khlong Phai, running distance approximately of 1.4 km, and the second tram has a rail width of 10 ¼ inches, consisting of 1 locomotive and 2 passenger cars, built and tested in the Suranaree University of Technology, running distance approximately of 250 m. Implementation of projects supporting research, development and use of parts and products of the modern rail and automotive industry from domestic manufacturers as well as integrate research collaborations from various fields of expertise and network cooperation, public and private sectors. Based on the success of the project, two prototype of a small wireless electric trams using Super Capacitor with a demonstration track will be obtained, with the distance is not

less than 1 km (Primary Result). In the route of the Center for Plant Genetic Conservation, Klong Phai (Main route) test run distance of 1.4 km and in the route of Suranaree University of Technology (Optional route) test run distance of 250 m. The test run of two small wireless electric trams using Super Capacitor on both routes can run only 100 meters because Super Capacitor has quite a few capacities. This makes it ideal for use as a backup energy storage.

Keywords: Small wireless electric tram, Super Capacitor, Backup energy storage

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ

เรื่อง **หน้า**

บทคัดย่อ ..... ช

Abstract ..... ช

สารบัญ ..... ญ

สารบัญรูปภาพ ..... ฏ

สารบัญตาราง ..... ฑ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการวิจัย 1

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย 3

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย 3

1.4 ทฤษฎี สมมติฐาน และกรอบแนวคิดของโครงการวิจัย 3

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 7

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 8

2.1 การออกแบบทางกล 8

2.1.1 การออกแบบหัวรถจักรต้นแบบ 8

2.1.2 Bogie frame 9

2.1.3 Suspension 10

2.1.4 Brake system 14

2.1.5 วัสดุที่ใช้ในการทำล้อ 17

2.1.6 Trailer bogie 19

2.2 การออกแบบทางไฟฟ้า 23

2.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการขับเคลื่อน 24

บทที่ 3 การออกแบบระบบควบคุมการทำงานของรถไฟฟ้าขนาดเล็กไร้สาย 31

3.1 การออกแบบระบบควบคุมหัวรถจักรไฟฟ้าขนาดเล็กไร้สาย 31

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.2 โหมดการทำงานของรถฟ้าขนาดเล็กไร้สาย 32
3.3 โหมดการชาร์จพลังงาน 34
3.4 การออกแบบหน้าจอแสดงผล 35
บทที่ 4 การทดสอบและผลการทดสอบ 37
4.1 การทดสอบสมรรถนะเส้นทางหลักศูนย์อนุรักษ์พันธุ์พืช ฯ คลองไผ่ 37
4.2 การทดสอบสมรรถนะเส้นทางภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี 41
บทที่ 5 บทสรุป 46
เอกสารอ้างอิง 48
ภาคผนวก ก. โครงสร้างชานชาลา เส้นทาง มทส. 49
ภาคผนวก ข. โครงสร้างชานชาลา เส้นทาง ศูนย์อนุรักษ์พันธุ์พืช ฯ คลองไผ่ 51
ภาคผนวก ค. การทดสอบและติดตั้งอุปกรณ์ 53
ประวัติผู้ทำวิจัย 55

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ 1.1 แผนภาพต้นแบบรถรางไฟฟ้าไร้สายขนาดเล็ก 4
รูปที่ 1.2 สภาพแวดล้อมโดยรอบภายในบริเวณศูนย์อนุรักษ์พันธุกรรมพืช อพ.สธ.คลองไผ่ 4
รูปที่ 1.3 พื้นที่บริเวณศูนย์อนุรักษ์พันธุกรรมพืช อพ.สธ.คลองไผ่ 5
รูปที่ 1.4 ผังบริเวณศูนย์อนุรักษ์พันธุกรรมพืช อพ.สธ.คลองไผ่ 5
รูปที่ 1.5 ผังเส้นทางการเดินรถของระบบรถรางไฟฟ้าไร้สายขนาดเล็ก 5
รูปที่ 1.6 เส้นทางที่ใช้ทดสอบรถรางไฟฟ้าไร้สายขนาดเล็กภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี 6
รูปที่ 1.7 แผนผังเส้นทางในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี 6
รูปที่ 2.1 แสดงขนาดมิติตามข้อกำหนดของ iMechE 8
รูปที่ 2.2 ประเภทของ Bogie frame 9
รูปที่ 2.3 แสดง bogie frame ของหัวรถจักรไฟฟ้า 10
รูปที่ 2.4 แสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของหัวรถจักรไฟฟ้า 11
รูปที่ 2.5 Primary suspension 11
รูปที่ 2.6 Secondary suspension 12
รูปที่ 2.7 วัสดุรับน้ำหนักหรือสปริงในหัวรถจักรไฟฟ้า 13
รูปที่ 2.8 ตัวอย่างประเภทต่าง ๆ ในหัวรถจักรไฟฟ้า 13
รูปที่ 2.9 ระบบ Secondary suspension ที่เลือกใช้ใน Trailer bogie 13
รูปที่ 2.10 ประเภทของระบบเบรก 14
รูปที่ 2.11 ประเภทระบบเบรกแบบ Dynamic Brakes 14
รูปที่ 2.12 แสดงรูปแรงที่กระทำต่อระบบเบรก 16
รูปที่ 2.13 แสดงรูปการหล่อชิ้นงานด้วยแบบหล่อทราย 17
รูปที่ 2.14 แสดงล้อหลังผ่านการ Machine 18
รูปที่ 2.15 แสดงขนาดล้อตามมาตรฐานของ iMechE 18
รูปที่ 2.16 trailer bogie 20
รูปที่ 2.17 แสดงภาพรวมของรถ 21
รูปที่ 2.18 ขนาดของ trailer bogie 22
รูปที่ 2.19 3 way switch 23
รูปที่ 2.20 แผนภาพระบบไฟฟ้าขับเคลื่อน 24
รูปที่ 2.21 แผนภาพวัตถุอิสระของรถไฟฟ้าไร้สายขนาดเล็ก 25
รูปที่ 2.22 มอเตอร์ไฟฟ้า (Electric Motor) 26
รูปที่ 2.23 ตัวเก็บประจุยิ่งยวด (Supercapacitor) 27

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปที่ 2.24 แบตเตอรี่ (Battery) 28
รูปที่ 2.25 circuit breaker 250 A 30
รูปที่ 2.26 circuit breaker 32 A 30
รูปที่ 3.1 ระบบควบคุมหัวรถจักรไฟฟ้าขนาดเล็กไร้สาย 31
รูปที่ 3.2 แผนผังการทำงานของโหมดการทำงานรถไฟฟ้าขนาดเล็กไร้สาย 33
รูปที่ 3.3 แผนผังการทำงานของโหมดการชาร์จพลังงาน 34
รูปที่ 3.4 หน้าจอแสดงผล 35
รูปที่ 3.5 วงจรหน้าจอแสดงผล 36
รูปที่ 4.1 การตั้งค่าพารามิเตอร์กล่องควบคุมมอเตอร์เส้นทางหลัก 37
รูปที่ 4.2 คุณลักษณะความเร็วรถไฟฟ้าเส้นทางหลัก 38
รูปที่ 4.3 ระดับแรงดันไฟฟ้าของตัวเก็บประจุยิ่งยวดเส้นทางหลัก 38
รูปที่ 4.4 ลักษณะการใช้กระแสไฟฟ้าของมอเตอร์เส้นทางหลัก 39
รูปที่ 4.5 ลักษณะการใช้กำลังไฟฟ้าของมอเตอร์เส้นทางหลัก 39
รูปที่ 4.6 การใช้พลังงานไฟฟ้าของมอเตอร์เส้นทางหลัก 40
รูปที่ 4.7 อุณหภูมิของกล่องควบคุมและมอเตอร์เส้นทางหลัก 40
รูปที่ 4.8 การตั้งค่าพารามิเตอร์กล่องควบคุมมอเตอร์เส้นทาง มทส 41
รูปที่ 4.9 คุณลักษณะความเร็วรถไฟฟ้าเส้น มทส 42
รูปที่ 4.10 ระดับแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่เส้นทาง มทส 42
รูปที่ 4.11 ลักษณะการใช้กระแสไฟฟ้าของมอเตอร์เส้นทาง มทส. 43
รูปที่ 4.12 ลักษณะการใช้กำลังไฟฟ้าของมอเตอร์เส้นทาง มทส. 43
รูปที่ 4.13 การใช้พลังงานไฟฟ้าของมอเตอร์เส้นทาง มทส. 44
รูปที่ 4.14 อุณหภูมิของกล่องควบคุมและมอเตอร์เส้นทาง มทส 44

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าคุณสมบัติของเหล็กหล่อ FCD600-3 19
ตารางที่ 2.2 มอเตอร์ไฟฟ้า Golden Motor Model HPM3000 27
ตารางที่ 2.3 ตัวเก็บประจุยิ่งยวด Maxwell Model BMOD0165 P048 BXX 28
ตารางที่ 2.4 แบตเตอรี่ Model DPBEVL005H 5.18 kWh 100 Ah 29
ตารางที่ 3.1 ความหมายช่อง Pin Dashboard 36

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการวิจัย

จากคำแถลงนโยบายของคณะรัฐมนตรี พลเอกประยุทธ์ จันโอชา นายกรัฐมนตรี ที่แถลงต่อสภานิติบัญญัติแห่งชาติ วันศุกร์ที่ 12 กันยายน 2557 ที่กำหนดให้นโยบายด้านระบบรางจะอยู่ในนโยบายเศรษฐกิจระยะยาว เช่น โครงการรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนในกรุงเทพมหานครและรถไฟฟ้าเชื่อมกรุงเทพมหานครกับเมืองบริวารจัดตั้งหน่วยงานกำกับดูแลระบบราง เพื่อทำหน้าที่กำหนดมาตรฐานการให้บริการและความปลอดภัย เป็นต้นรวมถึงการพัฒนาและส่งเสริมการใช้ประโยชน์จากวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี การวิจัยและพัฒนาและนวัตกรรม โดยจัดให้มีนโยบายจัดซื้อจัดจ้างของภาครัฐที่เอื้ออำนวย เพื่อสร้างโอกาสการพัฒนาเทคโนโลยีของประเทศ เพื่อให้การพัฒนาระบบขนส่งทางรางเป็นไปอย่างยั่งยืน นอกจากนี้ยังมีการลงนามในบันทึกความเข้าใจ (MOU) กับประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน ความร่วมมือการก่อสร้างรถไฟความเร็วปานกลาง 160-180 กม./ชม. โครงการความร่วมมือด้านการรถไฟระหว่างไทย-จีนนี้จะสอดคล้องกับยุทธศาสตร์การพัฒนาของประเทศไทย ซึ่งมีนัยสำคัญต่อการพัฒนาระบบขนส่งทางรางของประเทศไทย แสดงให้เห็นว่าประเทศไทยกำลังดำเนินการลงทุนพัฒนาด้านระบบขนส่งทางรางครั้งใหญ่ จึงเป็นโอกาสอันดีที่ควรใช้โอกาสนี้ให้เกิดการพัฒนาเทคโนโลยีระบบขนส่งทางรางและอุตสาหกรรมการผลิตเพื่อความมั่นคงและยั่งยืนของระบบขนส่งทางรางในอนาคต โครงการนี้จึงมุ่งเน้นไปที่การพัฒนาต้นแบบระบบรางไฟฟ้าไร้สายโดยการติดตั้งแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน ซึ่งไม่มีการใช้งานสายจ่ายไฟฟ้าพาดอากาศหรือรางตัวนำที่สาม ฉะนั้นจะสามารถช่วยแก้ปัญหาในพื้นที่เขตเมืองเก่าหรืออุทยานที่ต้องการรักษาทัศนียภาพไม่ให้มีสายไฟฟ้าบดบังสายตา ดังนั้น ทีมวิจัยได้เสนอขอทุนอุดหนุนการวิจัย “โครงการพัฒนาต้นแบบระบบรถรางไฟฟ้าไร้สาย” ในวันที่ 18 มกราคม 2561 โดยมีระยะเวลาดำเนินโครงการ 1 ปี

เนื่องจากงบประมาณที่ได้รับการจัดสรรค่อนข้างจำกัด ทางคณะวิจัยจึงขอความอนุเคราะห์สนับสนุน อุปกรณ์จากหน่วยงานภาครัฐ โดยขอความอนุเคราะห์บริจาครถดีเซลรางที่ตัดบัญชีแล้วในสภาพปัจจุบันจำนวน 4 ตู้ และรางรถไฟพร้อมหมอนรองรางและอุปกรณ์ยึดเหนี่ยวที่ตัดบัญชีแล้วความยาวรวม 3 กิโลเมตร จากการรถไฟ แห่งประเทศไทย (รฟท.) ทั้งรถดีเซลรางและรางรถไฟที่ขอบริจาคจะนำมาใช้ร่วมกันใน “โครงการพัฒนาต้นแบบ ระบบรถรางไฟฟ้าไร้สาย” และ “โครงการสาธิตระบบรถรางไฟฟ้าไร้สายที่ใช้ Super Capacitor สำหรับการขนส่ง มวลชนในพื้นที่มหาวิทยาลัย

สีเขียว” คณะวิจัยได้ส่งหนังสือขอความอนุเคราะห์บริจาครางรถไฟถึงผู้ว่าการรถไฟ แห่งประเทศไทย ณ วันที่ 25 ตุลาคม 2560 และขอความอนุเคราะห์บริจาครถดีเซลราง ณ วันที่ 17 เมษายน 2561 การรถไฟแห่งประเทศไทยส่งหนังสือตอบกลับการขอความอนุเคราะห์ของทีมวิจัย ณ วันที่ 31 ตุลาคม 2562 และแจ้งว่าจะต้องให้ผู้บังคับบัญชาระดับกรมต้นสังกัดของหน่วยงานนั้นเป็นผู้รับผิดชอบและลงนามใน หนังสือที่เสนอขอรับการสนับสนุนซึ่งในครั้งนี้ผู้ลงนามต้องเป็นปลัดกระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและ นวัตกรรม เนื่องด้วยข้อกำหนดดังกล่าวที่การรถไฟฟ้าแจ้งกับคณะวิจัย จึงได้ส่งหนังสือถึงปลัดกระทรวงการ อุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม ณ วันที่ 22 ธันวาคม 2563 เพื่อให้ลงนามในหนังสือขอความ อนุเคราะห์สนับสนุนรางรถไฟและรถดีเซลราง จนถึงปัจจุบันคณะวิจัยยังไม่ทราบความคืบหน้าของการลงนาม ของปลัดกระทรวงฯ และยังมีการปรับเปลี่ยนรูปแบบองค์กรและผู้บริหารซึ่งเป็นกระบวนการที่อาจใช้ระยะ เวลานาน ผนวกกับการดำเนินงานของ “โครงการพัฒนาต้นแบบระบบรถรางไฟฟ้าไร้สาย” มีความล่าช้าและเกิน วันสิ้นสุดโครงการประมาณ 2 ปีดังนั้น คณะวิจัยจึงมีแนวคิดที่จะปรับเปลี่ยนเป้าหมายการวิจัยด้วยการเปลี่ยน ระบบรถรางไฟฟ้าไร้สายสำหรับเกจหนึ่งเมตรหรือเกจมาตรฐานมาเป็นเกจขนาดเล็ก (ขนาด 10 ¼ นิ้ว) สถานที่ ติดตั้งรางสำหรับสาธิตระบบรถรางไฟฟ้าไร้สายขนาดเล็กเปลี่ยนจากบริเวณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีเป็นศูนย์ 2 อนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ตำบลคลองไผ่ อำเภอสีคิ้ว จังหวัดนครราชสีมา ซึ่งยังคงเป็นพื้นที่ ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี การเปลี่ยนจุดประสงค์นี้นอกจากจะเป็นประโยชน์ต่อการดำเนินงานของ โครงการฯ ให้ราบรื่นแล้ว ยังมีประโยชน์ต่อศูนย์อนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริที่สามารถ นำมาใช้สนับสนุนการท่องเที่ยว ช่วยรองรับโครงการการจัดการแข่งขัน Railway Challenge ในอนาคต และ สามารถจัดทำเป็นศูนย์การเรียนรู้สำหรับศึกษาวิจัยได้

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1.2.1 สาธิตระบบรถรางไฟฟ้าไร้สายขนาดเล็กที่ใช้ Super Capacitor ในพื้นที่ศูนย์อนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ตำบลคลองไผ่ อำเภอสีคิ้ว

1.2.2 ออกแบบและพัฒนาต้นแบบระบบรถรางไฟฟ้าไร้สายขนาดเล็กที่ใช้ Super Capacitor

1.2.3 สนับสนุนการวิจัยพัฒนาและการใช้ชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์ของอุตสาหกรรมระบบรางและรถยนต์สมัยใหม่จากผู้ผลิตในประเทศ

1.2.4 บูรณาการความร่วมมือวิจัยจากหลายสาขาความชำนาญและความร่วมมือของเครือข่ายภาครัฐและเอกชน

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1.3.1 ออกแบบระบบทางวิ่งชนิดเกจ 10 ¼ นิ้ว สำหรับสาธิตการให้บริการระบบรางไฟฟ้าไร้สายภายในพื้นที่ศูนย์อนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ตำบลคลองไผ่ อำเภอสีคิ้ว

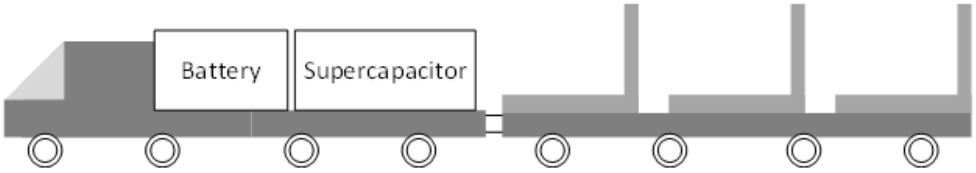
1.3.2 พัฒนาขบวนรถไฟฟ้าไร้สายขนาดเล็กที่ใช้ Super Capacitor ที่เป็นนวัตกรรมร่วมระหว่างผู้ประกอบการและนักวิจัยไทย

1.3.3 ทดสอบการใช้งานและปริมาณสมรรถนะของรถรางไฟฟ้าไร้สายที่ใช้ Super Capacitor

1.4 ทฤษฎี สมมติฐาน และกรอบแนวคิดของโครงการวิจัย

โครงการสาธิตระบบรถรางไฟฟ้าไร้สายที่ใช้แบตเตอรี่ นี้ จะดำเนินการศึกษาองค์ความรู้ที่เกี่ยวข้อง ศึกษามาตรฐาน การออกแบบและสร้างต้นแบบของระบบที่ประกอบด้วยตัวขบวนรถไฟฟ้าขนาดเล็ก รางและโครงสร้างทางระบบประจุไฟฟ้า และการควบคุมการเดินรถ เพื่อบูรณาการระบบต่าง ๆ ให้เป็นต้นแบบรถรางไฟฟ้าไร้สายขนาดเล็ก ซึ่งเน้นการใช้ผลิตภัณฑ์จากผู้ผลิตหรือผู้ประกอบการภายในประเทศเป็นสำคัญ โดยนำไปใช้บริการในพื้นที่ศูนย์อนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ตำบลคลองไผ่ อำเภอสีคิ้ว และสามารถใช้ในการเรียนการสอนและการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้อง ตลอดจนใช้เป็นต้นแบบเพื่อสนับสนุนการผลิตของอุตสาหกรรมระบบรางและยานยนต์สมัยใหม่ของประเทศต่อไป

แนวทางในการออกแบบระบบรถรางไฟฟ้าไร้สายขนาดเล็กออกแบบในลักษณะให้สามารถเลือกใช้แหล่งจ่ายได้จากสองแหล่งจ่ายที่ติดตั้ง ได้แก่ แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน และ ตัวเก็บประจุยิ่งยวด ดังรูปที่ 1.1

