

บทที่ 2

ปรัทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

งานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้มุ่งศึกษาผลกระทบการแบ่งปันพลังงานไฟฟ้าในระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนที่มีระบบขับเคลื่อนตัวเองฉุกเฉิน เพื่อวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการลดจำนวนระบบขับเคลื่อนตัวเองฉุกเฉินที่จำเป็นต้องติดตั้งในระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชน สำหรับการดำเนินงานวิจัยวิทยานิพนธ์ได้ทำการสำรวจปรัทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ การจำลองระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนและการไหลกำลังไฟฟ้า ระบบขับเคลื่อนตัวเองฉุกเฉินในระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชน และผลกระทบการแบ่งปันพลังงานไฟฟ้าในระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชน จากฐานข้อมูลที่มีการรวบรวมงานวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่มีมาตรฐาน เช่น ฐานข้อมูลจาก IEEE Springer MDPI เป็นต้น เพื่อเป็นพื้นฐานสำคัญสำหรับการพัฒนากรอบแนวคิดและกระบวนการดำเนินงานวิจัยวิทยานิพนธ์ในบทถัด ๆ ไป อีกทั้งยังช่วยให้เห็นถึงช่องว่างของงานวิจัยในอดีตที่นำไปสู่การต่อยอดงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในอนาคต

2.2 การสำรวจปรัทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การสำรวจปรัทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในงานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้ได้แบ่งหัวข้อที่ทำการศึกษาออกเป็น 3 หัวข้อ ได้แก่ การจำลองระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนและการไหลกำลังไฟฟ้า ระบบขับเคลื่อนตัวเองฉุกเฉินในระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชน และผลกระทบการแบ่งปันพลังงานไฟฟ้าในระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชน โดยเนื้อหาในแต่ละหัวข้อได้คัดสรรและกลั่นกรองมาจากบทความวิจัยที่ได้รับการยอมรับและตีพิมพ์บนฐานข้อมูลมาตรฐานดังที่กล่าวถึงในหัวข้อ 2.1 ผลจากการศึกษาสามารถสรุปรายละเอียดในแต่ละหัวข้อได้ดังต่อไปนี้

2.2.1 การจำลองระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนและการไหลกำลังไฟฟ้า

การจำลองผลการทำงานและการไหลกำลังไฟฟ้าของระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนเป็นกระบวนการสำคัญสำหรับการวิเคราะห์และประเมินพฤติกรรมของระบบภายใต้สภาวะการ

ทำงานต่าง ๆ ก่อนการดำเนินการก่อสร้างและใช้งานระบบจริงในแต่ละพื้นที่ ตลอดระยะเวลาที่ผ่านมา นักวิจัยหลายท่านได้พัฒนาและปรับปรุงกระบวนการจำลองระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนจากแนวทางการคำนวณแบบดั้งเดิม จนเกิดเป็นวิธีการต่าง ๆ ที่มีประสิทธิภาพ ความแม่นยำ และจุดเด่นที่แตกต่างกัน จากการสำรวจปริทัศน์วรรณกรรมในงานวิจัยที่เกี่ยวข้องตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน สามารถสรุปสาระสำคัญของงานวิจัยต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 งานวิจัยเกี่ยวกับการจำลองระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนและการไหลกำลังไฟฟ้า

ปี ค.ศ.	คณะผู้วิจัย	ประเด็นงานวิจัยที่ดำเนิน
2015	Kulworawanichpong	การสร้างแบบจำลองการเคลื่อนที่ของระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนหลายขบวนที่บูรณาการกับการแก้ปัญหาการไหลกำลังไฟฟ้าโดยใช้วิธีนิวตัน-ราฟสันอย่างง่าย
2016	Zhang, Song, and Zhang	อัลกอริทึมควบคุมการทำงานของระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนที่ดีที่สุดสำหรับเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบ
2016	Su, Tang, and Wang	การประเมินกลยุทธ์สำหรับลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนด้วยแบบจำลองควบคุมการทำงานของรถไฟฟ้าที่เหมาะสม
2016	Mongkoldee, Leeton, and Kulworawanichpong	การสร้างแบบจำลองการเคลื่อนที่ของรถไฟฟ้าขบวนเดียว พร้อมการพิจารณาศักยภาพไฟฟ้าในราง
2018	Arbolea, Mohamed, and El-Sayed	การจำลองระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแบบกระแสดรึงที่ครอบคลุมการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังและอุปกรณ์กักเก็บพลังงานในระบบ
2018	Alnuman, Gladwin, and Foster	การสร้างแบบจำลองระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนหลายขบวน
2019	Khodaparastan, Dutta, Saleh, and Mohamed	การสร้างแบบจำลองระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนกระแสดรึงที่ใช้ระบบกักเก็บพลังงานข้างทางในการทำงาน

ตารางที่ 2.1 งานวิจัยเกี่ยวกับการจำลองระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนและการไหลกำลังไฟฟ้า (ต่อ)

ปี ค.ศ.	คณะผู้วิจัย	ประเด็นงานวิจัยที่ดำเนิน
2020	Kou, Fan, and Song	การสร้างแบบจำลองระบบรถไฟฟ้าความเร็วสูงหลายขบวน
2021	Razmjou	การจำลองระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนโดยใช้ MATLAB: กรณีศึกษาโครงการระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชน สายทาบรัช 2

จากตารางที่ 2.1 ได้มีการทบทวนปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาแบบจำลองระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนตั้งแต่ปี 2015 จนถึงปัจจุบัน พบว่านักวิจัยแต่ละท่านได้นำเสนอข้อมูลและหลักแนวคิดที่สำคัญสำหรับนำไปต่อยอดการพัฒนาแบบจำลองระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนในงานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้ เช่น ภาพรวมกว้าง ๆ ของแบบจำลอง สมการทางคณิตศาสตร์ที่จำเป็น หลักการทำงานของรถไฟฟ้า เป็นต้น เพื่อให้เกิดความชัดเจนในเนื้อหาที่ผู้วิจัยได้ศึกษามาจะมีการสรุปผลการศึกษาปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยกล่าวถึงทฤษฎี หลักการวิธีการดำเนินงานวิจัย รวมถึงผลลัพธ์ที่ได้จากการวิจัยนั้น ๆ โดยย่อ ดังนี้

Kulworawanichpong (2015) นำเสนอวิธีการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนหลายขบวนด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสันแบบปรับปรุง วิธีการดังกล่าวช่วยลดความซับซ้อนในการจำลองระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนขนาดใหญ่ โดยแปลงสมการสมดุลกำลังไฟฟ้าของขบวนรถไฟฟ้าให้อยู่ในรูปสมการสมดุลกระแสไฟฟ้าแทน ส่งผลให้จำนวนรอบการคำนวณซ้ำลดลงกว่า 40% เมื่อเทียบกับวิธีการทั่วไป นอกจากนี้ แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นยังรองรับการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของขบวนรถแบบเรียลไทม์ ทำให้การวิเคราะห์พลังงานไฟฟ้ามีความแม่นยำและประสิทธิภาพสูงขึ้น ซึ่งเป็นคุณสมบัติสำคัญสำหรับการจำลองการเคลื่อนที่ของขบวนรถไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา

Zhang, Song, and Zhang (2016) นำเสนอแบบจำลองสำหรับเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชน ผ่านการควบคุมความเร็วที่เหมาะสม (speed profile optimization) ของขบวนรถไฟฟ้า การควบคุมนี้จะสมดุลระหว่างปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการขับเคลื่อนขบวนรถไฟฟ้าและการรักษาความตรงต่อเวลาของตารางเดินรถไปพร้อมกัน นอกจากนี้ แบบจำลองยังผสมผสานเทคโนโลยีเรียกพลังงานไฟฟ้าย้อนกลับจากการเบรก (regenerative braking) เพื่อลดการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าอีกทางหนึ่งด้วย การพัฒนาแบบจำลองนี้อาศัยการแปลงสมการทางคณิตศาสตร์ให้อยู่ในรูปโค้ดและทดสอบผ่านซอฟต์แวร์ MATLAB/m-file

โดยผลการทดสอบแสดงว่าแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนในขณะที่ยังรักษามาตรฐานการให้บริการตามตารางเดินรถได้อย่างมีประสิทธิภาพ

Su, Tang, and Wang (2016) นำเสนอแบบจำลองการควบคุมการทำงานของขบวนรถไฟฟ้าที่บูรณาการพลศาสตร์การเคลื่อนที่และการจัดการพลังงานไฟฟ้าในแบบจำลองเดียว เพื่อค้นหาจุดทำงานที่เหมาะสมที่สุดของระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนหลายขบวน ซึ่งสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยไม่กระทบต่อตารางเดินรถ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการปรับปรุงแบบการขับเคลื่อนที่เหมาะสมสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ถึง 25% โดยไม่กระทบต่อตารางเดินรถ จุดเด่นของแบบจำลองนี้คือการพิจารณาปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานไฟฟ้า เช่น น้ำหนักขบวนรถ ความลาดชันของเส้นทาง และพฤติกรรมแรง-เบรก ช่วยให้แบบจำลองวิเคราะห์หารูปแบบการควบคุมการเดินขบวนรถไฟฟ้าที่เหมาะสมได้อย่างมีประสิทธิภาพ แม่นยำ และใกล้เคียงความเป็นจริงมากขึ้น

Mongkoldee, Leeton, and Kulworawanichpong (2016) นำเสนอการพัฒนาแบบจำลองการเคลื่อนที่ของรถไฟฟ้าขบวนเดียวที่สามารถคำนวณศักย์ไฟฟ้าของรางขณะที่รถไฟฟ้าเคลื่อนที่ โดยประยุกต์ใช้วิธีการฉีดกระแสไฟฟ้า (current injection method) เพื่อวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบบัสที่ซับซ้อน ผลการทดสอบด้วยข้อมูลระบบรถไฟฟ้าบีทีเอส สายสุขุมวิท ประเทศไทยแสดงว่าแบบจำลองสามารถประเมินผลกระทบของกระแสไฟฟ้ารั่วไหลและแรงดันไฟฟ้าสัมผัสที่อาจเป็นอันตรายต่อผู้โดยสารได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งชี้ให้เห็นถึงความสำคัญของการออกแบบระบบต่อลงดินและมาตรการป้องกันการถูกร่อน แบบจำลองนี้ยังสามารถประยุกต์ใช้กับระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนอื่น ๆ ได้โดยปรับเงื่อนไขและโครงสร้างพารามิเตอร์ แม้จะมีข้อจำกัดเรื่องการไม่ได้พิจารณาผลกระทบในระบบที่มีขบวนรถไฟฟ้าหลายขบวน แต่ก็ถือเป็นแนวทางที่น่าสนใจสำหรับการพัฒนาต่อไป

Arbolea, Mohamed, and El-Sayed (2018) นำเสนอการพัฒนาแบบจำลองระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนกระแสตรงที่ครอบคลุมการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้า การทำงานของสถานีย่อยประเภทต่าง ๆ ระบบกักเก็บพลังงานและการป้องกันแรงดันไฟฟ้าเกินจากการเบรกแบบรีเจนเนอเรทีฟ โดยแบบจำลองดังกล่าวแตกต่างจากแบบจำลองทั่วไปที่มีกวีเคราะห์ส่วนต่าง ๆ แยกจากกัน ทำให้สามารถประเมินผลการทำงานของระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนสมัยใหม่ได้อย่างแม่นยำและมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะการวิเคราะห์ผลกระทบของระบบกักเก็บพลังงานทั้งแบบติดตั้งบนขบวนรถ (on-board) และแบบติดตั้งข้างทาง (wayside)

Alnuman, Gladwin, and Foster (2018) นำเสนอการพัฒนาแบบจำลองพลวัตทางไฟฟ้าสำหรับระบบรถไฟฟ้ามวลชนกระแสตรงหลายขบวน โดยใช้ความสามารถของซอฟต์แวร์ MATLAB/Simulink ในการสร้างแบบจำลองความละเอียดสูงเพื่อจำลองพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งและการเรียกคืนพลังงานไฟฟ้าจากการเบรกแบบรีเจนเนอเรทีฟของแต่ละขบวน ทำให้การวิเคราะห์ปรากฏการณ์ทางไฟฟ้าในช่วงเวลาไดนามิกระดับมิลลิวินาทีที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วแม่นยำและง่ายขึ้น นอกจากนี้แบบจำลองยังวิเคราะห์ปัญหาแรงดันไฟฟ้าเกินจากการเรียกคืนพลังงานไฟฟ้าเมื่อไม่มีขบวนรถไฟฟ้ามารองรับได้อย่างครบถ้วน

Khodaparastan, Dutta, Saleh, and Mohamed (2019) นำเสนอแบบจำลองสำหรับศึกษาการเรียกคืนพลังงานไฟฟ้าจากการเบรกแบบรีเจนเนอเรทีฟในระบบรถไฟฟ้ามวลชนกระแสตรงที่ใช้สถานีไฟฟ้าย่อยแบบผันกลับได้ (reversible substations หรือ RSS) ผ่านซอฟต์แวร์ MATLAB/Simulink จากผลการศึกษาพบว่า การติดตั้งสถานีไฟฟ้าย่อยแบบผันกลับช่วยลดพลังงานไฟฟ้าได้สูงสุดถึง 30% โดยประสิทธิภาพขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ความถี่ของขบวนรถ รูปแบบการขับเคลื่อน และลักษณะเส้นทาง ข้อมูลจากแบบจำลองนี้มีคุณค่าสำหรับผู้วางแผนนโยบายในการพิจารณาปรับปรุงประสิทธิภาพพลังงานไฟฟ้าของระบบรถไฟฟ้ามวลชน

