รถไฟพลังงานแบตเตอรี่

(Battery electric multiple unit: BEMU)

กรมการขนส่งทางราง
กระทรวงคมนาคม

เรียบเรียงโดย

ดร.ทยากร จันทรางศุ
นายปัณณพัทธ์ สมหวัง

กองมาตรฐานความปลอดภัยและบำรุงทาง

รถไฟพลังงานแบตเตอรี่
(Battery electric multiple unit: BEMU)

รถไฟพลังงานแบตเตอรี่ เป็นรถไฟที่ใช้พลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ที่ติดตั้งในตัวรถไฟในการจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้แก่มอเตอร์ขับเคลื่อน (Traction Motor) แทนการรับกำลังไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานไฟฟ้าภายนอก ผ่านระบบสายส่งไฟฟ้าเหนือหัว (Overhead catenary system) หรือระบบจ่ายไฟฟ้ารางที่สาม (3rd Rail) โดยต้องมีการติดตั้งแบตเตอรี่ที่ตัวรถไฟ ดังรูปที่ 1

รูปที่ 1 : แผงแบตเตอรี่ที่ติดตั้งในรถไฟพลังงานแบตเตอรี่ ELECTROSTAR

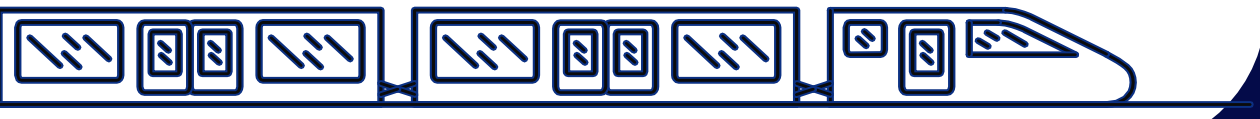
โดยการทำงานของรถไฟพลังงานแบตเตอรี่ จะแบ่งเป็น 2 ช่วงการทำงาน

1 ช่วงที่วิ่งในทางที่มีโครงข่ายจ่ายพลังงานไฟฟ้า

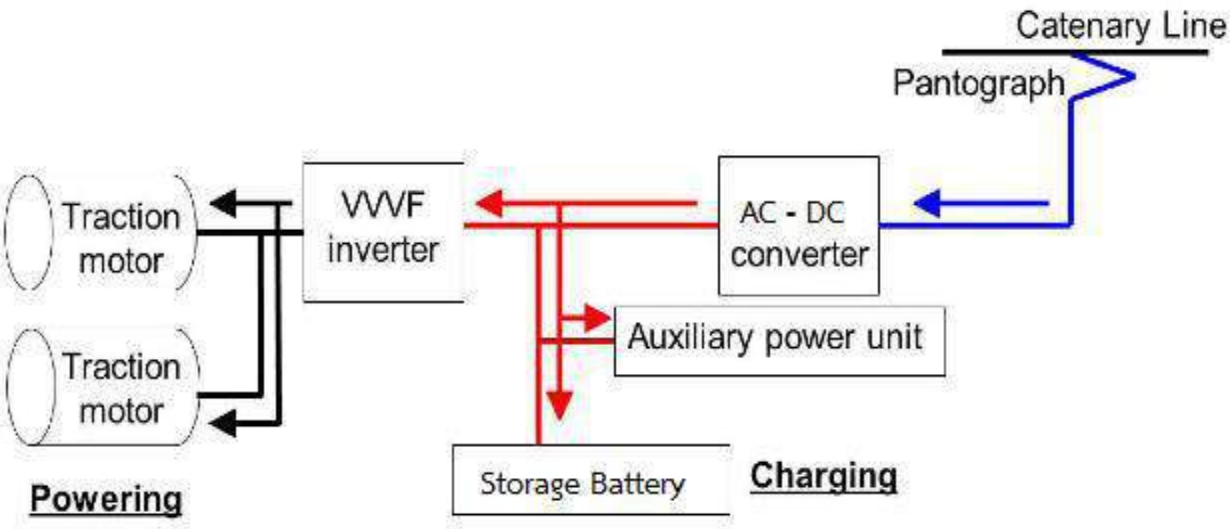
ในช่วงที่วิ่งในทางที่มีโครงข่ายจ่ายพลังงานไฟฟ้าจะมีการทำงานที่คล้ายคลึงกับรถไฟพลังงานไฟฟ้าทั่วไป คือ ใช้พลังงานไฟฟ้าจากโครงข่ายจ่ายพลังงานไฟฟ้าในการขับเคลื่อนมอเตอร์ขับเคลื่อน แต่จะมีการชาร์จพลังงานของแบตเตอรี่ที่ติดตั้งในตัวรถไฟร่วมด้วย