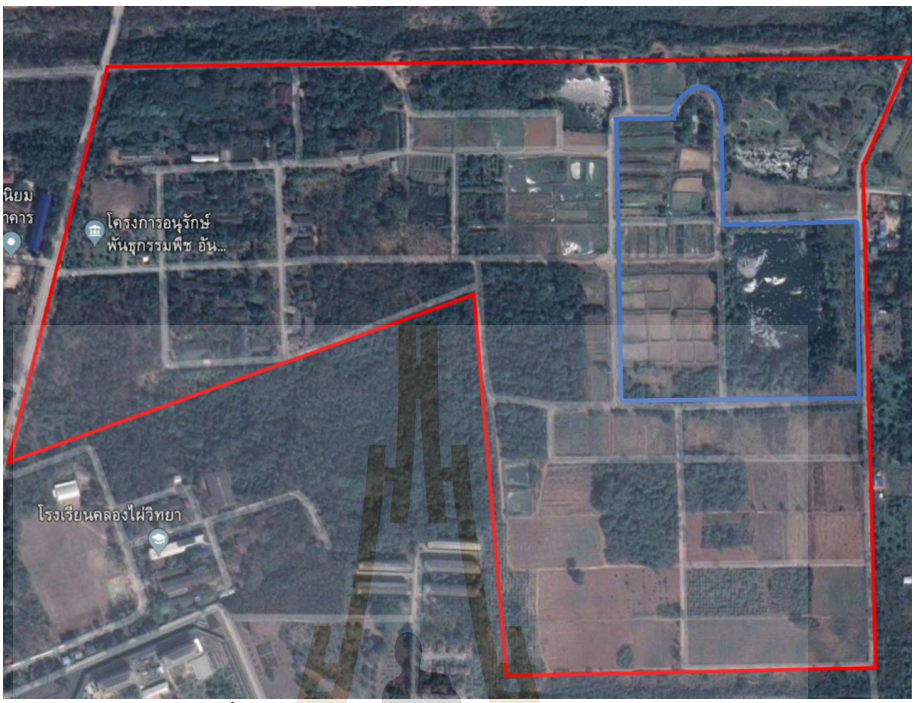


รูปที่ 1.1 แผนภาพต้นแบบรถรางไฟฟ้าไร้สายขนาดเล็ก

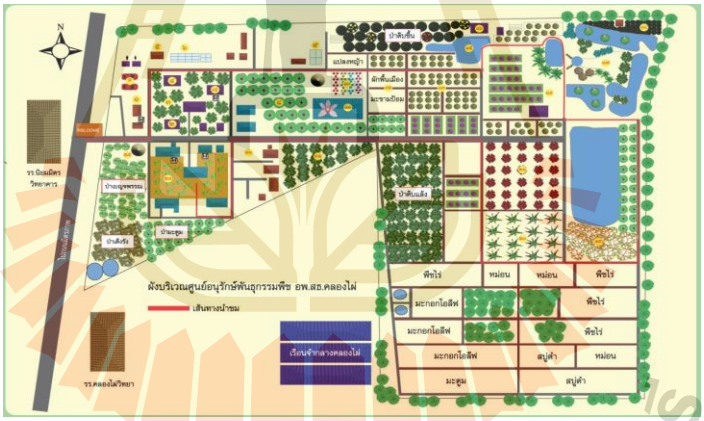
ทีมวิจัยออกแบบและเลือกเส้นทางการเดินรถของระบบรถรางไฟฟ้าไร้สายขนาดเล็ก 2 เส้นทาง ได้แก่ 1 เส้นทางหลักที่ใช้ภายในพื้นที่ศูนย์อนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ตำบลคลองไผ่ อำเภอสีคิ้ว จังหวัดนครราชสีมา เป็นเส้นทางสาธิตการใช้บริการรถรางไฟฟ้าไร้สายขนาดเล็กและเป็นแหล่งเรียนรู้ทัศนศึกษาและท่องเที่ยว และ 2 เส้นทางภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ตำบลสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา เป็นเส้นทางสำหรับทดสอบและซ่อมบำรุงรถรางไฟฟ้าไร้สายขนาดเล็ก

จากการสำรวจพื้นที่บริเวณศูนย์อนุรักษ์พันธุกรรมพืช ได้ภาพบรรยากาศบริเวณศูนย์อนุรักษ์พันธุกรรมพืชดังแสดงในรูปที่ 1.2 ภาพถ่ายจากดาวเทียมและแผนผังดังแสดงในรูปที่ 1.3 และรูปที่ 1.4 แสดงเส้นทางการเดินรถที่ทีมวิจัยและเจ้าหน้าที่ศูนย์ ฯ ร่วมกันตกลงเลือก ภายในบริเวณศูนย์อนุรักษ์พันธุกรรมพืช (อพ.สธ.คลองไผ่) ซึ่งมีระยะทางรวมทั้งหมดประมาณ 1.4 กิโลเมตร ดังแสดงในเส้นทางสีน้ำเงินในรูปที่ 1.3 และภาพขยายดังรูปที่ 1.5 ตามเส้นทางจะมีทางหลีกเพื่อให้ขบวนรถหลายขบวนวิ่งในทางเดียวกันได้ และมีศูนย์ซ่อมบำรุงและจอดรถรางไฟฟ้าเพื่อใช้ซ่อมบำรุงและเก็บอุปกรณ์สำหรับรถรางไฟฟ้าไร้สายขนาดเล็ก

รูปที่ 1.2 สภาพแวดล้อมโดยรอบภายในบริเวณศูนย์อนุรักษ์พันธุกรรมพืช อพ.สธ.คลองไผ่



รูปที่ 1.3 พื้นที่บริเวณศูนย์อนุรักษ์พันธุกรรมพืช อพ.สธ.คลองไผ่

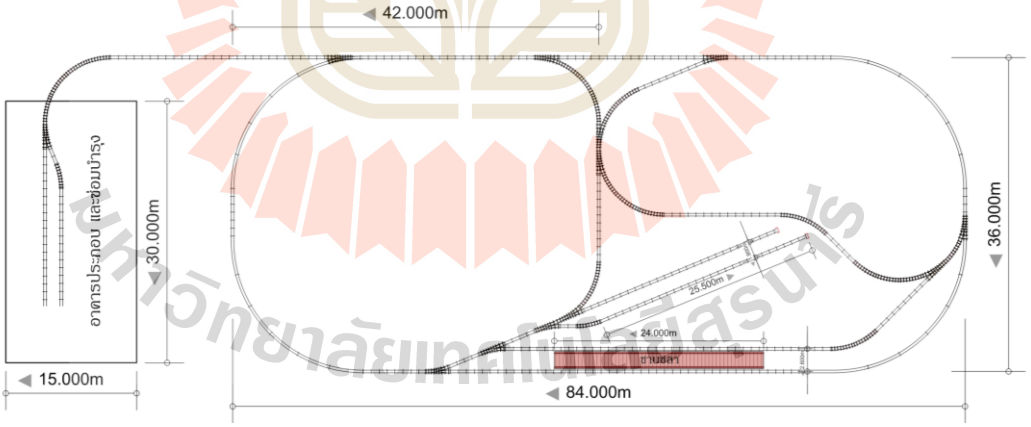


รูปที่ 1.4 ผังบริเวณศูนย์อนุรักษ์พันธุกรรมพืช อพ.สธ.คลองไผ่

รูปที่ 1.5 ผังเส้นทางการเดินรถของระบบรถรางไฟฟ้าไร้สายขนาดเล็ก

นอกจากเส้นทางสาธิตการใช้งานในบริเวณศูนย์อนุรักษ์พันธุกรรมพืชแล้ว จำเป็นต้องมีอีกเส้นทางสำหรับให้ทีมวิจัยใช้พัฒนาและทดสอบระบบรถรางไฟฟ้าไร้สาย จึงเลือกเส้นทางเดินรถภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่มีระยะทางรวมประมาณ 400 เมตร สำหรับใช้ในการทดสอบการวิ่งและสมรรถนะของรถรางไฟฟ้าไร้สาย เส้นทางดังกล่าวอยู่บริเวณด้านข้างโรงซ่อมบำรุงซึ่งดาเนินการสร้างอาคารเสร็จแล้ว (อาคารประกอบและซ่อมบำรุงรถรางไฟฟ้าไร้สาย) มีลักษณะเป็นวงปิด มีเส้นทางวิ่งเข้าออกโรงซ่อมบำรุงทางเดียว และมีบริเวณจอดรถรางไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 1.6 แผนผังของเส้นทางอย่างละเอียดแสดงรูปที่ 1.7

รูปที่ 1.6 เส้นทางที่ใช้ทดสอบรถรางไฟฟ้าไร้สายขนาดเล็กภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 1.7 แผนผังเส้นทางในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ได้ต้นแบบขบวนรถรางไฟฟ้าไร้สายขนาดเล็กที่ใช้ Super Capacitor เพื่อวิ่งสาธิตในพื้นที่ศูนย์อนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ตำบลคลองไผ่ อำเภอสีคิ้ว

1.5.2 ได้องค์ความรู้และต้นแบบของรถไฟฟ้าไร้สายขนาดเล็กที่ใช้พลังงานจาก Super Capacitor

1.5.3 สนับสนุนการวิจัยพัฒนาของอุตสาหกรรมระบบรางจากผู้ผลิตในประเทศ

1.5.4 บูรณาการความร่วมมือวิจัยจากหลายสาขาความชำนาญและความร่วมมือของเครือข่ายภาครัฐและเอกชน

1.5.5 ช่วยสนับสนุนและส่งเสริมการท่องเที่ยวในพื้นที่

1.5.6 สามารถใช้พื้นที่ในการจัดการแข่งขัน railway challenge ในอนาคต

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

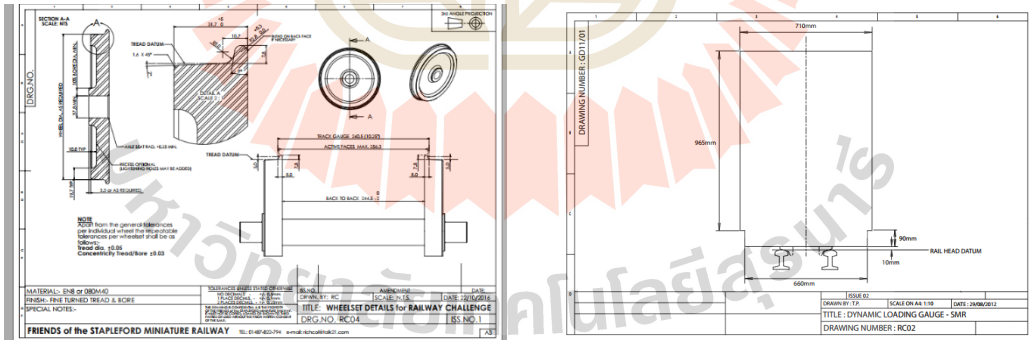
บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทนี้อธิบายการออกแบบหัวรถจักรไฟฟ้าประกอบด้วย การออกแบบด้านเครื่องกลและการออกแบบด้านไฟฟ้า ดังรายละเอียดต่อไปนี้

2.1 การออกแบบทางกล

2.1.1 การออกแบบหัวรถจักรต้นแบบ

การออกแบบหัวรถจักรไฟฟ้าและ Trailer bogie มีหลักการออกแบบคือวัสดุหาง่ายตามท้องตลาด ประกอบง่ายและมีความยืดหยุ่นสูง วัสดุที่ใช้ทำส่วนใหญ่เป็นเหล็กเกรด SS400 ระบบเบรกที่ใช้ในหัวรถจักรไฟฟ้าใช้เป็น Drum brake ซึ่งสามารถหาได้ตามท้องตลาด หลักการออกแบบหัวรถจักรไฟฟ้าเบื้องต้นเรายึดตามขนาดมิติตามข้อกำหนดของ Institution of mechanical engineers หรือ iMechE เพื่อให้รถเป็นไปตามมาตรฐานสากลจากรูปที่ 2.1 เมื่อเราทราบข้อกำหนดแล้วเราจึงทำการออกแบบหัวรถจักรให้มีขนาดมิติให้ตรงตามข้อกำหนด นอกจากเรื่องข้อกำหนดของ iMechE อีกสิ่งหนึ่งที่สำคัญในการออกแบบคือจะต้องออกแบบให้ชิ้นงานมีการผลิตที่ง่าย สะดวกรวดเร็วและซ่อมบำรุงง่ายวิธีการผลิต



(a) (b)

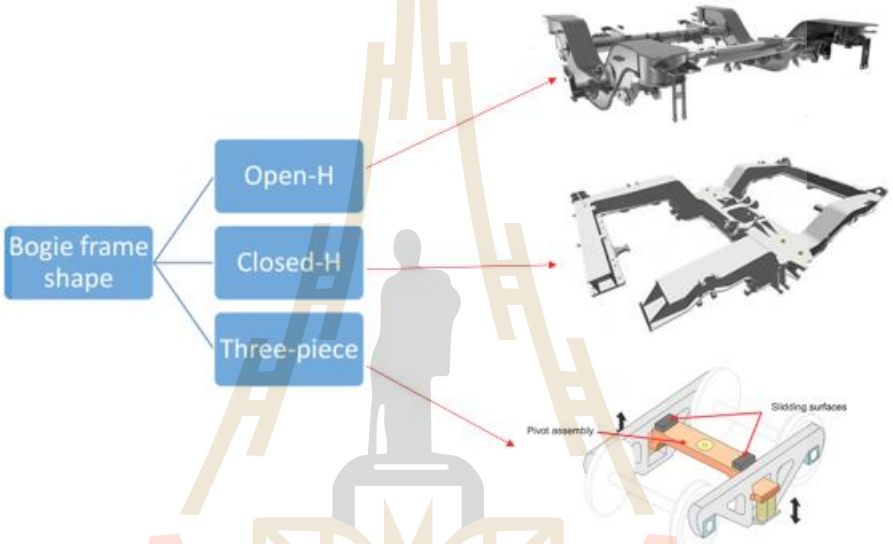
รูปที่ 2.1 แสดงขนาดมิติตามข้อกำหนดของ iMechE

(a) ระยะความกว้างและขนาดโปรไฟล์ของล้อ

(b) แสดงขนาดมิติโดยรวมของหัวรถจักรไฟฟ้า

2.1.2 Bogie frame

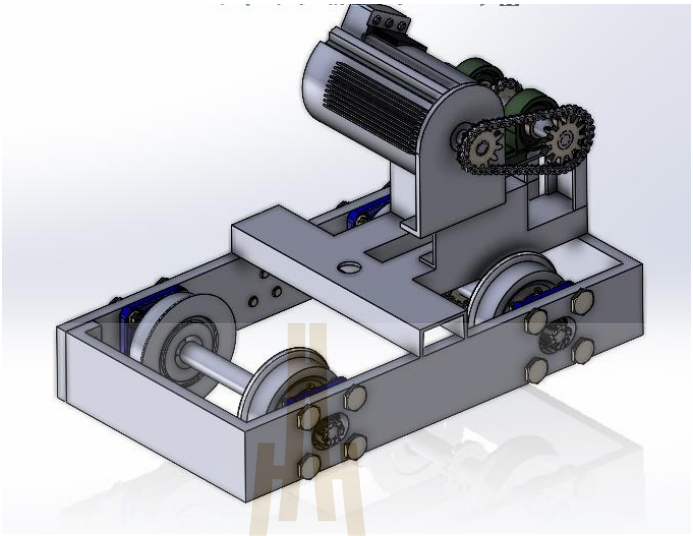
Bogie frame คือโครงสร้างหลักที่จะต้องรับน้ำหนักของตัวรถไฟรวมทั้งยังเป็นชิ้นส่วนที่ต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น ระบบเบรก, ชุดล้อ, ระบบกันสะเทือน เป็นต้น Bogie frame ที่เห็นบ่อยสามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภทได้แก่ 1. Open-H frame 2. Closed-H frame 3. Three-Piece frame แสดงดังรูปที่ 2.2 ซึ่งในการออกแบบรถหัวรถจักรไฟฟ้าจะใช้ bogie frame ประเภทที่ 2 และในส่วนของ Trailer bogie จะใช้ bogie frame แบบประเภทที่ 3 แสดงดังรูปที่ 2.3



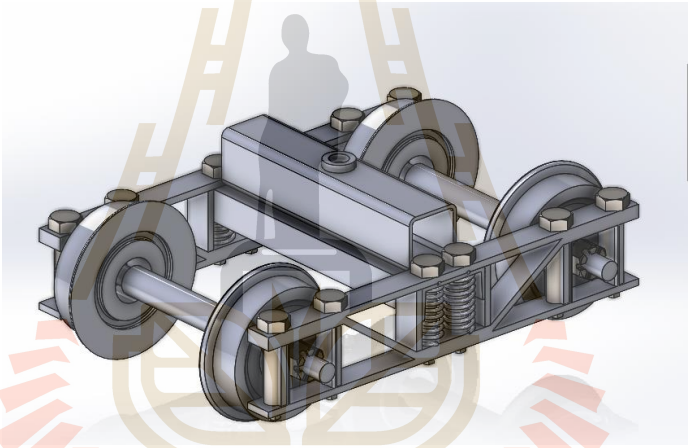
รูปที่ 2.2 ประเภทของ Bogie frame

(Molina fandos. Et al., 2018)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



(a)



(b)

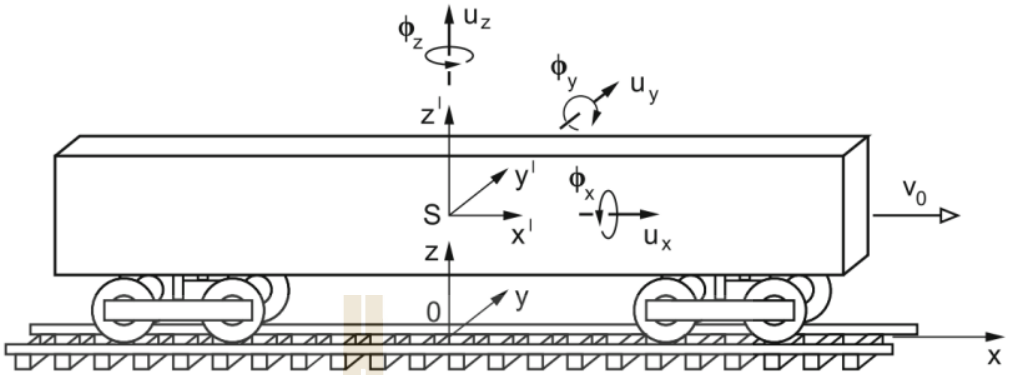
รูปที่ 2.3 แสดง bogie frame ของหัวรถจักรไฟฟ้า

(a) close-H frame (b) Three-Piece frame

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2.1.3 Suspension

การออกแบบระบบกันสะเทือนในรถไฟจำเป็นต้องทราบทิศทางการเคลื่อนที่ของหัวรถจักรไฟฟ้าเพื่อจะได้ดูดซับแรงที่กระทำที่เกิดขึ้นในทิศทางต่าง ๆ โดยการเคลื่อนที่ของรถไฟจะมีทิศทางการเคลื่อนที่ทั้งหมด 6 ทิศทางแสดงดังรูปที่ 2.4 ประกอบด้วยการเคลื่อนที่ตามแนวแกน X, Y และ Z เรียกว่า Longitudinal Motion, Lateral Motion และ Vertical Motion ตามลำดับ การเคลื่อนที่หมุนรอบแกน X, Y และ Z เรียกว่า Rolling, Pitching และ Yawing ตามลำดับ



รูปที่ 2.4 แสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของหัวรถจักรไฟฟ้า

(Molina fandos. Et al., 2018)

ยานภาหนะเมื่อเกิดการเคลื่อนที่จะมีการสั่นสะเทือนเข้ามาเกี่ยวข้องหากไม่มีระบบกันสะเทือนในรถอาจส่งผลให้ชิ้นส่วนเสียหายได้ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีระบบกันสะเทือนเพื่อดูดซับแรงไม่ว่าจะเป็นแรงที่เกิดจากการขับขี่ แรงที่เกิดจากการเลี้ยงโค้ง เป็นต้น ในรถไฟเราสามารถแบ่งระบบกันสะเทือนเป็น 2 ส่วนได้แก่ ระบบกันสะเทือนหลัก (Primary Suspension) และระบบกันสะเทือนแบบรอง (Secondary Suspension)

ระบบกันสะเทือนหลัก (Primary suspension) ซึ่งมีส่วนประกอบหลักคือสปริงที่มีหน้าที่รองรับน้ำหนักและแดมเปอร์ที่คอยช่วงหน่วงไม่ให้สปริงคืนตัวเร็วเกินไประบบกันสะเทือนหลักนี้จะรับการสั่นสะเทือนในแนวดิ่งเป็นหลักโดยจะคอยดูดซับแรงจากพื้นไม่ให้ไปถึงห้องโดยสารโดยระบบกันสะเทือนหลักใช้ช่วงล่างแบบ swing arm suspension ทำให้ระบบช่วงล่างมีความยืดหยุ่นแสดงดังรูปที่ 2.5

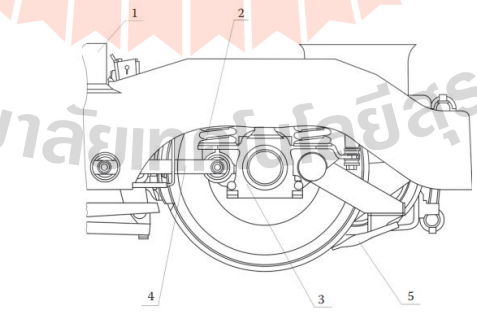


FIGURE 3.20 Primary suspension design of heavy haul locomotive (EMD GM, USA). 1—Side bearing; 2—primary suspension coil spring; 3—axle box; 4—traction rod; 5—sand nozzle.

รูปที่ 2.5 Primary suspension

(Maksym Spiryagin et al., 2014)

ระบบกันสะเทือนรอง (Secondary suspension) ถูกออกแบบมาเพื่อแยกระหว่างห้องโดยสารกับโบกี้ออกจากกันทำให้ห้องโดยสารไม่ได้การสะเทือนจากพื้นซึ่งการสะเทือนบางส่วนได้ถูกดูดซับไปจากระบบกันสะเทือนหลักแล้ว ระบบกันสะเทือนรองนี้มีการวางโช้คอยู่ 2 แนวแสดงดังรูปที่ 3.2 โดยโช้คหมายเลข 1 จะรับแรงสะเทือนในแนวดิ่งซึ่งทำงานร่วมกับระบบกันสะเทือนหลักส่งผลให้ดูซับแรงจากห้องโดยสารได้ดียิ่งขึ้นและโช้คหมายเลข 2 ทำหน้าที่รับแรงในมุม pitch กับ yaw ทำให้ห้องโดยสารมีความนุ่มนวลมากยิ่งขึ้นแสดงดังรูปที่ 2.6

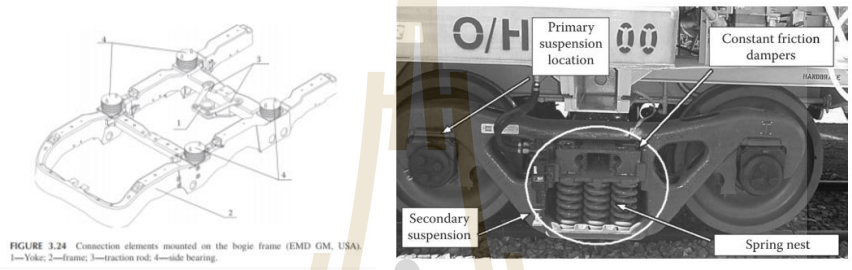


FIGURE 3.24 Connection elements mounted on the bogie frame (EMD GM, USA). 1—Yoke; 2—frame; 3—traction rod; 4—side bearing.