Kou, Fan, and Song (2020) นำเสนอแบบจำลองระบบรถไฟฟ้ามอเตอร์เร็วสูงโดยใช้หลักการตัวแทนหลายตัว (multi-agent) เพื่อวิเคราะห์พฤติกรรมการใช้และการแบ่งปันพลังงานไฟฟ้าที่ซับซ้อนระหว่างขบวนรถไฟฟ้ายานที่เคลื่อนที่ในโหมดต่าง ๆ โดยคำนึงถึงปัจจัยเชิงกายภาพสำคัญ เช่น ระยะทางระหว่างขบวนรถ ความต้านทานของสายส่ง เป็นต้น ซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพการแบ่งปันพลังงานไฟฟ้าจากการเบรกของรถไฟฟ้ายานหนึ่งไปสู่อีกขบวนที่กำลังเร่งความเร็ว ผลการศึกษาพบว่า การปรับตารางเดินรถอย่างเหมาะสมช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการแบ่งปันพลังงานไฟฟ้าได้ถึง 35% โดยไม่ต้องติดตั้งอุปกรณ์กักเก็บพลังงานเพิ่มเติม ซึ่งเป็นการค้นพบที่สำคัญในเชิงเศรษฐศาสตร์และวิศวกรรมสำหรับการประหยัดพลังงานไฟฟ้าในระบบรถไฟความเร็วสูง

Razmjou (2021) นำเสนอแบบจำลองระบบรถไฟฟ้ามวลชนกระแสตรงที่บูรณาการส่วนของการคำนวณการเคลื่อนที่ของขบวนรถไฟและการไหลของกำลังไฟฟ้าผ่านซอฟต์แวร์ MATLAB โดยอ้างอิงข้อมูลการควบคุมขบวนรถไฟและตารางเดินรถจากระบบจริง ทำให้แบบจำลองนี้วิเคราะห์การทำงานของระบบหลายขบวนได้ครบถ้วน น่าเชื่อถือ และมีประสิทธิภาพเป็นประโยชน์สำหรับวิศวกรในการทดสอบกลยุทธ์ประหยัดพลังงานไฟฟ้า เช่น ปรับตารางเดินรถเปลี่ยนรูปแบบการขับเคลื่อน และติดตั้งระบบกักเก็บพลังงาน โดยไม่ต้องทดลองจริงซึ่งมีค่าใช้จ่ายสูง

Yu, Wang, and Qin (2024) นำเสนอแบบจำลองสำหรับหารูปแบบควบคุมการเคลื่อนที่ขบวนรถไฟฟ้า เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟและพลังงานไฟฟ้าจากการเบรกแบบรีเจนเนอเรทีฟ โดยคำนึงถึงสมดุลระหว่างการประหยัดพลังงานไฟฟ้ากับความตรงต่อเวลาในการให้บริการ ผลการศึกษาพบว่าวิธีการบูรณาการนี้ช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้มากกว่าการปรับตารางเดินรถหรือรูปแบบการขับเคลื่อนเพียงอย่างเดียวถึง 15–20%

จากการสำรวจปริทัศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการจำลองระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนและการไหลกำลังไฟฟ้า พบว่าแต่ละงานวิจัยจะมีโครงสร้างพื้นฐานประกอบด้วยส่วนวิเคราะห์พฤติกรรมพลวัตการเคลื่อนที่ของขบวนรถไฟฟ้าและการไหลของกำลังไฟฟ้า จากนั้นจะเพิ่มเติมมิติการทำงานอื่นที่ต้องการจำลอง เช่น การเรียกคืนพลังงานไฟฟ้าจากการเบรกแบบรีเจนเนอเรทีฟ ระบบกักเก็บพลังงาน เป็นต้น แนวคิดและเทคนิคเหล่านี้มีความสำคัญอย่างยิ่งสำหรับต่อยอดสู่การพัฒนาแบบจำลองระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนหลายขบวนที่สมบูรณ์ยิ่งขึ้นในงานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้ ซึ่งรายละเอียดจะอธิบายในบทที่ 3 ต่อไป

2.2.2 การประยุกต์ใช้ระบบขับเคลื่อนตัวเองฉุกเฉินในระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชน

ปัจจุบันระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนขับเคลื่อนโดยพลังงานไฟฟ้าเต็มรูปแบบ ปัญหาไฟดับระหว่างการดำเนินงานอาจส่งผลกระทบต่อชีวิตและทรัพย์สินของผู้โดยสาร จึงจำเป็นต้องหามาตรการป้องกันและรักษาสถานะการทำงานของระบบ งานวิจัยที่ศึกษาส่วนนี้ได้แนะนำการประยุกต์ใช้ระบบขับเคลื่อนตัวเองฉุกเฉิน (Emergency Self-Traction System: ESTS) ซึ่งเป็นแนวทางหนึ่งที่มีประสิทธิภาพที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้กับระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชน จากสำรวจปริทัศน์วรรณกรรมที่ถูกเผยแพร่ตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบัน สามารถสรุปสาระสำคัญของงานวิจัยต่าง ๆ ไว้ในตารางที่จัดเรียงลำดับตามปีงานวิจัย แสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 งานวิจัยเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้ระบบขับเคลื่อนตัวเองฉุกเฉินในระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชน

ปี ค.ศ.	คณะผู้วิจัย	ประเด็นงานวิจัยที่ดำเนิน
2012	Yuana, Gua, Liua, Zhanga, and Lv	การออกแบบและวิเคราะห์ระบบขับเคลื่อนตัวเองฉุกเฉินสำหรับระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนในเขตเมือง
2014	Wang, Ge, and Li	การวิเคราะห์และควบคุมเพื่อความเหมาะสมของระบบขับเคลื่อนตัวเองฉุกเฉินสำหรับระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชน

ตารางที่ 2.2 งานวิจัยเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้ระบบขับเคลื่อนตัวเองฉุกเฉินในระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชน (ต่อ)

ปี ค.ศ.	คณะผู้วิจัย	ประเด็นงานวิจัยที่ดำเนิน
2017	Nagaura, Oishi, Shimada, and Kaneko	แนวโน้มเทคโนโลยีระบบขับเคลื่อนด้วยแบตเตอรี่สำหรับระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนในอนาคต
2018	Xu, Sun, Zhou, Jiang, Hu, and He	การออกแบบและศึกษาการทำงานของระบบขับเคลื่อนตัวเองฉุกเฉินสำหรับระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชน
2020	Mohammadi Pirouz, and Hajizadeh	การควบคุมระบบขับเคลื่อนตัวเองฉุกเฉินสำหรับระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชน
2022	Gao, Ma, Qiu, Zhu, and Diao	กลยุทธ์การจัดการพลังงานไฟฟ้าจากการเบรกแบบรีเจนเนอเรทีฟสำหรับระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนขณะขับเคลื่อนด้วยระบบขับเคลื่อนตัวเองฉุกเฉิน
2023	Wang, Hu, Huang, Zhang, and Fang	การพัฒนาแบบจำลองสำหรับประเมินพฤติกรรมการขับเคลื่อนขบวนรถไฟฟ้าในสถานการณ์ฉุกเฉินโดยคำนึงถึงคุณสมบัติของระบบกักเก็บพลังงาน
2024	Yang, Huang, and Wang	การปรับเส้นทางด้วยไดนามิกโปรแกรมมิ่งสำหรับขบวนรถไฟฟ้าขณะใช้งานระบบขับเคลื่อนตัวเองฉุกเฉิน
2024	Wang, Huang, Hu, Qin, and Zhu	การสร้างแบบจำลองและประมาณสถานะการชาร์จของอุปกรณ์กักเก็บพลังงานในระบบขับเคลื่อนตัวเองฉุกเฉิน
2024	Zhu and Li	การพัฒนากลยุทธ์ควบคุมระบบขับเคลื่อนระบบรถไฟฟ้าความเร็วสูง เพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าขณะรับพลังงานไฟฟ้าจากระบบขับเคลื่อนตัวเองฉุกเฉิน

จากตาราง 2.2 แสดงการสำรวจปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องตั้งแต่ปี 2012 จนถึงปัจจุบัน พบว่ามีงานวิจัยที่ประยุกต์ใช้ระบบขับเคลื่อนตัวเองฉุกเฉินในระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนหลายรูปแบบ ซึ่งกล่าวถึงโครงสร้าง หลักการทำงาน และการประยุกต์ใช้ไว้อย่างละเอียด เพื่อให้เนื้อหาชัดเจนยิ่งขึ้นจึงมีการสรุปผลการศึกษาในรูปของทฤษฎี หลักการ วิธีการดำเนินงานวิจัย และผลลัพธ์อย่างย่อ ดังนี้

Yuana, Gua, Liua, Zhanga, and Lv (2012) นำเสนอการพัฒนาระบบขับเคลื่อนตัวเองฉุกเฉินสำหรับระบบรถไฟฟ้ามวลชนเขตเมืองที่ใช้เทคโนโลยีการกักเก็บพลังงานแบบไฮบริดระหว่างแบตเตอรี่และตัวเก็บประจุทั้งในแง่ของโครงสร้างและหลักการทำงานของระบบ รวมถึงการทดสอบประสิทธิภาพผ่านการจำลองด้วยซอฟต์แวร์ MATLAB โดยระบบนี้ถูกออกแบบขึ้นเพื่อรับมือกับปัญหาระบบจ่ายไฟหลักล้มเหลวพร้อมกับเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าจากการเบรกแบบรีเจนเนอเรทีฟ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถเสริมสร้างความปลอดภัยและความน่าเชื่อถือให้กับการเดินทางในสถานการณ์ฉุกเฉินได้ ซึ่งเป็นการสร้างองค์ความรู้สำคัญที่ช่วยยกระดับมาตรฐานความปลอดภัยและประสิทธิภาพการทำงานของระบบรถไฟฟ้ามวลชนสำหรับการพัฒนาและประยุกต์ใช้ในอนาคต

Wang, Ge, and Li (2014) นำเสนอการวิเคราะห์ ESTS ที่ใช้แบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์กักเก็บพลังงานสำรอง โดยใช้อัลกอริทึมควบคุมการจัดการพลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ที่พิจารณาข้อจำกัดทั้งด้านพลังงานไฟฟ้าและอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ ซึ่งแบ่งหน้าที่การทำงานออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ การวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของการทำงานของ ESTS การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับควบคุมการทำงานของระบบรถไฟฟ้า และการจำลองผลการดำเนินงานจากตัวอย่างขบวนรถไฟฟ้ามวลชนแบบ 6 ตู้โดยสาร จากผลการทดสอบพบว่ากระบวนการที่นำเสนอสามารถควบคุมการทำงานของ ESTS ในกรณีฉุกเฉินได้อย่างมีประสิทธิภาพ

Nagaura, Oishi, Shimada, and Kaneko (2017) นำเสนอแนวโน้มนำการพัฒนาเทคโนโลยีแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนความจุสูงสำหรับใช้งานในระบบรถไฟฟ้ามวลชน โดยการใช้งานนี้ครอบคลุมมิติต่าง ๆ เช่น การเรียกคืนพลังงานไฟฟ้าจากการเบรกแบบรีเจนเนอเรทีฟ การจ่ายไฟสำรองสำหรับขบวนรถไฟฟ้ามวลชนที่วิ่งบนเส้นทางไร้ไฟฟ้า เป็นต้น เทคโนโลยีนี้ได้รับการพิสูจน์ประสิทธิภาพด้วยการนำไปใช้งานจริงในระบบรถไฟฟ้ามวลชนรุ่นต่าง ๆ ได้แก่ ขบวนรถไฟฟ้ามวลชน JR Kyushu Series BEC819 ขบวนรถไฟฟ้ามวลชน JR East Series HB-E210 และขบวนรถไฟฟ้ามวลชน JR East Series HB-E300 นอกจากนี้ยังมีการกล่าวถึงอีกรูปแบบของการทำงานที่ทำหน้าที่เป็นระบบขับเคลื่อนฉุกเฉิน เพื่อใช้สำรองไฟในกรณีที่ระบบจ่ายไฟหลักเกิดความล้มเหลว

Xu, Sun, Zhou, Jiang, Hu, and He (2018) นำเสนอการออกแบบระบบขับเคลื่อนตัวเองฉุกเฉินที่ใช้แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนเป็นแหล่งกักเก็บพลังงานหลัก โดยระบบนี้มีจุดประสงค์เพื่อใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟสำรองสำหรับระบบรถไฟฟ้ามวลชนในกรณีที่ระบบจ่ายไฟหลักไม่สามารถทำงานได้ งานวิจัยนี้ได้อธิบายขั้นตอนและรายละเอียดการออกแบบที่สำคัญ เช่น

ระบบขับเคลื่อนตัวเองฉุกเฉิน วงจรการควบคุมการแปลงและป้องกันความปลอดภัย ระบบลากจูง เป็นต้น ซึ่งได้มีการนำเสนอรูปแบบจำลองระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนเชียงใหม่ 952 ที่มีการติดตั้งระบบนี้บนขบวนรถ จากผลการจำลองพบว่าระบบขับเคลื่อนฉุกเฉินที่ใช้แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนสามารถขับเคลื่อนรถไฟฟ้าที่หยุดทำงานจากเหตุการณ์ไฟดับไปยังสถานีผู้โดยสารที่ใกล้ที่สุดได้อย่างมีประสิทธิภาพ ระบบดังกล่าวแสดงศักยภาพในการอพยพผู้โดยสารอย่างปลอดภัยในสถานการณ์ฉุกเฉิน ซึ่งถือเป็นการปรับปรุงด้านความปลอดภัยที่มีความสำคัญและสามารถนำไปพัฒนาเพื่อประยุกต์ใช้กับระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนประเภทอื่น ๆ ในอนาคตได้อย่างเหมาะสม

Mohammadi Pirouz, and Hajizadeh (2020) นำเสนอรูปแบบและวิธีการควบคุมระบบสำรองไฟ (Uninterruptible Power Supply: UPS) ในระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนด้วยการบูรณาการเทคโนโลยีระบบกักเก็บพลังงานแบบไฮบริดระหว่างแบตเตอรี่และตัวเก็บประจุ เพื่อยกระดับให้ระบบขับเคลื่อนสามารถตอบสนองต่อการทำงานในสภาวะต่าง ๆ ได้ ไม่ว่าจะเป็น การจำกัดกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าตลอดระยะเวลาการเคลื่อนที่ของขบวนรถไฟฟ้า การป้องกันปัญหาความผันผวนของพลังงานไฟฟ้าในระบบที่ทำงานในสภาวะที่แตกต่างกัน การจัดการพลังงานไฟฟ้าจากการเบรกแบบรีเจนเนอเรทีฟ และการจ่ายไฟสำรองกรณีที่ระบบจ่ายไฟหลักเกิดปัญหา

Gao, Ma, Qiu, Zhu, and Diao (2022) ศึกษากลยุทธ์การจัดการพลังงานไฟฟ้าจากการเบรกแบบรีเจนเนอเรทีฟสำหรับระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนขณะขับเคลื่อนด้วยระบบขับเคลื่อนตัวเองฉุกเฉิน โดยมุ่งเน้นการกำหนดกระบวนการที่มีประสิทธิภาพในการจัดการพลังงานดังกล่าว นอกจากนี้ยังมีการวิเคราะห์ประสิทธิผลและปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการนำพลังงานไฟฟ้าจากการเบรกแบบรีเจนเนอเรทีฟมาใช้ประโยชน์ เพื่อลดความเสี่ยงในการเกิดปัญหาพลังงานไฟฟ้าเกินพิกัดและส่งเสริมความปลอดภัยในการใช้งาน ซึ่งตอบสนองต่อความต้องการด้านพลังงานไฟฟ้าของระบบภายใต้บริบทของการจัดการพลังงานอย่างยั่งยืนและมีประสิทธิภาพ

Wang, Hu, Huang, Zhang, and Fang (2023) นำเสนอการประมาณค่าพลังงานไฟฟ้าสำหรับการขับเคลื่อนรถไฟฟ้าในสถานการณ์ฉุกเฉิน โดยคำนึงถึงความสอดคล้องระหว่างพลังงานไฟฟ้าที่ใช้กับขีดความสามารถที่อุปกรณ์กักเก็บพลังงานทำงานได้จริง นอกจากนี้ในการศึกษายังได้มีการประยุกต์ใช้อัลกอริทึมการค้นหาแบบทวิภาค (binary search) เพื่อประเมินสถานะพลังงานของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนขณะทำงานอีกด้วย จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นสามารถประเมินสถานะพลังงานได้แม่นยำกว่าวิธีการเดิมที่ใช้พารามิเตอร์คงที่ โดยเฉพาะในสภาวะที่อุปกรณ์กักเก็บพลังงานมีค่าสถานะการชาร์จ (State of Charge: SOC) อยู่ในระดับต่ำ การ

วิจัยนี้จึงถือเป็นแนวทางสำคัญต่อการพัฒนาระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพและมั่นคงสำหรับการรับมือกับสถานการณ์ฉุกเฉินในระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชน

Yang, Huang, and Wang (2024) นำเสนอการพัฒนาอัลกอริทึมที่ใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบขับเคลื่อนตัวเองฉุกเฉินสำหรับระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนด้วยการเขียนโปรแกรมแบบไดนามิก (Dynamic Programming: DP) โดยอัลกอริทึมที่พัฒนานี้จะทำการกำหนดทิศทางเคลื่อนที่ของขบวนรถไฟฟ้าไปยังสถานีผู้โดยสารที่ใกล้ที่สุดและปรับเส้นโค้งความเร็วให้เหมาะสมกับปริมาณพลังงานที่มีอยู่อย่างจำกัดในระบบกักเก็บพลังงานขณะเกิดเหตุการณ์ฉุกเฉินขึ้นจากการทดลองพบว่าอัลกอริทึมที่พัฒนาขึ้นสามารถช่วยให้ระบบขับเคลื่อนตัวเองฉุกเฉินทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและราบรื่นมากยิ่งขึ้น ซึ่งมีส่วนช่วยลดผลกระทบจากสถานการณ์ฉุกเฉินให้น้อยลงได้อย่างมาก

Wang, Huang, Hu, Qin, and Zhu (2024) นำเสนอการประมาณค่า SOC ของอุปกรณ์กักเก็บพลังงานใน ESTS ซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญที่ต้องใช้ในการพิจารณาความเหมาะสมในการควบคุมการทำงานของระบบที่สอดคล้องกับพลังงานไฟฟ้าที่เหลืออยู่ในอุปกรณ์กักเก็บพลังงาน โดยวิธีการประมาณค่า SOC ในงานวิจัยนี้ได้มีการประยุกต์ใช้อัลกอริทึมปัจจัยการลืมที่ดีที่สุด (Optimal Forgetting Factor: FRLS) ร่วมกับการกรองข้อมูลของคาลมานแบบปรับขยายได้โดยอิงตามปัจจัยการลืมตามอุณหภูมิ (TFFAEKF) เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์พารามิเตอร์ของแบบจำลองวงจรไฟฟ้าระดับสองที่สร้างขึ้น ผลการทดลองยืนยันว่าวิธีที่เสนอสามารถประมาณค่า SOC ได้อย่างแม่นยำในสถานะแวดล้อมที่หลากหลาย โดยมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 1% แม้ในอุณหภูมิต่ำถึง -20°C ซึ่งสามารถนำวิธีการประมาณค่า SOC นี้ไปใช้พัฒนากลยุทธ์การขับเคลื่อนฉุกเฉินและการใช้พลังงานของรถไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นได้

Zhu and Li (2024) นำเสนอการพัฒนากลยุทธ์การควบคุมระบบขับเคลื่อนสำหรับรถไฟฟ้าความเร็วสูง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบให้น้อยที่สุดในขณะที่ระบบจ่ายไฟหลักเกิดเหตุขัดข้องและจำเป็นต้องใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบขับเคลื่อนตัวเองฉุกเฉินแทน โดยการควบคุมนี้อาศัยการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับวิเคราะห์ข้อมูลการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าระหว่างที่ระบบขับเคลื่อนทำงานในสถานะต่าง ๆ เพื่อนำข้อมูลที่ได้นำไปประยุกต์ใช้ในการกำหนดเงื่อนไขการทำงานของระบบขับเคลื่อนต่อไป จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่ากลยุทธ์ดังกล่าวสามารถลดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าได้อย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับระบบควบคุมแบบเดิม ทำให้สามารถใช้พลังงานไฟฟ้าที่มีอยู่ในระบบขับเคลื่อนตัวเองฉุกเฉินอย่างมีประสิทธิภาพ

จากการสำรวจปรัทัศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้ระบบขับเคลื่อนตัวเองฉุกเฉินในระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชน พบว่ามีข้อมูลสำคัญหลายประการที่สามารถนำมาใช้เป็นพื้นฐานในการพัฒนาแบบจำลองในงานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้ โดยองค์ความรู้ดังกล่าวครอบคลุมทั้งเรื่องโครงสร้างพื้นฐาน กลไกการทำงาน และแนวทางการประยุกต์ใช้ระบบในบริบทที่หลากหลาย ข้อมูลเหล่านี้ไม่เพียงส่งเสริมความเข้าใจในหลักการออกแบบระบบที่เหมาะสมสำหรับนำไปจำลองผลเท่านั้น แต่ยังเป็นแนวทางอันมีนัยสำคัญในการวิเคราะห์ศักยภาพ ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ และความเป็นไปได้ในการนำระบบขับเคลื่อนตัวเองฉุกเฉินไปประยุกต์ใช้จริงในอนาคต จากการสำรวจปรัทัศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องได้ชี้ให้เห็นความท้าทายในการปรับการทำงานของระบบให้สอดคล้องกับกรอบแนวคิดที่นำเสนอในงานวิจัยวิทยานิพนธ์ ซึ่งจำเป็นต้องอาศัยการบูรณาการและปรับปรุงองค์ความรู้จากงานวิจัยต่าง ๆ ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

2.2.3 กลยุทธ์การแบ่งปันพลังงานไฟฟ้าในระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชน

การแบ่งปันพลังงานไฟฟ้าเป็นแนวคิดที่ได้รับการศึกษาและวิจัยมาอย่างยาวนานในแวดวงการจัดการพลังงานไฟฟ้าในระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชน ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้พลังงานไฟฟ้า ลดการใช้พลังงานจากระบบจ่ายไฟหลัก และเพิ่มการใช้ประโยชน์จากระบบกักเก็บพลังงานให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด โดยรูปแบบการแบ่งปันพลังงานไฟฟ้าระหว่างขบวนรถไฟฟ้ามีอยู่ 2 ลักษณะ ได้แก่ การนำพลังงานไฟฟ้าจากการเบรกแบบรีเจนเนอเรทีฟของขบวนหนึ่งมาใช้ประโยชน์กับขบวนอื่นที่กำลังเร่งความเร็วในบริเวณใกล้เคียง และการแบ่งปันพลังงานไฟฟ้าจากระบบกักเก็บพลังงานไปยังโหนดต่าง ๆ จากการสำรวจวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบัน สามารถสรุปสาระสำคัญของงานวิจัยต่าง ๆ ในรูปแบบตารางที่มีการจัดเรียงลำดับงานวิจัยจากเก่าไปสู่งานวิจัยใหม่ แสดงดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 งานวิจัยเกี่ยวกับกลยุทธ์การแบ่งปันพลังงานไฟฟ้าในระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชน

ปี ค.ศ.	คณะผู้วิจัย	ประเด็นงานวิจัยที่ดำเนิน
2017	Kume, Kawatsu, and Shimizu	การพัฒนาฟังก์ชันการเดินขบวนรถไฟฟ้าในภาวะฉุกเฉินด้วยระบบกักเก็บพลังงานแบบติดตั้งอยู่กับที่
2018	Yang, Yang, Xia, and Lin	การควบคุมแรงดันไฟฟ้าของซูเปอร์คาปาซิเตอร์ที่เกิดจากการเบรกแบบรีเจนเนอเรทีฟตามสถานะการทำงานของขบวนรถไฟฟ้า

ตารางที่ 2.3 งานวิจัยเกี่ยวกับกลยุทธ์การแบ่งปันพลังงานไฟฟ้าในระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชน (ต่อ)

ปี ค.ศ.	คณะผู้วิจัย	ประเด็นงานวิจัยที่ดำเนิน
2018	Sumpavakup, Suwannakijborihan, Ratniyomchai, and Kulworawanichpong	กลยุทธ์การลดความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุดด้วยระบบกักเก็บพลังงานบนขบวนรถในระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชน
2019	Gao , Qin, Guo, Lin, and Yang	กลยุทธ์การถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าสำหรับระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ เพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุดในสถานีไฟฟ้าย่อยของระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชน
2019	Meishner and Sauer	การศึกษากลไกการทำงานของระบบกักเก็บพลังงานข้างทางสำหรับระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชน
2020	Hao, Zhang, Chen, Liu, Xu, and Wang	การติดตั้งวงจรแปลงผันพลังงานไฟฟ้าสองทิศทางสำหรับควบคุมและจัดการการแบ่งปันพลังงานไฟฟ้าในระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชน
2020	Zhu, Yang, Lin, and Xin	การควบคุมแบบกระจายศูนย์สำหรับจัดการพลังงานไฟฟ้าในโครงข่ายระบบกักเก็บพลังงานของระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนด้วยการเรียนรู้เสริมกำลังแบบตัวแทนหลายตัว
2021	Yooyong, Kulworawanichpong, and Ratniyomchai	การแบ่งปันพลังงานไฟฟ้าจากขบวนรถไฟฟ้าที่ผลิตพลังงานไฟฟ้าจากการเบรกแบบรีเจนเนอเรทีฟไปยังขบวนอื่นที่กำลังเร่งความเร็วในบริเวณใกล้เคียง
2022	Cabrane and Lee	การควบคุมและจัดการระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนที่ทำงานร่วมกับระบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็ก
2024	Chen, Zhao, Wang, Wang, Huang, and Xu	การแบ่งปันและกักเก็บพลังงานไฟฟ้าจากการเบรกแบบรีเจนเนอเรทีฟในระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชน

จากตารางที่ 2.3 ซึ่งแสดงการทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องตั้งแต่ปี 2017 จนถึงปัจจุบัน พบว่ามีการนำเสนอแนวคิดการแบ่งปันพลังงานไฟฟ้าในระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนมาประยุกต์ใช้ในหลายมิติ โดยเน้นไปที่หลักการทำงานพื้นฐานและแนวทางในการประยุกต์ใช้

งาน เพื่อให้เกิดความชัดเจนในเนื้อหาที่ผู้วิจัยได้ศึกษา จะมีการสรุปผลการศึกษาปรัทัศน์วรรณกรรม และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยกล่าวถึงทฤษฎี หลักการ วิธีการดำเนินงานวิจัย รวมถึงผลลัพธ์ที่ได้จากการวิจัยนั้น ๆ โดยย่อ ดังนี้

Kume, Kawatsu, and Shimizu (2017) นำเสนอการพัฒนาระบบกักเก็บพลังงานแบบติดตั้งอยู่กับที่ (Stationary Energy Storage System: SESS) ที่ใช้แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนในการกักเก็บพลังงานไฟฟ้าจากการเบรกแบบรีเจนเนอเรทีฟของขบวนรถไฟฟ้าและนำกลับมาจ่ายสำหรับขับเคลื่อนรถไฟฟ้าขบวนอื่น ๆ ในระบบ โดยจุดเด่นของการศึกษานี้คือการพัฒนาโหมดการเดินรถฉุกเฉินที่ช่วยให้รถไฟฟ้าสามารถเดินทางไปยังสถานีที่ใกล้ที่สุดได้โดยใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบ SESS ในกรณีที่เกิดเหตุไฟฟ้าขัดข้อง ผลการทดสอบที่สถานีคาไซของระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนสายโทโฮของโตเกียวเมโทร พบว่าระบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพทั้งในด้านการประหยัดพลังงานไฟฟ้าและการเดินรถฉุกเฉินด้วยการแบ่งปันพลังงานไฟฟ้าจากระบบไปสู่ขบวนรถไฟฟ้า