2 ช่วงที่วิ่งในทางที่ไม่มีโครงข่ายจ่ายพลังงานไฟฟ้า

ส่วนในช่วงที่วิ่งในทางที่ไม่มีโครงข่ายจ่ายพลังงานไฟฟ้าจะทำการดึงพลังงานไฟฟ้าที่เก็บเอาไว้ในแบตเตอรี่มาจ่ายให้กับมอเตอร์ขับเคลื่อนเพื่อขับเคลื่อนรถไฟ

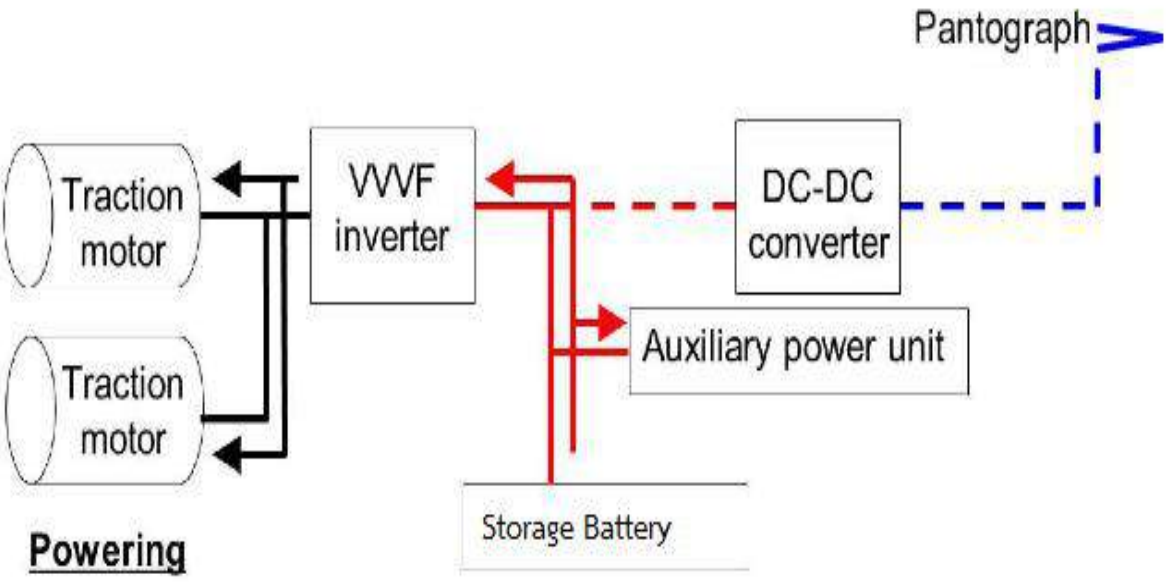


แสดงการทำงานของระบบรถไฟพลังงานแบตเตอรี่ในช่วงที่วิ่งในทางที่มีโครงข่ายจ่ายพลังงานไฟฟ้า ดังรูปที่ 2



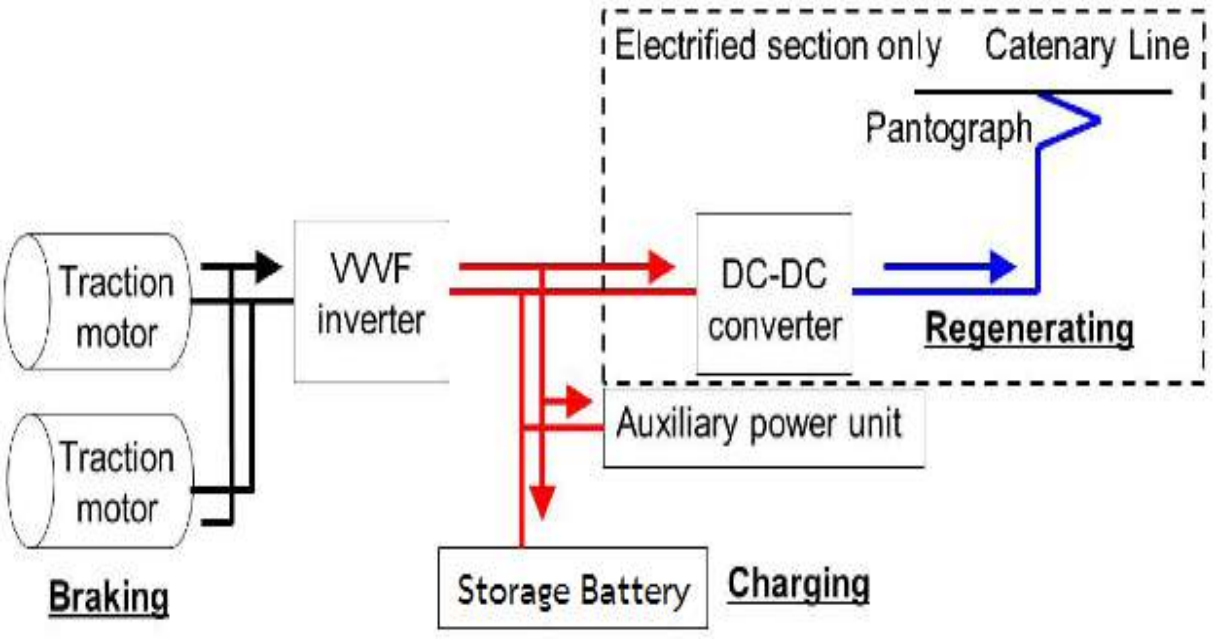
รูปที่ 2 : การทำงานของระบบรถไฟพลังงานแบตเตอรี่ในช่วงที่วิ่งในทางที่มีโครงข่ายจ่ายพลังงานไฟฟ้า

แสดงการทำงานของระบบรถไฟพลังงานแบตเตอรี่ในช่วงที่วิ่งในทางที่ไม่มีโครงข่ายจ่ายพลังงานไฟฟ้า ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 : การทำงานของระบบรถไฟพลังงานแบตเตอรี่ในช่วงที่วิ่งในทางที่ไม่มีโครงข่ายจ่ายพลังงานไฟฟ้า

นอกจากนี้ในรถไฟบางรุ่นยังสามารถทำการเบรกโดยจ่ายพลังงานคืน (Regenerative Braking) ได้โดยในช่วงที่รถไฟทำการเบรกจะทำการเปลี่ยนการทำงานจากมอเตอร์ขับเคลื่อน เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งสามารถนำไฟฟ้าที่ผลิตได้ไปชาร์จแบตเตอรี่ที่ติดตั้งในตัวรถหรือจ่ายคืนกลับเข้าไปในระบบไฟฟ้าได้



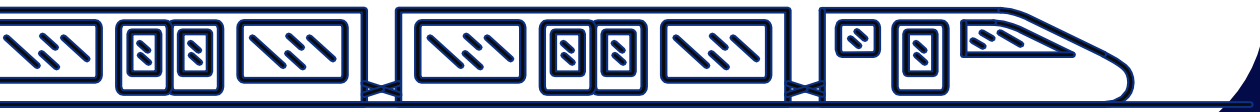
รูปที่ 4 : การทำงานของระบบรถไฟพลังงานแบตเตอรี่ในช่วงเบรก

ข้อดีของรถไฟพลังงานแบตเตอรี่

- ไม่ต้องลงทุนในการติดตั้งโครงข่ายในการจ่ายพลังงานไฟฟ้าอย่างระบบสายส่งไฟฟ้าเหนือหัว (Overhead catenary system) หรือระบบจ่ายไฟฟ้ารางที่สาม (3rd Rail)

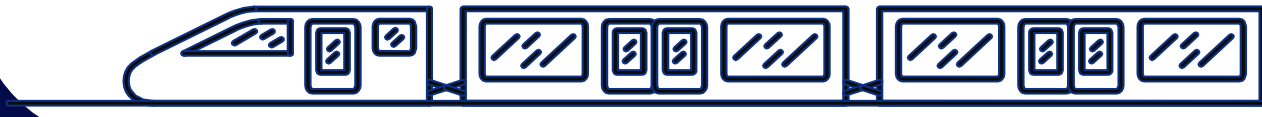
- ประหยัดพลังงาน

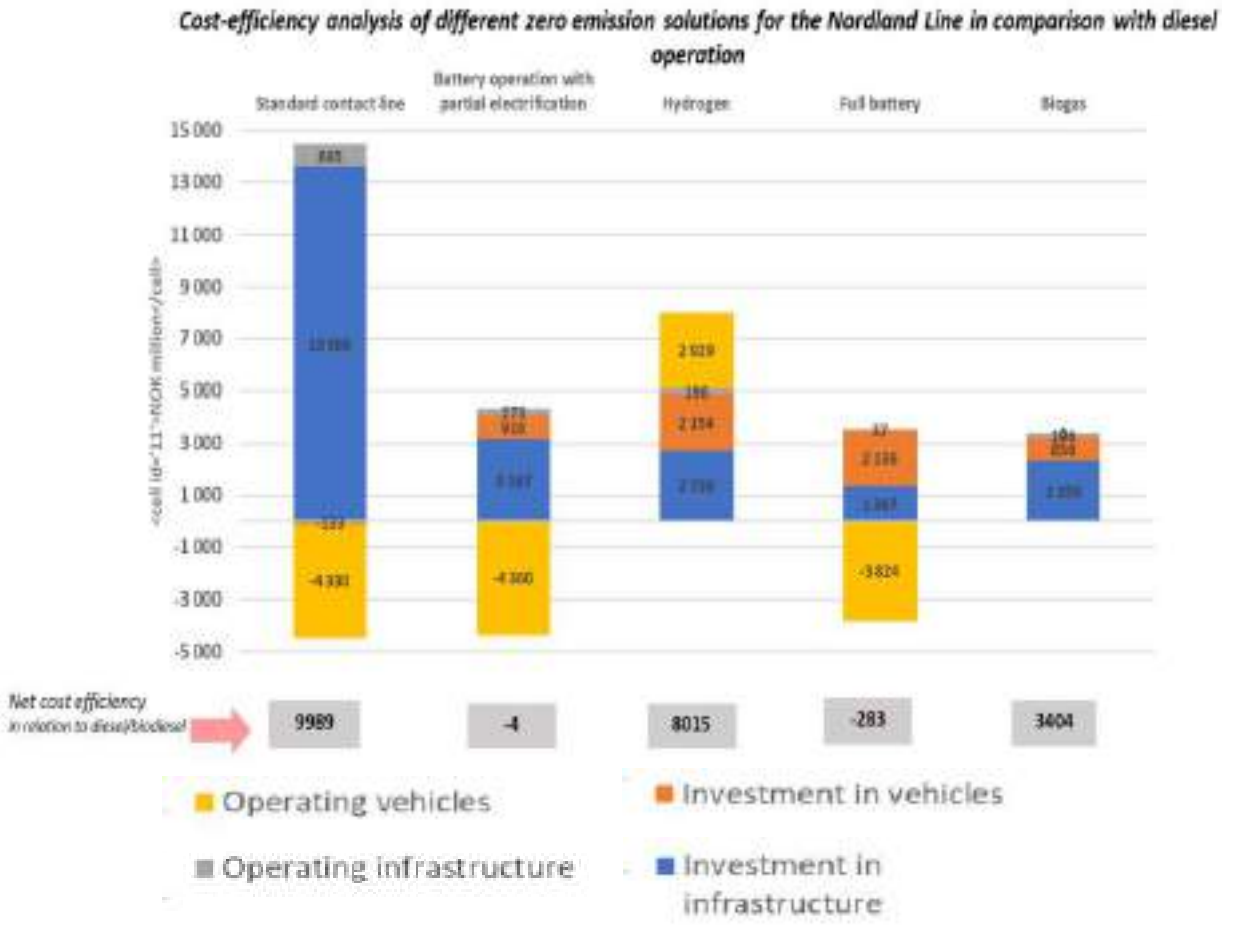
- รวมถึงลดการปล่อยมลพิษเมื่อเทียบกับรถดีเซลราง เช่น มีผลวิจัยว่าในประเทศแทนซาเนีย รถแทรมที่ใช้พลังงานจากแบตเตอรี่จะลดค่าพลังงานและลดการปล่อยคาร์บอนได้ถึง **86.67%** และ **64.96%** ตามลำดับ[1]



และข้อมูลจากประเทศเยอรมนีที่มีค่าพลังงานของรถไฟพลังงานแบตเตอรี่ 0.65 ยูโรต่อกิโลเมตร เมื่อเทียบกับรถดีเซลรางที่มีค่าพลังงาน 1.00 ยูโรต่อกิโลเมตร และมีอัตราการปล่อยคาร์บอนน้อยลง 17% เมื่อเทียบกับรถดีเซลราง [2]

และจากผลการศึกษาการลงทุนด้านการปรับเปลี่ยนระบบจ่ายพลังงานรถไฟในสาย Nordland ประเทศนอร์เวย์ พิจารณาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ (อายุโครงการที่ 75 ปี) พบว่าการลงทุนติดตั้งระบบแบตเตอรี่ให้กับรถไฟจะมีความคุ้มค่าที่สุด [3]





รูปที่ 5 : การเปรียบเทียบการลงทุนการปรับเปลี่ยนระบบจ่ายพลังงานรถไฟในสาย Nordland ประเทศนอร์เวย์

แต่มีข้อเสีย คือ รถไฟจะมีน้ำหนักที่มากขึ้นจากแบตเตอรี่ที่ติดตั้งที่ตัวรถไฟ รวมถึงต้องมีการติดตั้งสถานีอัดประจุไฟฟ้าตามสถานีระหว่างทางวิ่ง หรือสามารถใช้โครงข่ายในการจ่ายพลังงานไฟฟ้าที่มีอยู่เดิมเป็นตัวอัดประจุไฟฟ้าร่วมด้วยก็ได้ และต้องมีระยะเวลาในการชาร์จแบตเตอรี่ก่อนให้บริการต่อ

โดยในต่างประเทศได้มีการศึกษาและทดสอบใช้งานอยู่บ้าง อาทิเช่น

เมืองเฉิงตู เมืองเอกของมณฑลเสฉวน มหาวิทยาลัยซีหนานเจียงทง (Southwest Jiaotong University)

ได้วิจัยและผลิตรถไฟฟ้าแบบแขวน (suspension railway) พลังงานแบตเตอรี่ลิเธียมขบวนแรกของโลก และได้ทดสอบระบบการใช้งานรถไฟฟ้าแบบแขวนพลังงานแบตเตอรี่ลิเธียม โดยรถไฟฟ้าแบบแขวนขบวนดังกล่าวขับเคลื่อนด้วยพลังงานแบตเตอรี่ลิเธียม ซึ่งการชาร์จต่อครั้งสามารถทำให้รถไฟวิ่งได้นาน 4 ชั่วโมง วิ่งด้วยความเร็ว 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง บนรางรถไฟที่ยาวประมาณ 1.4 กิโลเมตร และหนึ่งตู้สามารถจุผู้โดยสารได้ประมาณ 120 คน [4]

รูปที่ 6 : รถไฟฟ้าแบบแขวนพลังงานแบตเตอรี่ลิเธียมที่ทดสอบที่เมืองเฉิงตู

เมืองมิชิมะ จังหวัดชิซูโอกะ ประเทศญี่ปุ่น

ได้ทำการทดสอบรถไฟความเร็วสูงชิงกันเซ็งขบวนแรกของโลกที่ใช้พลังงานแบตเตอรี่ หรือขบวน N700s โดยติดตั้งแบตเตอรี่ไว้ใต้ตู้โดยสารรถไฟ ในกรณีฉุกเฉินที่ระบบจ่ายไฟฟ้าเหนือหัวมีปัญหา จะสามารถใช้พลังงานจากแบตเตอรี่วิ่งไปจนถึงสถานีเติมพลังงานที่อยู่ใกล้ที่สุดได้[5]

รูปที่ 7 : รถไฟความเร็วสูงชิงกันเซ็งพลังงานแบตเตอรี่

Karasuyama จังหวัดโทชิงิ (Tochigi) ประเทศญี่ปุ่น

มีการใช้รถไฟพลังงานแบตเตอรี่รุ่น EV-E301 ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าจากโครงข่ายไฟฟ้าเหนือหัวระดับไฟฟ้ากระแสตรงระดับแรงดัน 1500 โวลต์ ร่วมกับแบตเตอรี่ โดยติดตั้งแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนระดับแรงดัน 600 โวลต์ ขนาด 95 kWh จำนวน 2 ชุด และวิ่งในทางที่ไม่มีโครงข่ายไฟฟ้าเหนือหัวในเส้นทาง Karasuyama ระยะทาง 20 กิโลเมตร ด้วยความเร็ว 65 กิโลเมตรต่อชั่วโมง (ความเร็วสูงสุด 100 กิโลเมตรต่อขั่วโมง) ซึ่งรถไฟจะชาร์จแบตเตอรี่ที่สถานี Karasuyama อันเป็นสถานีปลายทาง ผ่านแพนโทกราฟที่รับไฟจากสายส่งไฟฟ้าเหนือหัว[6]

รูปที่ 8 : รถไฟพลังงานแบตเตอรี่รุ่น EV-E301

จังหวัดอะกิตะ (Akita)

รถไฟพลังงานแบตเตอรี่รุ่น EV-E801 เป็นรุ่นที่พัฒนามาจากรุ่น EV-E301 โดยติดตั้งแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน ขนาด 360 kWh ที่ตัวรถไฟ และชาร์จพลังงานผ่านโครงข่ายไฟฟ้าเหนือหัว ระดับไฟฟ้ากระแสสลับระดับแรงดัน 20 กิโลโวลต์ ความถี่ 50 เฮิร์ตซ โดยใช้วิ่งในทางที่ไม่มีโครงข่ายไฟฟ้าในเส้นทาง Oga ในจังหวัดอะกิตะ (Akita) ระยะทาง 26.6 กิโลเมตร วิ่งด้วยความเร็ว 110 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ในช่วงที่รับพลังงานไฟฟ้าจากสายส่งไฟฟ้าเหนือหัว และตวามเร็ว 85 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ในช่วงวิ่งด้วยพลังงานแบตเตอรี่ [7]

รูปที่ 9 : รถไฟพลังงานแบตเตอรี่รุ่น EV-E801

Vivarail บริษัทผลิตรถไฟสัญชาติอังกฤษ

รถไฟรุ่น 230 ของ Vivarail บริษัทผลิตรถไฟสัญชาติอังกฤษ สามารถผลิตรถไฟพลังงานแบตเตอรี่ที่วิ่งได้ราวๆ 100 ไมล์ (160.93 กิโลเมตร) ต่อการชาร์จหนึ่งครั้ง โดยที่ตัวรถไฟจะติดตั้งแผงแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน จำนวน 4 แผง รวมขนาดแบตเตอรี่ทั้งหมด 106 kWh แต่ละแผงประกอบด้วยแบตเตอรี่ลิเธียมแรงดัน 24 โวลต์จำนวน 60 หน่วย และใช้เวลาชาร์จประมาณ 10 นาทีต่อครั้ง โดยชาร์จผ่านสายส่งไฟฟ้าเหนือหัวระดับแรงดัน 25 กิโลโวลต์ [8]

รูปที่ 10 : รถไฟพลังงานแบตเตอรี่รุ่น 230 ของบริษัท Vivarai

มณฑลเอสเซกซ์ (Essex) ประเทศอังกฤษ

ในปี 2015 รถไฟรุ่น 379 Electrostar ได้ติดตั้งแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนเพิ่มเข้าไป และเริ่มใช้วิ่งในเส้น Mayflower ในมณฑลเอสเซกซ์ (Essex) ประเทศอังกฤษ โดยรถไฟสามารถวิ่งได้ 97 กิโลเมตร ต่อการชาร์จแบตเตอรี่หนึ่งรอบ โดยแบตเตอรี่จะทำการชาร์จผ่านโครงข่ายไฟฟ้าเหนือหัว ในช่วงที่มีโครงข่ายและที่สถานี รวมถึงผ่านการเบรกโดยจ่ายพลังงานคืน (Regenerative Braking)[9]

รูปที่ 11 : รถไฟรุ่น 379 Electrostar ที่ติดตั้งแบตเตอรี่เพิ่ม

สหพันธรัฐออสเตรีย

การรถไฟสหพันธรัฐออสเตรีย ร่วมกับบริษัท Siemens Mobility ได้พัฒนารถไฟพลังงานแบตเตอรี่ โดยใช้ต้นแบบจาก Siemens Desiro ซึ่งใช้ชื่อว่า cityjet eco ซึ่งรถไฟพลังงานแบตเตอรี่นี้สามารถใช้พลังงานทั้งจากแบตเตอรี่และสายส่งไฟฟ้าเหนือหัวได้ โดยติดตั้งแบตเตอรี่ขนาด 580 kWh หากใช้แค่พลังงานจากแบตเตอรี่จะสามารถวิ่งได้ราวๆ 80 กิโลเมตร ความเร็วสูงสุด 100 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยรถไฟพลังงานแบตเตอรี่ลูกผสมนี้จะถูกนำไปใช้ในโครงข่ายรถไฟที่ยังไม่ได้เป็นโครงข่ายไฟฟ้าเหนือหัวทั้งเส้นทาง[10]

รูปที่ 12 : รถไฟพลังงานแบตเตอรี่รุ่น cityjet eco ที่ใช้ในประเทศออสเตรีย

ประเทศเยอรมนี

ในประเทศเยอรมนีได้มีการใช้รถไฟพลังงานแบตเตอรี่/พลังงานไฟฟ้า รุ่น Siemens Mireo Plus B ในเส้นทางที่ยังไม่มีโครงข่ายไฟฟ้าเหนือหัวครบทั้งเส้นทาง เช่น จาก ออฟเฟินบูร์ก (Offenburg) ไปที่ อาร์เคิน (Achern) รถไฟรุ่นนี้สามารถรับไฟจากโครงข่ายไฟฟ้าเหนือหัว หรือใช้พลังงานแบตเตอรี่ในการขับเคลื่อนอย่างเดียวได้ โดยหากวิ่งด้วยพลังงานจากแบตเตอรี่อย่างเดียวจะวิ่งได้ 80 กิโลเมตร [11]

รูปที่ 13 : รถไฟพลังงานแบตเตอรี่รุ่น Siemens Mireo Plus B ที่ใช้ในประเทศเยอรมัน

รถไฟรุ่น Talent 3 ของ Bombardier

รถไฟรุ่น Talent 3 ของ Bombardier ได้ติดตั้งแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนเพิ่มเข้าไปบนหลังคาของรถไฟ โดยสามารถชาร์จแบตเตอรี่ผ่านสายส่งไฟฟ้าเหนือหัว นอกจากนั้นยังสามารถที่สถานีหรือผ่านการเบรกโดยจ่ายพลังงานคืน (Regenerative Braking) แบตเตอรี่ที่ติดตั้งรองรับการชาร์จอย่างรวดเร็วทำให้สามารถชาร์จจนเต็มได้ในเวลา 7 ถึง 10 นาที รถไฟสามารถวิ่งด้วยความเร็วสูงสุด 140 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เป็นระยะทาง 100 กิโลเมตร ด้วยพลังงานจากแบตเตอรี่เพียงอย่างเดียว [12]

รูปที่ 14 : รถไฟรุ่น Talent 3 ที่ติดตั้งแบตเตอรี่เพิ่ม

ในการลงทุนรถไฟพลังงานแบตเตอรี่จะมี 2 ทางเลือก

1. การซื้อรถใหม่ที่มีระบบแบตเตอรี่ติดตั้งในตัว
2. การปรับปรุงจากรถรางไฟฟ้าหรือรถดีเซลรางให้เป็นรถไฟพลังงานแบตเตอรี่

โดยหากเป็นการปรับปรุงจากรถรางไฟฟ้าหรือรถดีเซลราง จะมีต้นทุนที่สามารถคำนวณได้ ดังสมการ

$$C_I^{ESS} = C_P P_{ESS} + C_E E_{ESS} + C_{FC}$$

เมื่อ C_I^{ESS} = เงินลงทุนติดตั้งระบบแบตเตอรี่

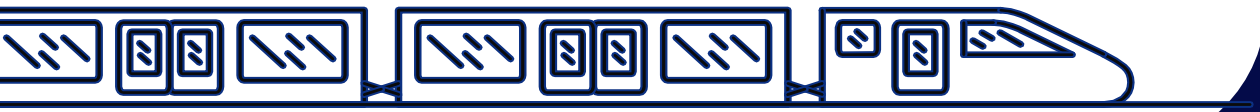
C_P = ราคาแบตเตอรี่ต่อกิโลวัตต์ (บาท/kW)

P_{ESS} = กำลังรวมของแบตเตอรี่ (kW)

C_E = ราคาแบตเตอรี่ต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง (บาท/kWh)

E_{ESS} = พลังงานรวมของแบตเตอรี่ (kWh)

C_{FC} = ค่าติดตั้งอุปกรณ์ประกอบในการติดตั้งแบตเตอรี่ เช่น เครื่องควบคุมการชาร์จประจุ



ในส่วนของค่าใช้จ่ายในการเดินรถ รถไฟพลังงานแบตเตอรี่จะมีค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการประจุแบตเตอรี่ ซึ่งมีค่าใช้จ่ายในการเดินรถใกล้เคียงกับค่าใช้จ่ายในการเดินรถรางไฟฟ้า โดยสามารถคำนวณค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการชาร์จประจุได้ดังสมการ

$$C_n^{ESS} = N_d \frac{E_d^{ESS}}{\eta_{ch}} C_{ch}$$

เมื่อ C_n^{ESS} = ค่าไฟฟ้าในการชาร์จประจุรายปีของปีที่ n

N_d = จำนวนวันที่ทำการชาร์จประจุใน 1 ปี

E_d^{ESS} = พลังงานงานเฉลี่ยที่ใช้ในการชาร์จประจุใน 1 วัน

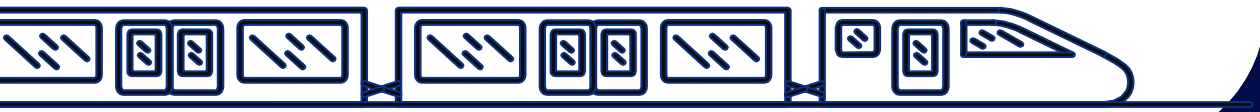
η_{ch} = ค่าประสิทธิภาพในการชาร์จประจุ

C_{ch} = ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย

ในส่วนของค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุง รถไฟพลังงานแบตเตอรี่จะต้องมีการเปลี่ยนแบตเตอรี่ใหม่ทุกๆ 10–15 ปี[17] จากการเสื่อมสภาพของตัวแบตเตอรี่เอง

โดยสรุป

รถไฟพลังงานแบตเตอรี่ เป็นรถไฟประเภทหนึ่งที่สามารถนำมาใช้เดินรถขนส่งผู้โดยสารในเมืองที่ระยะไม่ไกลมาก หรือใช้ในเส้นทางที่มีโครงข่ายจ่ายพลังงานไฟฟ้ายังไม่ครบถ้วนทั้งเส้นทาง ซึ่งข้อจำกัดของการใช้งานรถไฟพลังงานแบตเตอรี่จะขึ้นอยู่กับข้อจำกัดความหนาแน่นของพลังงานแบตเตอรี่ ทำให้มีข้อจำกัดในเรื่องของระยะทางที่รถไฟพลังงานแบตเตอรี่สามารถวิ่งได้ และเรื่องของราคาแบตเตอรี่ที่ยังมีราคาสูงอยู่ในปัจจุบัน ดังนั้นในอนาคตที่การพัฒนาเทคโนโลยีด้านแบตเตอรี่มีความก้าวหน้าและราคาที่ถูกลง รถไฟพลังงานแบตเตอรี่จะเป็นรถไฟที่มีประสิทธิภาพและคุ้มค่ามากที่สุดประเภทหนึ่ง



เอกสารอ้างอิง

[1] Mwambeleko J. J., Kulworawanichpong T. Battery electric multiple units to replace dieselcommuter trains serving short and idle routes. Journal of Energy Storage, vol. 11, 2017, pp. 7-15.

[2] https://www.railjournal.com/in_depth/battery-train-energises-race-to-replace-diesel

[3] Jernbanedirektoratet (2019b). "NULLFIB: Final report."

[4] https://www.posttoday.com/economy/news/458237

[5] https://electrek.co/2020/07/03/egeb-japan-bullet-train-li-ion-battery-self-propulsion-system-chargeup-europe/

[6] https://tokyorailwaylabyrinth.blogspot.com/2014/06/battery-mode-operation-of-ev-e301-series.html

[7] https://en.wikipedia.org/wiki/BEC819_series

[8] https://www.railmagazine.com/news/network/vivarail-targets-summer-running-for-new-battery-unit

[9] https://www.railtechnologymagazine.com/Rail-News/prototype-battery-powered-ipemu-carries-passengers-for-first-time

[10] https://www.railjournal.com/fleet/obb-battery-electric-train-to-carry-passengers-next-month/

[11] https://press.siemens.com/global/en/pressrelease/siemens-mobility-receives-first-order-battery-powered-trains

[12] https://www.railway-technology.com/projects/bombardier-talent-3-battery-train/

[13] https://www.statista.com/statistics/883118/global-lithium-ion-battery-pack-costs/

[14] Lutsey, Nicholas & Nicholas, Michael. (2019). Update on electric vehicle costs in the United States through 2030. 10.13140/RG.2.2.25390.56646.

[15] สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร.2563. “โครงการติดตามประเมิน (Tracking) การใช้พลังงานที่ลดได้จากมาตรการภาคขนส่งด้วยการพัฒนาระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชน”

[16] สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร.2563. “โครงการศึกษาแนวทางการติดตามประเมิน (Tracking) การใช้พลังงานที่ลดได้จากการพัฒนาระบบถไฟทางคู่”

[17] https://www.nrel.gov/transportation/battery-lifespan.html

กรมการขนส่งทางราง

กระทรวงคมนาคม

กรมการขนส่งทางรางใส่ใจ
เพื่อความสุขและความปลอดภัย ในการเดินทางระบบรางของไทย