รูปที่ 2.6 Secondary suspension

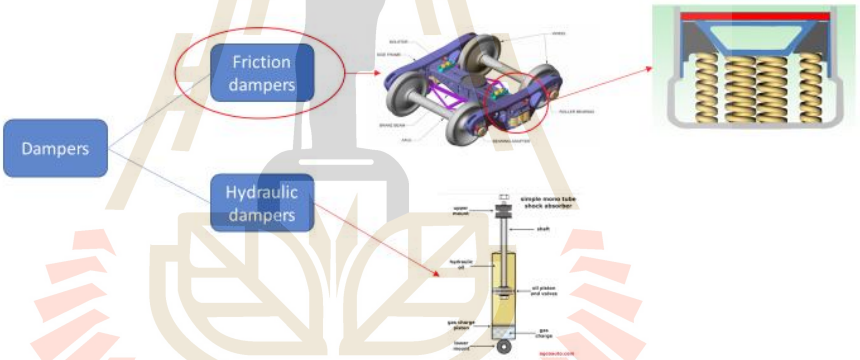
(Maksym Spiryagin et al., 2014)

องค์ประกอบที่ใช้ทำระบบกันสะเทือนไม่ว่าจะเป็น Primary suspension หรือ Secondary suspension อาจจะประกอบด้วยวัสดุที่หลากหลายแตกต่างกัน แต่มีอุปกรณ์ที่สำคัญอย่างหนึ่งในระบบกันสะเทือนคือ Shock absorber ซึ่งจะประกอบไปด้วย 2 ส่วนคือ 1.ส่วนที่ใช้รับน้ำหนักหรือสปริง(Spring) ซึ่งมีหลายประเภทแสดงดังรูปที่ 2.6 สปริงแต่ละประเภทก็มีคุณสมบัติที่แตกต่างขึ้นอยู่กับการนำไปติดตั้งและใช้งาน 2. ตัวหน่วง(Dampers) มีหน้าที่คอยหน่วงการทำงานของสปริงไม่ให้คืนตัวเร็วเกินไปประเภทของตัวหน่วงแสดงดังรูปที่ 2.7 ซึ่งประกอบตัว Friction dampers และ Hydraulic damper ในการออกแบบหัวรถจักรไฟฟ้าเลือกใช้ตัวรับน้ำหนักเป็น Helical spring และตัวหน่วงใช้เป็นแบบ Friction dampers แสดงในรูปที่ 2.8

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

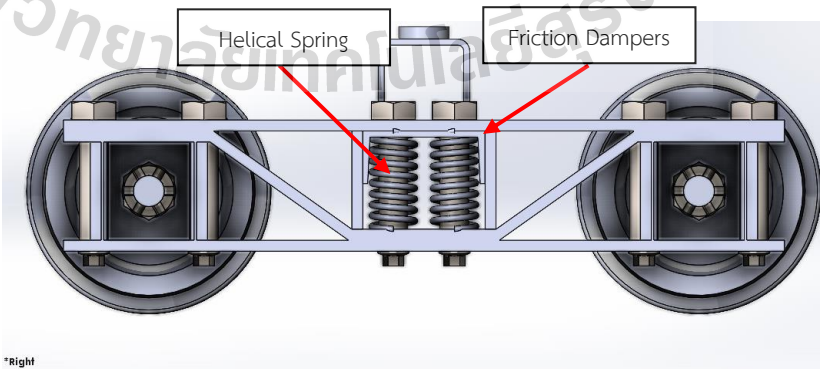
รูปที่ 2.7 วัสดุรับน้ำหนักหรือสปริงในหัวรถจักรไฟฟ้า

(Molina fandos. Et al., 2018)



รูปที่ 2.8 ตัวอย่างประเภทต่าง ๆ ในหัวรถจักรไฟฟ้า

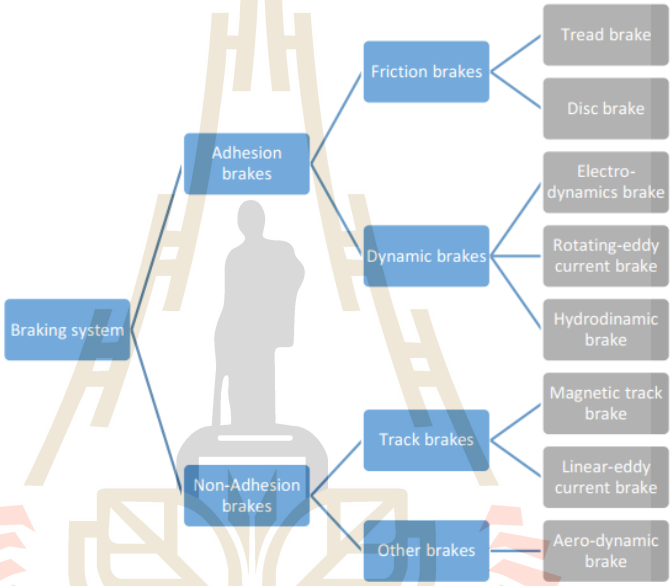
(Molina fandos. Et al., 2018)



รูปที่ 2.9 ระบบ Secondary suspension ที่เลือกใช้ใน Trailer bogie

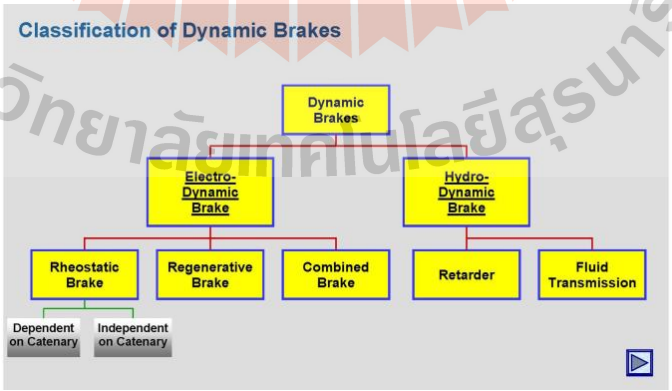
2.1.4 Brake system

ระบบเบรกสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ 1. ระบบเบรกแบบสัมผัส (Adhesion brakes) 2. ระบบเบรกแบบไม่สัมผัส(Non-Adhesion brakes) แสดงในรูปที่ 2.10 ในการออกแบบหัวรถจักรไฟฟ้าจะใช้ระบบเบรกแบบ Adhesion brakes เป็นหลัก ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ Friction brakes และ Dynamic brakes โดยเบรกแบบ Friction brake ที่ใช้จะเป็น Drum brake และเบรกแบบ Dynamic brake จะใช้เป็นแบบ Regenerative Brake ซึ่งจะถูกจัดอยู่ในกลุ่มของ Electrodynamic brake แสดงดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.10 ประเภทของระบบเบรก

(Molina fandos. Et al., 2018)



รูปที่ 2.11 ประเภทระบบเบรกแบบ Dynamic Brakes

(อดิศร สิงหกาญจน์, 2014)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

การออกแบบระบบเบรกให้เหมาะสมกับความเร็วของยานพาหนะมีความจำเป็นอย่างมากตัวแปรที่สำคัญในการออกแบบระบบเบรกคือความเร็วสูงสุดของยานพาหนะโดยความเร็วสูงสุดของหัวรถจักรไฟฟ้าถูกจำกัดที่ความเร็ว 15 km/h นอกจากนี้ยังมีค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆที่ใช้ในการออกแบบดังต่อไปนี้

- แรงยึดเกาะราง

แรงยึดเกาะรางจะเป็นพารามิเตอร์ที่กำหนดขนาดเบรกที่ใช้เนื่องจากหาเลือกเบรกที่มีขนาดใหญ่จะทำให้แรงเบรกมากกว่าแรงยึดเกาะจะส่งผลให้ล้อมีการล็อคจากการคำนวณสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างเหล็กหล่อกับเหล็กมีค่าเท่ากับ 0.4 และน้ำหนักรถมีค่าเท่ากับ 3190 kg สามารถคำนวณแรงยึดเกาะออกมาได้เท่ากับ 1276 N

$$F_a = m_a \bullet N \tag{2.1}$$

โดยที่ F_a = แรงยึดเกาะราง (N)

m_a = สัมประสิทธิแรงเสียดทานระหว่างรางกับล้อ

N = น้ำหนักของรถไฟ (N)

- แรงเบรก

เป็นแรงที่ใช้ในการทำให้ความเร็วของยานพาหนะลดลงโดยเบรกที่นิยมใช้ในรถไฟหลัก ๆแล้วจะมี 2 ประเภทคือ 1. Brake shoes 2. Disc brake แรงเบรกแสดงดัง**รูปที่ 11** ซึ่งเบรกแต่ละชนิดจะมีการคำนวณแรงเบรกที่แตกต่างกันดังต่อไปนี้

1. Brake shoes

$$F_b = \sum_{i=1}^{n} (\mu_s \bullet P_{s,i}) \tag{2.2}$$

2. Disc Brake

$$F_b = \frac{4 \bullet \mu_d \bullet r_m \bullet \sum_{i=1}^{n} (P_{\mathrm{d},i})}{D_o} \tag{2.3}$$

โดยที่ F_b = แรงเบรก (N)

m_s = สัมประสิทธิแรงเสียดทานระหว่างเบรกดรัมกับผ้าเบรก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

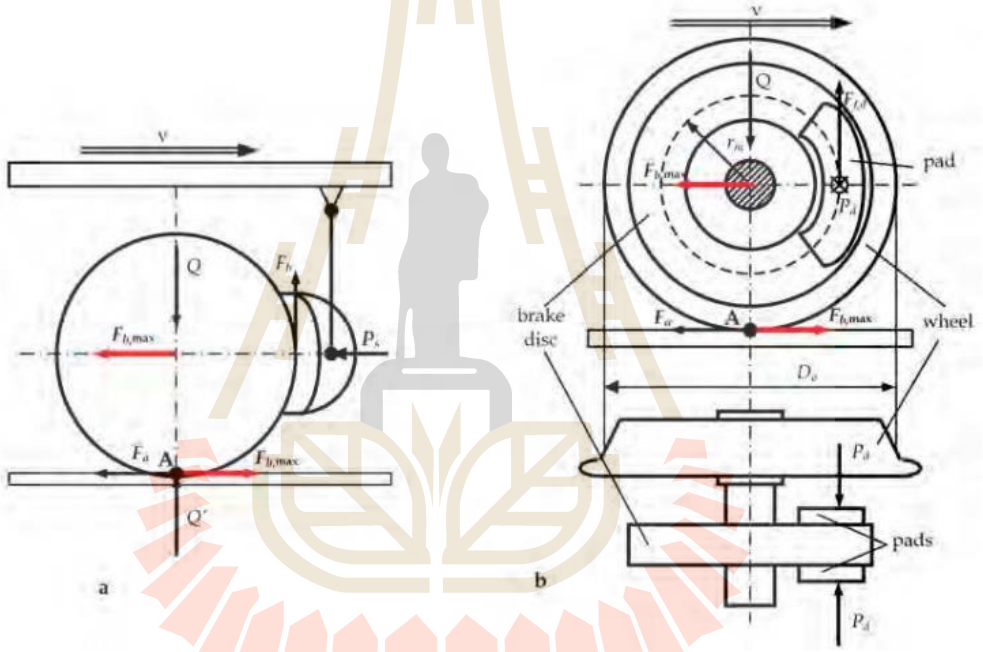
$P_{s,i}$ = แรงดันที่ใช้ดันผ้าเบรก (N)

m_d = สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างดิสเบรกกับผ้าเบรก

r_m = รัศมีกึ่งกลางของแรงที่กระทำต่อดิสเบรก (m)

D_o = ขนาดของล้อรถไฟ (m)

$P_{d,i}$ = แรงที่ใช้ดันลูกสูบในดิสเบรก (N)



รูปที่ 2.12 แสดงรูปแรงที่กระทำต่อระบบเบรก

(a) Brake shoes (b) Disc brake

(Xavier Perpinya, 2012)

ระบบเบรกที่ถูกเลือกใช้ในหัวรถจักรไฟฟ้าจะเป็น Drum brake เนื่องจากหาซื้อได้ง่ายตามท้องตลาด ในการคำนวณแรงเบรกสามารถคำนวณแรงเบรกได้ตาม สมการ (2.2) ประกอบไปด้วยพารามิเตอร์คือ แรงเสียดทานระหว่างดิสเบรกและผ้าเบรกมีค่าเท่ากับ 0.38 (Nam-jin lee et al, 2015) Drum brake มีการสัมผัสกับกับล้อ 2 ฝั่ง สมมติใช้ดันลูกสูบมีค่าเท่ากับ 479 N จะคำนวณแรงเบรกออกมาได้เท่ากับ 364. N ทั้งนี้แรงเบรกจะขึ้นอยู่กับผู้ขับขี่

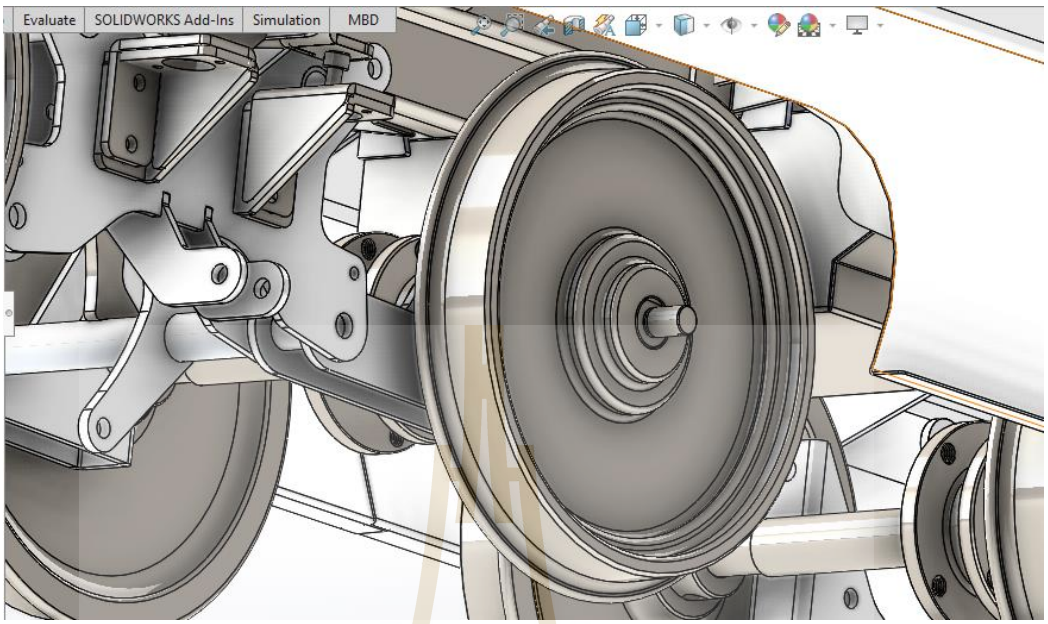
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2.1.5 วัสดุที่ใช้ในการทำล้อ

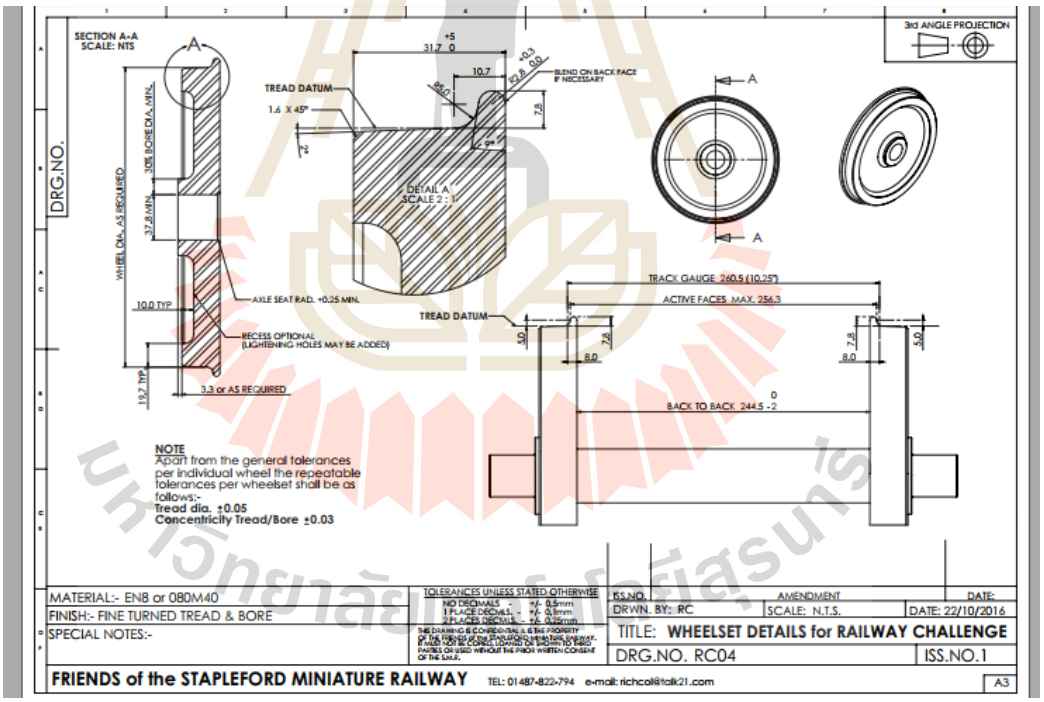
เกรดเหล็กหล่อที่ใช้ทำล้อรถไฟนั้นคือเกรด FCD600 ค่าคุณสมบัติแสดงดังตารางที่ 6.1โดยกระบวนการผลิตนั้นได้ทำการหล่อชิ้นงานโดยวิธีการหล่อแบบทรายโดยล้อที่หล่อแสดงดังรูปที่ 5.4 ลักษณะขอบล้อตอนแรกจะทำให้เป็นเทเปอร์เนื่องจากจะทำให้การถอดแบบออกจากแบบหล่อทรายจะทำได้ง่าย หากต้องการมุมบังไบตามที่ต้องการจะต้องนำล้อที่หล่อนี้ไปทำกระบวนการ machine จึงจะได้ล้อตามดังรูปที่ 2.2 โดยขนาดของล้ออ้างอิงตามมาตรฐาน iMechE

รูปที่ 2.13 แสดงรูปการหล่อชิ้นงานด้วยแบบหล่อทราย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 2.14 แสดงล้อหลังผ่านการ Machine



รูปที่ 2.15 แสดงขนาดล้อตามมาตรฐานของ iMechE

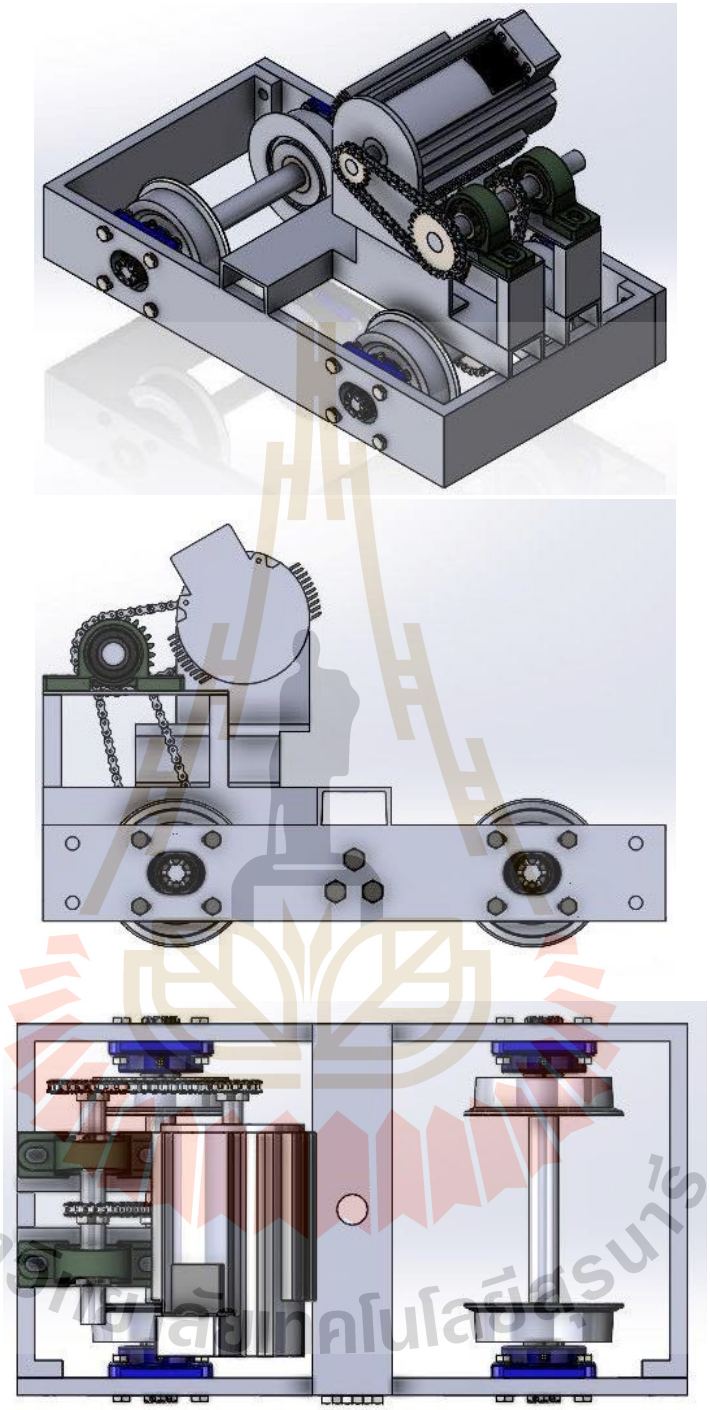
ตารางที่ 2.1 แสดงค่าคุณสมบัติของเหล็กหล่อ FCD600-3

Chemical composition, standards and properties			
Grade:	FCD600-3		
Classification:	Cast iron Spheroidal grafite cast iron		
Standards:	JIS G 5502: Spheroidal graphite iron castings JIS G 5527: Ductile iron fittings		
Applications	Matrix structure pearlite+ferrite		
Mechanical properties			
Yield point or proof stress (N/mm^2)	Tensile strength (N/mm^2)	Elongation (%)	Brinell HBW/HB
370	600	3	170-270

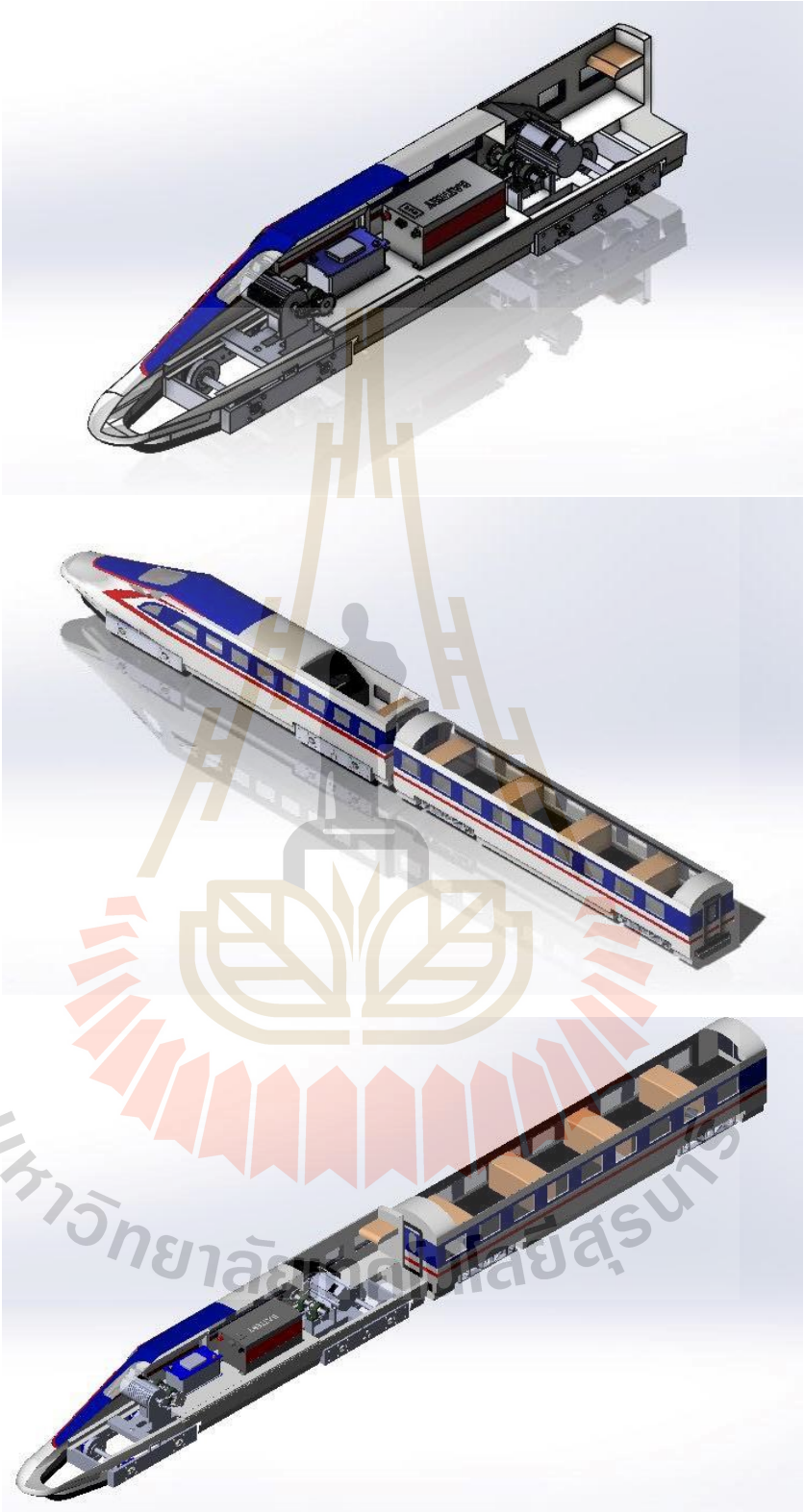
2.1.6 Trailer bogie

Trailer bogie มีแนวทางการออกแบบคือผลิตง่าย รวดเร็วและซ่อมบำรุงง่ายคล้ายหัวรถจักรไฟฟ้าแต่จำนวนชิ้นส่วนของ trailer bogie มีจำนวนน้อยกว่าหัวรถจักรไฟฟ้าการออกแบบจะเน้นในการรับน้ำหนักเนื่องจาก trailer bogie จะต้องรับน้ำหนักคนรวมกับน้ำหนักของ trailer bogie เฉลี่ยน้ำหนักที่จะต้องบรรทุกจะอยู่ที่ 360 kg จากรูปที่ 2.6 ตัวโครงเหล็กมีขนาดใหญ่เพียงพอที่จะรับน้ำหนักสำหรับคน รูปที่ 2.7 และ 2.8 แสดงภาพรวมและขนาดมิติของ trailer bogie

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

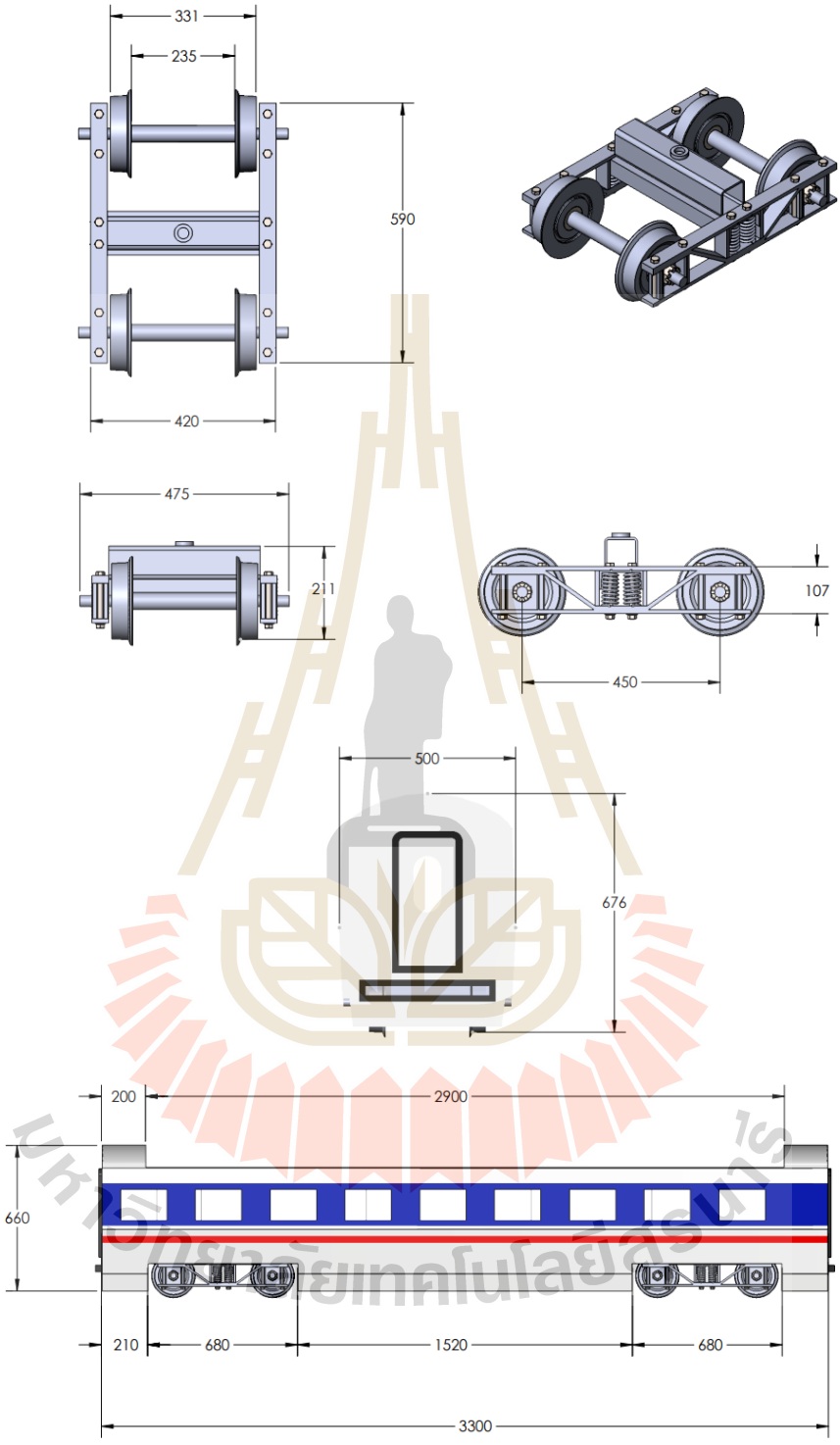


รูปที่ 2.16 trailer bogie



รูปที่ 2.17 แสดงภาพรวมของรถ

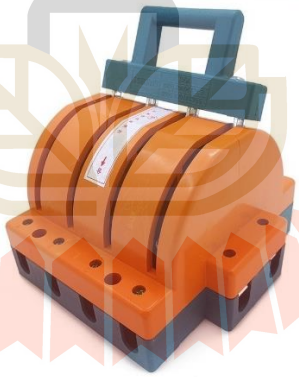
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 2.18 ขนาดของ trailer bogie

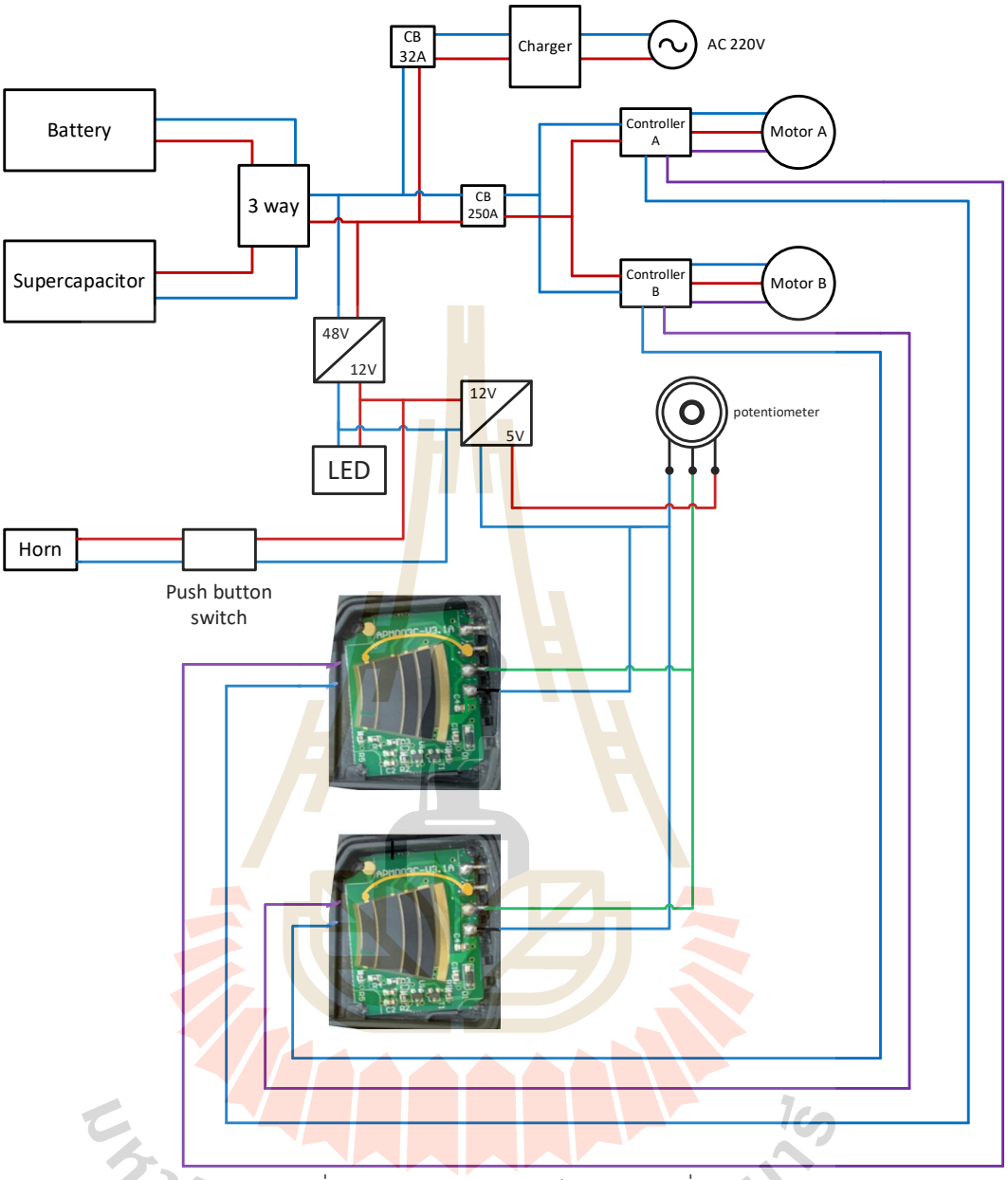
2.2 การออกแบบทางไฟฟ้า

ระบบไฟฟ้าของหัวรถจักรไฟฟ้าขนาดเล็กประกอบด้วยแหล่งจ่ายไฟฟ้าสำหรับขับเคลื่อน (48 VDC) และแหล่งไฟฟ้าสำหรับควบคุมการทำงานรวมถึงบอร์ดควบคุมและรีโมทควบคุม (12 VDC) แหล่งจ่ายไฟฟ้าสำหรับขับเคลื่อนมีแหล่งจ่ายไฟฟ้าหลักทั้งหมด 2 แหล่งจ่าย ได้แก่ แบตเตอรี่ (Battery) และตัวเก็บประจุยิ่งยวด (Super Capacitor) ในการควบคุมการจ่ายไฟฟ้าในการขับเคลื่อนจะใช้ชุดควบคุมด้วย 3 way switch ที่จะเลือกใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าด้วยการปิดสวิตช์ในฝั่งของแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่ต้องการดังรูปที่ 2.9 และแผนภาพวงจรไฟฟ้าแสดงดังรูปที่ 2.10 ระบบไฟฟ้าประกอบด้วย 2 โหมดการทำงาน ได้แก่ โหมดขับเคลื่อน และโหมดชาร์จพลังงาน ในการทำงานโหมดขับเคลื่อนหลังจากเลือกแหล่งจ่ายไฟฟ้าจากอุปกรณ์ 3 way switch ทำการปิด circuit breaker 250A เพื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าและกระแสให้กับชุด controller ทั้งชุด A และ B ที่ต่อขนานกันจากนั้นทำการควบคุมการทำงานของรถไฟฟ้าผ่านชุดควบคุมที่เชื่อมต่อกับชุด controller ในส่วนของโหมดชาร์จพลังงานทำการปิด circuit breaker 32A ที่เชื่อมต่อกับชุด charger จากนั้นทำการเปิดชุด charger และรอการทำงานจนเสร็จสิ้น หรือสถานะประจุไฟฟ้าเต็มที่ 100% SOC



รูปที่ 2.19 3 way switch

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



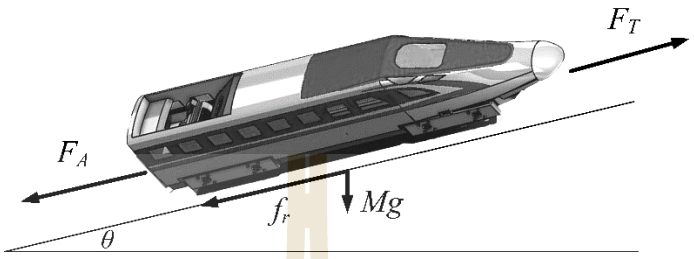
รูปที่ 2.20 แผนภาพระบบไฟฟ้าขับเคลื่อน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการขับเคลื่อน

ในระบบการขับเคลื่อนหัวรถจักรไฟฟ้าขนาดเล็กได้เลือกใช้มอเตอร์ไฟฟ้าสองตัวทำงานขนานกัน เพื่อช่วยในการขับเคลื่อนมีการทำงานร่วมกันโดยมีตัวควบคุมมอเตอร์ 2 ตัว การคำนวณหาขนาดของมอเตอร์โดยคำนวณจากสมการที่ (2.6) แรงฉุดหัวรถจักรโดยใช้กฎข้อที่สองของนิวตัน ดังรูปที่ 2.11 โดยมีมวลหัวรถจักร ตู้โดยสาร และเมื่อมีผู้โดยสารเต็มคันรถ คิดเป็นมวลรวม

สูงสุด (*M*) เท่ากับ 3190 kg หรือ 3.19 ton ความชัน 5% หรือ 2.86° ความเร็วสูงสุด 15 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และความเร่ง 0.4 m/s^2 ได้ผลการคำนวณดังนี้



รูปที่ 2.21 แผนภาพวัตถุอิสระของรถไฟฟ้าไร้สายขนาดเล็ก

$$F_T = Ma + f_r Mg\cos\theta + Mg\sin\theta + \frac{1}{2}\rho C_d A_F v^2 \tag{2.6}$$

เมื่อกำหนดให้พารามิเตอร์ต่าง ๆ มีค่าดังต่อไปนี้

M = 3190 kg (3.19 ตัน)

f_r = 0.002

ρ = 1.1455 kg/m^3 (ความหนาแน่นอากาศที่ 35°C)

C_d = 0.295 (แนะนำสำหรับรูปทรงหัวกระสุน)

A_F = 0.338 m^2 (พื้นที่หน้าตัดด้านหน้าของรถฟ้าไร้สายขนาดเล็ก)

v = 15 km/h

จะได้

แรงเสียดทาน $F_R = f_r Mg\cos\theta = 0.002\times 3190\times 9.81\times 1 = 62.6$ N

แรงโน้มถ่วง $F_G = Mg\sin\theta = 9.81\times 3190\times 0.05 = 1564.7$ N

แรงต้านอากาศ $F_A = \frac{1}{2}\times 0.338\times 0.295\times 1.1455\times\left(\frac{15}{3.6}\right)^{12} = 1.0$ N

แรงที่ใช้ในการเร่ง $F_a = Ma = 3190\times 0.4 = 1276.0$ N

จะได้แรงฉุดหัวรถจักรไฟฟ้า $F_T = F_A + F_R + F_G + F_A = 2904.3$ N

คำนวณกำลังงานที่ใช้สำหรับการขับเคลื่อนรถหัวลากที่ดังสมการ (2.7)

$$P_{drive} = \frac{F_T v}{\eta} \tag{2.7}$$

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

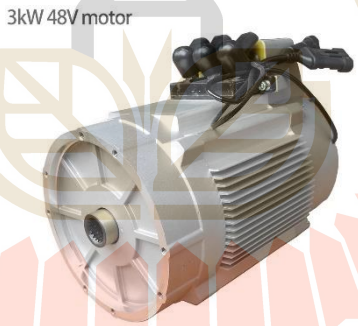
เงื่อนไขที่กำหนด โดยนำเอาแรงฉุดมาคูณกับความเร็วที่จุดเปลี่ยนกราฟของกราฟแรงฉุด – ความเร็วของระบบขับเคลื่อนโดยทั่วไปประมาณ 15 – 30 km/h ในที่นี้ใช้ค่า 15 km/h ในการคำนวณและให้ระบบแปลงผันกำลังไฟฟ้าเป็นกลมีประสิทธิภาพ 80 % สำหรับมอเตอร์ที่ใช้

เมื่อ v = 15 km/h และ η = 0.8

จะได้ $$P_{drive} = \frac{F_T v}{\eta} = \frac{2904.3 \times \frac{15}{3.6}}{0.8} = 15.1 \text{ kW}$$

ค่าที่ใช้นี้คำนวณจากค่าความเร่งในขณะไต่ทางชัน ซึ่งเวลาเร่งไม่เกิน 1-2 นาที เท่านั้นพิกัดที่กำหนดนี้เมื่อเร่งได้ความเร็วตามที่กำหนด รถหัวลากจะมีการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ตามทางชันนั้น การใช้พลังงานจะลดลง (F_a=0) ดังนั้น พิกัดกำลังงานของมอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้สามารถมีขนาดเล็กกว่าครึ่งหนึ่งของค่าที่คำนวณได้ค่าที่ได้นี้เป็นพิกัดกำลังสูงสุด (maximum/peak power rating) ดังนั้นจึงเลือกใช้มอเตอร์ขนาด 5 kW ที่มีกำลังไฟฟ้าสูงสุด 15 kW ทำงานขนานกัน 2 ตัว

- มอเตอร์ไฟฟ้า (Electric Motor A and B)



รูปที่ 2.22 มอเตอร์ไฟฟ้า (Electric Motor)

มอเตอร์ไฟฟ้า (Electric Motor) ที่ใช้เป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน (Brushless DC Motor) โดยมีอาเมเจอร์เป็นตัวอยู่กับที่ และมีแม่เหล็กถาวร หรือ สนามแม่เหล็กที่เป็นตัวหมุน ใช้อิเล็กทรอนิกส์ควบคุมทิศทางการไหลของกระแสในขดลวดอาร์เมเจอร์ย่อยแต่ละขด ตรวจจับตำแหน่งของตัวหมุนด้วยตัวตรวจจับฮอลล์ (hall senser) มอเตอร์ไฟฟ้า คืออุปกรณ์ที่มีหน้าที่ “เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้า ให้เป็นพลังงานกล” โดยขดลวดสเตเตอร์ได้รับพลังงานไฟฟ้า และเกิดการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กไฟฟ้า เป็นผลให้โรเตอร์หมุน รายละเอียดของมอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้แสดงดังตารางที่ 2.2

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 2.2 มอเตอร์ไฟฟ้า Golden Motor Model HPM3000

Motor		Traction control Unit:	
Voltages	48 Vdc	Voltage	48 Vdc
Rated power	5 kW	Rated continuous current	120 A
Peak power	15 kW	Maximum phase current	350 A
Speed	3000-6500 rpm	Motor control mode	FOC
Rated torque /Peak torque	10 Nm. /80 Nm.	Driving method	Direct torque control
Dimension	210 (dia.) × 286 (height) mm.	Dimension	192(L)×145(W)×95(H) mm
Weight	35 kg	Weight	5 kg

- แหล่งจ่ายไฟฟ้าหลัก

ในรถหัวจักรไฟฟ้าขนาดเล็กนี้จะมีมีแหล่งจ่ายพลังงานหลัก 2 แหล่งจ่าย ได้แก่ แบตเตอรี่ (Battery) และตัวเก็บประจุยิ่งยวด (Supercapacitor)

1. ตัวเก็บประจุยิ่งยวด (Supercapacitor)

รูปที่ 2.23 ตัวเก็บประจุยิ่งยวด (Supercapacitor)

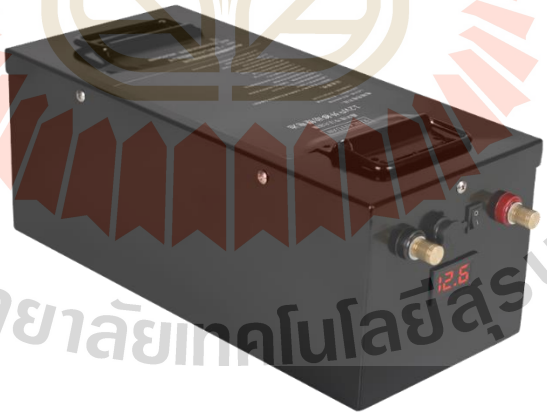
ตัวเก็บประจุยิ่งยวดเก็บพลังงานในรูปของประจุไฟฟ้า มีความหนาแน่นกำลังสูง แต่มีความหนาแน่นพลังงานต่ำ สามารถเก็บประจุและคายประจุได้อย่างรวดเร็ว ตัวเก็บประจุยิ่งยวด

ประกอบด้วยขั้วไฟฟ้าที่ฉาบด้วยวัสดุที่มีรูพรุนจำนวนมากเพื่อเพิ่มพื้นที่ในการประจุไฟฟ้า โดยขั้วไฟฟ้าอยู่ในสารอิเล็กไทรไลต์ และขั้วไฟฟ้าถูกคั่นด้วยแผ่นฉนวน เป็นอุปกรณ์ในการเก็บพลังงานจากการเบรก (Regenerative Braking) ของรถไฟขนาดเล็ก จึงใช้ Maxwell Supercapacitor Module 165F 48 V ดังรูปที่ 2.13 เช่นเดียวกันกับมอเตอร์ที่ใช้ ซึ่งมีขนาดแรงดันไฟฟ้า 48 V รายละเอียดของตัวเก็บประจุยิ่งยวดแสดงดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ตัวเก็บประจุยิ่งยวด Maxwell Model BMOD0165 P048 BXX

Rated voltage	48 V
Rated capacitance	165 F
Maximum ESR initial	6.3 mΩ
Absolute Maximum Voltage	51 V
Absolute Maximum Current	1900 A
Storage Energy	53 Wh
Dimension	418(L)×194(W)×179(H) mm.
Weight	13.5 kg

2. แบตเตอรี่ (Battery)



รูปที่ 2.24 แบตเตอรี่ (Battery)

แบตเตอรี่ลิเธียมไอออน การทำงานขึ้นอยู่กับการเคลื่อนที่ของไอออนลิเธียมจะย้าย จากอิเล็กโทรดบวกไปยังอิเล็กโทรดลบในกระบวนการชาร์จประจุและเดินทางกลับ ในกระบวนการคายประจุ เมื่อเทียบกับแบตเตอรี่ตะกั่วกรดและนิกเกิล แบตเตอรี่ลิ เธียมไอออน มีแรงดันไฟฟ้าของเซลล์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ที่สูงกว่า ความหนาแน่นของพลังงานที่สูงขึ้น ประสิทธิภาพการชาร์จที่สูงขึ้น และอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้นจึงใช้ แบตเตอรี่ลิเที่ยมไอออน 48 V ดังรูปที่ 2.14

ตารางที่ 2.4 แบตเตอรี่ Model DPBEVL005H 5.18 kWh 100 Ah

Nominal voltage	51.80 V
Nominal capacity	100 Ah
Energy of battery system	5.18 kWh
Range of battery system voltage	42 V – 58.24 V
Series – parallel number	2P14S
Continuous charge current	25 A
Peak charge current	25 A
Continuous discharge current	62.50 A
Peak discharge current	125 A
Dimension	564(L)×280(W)×243(H) mm.
Weight	43 g

3. อุปกรณ์ป้องกัน

เนื่องจากแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าหลักมีทั้งหมด 2 แหล่งจ่าย ได้แก่ แบตเตอรี่ (Battery) และตัวเก็บประจุยิ่งยวด (Supercapacitor) ซึ่งในการทำงานนั้นต้องมีการสลับการใช้งานแหล่งจ่ายไฟฟ้านั้นในโหมดการทำงานต่าง ๆ และเนื่องจากกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในระบบมีขนาดที่สูงจึงต้องมีระบบป้องกันกระแสเกินซึ่งในการเลือกฟิวส์มีความจำเป็นต้องทราบขนาดของกระแสที่ไหลผ่านอุปกรณ์ดังกล่าว และเลือกใช้ CB ที่มีค่าพิกัดกระแส 125% ของค่ากระแสนั้น โดยให้เลือกขนาดมาตรฐานถัดไปจากค่ากระแสที่คำนวณได้ โดยสามารถคำนวณหาค่ากระแสได้จาก

$$P = VI \tag{2.7}$$

โดยที่ P คือกำลังไฟฟ้า มีหน่วยเป็นวัตต์ (W)

V คือความต่างศักย์ มีหน่วยเป็นโวลต์ (V)

I คือค่ากระแสไฟที่ไหลผ่านอุปกรณ์ (A)

จากมอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้มีพิกัดขนาด 5 kW จำนวน 2 ตัว และแรงดันสูงสุดของแบตเตอรี่ที่จ่ายให้กับมอเตอร์เท่ากับ 51 V จะสามารถคำนวณออกแบบขนาดฟิวส์ได้ ดังนี้

$$P = VI$$

$$5\ \text{kW} \times 2 = 51\text{V} \times I$$

$$I = 196.08\ \text{A}$$

สามารถคำนวณกระแสสูงสุดได้ $I = 196.08$ A

คำนวณขนาดCB 125% × 196.08 A = 245.1 A

ดังนั้น จึงได้ขนาดของ CB ที่ใช้ในการป้องกันกระแสเกินคือ 250 A ดังรูปที่ 2.15

ในส่วนของการชาร์จพลังงานอุปกรณ์ชาร์จจะมีการจ่ายกระแสสูงสุด 25 A และเลือกใช้ CB ที่มีค่าพิกัดกระแส 125% ของค่ากระแสสูงสุดคำนวณได้ ดังนี้

สามารถคำนวณกระแสสูงสุดได้ $I = 25$ A

คำนวณขนาดCB 125% × 25 A = 31.25 A

ดังนั้น จึงได้ขนาดของ CB ที่ใช้ในการป้องกันกระแสเกินคือ 32 A ดังรูปที่ 2.16

รูปที่ 2.25 circuit breaker 250 A

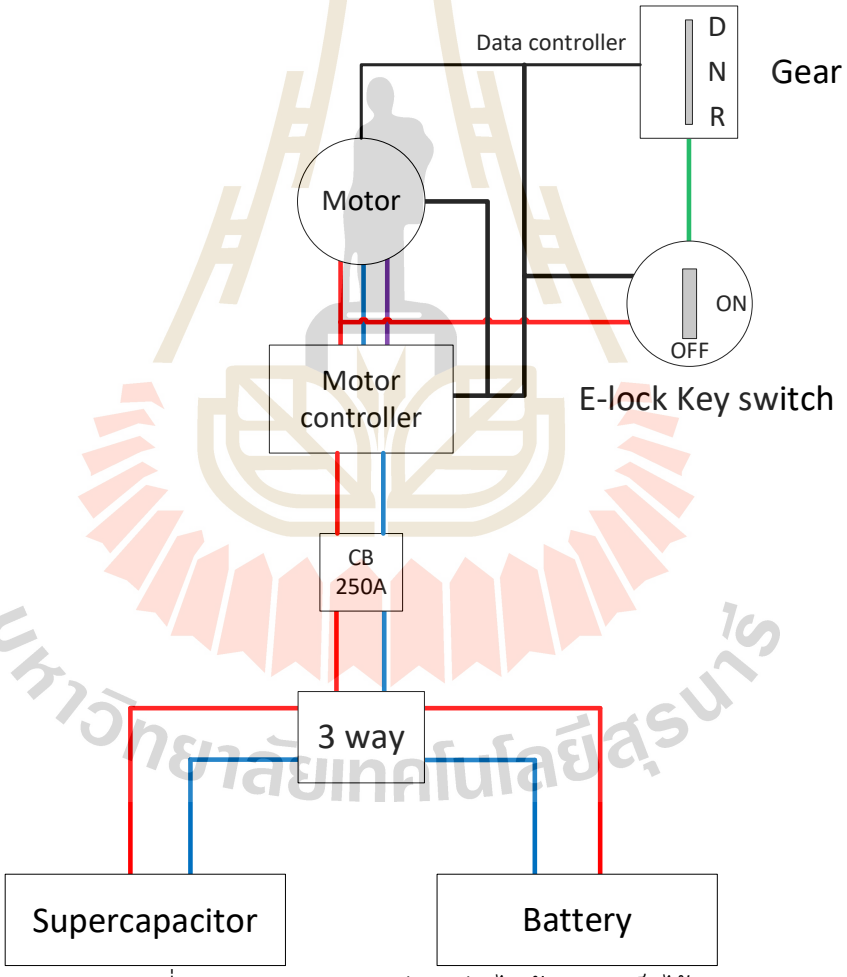
รูปที่ 2.26 circuit breaker 32 A

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 3
การออกแบบระบบควบคุมการทำงานของรถไฟฟ้าขนาดเล็กไร้สาย

3.1 การออกแบบระบบควบคุมหัวรถจักรไฟฟ้าขนาดเล็กไร้สาย

ระบบควบคุมของรถ ทีมวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีได้ออกแบบแหล่งจ่ายของรถฟ้าขนาดเล็กไร้สายให้สามารถเลือกใช้แหล่งจ่ายแบตเตอรี่หรือตัวเก็บประจุยิ่งยวดได้ ระบบควบคุมการทำงานของรถไฟฟ้าขนาดเล็กไร้สายแสดงดังรูปที่ 3.1 โดยมีสวิชต์กุญแจ E-lock ในการเปิดการทำงานระบบควบคุมมอเตอร์ และเกียร์ที่ใช้ในการเลือกโหมดการเคลื่อนที่



รูปที่ 3.1 ระบบควบคุมหัวรถจักรไฟฟ้าขนาดเล็กไร้สาย

ระบบควบคุมของรถไฟฟ้าขนาดเล็กไร้สาย แบ่งเป็นโหมดการทำงาน ได้แก่ การเคลื่อนที่ไปข้างหน้า (Forward) การเคลื่อนที่ถอยหลัง (Reverse) และการหยุดรถ (Stop) และโหมดชาร์จ

พลังงานที่จะชาร์จพลังงานให้กับแบตเตอรี่หรือตัวเก็บประจุยิ่งยวดขณะรถหยุดนิ่ง สำหรับการออกแบบหน้าจอแสดงผล ทีมวิจัยได้ออกแบบให้หน้าจอแสดงผลสถานะความเร็วขณะรถวิ่ง และสถานะประจุของแหล่งจ่ายแบตเตอรี่/ตัวเก็บประจุยิ่งยวด โดยโหมดการทำงาน โหมดการชาร์จพลังงาน และการออกแบบหน้าจอแสดงผล มีรายละเอียดดังหัวข้อต่อไปนี้

3.2 โหมดการทำงานของรถฟ้าขนาดเล็กไร้สาย

ลำดับการทำงานโหมดการขับเคลื่อนดังรูปที่ 3.2 มีลำดับการทำงาน ดังนี้

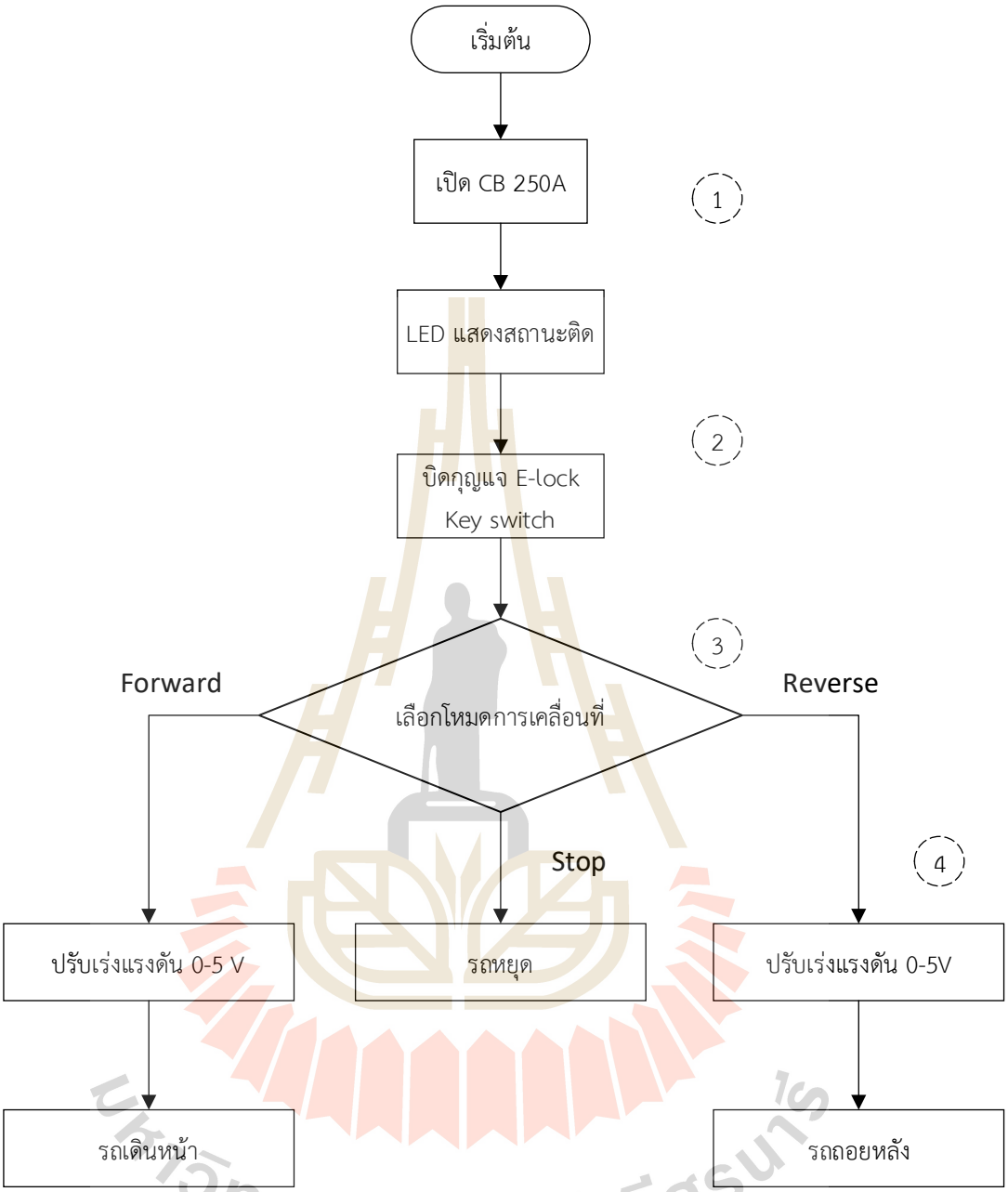
(1) เปิด CB 250 A และสังเกตุไฟ LED บนแผงควบคุมแสดงสถานะไฟติด

(2) เมื่อไฟ LED แสดงสถานะติด จากนั้น บิดกุญแจ E-lock Key switch เพื่อเปิดการทำงาน โดยกุญแจ E-lock Key switch จะมี 2 ตัว แยกกันทำงานระหว่างมอเตอร์ตัวหน้าอละมอเตอร์ตัวหลัง (ถ้าต้องการให้ทำงานทั้งคู่ บิดกุญแจ E-lock Key switch ทั้ง 2 ตัว)

(3) เลือกโหมดการเคลื่อนที่ตามที่ต้องการ ได้แก่ ไปข้างหน้า(D) ถอยหลัง(R) หรือ หยุดรถ(N)

(4) เมื่อเลือกโหมดไปข้างหน้า ให้ทำการปรับเร่งแรงดัน 0-5 V เพื่อเร่งความเร็วรถให้ไปข้างหน้า เมื่อเลือกโหมดถอยหลัง ให้ทำการปรับเร่งแรงดัน 0-5 V เพื่อเร่งความเร็วรถให้ถอยหลัง เมื่อเลือกโหมดหยุดรถ รถจะค่อย ๆ ชะลอความเร็วจนกระทั่งรถหยุดนิ่ง

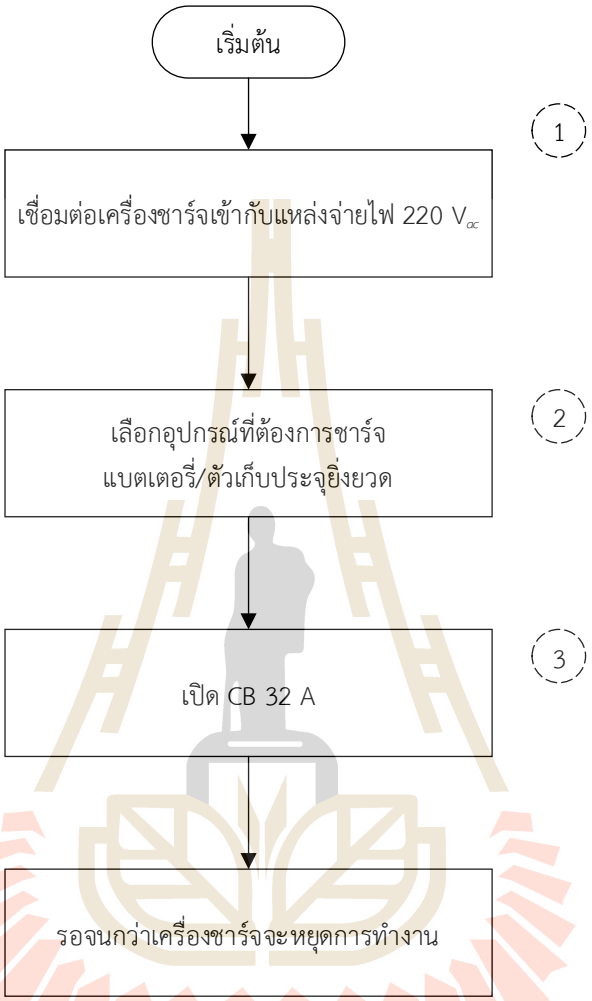
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 3.2 แผนผังการทำงานของโหมดการทำงานรถไฟฟ้าขนาดเล็กไร้สาย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.3 โหมดการชาร์จพลังงาน



รูปที่ 3.3 แผนผังการทำงานของโหมดการชาร์จพลังงาน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

โหมดการชาร์จพลังงาน ดังรูปที่ 3.3 มีลำดับการทำงาน ดังนี้

(1) เชื่อมต่อเครื่องชาร์จเข้ากับแหล่งจ่ายไฟ 220 V_{ac}

(2) เลือกอุปกรณ์การชาร์จที่ต้องการ แบตเตอรี่/ตัวเก็บประจุยิ่งยวด

(3) เปิด CB 32 A หลังจากนั้นเครื่องชาร์จจะทำการชาร์จพลังงานให้กับอุปกรณ์ที่เลือก รอจนกว่าเครื่องชาร์จจะหยุดทำงานจึงจะเสร็จสิ้นการชาร์จพลังงาน

3.4 การออกแบบหน้าจอแสดงผล

การออกแบบหน้าจอแสดงผล (Dash board) ออกแบบให้มีการแสดงผลของค่าความเร็วในการเคลื่อนที่ และสถานะประจุของแหล่งจ่ายแบตเตอรี่หรือตัวเก็บประจุยิ่งยวด ดังรูปที่ 3.3 โดยมีการต่อวงจรดังรูปที่ 3.4 ซึ่งมีการต่อสายสัญญาณของอุปกรณ์เข้ากับหน้าจอแสดงผลรายละเอียด ดังนี้

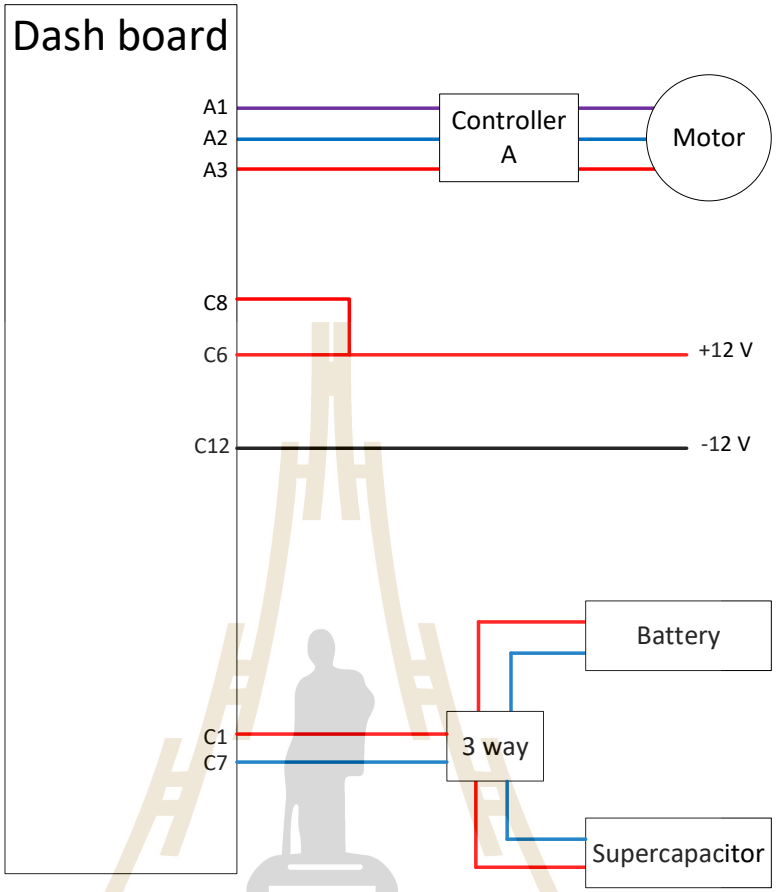
A1, A2, A3 เป็นสายสัญญาณวัดความเร็วรอบและระยะทางของมอเตอร์ แล้วนำไปแสดงบนหน้าจอแสดงผล เพื่อให้ทราบถึงความเร็ว ขณะเคลื่อนที่และระยะทางในการเคลื่อนที่

C1, C7 เป็นสายสัญญาณที่วัดค่าแรงดันจากแหล่งจ่ายที่เลือกใช้ จะแสดงค่าเป็นเปอร์เซ็นต์ตั้งแต่ 0-100% ของแรงดันไฟ 48 V

C8 เป็นสายสัญญาณที่จ่ายไฟให้ความสว่างแก่พื้นหลังของหน้าจอแสดงผล เพื่อให้สามารถมองเห็นได้ชัดเจอทั้งในตอนกลางวันและตอนกลางคืน

C6, C12 เป็นสายเชื่อมต่อแหล่งจ่ายไฟ 12 V เพื่อให้จอสามารถทำงานและอ่านค่าต่าง ๆ บนหน้าจอแสดงผลได้

รูปที่ 3.4 หน้าจอแสดงผล



รูปที่ 3.5 วงจรหน้าจอแสดงผล

ตารางที่ 3.1 ความหมายช่อง Pin Dashboard

Pin	คำอธิบาย
A1	Motor speed signal
A2	Motor speed signal
A3	Motor speed signal
C1	Battery/Supercapacitor +
C7	Battery/ Supercapacitor -
C8	Background light
C6	Power supply +12 V
C12	Power supply -12 V

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 4
การทดสอบและผลการทดสอบ

การทดสอบในโครงการวิจัยนี้แบ่งออกเป็นสองส่วน ได้แก่ 1 การทดสอบสมรรถนะและการใช้พลังงานเส้นทางหลักภายในพื้นที่ศูนย์อนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ตำบลคลองไผ่ อำเภอสีคิ้ว จังหวัดนครราชสีมา 2 การทดสอบสมรรถนะและการใช้พลังงานเส้นทางภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ตำบลสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา

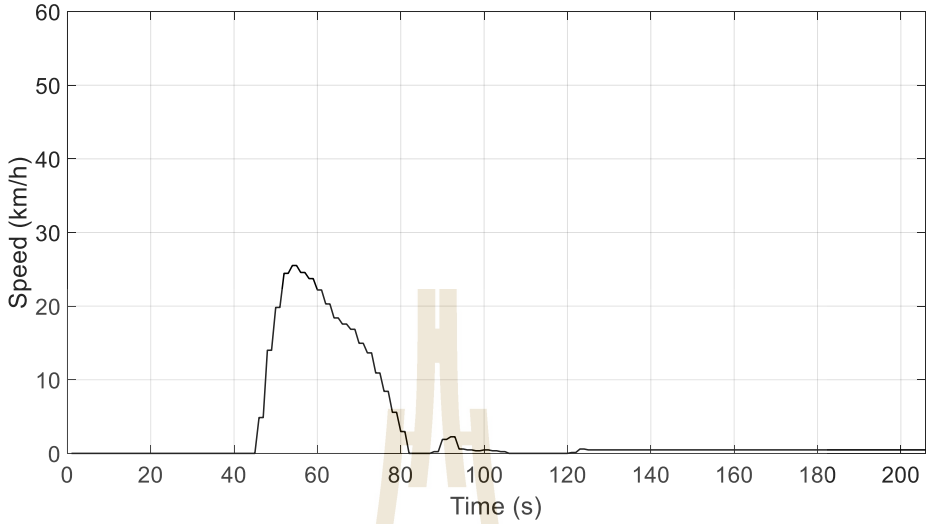
4.1 การทดสอบสมรรถนะเส้นทางหลักศูนย์อนุรักษ์พันธุพืช ฯ คลองไผ่

มีการตั้งค่าการทำงานของมอเตอร์และกล่องควบคุมเพื่อให้เหมาะสมกับการทำงานในเส้นทาง แสดงดังรูปที่ 4.1

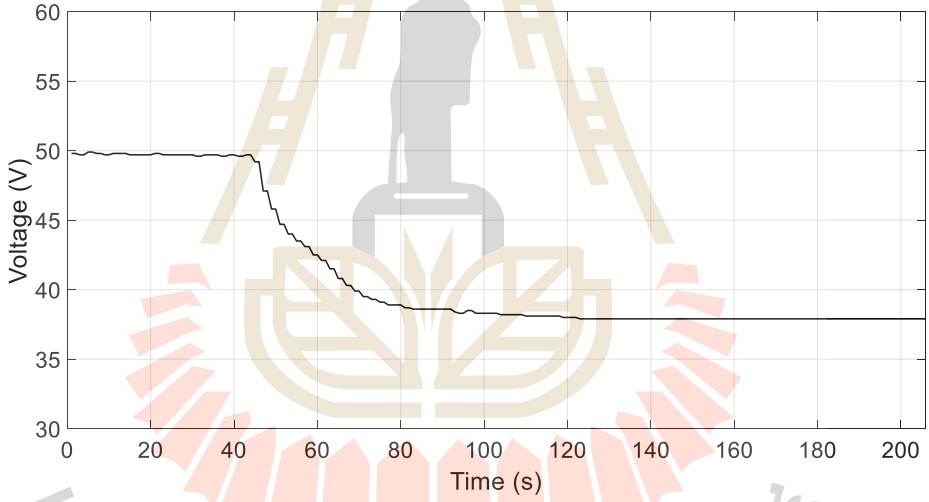
Num	Description	DATA
F0	Motor Type(0 - 3)	0
F1	Motor Rated Power(0 - 150.0kW)	5
F2	Motor Rated Voltage(0 - 400.0V)	48
F3	Motor Rated Current(10 - 600.0A)	120
F4	Motor Rated Frequency(10 - 300.0Hz)	100
F5	Motor Maximum Frequency(10 - 400.0Hz)	240
F6	Motor Rated Speed(100 - 6000rpm)	3000
F7	Motor Maximum Speed Limit(0 - 9000rpm)	2000
F8	Non-load current of an AC Motor(15 - 45% of Rated)	40
F9	Rator Time-constant 1(0 - 10000)	850
F10	Rator Time-constant 2(0 - 10000)	0
F11	Time-constant Switching Frequency(0 - 100.0Hz)	0
F12	Pulse Numbers per Round of the Encoder(1 - 1000)	64
F13	Encoder Orientation(0 - 1)	0
F14	Initial Pole Angle of PMSM Motor Field(0 - 360.0°)	0
F15	Direction of Rotation Indication(0 - 3)	0
F16	Secondary High Speed limit(100 - 9000rpm)	2000
F17	Software Version(0 - 32767)	207

รูปที่ 4.1 การตั้งค่าพารามิเตอร์กล่องควบคุมมอเตอร์เส้นทางหลัก

จากการทดเส้นทางหลักศูนย์อนุรักษ์พันธุพืช ฯ คลองไผ่ ระยะทางรวม 1.4 กิโลเมตร แสดงค่าการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.2-4.7

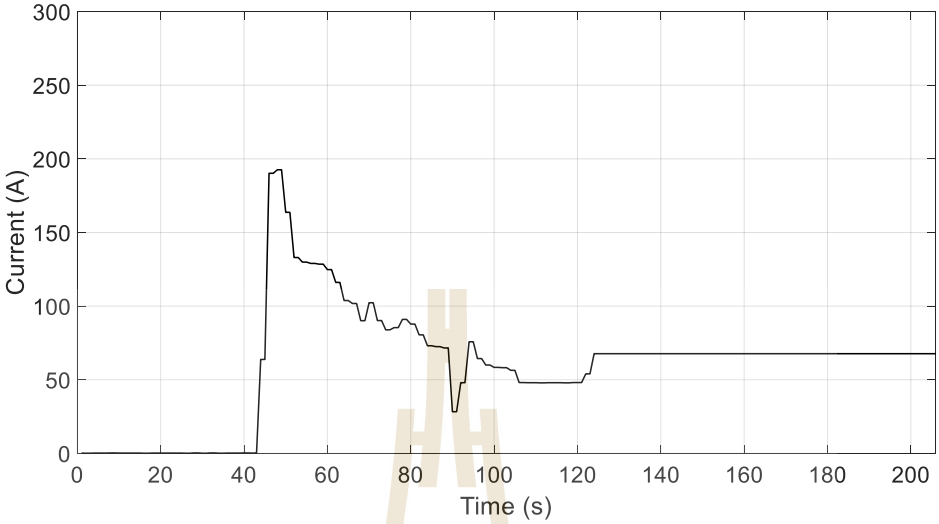


รูปที่ 4.2 คุณลักษณะความเร็วรถไฟฟ้าเส้นทางหลัก

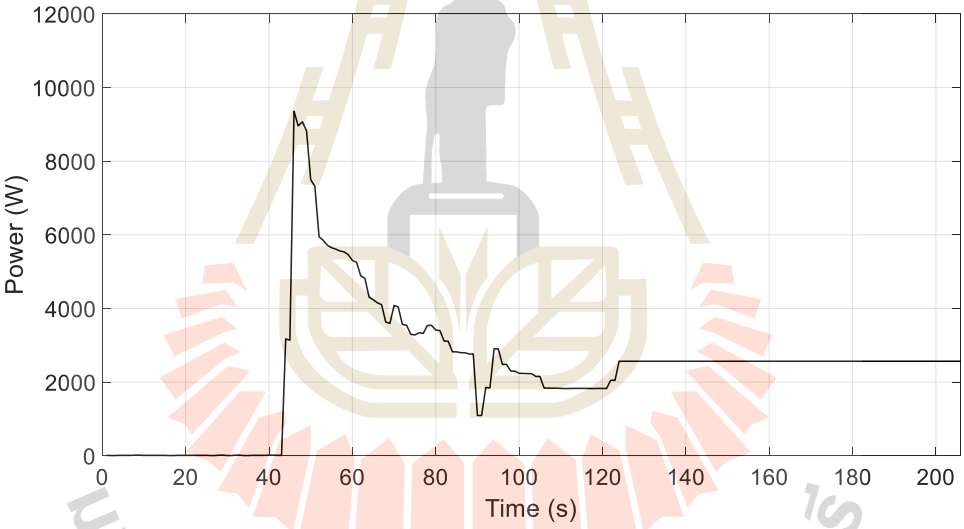


รูปที่ 4.3 ระดับแรงดันไฟฟ้าของตัวเก็บประจุยิ่งยวดเส้นทางหลัก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

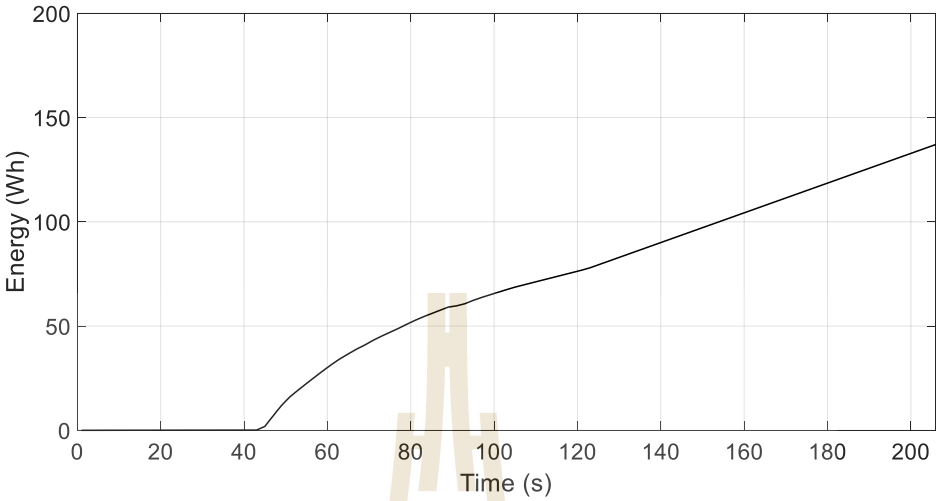


รูปที่ 4.4 ลักษณะการใช้กระแสไฟฟ้าของมอเตอร์เส้นทางหลัก

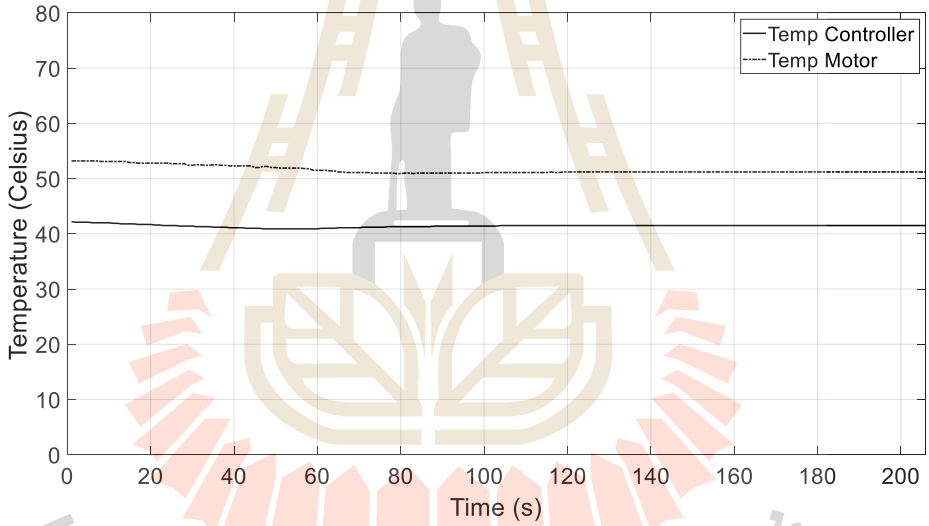


รูปที่ 4.5 ลักษณะการใช้กำลังไฟฟ้าของมอเตอร์เส้นทางหลัก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 4.6 การใช้พลังงานไฟฟ้าของมอเตอร์เส้นทางหลัก



รูปที่ 4.7 อุณหภูมิของกล่องควบคุมและมอเตอร์เส้นทางหลัก

จากรูปที่ 4.2 คุณลักษณะความเร็วของรถไฟขณะวิ่งบนเส้นทางทดสอบมีลักษณะความเร็วเพิ่มขึ้นในช่วง 40-80 วินาทีจากนั้นระดับความเร็วอยู่ที่ 0 km/h เนื่องจากตัวเก็บประจุยิ่งยวดที่ใช้นั้นมีขนาดที่เล็กและความจุพลังงานที่น้อยจึงทำให้สามารถขับเคลื่อนขบวนรถไฟได้ระยะทางเพียง 100 เมตร หรือเพียง 40 วินาทีเท่านั้น จากรูปที่ 4.3 ลักษณะของแรงดันไฟฟ้าของตัวเก็บประจุยิ่งยวดมีการคายประจุออกไปอย่างรวดเร็วจนทำให้ระดับแรงดันไฟฟ้าตกลงอยู่ในระดับ 37 V ซึ่งถือว่าเป็นการคายประจุจนหมด ไม่สามารถขับเคลื่อนขบวนรถได้ จากรูปที่ 4.4 และ 4.5 กระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าที่มอเตอร์ใช้ในช่วงออกตัวมีลักษณะที่พุ่งขึ้นสูงและหลังจากนั้นลงลดมาจนอยู่ในระดับคงที่และด้วยระดับแรงดันไฟฟ้าที่ลดลงต่ำทำให้กระแสที่คงที่และกำลังไฟฟ้าที่คงที่นั้นไม่สามารถ

ขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้าได้ จากรูปที่ 4.6 พลังงานไฟฟ้าที่มอเตอร์ใช้ในการวิ่งระยะทาง 100 เมตร อยู่ 75 Wh เท่านั้น ซึ่งจากลักษณะของกระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าแสดงให้เห็นว่าหลังจากวินาทีที่ 120 ไม่มีการทำงานของมอเตอร์จึงไม่ถูกนำมาคิดพลังงานไฟฟ้า และจากรูปที่ 4.7 เนื่องจากขบวนรถมีการขยับไม่มากนักจึงทำให้ระดับอุณหภูมิของอุปกรณ์ไม่มีการเพิ่มขึ้น

4.2 การทดสอบสมรรถนะเส้นทางภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

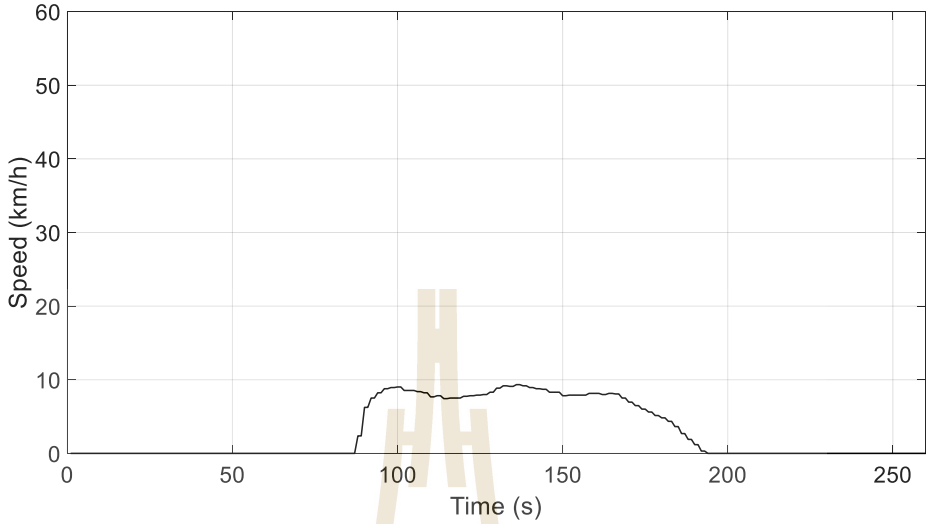
มีการตั้งค่าการทำงานของมอเตอร์และกล่องควบคุมเพื่อให้เหมาะสมกับการทำงานในเส้นทาง แสดงดังรูปที่ 4.8

Num	Description	DATA
F0	Motor Type(0 - 3)	0
F1	Motor Rated Power(0 - 150.0kW)	5
F2	Motor Rated Voltage(0 - 400.0V)	48
F3	Motor Rated Current(10 - 600.0A)	90
F4	Motor Rated Frequency(10 - 300.0Hz)	100
F5	Motor Maximum Frequency(10 - 400.0Hz)	240
F6	Motor Rated Speed(100 - 6000rpm)	2000
F7	Motor Maximum Speed Limit(0 - 9000rpm)	1000
F8	Non-load current of an AC Motor(15 - 45% of Rated)	25
F9	Rator Time-constant 1(0 - 10000)	450
F10	Rator Time-constant 2(0 - 10000)	600
F11	Time-constant Switching Frequency(0 - 100.0Hz)	50
F12	Pulse Numbers per Round of the Encoder(1 - 1000)	64
F13	Encoder Orientation(0 - 1)	1
F14	Initial Pole Angle of PMSM Motor Field(0 - 360.0°)	0
F15	Direction of Rotation Indication(0 - 3)	0
F16	Secondary High Speed limit(100 - 9000rpm)	3000
F17	Software Version(0 - 32767)	115

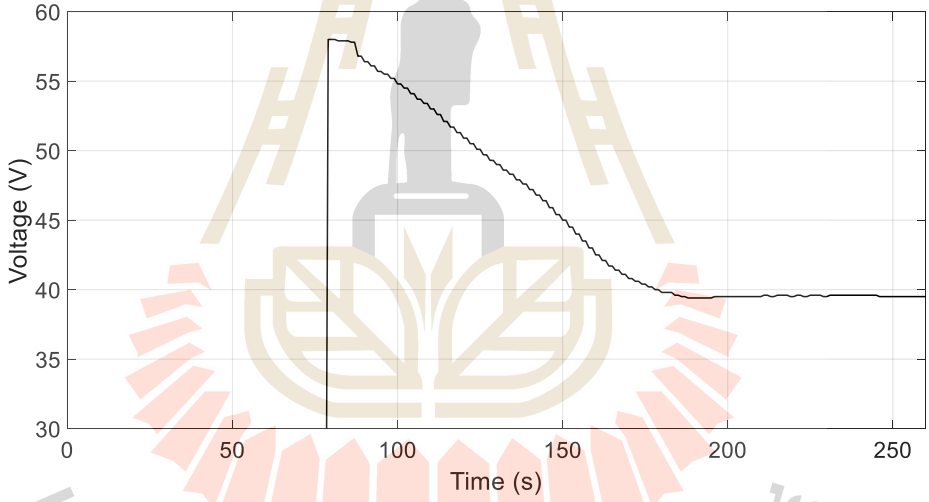
รูปที่ 4.8 การตั้งค่าพารามิเตอร์กล่องควบคุมมอเตอร์เส้นทาง มทส.

จากการทดเส้นทางมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ระยะทางรวม 250 เมตร แสดงค่าการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.9-4.14

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

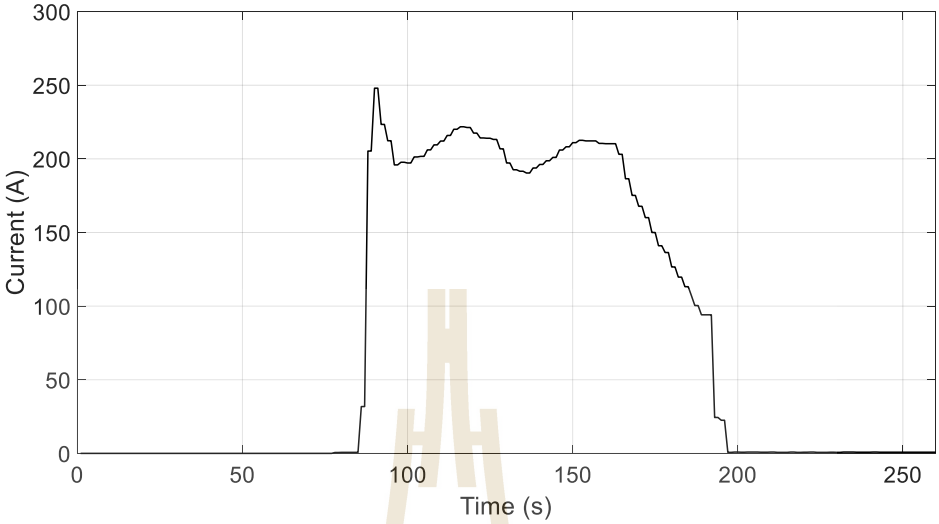


รูปที่ 4.9 คุณลักษณะความเร็วรถไฟฟ้าเส้น มทส.

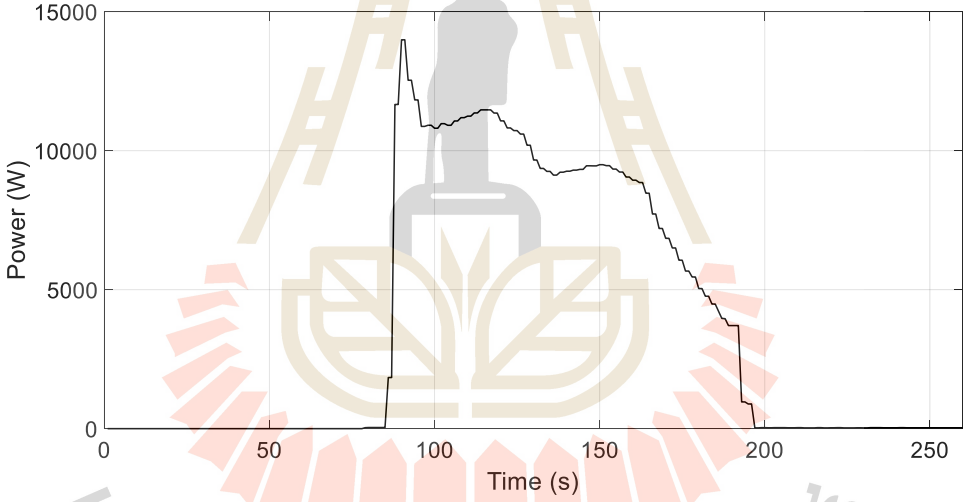


รูปที่ 4.10 ระดับแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่เส้นทาง มทส

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

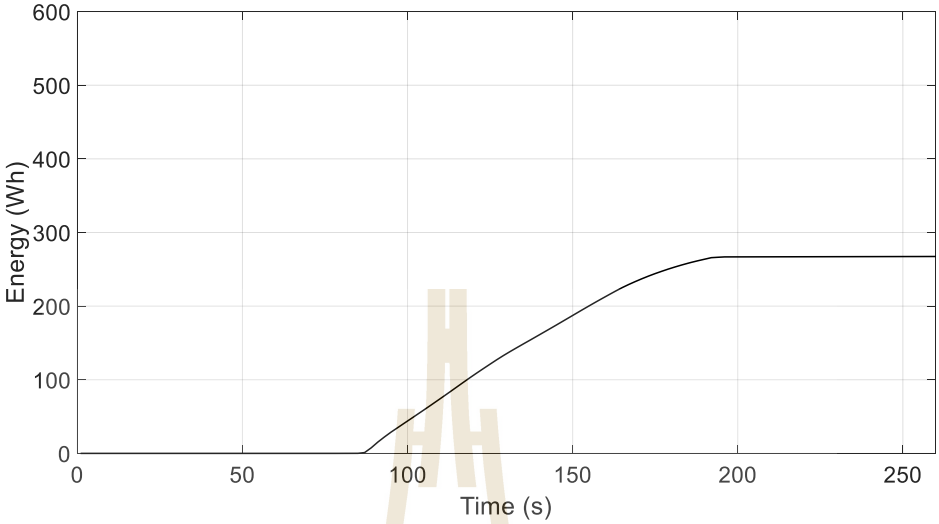


รูปที่ 4.11 ลักษณะการใช้กระแสไฟฟ้าของมอเตอร์เส้นทาง มทส.

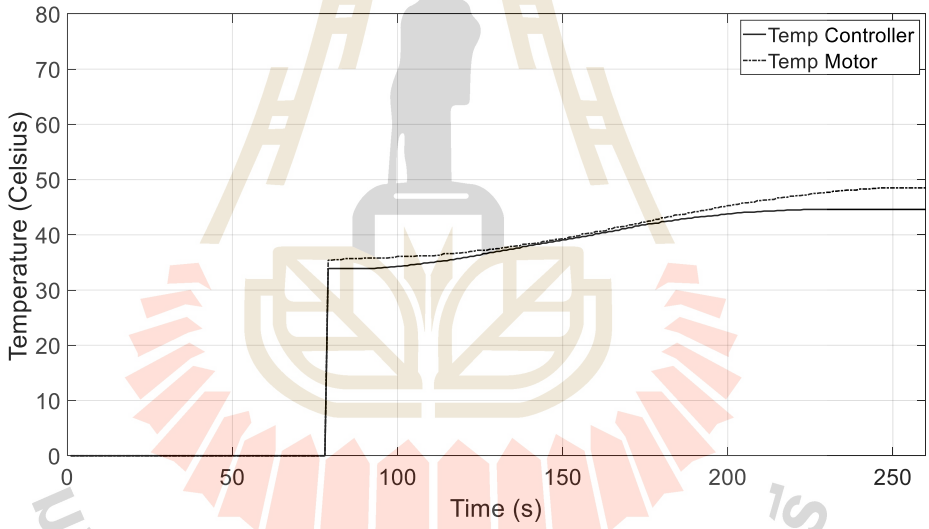


รูปที่ 4.12 ลักษณะการใช้กำลังไฟฟ้าของมอเตอร์เส้นทาง มทส.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 4.13 การใช้พลังงานไฟฟ้าของมอเตอร์เส้นทาง มทส.



รูปที่ 4.14 อุณหภูมิของกล่องควบคุมและมอเตอร์เส้นทาง มทส

จากรูปที่ 4.9 คุณลักษณะความเร็วของรถไฟขณะวิ่งบนเส้นทางทดสอบมีลักษณะความเร็วเพิ่มขึ้นในช่วง 80-180 วินาทีจากนั้นระดับความเร็วอยู่ที่ 0 km/h เนื่องจากตัวเก็บประจุยิ่งยวดที่ใช้นั้นมีขนาดที่เล็กและความจุพลังงานที่น้อยจึงทำให้สามารถขับเคลื่อนขบวนรถไฟได้ระยะทางเพียง 100 เมตร และลักษณะการทำงานจากรูปที่ 4.10-4.12 ไม่ต่างจากการทดสอบที่เส้นทางหลัก เมื่อเริ่มขับเคลื่อนขบวนรถไฟตัวเก็บประจุยิ่งยวดจะคายประจุจนหมดในช่วงเวลาอันสั้น จากรูปที่ 4.13 พลังงานไฟฟ้าที่มอเตอร์ใช้อยู่ที่ 267.41 Wh ในการเคลื่อนที่ และจากรูปที่ 4.14 อุณหภูมิของอุปกรณ์

เพิ่มขึ้นถึง 10 องศาเนื่องจากเส้นทาง มทส. มีลักษณะเป็นระนาบทำให้ไม่มีแรงช่วยในการเคลื่อนที่ออกตัวจึงทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นตามกระแสไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น

บทที่ 5
บทสรุป

จากผลการออกแบบทางกล ทีมวิจัยออกแบบแคร่ของรถรางไฟฟ้าไร้สายขนาดเล็กมีขนาดกว้างxยาวxสูง เป็น 420x590x211 mm และมีระยะห่างระหว่างล้อ 450 mm และขนาดของตู้พ่วงมีขนาด กว้างxยาวxสูง เป็น 500x3300x660 mm วัสดุที่ใช้เป็นเหล็กทั้งหมด จากการออกแบบทางโยธา ทีมวิจัยใช้รางรถไฟขนาด GB 6 kg รางวิ่งในบริเวณศูนย์อนุรักษ์พันธุกรรมพืช อพ.สธ. คลองไผ่ กว้าง 12 in ระยะทางวิ่งประมาณ 1.4 km มีทางแยก 8 จุด และยังประกอบด้วย 1 Depot และ 1 ชานชาลา และรางวิ่งในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี กว้าง 10 ¼ in ระยะทางวิ่งประมาณ 250 m มีทางแยก 12 จุด นอกจากนี้ยังประกอบด้วย 1 Depot และ 1 ชานชาลาเช่นกัน และจากการออกแบบทางไฟฟ้า ทีมวิจัยเลือกมอเตอร์เหนี่ยวนำ แรงดันไฟฟ้าพิกัด 48 Vdc ขนาดกำลังไฟฟ้าพิกัด 5 kW กำลังไฟฟ้าสูงสุด 15 kW ความเร็ว 3000-6500 rpm แรงบิดพิกัด 10 Nm แรงบิดสูงสุด 80 Nm น้ำหนัก 35 kg และอินเวอร์เตอร์ควบคุมมอเตอร์ แรงดันไฟฟ้าพิกัด 48 Vdc กระไฟฟ้าพิกัดต่อเนื่อง 120 A กระแสไฟฟ้าสูงสุด 350 A และน้ำหนัก 5 kg ระบบจ่ายพลังงานไฟฟ้าด้วย Super Capacitor มีขนาดแรงดันไฟฟ้าพิกัดและสูงสุด 48 Vdc และ 51 V กระแสไฟฟ้าสูงสุด 1900 A พลังงานที่เก็บสะสมได้ 53 Wh น้ำหนัก 13.5 kg และในการออกแบบระบบจ่ายไฟฟ้าให้กับรถรางไฟฟ้าไร้สายขนาดเล็กได้เพิ่มเติมแบตเตอรี่ขับเคลื่อนชนิดลิเทียมไอออน เป็นอุปกรณ์ช่วยจ่ายพลังงานไฟฟ้าด้วย แรงดันไฟฟ้าพิกัด 51.80 V ความจุกระแสไฟฟ้า 100 Ah พลังงานของแบตเตอรี่ 5.18 kWh ย่านแรงดันไฟฟ้าทำงานในช่วง 42-58.24 V กระแสไฟฟ้าอัดประจุต่อเนื่องและสูงสุด 25 A กระแสไฟฟ้าคายพลังงานต่อเนื่องและสูงสุด 62.50 A และ 125 A น้ำหนัก 43 kg ขณะขับเคลื่อนรถรางไฟฟ้าไร้สายสามารถเลือกสลับแหล่งจ่ายไฟฟ้าได้

ในส่วนการทดสอบ ทีมวิจัยได้ดำเนินการทดสอบการวิ่งของรถรางไฟฟ้าไร้สายขนาดเล็กที่ใช้ Super Capacitor ใน 2 เส้นทางการวิ่ง ได้แก่ เส้นทางศูนย์อนุรักษ์พันธุพืช อพ.สธ.คลองไผ่ ตำบลคลองไผ่ อำเภอสีคิ้ว จังหวัด นครราชสีมา ระยะทาง 1.4 km ขบวนรถประกอบด้วย 1 หัวรถจักร 4 ตู้โดยสาร และเส้นทางมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ตำสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา ระยะทาง 250 m ขบวนรถประกอบด้วย 1 หัวรถจักร 2 ตู้โดยสาร โดยการทดสอบในเส้นทางที่ 1 (อพ.สธ. คลองไผ่) การทดสอบวิ่งได้เพียงแค่ 100 m ใช้เวลาวิ่งทดสอบได้เพียง 40 s เท่านั้น และพลังงานที่สะสมใน Super Capacitor หมดไม่สามารถวิ่งทดสอบต่อได้ จากผลการทดสอบพบว่า

มอเตอร์ไฟฟ้าใช้พลังงานในการขับเคลื่อน 75 Wh ซึ่งรถรางไฟฟ้าไร้สายมีการติดตั้งมอเตอร์ขับเคลื่อนจำนวน 2 ชุดจึงสรุปได้ว่า รถรางไฟฟ้าไร้สายขนาดเล็กใช้พลังงานในการขับเคลื่อน 150 Wh และมีความเร็วเฉลี่ยที่ 15 km/h (ความเร็วสูงสุดที่ 25 km/h) แรงดันไฟฟ้าของ Super Capacitor ลดลงจาก 50 V เหลือ 37 V กระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าสูงสุดของมอเตอร์ขับเคลื่อนเป็น 190 A และ 9 kW ตามลำดับ ในขณะที่อุณหภูมิของมอเตอร์และกล่องควบคุมอยู่ในช่วง 42-53 °C ซึ่งถือว่าอยู่ในย่านที่ยอมรับได้ และการทดสอบในเส้นทางที่ 2 (มทส.) การทดสอบวิ่งได้เพียงแค่ 100 m เช่นกัน ใช้เวลาวิ่งทดสอบได้เพียง 100 s เท่านั้น พบว่า มอเตอร์ไฟฟ้าใช้พลังงานในการขับเคลื่อน 0.26 kWh ซึ่งรถรางไฟฟ้าไร้สายมีการติดตั้งมอเตอร์ขับเคลื่อนจำนวน 2 ชุดจึงสรุปได้ว่า รถรางไฟฟ้าไร้สายขนาดเล็กใช้พลังงานในการขับเคลื่อน 0.53 kWh และมีความเร็วเฉลี่ยที่ 7 km/h (ทางตรงอาจมีความเร็วสูงถึง 9 km/h) แรงดันไฟฟ้าของ Super Capacitor ลดลงจาก 57 V เหลือ 39 V กระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าสูงสุดของมอเตอร์ขับเคลื่อนเป็น 250 A และ 13 kW ตามลำดับ ในขณะที่อุณหภูมิของมอเตอร์และกล่องควบคุมอยู่ในช่วง 35-49 °C ซึ่งถือว่าอยู่ในย่านที่ยอมรับได้

จากผลสำเร็จของโครงการจะได้ต้นแบบขบวนรถรางไฟฟ้าไร้สายขนาดเล็กที่ใช้ Super Capacitor พร้อมเส้นทางวิ่งสาธิต ระยะทางไม่น้อยกว่า 1 km (Primary Result) จำนวน 2 ขบวน โดยในเส้นทางศูนย์อนุรักษ์พันธุพืช อพ.สธ.คลองไผ่ (เส้นทางหลัก) ระยะทางวิ่งทดสอบ 1.4 km และในเส้นทางมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (เส้นทางเสริม) ระยะทางวิ่งทดสอบ 250 m

ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากขนาด Super Capacitor ที่ออกแบบใช้งานในโครงการนี้มีขนาดไม่มากนัก (48 Vdc, 1900 A, 53 Wh) ทำให้ช่วยจ่ายพลังงานขับเคลื่อนขบวนรถรางไฟฟ้าไร้สายขนาดเล็กวิ่งได้เพียงแค่ 100 m เท่านั้น ดังนั้น ถ้าต้องการให้ขบวนรถรางไฟฟ้าไร้สายขนาดเล็กวิ่งได้ไกลกว่านี้ควรพิจารณาออกแบบและติดตั้ง Super Capacitor ให้มีขนาดใหญ่กว่านี้เพื่อเป็นแหล่งพลังงานไฟฟ้าหลักได้ หรือพิจารณาใช้ Super Capacitor เป็นแหล่งพลังงานไฟฟ้าสำรอง โดยมีแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนเป็นแหล่งพลังงานไฟฟ้าหลัก โดย Super Capacitor จะทำหน้าที่ในการเก็บพลังงานสำรองเพื่อใช้ในกรณีที่แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนไม่สามารถจ่ายพลังงานได้ และ Super Capacitor เหมาะที่จะใช้เก็บพลังงาน Regenerative braking ในช่วงที่รถรางไฟฟ้าขนาดเล็กเบรกและขณะเคลื่อนที่บนทางวิ่งที่มีความลาดเอียงลง

เอกสารอ้างอิง

Maksym Spiryagin Et al. (2014), Design and simulation of rail vehicles, Boca Raton, Taylor & Francis Group.

Molina Fandos. (2018), Investigation and classification of bogie designs and their potential to adopt lightweight structures by means of a database (Publication bachelor thesis). Karlsruhe Institute of technology, Germany.

Xavier Perpinya. (2012), Reliability and safety in railway, Croatia: InTech

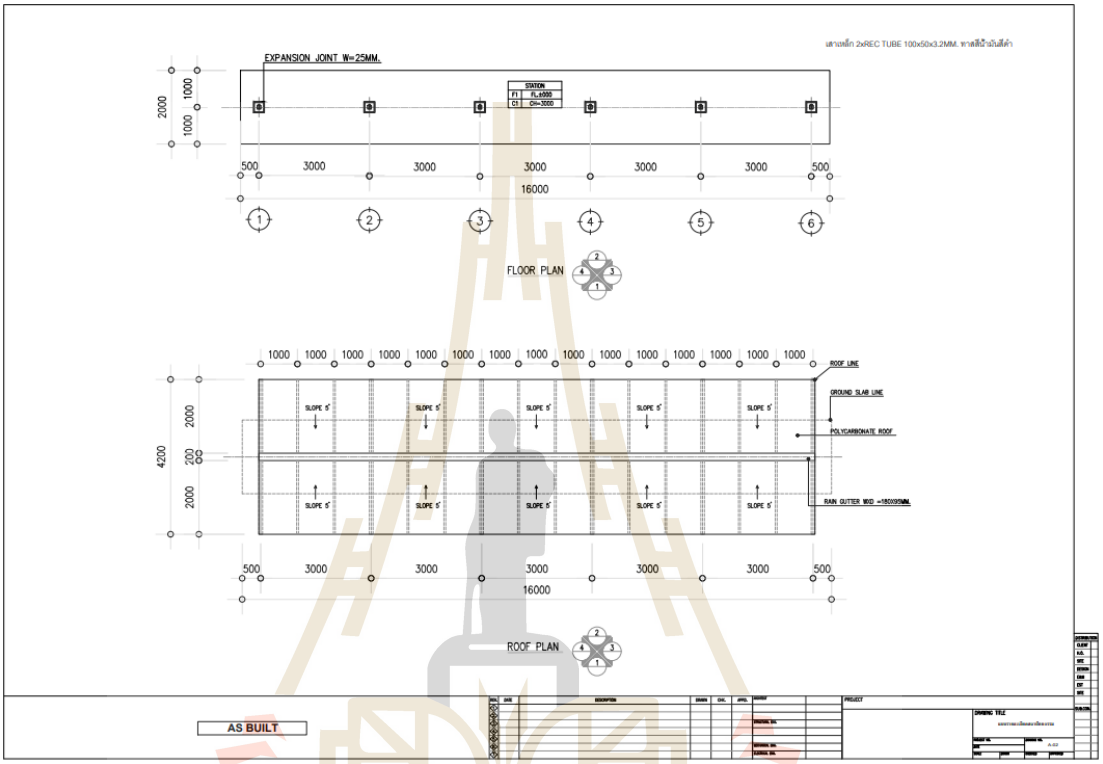
Lee, N.-J., & Kang, C.-G. (2015). The Effect of a Variable Disc Pad Friction Coefficient for the Mechanical Brake System of a Railway Vehicle. PLOS ONE, 10(8), e0135459. doi:10.1371/journal.pone.0135459

อดิศร สิงหกาญจน์. (2014). Rough Classification of brake systems for rail vehicles. Braking System. (น.45). การรถไฟแห่งประเทศไทย

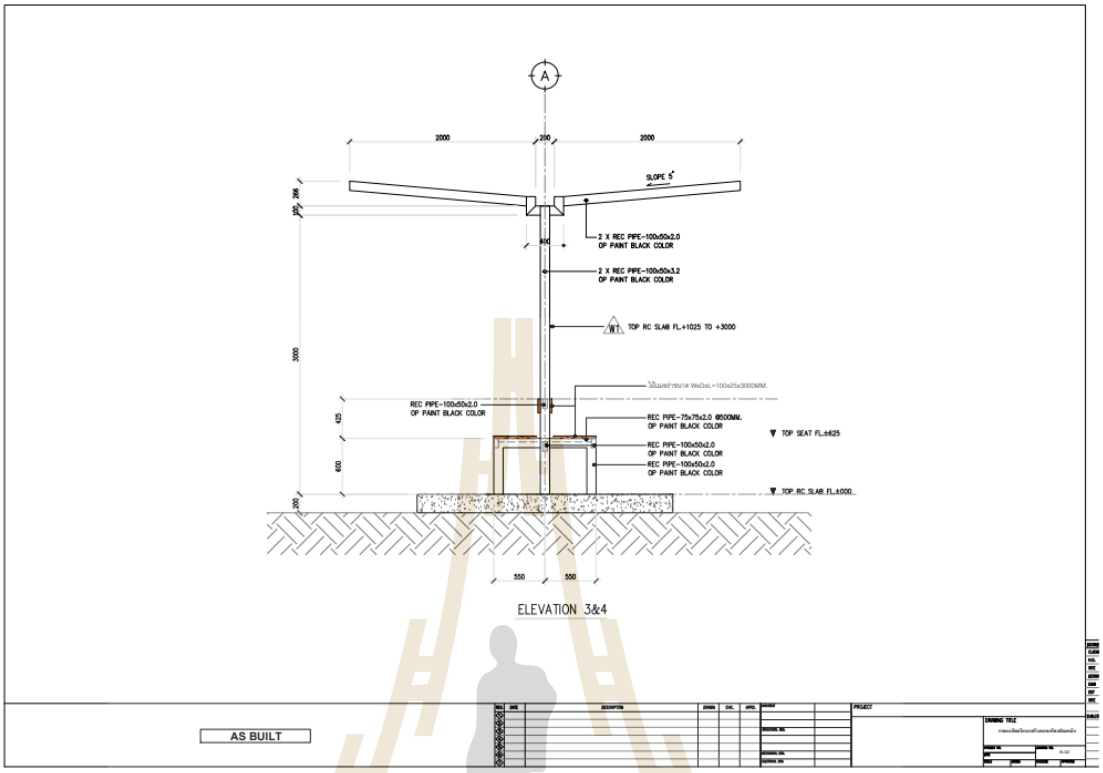
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

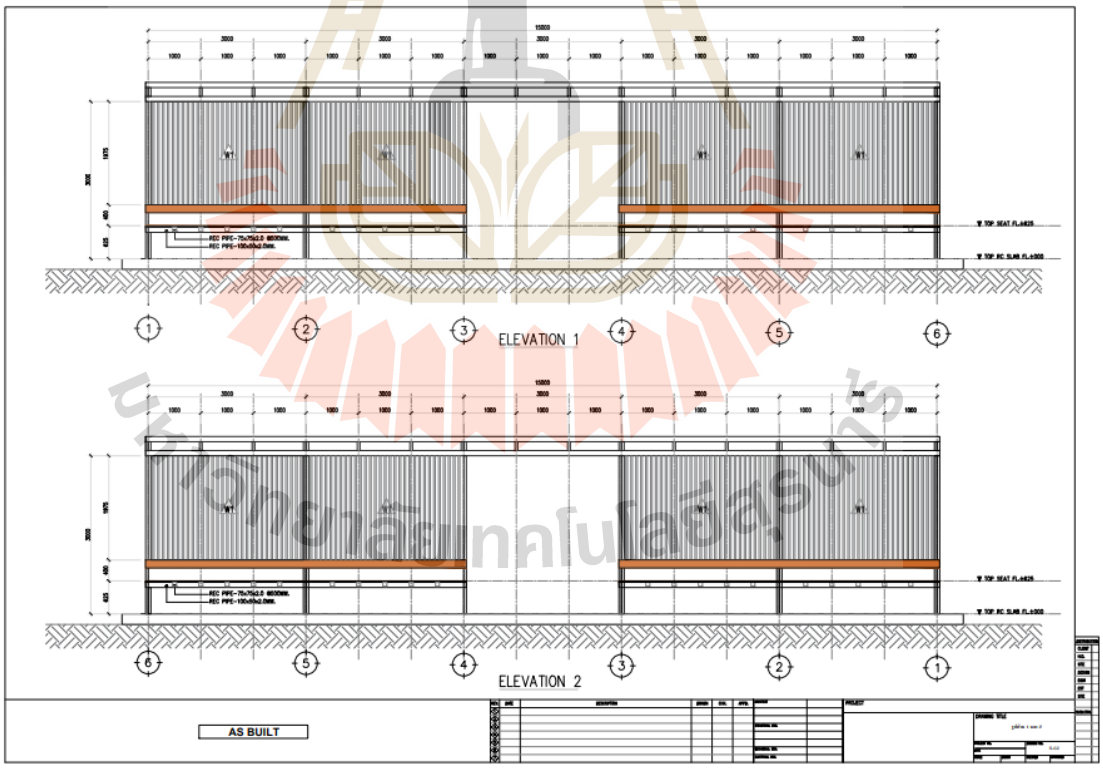
ภาคผนวก ก.

โครงสร้างชานชาลา เส้นทาง มทส.



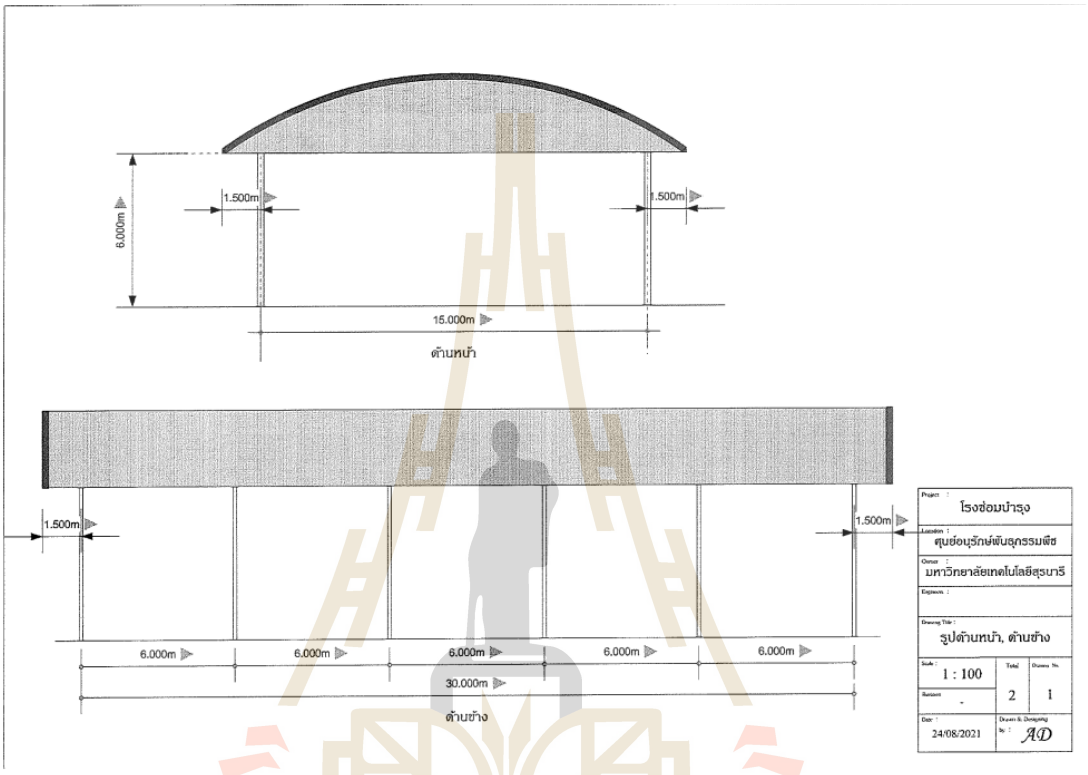
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

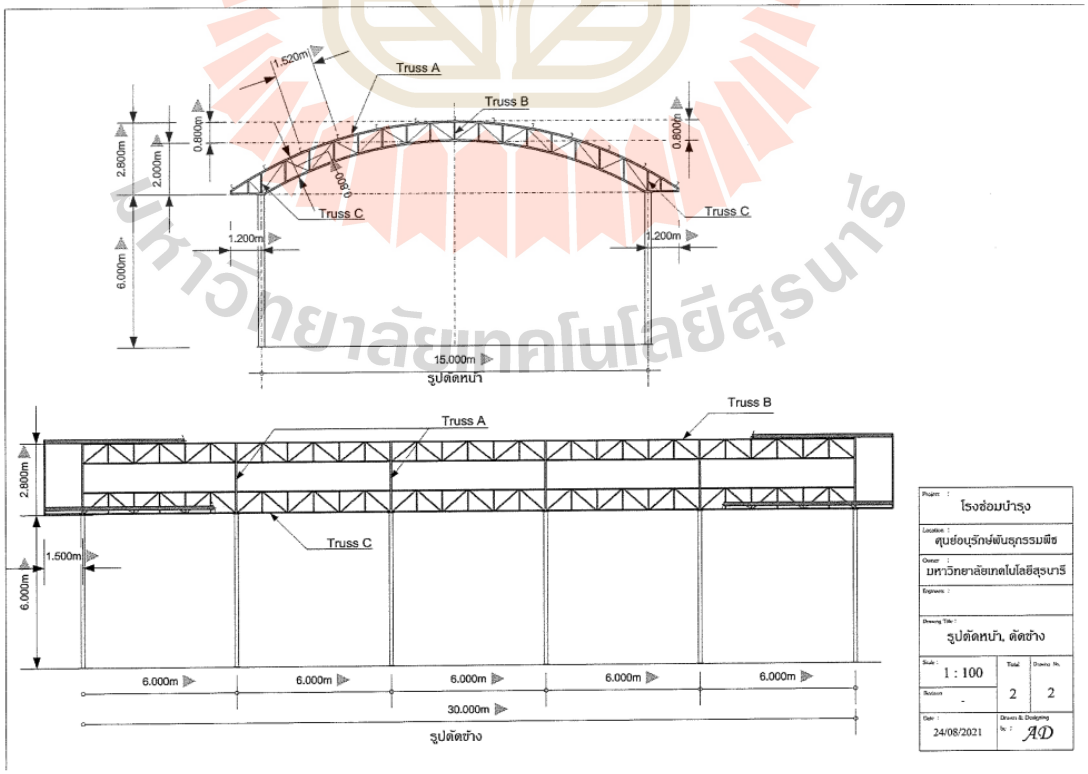

A
2000
200
2000
SLOPE 5°
2 X REC PIPE-100x50x2.0
OP PAINT BLACK COLOR
2 X REC PIPE-100x50x3.2
OP PAINT BLACK COLOR
W1
TOP RC SLAB FL.+1025 TO +3000
3000
REC PIPE-100x50x2.0
OP PAINT BLACK COLOR
REC PIPE-75x75x2.0 650MM.
OP PAINT BLACK COLOR
TOP SEAT FL.±625
REC PIPE-100x50x2.0
OP PAINT BLACK COLOR
REC PIPE-100x50x2.0
OP PAINT BLACK COLOR
TOP RC SLAB FL.±000
425
600
200
550
550
ELEVATION 3&4
AS BUILT


15000
3000
1000
W1
TOP SEAT FL.±625
TOP RC SLAB FL.±000
1
2
3
4
5
6
ELEVATION 1
ELEVATION 2
AS BUILT

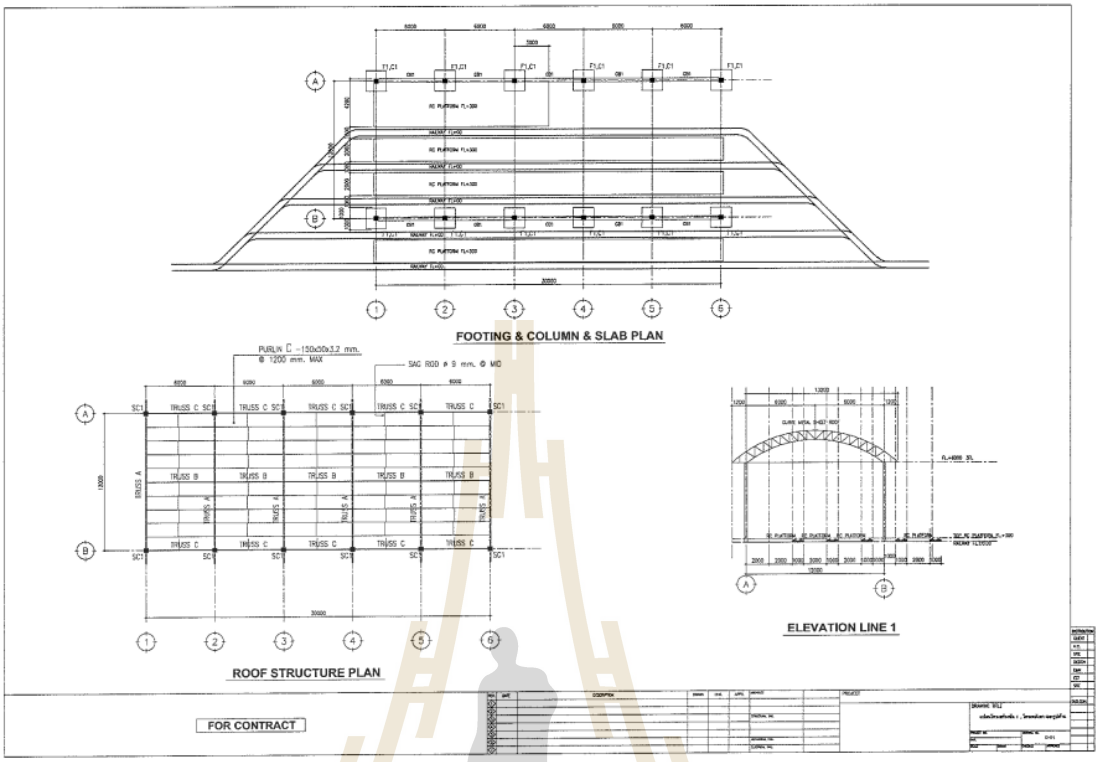
ภาคผนวก ข.

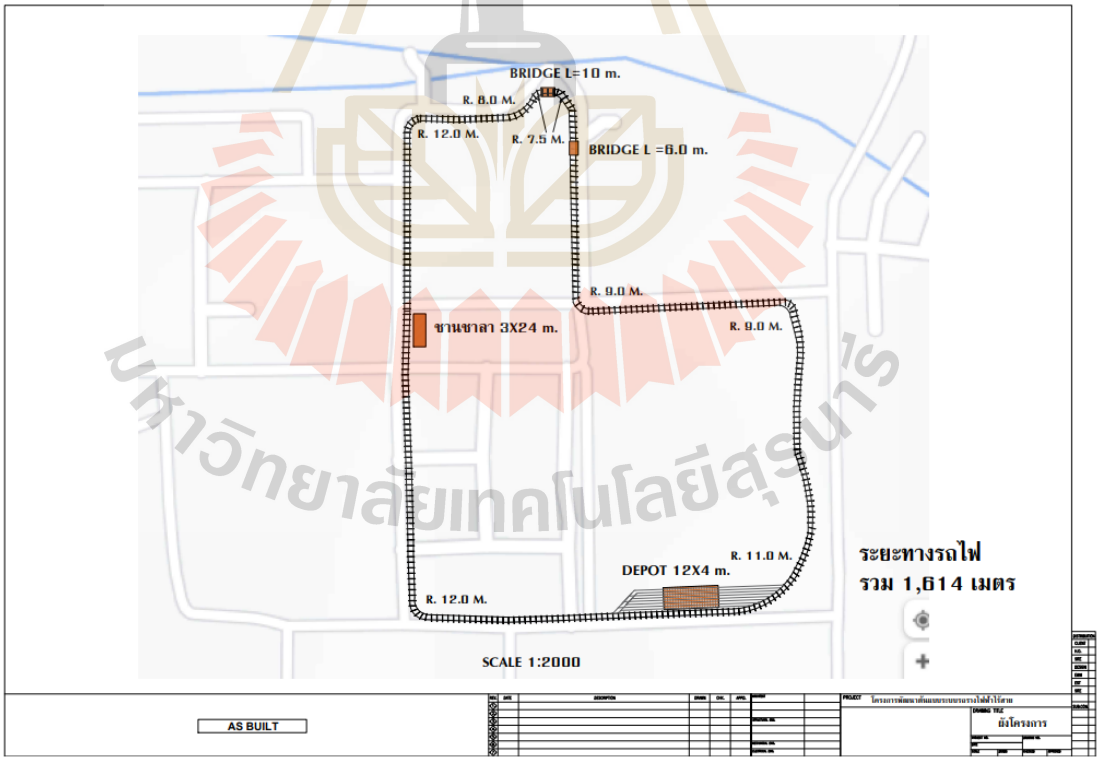
โครงสร้างชานชาลา เส้นทาง ศูนย์อนุรักษ์พันธุพืช ฯ คลองไผ่





มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี





มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก ค.
การทดสอบและติดตั้งอุปกรณ์

ศูนย์อนุรักษ์พันธุกรรมพืช อพ.สร

แบบประวัติส่วนตัว

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

111 ถ.มหาวิทยาลัย ต.สุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000

โทรศัพท์ 0 4422 4404 โทรสาร 0 4422 4601

รองศาสตราจารย์ ดร.ธนัดชัย กุลวรวานิชพงษ์

Assoc. Prof. Dr. Thanatchai Kulworawanichpong

1. **ชื่อและนามสกุล**

   นายธนัดชัย กุลวรวานิชพงษ์

   Mr. Thanatchai Kulworawanichpong

2. **ตำแหน่งปัจจุบัน หน่วยงานที่สังกัด และหมายเลขโทรศัพท์**

   รองศาสตราจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

   หัวหน้าสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

   สังกัดสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

   111 ถนนมหาวิทยาลัย ตำบลสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

   โทรศัพท์ 044-224404, 044-224400 โทรสาร 044-224601

   Email: thanatchai@gmail.com

3. **ประวัติการศึกษา**

   • ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต เกียรตินิยมอันดับ 1 (วิศวกรรมไฟฟ้า)
   มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา 2540

   • ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต วิศวกรรมไฟฟ้า
   จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร 2543

   • Ph.D. in Electronic and Electrical Engineering
   University of Birmingham, Birmingham, UK, 2004

4. **สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ**

   Power system, railway electrification, electric vehicle, power electronic, electrical drive and control, optimization and artificial intelligent technique

5. การทำวิจัยที่เกี่ยวข้องกับรถไฟฟ้าและระบบลากจูง

- ทุนอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการปริญญาเอกกาญจนาภิเษก พ.ศ. 2551
  เรื่อง Multi-agent system for DC Mass Transit Rail System
  (สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย สกว.)
- Lightning Surge Propagation in AT-fed Railway Power Feeding System
  (สำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา สกอ.)
- Optimal Regenerative Braking with Energy Storage System
  (กองทุนส่งเสริมและอนุรักษ์พลังงานกระทรวงพลังงาน)
- Voltage Stability Analysis for DC Mass Transit Rail System
  (กองทุนส่งเสริมและอนุรักษ์พลังงานกระทรวงพลังงาน)
- Demonstration of Zero Emission Bus Project for PEA (PEA Ze-Bus)
  (กองทุนวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยี กฟภ)
- ทุนอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพัฒนานักวิจัยและงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม (*พวอ.*) พ.ศ. 2556
  เรื่อง Development of Lithium-ion Battery Bus for Thailand
  (สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย สกว.)
- ทุนอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการปริญญาเอกกาญจนาภิเษก พ.ศ. 2556
  เรื่อง Analysis and Planning for Local Rapid Transit Rail System
  (สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย สกว.)
- ทุนอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพัฒนานักวิจัยและงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม (*พวอ.*) พ.ศ. 2557
  เรื่อง Development of Stray Current Monitoring System for DC Mass Transit System
  (สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย สกว.)
- ทุนอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการปริญญาเอกกาญจนาภิเษก พ.ศ. 2558
  เรื่อง Multi-train System Modeling and Simulation for Thailand's Mainline Railway
  (สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย สกว.)

6. การทำโครงการด้านวิชาชีพและบริการวิชาการ

- โครงการรถไฟฟ้าสายสีม่วง (MRT Purple Line)
  - Assessment of Earthing, Bonding and Lightning Protection
  - Assessment of Stray Current
- โครงการรถไฟฟ้าสายสีแดง (SRT Red Line)
  - Risk Assessment of Lightning Protection Systems
- โครงการรถไฟฟ้าบีทีเอสส่วนต่อขยายแบริ่ง-สมุทรปราการ หมอชิต-คูคต (BTS Green Line)
  - Power Supply Specialist

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

7. รางวัลที่ได้รับด้านงานวิจัย

พ.ศ. 2549 พนักงานดีเด่น ด้านนักวิจัยรุ่นใหม่ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

พ.ศ. 2554 ตำราวิจัยดีเด่น เรื่อง Optimization in Power Systems
จากสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์

8. ผลงานวิจัยที่ได้ทำการพิมพ์เผยแพร่

บทความวิชาการเผยแพร่ระดับชาติและนานาชาติจำนวนมากกว่า 100 ผลงาน ในฐานข้อมูล SCOPUS

9. งานวิชาชีพ

สามัญวิศวกร ไฟฟ้ากำลัง เลขทะเบียนใบอนุญาติ สฟก.5184

ผ่านการอบรมหลักสูตรวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย

- มาตรฐานระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้
- Transmission and Distribution System
- มาตรฐานสายไฟฟ้า มอก 11-2553
- Substation Equipment and Protective Relaying เป็นวิทยากรผ่านการอบรมของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย
- Railway Electrification Engineering

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี