

## กรณีศึกษา: ระบบขับเคลื่อนรถรางไฟฟ้าด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า เหนี่ยวนำขนาด 10 กิโลวัตต์

จักรกฤษณ์ จันทรเชียว<sup>1\*</sup> ณพวัฒน์ ทองพันซัง<sup>2</sup> ภัทรวัต ชัยคุณสมบัติ<sup>3</sup> และวรวิทย์ สีสาวรรณ<sup>4</sup>

บทคัดย่อ

ระบบขับเคลื่อนรถรางไฟฟ้าเป็นเทคโนโลยีสำคัญของระบบขนส่งมวลชนสมัยใหม่ ที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเดินทาง ลดการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล และลดการปล่อยมลพิษสู่สิ่งแวดล้อม งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาหลักการทำงานของระบบขับเคลื่อนรถรางไฟฟ้า และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้า โดยใช้ชุดทดลองระบบขับเคลื่อนรถรางไฟฟ้าในการทดสอบที่ความถี่ 27.5 30 35 40 45 และ 50 เฮิร์ตซ์ ผลการทดลองพบว่า เมื่อเพิ่มความถี่ของระบบแรงดันไฟฟ้า และความเร็วรอบของมอเตอร์จะเพิ่มขึ้น ตามลำดับ ส่งผลให้ระยะทางที่รถรางสามารถเดินทางได้ในระยะเวลา 1 ชั่วโมงเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยที่ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ ให้ความเร็วรอบสูงสุด 242 รอบต่อนาที และสามารถเดินทางได้ประมาณ 19.747 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่า การควบคุมความถี่ของระบบขับเคลื่อนมีผลโดยตรงต่อสมรรถนะการเดินรถ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการพัฒนาระบบรถไฟฟ้าและรถรางไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นในอนาคต

คำสำคัญ: ระบบขับเคลื่อน รถรางไฟฟ้า มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

<sup>1</sup> สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม

<sup>2,3</sup> สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการระบบราง คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี

<sup>4</sup> สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี

\* ผู้ประสานงานหลัก e-mail: Jrukkrit@siam.edu

วันที่รับบทความ 19 มิถุนายน 2569

วันที่แก้ไขบทความ 28 มิถุนายน 2569

วันที่ตอบรับบทความ 29 มิถุนายน 2569

## Case Study: Electric Tram Propulsion System with a 10 kW Induction Electric Motor

Jrukkrit Chankiew<sup>1\*</sup> Noppawath Thongbhundchang<sup>2</sup>

Phatarawat Chaikhunsombat<sup>3</sup> and Wolawit Leelawan<sup>4</sup>

### ABSTRACT

The electric tram propulsion system is an important technology in modern mass transit systems that helps improve transportation efficiency, reduce fossil fuel consumption, and decrease environmental pollution. This research aimed to study the operating principles of an electric tram propulsion system and to analyze the relationship between electrical frequency, voltage, and motor rotational speed. An electric railway propulsion system training set was used to conduct experiments at frequencies of 27.5, 30, 35, 40, 45, and 50 Hz. The experimental results showed that as the system frequency increased, both the voltage and the motor rotational speed increased accordingly. As a result, the distance that the tram could travel within one hour increased significantly. At a frequency of 50 Hz, the motor achieved the highest rotational speed of 242 rpm and enabled the tram to travel approximately 19.747 km/h. The findings indicated that frequency control of the propulsion system directly affected the operational performance of the tram. The results could be applied to the development of electric railway and electric tram systems to achieve higher efficiency in the future.

Keywords: propulsion system, electric tram, induction electric motor

---

<sup>1</sup> Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Siam University

<sup>2,3</sup> Railway System Management Engineering, Faculty of Science and Technology, Dhonburi Rajabhat University

<sup>4</sup> Industrial Technology, Faculty of Science and Technology, Dhonburi Rajabhat University

\* Corresponding author e-mail: Jrukkrit@siam.edu

Received: Jun 19, 2026

Revised: Jun 29, 2026

Accepted: Jun 29, 2026

## บทนำ

ปัจจุบันการขนส่งมวลชนด้วยระบบรางได้รับความสำคัญเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากสามารถรองรับผู้โดยสารจำนวนมาก ลดปัญหาการจราจร และช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสู่สิ่งแวดล้อม รถรางไฟฟ้าถือเป็นระบบขนส่งที่มีประสิทธิภาพสูง ใช้พลังงานไฟฟ้าซึ่งเป็นพลังงานสะอาด สามารถควบคุมการเร่งความเร็วและการชะลอความเร็วได้อย่างราบรื่น เพื่อให้รถไฟขบวนที่มาถึงสามารถใช้ความเร็วสูงสุดได้ หลักการนี้ก็เพื่อพยายามที่จะป้องกันรถไฟชนกันในเวลากลางคืนก็ใช้โคมไฟหรือตะเกียง (lantern) แทน (Zhang, Peng & Tao, 2021) ระบบขับเคลื่อนรถรางไฟฟ้าเริ่มมีการพัฒนาขึ้นครั้งแรกในปลายศตวรรษที่ 19 โดย แวร์เนอร์ ฟอน ซีเมนส์ (Werner Von Siemens) ได้พัฒนารถรางไฟฟ้าต้นแบบในประเทศเยอรมนี เมื่อปี ค.ศ. 1879 หลังจากนั้นเทคโนโลยีดังกล่าวได้แพร่หลายไปยังประเทศต่าง ๆ ทั่วโลก และได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องจนกลายเป็นระบบขนส่งหลักในหลายเมืองใหญ่ หมวดยานพาหนะและตัวรถขนส่งทางราง (Rolling Stock, R) มุ่งเน้นเรื่อง “ขบวนรถและส่วนประกอบของรถไฟ” เพื่อให้มั่นใจว่ารถทุกคันที่ให้บริการมีความปลอดภัย แข็งแรง และให้ความสะดวกสบายแก่ผู้โดยสาร ระบบขนส่งทางรางของประเทศไทยได้ขยายตัวอย่างต่อเนื่องทั้งรถไฟ รถไฟฟ้า และระบบขนส่งสินค้าทางราง เพื่อให้การพัฒนาเหล่านี้ดำเนินไปอย่างมีทิศทางเดียวกัน และมีมาตรฐาน จึงได้มีการจัดทำ “มาตรฐานการขนส่งทางราง” ขึ้น เพื่อใช้เป็นกรอบอ้างอิงทางเทคนิคและความปลอดภัยในการออกแบบ ก่อสร้าง และดำเนินงานระบบรางของประเทศอย่างเป็นระบบและสอดคล้องกับมาตรฐานสากล (กรมการขนส่งทางราง, 2566)

การขับเคลื่อนรถรางไฟฟ้าส่วนมากจะใช้มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส โดยมีหลักการทำงานเมื่อขดลวดไฟฟ้าสเตเตอร์สามเฟสเชื่อมต่อกับแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าสามเฟส กระแสไฟฟ้าสามเฟสจะไหลในขดลวด ด้วยเหตุนี้จึงทำให้สเตเตอร์มีพลังงานเกิดการหมุนของฟลักซ์แม่เหล็กที่เกิดขึ้นในช่องว่างอากาศ ฟลักซ์แม่เหล็กทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้า (Chapman, 2018) ระบบไฟฟ้าสามเฟสมีความสำคัญต่อการใช้งานในระบบขับเคลื่อนรถรางไฟฟ้าเป็นอย่างยิ่ง โดยทั่วไปมอเตอร์ไฟฟ้าสามเฟสจะต่อใช้งานแบบสตาร์ในระบบ 3 เฟส 4 สาย และระบบ 3 เฟส 3 สาย (Mohan, 2020) โดยเมื่อต่อกับโหลดได้สมดุลแบบสตาร์ จะได้กระแสที่เฟสเท่ากับกระแสที่สาย และทุกเฟสจะมีขนาดกระแสเท่ากัน แต่ในส่วนองแรงดันระหว่างสายจะมีค่าเป็น 1.73 เท่าของแรงดันเฟส และถ้าโหลดได้สมดุลต่อแบบเดลต้า กระแสที่สายจะมีค่าเป็น 1.73 เท่าของกระแสเฟส ในขณะเดียวกันแรงดันเฟสจะเท่ากับกับแรงดันที่สาย กรณีที่โหลดไม่ได้สมดุล เงื่อนไขในการวิเคราะห์จะพิจารณาเป็นเฟส อันเนื่องมาจากค่าอิมพีแดนซ์แต่ละเฟสมีค่าไม่เท่ากัน ในการหาค่ากำลังไฟฟ้าที่ต่อโหลดได้สมดุลสามารถทำได้เหมือนกับวงจรในระบบหนึ่งเฟส คือให้พิจารณาเพียงเฟสเดียว แล้วคูณด้วย 3 จะได้กำลังไฟฟ้าสามเฟส แต่ถ้าโหลดไม่ได้สมดุลต้องพิจารณาที่แต่ละเฟสแล้วนำมาบวกกันจึงจะได้ กำลังไฟฟ้า

สามเฟสที่ถูกต้อง (Hayt, Kemmerly & Durbin, 2019) องค์ประกอบสำคัญของระบบขับเคลื่อนรถรางไฟฟ้า ได้แก่ มอเตอร์ไฟฟ้า แหล่งจ่ายพลังงาน ระบบควบคุม และระบบเบรก ซึ่งทำงานร่วมกันเพื่อให้รถรางสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพและปลอดภัย

ปัจจุบันประเทศไทยมีการขนส่งมวลชนด้วยระบบรางที่มีอยู่ในปัจจุบัน ทั้งรถไฟฟ้าระหว่างเมืองและรถไฟฟ้าขนส่งมวลชน รถไฟฟ้าทางไกล โดยการรถไฟแห่งประเทศไทย (รฟท.) ให้บริการเส้นทางเดินรถที่เปิดการเดินรถแล้ว รวมทั้งสิ้น 4,346 กิโลเมตร ซึ่งรวมถึงทางคู่ช่วง-รังสิต ระยะทาง 31 กิโลเมตร และทางสามช่วง รังสิต-ชุมทางบ้านภาชี ระยะทาง 59 กิโลเมตร นอกจากนี้ยังมีการสร้างทางรถไฟฟ้าอีกสองเส้นทางคือ รถไฟฟ้าชานเมืองสายสีแดงอ่อน และรถไฟฟ้าชานเมืองสายสีแดงเข้ม หรือเรียกรวม ๆ ได้ว่า โครงการระบบรถไฟฟ้าชานเมือง (สายสีแดง) การขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำไฟฟ้าหนึ่งเฟสที่ใช้วงจรเอช-เอช เมตริกคอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสที่มีการแปลงผันพลังงานไฟฟ้าเพียงขั้นตอนเดียวโดยตรงจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับหนึ่งเฟสที่ไม่มีส่วนเชื่อมโยงไฟฟ้าดีซี ซึ่งจะทำการแปลงผันไฟฟ้าเอชอินพุตหนึ่งเฟสที่ความถี่ และขนาดคงที่ให้เป็นไฟฟ้าเอชเอาต์พุตหนึ่งเฟสที่สามารถปรับได้ทั้งความถี่เอาต์พุตและขนาดแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตได้ด้วยสัญญาณพัลส์บิตวึม แบบไซน์ซวยดอล (SPWM) ที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของสวิตช์สองทิศทางที่ใช้ในการตัดต่อไฟฟ้าเอชอินพุต ด้วยหลักการอัตราส่วนแรงดันไฟฟ้าต่อความถี่คงที่สามารถปรับความถี่ทางด้านเอาต์พุตที่ค่า 12.5 เฮิร์ตซ์ 25 เฮิร์ตซ์ และ 50 เฮิร์ตซ์ เพื่อใช้ในการปรับความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำไฟฟ้าหนึ่งเฟส (สันติสุข สว่างกล้า, สถาพร เสือเทศ และประสพโชค ให้อทองคำ, 2566)

ดังนั้น การวิจัยในครั้งนี้มุ่งเน้นการศึกษาระบบขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำสามเฟสความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ไฟฟ้าและสมรรถนะของระบบขับเคลื่อน ที่มีความสำคัญต่อการออกแบบและพัฒนากระบวนรางไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพสูงสุดในการใช้งาน

## วิธีการดำเนินการวิจัย

### 1. การศึกษาข้อมูลเบื้องต้น

- 1.1 ศึกษาหลักการทำงานของระบบขับเคลื่อนรถรางไฟฟ้า
- 1.2 ศึกษาองค์ประกอบของระบบมอเตอร์ไฟฟ้าและระบบควบคุม
- 1.3 วิเคราะห์ข้อมูลจากเอกสาร งานวิจัย และมาตรฐานระบบรางที่เกี่ยวข้อง

## 2. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- 2.1 ชุดทดลองระบบขับเคลื่อนรถไฟฟ้า
- 2.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ
- 2.3 ชุดควบคุมพีแอลซี (PLC)
- 2.4 อินเวอร์เตอร์ควบคุมความถี่ไฟฟ้า (Hz)
- 2.5 เครื่องวัดแรงดันไฟฟ้า (V)
- 2.6 เครื่องวัดความเร็วรอบ (rpm)

## 3. ขั้นตอนการทดลอง

- 3.1 ตรวจสอบการเชื่อมต่อสายไฟฟ้า สายสัญญาณ และระบบลม
- 3.2 ตรวจสอบระบบ PLC และระบบควบคุมก่อนเริ่มใช้งาน
- 3.3 เปิดโปรแกรมควบคุมและทดสอบการทำงานของระบบเบรก
- 3.4 ปรับค่าความถี่ของอินเวอร์เตอร์ที่ 27.5 30 35 40 45 และ 50 เฮิรตซ์
- 3.5 วัดค่าแรงดันไฟฟ้า (V) และความเร็วรอบของมอเตอร์ (rpm)
- 3.6 บันทึกผลการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูล



รูปที่ 1 Programi-Class



รูปที่ 2 ชุดควบคุมอินเวอร์เตอร์



รูปที่ 3 วัดความเร็วรอบมอเตอร์ (rpm)



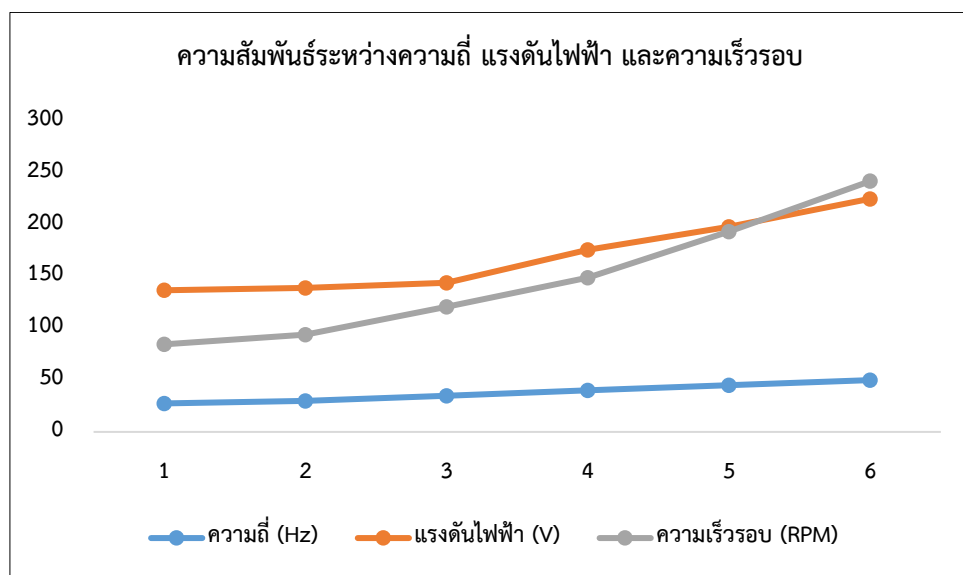
รูปที่ 4 วัดแรงดันไฟฟ้า (V) และความถี่ (Hz)

### ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการทดลองพบว่า ความถี่ไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าและความเร็วรอบของมอเตอร์เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การทดลองขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำระหว่างความถี่ แรงดันไฟฟ้า และความเร็วรอบ

| ความถี่ (Hz) | แรงดันไฟฟ้า (V) | ความเร็วรอบ (rpm) |
|--------------|-----------------|-------------------|
| 27.5         | 136.7           | 84.5              |
| 30           | 139.0           | 94.0              |
| 35           | 144.0           | 120.8             |
| 40           | 175.7           | 149.0             |
| 45           | 198.0           | 193.3             |
| 50           | 225.0           | 242.0             |



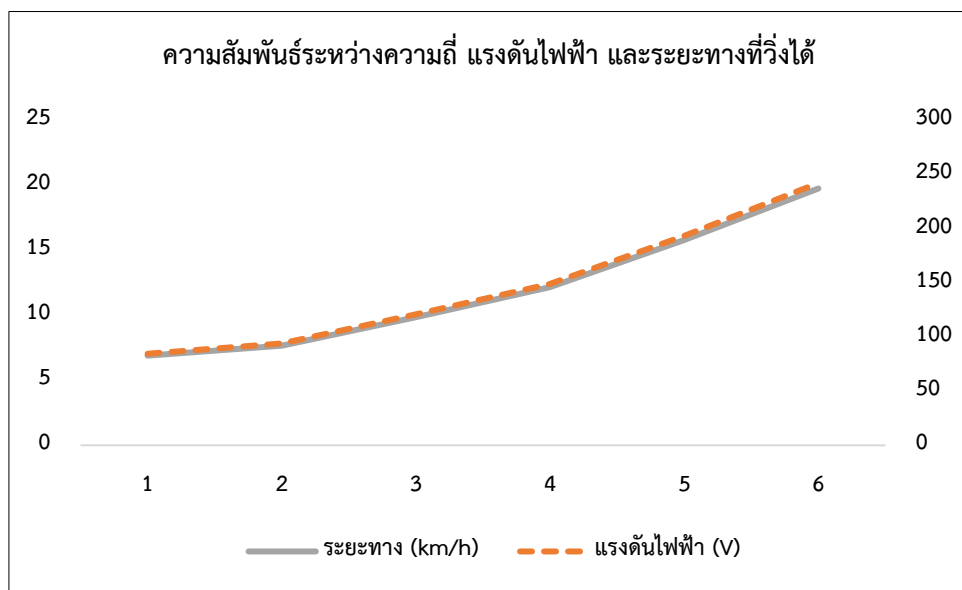
รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ แรงดันไฟฟ้า และความเร็วรอบ

จากกราฟจะเห็นแนวโน้มว่า เมื่อความถี่เพิ่มขึ้น ทั้งแรงดันไฟฟ้าและความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นตามลำดับ โดยเฉพาะช่วง 40-50 เฮิรตซ์ ที่ความเร็วรอบเพิ่มขึ้นค่อนข้างรวดเร็ว เมื่อเทียบกับช่วงความถี่ต่ำกว่า ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่สรุปว่า ความถี่มีผลโดยตรงต่อสมรรถนะของระบบขับเคลื่อนรถรางไฟฟ้า

เมื่อคำนวณระยะทางที่รถรางไฟฟ้าสามารถเดินทางได้ภายในเวลา 1 ชั่วโมง จะได้ข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ แรงดันไฟฟ้า และระยะทางที่วิ่งได้ในเวลา 1 ชั่วโมง

| ความถี่ (Hz) | แรงดันไฟฟ้า (V) | ระยะทาง (km) |
|--------------|-----------------|--------------|
| 27.5         | 84.5            | 6.895        |
| 30           | 94.0            | 7.670        |
| 35           | 120.8           | 9.857        |
| 40           | 149.0           | 12.158       |
| 45           | 193.3           | 15.773       |
| 50           | 242.0           | 19.747       |



ภาพที่ 6 ผลการทดลองการขับเคลื่อนไฟฟ้า

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ความถี่ไฟฟ้ามีความสัมพันธ์โดยตรงกับความเร็วรอบของมอเตอร์และระยะทางการเดินทาง

## สรุปผล

จากผลการทดลองพบว่า การเพิ่มความถี่ของแหล่งจ่ายไฟส่งผลให้ความเร็วรอบของมอเตอร์เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสที่ระบุว่า ความเร็วเชิงโคจรของมอเตอร์แปรผันตรงกับความถี่ไฟฟ้า เมื่อความถี่เพิ่มจาก 27.5 เฮิร์ตซ์ เป็น 50 เฮิร์ตซ์ ความเร็วรอบของมอเตอร์เพิ่มจาก 84.5 รอบต่อนาที เป็น 242 รอบต่อนาที ระยะทางที่รถรางสามารถเดินทางได้ใน 1 ชั่วโมงเพิ่มจาก 6.895 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เป็น 19.747 กิโลเมตรต่อชั่วโมง หรือเพิ่มขึ้นประมาณ 186 เปอร์เซ็นต์ แสดงให้เห็นว่า การควบคุมความถี่ด้วยอินเวอร์เตอร์เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการควบคุมความเร็วของรถรางไฟฟ้า อย่างไรก็ตามในการใช้งานจริงยังต้องพิจารณาปัจจัยอื่นร่วมด้วย เช่น น้ำหนักบรรทุก ความลาดชันของเส้นทาง ประสิทธิภาพของระบบส่งกำลัง และการใช้พลังงานไฟฟ้า เพื่อให้เกิดความเหมาะสมทั้งด้านประสิทธิภาพและความปลอดภัย แนวโน้มของทั้งความเร็วรอบ และระยะทางเป็นความสัมพันธ์เชิงบวก (positive relationship) กับความถี่ช่วง 45–50 เฮิร์ตซ์ มีอัตราการเพิ่มขึ้นของความเร็วรอบและระยะทางค่อนข้างสูง แสดงให้เห็นว่า การเพิ่มความถี่ส่งผลต่อสมรรถนะของระบบขับเคลื่อนอย่างชัดเจน ข้อมูลนี้สามารถใช้สนับสนุนการอภิปรายผลว่า ความถี่ของระบบขับเคลื่อนมีผลโดยตรงต่อความเร็วรอบมอเตอร์และสมรรถนะการเคลื่อนที่ของรถรางไฟฟ้า

การศึกษาระบบขับเคลื่อนรถรางไฟฟ้าพบว่าความถี่ไฟฟ้ามีผลโดยตรงต่อแรงดันไฟฟ้า ความเร็วรอบของมอเตอร์ และระยะทางการเดินทาง โดยเมื่อเพิ่มความถี่จาก 27.5 เฮิร์ตซ์ เป็น 50 เฮิร์ตซ์ ความเร็วรอบเพิ่มจาก 84.5 รอบต่อนาที เป็น 242 รอบต่อนาที และสามารถเพิ่มระยะทางการเดินทางจาก 6.895 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เป็น 19.747 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ผลการศึกษานี้สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการออกแบบและพัฒนาระบบขับเคลื่อนรถรางไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น และรองรับการพัฒนาาระบบขนส่งมวลชนในอนาคต

## เอกสารอ้างอิง

กรมการขนส่งทางราง. (2566). **มาตรฐานระบบรถไฟฟ้าและรถรางในประเทศไทย**. กรุงเทพมหานคร: กระทรวงคมนาคม.

สันติสุข สว่างกล้า, สถาพร เสือเทศ และประสพโชค ให่ทองคำ. (2566). การจำลองการขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำไฟฟ้าหนึ่งเฟสด้วยวงจรเอชไอ-เอชไอคอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสโดยใช้หลักการอัตราส่วนแรงดันไฟฟ้าต่อความถี่คงที่. ใน **การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 15**. (หน้า 238-241). จังหวัดนครพนม: โรงแรมฟอร์จูน ริเวอร์วิว นครพนม.

- Chapman, S. J. (2018). **Electric Machinery Fundamentals**. (5<sup>th</sup> ed.). New York: McGraw-Hill.
- Hayt, W. H., Kemmerly, J. E., & Durbin, S. M. (2019). **Engineering Circuit Analysis**. (9<sup>th</sup> ed.). New York: McGraw-Hill Education.
- Mohan, N. (2020). **Electric Power Systems: A First Course**. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
- Zhang, R., Peng, Y., & Tao, Y. F. (2021). Research and Design of Switch Control Module of Railway Signaling Based on Power Electronics Technology. **Journal of Physics: Conference Series**, 1972(1), [5 p.]. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1972/1/012045>