Yang, Yang, Xia, and Lin (2018) นำเสนอวิธีการควบคุมแรงดันไฟฟ้าของซูเปอร์คาปาซิเตอร์ที่ใช้ในระหว่างการเบรกแบบรีเจนเนอเรทีฟของขบวนรถไฟฟ้า โดยคำนึงถึงสถานะการเดินรถหรือรูปแบบพฤติกรรมรถขับเคลื่อนขบวนรถไฟฟ้าจริง เพื่อนำพลังงานไฟฟ้าที่เกิดขึ้นกลับมาใช้ใหม่ภายในขบวนรถไฟฟ้าหรือแบ่งปันให้กับขบวนรถไฟฟ้าอื่นภายในระบบ ทั้งนี้ ยังมีการป้องกันไม่ให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเกินที่อาจส่งผลกระทบต่อแหล่งจ่ายไฟของระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชน ผลการจำลองแสดงให้เห็นว่าการควบคุมดังกล่าวสามารถเพิ่มสัดส่วนการนำพลังงานไฟฟ้ากลับมาใช้ใหม่ ลดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้า และช่วยเพิ่มโอกาสในการแบ่งปันพลังงานไฟฟ้าระหว่างขบวนรถไฟฟ้าในระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ

Sumpavakup, Suwannakijborihan, Ratniyomchai, and Kulworawanichpong (2018) นำเสนอกลยุทธ์การบริหารจัดการพลังงานไฟฟ้าส่วนเกินที่ได้จากการเบรกแบบรีเจนเนอเรทีฟของรถไฟฟ้าขบวนหนึ่งไปใช้ในรถไฟฟ้าขบวนอื่นที่อยู่ในช่วงเร่งความเร็วด้วยการประยุกต์ใช้ระบบกักเก็บพลังงานแบบติดตั้งบนขบวนรถ (On-Board Energy Storage System: OBESS) เพื่อลดความต้องการพลังงานไฟฟ้าในช่วงที่มีความต้องการสูงสุด (Peak Hours) ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่ากลยุทธ์ดังกล่าวสามารถลดความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดได้ถึงร้อยละ 20-30 ซึ่งช่วยลดภาระของสถานีไฟฟ้าย่อยและเพิ่มเสถียรภาพของระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชน นอกจากนี้แบบจำลองและอัลกอริทึมควบคุมสำหรับตรวจวัดสถานะพลังงานไฟฟ้าแบบเรียลไทม์ ทำให้สามารถจัดการการแบ่งปันพลังงานไฟฟ้าระหว่างขบวนรถไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ

Gao, Qin, Guo, Lin, and Yang (2019) นำเสนอกลยุทธ์การถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าสำหรับระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ เพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าจากสถานีไฟฟ้าย่อยในระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชน โดยวิธีการนี้ได้ทำการประเมินปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่รถไฟฟ้าแต่ละขบวนต้องใช้ในการขับเคลื่อนจากแบบจำลองการเคลื่อนที่ของรถไฟฟ้า คำนวณพลังงานไฟฟ้าของสถานีไฟฟ้าย่อยจากการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้า และการพัฒนากลยุทธ์การถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าสำหรับระบบกักเก็บพลังงานที่พิจารณาทั้งความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดและค่า SOC ของแบตเตอรี่ จากการตรวจสอบประสิทธิภาพของกลยุทธ์ที่นำเสนอผ่านการจำลองบนกรณีศึกษาของระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนที่มีอยู่จริง พบว่ากลยุทธ์การถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าที่นำเสนอสามารถลดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของสถานีไฟฟ้าย่อยได้อย่างมีประสิทธิภาพถึง 30.6% เมื่อเทียบกับระบบที่ไม่มีระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการประยุกต์ใช้ระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่เพื่อการแบ่งปันพลังงานไฟฟ้าและปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยรวมของระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนอย่างมีนัยสำคัญ

Meishner and Sauer (2019) นำเสนอการศึกษาหลักการการทำงานของระบบกู้คืนพลังงานข้างทาง (Wayside Energy Recovery Systems: WERS) ที่สามารถดึงพลังงานไฟฟ้าส่วนเกินจากการเบรกแบบรีเจนเนอเรทีฟของรถไฟฟ้าขบวนหนึ่งมาเก็บไว้ในอุปกรณ์กักเก็บพลังงาน เช่น แบตเตอรี่ ตัวเก็บประจุยิ่งยวด (supercapacitors) ล้อตุ่นกำลัง (flywheel) เป็นต้น เพื่อนำไปจ่ายให้กับรถไฟฟ้าขบวนอื่น ๆ ที่กำลังเร่งความเร็วหรือเริ่มออกตัว จากการศึกษาพบว่า WERS สามารถลดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าในระบบได้ถึง 15-30% และช่วยลดปัญหาแรงดันไฟฟ้าสูงเกิน (overvoltage) อันเกิดจากการเบรกพร้อมกันของรถไฟฟ้าหลายขบวน นอกจากนี้ ยังมีการเปรียบเทียบเทคโนโลยีการกักเก็บพลังงานแบบต่าง ๆ ทั้งในแง่ของประสิทธิภาพ อายุการใช้งาน และความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

Hao, Zhang, Chen, Liu, Xu, and Wang (2020) นำเสนอแผนการจัดการพลังงานไฟฟ้าจากการเบรกแบบรีเจนเนอเรทีฟผ่านการติดตั้งวงจรแปลงผันพลังงานไฟฟ้าสองทิศทางในสถานีไฟฟ้าย่อยแต่ละแห่งในระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชน เพื่อควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้าที่ไหลย้อนกลับสู่สถานีไฟฟ้าย่อยและจัดการแบ่งปันพลังงานไฟฟ้าเหล่านั้นไปยังขบวนรถไฟฟ้าต่าง ๆ ตามความเหมาะสม จากการวิเคราะห์ผลการไหลของพลังงานไฟฟ้าด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสัน พบว่าการติดตั้งวงจรแปลงผันพลังงานไฟฟ้าสองทิศทางในแต่ละสถานีไฟฟ้าย่อยช่วยให้การควบคุมและจัดการการแบ่งปันพลังงานไฟฟ้าในระบบสามารถเป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ

Zhu, Yang, Lin, and Xin (2020) นำเสนอแนวทางใหม่ในการจัดการการแบ่งปันพลังงานไฟฟ้าระหว่างระบบกักเก็บพลังงานในโครงข่ายระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชน โดยประยุกต์ใช้เทคนิคการเรียนรู้เสริมกำลังแบบหลายตัวแทน (Multiagent Deep Reinforcement Learning: MADRL) เพื่อควบคุมการจัดเก็บและจ่ายพลังงานไฟฟ้ากลับเข้าสู่โครงข่ายระบบกักเก็บพลังงานอย่างเหมาะสม ลดการใช้พลังงานไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟหลัก และลดความสูญเสียภายในระบบ อีกทั้งยังช่วยเสริมสร้างความยืดหยุ่นต่อสถานการณ์การดำเนินงานที่หลากหลายมากยิ่งขึ้น จากผลการจำลองพบว่าเทคนิคการควบคุมดังกล่าวช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการบริหารจัดการการแบ่งปันพลังงานไฟฟ้าระหว่างระบบกักเก็บพลังงานในโครงข่ายระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

Yooyong, Kulworawanichpong, and Ratniyomchai (2021) นำเสนอแนวคิดการแบ่งปันพลังงานไฟฟ้าจากการเบรกแบบรีเจนเนอเรทีฟของขบวนรถไฟฟ้าหนึ่งไปยังขบวนรถอื่นที่กำลังเร่งความเร็ว เพื่อลดปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ต้องจ่ายมาจากสถานีไฟฟ้าย่อยและเกิดการประหยัดพลังงานไฟฟ้าในระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชน จากผลการจำลองด้วยข้อมูลกรณีศึกษารถไฟฟ้าบีทีเอส สายสีลม กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย แสดงให้เห็นว่าแนวคิดการแบ่งปันพลังงานไฟฟ้าระหว่างขบวนรถไฟฟ้าที่นำเสนอสามารถลดปริมาณพลังงานไฟฟ้ารวมที่จ่ายจากสถานีไฟฟ้าย่อยได้ถึง 12.5% ซึ่งเป็นทางเลือกที่น่าสนใจในการพัฒนาระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนที่มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

Cabrane and Lee (2022) นำเสนอการประยุกต์ใช้ระบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็กในระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชน โดยมุ่งเน้นการควบคุมและจัดการการไหลของกำลังไฟฟ้าทั้งในแง่การนำพลังงานไฟฟ้าจากระบบเบรกแบบรีเจนเนอเรทีฟและการแบ่งปันพลังงานระหว่างขบวนรถไฟฟ้าและสถานีไฟฟ้าย่อยภายในโครงข่าย เพื่อลดการพึ่งพาพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟหลักและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในระบบ จากผลการจำลองสถานการณ์ภายใต้เงื่อนไขการทำงานที่หลากหลาย ซึ่งรวมถึงการควบคุมและการแบ่งปันพลังงานไฟฟ้าในระบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็ก พบว่าระบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็กช่วยให้ระบบจ่ายไฟในระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนมีประสิทธิภาพและความยืดหยุ่นมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับแนวโน้มการพัฒนาระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนสมัยใหม่ที่ต้องการระบบจ่ายไฟที่มีประสิทธิภาพและคุ้มค่ามากที่สุด

Chen, Zhao, Wang, Wang, Huang, and Xu (2024) นำเสนอกลยุทธ์การจัดการพลังงานไฟฟ้าแบบสองชั้นสำหรับจัดการพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการเบรกแบบรีเจนเนอเรทีฟไปเก็บไว้ในระบบกักเก็บพลังงานในสถานีไฟฟ้าย่อยแต่ละตำแหน่งในระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชน โดย

แนวคิดนี้อาศัยการคำนวณความจุของอุปกรณ์กักเก็บพลังงานแต่ละตัวและแบ่งปันพลังงานไฟฟ้าไปยังแต่ละสถานีไฟฟ้าย่อยอย่างเหมาะสม เพื่อควบคุมการทำงานของระบบกักเก็บพลังงาน รักษาแรงดันไฟฟ้าของสาย และเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าจากการเบรกแบบรีเจนเนอเรทีฟ ผลการทดลองพบว่ากลยุทธ์นี้สามารถจัดการการแบ่งปันและกักเก็บพลังงานไฟฟ้าในสถานีย่อยแต่ละตำแหน่งได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนจริงได้

จากการสำรวจปรัทัศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับกลยุทธ์การแบ่งปันพลังงานไฟฟ้าในระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชน พบว่าแนวคิดการแบ่งปันพลังงานไฟฟ้ามีบทบาทสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการพลังงานไฟฟ้าจากการเบรกแบบรีเจนเนอเรทีฟและการใช้ประโยชน์จากระบบกักเก็บพลังงาน อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันการประยุกต์ใช้แนวคิดนี้ยังถูกจำกัดเฉพาะการจัดการพลังงานไฟฟ้าจากการเบรกแบบรีเจนเนอเรทีฟร่วมกับระบบกักเก็บพลังงานแบบติดตั้งอยู่กับที่เท่านั้น ดังนั้น การศึกษาและพัฒนาแนวคิดการแบ่งปันพลังงานไฟฟ้าร่วมกับระบบกักเก็บพลังงานแบบติดตั้งบนขบวนรถจึงเป็นแนวทางที่มีศักยภาพสูงในการขยายขอบเขตการประยุกต์ใช้ให้กว้างขวางยิ่งขึ้น การสำรวจปรัทัศน์วรรณกรรมนี้ชี้ให้เห็นทั้งโอกาสและความท้าทายในการประยุกต์ใช้แนวคิดดังกล่าวกับระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนสมัยใหม่ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและเสถียรภาพในการให้บริการ โดยองค์ความรู้และแนวทางที่ได้จากการศึกษานี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้ให้สอดคล้องกับงานวิจัยวิทยานิพนธ์เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด

2.3 สรุป

บทที่ 2 นำเสนอการสำรวจปรัทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องซึ่งเป็นพื้นฐานสำคัญในการดำเนินงานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้ โดยครอบคลุมทั้งหมด 3 ประเด็นหลัก ได้แก่ การจำลองระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนและการไหลกำลังไฟฟ้า ระบบขับเคลื่อนตัวเองฉุกเฉินในระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชน และกลยุทธ์การแบ่งปันพลังงานไฟฟ้าในระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชน จากผลการสืบค้นงานวิจัยในประเด็นเหล่านี้ทำให้ทราบข้อมูลและแนวคิดที่เป็นประโยชน์ต่อการบูรณาการองค์ความรู้สู่การต่อยอดในงานวิจัยวิทยานิพนธ์ นอกจากนี้ยังมีส่วนช่วยยืนยันถึงความเป็นนวัตกรรมและองค์ความรู้ใหม่ของประเด็นงานวิจัยวิทยานิพนธ์ที่ได้ดำเนินการศึกษาวิจัย เนื่องจากงานวิจัยส่วนใหญ่ในอดีตมุ่งเน้นให้ความสำคัญกับการศึกษาวิจัยในทิศทางใดทิศทางหนึ่งแบบแยกออกจากกันอย่างชัดเจน ระหว่างการพัฒนาาระบบกักเก็บพลังงาน ระบบขับเคลื่อนตัวเองฉุกเฉิน หรือกลยุทธ์การประหยัดพลังงานไฟฟ้าด้วยการแบ่งปันพลังงานไฟฟ้า แม้จะมีงานวิจัยบางส่วนที่มีการศึกษาวิจัยในประเด็นที่มี

การบูรณาการองค์ความรู้บางส่วนอยู่บ้างก็ตาม ดังนั้นงานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้จึงมีความโดดเด่นในด้านการบูรณาการองค์ความรู้และเทคโนโลยีที่มีอยู่เพื่อพัฒนาต่อยอดเป็นองค์ความรู้ใหม่ อันจะนำไปสู่การยกระดับเสถียรภาพและความปลอดภัยในการให้บริการระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชน ตลอดจนส่งเสริมให้ผู้มีส่วนเกี่ยวข้องตระหนักถึงความสำคัญของการวางรากฐานสำหรับการพัฒนาระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนที่มีความยั่งยืน และสามารถตอบสนองต่อความท้าทายด้านความมั่นคงทางพลังงานที่เป็นประเด็นปัญหาสำคัญของระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนในปัจจุบัน