

การศึกษาผลกระทบของยานพาหนะไฟฟ้าแบบอัดประจุไฟฟ้าเร็วต่อระบบ
จำหน่ายไฟฟ้า กรณีศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2561

**A STUDY OF EFFECT OF FAST CHARGING ELECTRIC
VEHICLES TO POWER DISTRIBUTION SYSTEM:
A CASE STUDY OF MUANG DISTRICT,
NAKHON RATCHASIMA PROVINCE**

Nuttapol Chartsuk



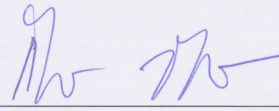
**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Engineering in Electrical Engineering
Suranaree University of Technology**

Academic Year 2018

การศึกษาผลกระทบของยานพาหนะไฟฟ้าแบบอัดประจุไฟฟ้าเร็วต่อระบบจำหน่าย
ไฟฟ้า กรณีศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา

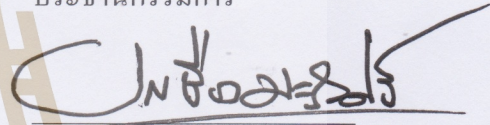
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



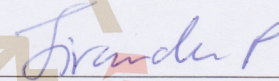
(รศ. ดร. กীরติ ชยะกุลคีรี)

ประธานกรรมการ



(ผศ. ดร. บุญเรือง มะรังคีรี)

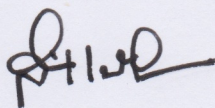
กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)



(อ. ดร. จีรวดี ผลประเสริฐ)

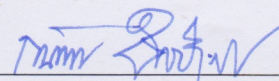
กรรมการ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



(ศ. ดร. สันติ แม่นศิริ)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและพัฒนาความเป็นสากล



(รศ. ร.อ. ดร. กนต์จร ชำนิประศาสน์)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

ณัฐพล ชาศิสุข : การศึกษาผลกระทบของยานพาหนะไฟฟ้าแบบอัดประจุไฟฟ้าเร็วต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา (A STUDY OF EFFECT OF FAST CHARGING ELECTRIC VEHICLES TO POWER DISTRIBUTION SYSTEM: A CASE STUDY OF MUANG DISTRICT, NAKHON RATCHASIMA PROVINCE) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญเรือง มะรังศรี, 217 หน้า

งานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้เป็นการศึกษาผลกระทบของรถยนต์ไฟฟ้าแบบอัดประจุไฟฟ้าเร็วต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา ในการศึกษาที่กำหนดให้สถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วตั้งอยู่ในสถานีบริการน้ำมันที่มีในเขตอำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา จำนวน 11 สถานี และสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วทั้งหมดเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค จังหวัดนครราชสีมา จำนวน 8 วงจร และได้กำหนดให้รถยนต์ไฟฟ้าในเขตอำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา เท่ากับ 2,758 คัน โดยคิดจากอัตราการเพิ่มขึ้นของยอดจดทะเบียนรถยนต์ใหม่ในระหว่างปี พ.ศ. 2555 ถึง 2559 ของจังหวัดนครราชสีมา และจำนวนของประชากรในเขตอำเภอเมือง โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 กรณี ได้แก่ กรณีที่ 1 มีจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าที่ต้องการอัดประจุไฟฟ้า 1,103 คันต่อวัน คิดจาก 40% ของจำนวนรถยนต์ไฟฟ้า และกรณีที่ 2 มีจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าที่ต้องการอัดประจุไฟฟ้า 2,206 คันต่อวัน โดยคิดจาก 80% ของจำนวนรถยนต์ไฟฟ้า จากนั้นใช้วิธีมอนติคาร์โลสร้างตำแหน่งของรถยนต์ไฟฟ้าในเขตอำเภอเมือง โดยกำหนดให้รถยนต์ไฟฟ้าเลือกเข้าใช้บริการสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วที่ใกล้ที่สุด แล้วจึงใช้วิธีโครงข่ายประสาทเทียมคำนวณระยะการเดินทาง จึงสามารถหาขนาดของสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว ขนาดของหม้อแปลงไฟฟ้า และประเมินค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้อง จากนั้นศึกษาผลกระทบของการอัดประจุไฟฟ้าเร็วต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้าด้วยการใช้วิธีมอนติคาร์โลและวิธีโครงข่ายประสาทเทียมหาระยะการเดินทางของรถยนต์ไฟฟ้าในแต่ละวัน โดยพิจารณาห้รถยนต์ไฟฟ้า สถานะของแบตเตอรี่ เวลาเริ่มอัดประจุไฟฟ้าที่สถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วและระยะเวลาอัดประจุไฟฟ้า เพื่อสร้างโปรไฟล์การใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบจำหน่ายไฟฟ้า และตรวจสอบผลกระทบต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้า โดยคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสัน นอกจากนี้งานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้ยังได้เสนอการบรรเทาผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้า ด้วยติดตั้งชุดตัวเก็บประจุเพื่อยกกระดับแรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าด้วยวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพแบบวาฟเพื่อหาตำแหน่งและขนาดที่เหมาะสมที่สุดของชุดตัวเก็บประจุ และเสนอกฎยุทธ์การจัดการการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าด้วยการใช้พีซซีลอจิกเพื่อควบคุมกำลังไฟฟ้า ผลการศึกษาทั้ง 11 สถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วใน 8 วงจรจำหน่ายพบว่า ในวงจรที่ 1, 3 และ 6 การใช้พลังงานไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าส่งผลกระทบอย่างมากเมื่อเทียบกับวงจรอื่น ๆ โดยพบว่า ในวงจรที่ 1 และ 6 มีโหลด

สูงสุดเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ยประมาณ 24.5% ส่วนวงจรอื่น ๆ เพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ยเพียง 1.4% การสูญเสียพลังงานไฟฟ้าในวงจรที่ 1, 3 และ 6 เพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ยประมาณ 12.8% ส่วนวงจรอื่น ๆ เพิ่มขึ้น 3.0% และการเบี่ยงเบนของแรงดันไฟฟ้าในวงจรที่ 1, 3 และ 6 เพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ยประมาณ 11.3% ส่วนวงจรอื่น ๆ เพิ่มขึ้น 1.6% จากนั้นติดตั้งชุดตัวเก็บประจุ เพื่อยกระดับแรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า ยกเว้นในวงจรที่ 3 และ 8 เนื่องจากส่งผลเสียมากกว่าผลดี ส่วนวงจรอื่น ๆ พบว่า การสูญเสียพลังงานไฟฟ้าลดลงโดยเฉลี่ยประมาณ 9.1% และการเบี่ยงเบนของแรงดันไฟฟ้าลดลงโดยเฉลี่ยประมาณ 31.3% แต่ไม่สามารถลดโหลดสูงสุดได้ จึงใช้กลยุทธ์การอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าเพื่อลดโหลดสูงสุดในวงจรที่ 1 และ 6 เท่านั้น เนื่องจากมีโหลดสูงสุดเพิ่มขึ้นอย่างมากเมื่อเทียบกับวงจรอื่น ๆ พบว่า สามารถลดโหลดสูงสุดได้โดยเฉลี่ยประมาณ 8.2% แต่มีข้อเสียคือ ระยะเวลาอัดประจุไฟฟ้านานขึ้น จากผลการศึกษาสรุปได้ว่า ผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็วต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้า คือ แรงดันไฟฟ้าตกและการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าสูญเสียมากขึ้น การยกระดับแรงดันไฟฟ้าด้วยชุดตัวเก็บประจุและกลยุทธ์การจัดการการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าเป็นวิธีที่เหมาะสมของระบบจำหน่ายไฟฟ้าเพื่อรองรับการเพิ่มขึ้นของรถยนต์ไฟฟ้าในอนาคต



สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
ปีการศึกษา 2561

ลายมือชื่อนักศึกษา ณัฐพล ชาติสุข
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา Ontharat

NUTTAPOL CHARTSUK : A STUDY OF EFFECTS OF FAST
CHARGING ELECTRIC VEHICLES TO POWER DISTRIBUTION
SYSTEM: A CASE STUDY OF MUANG DISTRICT, NAKHON
RATCHASIMA PROVINCE. THESIS ADVISOR : ASST. PROF.
BOONRUENG MARUNGSRI, D. Eng., 217 PP.

ELECTRIC VEHICLE/ FAST CHARGING STATION/ FAST CHARGING
ELECTRIC VEHICLE/ POWER LOSSES/ VOLTAGE DEVIATION INDEX

This thesis is a study of the effects of fast charging electric vehicles (EVs) to the power distribution system (PDS): a case study of Muang district, Nakhon Ratchasima province. Fast charging station is located in petrol stations, and the total number of FCS station is 11 stations which are equal to petrol stations in Muang district area. Electric power of FCSs stations is supplied from the PDS 8 feeders of Provincial Electricity Authority. The number of EVs is estimated as 2,758 cars, based on the increase in the number of new car registrations in 2012-2016 and the population of Muang District. A study has divided into two cases; in case 1, numbers of EVs need a battery recharge are 1,103 cars per day based on 40% of total EVs and in case 2, numbers of EVs need a battery recharge are 2,206 cars per day based on 80% of total EVs. Then, the locations of EVs in Muang District are randomized by using a Monte Carlo (MC) technique. Those EVs are defined to select the nearest FCS for recharging. The EVs travelling distance to the nearest FCS is approximately by using Artificial Neural Network (ANN). After that, the optimal capacity of FCS, the optimal size of the transformer and the total cost of FCS are determined. The effects of EVs charging to PDS have studied for generate a profile of electrical energy consumption (EEC) by

considering a marque of EVs, the state of charge, the starting time of charging at FCS, and the charging duration. The effect on the PDS has investigated by using a Newton-Raphson method for power flow analysis. Furthermore, this thesis has proposed an idea to mitigate the effects of EVs fast charging to PDS by installing capacitors for enhancement of voltage level in PDS. A whale optimization algorithm has used to find the optimal location and size of the capacitors and also a power control strategy to manage the EVs charging has proposed by using Fuzzy Logic. By the simulation results, it is found that the EEC of EVs affects severely on feeder No. 1, 3, and 6 compared to the other feeders. The peak load has increased by 24.5 % on No. 1 and 6 feeders but has increased by 1.4% on the other feeders. The energy loss has increased by 12.8% on No. 1, 3, and 6 feeders but has increased by 3.0% on the other feeders. The voltage deviation has increased by 11.3% on No. 1, 3, and 6 feeders but has increased by 1.6% on the other feeders. The capacitors have used to enhance the voltage level in PDS to mitigate the effects of fast charging EVs. The energy loss has decreased by 9.1%, and the voltage deviation has reduced by 31.3%, but the peak load has not decreased. Then, a strategy of managing the EVs charging has applied to reduce the peak load on No.1 and 6 feeders because the peak load has more increased compared to the other feeders. By this method, the peak load has reduced by 8.2%, but the charging duration of EVs has increased. From the study results, the fast charging of EVs has affected to the PDS by increased the voltage drop and the energy losses. The enhancement of voltage level with capacitors and the power control strategy to manage EV charging are an appropriate method to tackle those problems.

School of Electrical Engineering

Academic Year 2018

Student's Signature

Advisor's Signature

อ. พ. ชาติสุข

UNBODATSRMS

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ฎ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ข้อยกเว้นเบื้องต้น.....	3
1.4 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.6 รายละเอียดในวิทยานิพนธ์.....	3
2 ทฤษฎี ปรัชญา วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 กล่าวนำ.....	5
2.2 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการอัดประจุไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้า.....	5
2.2.1 รถยนต์ไฟฟ้า.....	5
2.2.2 อุปกรณ์กักเก็บพลังงานไฟฟ้าสำหรับรถยนต์ไฟฟ้า.....	8
2.2.3 สถานีอัดประจุไฟฟ้า.....	14
2.2.4 ความน่าจะเป็นของการขับขี่รถยนต์ไฟฟ้าและ การเข้าใช้บริการสถานีอัดประจุไฟฟ้า.....	18
2.3 ระบบไฟฟ้า.....	20
2.3.1 หน่วยงานหลักของระบบไฟฟ้าในประเทศไทย.....	22

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.3.2	ระเบียบมาตรฐานของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค.....	23
2.3.3	ประสิทธิภาพและกำลังไฟฟ้าสูญเสียของหม้อแปลงไฟฟ้า.....	24
2.3.4	การเบี่ยงเบนของแรงดันไฟฟ้า.....	25
2.3.5	การยกระดับแรงดันไฟฟ้าด้วยชุดตัวเก็บประจุ	25
2.3.6	กำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบไฟฟ้า.....	26
2.4	การกำหนดจำนวนสถานีอัดประจุไฟฟ้าในพื้นที่.....	27
2.5	ค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องในการพิจารณาหาขนาดและตำแหน่ง ของสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วสำหรับรถยนต์ไฟฟ้า.....	30
2.5.1	ค่าใช้จ่ายในการพัฒนาสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว.....	30
2.5.2	ค่าใช้จ่ายสำหรับสายส่งจำหน่ายไฟฟ้า	31
2.5.3	ค่าใช้จ่ายในการเดินทางของผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้า.....	32
2.5.4	ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการสูญเสียของพลังงานไฟฟ้า ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า	33
2.6	วิธีการประมาณช่วงความเชื่อมั่น	34
2.7	เทคนิคการจำลองสถานการณ์แบบมอนติคาร์โล	38
2.8	วิธีการเพิ่มประสิทธิภาพแบบวาฟ.....	43
2.9	วิธีโครงข่ายประสาทเทียม	47
2.10	ทฤษฎีฟิชชี่ลอจิก	53
2.11	ปริทัศน์วรรณกรรม.....	61
2.12	สรุป	67
3	วิธีดำเนินการวิจัย	68
3.1	กล่าวนำ.....	68
3.2	การจำลองลักษณะการอัดประจุไฟฟ้าแบบปกติและเร็วของรถยนต์ไฟฟ้า	68
3.2.1	การกำหนดพารามิเตอร์ในการศึกษาลักษณะการอัดประจุไฟฟ้า แบบปกติและเร็วของรถยนต์ไฟฟ้า	69
3.2.2	การอัดประจุไฟฟ้าแบบปกติ.....	70

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.2.3 การอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็ว	70
3.3 การออกแบบตำแหน่งและขนาดของสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว	
ในเขตอำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา	71
3.3.1 การออกแบบตำแหน่งของสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว.....	71
3.3.2 การออกแบบขนาดของสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว	77
3.3.3 การออกแบบขนาดหม้อแปลงไฟฟ้าสำหรับสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว.....	84
3.4 กระบวนการจำลองผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็ว	
ของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า.....	89
3.5.1 การยกระดับแรงดันไฟฟ้าด้วยชุดตัวเก็บประจุในระบบจำหน่ายไฟฟ้า	90
3.5.2 กลยุทธ์การจัดการการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้า	
ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าโดยใช้วิธีการควบคุมแบบพีซซีลอจิก.....	93
3.6 สรุป	99
4 ผลการวิจัย.....	101
4.1 กล่าวนำ.....	101
4.2 ผลการจำลองลักษณะการอัดประจุไฟฟ้าแบบปกติและเร็วของรถยนต์ไฟฟ้า	101
4.2.1 การอัดประจุไฟฟ้าแบบปกติ.....	101
4.2.2 การอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็ว	102
4.3 ตำแหน่งและขนาดของสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วในเขตอำเภอเมือง	
จังหวัดนครราชสีมา.....	107
4.4 ผลการจำลองผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้า	
ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า	119
4.4.1 จำนวนรถยนต์ไฟฟ้าที่เข้าใช้บริการอัดประจุไฟฟ้าเร็ว	
ที่เวลาต่าง ๆ ในแต่ละสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว	119
4.4.2 ลักษณะการบริโภคพลังงานไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้า	
ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า.....	124

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.4.3 ผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้า ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า.....	132
4.5 ผลการจำลองการบรรเทาผลกระทบจากอัดประจุไฟฟ้าเร็ว ของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า	135
4.5.1 การยกระดับแรงดันไฟฟ้าด้วยชุดตัวเก็บประจุในระบบจำหน่ายไฟฟ้า	135
4.5.2 กลยุทธ์การจัดการการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้า ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าโดยใช้วิธีการควบคุมแบบพีซีลอคจิก.....	148
4.6 สรุป.....	155
5 สรุปและข้อเสนอแนะ	156
5.1 สรุป.....	156
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	157
รายการอ้างอิง	159
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. จังหวัดนครราชสีมา	164
ภาคผนวก ข. ชุดคำสั่ง โปรแกรม MATLAB ที่ใช้ในงานวิจัย	168
ภาคผนวก ค. บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา.....	202
ประวัติผู้เขียน	217

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	รถยนต์ไฟฟ้าที่มีในปี พ.ศ. 2558 ถึง 2560..... 7
2.2	คุณสมบัติของแบตเตอรี่ประเภทต่าง ๆ 10
2.3	ระดับการอัดประจุไฟฟ้า..... 15
2.4	โหมคของการอัดประจุไฟฟ้า..... 16
2.5	มาตรฐานระดับแรงดันไฟฟ้าสูงสุดและต่ำสุดของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค..... 23
2.6	ระยะเวลาปลดวงจรเมื่อแรงดันไฟฟ้าไม่อยู่ในช่วงแรงดันไฟฟ้าพิกัด..... 24
2.7	ขนาดกระแสของสายทองแดงหุ้มฉนวนครอสลิงค์โพลีเอททิลีน 32
2.8	กฎการควบคุม 59
2.9	พิธีศันวรัณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 61
3.1	คุณลักษณะเฉพาะของรถยนต์ไฟฟ้า Nissan Leaf 38 kWh..... 69
3.2	โหมคสำหรับการอัดประจุไฟฟ้าแบบปกติ 70
3.3	โหมคสำหรับการอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็ว 70
3.4	วงจรไฟฟ้าของสถานีไฟฟ้านครราชสีมา สำหรับสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว..... 72
3.5	พารามิเตอร์ที่ใช้ในการศึกษา 83
3.6	ขนาดของชุดตัวเก็บประจุและค่าใช้จ่าย (บาท/Mvar) 91
4.1	การอัดประจุไฟฟ้าแบบปกติและเร็วสำหรับรถยนต์ไฟฟ้า Nissan Leaf 38 kWh..... 106
4.2	ระยะทางที่สามารถเดินทางของรถยนต์ไฟฟ้าหลังจากอัดประจุไฟฟ้า..... 109
4.3	ขนาดของสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วและขนาดของหม้อแปลงไฟฟ้า สำหรับกรณีที่ 1 116
4.4	ขนาดของสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วและขนาดของหม้อแปลงไฟฟ้า สำหรับกรณีที่ 2 116
4.5	ค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วสำหรับระยะเวลา 5 ปี สำหรับกรณีที่ 1 117
4.6	ค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วสำหรับระยะเวลา 5 ปี สำหรับกรณีที่ 2 117

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.7	ตัวชี้วัดความสะดวกของผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้าสำหรับ 2 กรณีศึกษา 118
4.8	การบริโภคพลังงานไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าที่สถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว สำหรับกรณีที่ 1 131
4.9	การบริโภคพลังงานไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าที่สถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว สำหรับกรณีที่ 2 132
4.10	ผลกระทบจากรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าสำหรับกรณีที่ 1 133
4.11	ผลกระทบจากรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าสำหรับกรณีที่ 2 133
4.12	เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นจากผลกระทบของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า..... 134
4.13	ผลการจำลองการยกระดับแรงดันไฟฟ้าด้วยชุดตัวเก็บประจุในวงจรไฟฟ้าที่ 1 137
4.14	ผลการจำลองการยกระดับแรงดันไฟฟ้าด้วยชุดตัวเก็บประจุในวงจรไฟฟ้าที่ 2 138
4.15	ผลการจำลองการยกระดับแรงดันไฟฟ้าด้วยชุดตัวเก็บประจุในวงจรไฟฟ้าที่ 3 139
4.16	ผลการจำลองการยกระดับแรงดันไฟฟ้าด้วยชุดตัวเก็บประจุในวงจรไฟฟ้าที่ 4 140
4.17	ผลการจำลองการยกระดับแรงดันไฟฟ้าด้วยชุดตัวเก็บประจุในวงจรไฟฟ้าที่ 5 141
4.18	ผลการจำลองการยกระดับแรงดันไฟฟ้าด้วยชุดตัวเก็บประจุในวงจรไฟฟ้าที่ 6 142
4.19	ผลการจำลองการยกระดับแรงดันไฟฟ้าด้วยชุดตัวเก็บประจุในวงจรไฟฟ้าที่ 7 143
4.20	ผลการจำลองการยกระดับแรงดันไฟฟ้าด้วยชุดตัวเก็บประจุในวงจรไฟฟ้าที่ 8 144
4.21	ผลการจำลองจากการจัดการการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้า ในวงจรไฟฟ้าที่ 1 153
4.22	ผลการจำลองจากการจัดการการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้า ในวงจรไฟฟ้าที่ 6 154
ก.1	จำนวนเทศบาลตำบล 15 แห่ง อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 165
ก.2	การจดทะเบียนรถยนต์ใหม่..... 165
ก.3	สถานีบริการน้ำมันที่ถูกเลือกในพื้นที่อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 166
ก.4	พารามิเตอร์ของตัวแปรอินพุต $N_{traffic}$ 167

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	ความแตกต่างระหว่างรถยนต์แบบเครื่องยนต์สันดาปภายในและรถยนต์ไฟฟ้า 6
2.2	ประเภทของรถยนต์ไฟฟ้า..... 6
2.3	ส่วนประกอบหลักของแบตเตอรี่ 8
2.4	สมรรถนะด้านต่าง ๆ ของแบตเตอรี่..... 9
2.5	ลักษณะการอัดประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน 11
2.6	โครงข่ายสถานีอัดประจุไฟฟ้าสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าในอนาคต..... 15
2.7	จำนวน n หัวอัดประจุไฟฟ้าของสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว 17
2.8	โครงสร้างพื้นฐานของสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วหรือการเชื่อมต่อ สถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า 17
2.9	ความน่าจะเป็นของระยะทางสำหรับผู้ใช้งานพาหนะในการเดินทาง 18
2.10	ความน่าจะเป็นสะสมของระยะทางสำหรับผู้ใช้งานพาหนะในการเดินทาง 19
2.11	เปอร์เซ็นต์ของจำนวนยานพาหนะที่เข้าใช้สถานีบริการน้ำมันที่เวลาต่าง ๆ ในหนึ่งวัน 20
2.12	โครงสร้างของระบบไฟฟ้ากำลัง..... 21
2.13	ระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่ต่อชุดตัวเก็บประจุที่โหลด 25
2.14	วงจรสมมูลของระบบและเวกเตอร์ไดอะแกรม 26
2.15	แผนผังการอัดประจุไฟฟ้าให้รถบัสไฟฟ้า..... 29
2.16	วงจรสมมูลของสถานีอัดประจุไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้า เมื่ออัดประจุไฟฟ้าให้รถบัสไฟฟ้า 29
2.17	ผังการจัดพื้นที่สำหรับสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว 31
2.18	การกระจายแบบปกติมาตรฐาน 36
2.19	ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นแบบต่อเนื่อง 38
2.20	ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของความน่าจะเป็นแบบต่อเนื่อง 39

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.21	ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นแบบไม่ต่อเนื่อง 40
2.22	ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของความน่าจะเป็นแบบไม่ต่อเนื่อง 40
2.23	การแจกแจงสะสมของความน่าจะเป็นแบบไม่ต่อเนื่อง 41
2.24	ความน่าจะเป็นสะสมของข้อมูลที่ต้องการ 42
2.25	กลไกการค้นหาแบบฟองดาข่ายของวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพแบบวาฟ..... 45
2.26	การดำเนินการของวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพแบบวาฟ..... 47
2.27	หลักการของโครงข่ายประสาทเทียม 49
2.28	ส่วนประกอบของโครงข่ายประสาทเทียม 49
2.29	การเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับการปรับค่าน้ำหนัก..... 51
2.30	โครงข่ายประสาทเทียมแบบโครงข่ายไปข้างหน้า 52
2.31	พีชชีเซตและฟังก์ชันการเป็นสมาชิก..... 54
2.32	ระบบควบคุมแบบพีชชีลอจิก 56
2.33	พีชชีเซตของอินพุตและกระบวนการพีชชีฟิเคชัน..... 57
2.34	พีชชีเซตของสัญญาณควบคุม..... 58
3.1	รถยนต์ไฟฟ้า Nissan Leaf 38 kWh..... 68
3.2	สถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วในเขตอำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 73
3.3	การจ่ายไฟฟ้าของสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 2 วงจรนครราชสีมา 6 ที่มี สถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วที่ 1 73
3.4	การจ่ายไฟฟ้าของสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 4 วงจรนครราชสีมา 4 ที่มี สถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วที่ 2 และ 3 74
3.5	การจ่ายไฟฟ้าของสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 5 วงจรนครราชสีมา 3 ที่มี สถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วที่ 4 และ 10 74
3.6	การจ่ายไฟฟ้าของสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 2 วงจรนครราชสีมา 9 ที่มี สถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วที่ 5 75
3.7	การจ่ายไฟฟ้าของสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 3 วงจรนครราชสีมา 6 ที่มี สถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วที่ 6 75

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.8 การจ่ายไฟฟ้าของสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 3 วงจรนครราชสีมา 2 ที่มี สถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วที่ 7 และ 8	76
3.9 การจ่ายไฟฟ้าของสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 3 วงจรนครราชสีมา 5 ที่มี สถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วที่ 9	76
3.10 การจ่ายไฟฟ้าของสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 3 วงจรนครราชสีมา 3 ที่มี สถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วที่ 11	77
3.11 กระบวนการหาขนาดของสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วในเขตอำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา	81
3.12 ชุดข้อมูลอินพุตและชุดข้อมูลเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียม	83
3.13 โครงสร้างพื้นฐานของสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว ที่มีการติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าใหม่	84
3.14 กระบวนการจำลองผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้า ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า	87
3.15 วิธีการหาตำแหน่งและขนาดที่เหมาะสมที่สุดของชุดตัวเก็บประจุ ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า โดยใช้วิธีการเพิ่มประสิทธิภาพแบบวาฟ	92
3.16 โครงสร้างของกลยุทธ์การควบคุมการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้า	95
3.17 โครงสร้างของระบบฟuzzyลอจิกสำหรับการควบคุมการอัดประจุไฟฟ้าเร็ว ของรถยนต์ไฟฟ้า	95
3.18 โครงสร้างของตัวแปรอินพุต E_{ev} ในระบบฟuzzyลอจิก	96
3.19 โครงสร้างของตัวแปรอินพุต $N_{traffic}$ ในระบบฟuzzyลอจิก	97
3.20 โครงสร้างของตัวแปรเอาต์พุต $P_{charging}$ ในระบบฟuzzyลอจิก	97
3.21 การดำเนินการของระบบฟuzzyลอจิก	98
3.22 ลักษณะพื้นผิวของระบบฟuzzy	99
4.1 ลักษณะการอัดประจุของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าแบบปกติ	103
4.2 ลักษณะกำลังไฟฟ้าในขณะอัดประจุไฟฟ้าแบบปกติให้กับแบตเตอรี่ ในรถยนต์ไฟฟ้า	103

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.3	ลักษณะการอัดประจุของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าแบบเร็ว 104
4.4	ลักษณะกำลังไฟฟ้าในขณะอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็วให้กับแบตเตอรี่ ในรถยนต์ไฟฟ้า..... 104
4.5	ลักษณะการอัดประจุของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าคงที่แบบเร็ว 105
4.6	ลักษณะกำลังไฟฟ้าสำหรับหัวอัดประจุไฟฟ้าที่มีกำลังไฟฟ้าคงที่ขนาด 96 kW ในขณะอัดประจุไฟฟ้าเร็วให้กับแบตเตอรี่ในรถยนต์ไฟฟ้า..... 105
4.7	กระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าในขณะอัดประจุไฟฟ้าเร็วสำหรับพลังงานที่ ต้องการอัดประจุไฟฟ้าให้กับรถยนต์ไฟฟ้า 26 kWh..... 108
4.8	ตำแหน่งรถยนต์ไฟฟ้า 1,103 คัน ที่ต้องการอัดประจุไฟฟ้าเร็วที่ สถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วสำหรับกรณีที่ 1 111
4.9	ตำแหน่งรถยนต์ไฟฟ้า 2,206 คัน ที่ต้องการอัดประจุไฟฟ้าเร็วที่ สถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วสำหรับกรณีที่ 2 112
4.10	ผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้าเลือกเส้นทางที่ใกล้ที่สุดสำหรับเดินทางไปยัง สถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วสำหรับกรณีที่ 1 112
4.11	ผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้าเลือกเส้นทางที่ใกล้ที่สุดสำหรับเดินทางไปยัง สถานีอัดประจุไฟฟ้าสำหรับกรณีที่ 2 113
4.12	กลุ่มตัวอย่างเพื่อเรียนรู้ฝึกฝนระบบโครงข่ายประสาทเทียม จำนวน 500 ชุด 113
4.13	ผลลัพธ์จากการฝึกฝนระบบโครงข่ายประสาทเทียม สำหรับคำนวณระยะเวลาการเดินทาง 115
4.14	จำนวนรถยนต์ไฟฟ้าที่เริ่มอัดประจุไฟฟ้าเร็วที่เวลาต่าง ๆ ใน สถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วที่ 1 ถึง 6 สำหรับกรณีที่ 1 120
4.15	จำนวนรถยนต์ไฟฟ้าที่เริ่มอัดประจุไฟฟ้าเร็วที่เวลาต่าง ๆ ใน สถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วที่ 7 ถึง 11 สำหรับกรณีที่ 1 121
4.16	จำนวนรถยนต์ไฟฟ้าที่เริ่มอัดประจุไฟฟ้าเร็วที่เวลาต่าง ๆ ใน สถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วที่ 1 ถึง 6 สำหรับกรณีที่ 2 122

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.17 จำนวนรถยนต์ไฟฟ้าที่เริ่มอัดประจุไฟฟ้าเร็วที่เวลาต่าง ๆ ใน สถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วที่ 7 ถึง 11 สำหรับกรณีที่ 2	123
4.18 ผลลัพธ์จากการเรียนรู้ระบบโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับ ใช้คำนวณระยะเวลาการเดินทางของรถยนต์ไฟฟ้าในแต่ละวัน	125
4.19 การบริโภคลงงานไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้าที่ 1 (NRB06) สำหรับกรณีที่ 1.....	126
4.20 การบริโภคลงงานไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้าที่ 1 (NRB06) สำหรับกรณีที่ 2.....	126
4.21 การบริโภคลงงานไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้าที่ 2 (NRD04) สำหรับกรณีที่ 1	126
4.22 การบริโภคลงงานไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้าที่ 2 (NRD04) สำหรับกรณีที่ 2	127
4.23 การบริโภคลงงานไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้าที่ 3 (NRE03) สำหรับกรณีที่ 1.....	127
4.24 การบริโภคลงงานไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้าที่ 3 (NRE03) สำหรับกรณีที่ 2.....	127
4.25 การบริโภคลงงานไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้าที่ 4 (NRB09) สำหรับกรณีที่ 1.....	128
4.26 การบริโภคลงงานไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้าที่ 4 (NRB09) สำหรับกรณีที่ 2.....	128
4.27 การบริโภคลงงานไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้าที่ 5 (NRC06) สำหรับกรณีที่ 1.....	128
4.28 การบริโภคลงงานไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้าที่ 5 (NRC06) สำหรับกรณีที่ 2.....	129
4.29 การบริโภคลงงานไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้าที่ 6 (NRC02) สำหรับกรณีที่ 1.....	129

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.30 การบริโภคพลังงานไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้าที่ 6 (NRC02) สำหรับกรณีที่ 2.....	129
4.31 การบริโภคพลังงานไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้าที่ 7 (NRC05) สำหรับกรณีที่ 1.....	130
4.32 การบริโภคพลังงานไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้าที่ 7 (NRC05) สำหรับกรณีที่ 2.....	130
4.33 การบริโภคพลังงานไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้าที่ 8 (NRC03) สำหรับกรณีที่ 1.....	130
4.34 การบริโภคพลังงานไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้าที่ 8 (NRC03) สำหรับกรณีที่ 2.....	131
4.35 การรู้เข้าหาคำตอบที่ดีที่สุดของวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพแบบวาฟ สำหรับวงจรไฟฟ้าที่ 1	145
4.36 การรู้เข้าหาคำตอบที่ดีที่สุดของวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพแบบวาฟ สำหรับวงจรไฟฟ้าที่ 2	145
4.37 การรู้เข้าหาคำตอบที่ดีที่สุดของวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพแบบวาฟ สำหรับวงจรไฟฟ้าที่ 3	145
4.38 การรู้เข้าหาคำตอบที่ดีที่สุดของวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพแบบวาฟ สำหรับวงจรไฟฟ้าที่ 4	146
4.39 การรู้เข้าหาคำตอบที่ดีที่สุดของวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพแบบวาฟ สำหรับวงจรไฟฟ้าที่ 5	146
4.40 การรู้เข้าหาคำตอบที่ดีที่สุดของวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพแบบวาฟ สำหรับวงจรไฟฟ้าที่ 6	146
4.41 การรู้เข้าหาคำตอบที่ดีที่สุดของวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพแบบวาฟ สำหรับวงจรไฟฟ้าที่ 7	147
4.42 การรู้เข้าหาคำตอบที่ดีที่สุดของวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพแบบวาฟ สำหรับวงจรไฟฟ้าที่ 8	147

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.43 การจัดการการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้าที่ 1 (NRC03) สำหรับกรณีที่ 1 (กำลังไฟฟ้าของโหลด).....	149
4.44 การจัดการการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้าที่ 1 (NRC03) สำหรับกรณีที่ 1 (แรงดันไฟฟ้า)	150
4.45 การจัดการการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้าที่ 1 (NRC03) สำหรับกรณีที่ 2 (กำลังไฟฟ้าของโหลด).....	150
4.46 การจัดการการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้าที่ 1 (NRC03) สำหรับกรณีที่ 2 (แรงดันไฟฟ้า).....	151
4.47 การจัดการการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้าที่ 6 (NRC02) สำหรับกรณีที่ 2 (กำลังไฟฟ้าของโหลด).....	151
4.48 การจัดการการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้าที่ 6 (NRC02) สำหรับกรณีที่ 2 (แรงดันไฟฟ้า)	152



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

รถยนต์เป็นสิ่งที่มีค่าอย่างยิ่งในการใช้เพื่อการเดินทางของมนุษย์ ในปัจจุบันรถยนต์ถูกใช้งานอย่างแพร่หลายและมีจำนวนการผลิตรถยนต์มากขึ้นอย่างต่อเนื่อง รถยนต์ที่ใช้ในปัจจุบันส่วนใหญ่เป็นรถยนต์แบบเครื่องยนต์สันดาปภายในที่ใช้เครื่องยนต์ในการขับเคลื่อน ซึ่งใช้น้ำมันเป็นเชื้อเพลิงหรือพลังงานจากฟอสซิล จะเห็นได้ว่า พลังงานจากฟอสซิลได้ถูกบริโภคอย่างต่อเนื่องในปัจจุบันและมีแนวโน้มในเรื่องของราคาที่สูงขึ้นต่อเนื่อง ในอนาคตแน่นอนมีแนวโน้มว่าพลังงานจากฟอสซิลจะสูญหายและหมดไปจากโลก เนื่องจากมีการบริโภคพลังงานจากฟอสซิลอย่างต่อเนื่องในปัจจุบัน ข้อเสียที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งของรถยนต์แบบเครื่องยนต์สันดาปภายใน คือ ก่อให้เกิดมลพิษและส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงฟอสซิลภายในเครื่องยนต์สันดาปของรถยนต์เป็นสาเหตุหลักของการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ทำให้เกิดภาวะเรือนกระจกและภาวะโลกร้อน ดังนั้น ในปัจจุบันได้มีนักวิจัยจำนวนมากเริ่มศึกษาและค้นคว้าเพื่อหาแนวทางการแก้ปัญหาสำหรับพลังงานทางเลือกอื่นมาทดแทนพลังงานจากฟอสซิล พบว่า พลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานที่ถูกนำมาใช้ในการขับเคลื่อนรถยนต์ ซึ่งจะเรียกรถยนต์ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าในการขับเคลื่อนนี้เรียกว่า “รถยนต์ไฟฟ้า” รถยนต์ไฟฟ้าในปัจจุบันได้ถูกพัฒนาและมีอัตราการผลิตรถยนต์ไฟฟ้าเป็นจำนวนที่เพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากมีข้อดีเด่นชัดของรถยนต์ไฟฟ้า คือ ไม่ก่อให้เกิดมลพิษและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมเมื่อเทียบกับรถยนต์แบบเครื่องยนต์สันดาปภายใน สามารถช่วยแก้ไขปัญหที่เกิดขึ้นดังกล่าวข้างต้นได้เป็นอย่างดี

จากแผนอนุรักษ์พลังงานของประเทศไทย ที่มีเป้าหมายในการลดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ทางภาครัฐได้มีการส่งเสริมการใช้รถยนต์ไฟฟ้า ซึ่งเป็นมาตรการหนึ่งในแผนอนุรักษ์พลังงาน (สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน และกระทรวงพลังงาน, 2558) ดังนั้น เทคโนโลยีของรถยนต์ไฟฟ้าจึงเริ่มได้รับความสนใจมากขึ้น โดยเทคโนโลยีดังกล่าวเป็นการนำแบตเตอรี่เก็บสะสมพลังงานไฟฟ้ามาเป็นแหล่งพลังงานหลักในการขับเคลื่อนรถยนต์ไฟฟ้า ในอนาคตรถยนต์ไฟฟ้าจะได้รับความนิยมและถูกนำมาใช้งานสำหรับการเดินทางในประเทศเพิ่มมากขึ้น แต่รถยนต์ไฟฟ้าจำเป็นต้องมีการอัดประจุไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่ ดังนั้น สิ่งที่สำคัญสำหรับรถยนต์ไฟฟ้า คือ สถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วที่เป็นจุดบริการให้กับรถยนต์ไฟฟ้าในการอัดประจุไฟฟ้า

เร็วให้กับรถยนต์ไฟฟ้าในระหว่างการเดินทาง การตั้งสถานีอัดประจุเร็วจำเป็นต้องติดตั้งบนโหนดของระบบจำหน่ายไฟฟ้าเพื่อบริ โภคพลังงานไฟฟ้าจากระบบจำหน่ายไฟฟ้า เพื่อเตรียมพร้อมสำหรับจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าและสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในอนาคต การอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าที่สถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วอาจเป็นสาเหตุหลักในการส่งผลกระทบต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้าได้

ดังนั้น งานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้ได้เสนอการศึกษาผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา โดยเริ่มต้นจากการศึกษาลักษณะการอัดประจุไฟฟ้าแบบปกติและเร็วของรถยนต์ไฟฟ้า มีการวางแผนเพื่อออกแบบตำแหน่งและขนาดของสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วในเขตอำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา การศึกษาพฤติกรรมของผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้า เช่น ระยะเวลาเดินทางของผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้า ยี่ห้อรถยนต์ไฟฟ้า สถานะของแบตเตอรี่ เวลาที่เริ่มอัดประจุไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าที่สถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว และระยะเวลาในการอัดประจุไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้า เพื่อประเมินลักษณะการบริโภคพลังงานไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าโดยใช้วิธีมอนิเตอร์และวิธี โคร่งข่ายประสาทเทียม การตรวจสอบผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าโดยใช้การคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสัน และเสนอแนวทางการบรรเทาผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า ได้แก่ การยกระดับแรงดันไฟฟ้าด้วยชุดตัวเก็บประจุในระบบจำหน่ายไฟฟ้า โดยใช้วิธีการเพิ่มประสิทธิภาพแบบวาไฟในการหาตำแหน่งและขนาดที่เหมาะสมที่สุดของชุดตัวเก็บประจุ และกลยุทธ์การจัดการการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าโดยใช้วิธีการควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิกเพื่อลดการบริโภคพลังงานไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าในช่วงโหลดสูงสุดของระบบจำหน่ายไฟฟ้า

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 สร้างแบบจำลองที่ใช้ในการศึกษาผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

1.2.2 วิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

1.2.3 เสนอแนวทางการบรรเทาผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

1.3 ข้อตกลงเบื้องต้น

- 1.3.1 การจำลองใช้ข้อมูลระบบจำหน่ายไฟฟ้า 22 kV ของสถานีไฟฟ้านครราชสีมา
- 1.3.2 การจำลองใช้โปรแกรม MATLAB

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.4.1 งานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้พิจารณาเฉพาะผลกระทบต่อแรงดันไฟฟ้าและการสูญเสียของกำลังไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าเท่านั้น
- 1.4.2 งานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้พิจารณาเฉพาะการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าที่สถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วเท่านั้น

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 ได้แบบจำลองที่ใช้ในการศึกษาผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า
- 1.5.2 ได้รับความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลต่อผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า
- 1.5.3 ได้แนวทางการบรรเทาผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า
- 1.5.4 ได้เผยแพร่ความรู้จากงานวิจัยวิทยานิพนธ์

1.6 รายละเอียดในวิทยานิพนธ์

งานวิจัยวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ประกอบด้วย 5 บท ดังนี้

บทที่ 1 เป็นบทนำ กล่าวถึงที่มาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ของการวิจัย ข้อตกลงเบื้องต้น และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ รวมถึงขอบเขตของงานวิจัยวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎี ปรัชสน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า และแนวทางการบรรเทาผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัยสำหรับการจำลองศึกษาลักษณะการอัดประจุไฟฟ้าแบบปกติ และเร็วของรถยนต์ไฟฟ้า การวางแผนเพื่อออกแบบตำแหน่งและขนาดของสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วในเขตอำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา กระบวนการจำลองผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า และกลยุทธ์การจัดการการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์

ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าโดยใช้วิธีการควบคุมแบบพีซีลอคจิก รวมถึงการยกระดับแรงดันไฟฟ้าด้วยชุดตัวเก็บประจุในระบบจำหน่ายไฟฟ้าเพื่อบรรเทาผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

บทที่ 4 กล่าวถึงผลการวิจัย ประกอบด้วย ผลการจำลองและการวิเคราะห์ผล ผลการจำลอง ได้แก่ ลักษณะการอัดประจุไฟฟ้าแบบปกติและเร็วของรถยนต์ไฟฟ้า ตำแหน่งและขนาดของสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วในเขตอำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา ผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า และผลการบรรเทาผลกระทบจากอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

บทที่ 5 กล่าวถึงสรุปและข้อเสนอแนะ



บทที่ 2

ทฤษฎี ปรักศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กล่าวนำ

ปัจจุบันรถยนต์ไฟฟ้าเริ่มได้รับความนิยมและถูกนำมาใช้ในชีวิตประจำวันสำหรับการเดินทาง ดังนั้น การศึกษาผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าเป็นเรื่องที่ต้องให้ความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง งานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้จึงจำเป็นต้องศึกษาข้อมูลและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า มาตรฐานของระบบจำหน่ายไฟฟ้า รถยนต์ไฟฟ้า อุปกรณ์เก็บพลังงานไฟฟ้าสำหรับรถยนต์ไฟฟ้า การอัดประจุไฟฟ้าแบบปกติและเร็ว สถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว เทคนิควิธีการต่าง ๆ เพื่อนำไปสู่การศึกษาผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า และการวางแผนเพื่อออกแบบขนาดและตำแหน่งของสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าในเขตพื้นที่การศึกษา รวมถึงการหาแนวทางที่เหมาะสมเพื่อบรรเทาผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า โดยมีรายละเอียดดังนี้

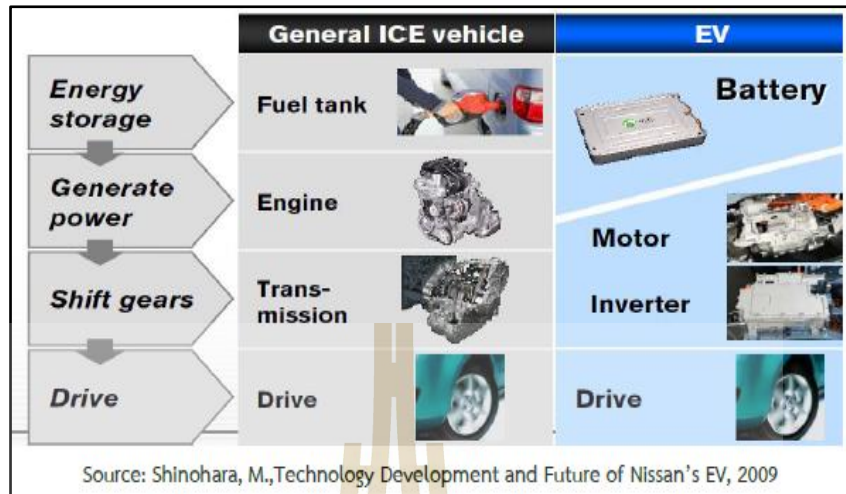
2.2 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการอัดประจุไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้า

2.2.1 รถยนต์ไฟฟ้า

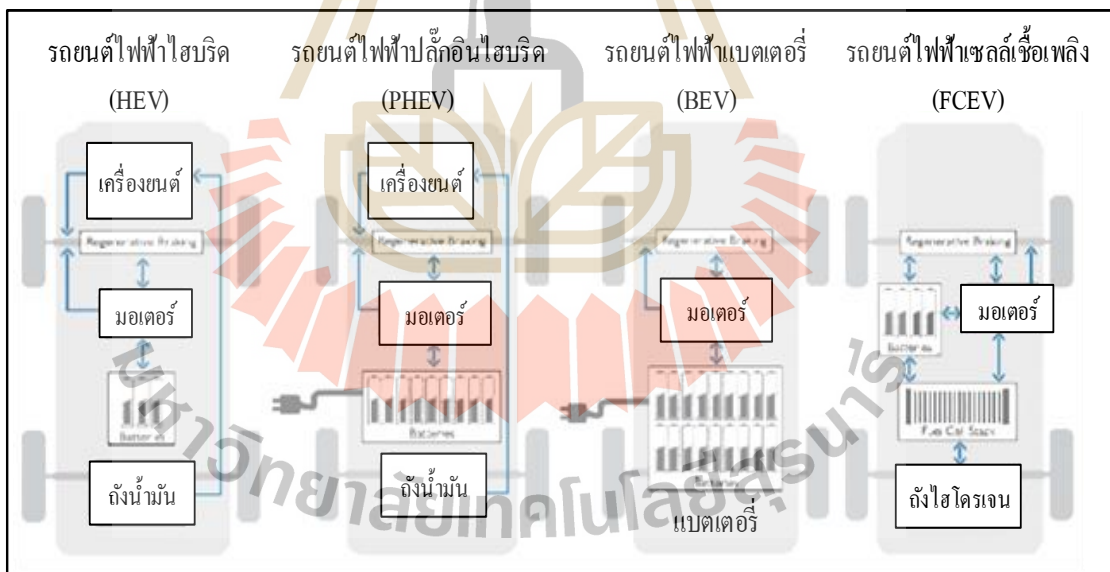
รถยนต์ไฟฟ้าเป็นรถยนต์ที่ขับเคลื่อนด้วยพลังงานไฟฟ้า โดยใช้พลังงานไฟฟ้าไปขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้า พลังงานไฟฟ้าถูกเก็บสะสมอยู่ในแบตเตอรี่หรืออุปกรณ์เก็บสะสมพลังงานไฟฟ้า ซึ่งถูกเก็บเข้ามาด้วยรูปแบบของการอัดประจุไฟฟ้า ข้อดีของมอเตอร์ไฟฟ้า คือ ให้แรงบิดได้ทันที ทำให้อัตราเร่งของรถยนต์ไฟฟ้ามีอัตราเร่งที่เรียบและรวดเร็ว และความแตกต่างของอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องระหว่างรถยนต์ไฟฟ้าและรถยนต์แบบเครื่องยนต์สันดาปภายในดังแสดงในรูปที่ 2.1 รถยนต์ไฟฟ้าแบ่งออกเป็น 4 ประเภท ดังแสดงในรูปที่ 2.2 และรายละเอียดของรถยนต์ไฟฟ้าแต่ละประเภท (พิชัย กองทอง, 2557) แสดงได้ดังต่อไปนี้

1. รถยนต์ไฟฟ้าไฮบริด

ขับเคลื่อนจากมอเตอร์ไฟฟ้าและเครื่องยนต์ มีการนำพลังงานการสูญเสียของเครื่องยนต์มาใช้งาน เช่น การเบรกหรือการชะลอความเร็วของรถถูกนำมาผลิตไฟฟ้าไปเก็บในแบตเตอรี่ และนำพลังงานที่เก็บในแบตเตอรี่มาใช้งานเพื่อช่วยลดความสิ้นเปลืองของเชื้อเพลิง



รูปที่ 2.1 ความแตกต่างระหว่างรถยนต์แบบเครื่องยนต์สันดาปภายในและรถยนต์ไฟฟ้า (มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, 2558)



รูปที่ 2.2 ประเภทของรถยนต์ไฟฟ้า (มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, 2558)

2. รถยนต์ปลั๊กอินไฮบริด

รถยนต์ไฮบริดจ์เป็นรถยนต์ที่ผสมผสานพลังงานไฟฟ้ากับพลังงานจากฟอสซิล โดยพลังงานไฟฟ้าถูกเก็บในแบตเตอรี่ได้มากขึ้น และสามารถขับเคลื่อนด้วยพลังงานไฟฟ้าอย่างเดียวเป็นระยะทางที่มากขึ้นประมาณ 20 ถึง 80 km เพื่อช่วยลดการบริโภคค่าน้ำมันและสามารถอัดประจุไฟฟ้าไว้ในแบตเตอรี่ด้วยการเสียบหัวอัดประจุไฟฟ้าที่ตัวรถยนต์

3. รถยนต์ไฟฟ้าแบตเตอรี่

มีเฉพาะมอเตอร์ไฟฟ้าและใช้พลังงานไฟฟ้าที่อยู่ในแบตเตอรี่เท่านั้น พลังงานไฟฟ้าเป็นต้นกำลังให้รถยนต์เคลื่อนที่ ไม่มีเครื่องยนต์อื่นภายในรถยนต์ ระยะทางในการขับขี่ขึ้นอยู่กับพลังงานไฟฟ้าในแบตเตอรี่ และอาศัยการอัดประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่เพื่อประจุพลังงานไฟฟ้า

4. รถยนต์ไฟฟ้าเซลล์เชื้อเพลิง

รถยนต์ไฟฟ้าที่มีเซลล์เชื้อเพลิงสามารถนำไปผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้าได้ ซึ่งเซลล์เชื้อเพลิงมีค่าความจุพลังงานจำเพาะที่สูงกว่าแบตเตอรี่ที่มีอยู่ในปัจจุบัน แต่การใช้ไฮโดรเจนเป็นเซลล์เชื้อเพลิงในการผลิตพลังงานไฟฟ้าโดยตรงจะมีข้อเสีย คือ มีข้อจำกัดในเรื่องการผลิตไฮโดรเจน

ตารางที่ 2.1 แสดงข้อมูลรถยนต์ไฟฟ้าที่มีในปี พ.ศ. 2558 ถึง 2560 ที่ใช้แบตเตอรี่เป็นพลังงานไฟฟ้าขับเคลื่อนให้รถยนต์ไฟฟ้าเคลื่อนที่ได้ ซึ่งขนาดของแบตเตอรี่ถูกกำหนดโดยโรงงานผู้ผลิต ดังนั้น ความจุของแบตเตอรี่สามารถบอกถึงระยะทางของรถยนต์ไฟฟ้าในแต่ละยี่ห้อที่สามารถเดินทางได้สูงสุด (Gjelaj et al., 2015)

ตารางที่ 2.1 รถยนต์ไฟฟ้าที่มีในปี พ.ศ. 2558 ถึง 2560 (Gjelaj et al., 2015)

รถยนต์ไฟฟ้า (ปี พ.ศ. 2558-2560)	ระยะทาง [km]	แบตเตอรี่ [kWh]	แบตเตอรี่ที่ใช้งานได้ [kWh]	พลังงานที่ต้องการสำหรับ สถานะของแบตเตอรี่จาก 25% ถึง 80% [kWh]
Mitsubishi i-MiEV	100	16	14.4	7.92
Smart Electric	110	17	15.3	8.42
Chevy Spark EV	130	20	18.0	9.90
BMW i3	130	22	19.8	10.89
Ford Focus EV	130	23	20.7	11.39
Fiat 500e	140	24	21.6	11.88
Leaf 24kWh	130	24	21.6	11.88
Leaf 30kWh	165	30	27.0	14.85
Kia Soul EV	150	30	27.0	14.85

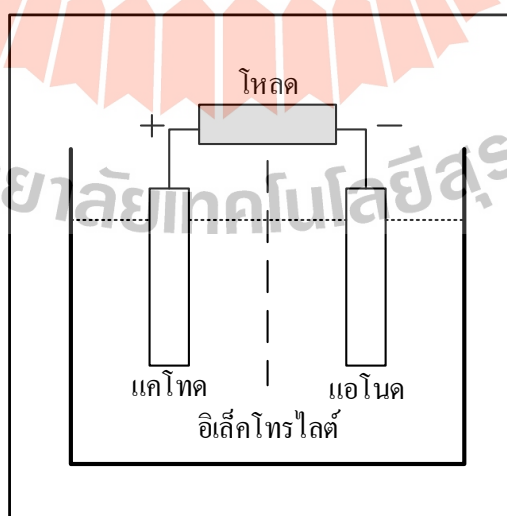
ตารางที่ 2.1 รถยนต์ไฟฟ้าที่มีในปี พ.ศ. 2558 ถึง 2560 (ต่อ)

รถยนต์ไฟฟ้า (ปี พ.ศ. 2558-2560)	ระยะทาง [km]	แบตเตอรี่ [kWh]	แบตเตอรี่ที่ใช้งานได้ [kWh]	พลังงานที่ต้องการสำหรับ สถานะของแบตเตอรี่จาก 25% ถึง 80% [kWh]
Mercedes BClassEV	170	36	32.4	17.82
VW eGolf	300	37	33.3	18.32
Tesla S 60	340	60	54.0	29.70
Tesla model 3	350	60	54.0	29.70
Tesla modelS80	450	80	72.0	39.60

2.2 อุปกรณ์กักเก็บพลังงานไฟฟ้าสำหรับรถยนต์ไฟฟ้า

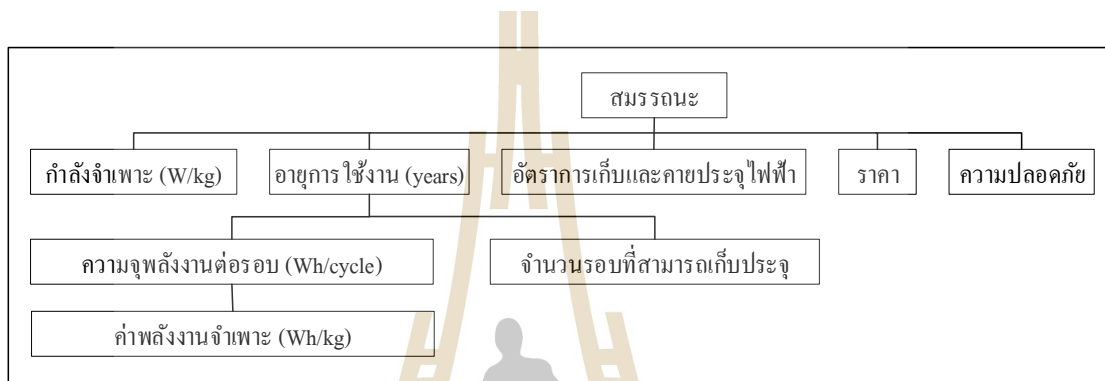
2.2.2.1 แบตเตอรี่

แบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์ที่ใช้หลักการทางเคมีไฟฟ้าในกักเก็บพลังงานไฟฟ้าหรืออัดประจุไฟฟ้า เพื่อใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟหลักสำหรับรถยนต์ไฟฟ้า ส่วนประกอบหลักที่สำคัญของแบตเตอรี่ดังแสดงในรูปที่ 2.3 ประกอบด้วย ขั้วของแบตเตอรี่ ได้แก่ ขั้วแคโทด ขั้วแอโนด และสารละลายอิเล็กโทรไลต์ แบตเตอรี่ทำหน้าที่เป็นเซลล์กัลวานิกในขณะที่ใช้งานหรือคายประจุไฟฟ้า และเป็นเซลล์อิเล็กโทรไลติกในขณะที่อัดประจุไฟฟ้า ในขณะที่ใช้งานหรือคายประจุไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าจะไหลจากขั้วแคโทดผ่านอุปกรณ์ไฟฟ้าไปสู่ขั้วแอโนด (มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, 2558)



รูปที่ 2.3 ส่วนประกอบหลักของแบตเตอรี่

สมรรถนะที่สำคัญของแบตเตอรี่ ประกอบด้วย กำลังจำเพาะ อายุการใช้งาน อัตราการเก็บประจุไฟฟ้าและอัตราการคายประจุไฟฟ้า ราคาและความปลอดภัย อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ขึ้นกับความจุของแบตเตอรี่ และจำนวนรอบที่สามารถเก็บประจุไฟฟ้า ซึ่งค่าความจุของแบตเตอรี่ขึ้นอยู่กับค่าพลังงานจำเพาะหรือค่าความหนาแน่นของพลังงาน องค์ประกอบในการพิจารณาสมรรถนะของแบตเตอรี่ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 สมรรถนะด้านต่าง ๆ ของแบตเตอรี่

การพัฒนาแบตเตอรี่ประเภทต่าง ๆ ตั้งแต่แบตเตอรี่ประเภทตะกั่วกรด (Lead-acid) แบตเตอรี่ประเภทนิกเกิลแคดเมียม (Ni-Cd) แบตเตอรี่ประเภทนิกเกิลเมทัลไฮดรายด์ (Ni-Mh) แบตเตอรี่ประเภทลิเทียมไอออน (Li-ion) คุณสมบัติของแบตเตอรี่ประเภทต่าง ๆ แสดงให้เห็นถึงแบตเตอรี่แต่ละประเภทมีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกันไปดังแสดงในตารางที่ 2.2

การพัฒนาแบตเตอรี่สำหรับรถยนต์ที่ใช้ไฟในการขับเคลื่อนในปัจจุบันมาจากการพัฒนาแบตเตอรี่ 2 ประเภทหลัก ๆ คือ แบตเตอรี่ประเภทตะกั่วกรดและแบตเตอรี่ประเภทลิเทียมไอออน (รวมถึงแบตเตอรี่ประเภทลิเทียมพอลิเมอร์) ถึงแม้ว่าแบตเตอรี่ประเภทตะกั่วกรดมีองค์ประกอบของตะกั่วที่มีพิษ แต่เทคโนโลยีการรีไซเคิลสำหรับแบตเตอรี่ประเภทนี้ก้าวหน้าไปมากจนสามารถรีไซเคิลทุกชิ้นส่วนของแบตเตอรี่ประเภทตะกั่วกรด นอกจากนั้นแบตเตอรี่ประเภทตะกั่วกรดยังมีราคาและการคายประจุด้วยตัวเองต่ำกว่าแบตเตอรี่ประเภทอื่น ๆ ดังนั้น การพัฒนาแบตเตอรี่ประเภทตะกั่วกรดจึงเป็นที่สนใจในการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ส่วนแบตเตอรี่ประเภทลิเทียมไอออนนั้นมีข้อดีที่สำคัญ คือ ค่าความจุพลังงานจำเพาะสูง ทำให้น้ำหนักแบตเตอรี่เบา นอกจากนี้ยังไม่มีผลสำหรับการที่แบตเตอรี่ถูกใช้ไฟไม่หมด แล้วมีการนำไปอัดประจุไฟฟ้าใหม่อยู่บ่อย ๆ ทำให้แบตเตอรี่ไม่สามารถจำค่าสูงสุดที่เคยเก็บไว้ได้เป็นสาเหตุให้แบตเตอรี่ค่อย ๆ เสื่อมลงอย่างรวดเร็ว หรือมีผลต่อการอัดประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ในครั้งต่อ ๆ ไป แต่แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนแบบเดิมที่

ใช้สารละลายอิเล็กโทรไลต์เหลว มีข้อเสีย คือ ต้นทุนสูง มีปัญหาเรื่องการระเบิดเมื่ออุณหภูมิขึ้นสูง และเกิดการรั่วของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ดังนั้น จึงได้มีการออกแบบแบตเตอรี่ลิเทียมพอลิเมอร์ ใช้พอลิเมอร์เป็นอิเล็กโทรไลต์แบบแข็ง ทำให้แบตเตอรี่ประเภทลิเทียมพอลิเมอร์มีค่าพลังงานจำเพาะและกำลังจำเพาะเทียบเคียงกับแบตเตอรี่ประเภทลิเทียมไอออน เพราะใช้วัสดุอิเล็กโทรดประเภทเดียวกัน แต่มีข้อดี คือ ไม่เกิดการรั่วของอิเล็กโทรไลต์ ทำให้โอกาสในการระเบิดต่ำกว่า และมีน้ำหนักเบา เพราะไม่ใช่โลหะเป็นวัสดุหุ้มอิเล็กโทรด ข้อเสียของแบตเตอรี่ประเภทลิเทียมพอลิเมอร์ คือ มีต้นทุนที่สูงกว่า ความทนทานต่อการอัดประจุไฟฟ้าเกินค่า และสามารถเสีรูปรางเนื่องมาจากความร้อนและความดันได้ง่ายกว่า นอกจากนี้ยังมีจำนวนรอบการอัดประจุไฟฟ้าต่ำกว่า แบตเตอรี่ประเภทลิเทียมไอออนแบบเดิม แบตเตอรี่ประเภทลิเทียมไอออนและแบตเตอรี่ประเภทลิเทียมพอลิเมอร์ใช้วัสดุอิเล็กโทรดแบบเดียวกัน ดังนั้น จึงสามารถกล่าวได้ว่า แบตเตอรี่ประเภทลิเทียมพอลิเมอร์เป็นประเภทหนึ่งของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน

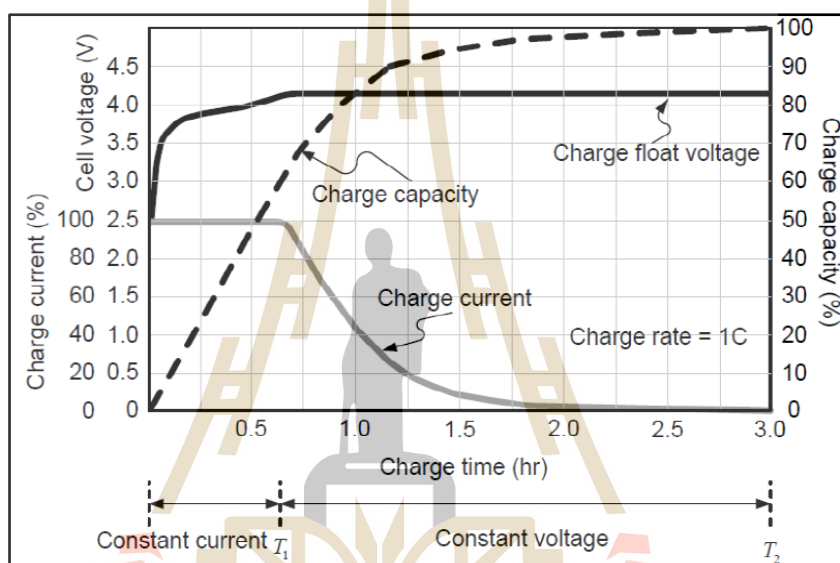
ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติของแบตเตอรี่ประเภทต่าง ๆ (มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, 2558)

คุณสมบัติ	ประเภทของแบตเตอรี่				
	Ni-Cd	Ni-Mh	Lead-Acid	Li-ion	Li-Polymer
ค่าพลังงานจำเพาะ	45-80	60-120	30-50	110-160	100-130
อายุการใช้งาน (รอบ)	1500	300-500	200-300	500-1000	300-500
เวลา Fast charge	1 h	2-4 h	8-16 h	2-4 h	2-4 h
Overcharge tolerance	Moderate	Low	High	Very low	Low
Self-discharge per month (Room T)	20%	30%	5%	10%	10%
Cell voltage (Nominal)	1.25 V	1.25 V	2 V	3.6 V	3.6 V
อุณหภูมิการทำงาน (Discharge)	-40-60 °C	-20-60 °C	-20-60 °C	-20-60 °C	0-60 °C
Typical battery cost (US\$)* (7.2 V)	50	60	25	100	100
Cost per kWh (US\$)*	11.00	18.50	8.5	24	-
Cost per cycle (US\$)	0.04	0.12	0.10	0.14	0.29

หมายเหตุ

- ประเภทของแบตเตอรี่เป็นแบตเตอรี่สำหรับอุปกรณ์สื่อสาร คอมพิวเตอร์และอุปกรณ์การแพทย์
- พลังงานจำเพาะเป็นค่าช่วงประมาณของพลังงานจำเพาะของแบตเตอรี่เพื่อใช้อ้างอิงเท่านั้น
- Typical battery cost เป็นราคาขายปลีกแบตเตอรี่สำหรับอุปกรณ์สื่อสารและใช้เพื่ออ้างอิงเท่านั้น
- การคำนวณ $\text{Cost/kWh} = \text{Typical cost} / \{(\text{Capacity [mAh]} \times \text{Voltage [V]}) \times \text{No. of cycles}\} / 10^6$

ลักษณะทั่วไปของการอัดประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนดังแสดงในรูปที่ 2.5 โดยในช่วงเวลา 0 ถึง T_1 เป็นช่วงที่กระแสไฟฟ้าคงที่และแรงดันไฟฟ้าค่อย ๆ เพิ่มขึ้น ส่วนในช่วง T_1 ถึง T_2 เป็นช่วงที่แรงดันไฟฟ้าคงที่และการอัดประจุกระแสไฟฟ้าค่อย ๆ ลดลง ดังนั้น การอัดประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ในช่วง 0 ถึง T_1 แสดงได้ด้วยสมการที่ (2.1) และสมการที่ (2.2) และรูปแบบการอัดประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนในช่วง T_1 ถึง T_2 แสดงได้ด้วยสมการที่ (2.3) และสมการที่ (2.4) (Boribun et al., 2013)



รูปที่ 2.5 ลักษณะการอัดประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน (Boribun et al., 2013)

$$v(t) = V_n(1 - e^{-\frac{t}{\tau_v}}) \quad (2.1)$$

$$i(t) = I_n \quad (2.2)$$

$$v(t) = V_n \quad (2.3)$$

$$i(t) = I_n e^{-\frac{t}{\tau_i}} \quad (2.4)$$

โดยที่ แรงดันไฟฟ้าคงที่ V_n คือ แรงดันไฟฟ้าในการใช้งานจริงของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน ค่าคงที่ τ_v และ τ_i เป็นค่าคงที่เวลาของการอัดประจุแรงดันไฟฟ้าและอัดประจุกระแสไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้า I_n จะค่อย ๆ ลดลงจนแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนอยู่ในสถานะของแบตเตอรี่เต็ม ดังนั้น กำลังไฟฟ้าของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนในระหว่างกระบวนการอัดประจุไฟฟ้าสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.5) และพลังงานไฟฟ้าจากการอัดประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.6)

$$p(t) = v(t) \cdot i(t) = \begin{cases} V_n I_n (1 - e^{-\frac{t}{\tau_v}}) & ; 0 \leq t \leq T_1 \\ V_n I_n e^{-\frac{t}{\tau_v}} & ; T_1 < t < T_2 \end{cases} \quad (2.5)$$

$$W = \int w(t) dt = \int_{T_0}^{T_1} V_n I_n (1 - e^{-\frac{t}{\tau_v}}) dt + \int_{T_1}^{T_2} V_n I_n e^{-\frac{t}{\tau_v}} dt = K I_n \quad (2.6)$$

ค่ากระแสไฟฟ้าที่ได้จากการใช้งานสำหรับการอัดประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.7) โดยที่ B_{Wh} คือ ความจุของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน, kWh

$$I_n = \frac{B_{Wh} \times 10^3 \times 3600}{K} \quad (2.7)$$

การออกแบบสำหรับการไหลของกระแสไฟฟ้ากำหนดใช้ Safety factor เท่ากับ 25% ดังนั้นสามารถคำนวณกระแสไฟฟ้าใช้งานเต็มพิกัดโหลดได้โดยสมการที่ (2.8)

$$I_{fl} = I_n \times 1.25 \quad (2.8)$$

โดยที่ I_{fl} คือ กระแสไฟฟ้าใช้งานเต็มพิกัดโหลด (A)

2.2.2.2 สถานะของแบตเตอรี่รถยนต์ไฟฟ้า

สถานะของแบตเตอรี่บอกถึงพลังงานไฟฟ้าที่เหลืออยู่ในแบตเตอรี่หรือระยะทางที่สามารถเดินทางได้ของรถยนต์ไฟฟ้า สามารถประเมินพลังงานไฟฟ้าที่ต้องการอัดประจุไฟฟ้าที่สถานีอัดประจุไฟฟ้าได้ ดังนั้น สถานะของแบตเตอรี่สามารถคำนวณได้ดังสมการต่อไปนี้ (บัณฑิต เพ็ญดา, 2557)

$$SOC = \frac{D_{max} - D_{drive}}{D_{max}} \times 100\% \quad (2.9)$$

- โดยที่ SOC คือ สถานะของแบตเตอรี่ (%)
- D_{max} คือ ระยะทางสูงสุดที่สามารถเดินทางได้ เมื่อสถานะของแบตเตอรี่เท่ากับ 100% (km)
- D_{drive} คือ ระยะทางในการขับขี่ (km)

พลังงานที่ต้องการอัดประจุไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่ในรถยนต์ไฟฟ้า สามารถพิจารณาได้จากขนาดความจุของแบตเตอรี่และพลังงานที่เหลืออยู่ในแบตเตอรี่ ดังนั้น พลังงานที่ต้องการอัดประจุไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่ในรถยนต์ไฟฟ้าเพื่อให้ได้สถานะของแบตเตอรี่เต็มสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.10) และเวลาที่ใช้ในการอัดประจุไฟฟ้าสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.11) สำหรับกำลังไฟฟ้าของหัวอัดประจุไฟฟ้าที่มีค่าคงที่อัดประจุไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่

$$E_{ev} = E_{cap} - (E_{cap} \times SOC) \quad (2.10)$$

$$t_{charging} = \frac{E_{ev}}{P_{ev}} \quad (2.11)$$

- โดยที่ E_{ev} คือ พลังงานที่ต้องอัดประจุไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่ในรถยนต์ไฟฟ้า (kWh)
- E_{cap} คือ ขนาดความจุของแบตเตอรี่ (kWh)
- $t_{charging}$ คือ เวลาที่ใช้ในการอัดประจุไฟฟ้า (hr)
- P_{ev} คือ กำลังไฟฟ้าของหัวอัดประจุไฟฟ้าที่มีค่าคงที่ (kW)

ระยะทางที่สามารถขับขี่รถยนต์ไฟฟ้าหลังจากทำการอัดประจุไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่ในรถยนต์ไฟฟ้าสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.12)

$$T_{Dist} = (E_{DC} \times EVC) + D_{SOC(X\%)} \quad (2.12)$$

- โดยที่ E_{DC} คือ พลังงานที่ได้รับจากการอัดประจุไฟฟ้า (kWh)
- EVC คือ การบริโภคพลังงานของรถยนต์ไฟฟ้า (km/kWh)

$D_{SOC25\%}$ คือ ระยะทางที่สามารถเดินทางได้ของรถยนต์ไฟฟ้าเมื่อสถานะของแบตเตอรี่เหลือ $X\%$ (km)

2.2.3 สถานีอัดประจุไฟฟ้า

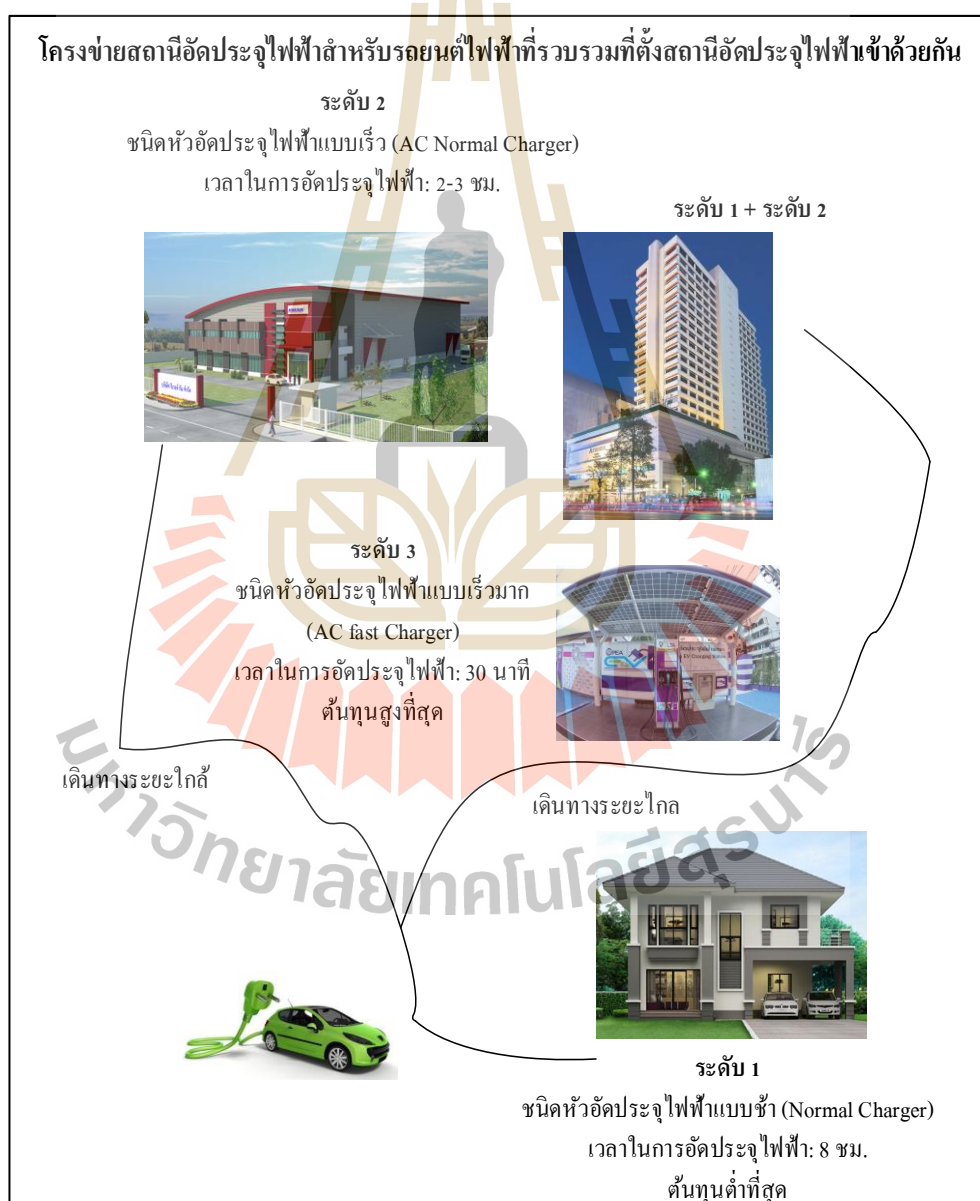
เนื่องจากแบตเตอรี่เป็นไฟฟ้ากระแสตรง เครื่องอัดประจุไฟฟ้าจึงต้องเปลี่ยนกระแสไฟฟ้ากระแสสลับไปเป็นกระแสตรง เพื่ออัดประจุไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่ในการเก็บพลังงานไฟฟ้า และรถยนต์ไฟฟ้าบางประเภทมีเครื่องประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่อยู่บนตัวรถยนต์ไฟฟ้า ขณะที่รถยนต์ไฟฟ้าบางประเภทใช้เครื่องอัดประจุไฟฟ้าที่ติดตั้งจากภายนอกและอัดประจุไฟฟ้าให้กับรถยนต์ไฟฟ้าในบริเวณที่จอดไว้ให้ นั่นก็คือ สถานีอัดประจุไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าจะถูกส่งผ่านไปยังรถยนต์ไฟฟ้าโดยผ่านเครื่องอัดประจุไฟฟ้า

2.2.3.1 รูปแบบการอัดประจุไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้า

สถานีอัดประจุไฟฟ้าสำหรับบริการผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้า การเพิ่มขึ้นของจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าทำให้ต้องมีการพิจารณาคำนั่งถึงการสร้างสถานีอัดประจุไฟฟ้า ควรคำนึงถึงสถานที่บริการและระยะเวลาที่ใช้ในการอัดประจุไฟฟ้า เพื่อความง่ายต่อการใช้งาน ความสะดวกสบาย รวดเร็วและปลอดภัย ระดับของการใช้งานในการอัดประจุไฟฟ้าตามมาตรฐานหัวอัดประจุไฟฟ้า SEAJ1772 แบ่งระดับการอัดประจุไฟฟ้าเป็นการแบ่งตามระดับแรงดันไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้างแสดงในตารางที่ 2.3 ระดับที่ 1 (ช้า) คือ ใช้ไฟฟ้าทั่วไปในการอัดประจุไฟฟ้า ได้แก่ บ้านที่พักอาศัยและที่ทำงาน เครื่องอัดประจุไฟฟ้างลักษณะนี้สามารถอัดประจุไฟฟ้าได้ทุกที่ แต่มีกระแสไฟฟ้าที่จำกัดและใช้เวลาในการอัดประจุไฟฟ้าที่ยาวนาน ระดับที่ 2 (ระดับปกติ) เป็นวิธีการเบื้องต้นสำหรับการอัดประจุไฟฟ้าและต้องจัดหาอุปกรณ์พิเศษสำหรับรถยนต์ไฟฟ้า ใช้เวลาในการอัดประจุไฟฟ้างน้อยกว่าระดับที่ 1 และระดับที่ 3 (ระดับเร็ว) เป็นการอัดประจุไฟฟ้าเร็ว โดยใช้แรงดันไฟฟ้าสูง เวลาในการอัดประจุไฟฟ้างน้อย ระยะเวลาในการอัดประจุไฟฟ้าขึ้นอยู่กับระดับความจุของแบตเตอรี่ (Liu et al., 2011) โครงสร้างของการอัดประจุไฟฟ้าของทั้ง 3 ระดับ ดังแสดงในรูปที่ 2.6 เป็นการแสดงโครงข่ายที่รวบรวมที่ตั้งของสถานีอัดประจุไฟฟ้าสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าและโหนดสำหรับการอัดประจุไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้างแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.3 ระดับการอัดประจุไฟฟ้า (Liu et al., 2011)

ชนิด	ระดับกำลังไฟฟ้า
ระดับที่ 1 : 120 V _{AC}	1.2-2.0 kW
ระดับที่ 2 : 208-240 V _{AC}	2.8-3.8 kW
ระดับที่ 2 : 208-240 V _{AC}	6-15 kW
ระดับที่ 3 : 208-240 V _{AC}	> 15-96 kW
ระดับที่ 3 : DC Charging 600 V _{DC}	> 15-240 kW



รูปที่ 2.6 โครงข่ายสถานีอัดประจุไฟฟ้าสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าในอนาคต

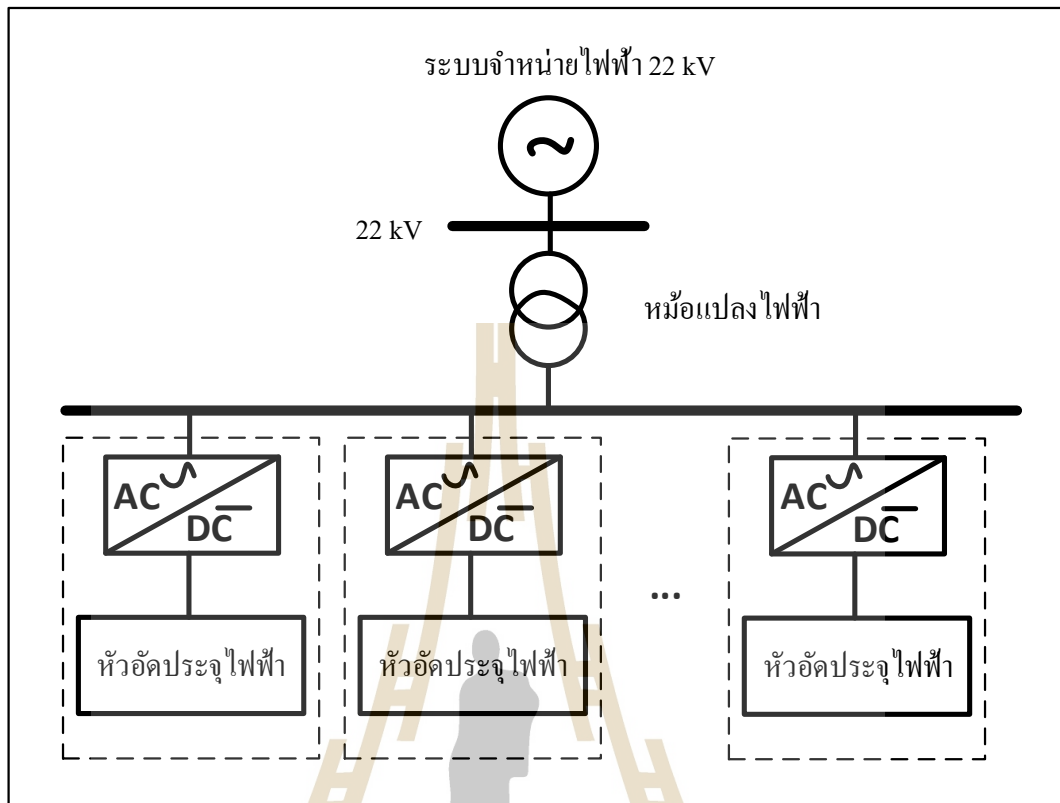
ตารางที่ 2.4 โหมดของการอัดประจุไฟฟ้า (Veneriet al., 2012)

โหมดที่	กำลังไฟฟ้า	กระแสไฟฟ้า	เวลา
	[kW]	[A]	
1	≤ 3.7	10-16	6-8 hr
2	3.7-22	16-32	3-4 hr (Single phase) 1-2 hr (Three phase)
3	> 22	> 32	20-30 min
4	> 22	> 32	≤ 30 min

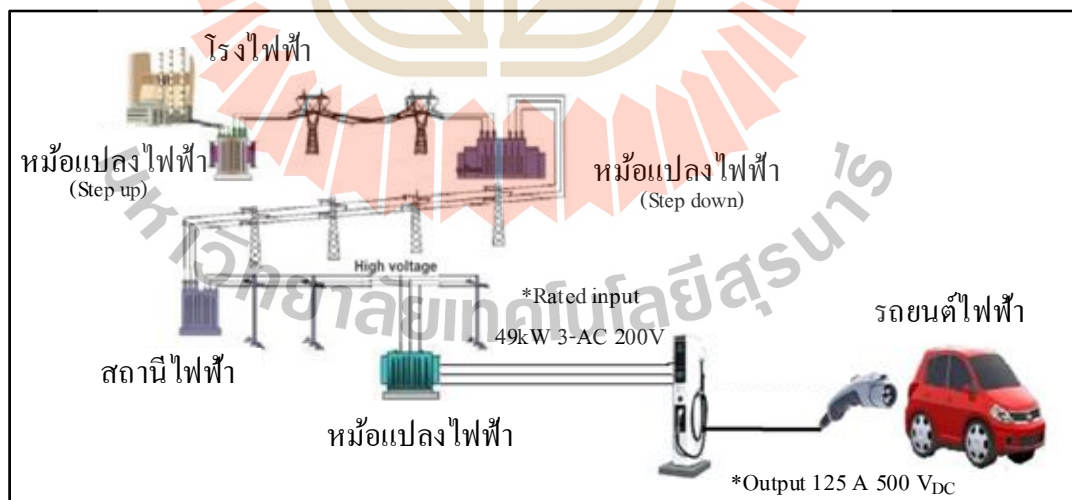
จากตารางที่ 2.4 โหมดที่ 1 ถึง 3 เป็นการอัดประจุไฟฟ้าแบบปกติโดยใช้กระแสไฟฟ้าสลับ 1 เฟส ส่วนโหมดที่ 4 เป็นการอัดประจุไฟฟ้าเร็วโดยใช้กระแสไฟฟ้าสลับ 3 เฟส และโหมดที่ 4 เป็นการอัดประจุไฟฟ้าผ่านเรกติไฟเออร์เพื่อเปลี่ยนกระแสไฟฟ้าสลับไปเป็นกระแสไฟฟ้าตรงก่อนอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็ว (Fast charging) โดยใช้เวลาประมาณ 20 ถึง 30 นาที สำหรับเรกติไฟเออร์อัดประจุไฟฟ้าแบบเตอริจาก 0 ถึง 80% ของสถานะของแบตเตอรี่ ภายในเวลาไม่เกิน 5 นาที เรียกว่า Ultra-fast charging ตัวอย่างการอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็ว เช่น เรกติไฟเออร์สำหรับหัวอัดประจุไฟฟ้าของ CHAdeMO กำหนดการอัดประจุไฟฟ้าของกระแสไฟฟ้าไม่เกิน 125 A ที่แรงดันไฟฟ้า 500 V_{DC}

2.2.3.2 รูปแบบการเชื่อมต่อสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า

ลักษณะการเชื่อมต่อสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า หม้อแปลงไฟฟ้าทำหน้าที่แปลงระดับของแรงดันไฟฟ้าให้เหมาะกับเครื่องอัดประจุไฟฟ้าสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าแต่ละประเภทที่มาใช้บริการอัดประจุไฟฟ้าที่สถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว โดยมีชุดวงจรเรกติไฟเออร์ทำหน้าที่เปลี่ยนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับไปเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อไปเชื่อมต่อกับหัวอัดประจุไฟฟ้าในสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วและจ่ายกระแสไฟฟ้าไปยังแบตเตอรี่ในรถยนต์ไฟฟ้างดแสดงในรูปที่ 2.7 เป็นการแสดงการเชื่อมต่อสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่มีจำนวน n หัวอัดประจุไฟฟ้า จำนวนของหัวอัดประจุไฟฟ้าในสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วขึ้นอยู่กับจำนวนการใช้บริการของรถยนต์ไฟฟ้าในสถานีอัดประจุไฟฟ้า โครงสร้างพื้นฐานของสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วหรือการเชื่อมต่อสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วกับระบบจำหน่ายไฟฟ้างดแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.7 จำนวน n หัวอัดประจุไฟฟ้าของสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว



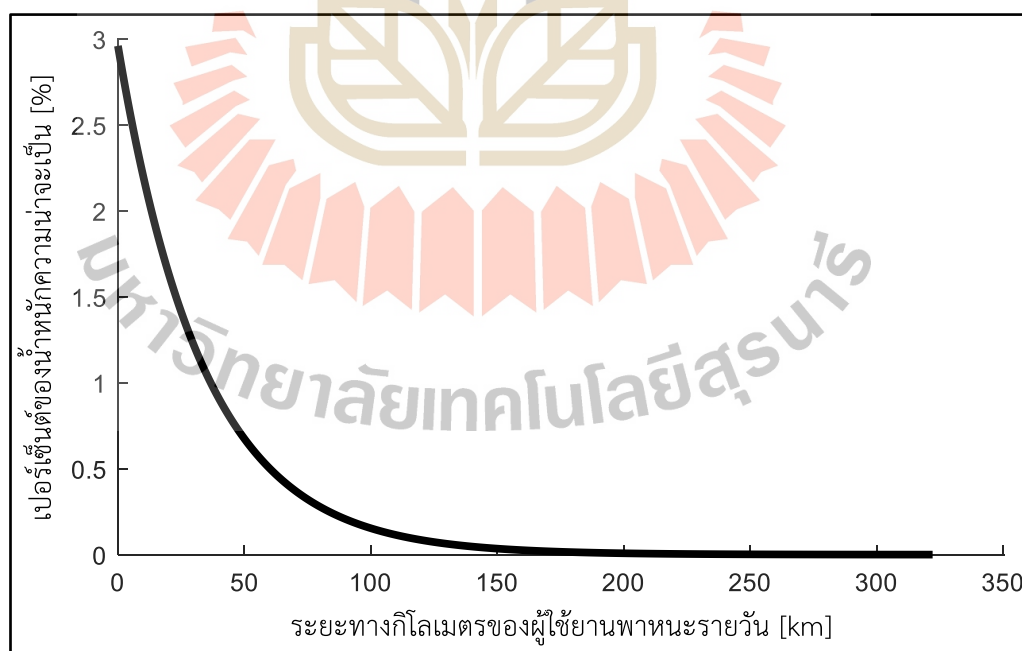
รูปที่ 2.8 โครงสร้างพื้นฐานของสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วหรือการเชื่อมต่อสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า (มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, 2558)

2.2.4 ความน่าจะเป็นของการจับจี้รถยนต์ไฟฟ้าและการเข้าใช้บริการสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว

รถยนต์ไฟฟ้าเป็นเทคโนโลยีใหม่ที่ถูกนำมาใช้งานในชีวิตประจำวันสำหรับการเดินทางแทนการใช้รถยนต์แบบเครื่องยนต์สันดาปภายใน สำหรับประเทศไทย การใช้รถยนต์ไฟฟ้ายังไม่เป็นที่นิยมในการใช้งาน จึงไม่มีข้อมูลทางสถิติสำหรับการบันทึกการเดินทางและการใช้บริการสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว งานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้ได้ศึกษาการเดินทางของผู้ใช้ยานพาหนะจากข้อมูลระยะทางสำหรับการเดินทางจริง (Shiau et al., 2010) ซึ่งพบว่า ระยะทางที่ใช้ในการเดินทางของผู้ใช้ยานพาหนะมีลักษณะเป็นการกระจายแบบฟังก์ชันเอกซ์โพเนนเชียล (Negarestani et al., 2016) ดังแสดงในสมการที่ (2.13)

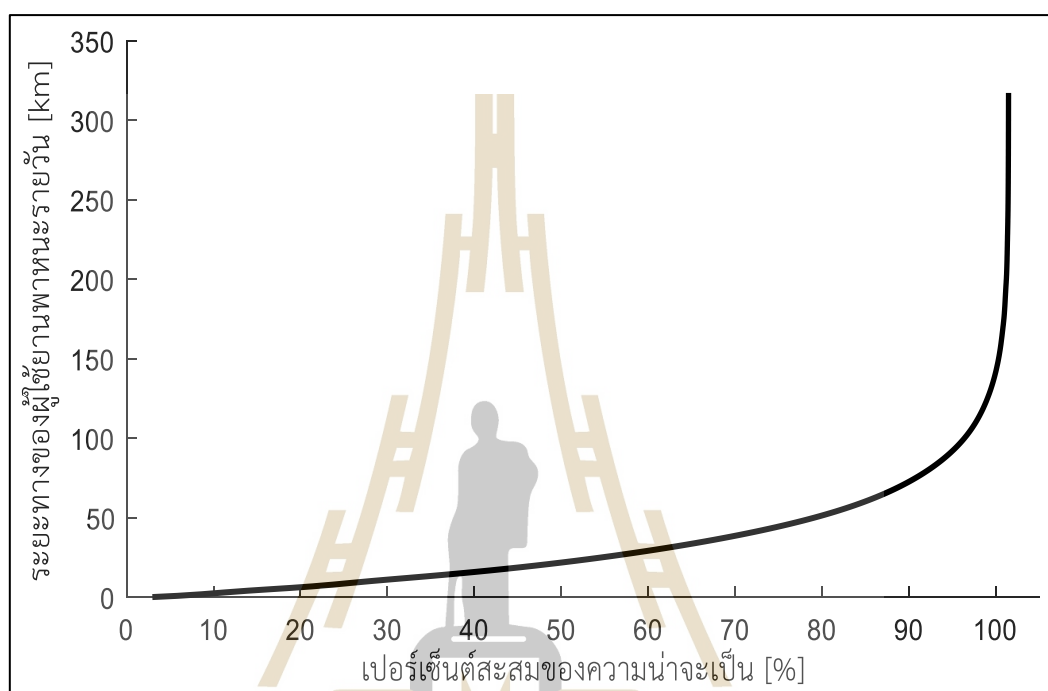
$$f(x) = (0.0296e^{-0.0296x}) \times 100\%, \quad x \geq 0 \quad (2.13)$$

โดยที่ $f(x)$ คือ ความน่าจะเป็นของระยะทางสำหรับผู้ใช้งานพาหนะในการเดินทางในแต่ละวัน (%)
 x คือ ระยะทางของผู้ใช้งานพาหนะสำหรับเดินทางในแต่ละวัน (km)



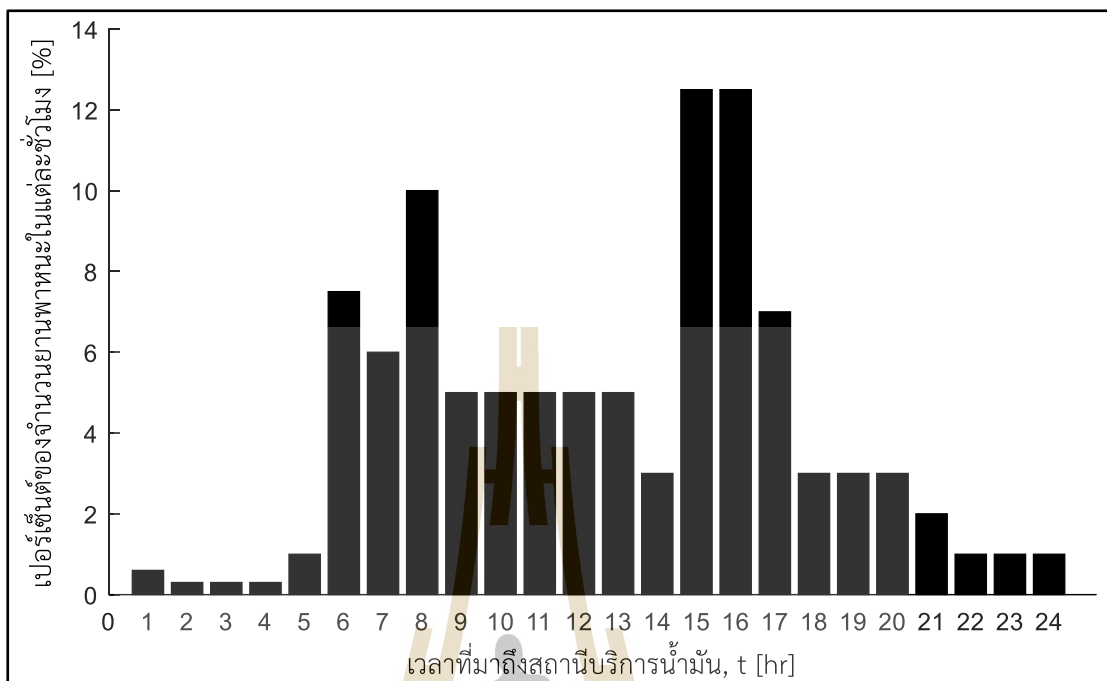
รูปที่ 2.9 ความน่าจะเป็นของระยะทางสำหรับผู้ใช้งานพาหนะในการเดินทาง

จากสมการที่ (2.13) การกระจายแบบฟังก์ชันเอกซ์โพเนนเชียลของความน่าจะเป็นของระยะทางสำหรับผู้ใช้งานพาหนะเดินทางในแต่ละวันสามารถแสดงได้ดังในรูปที่ 2.9 และความน่าจะเป็นสะสมของระยะทางสำหรับผู้ใช้งานพาหนะเดินทางในแต่ละวันดังแสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 ความน่าจะเป็นสะสมของระยะทางสำหรับผู้ใช้งานพาหนะในการเดินทาง

การใช้บริการของรถยนต์แบบเครื่องยนต์สันดาปภายในที่สถานีบริการน้ำมันได้ถูกบันทึกเป็นข้อมูลทางสถิติ (Yunus et al., 2011) ดังแสดงในรูปที่ 2.11 ข้อมูลดังกล่าวถูกนำไปใช้เป็นข้อมูลเพื่อวิเคราะห์พฤติกรรมของผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้าในงานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้



รูปที่ 2.11 เปอร์เซนต์ของจำนวนยานพาหนะที่ใช้ใช้สถานีบริการน้ำมันที่เวลาต่าง ๆ ในหนึ่งวัน
(Yunus et al., 2011)

2.3 ระบบไฟฟ้า

ระบบไฟฟ้ากำลัง หมายถึง การรวบรวมระบบและอุปกรณ์ต่าง ๆ เป็นโครงข่ายเข้าไว้ด้วยกันเพื่อทำการเปลี่ยนรูปพลังงานที่ไม่ใช่ไฟฟ้าไปเป็นพลังงานไฟฟ้าในรูปแบบที่ต้องการ และส่งผ่านพลังงานไฟฟ้าด้วยระดับแรงดันไฟฟ้าสูง ๆ ไปยังแหล่งหรือระบบใช้งานในรูปโครงข่ายปิดขนาดใหญ่ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงพลังงานไฟฟ้าเหล่านี้ไปใช้งานในรูปของพลังงานที่ไม่ใช่ไฟฟ้า การจัดส่งไฟฟ้าให้กับผู้บริโภค โดยส่งจ่ายไฟฟ้าจากสถานีไฟฟ้าผ่านสายส่งไฟฟ้าแรงสูง สถานีไฟฟ้าย่อย และหม้อแปลงไฟฟ้าทำหน้าที่แปลงไฟฟ้าให้สูงขึ้นหรือลดลงได้ตามความต้องการให้มีความเหมาะสมสำหรับบริการให้กับผู้ใช้ไฟฟ้า โดยแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในระบบจำหน่ายไฟฟ้ามีหลายระดับ เช่น 22 kV และ 33 kV ซึ่งเป็นระดับแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) ส่วนระดับแรงดันไฟฟ้า 24 kV เป็นระดับแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในการไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) แล้วส่งไปยังผู้บริโภค เช่น บ้านที่พักอาศัย โรงงานอุตสาหกรรม หรือสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว ระบบไฟฟ้ากำลังใช้งานที่คิ่นั้นต้องคำนึงถึง ระบบความปลอดภัย ความมั่นคง ประสิทธิภาพ ความน่าเชื่อถือ ราคาที่เหมาะสมตามหลักเศรษฐศาสตร์ และผลกระทบต่อสถานะแวดล้อม โดยเป็นระบบที่เป็นที่ยอมรับของสังคมท้องถิ่น โครงสร้างพื้นฐานของระบบไฟฟ้ากำลัง ดังแสดงในรูปที่ 2.12 โครงสร้าง

ของระบบไฟฟ้ากำลังแบ่งออกเป็น 3 ระบบย่อยที่สำคัญ ดังต่อไปนี้

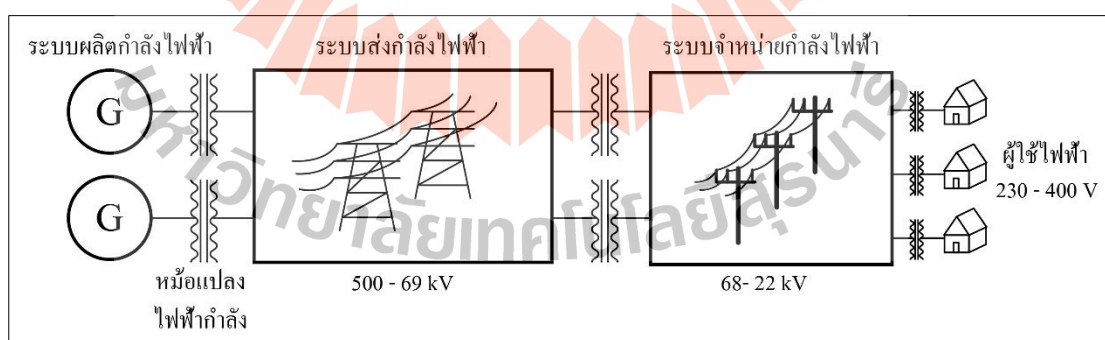
1. ระบบผลิตกำลังไฟฟ้า

ระบบผลิตกำลังไฟฟ้า หมายถึง โรงไฟฟ้า ซึ่งประกอบด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เช่น โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำ โรงจักรไอน้ำ โรงจักรแบบกังหันแก๊ส โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ และโรงจักรใช้ถ่านหิน เป็นต้น การเลือกใช้โรงไฟฟ้าต้องพิจารณาปัจจัยต่าง ๆ เช่น สภาพแวดล้อม ทรัพยากร และราคา เป็นต้น โดยทั่วไปมีระดับแรงดันไฟฟ้าตั้งแต่ระดับ 11 kV ถึง 27 kV โดยใช้หม้อแปลงไฟฟ้ากำลังทำหน้าที่เปลี่ยนระดับแรงดันไฟฟ้า โรงไฟฟ้าประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วน ดังต่อไปนี้

1.1 ระบบผลิตกระแสไฟฟ้า ประกอบด้วย ตัวต้นกำลังหรือเครื่องกังหันไฟฟ้าทำหน้าที่เป็นตัวหมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าที่ผลิตออกมาจะเป็นแรงดันไฟฟ้า 3 เฟส โดยส่วนใหญ่ไม่เกิน 20 kV หากมากกว่า 20 kV จะก่อให้เกิดอันตรายต่อคนสวนตัวนำและส่งผลกระทบต่ออายุการใช้งานของโรงไฟฟ้า

1.2 ส่วนลานไกไฟฟ้า เป็นส่วนที่ทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงระดับแรงดันไฟฟ้าที่ผลิตจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้สูงขึ้น แล้วส่งต่อไปยังสถานีไฟฟ้าที่อยู่ห่างไกล เพื่อลดความสูญเสียในระบบไฟฟ้า ซึ่งประกอบด้วย หม้อแปลงไฟฟ้ากำลังทำหน้าที่แปลงระดับแรงดันไฟฟ้าและอุปกรณ์ระบบป้องกันทางไฟฟ้า

1.3 ส่วนที่ทำหน้าที่ป้องกันการเดินเครื่องและการควบคุมไฟฟ้า ได้แก่ การป้องกันเครื่องกำเนิดไฟฟ้า หม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง และรีเลย์ตรวจจับความผิดปกติของระบบไฟฟ้า ความสามารถในการผลิตหรือกำลังการผลิตถูกกำหนดเป็น kWh หรือ MWh



รูปที่ 2.12 โครงสร้างของระบบไฟฟ้ากำลัง

(ที่มา: http://nongcom-electrical.blogspot.com/2014/10/blog-post_22.html, เข้าถึงเมื่อวันที่

8/01/2561)

2. ระบบส่งกำลังไฟฟ้า

เป็นระบบที่รับพลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตกำลังไฟฟ้า ซึ่งสามารถส่งพลังงานไฟฟ้าเป็นระยะทางที่ไกล ๆ ได้ เนื่องจากระยะทางจากระบบผลิตกำลังไฟฟ้าจะอยู่ห่างไกลจากโหลดมาก โดยประเทศไทยมีระดับแรงดันไฟฟ้าตั้งแต่ระดับ 115 kV จนถึงระดับ 500 kV สำหรับระบบส่งกำลังไฟฟ้าแบ่งออกได้ดังนี้

2.1 ระบบไฟฟ้าเหนือศีรษะ เป็นสายส่งตัวนำบนเสาส่งผ่านที่โล่งแจ้งจากสถานีไฟฟ้าหนึ่งไปยังอีกสถานีไฟฟ้าหนึ่ง การบำรุงรักษาและตรวจสอบความผิดปกติของระบบไฟฟ้าได้ง่าย

2.2 ระบบไฟฟ้าใต้ดิน เป็นสายส่งตัวนำถูกฝังลงไปในดินตามรางเดินสาย เหมาะสำหรับการติดตั้งในที่ชุมชนหรือพื้นที่แออัด มีความต้องการพลังงานไฟฟ้าหรือโหลดสูง ๆ แต่การบำรุงรักษาทำได้ไม่สะดวกและมีราคาค่อนข้างสูง

จุดมุ่งหมายหลักของระบบส่งกำลังไฟฟ้า ได้แก่ การส่งผ่านกำลังไฟฟ้าจากแหล่งผลิตไปยังผู้ใช้ไฟฟ้า การส่งกำลังไฟฟ้าไปยังศูนย์กลางการจ่ายโหลด การเชื่อมโยงระบบส่งกำลังไฟฟ้าเข้าด้วยกัน การเพิ่มความเชื่อถือได้ และการลดความสูญเสียในระบบไฟฟ้า ดังนั้น ระบบส่งกำลังไฟฟ้ามี 3 ระดับ ดังต่อไปนี้

1. ไฟฟ้าแรงสูง (High Voltage) มีระดับแรงดันไฟฟ้าไม่เกิน 300 kV
2. ไฟฟ้าแรงสูงพิเศษ (Extra High Voltage) มีระดับแรงดันไฟฟ้าตั้งแต่ 300 kV-1,000 kV
3. ไฟฟ้าแรงสูงยิ่ง (Ultra High Voltage) มีระดับแรงดันไฟฟ้าตั้งแต่ 765 kV ขึ้นไป

3. ระบบจำหน่ายไฟฟ้า

เป็นระบบที่รับพลังงานไฟฟ้าที่ถูกสร้างมาจากระบบผลิตกำลังไฟฟ้า โดยผ่านระบบส่งกำลังไฟฟ้าเพื่อกระจายกำลังไฟฟ้าไปยังโหลดของผู้ใช้ไฟฟ้า โดยมีส่วนประกอบที่สำคัญ คือ สถานีไฟฟ้าทำหน้าที่ปรับระดับแรงดันไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ไฟฟ้า โดยส่วนใหญ่ระบบจำหน่ายไฟฟ้ามีระดับแรงดันไฟฟ้าครอบคลุมทั้งทางด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิ สำหรับประเทศไทยไม่เกิน 115 kV

2.3.1 หน่วยงานหลักของระบบไฟฟ้าในประเทศไทย

ระบบไฟฟ้าในประเทศไทยมีหน่วยงานที่ทำหน้าที่รับผิดชอบในการส่งจ่ายไฟฟ้าอยู่ 3 หน่วยงานหลัก ได้แก่

1. การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (Electricity Generating Authority of Thailand: EGAT) มีหน้าที่ผลิตและจำหน่ายไฟฟ้าให้กับการไฟฟ้านครหลวง การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค และผู้ใช้ไฟฟ้าย่อยอื่นตามที่กฎหมายกำหนด รวมทั้งประเทศใกล้เคียง การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยมีระดับแรงดันไฟฟ้าที่ผลิต ได้แก่ 500 kV, 230 kV และ 115 kV

2. การไฟฟ้านครหลวง (Metropolitan Electricity Authority: MEA) มีหน้าที่ให้บริการด้านการจำหน่ายไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ไฟฟ้า โดยเป็นผู้รับซื้อไฟฟ้าจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิต และเป็นผู้ผลิตไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานหมุนเวียนขนาดเล็ก เพื่อจัดจำหน่ายไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ไฟฟ้าภายในเขตกรุงเทพมหานครฯ สมุทรปราการ และนนทบุรี การไฟฟ้านครหลวงมีระดับแรงดันไฟฟ้าที่ใช้งาน คือ 115 kV, 69 kV, 24 kV, 400 V, และ 240 V

3. การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (Provincial Electricity Authority: PEA) มีหน้าที่ให้บริการด้านการจำหน่ายไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ไฟฟ้าทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยเป็นผู้รับซื้อไฟฟ้าจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิต และผู้ผลิตไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานหมุนเวียนขนาดเล็ก การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคมีระดับแรงดันไฟฟ้าที่ใช้งาน คือ 115 kV, 69 kV, 33 kV, 22 kV, 400 V และ 230 V

2.3.2 ระเบียบมาตรฐานของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

ระเบียบการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคว่าด้วยข้อกำหนดการเชื่อมต่อระบบโครงข่ายไฟฟ้า พ.ศ. 2559 เป็นการกำหนดหลักเกณฑ์ขั้นต่ำ เพื่อให้คุณภาพในการจ่ายไฟฟ้าสำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าทั่วไป อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคและทำให้ระบบไฟฟ้ามีประสิทธิภาพปลอดภัย และมีความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้า จึงกำหนดหลักเกณฑ์การพิจารณาการควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้า (การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, 2559) ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.5 มาตรฐานระดับแรงดันไฟฟ้าสูงสุดและต่ำสุดของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, 2559)

ระดับแรงดัน	ภาวะปกติ		ภาวะฉุกเฉิน	
	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด
115 kV	120.7	109.2	126.5	103.5
33 kV	34.7	31.3	36.3	29.7
22 kV	23.1	20.9	24.2	19.8
380 V	418	342	418	342
220 V	240	200	240	200

ระบบควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้าเพื่อให้สอดคล้องกับมาตรฐานระดับแรงดันไฟฟ้าสูงสุดและต่ำสุดของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคดังแสดงในตารางที่ 2.5 สำหรับการป้องกันแรงดันไฟฟ้าตกและแรงดันไฟฟ้าเกินของระบบไฟฟ้า ระบบไฟฟ้าจะต้องปลดวงจรออกจากระบบไฟฟ้า หากขนาดของแรงดันไฟฟ้าในแต่ละเฟสของระบบไฟฟ้ามีค่าออกนอกช่วงที่ระบุตามดังแสดงในตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 ระยะเวลาปลดวงจรเมื่อแรงดันไฟฟ้าไม่อยู่ในช่วงแรงดันไฟฟ้าปกติ
(การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, 2559)

ระดับแรงดัน ณ จุดเชื่อมต่อ	ระยะเวลาตัดวงจร (s)
$V < 50\%$	0.30
$50\% \leq V < 90\%$	2.00
$90\% \leq V < 110\%$	แรงดันไฟฟ้า ทำงานต่อเนื่อง
$110\% \leq V < 120\%$	1.00
$V \geq 120\%$	0.16

2.3.3 ประสิทธิภาพและกำลังไฟฟ้าสูญเสียของหม้อแปลงไฟฟ้า

การทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า เมื่อแปลงแรงดันไฟฟ้าและจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับโหลด ทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสีย ซึ่งมีการสูญเสียกำลังไฟฟ้าของหม้อแปลงไฟฟ้า 2 ส่วน คือ กำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวด (Copper losses) ทั้งทางด้านขดลวดปฐมภูมิและขดลวดทุติยภูมิ และกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่แกนเหล็ก (Core losses) ดังนั้น กำลังไฟฟ้าที่สูญเสียในหม้อแปลงไฟฟ้าและประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้าสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (2.14) และสมการที่ (2.15) ตามลำดับ

$$P_{loss} = P_{core} + P_{cu} \quad (2.14)$$

$$\eta_{TR} = \frac{P_{TR,out}}{P_{TR,in}} \times 100\% \quad ; \quad P_{TR,in} = P_{TR,out} + P_{loss} \quad (2.15)$$

- โดยที่ P_{loss} คือ กำลังไฟฟ้าที่สูญเสียในหม้อแปลงไฟฟ้า (w)
 P_{core} คือ กำลังไฟฟ้าสูญเสียที่แกนเหล็ก (w)
 P_{cu} คือ กำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวด (w)
 $P_{TR,in}$ คือ กำลังไฟฟ้าขาเข้าของหม้อแปลงไฟฟ้า (w)

$P_{TR,out}$ คือ กำลังไฟฟ้าขาออกของหม้อแปลงไฟฟ้า (w)

η_{TR} คือ ประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า (%)

2.3.4 การเบี่ยงเบนของแรงดันไฟฟ้า

การเบี่ยงเบนของแรงดันไฟฟ้าแสดงให้เห็นถึง ความมั่นคงและความน่าเชื่อถือของระบบจำหน่ายไฟฟ้า หรือเป็นตัวชี้วัดคุณภาพการจ่ายไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า ซึ่งการเบี่ยงเบนของแรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าอาจเป็นผลทำให้เกิดภาวะไฟดับได้ ค่าการเบี่ยงเบนของแรงดันไฟฟ้า (Vidyasagar et al., 2016) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.16)

$$VDI = \sum_{p=1}^{Nb} \frac{|V_{rated} - V_p|}{V_{rated}} \quad (2.16)$$

โดยที่ VDI คือ ค่าการเบี่ยงเบนของแรงดันไฟฟ้า

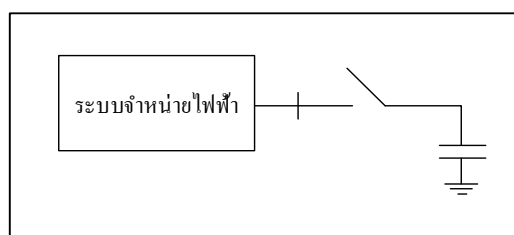
V_{rated} คือ แรงดันไฟฟ้าที่กำหนดในระบบจำหน่ายไฟฟ้า (p.u.)

V_p คือ แรงดันไฟฟ้าที่โหนด p ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

Nb คือ จำนวนโหนดในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

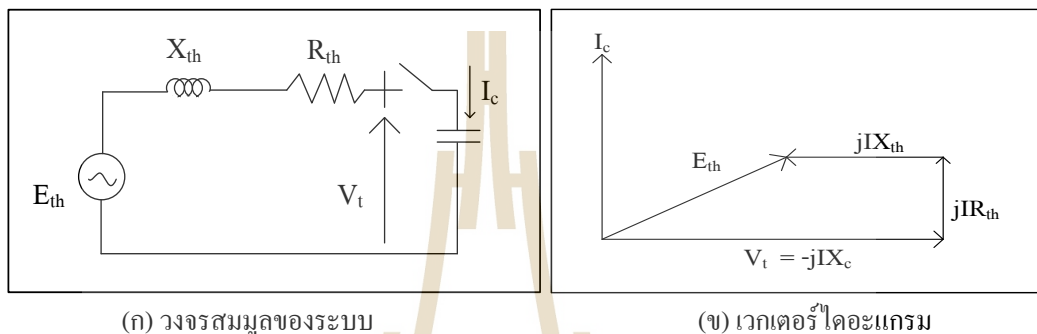
2.3.5 การยกระดับแรงดันไฟฟ้าด้วยชุดตัวเก็บประจุ

เนื่องจากเมื่อ โหลดของระบบจำหน่ายไฟฟ้ามากขึ้น ทำให้แรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้านั้นๆ ลดลง นั่นคือ โหลดที่มีโหลดมาก ทำให้แรงดันไฟฟ้าที่โหนดนั้นๆ ลดลง จึงต้องใช้ชุดตัวเก็บประจุต่อเข้ากับโหนดดังแสดงในรูปที่ 2.13 เพื่อยกระดับแรงดันไฟฟ้าให้สูงขึ้น เนื่องจากชุดตัวเก็บประจุไฟฟ้าทำหน้าที่เหมือนกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่จ่ายกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ (ธนวัฒน์ ฉลาดสกุล, 2547)



รูปที่ 2.13 ระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่ต่อชุดตัวเก็บประจุที่โหนด

ชุดตัวเก็บประจุที่ต่อเข้าที่โหนดของระบบจำหน่ายไฟฟ้า จะใช้ในสถานีไฟฟ้าย่อยหรือต่อที่เสาไฟ โดยต่อแบบถาวรหรือชั่วคราวขึ้นอยู่กับความต้องการของระบบจำหน่ายไฟฟ้า หรือจุดประสงค์ของการแก้ปัญหา วงจรสมมูลของระบบและเวกเตอร์ไดอะแกรมแสดงในรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 วงจรสมมูลของระบบและเวกเตอร์ไดอะแกรม

จากรูปที่ 2.14 จะเห็นได้ว่า เมื่อไม่มีการต่อชุดตัวเก็บประจุเข้าที่โหนดในระบบจำหน่ายไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าที่โหนดจะเท่ากับ E_{th} และเมื่อมีการต่อชุดตัวเก็บประจุเข้าที่โหนดในระบบจำหน่ายไฟฟ้า พบว่า แรงดันไฟฟ้าที่โหนดเท่ากับ $-jIX_c$ ซึ่งมีขนาดมากกว่า E_{th}

นอกจากช่วยในการยกระดับแรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแล้ว ยังสามารถช่วยลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบจำหน่ายไฟฟ้า เนื่องจากการติดตั้งตัวเก็บประจุในระบบจำหน่ายไฟฟ้าเป็นวิธีการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าให้สูงขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพของการจ่ายไฟฟ้าของระบบจำหน่ายไฟฟ้าดีขึ้น (การไฟฟ้านครหลวง, 2018)

2.3.6 กำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

นอกจากการเบี่ยงเบนของแรงดันไฟฟ้ายังมีการสูญเสียของกำลังไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่เป็นตัวชี้วัดคุณภาพการจ่ายไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าสูญเสียสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.17) โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียกำลังไฟฟ้า (Shukla et al., 2010) ดังแสดงในสมการที่ (2.18) และสมการที่ (2.19)

$$P_{Loss} = \sum_{j=1}^{Nb} \sum_{k=1}^{Nb} \left[\alpha_{jk} (P_j P_k + Q_j Q_k) + \beta_{jk} (P_j Q_k - P_j Q_k) \right] \quad (2.17)$$

$$\alpha_{jk} = \frac{r_{jk}}{V_j V_k} \cos(\delta_j - \delta_k) \quad (2.18)$$

$$\beta_{jk} = \frac{r_{jk}}{V_j V_k} \sin(\delta_j - \delta_k) \quad (2.19)$$

โดยที่	V_j	คือ แรงดันที่โหนด j (p.u.)
	V_k	คือ แรงดันที่โหนด k (p.u.)
	P_j	คือ กำลังไฟฟ้าจริงที่โหนด j (kW)
	P_k	คือ กำลังไฟฟ้าจริงที่โหนด k (kW)
	Q_j	คือ กำลังไฟฟ้รีแอกทีฟที่โหนด j (kvar)
	Q_k	คือ กำลังไฟฟ้รีแอกทีฟที่โหนด k (kvar)
	r_{jk}	คือ ค่าความต้านทานของสายส่งระหว่างโหนดที่ j และ k (p.u.)

2.4 การกำหนดจำนวนสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วในเขตพื้นที่

ระบบจำหน่ายไฟฟ้ามีหม้อแปลงไฟฟ้าสำหรับทำหน้าที่ลดระดับแรงดันไฟฟ้าให้เป็นแรงดันไฟฟ้าต่ำเพื่อจ่ายไฟให้กับสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว ซึ่งโครงสร้างพื้นฐานของสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าดังที่ได้แสดงไว้แล้วในรูปที่ 2.8 การหาจำนวนสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วในเขตพื้นที่สามารถคำนวณได้จากสัดส่วนของจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าทั้งหมดในเขตพื้นที่ต่อจำนวนรถยนต์ไฟฟ้ามากที่สุดที่สามารถอัดประจุไฟฟ้าในหนึ่งสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วในหนึ่งวัน ดังนั้น จำนวนสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วในเขตพื้นที่สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.20) (Phonrattanasak et al., 2012)

$$N_{station} = \frac{A \times P_{density} \times P_{EV}}{N_{hr.station} \times N_{charger} \times N_{charging}} \quad (2.20)$$

โดยที่	$N_{station}$	คือ จำนวนสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว
	A	คือ ขนาดของพื้นที่ (km^2)
	$P_{density}$	คือ ความหนาแน่นของประชากร (คน/ km^2)
	P_{EV}	คือ สัดส่วนของจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าต่อจำนวนประชากรในพื้นที่ (%)
	$N_{hr.station}$	คือ จำนวนชั่วโมงการให้บริการของสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วในหนึ่งวัน
	$N_{charger}$	คือ จำนวนของหัวอัดประจุไฟฟ้าในสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว

$N_{charging}$ คือ จำนวนครั้งที่สามารถให้บริการในหนึ่งชั่วโมงของหัวอัดประจุไฟฟ้า

ในการประเมินโหลดของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าเบื้องต้น แบบว่า ถ้าพิจารณาเฉพาะความต้องการไฟฟ้าในกรณีของการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของแบตเตอรี่ในรถยนต์ไฟฟ้า จำนวน 10 คัน พร้อมกัน จำเป็นต้องมีกำลังไฟฟ้า $100 \text{ kW} \times 10 = 1 \text{ MW}$ (โดยทั่วไปนั้นต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดประมาณ 100 kW ต่อคันสำหรับการอัดประจุไฟฟ้าเร็ว) หรือพิจารณาเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 1 ชุด ซึ่งมีขนาด 500 MW สามารถรองรับการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของแบตเตอรี่ในรถยนต์ไฟฟ้าได้จำนวนทั้งสิ้นไม่เกิน $500 \text{ MW}/100 \text{ kW} \times 0.8$ (Safety factor) = 4,000 คันในช่วงเวลาเดียวกัน ดังนั้นการเตรียมไฟฟ้าเพื่อรองรับการขยายตัวของการใช้รถยนต์ไฟฟ้าเป็นสิ่งที่จำเป็นต้องวางแผนและพิจารณาเป็นอันดับต้น ๆ ส่วนระบบอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น ระบบส่งกำลังไฟฟ้า ระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้า สามารถพัฒนาไปพร้อม ๆ กับการเพิ่มขึ้นของปริมาณการใช้ไฟฟ้าได้ (มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, 2558)

ตัวอย่างการอัดประจุไฟฟ้าของรถบัสไฟฟ้าที่นำเข้ามาใช้ในระบบจำหน่ายไฟฟ้างดแสดงในรูปที่ 2.15 และรูปที่ 2.16 เป็นการแสดงแผนผังวงจรของสถานีอัดประจุไฟฟ้าที่เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าและวงจรสมมูลของสถานีอัดประจุไฟฟ้าที่เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าเพื่ออัดประจุไฟฟ้าให้กับรถบัสไฟฟ้า (Boribun et al., 2013) ตามลำดับ จากรูปที่ 2.16 วงจรสมมูลของสถานีอัดประจุไฟฟ้าที่เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าสามารถแสดงการไหลของกระแสไฟฟ้า เมื่อรถบัสไฟฟ้าอัดประจุไฟฟ้าที่สถานีอัดประจุไฟฟ้าที่เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า ซึ่งแสดงได้โดยสมการที่ (2.21) และแรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าขณะอัดประจุไฟฟ้าให้กับรถบัสไฟฟ้าสามารถแสดงได้โดยสมการที่ (2.22) และสมการที่ (2.23)

$$I_s = I_{load} + I_{ebus} = \left(\frac{P_{ebus} + jQ_{ebus}}{V_{ch}} \right)^* + \left(\frac{P_{load} + jQ_{load}}{V_{ch}} \right)^* \quad (2.21)$$

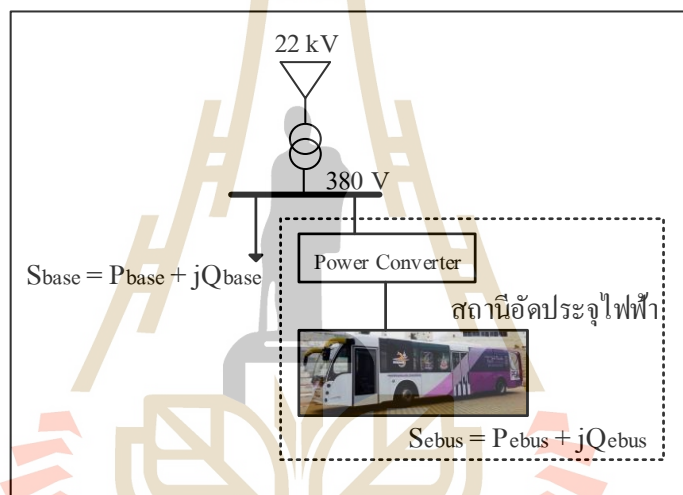
$$V_{ch} = V_s - (R_s + jX_s)I_s \quad (2.22)$$

$$V_{ch} = V_s - (R_s + jX_s) \left[\left(\frac{P_{ebus} + jQ_{ebus}}{V_{ch}} \right)^* + \left(\frac{P_{load} + jQ_{load}}{V_{ch}} \right)^* \right] \quad (2.23)$$

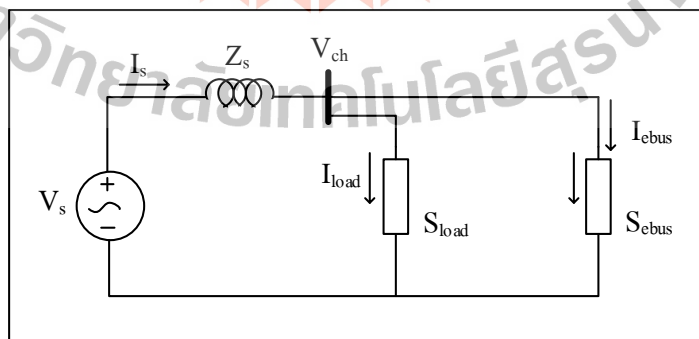
โดยที่ I_s คือ กระแสไฟฟ้ารวม (A)

I_{load} คือ กระแสไฟฟ้าที่ไหลให้กับโหลด (A)

- I_{bus} คือ กระแสไฟฟ้าที่ไหลให้กับรถบัสไฟฟ้า (A)
- V_s คือ แรงดันไฟฟ้าที่อ้างอิง (V)
- V_{ch} คือ แรงดันไฟฟ้าที่ด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้า (V)
- R_s, X_s คือ อิมพีแดนซ์ของหม้อแปลงไฟฟ้า (Ω)
- P_{load} คือ กำลังไฟฟ้าจริงของโหลดในระบบจำหน่ายไฟฟ้า (kW)
- Q_{load} คือ กำลังไฟฟ้รีแอกทีฟของโหลดในระบบจำหน่ายไฟฟ้า (kvar)
- P_{ebus} คือ กำลังไฟฟ้าจริงของโหลดรถบัสไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า (kW)
- Q_{ebus} คือ กำลังไฟฟ้รีแอกทีฟของโหลดรถบัสไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า (kvar)



รูปที่ 2.15 แผนผังการอัดประจุไฟฟ้าให้รถบัสไฟฟ้า



รูปที่ 2.16 วงจรสมมูลของสถานีอัดประจุไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้า เมื่ออัดประจุไฟฟ้าให้กับรถบัสไฟฟ้า

จากสมการที่ (2.21) ถึงสมการที่ (2.23) เป็นสมการแสดงการไหลของกำลังไฟฟ้า ซึ่งสามารถแก้ปัญหาได้ด้วยวิธีการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าและสามารถอธิบายถึงผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าของรถบัสไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

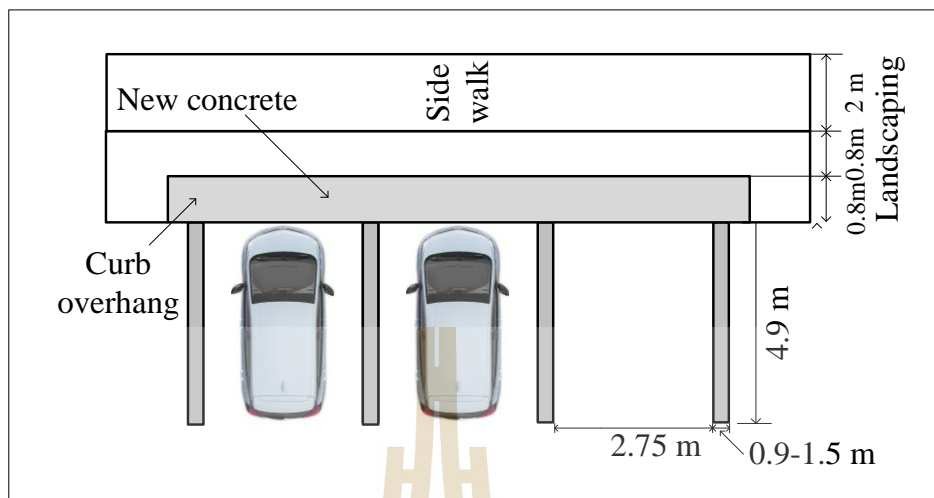
2.5 ค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องในการพิจารณาหาขนาดและตำแหน่งของสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วสำหรับรถยนต์ไฟฟ้า

2.5.1 ค่าใช้จ่ายในการพัฒนาสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว

ค่าใช้จ่ายในการพัฒนาสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก ๆ ได้แก่ ต้นทุนของอุปกรณ์ในสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วและต้นทุนสำหรับการเช่าที่ดิน ต้นทุนของอุปกรณ์ในสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วขึ้นอยู่กับขนาดของสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว กำลังไฟฟ้าใช้งานของหัวอัดประจุไฟฟ้า และจำนวนหัวอัดประจุไฟฟ้าที่ติดตั้ง ($N_{charger}$) ในสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว และต้นทุนสำหรับการเช่าที่ดินขึ้นอยู่กับขนาดพื้นที่ของหัวอัดประจุไฟฟ้าดังแสดงในรูปที่ 2.17 เป็นการแสดงผังการจัดพื้นที่สำหรับสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว สถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วต้องใช้พื้นที่ 4.9×2.75 m ต่อหนึ่งหัวอัดประจุไฟฟ้า (Mayfield et al., 2012) งานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้สมมติใช้ขนาดพื้นที่สำหรับหนึ่งหัวอัดประจุไฟฟ้าเท่ากับ 25 m² (Sadeghi-Barzani et al., 2014) และต้นทุนสำหรับการเช่าที่ดินของสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วกำหนดให้เช่าเป็นระยะเวลา 5 ปี ดังนั้น ค่าใช้จ่ายในการพัฒนาสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วสามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้ (Sadeghi-Barzani et al., 2014)

$$DC = C_{initial} + (A \times C_{land} \times N_{charger}) + (PC \times C_{charger} \times (N_{charger} - 1)) \quad (2.24)$$

โดยที่	DC	คือ ค่าใช้จ่ายในการพัฒนาสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว (\$)
	$C_{initial}$	คือ ค่าใช้จ่ายคงที่ของสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว (\$)
	A	คือ ขนาดพื้นที่สำหรับหนึ่งหัวอัดประจุไฟฟ้า (m ²)
	C_{land}	คือ ค่าเช่าพื้นที่สำหรับระยะเวลา 5 ปี (\$/m ²)
	PC	คือ กำลังไฟฟ้าใช้งานของหัวอัดประจุไฟฟ้า (kW)
	$C_{charger}$	คือ ค่าใช้จ่ายในการพัฒนาหัวอัดประจุไฟฟ้า (\$/kW)
	$N_{charger}$	คือ จำนวนหัวอัดประจุไฟฟ้าในสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว



รูปที่ 2.17 ผังการจัดพื้นที่สำหรับสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว (Mayfield et al., 2012)

ค่าใช้จ่ายคงที่ของสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วเป็นค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับอุปกรณ์ ค่าบำรุงรักษา อื่น ๆ สำหรับการติดตั้งสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว ค่าเช่าพื้นที่มีราคาขึ้นอยู่กับความเจริญของที่ดินในแต่ละสถานที่ต่าง ๆ ของเมือง ค่าใช้จ่ายในการพัฒนาหัวอัดประจุไฟฟ้าเป็นค่าใช้จ่ายขึ้นอยู่กับกำลังไฟฟ้าใช้งานของหัวอัดประจุไฟฟ้า และขนาดของสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว (SC) สามารถคำนวณได้ตามสมการต่อไปนี้

$$SC = PC \times N_{\text{charger}} \quad [\text{kW}] \quad (2.25)$$

2.5.2 ค่าใช้จ่ายสำหรับสายส่งจำหน่ายไฟฟ้า

ค่าใช้จ่ายสำหรับสายส่งจำหน่ายไฟฟ้าไปยังสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วขึ้นอยู่กับค่าใช้จ่ายของสายไฟเหนื่อศีรษะ ค่าใช้จ่ายของสายไฟเหนื่อศีรษะขึ้นอยู่กับขนาดของกระแสไฟฟ้าใช้งานเต็มพิกัด โหลด และระยะทางระหว่างสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วและสถานีไฟฟ้าย่อยรวมถึงเทคโนโลยีที่ใช้ในการส่งจำหน่ายไฟฟ้า ดังนั้น ดังในตารางที่ 2.7 เป็นการแสดงขนาดสายทองแดง หุ้มฉนวนครอสลิงค์โพลีเอททีลิน อุณหภูมิตัวนำ 90 °C ขนาดแรงดันไฟฟ้า 600 V อุณหภูมิโดยรอบ 40 °C (สำหรับการเดินสายในอากาศ) ของสายไฟเหนื่อศีรษะที่สามารถทนต่อค่ากระแสไฟฟ้าใช้งานเต็มพิกัด โหลด โดยค่าใช้จ่ายสำหรับสายไฟเหนื่อศีรษะเป็นฟังก์ชันของพื้นที่หน้าตัดของสายไฟเหนื่อศีรษะสามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้ (Rajabi-Ghahnavieh et al., 2017)

$$AC = 8000 + 65.7CS \quad (2.26)$$

โดยที่ AC คือ ค่าใช้จ่ายที่พิจารณาพื้นที่หน้าตัดของสายไฟเหนือศีรษะ (\$/km)
 CS คือ พื้นที่หน้าตัดของสายไฟเหนือศีรษะ (mm^2)

ค่าใช้จ่ายสำหรับสายส่งจำหน่ายไฟฟ้าของสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว (EC) สามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$EC = AC \times L \times N_{charger} \quad (2.27)$$

โดยที่ L คือ ความยาวของสายไฟเหนือศีรษะจากสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วไปยังโหนดของสถานีไฟฟ้า (km)

ตารางที่ 2.7 ขนาดกระแสของสายทองแดงหุ้มฉนวนครอสลิงค์โพลีเอททิลีน (ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์, 2548)

พื้นที่หน้าตัด (mm^2)	2.5	4	6	10	16	25	35	50
พิกัดกระแสไฟฟ้า (A)	36	47	60	82	110	148	184	224
พื้นที่หน้าตัด (mm^2)	70	95	120	150	185	240	300	400
พิกัดกระแสไฟฟ้า (A)	286	356	417	481	559	672	782	921

2.5.3 ค่าใช้จ่ายในการเดินทางของผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้า

ค่าใช้จ่ายในการเดินทางของผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้าขึ้นอยู่กับระยะทางของรถยนต์ไฟฟ้าที่เคลื่อนไปยังสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วที่ใกล้ที่สุดเพื่ออัดประจุไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่ในรถยนต์ไฟฟ้า ดังนั้น ค่าใช้จ่ายในการเดินทางของผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้าสามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$EVL = T_{day} \times EP \times AEVC \times D \quad (2.28)$$

โดยที่ EVL คือ ค่าใช้จ่ายในการเดินทางของผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้า (\$)
 T_{day} คือ จำนวนวันทั้งหมดในระยะเวลา 5 ปี
 EP คือ ราคาไฟฟ้า (\$/kWh)

AEVC คือ ค่าเฉลี่ยของการบริโภคพลังงานไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้า (kWh/km)

D คือ ระยะทางในการเดินทางของรถยนต์ไฟฟ้าไปยังสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว (km)

2.5.4 ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการสูญเสียของพลังงานไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

การอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าเป็นการเพิ่มโหลดให้กับระบบจำหน่ายไฟฟ้า เมื่อจำนวนการอัดประจุไฟฟ้าเร็วมีเพิ่มมากขึ้น ทำให้มีโหลดขนาดใหญ่ขึ้นในระบบจำหน่ายไฟฟ้า ก่อให้เกิดผลกระทบต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้า ซึ่งส่งผลให้การสูญเสียพลังงานไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น ดังนั้น การสูญเสียกำลังไฟฟ้าที่เกิดจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.29)

$$APL = TPL - GPL \quad (2.29)$$

โดยที่ *APL* คือ กำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า (kW)

TPL คือ กำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดขึ้นเมื่อมีการอัดประจุไฟฟ้าเร็วให้กับรถยนต์ไฟฟ้า (kW)

GPL คือ กำลังไฟฟ้าสูญเสียเมื่อไม่มีการอัดประจุไฟฟ้าเร็วให้กับรถยนต์ไฟฟ้า (kW)

การสูญเสียพลังงานไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นในระบบจำหน่ายไฟฟ้าจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็วให้กับรถยนต์ไฟฟ้าขึ้นอยู่กับเวลาที่ให้บริการอัดประจุไฟฟ้าให้กับรถยนต์ไฟฟ้าของสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว ดังนั้น เวลาในการให้บริการอัดประจุไฟฟ้าให้กับรถยนต์ไฟฟ้าของสถานีไฟฟ้าโดยผ่านสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.30)

$$H = \frac{TEV}{TC} \times \frac{t}{60} \quad (2.30)$$

โดยที่ *H* คือ เวลาในการให้บริการอัดประจุไฟฟ้าเร็วให้กับรถยนต์ไฟฟ้า (hr)

TEV คือ จำนวนของรถยนต์ไฟฟ้าทั้งหมดที่อัดประจุไฟฟ้าเร็วที่สถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว

TC คือ จำนวนของหัวอัดประจุไฟฟ้าในสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว

t คือ เวลาที่ใช้ในการอัดประจุไฟฟ้าเร็วให้กับรถยนต์ไฟฟ้า (นาที)

ดังนั้น การสูญเสียพลังงานไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นในระบบจำหน่ายไฟฟ้าจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็วให้กับรถยนต์ไฟฟ้าสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.31)

$$AEL = APL \times H \quad (2.31)$$

โดยที่ AEL คือ พลังงานไฟฟ้าสูญเสียจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็วให้กับรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า (kWh)

ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นในระบบจำหน่ายไฟฟ้าจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็วให้กับรถยนต์ไฟฟ้าสำหรับระยะเวลา 5 ปี (ELC) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.32)

$$ELC = AEL \times EP \times T_{day} \quad (2.32)$$

2.6 วิธีการประมาณช่วงความเชื่อมั่น

การประมาณช่วงความเชื่อมั่น (Confidence interval) เป็นวิธีการใช้ค่าสถิติที่ได้จากตัวอย่างไปประมาณค่าพารามิเตอร์ เพื่อหาข้อสรุปที่เกี่ยวกับพารามิเตอร์ โดยใช้วิธีการประมาณเป็นลักษณะตัวเลข เช่น ประมาณค่าเฉลี่ยของประชากร ประมาณค่าสัดส่วนของประชากร เป็นต้น หรือเป็นกระบวนการในการประมาณค่าโดยนำตัวเลข ค่าสถิติที่ได้จากกลุ่มตัวอย่าง ไปประมาณหาค่าช่วงความเชื่อมั่น โดยช่วงความเชื่อมั่น หมายถึง ช่วงที่ครอบคลุมค่าของพารามิเตอร์ ด้วยความน่าจะเป็นตามที่กำหนด เช่น ระดับความเชื่อมั่น 90% ของขนาดพลังงานที่ต้องการอัดประจุไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าที่สถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วอยู่ระหว่าง 20 ถึง 40 kWh เพื่ออัดประจุไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่ในรถยนต์ไฟฟ้าที่สถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว หมายความว่า มีความมั่นใจ 90% ที่ช่วงของการประมาณขนาดพลังงานที่ต้องการอัดประจุไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าที่สถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วอยู่ระหว่าง 20 ถึง 40 kWh ซึ่งครอบคลุมขนาดพลังงานไฟฟ้าที่ต้องการอัดประจุไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าโดยเฉลี่ยของผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้าในสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว โดยทั่วไประดับความเชื่อมั่นกำหนดให้เท่ากับ 0.9, 0.95 หรือ 0.99 (Patrick Murphy, 2008)

แนวคิดพื้นฐานของช่วงความเชื่อมั่น

ช่วงความเชื่อมั่นโดยพิจารณาขอบเขตต่ำสุดและขอบเขตสูงสุดดังสมการที่ (2.33) เรียกว่า Two-sided confidence interval สามารถบอกโอกาสที่ค่ากลางของประชากรจะอยู่ภายในขอบเขตได้จากสมการที่ (2.34) (ฉลอง สีแก้วสีว, 2018)

$$l \leq \mu \leq u \quad (2.33)$$

$$P(l \leq \mu \leq u) = 1 - \alpha \quad (2.34)$$

โดยที่ l คือ ขอบเขตต่ำสุด
 u คือ ขอบเขตสูงสุด
 α คือ ค่าที่บ่งบอก

ความเสี่ยงในการพยากรณ์ค่าพิศพลาด μ การพิจารณาค่าความเชื่อมั่นต้องพิจารณาค่าความเสี่ยงด้วย ดังนั้น $100(1 - \alpha)\%$ คือ เปอร์เซนต์ความเชื่อมั่น นอกจากนี้ยังมี One-sided confidence interval ได้แก่ Lower-confidence interval สามารถแสดงได้ตามสมการที่ (2.35) และ Upper-confidence interval สามารถแสดงได้ตามสมการที่ (2.36)

$$l \leq \mu \quad (2.35)$$

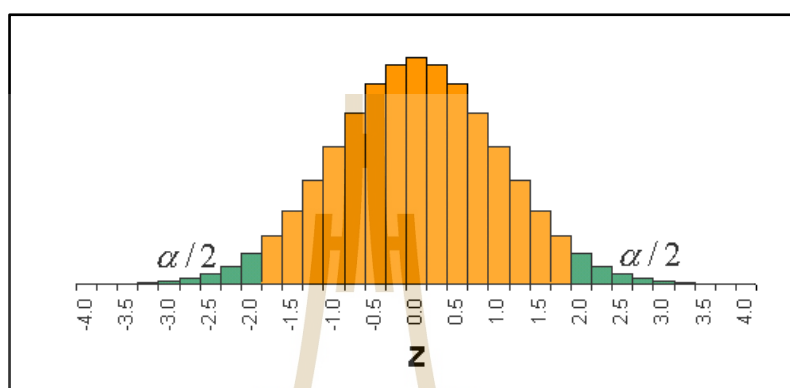
$$\mu \leq u \quad (2.36)$$

จากสมการที่ (2.36) เรียกว่า Upper-confidence interval ดังนั้น ค่า $100(1 - \alpha)\%$ คือ ค่าความเชื่อมั่นของพารามิเตอร์ μ เมื่ออ้างอิงการกระจายตัวของค่าตัวอย่างที่มีค่ากลางและค่าการกระจายเท่ากับ σ^2 / n จะได้ว่า

$$Z = \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma / \sqrt{n}} \quad (2.37)$$

โดยที่ n คือ จำนวนประชากรตัวอย่าง

การแจกแจงแบบปกติดังแสดงในรูปที่ 2.18 เป็นการกระจายแบบปกติมาตรฐานที่มีค่า α ทหารสองในกรณีที่ทำ Two-sided confidence interval ดังนั้น จึงสามารถบอกโอกาสที่ค่ากลางของประชากรจะอยู่ในขอบเขตได้จากสมการที่ (2.38)



รูปที่ 2.18 การกระจายแบบปกติมาตรฐาน (ฉลอง สีแก้วสีว, 2018)

$$P(-z_{\alpha/2} \leq z \leq z_{\alpha/2}) = 1 - \alpha \quad (2.38)$$

เมื่อแทนค่าวิกฤต (z) จะได้

$$P(-z_{\alpha/2} \leq \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma / \sqrt{n}} \leq z_{\alpha/2}) = 1 - \alpha \quad (2.39)$$

และจัดรูปแบบสมการใหม่ จะได้

$$P(\bar{X} - z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \leq \mu \leq \bar{X} + z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}) = 1 - \alpha \quad (2.40)$$

ในกรณีที่สามารระบุค่า σ ได้ ดังนั้น ค่าเปอร์เซ็นต์ความเชื่อมั่นของค่า μ สามารถหาได้จากสมการที่ (2.41)

$$\bar{X} - z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \leq \mu \leq \bar{X} + z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = 100(1 - \alpha)\% \quad (2.41)$$

ดังนั้น ช่วงความเชื่อมั่นของกลุ่มประชากรตัวอย่างขนาดใหญ่สำหรับค่าเฉลี่ยของกลุ่มประชากร โดยสมการทั่วไปของช่วงความเชื่อมั่นแสดงได้ดังสมการที่ (2.42) (Patrick Murphy, 2008)

$$\text{Confidence Interval} = \bar{x} \pm (z \frac{\sigma}{\sqrt{n}}) \quad (2.42)$$

โดยที่ ระดับความเชื่อมั่นที่กำหนดค่าวิกฤต (z) สามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

ระดับความเชื่อมั่น 99% จะได้ ค่าวิกฤต (z) เท่ากับ 2.58

ระดับความเชื่อมั่น 95% จะได้ ค่าวิกฤต (z) เท่ากับ 1.96

ระดับความเชื่อมั่น 90% จะได้ ค่าวิกฤต (z) เท่ากับ 1.645

เนื่องจาก n เป็นประชากรตัวอย่างและไม่รู้ค่า σ เพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณสามารถใช้สมการดังต่อไปนี้

$$\text{Confidence Interval} = \bar{x} \pm (z \frac{s}{\sqrt{n}}) \quad (2.43)$$

โดยที่ค่าเฉลี่ย (\bar{X}) และค่าความแปรปรวน (s) สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (2.44) และ (2.45) ตามลำดับ

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (2.44)$$

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \quad (2.45)$$

โดยที่ X_i คือ ค่าพารามิเตอร์จากประชากรตัวอย่าง

2.7 การจำลองสถานการณ์แบบมอนติคาร์โล

มอนติคาร์โลเป็นแนวคิดพื้นฐานในระบบการจำลองที่ประกอบด้วย ความน่าจะเป็นและเป็นเทคนิคการสร้างข้อมูลโดยใช้ตัวเลขสุ่มและความน่าจะเป็นสะสม ตัวเลขสุ่มอาจได้จากตารางเลขสุ่ม โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ลูกเต๋า เป็นต้น ค่าความน่าจะเป็นสะสมเป็นความน่าจะเป็นสะสมของข้อมูลที่ต้องการอาจได้จากการทดลองหรือข้อมูลทางสถิติ

ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็น

ตัวแปรสุ่ม x เป็นตัวแปรที่ใช้ค่าเฉพาะกับความถี่ที่กำหนดโดยการแจกแจงความน่าจะเป็น การแจกแจงความน่าจะเป็นแบ่งได้ 2 แบบ (Vujic, 2018) ดังต่อไปนี้

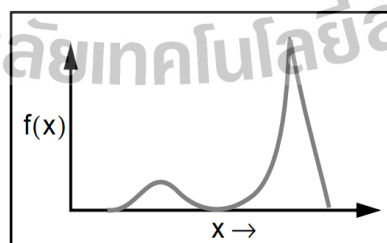
1. การแจกแจงความน่าจะเป็นแบบต่อเนื่อง $P\{a \leq x \leq b\}$

ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นแบบต่อเนื่องสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (2.46) ถึงสมการที่ (2.48) และดังแสดงในรูปที่ 2.19

$$f(x), \quad f(x)dx = P\{x \leq x' \leq x + dx\} \quad (2.46)$$

$$0 \leq f(x), \quad \int_{-\infty}^{\infty} f(x)dx = 1 \quad (2.47)$$

$$\text{Probability}\{a \leq x \leq b\} = \int_a^b f(x)dx \quad (2.48)$$



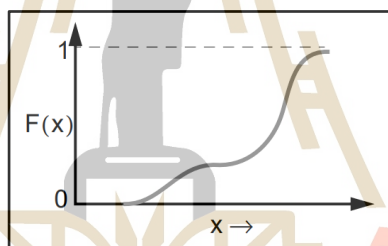
รูปที่ 2.19 ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นแบบต่อเนื่อง (Vujic, 2018)

ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของความเป็นแบบต่อเนื่องสามารถแสดงได้ดังต่อสมการที่ (2.49) ถึงสมการที่ (2.51) และดังแสดงในรูปที่ 2.20

$$F(x) = \int_{-\infty}^x f(x') dx' = P\{x' \leq x\} \quad 0 \leq F(x) \leq 1 \quad (2.49)$$

$$0 \leq d \frac{d}{dx} F(x) = f(x) \quad (2.50)$$

$$\int_a^b f(x') dx' = P\{a \leq x \leq b\} = F(b) - F(a) \quad (2.51)$$



รูปที่ 2.20 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของความเป็นแบบต่อเนื่อง (Vujic, 2018)

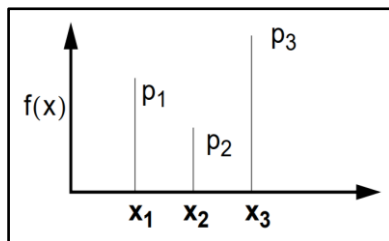
2. การแจกแจงความเป็นแบบไม่ต่อเนื่อง $P\{x = x_i\} = p_i$

ฟังก์ชันความหนาแน่นของความเป็นแบบไม่ต่อเนื่องสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (2.52) ถึงสมการที่ (2.54) และดังแสดงในรูปที่ 2.21

$$f(x_i), \quad f(x_i) = p_i \delta(x - x_i) \quad (2.52)$$

$$0 \leq f(x_i) \quad (2.53)$$

$$\sum_i f(x_i)(\Delta x_i) = 1 \quad \text{or} \quad \sum_i p_i = 1 \quad (2.54)$$

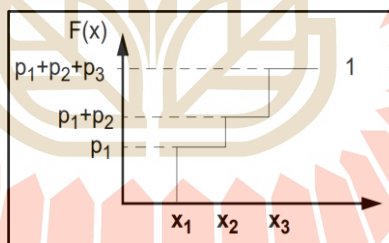


รูปที่ 2.21 ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นแบบไม่ต่อเนื่อง (Vujic, 2018)

ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของความน่าจะเป็นแบบไม่ต่อเนื่องสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (2.55) และสมการที่ (2.56) และดังแสดงในรูปที่ 2.22

$$F(x) = \sum_{x_i < x} p_i = \sum_{x_i < x} f(x_i) \Delta x_i, \quad 0 \leq f(x_i) \tag{2.55}$$

$$0 \leq F(x) \leq 1 \quad 0 \leq f(x_i) \tag{2.56}$$

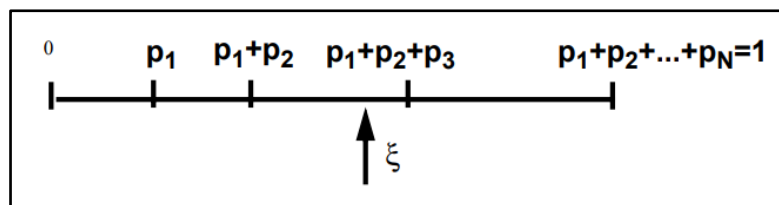


รูปที่ 2.22 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของความน่าจะเป็นแบบไม่ต่อเนื่อง (Vujic, 2018)

การสุ่มตัวอย่างจากการแจกแจงแบบไม่ต่อเนื่องที่กำหนด

กำหนดให้ $f(x_i) = p_i$ และ $\sum_i p_i = 1, i = 1, 2, \dots, N$ ดังแสดงในรูปที่ 2.23 และ $0 \leq \xi \leq 1$

แล้ว $P(x = x_k) = p_k = P(\xi \in d_k)$ หรือ $\sum_{i=1}^{k-1} p_i \leq \xi < \sum_{i=1}^k p_i$



รูปที่ 2.23 การแจกแจงสะสมของความน่าจะเป็นแบบไม่ต่อเนื่อง (Vujic, 2018)

การสุ่มตัวอย่างจากการแจกแจงแบบต่อเนื่องที่กำหนด

ถ้า $f(x)$ และ $F(x)$ แทน ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นและฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของความน่าจะเป็นตามลำดับ ตัวแปรสุ่ม x และถ้า ξ คือ เลขสุ่ม $[0,1]$ ที่มีฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น $g(\xi)=1$ และถ้า x เป็นเช่นนั้น $F(x)=\xi$ สำหรับแต่ละ ξ มีความสัมพันธ์กับ x และตัวแปร x กระจายตามฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น $f(x)$ โดยพิสูจน์ได้ดังนี้

สำหรับแต่ละ ξ ใน $(\xi, \xi+\Delta\xi)$ และมี x ใน $(x, x+\Delta x)$ สมมติว่า ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นสำหรับ x คือ $q(x)$ แสดงว่า $q(x)$ เท่ากับ $f(x)$ ดังนี้

$$q(x)\Delta x = q(\xi)\Delta\xi = \Delta\xi = (\xi + \Delta\xi) - \xi = F(x + \Delta x) - F(x)$$

$$q(x) = [F(x + \Delta x) - F(x)] / \Delta x = f(x)$$

ดังนั้น ถ้า $x = F^{-1}(\xi)$ แล้ว x ได้รับการแจกแจงตาม $f(x)$

วิธีมอนติคาร์โลเป็นเทคนิคที่ใช้ช่วยในการจำลองปัญหาโดยใช้ตารางเลขสุ่มโดยสามารถนำไปใช้ในการสร้างแบบจำลองต่าง ๆ ที่เลียนแบบผลที่จะเกิดขึ้นในชีวิตจริงได้ วิธีมอนติคาร์โลมีขั้นตอนดังนี้ (คณัย ปัตตพงศ์, 2559)

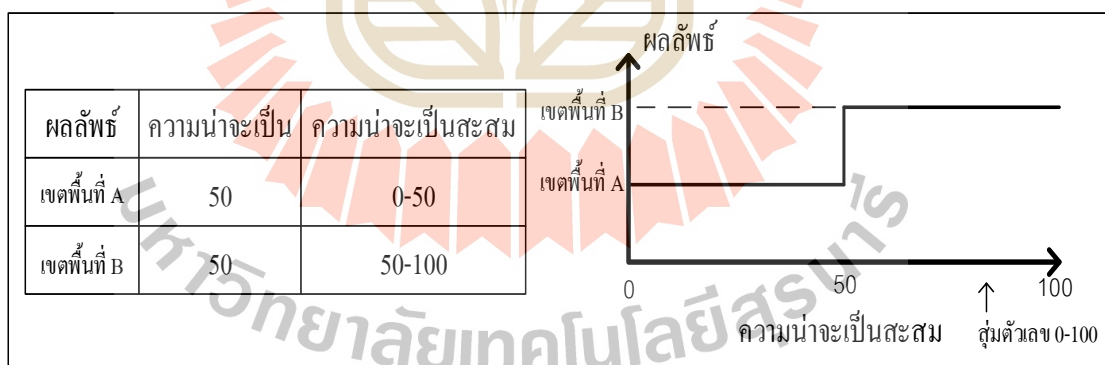
1. กำหนดคุณสมบัติทางสถิติหรือผลลัพธ์ที่จะเกิดขึ้นของปัจจัยการผลิตที่เป็นไปได้
2. กำหนดความน่าจะเป็นของผลลัพธ์ที่จะเกิดขึ้น ให้สอดคล้องกับผลลัพธ์ในขั้นตอนที่ 1
3. กำหนดช่วงของตัวเลขที่แสดงถึงผลลัพธ์ที่เป็นไปได้ ให้สอดคล้องกับความน่าจะเป็นของผลลัพธ์ที่จะเกิดขึ้นในขั้นตอนที่ 2 โดยสามารถแสดงเป็นฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของความน่าจะเป็นหรือตารางความน่าจะเป็นสะสมของข้อมูลที่ต้องการ
4. สร้างตัวเลขแบบสุ่มที่แสดงถึงผลลัพธ์ที่เป็นไปได้
5. วิเคราะห์ผลทางสถิติ

ตัวอย่างสำหรับการจำลองสถานการณ์การนำรถยนต์ไฟฟ้าเข้ามาใช้ในแต่ละเขตพื้นที่ใน อนาคตแบบมอนติคาร์โล เพื่อเป็นตัวอย่างพื้นฐานสำหรับการประยุกต์ใช้วิธีมอนติคาร์โลใน งานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้ โดยสามารถดำเนินการได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดคุณสมบัติทางสถิติหรือผลลัพธ์ที่จะเกิดขึ้นของปัจจัยการผลิตที่เป็นไป ได้ คือ การนำรถยนต์ไฟฟ้าเข้ามาใช้ในเขตพื้นที่ A หรือในเขตพื้นที่ B

ขั้นตอนที่ 2 กำหนดความน่าจะเป็นของผลลัพธ์ที่จะเกิดขึ้น ซึ่งให้สอดคล้องกับผลลัพธ์ใน ขั้นตอนที่ 1 ดังนั้น ความน่าจะเป็นของผลลัพธ์ของการนำรถยนต์ไฟฟ้าเข้ามาใช้ในแต่ละเขตพื้นที่ โดยมีจำนวนประชากรในแต่ละเขตพื้นที่เท่ากัน คือ การนำรถยนต์ไฟฟ้าเข้ามาใช้ในเขตพื้นที่ A หรือในเขตพื้นที่ B เท่ากับ 50:50 เนื่องจากโอกาสการนำรถยนต์ไฟฟ้าเข้ามาใช้ในแต่ละเขตพื้นที่ ขึ้นอยู่กับจำนวนประชากรในแต่ละเขตพื้นที่

ขั้นตอนที่ 3 กำหนดช่วงของตัวเลขที่แสดงถึงผลลัพธ์ที่เป็นไปได้ ซึ่งให้สอดคล้องกับความ น่าจะเป็นของผลลัพธ์ที่จะเกิดขึ้นในขั้นตอนที่ 2 ดังนั้น การกำหนดช่วงตัวเลข 0 ถึง 50 เป็นตัวเลขที่ แสดงถึงผลจากการนำรถยนต์ไฟฟ้าเข้ามาใช้ในเขตพื้นที่ A และการกำหนดช่วงตัวเลข 50 ถึง 100 เป็นตัวเลขที่แสดงถึงผลจากการนำรถยนต์ไฟฟ้าเข้ามาใช้ในเขตพื้นที่ B โดยสามารถแสดงเป็น ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของความน่าจะเป็นหรือตารางความน่าจะเป็นสะสมของข้อมูลที่ต้องการ ดังในรูปที่ 2.24



รูปที่ 2.24 ความน่าจะเป็นสะสมของข้อมูลที่ต้องการ

ขั้นตอนที่ 4 สร้างตัวเลขแบบสุ่มที่แสดงถึงผลลัพธ์ที่เป็นไปได้ จึงต้องใช้ตารางการสุ่ม ตัวเลขหรือโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อสุ่มตัวเลข ดังนั้น การใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ MATLAB โดยมีชุดคำสั่งในการสร้างตัวเลขสุ่มดังนี้

```

n=5; % จำนวนรถยนต์ไฟฟ้า
for i=1:n
    x=round((100-0)*rand(1,1)+0) % สุ่มตัวเลข 0 ถึง 100
end

```

ขั้นตอนที่ 5 วิเคราะห์ผลทางสถิติ ดังนั้น สมมุติได้ผลการจำลองการสุ่มตัวเลขหลาย ๆ ครั้ง ดังนี้

ครั้งที่ 1 สุ่มได้ตัวเลข 50 แสดงว่า มีการนำรถยนต์ไฟฟ้าเข้ามาใช้ในเขตพื้นที่ A
 ครั้งที่ 2 สุ่มได้ตัวเลข 70 แสดงว่า มีการนำรถยนต์ไฟฟ้าเข้ามาใช้ในเขตพื้นที่ B
 ครั้งที่ 3 สุ่มได้ตัวเลข 40 แสดงว่า มีการนำรถยนต์ไฟฟ้าเข้ามาใช้ในเขตพื้นที่ A
 ครั้งที่ 4 สุ่มได้ตัวเลข 85 แสดงว่า มีการนำรถยนต์ไฟฟ้าเข้ามาใช้ในเขตพื้นที่ B
 ครั้งที่ 5 สุ่มได้ตัวเลข 25 แสดงว่า มีการนำรถยนต์ไฟฟ้าเข้ามาใช้ในเขตพื้นที่ A

การสุ่มตัวเลขหลาย ๆ ครั้ง จนครบจำนวนครั้งที่ต้องการหรือกำหนด จากนั้นวิเคราะห์ผลทางสถิติและสรุปผลการจำลอง จะเห็นได้ว่า การจำลองสถานการณ์แบบมอนติคาร์โลเป็นการจำลองที่มีประโยชน์ในการวิเคราะห์ปัญหา ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการสร้างแบบจำลองต่าง ๆ ที่เลียนแบบผลที่จะเกิดขึ้นในชีวิตจริง

2.8 วิธีการเพิ่มประสิทธิภาพแบบวาพ

วิธีการเพิ่มประสิทธิภาพแบบวาพเป็นเทคนิคใหม่ (Khan et al., 2017) สำหรับวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพที่เลียนแบบพฤติกรรมของวาพหลังค่อม ซึ่งเป็นสัตว์ที่มีพรสวรรค์ในการเคลื่อนที่เพื่อค้นหาอาหารและใช้วิธีการโจมตีแบบฟองตาข่าย (Bubble-net attacking method) วิธีการนี้วาพจะว่ายน้ำรอบ ๆ เป้าหมายและสร้างฟองโดยล้อมรอบเส้นทางของเหยื่อหรือเส้นทางรูปทรงตัว 9

ในทางคณิตศาสตร์ การค้นหาของวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพแบบวาพสามารถแบ่งขั้นตอนหลัก ๆ เพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุด (Prakash et al., 2017) ดังต่อไปนี้

การค้นหาและการล้อมรอบเหยื่อ

พฤติกรรมของการค้นหาอาหารหรือเหยื่อสามารถแสดงได้โดยสมการที่ (2.57) และสมการที่ (2.58) และมีเวกเตอร์ค่าสัมประสิทธิ์แสดงด้วยสมการที่ (2.59) และสมการที่ (2.60)

$$D = |C \cdot X_{rand} - X| \quad (2.57)$$

$$X(t+1) = X_{rand} - A \cdot D \quad (2.58)$$

โดยที่ A และ C คือ เวกเตอร์ค่าสัมประสิทธิ์ที่แสดงโดยสมการที่ (2.59) และสมการที่ (2.60)

$$A = 2ar - a \quad (2.59)$$

$$C = 2 \cdot r \quad (2.60)$$

โดยที่ a คือ การลดลงแบบเชิงเส้นจาก 2 จนถึง 0
 r คือ ค่าจากการสุ่มระหว่าง 0 และ 1

จากสมการที่ (2.59) ถ้า $A \geq 1$ พฤติกรรมของการค้นหาอาหารหรือเหยื่อจะแสดงโดยสมการที่ (2.57) และสมการที่ (2.58) และในทางตรงข้าม ถ้า A ไม่เป็นไปตามเงื่อนไขแรก วิธีการเพิ่มประสิทธิภาพแบบวาฬจะสามารถระบุตำแหน่งของเหยื่อและล้อมรอบเหยื่อโดยสมการที่ (2.61) และสมการที่ (2.62) เป็นการใช้สำหรับการปรับตำแหน่งการค้นหาของตัวแทนเพื่อให้ได้ตัวแทนการค้นหาที่ดีที่สุด

$$D = |C \cdot X^*(t) - X(t)| \quad (2.61)$$

$$X(t+1) = X^*(t) - A \cdot D \quad (2.62)$$

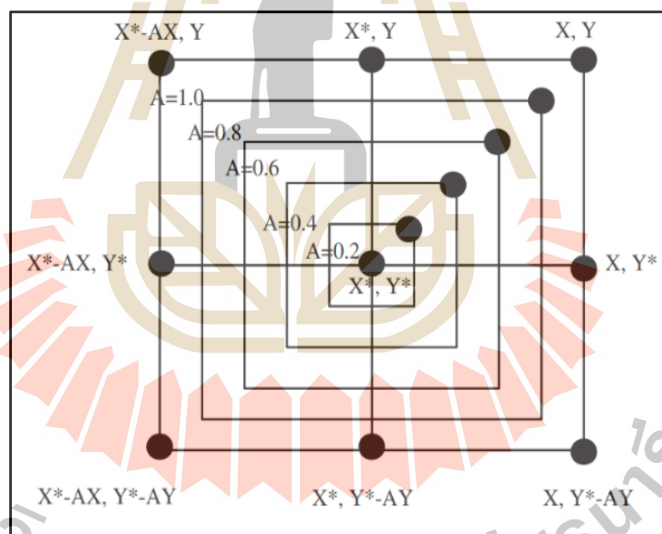
โดยที่ t คือ รอบ ณ ปัจจุบัน
 X คือ ตำแหน่งของเวกเตอร์
 X^* คือ ค่าที่ดีที่สุดของตำแหน่งของเวกเตอร์

วิธีการโจมตีแบบฟองตาข่าย

เป็นวิธีการวน้ำรอบ ๆ เป้าหมายหรือเหยื่อและสร้างฟองโดยล้อมรอบเส้นทางของเหยื่อหรือเส้นทางรูปทรงตัว 9 มีความน่าจะเป็นของกลไกการค้นหาแบบฟองตาข่าย (p) เป็น 50% (Ling et al., 2017) ซึ่งกลไกการค้นหาแบบฟองตาข่ายดังแสดงในรูปที่ 2.25 เพื่อปรับตำแหน่งของวาฟโดยผ่านการเพิ่มประสิทธิภาพ การปรับตำแหน่งจะแสดงโดยสมการที่ (2.63)

$$X(t+1) = \begin{cases} X^*(t) - A \cdot D & \text{if } p < 0.5 \\ De^{bl} \cos(2\pi l) + X^*(t) & \text{if } p \geq 0.5 \end{cases} \quad (2.63)$$

- โดยที่ p คือ ค่าที่ได้จากการสุ่มระหว่าง 0 และ 1
- L คือ ค่าระหว่าง -1 และ 1
- B คือ ค่าคงที่สำหรับการอธิบายรูปทรงเกลียว



รูปที่ 2.25 กลไกการค้นหาแบบฟองตาข่ายของวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพแบบวาฟ (Prakash et al., 2017)

ขั้นตอนการดำเนินการของวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพแบบวาฬสามารถอธิบายตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. กำหนดจำนวนตัวแทนการค้นหาเริ่มต้นและจำนวนรอบการค้นหาสูงสุด ถ้าค่าเริ่มต้นของตัวแทนการค้นหาเกินขอบเขตของค่าที่กำหนด ค่าของตัวแทนการค้นหาก็จะถูกปรับปรุงให้อยู่ในขอบเขตของค่าที่กำหนด

2. คำนวณฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของตัวแทนการค้นหาในแต่ละตัว และหาตัวแทนการค้นหาค่าที่ดีที่สุดจากตัวแทนการค้นหาทั้งหมดในรอบแรก

3. ปรับปรุงตัวแทนการค้นหาเริ่มต้นโดย a, A, C, l และ p ใช้สมการที่ (2.59) และสมการที่ (2.60) เพื่อใช้ในการพิจารณารอบถัดไป

4. ตรวจสอบเงื่อนไขหลังจากปรับปรุงตัวแทนการค้นหาเริ่มต้น โดยถ้า p น้อยกว่า 0.5 แล้วต้องข้ามไปยังขั้นตอนถัดไป แต่ถ้าไม่ใช่ต้องปรับปรุงตำแหน่งของตัวแทนการค้นหาในรอบ η ปัจจุบันโดยใช้สมการที่ (2.63) แล้วข้ามไปยังขั้นตอนที่ 6

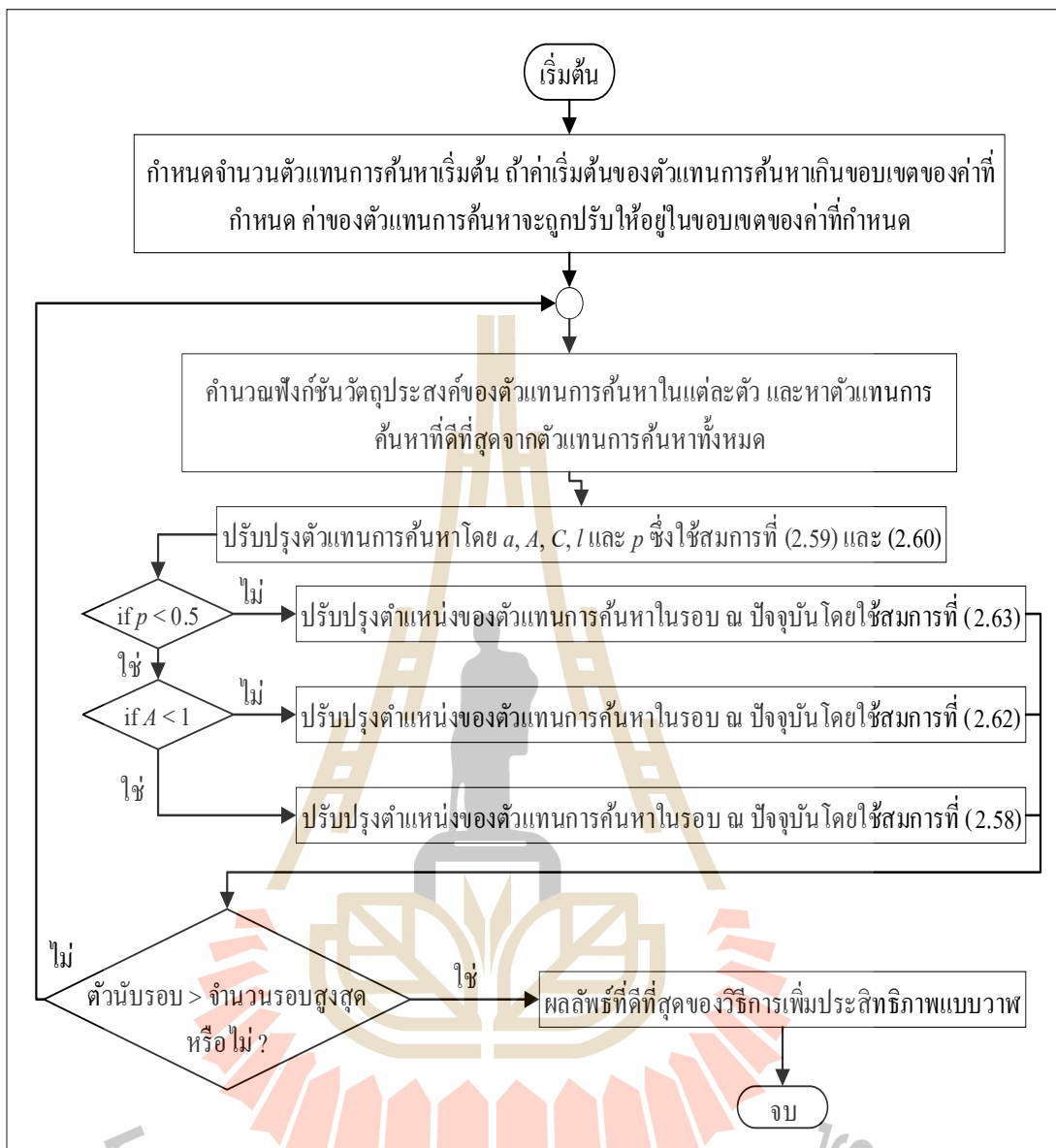
5. ตรวจสอบเงื่อนไขหลังจากปรับปรุงตัวแทนการค้นหาเริ่มต้น โดยถ้า A น้อยกว่า 1 แล้วต้องปรับปรุงตำแหน่งของตัวแทนการค้นหาในรอบ η ปัจจุบันโดยใช้สมการที่ (2.58) แต่ถ้าไม่ใช่ต้องปรับปรุงตำแหน่งของตัวแทนการค้นหาในรอบ η ปัจจุบันโดยใช้สมการที่ (2.62) แล้วข้ามไปยังขั้นตอนที่ 6

6. ตรวจสอบจำนวนรอบสูงสุดของการค้นหาค่าตอบที่ดีที่สุด ถ้ารอบ η ปัจจุบัน เท่ากับจำนวนรอบสูงสุด ให้ข้ามไปยังขั้นตอนที่ 7 แต่ถ้าไม่ใช่ให้คำนวณฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของตัวแทนการค้นหาในแต่ละตัว และหาตัวแทนการค้นหาค่าที่ดีที่สุดจากตัวแทนการค้นหาทั้งหมด หรือกลับไปเริ่มต้นที่ขั้นตอนที่ 2 โดยตัวแทนการค้นหา η ปัจจุบัน ได้รับการปรับปรุงผ่านการพิจารณาในขั้นตอนที่ 3 ถึง 5

7. จากขั้นตอนที่ 6 ได้รับคำตอบที่ดีที่สุดในรอบ η ปัจจุบัน

8. η รอบสูงสุดของการค้นหาค่าตอบที่ดีที่สุด จะได้รับคำตอบที่ดีที่สุด

ขั้นตอนการดำเนินการของวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพแบบวาฬดังที่กล่าวมาข้างต้นสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.26



รูปที่ 2.26 การดำเนินการของวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพแบบวาฟ

2.9 วิธีโครงข่ายประสาทเทียม

โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network: ANN) เป็นวิธีปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence: AI) แขนงหนึ่ง มีโครงสร้างและการทำงานคล้ายคลึงกับการทำงานของระบบประสาทของมนุษย์หรือเซลล์สมอง โดยสามารถเรียนรู้ ปรับตัวตามข้อมูลที่ได้รับจากสภาพแวดล้อมภายนอก และให้คำตอบในปัญหาที่ซับซ้อนได้ ข้อดีของวิธีโครงข่ายประสาทเทียม

คือ สามารถทำงานร่วมกับความสามารถของคอมพิวเตอร์ เช่น ความสามารถเรียนรู้จากประสบการณ์ จำแนกลักษณะสิ่งของที่มีคุณลักษณะใกล้เคียงกัน สามารถวิเคราะห์ข้อมูล โดยไม่ขึ้นกับรูปแบบการแจกแจงของข้อมูล และสามารถใช้กับข้อมูลที่ไม่สมบูรณ์หรือไม่ครบถ้วนในการหาค่าพยากรณ์ได้ จุดเด่นของวิธีโครงข่ายประสาทเทียม คือ ให้ความถูกต้องในการทำนายที่สูงกว่าวิธีพยากรณ์แบบอื่น ๆ เมื่อข้อมูลมีรูปแบบไม่เป็นเชิงเส้น โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมประกอบด้วย กลุ่มโหนด 3 ชั้น ได้แก่ ชั้นอินพุต (Input layer) เป็นชั้นที่มีโหนดอินพุตทำหน้าที่รับข้อมูลเข้า ชั้นฮิดเดน (Hidden layer) เป็นชั้นที่อยู่ระหว่างชั้นอินพุตและชั้นเอาต์พุต ประกอบด้วย โหนดฮิดเดนทำหน้าที่รวบรวมข้อมูลอินพุตและค่าถ่วงน้ำหนัก เพื่อแปลงค่าให้ได้ผลลัพธ์และส่งไปยังชั้นเอาต์พุต และชั้นเอาต์พุต (Output layer) เป็นชั้นสุดท้ายของโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมที่มีโหนดเอาต์พุตทำหน้าที่แสดงผลลัพธ์ที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียม (ชานนท์ ชูพงษ์, 2554)

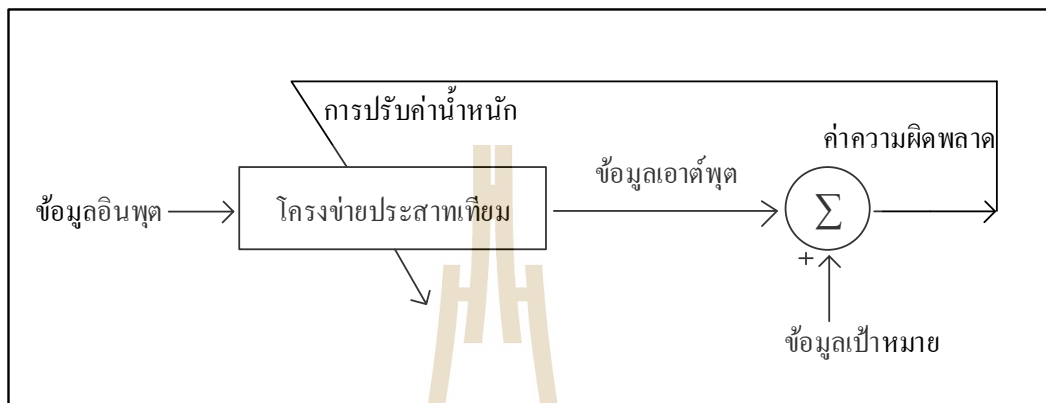
หลักการการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียม

โครงข่ายประสาทเทียมเป็นการจำลองรูปแบบทำงานของระบบสมองของมนุษย์ มีหน้าที่และการทำงานของนิวรอนสามารถสร้างให้มีขนาดใหญ่และสามารถพัฒนาโดยการเรียนรู้ฝึกฝน (Train) ระบบเพื่อนำไปใช้งานเฉพาะ หลักการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียมอาศัยการปรับค่าน้ำหนัก (Weight) ในระบบของโครงข่ายประสาทเทียมดังแสดงในรูปที่ 2.27 การทำงานของโครงข่ายประสาทเทียมมีการเปรียบเทียบเอาต์พุต (Output) ของโครงข่ายประสาทเทียมที่ได้กับค่าเป้าหมาย (Target) ที่กำหนดในตอนเริ่มต้น หากในกรณีที่ได้อาต์พุตที่มีค่าแตกต่างกัน หรือไม่เท่ากับค่าเป้าหมาย จากนั้นระบบของโครงข่ายประสาทเทียมจะทำการปรับค่าน้ำหนักไปจนกว่าค่าเอาต์พุตใหม่มีค่าเท่ากับค่าเป้าหมาย การเรียนรู้ฝึกฝนของโครงข่ายประสาทเทียมโดยให้ระบบโครงข่ายประสาทเทียมมีการเรียนรู้จำเป็นต้องมีชุดข้อมูลที่ป้อนเข้าหรือข้อมูลอินพุต และค่าที่ใช้เป็นค่าชุดข้อมูลเป้าหมาย เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบนั้นต้องมีการจัดข้อมูลให้เป็นแบบคู่ลำดับสำหรับใช้ในการเรียนรู้ฝึกฝนระบบโครงข่ายประสาทเทียม

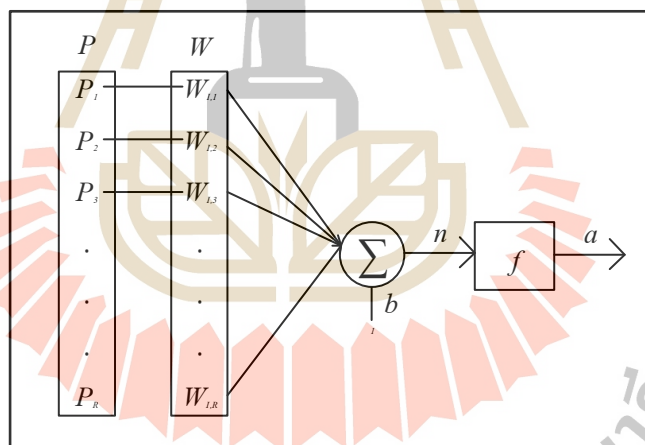
รูปแบบของโครงข่ายประสาทเทียม

โครงข่ายประสาทเทียมประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก ๆ ดังนี้ ส่วนแรกเป็นส่วนอินพุตของโครงข่ายประสาทเทียมแทนด้วยสัญลักษณ์ P ซึ่งอยู่ในรูปของเวกเตอร์โดยอินพุตแต่ละตัวมีค่าน้ำหนักประจำอินพุตแทนด้วยสัญลักษณ์ W ผลคูณที่เกิดจากการคูณค่าน้ำหนักกับค่าอินพุตแต่ละค่าถูกนำมารวมกัน (Summing) ณ จุดรวมสัญญาณ จากนั้นนำผลคูณที่ได้ทั้งหมดมารวมกันกับค่าไบอัส (Bias) แทนด้วยสัญลักษณ์ b แล้วส่งผลรวมที่ได้ผ่านไปยังชั้นโอนย้าย (Transfer function)

แทนด้วยสัญลักษณ์ f และออกไปส่วนเอาต์พุตของระบบโครงข่ายประสาทเทียมดังแสดงในรูปที่ 2.28



รูปที่ 2.27 หลักการของ โครงข่ายประสาทเทียม



รูปที่ 2.28 ส่วนประกอบของโครงข่ายประสาทเทียม

จากรูปที่ 2.28 เอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียมสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังสมการที่ (2.64)

$$a = f(W_p + b) \quad (2.64)$$

ฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer functions) ฟังก์ชันถ่ายโอนที่ใช้ในโครงข่ายประสาทเทียมที่นิยมใช้ ได้แก่ ฟังก์ชันถ่ายโอนฮาร์ดลิมิต ฟังก์ชันถ่ายโอนเชิงเส้น และฟังก์ชันถ่ายโอนซิกมอยด์

การแบ่งชนิดของโครงข่ายประสาทเทียม

การแบ่งชนิดของโครงข่ายประสาทเทียมตามวิธีการ เช่น วิธีการฝึกสอน วิธีการเรียนรู้ การประยุกต์ใช้งาน ชนิดของข้อมูล เป็นต้น ดังนั้น จึงไม่มีวิธีการที่แน่นอนในการแบ่งชนิดของโครงข่ายประสาทเทียม เมื่อแบ่งตามโครงสร้างทางสถาปัตยกรรมแล้วสามารถแบ่งโครงข่ายประสาทเทียมได้ 2 ประเภท ได้แก่

1. โครงข่ายไปข้างหน้า (Feed forward network) เป็นที่รู้จักและนิยมใช้งานมากที่สุด มีการเชื่อมต่อไปในทิศทางข้างหน้าทิศทางเดียว คือ จากอินพุตไปยังเอาต์พุต

2. โครงข่ายป้อนกลับ (Recurrent network) มีการป้อนกลับของข้อมูลจากเอาต์พุตกลับมายังอินพุต ทำให้ค่าเอาต์พุตในรอบถัดไปขึ้นอยู่กับค่าเอาต์พุตในรอบที่แล้ว โครงข่ายลักษณะนี้มีความสามารถจดจำลำดับเหตุการณ์ได้

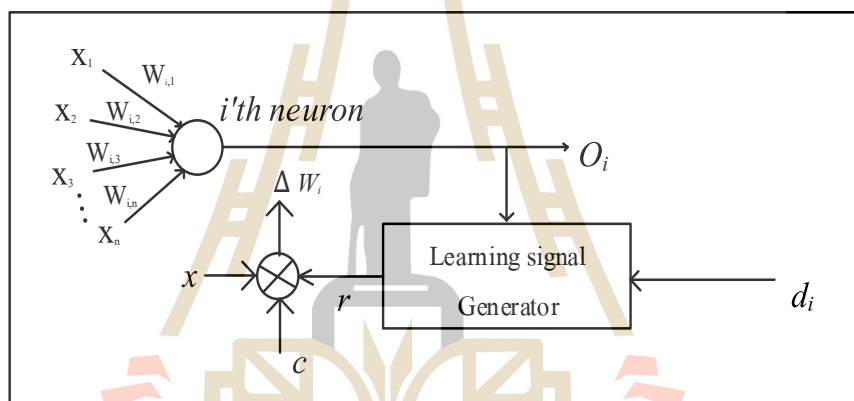
การเรียนรู้และกฎการเรียนรู้

การเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมเป็นการ Mapping ระหว่างอินพุตและเอาต์พุตของโครงข่าย การออกแบบที่สัมพันธ์กันหรือตัวจำแนกของโครงข่ายจะขึ้นอยู่กับพื้นฐานของการเรียนรู้ ความสัมพันธ์ของการถ่ายโอนค่าจากอินพุตไปยังเอาต์พุตตามกลุ่มตัวอย่างที่กำหนดให้ในลักษณะของกลุ่มลำดับ ขอบเขตของการจำแนกแต่ละปัญหาจะเป็นไปตามหลักทฤษฎีการประมาณค่าการเรียนรู้แบบซูปเปอร์ไวส์ลิงนิง และแบบอันซูปเปอร์ไวส์ลิงนิง ดังนั้น การเรียนรู้แบบซูปเปอร์ไวส์ลิงนิงเป็นการเรียนรู้เสมือนว่ามีครูสอนคอยกำกับดูแล ค่าของเอาต์พุตจะขึ้นอยู่กับการนำค่า r ของระบบที่เกิดจากการเตรียม โดยครูสอนมาเป็นตัวกำหนดการตัดสินใจ จากนั้นระบบจะปรับปรุงค่าของน้ำหนักเพื่อลดค่าผิดพลาดของระบบให้น้อยลง ส่วนการเรียนรู้แบบอันซูปเปอร์ไวส์ลิงนิงหรือการเรียนรู้แบบไม่มีครูสอนคอยกำกับดูแล ดังนั้น เอาต์พุตได้จากการตัดสินใจจะไม่ทราบค่าที่ได้นั้นถูกหรือผิดไปจากค่าเป้าหมาย ค่าที่ได้จึงไม่สามารถนำมาใช้เพื่อปรับปรุงพฤติกรรมของระบบได้ การเรียนรู้แบบอันซูปเปอร์ไวส์ลิงนิงตัวอย่างการนำไปใช้งาน เช่น การจำแนกขอบเขตหรือการกระจายของข้อมูล เป็นต้น

กฎการเรียนรู้สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการเรียนรู้โครงข่ายตามเงื่อนไขเฉพาะได้ กฎของการเรียนรู้แบ่งออกเป็น 2 แบบ ได้แก่ แบบซูปเปอร์ไวส์ลิงนิงและแบบอันซูปเปอร์ไวส์ลิงนิง การเรียนรู้แบบซูปเปอร์ไวส์ลิงนิงต้องมีการจัดเตรียมกลุ่มข้อมูลแบบกลุ่มลำดับ โดยให้ p เป็นค่าอินพุต ส่วน r เป็นค่าเป้าหมาย เมื่อป้อนอินพุตและค่าเป้าหมายเข้าสู่ระบบแล้ว โครงข่ายดำเนินการ

เปรียบเทียบเอาต์พุตที่ได้กับค่าเป้าหมายที่กำหนด โดยที่โครงข่ายจะดำเนินการปรับค่าของน้ำหนัก และค่าไบอัสเพื่อให้ได้ค่าของเอาต์พุตตัวใหม่ขึ้นมาให้มีค่าเข้าใกล้ค่าเป้าหมายให้มากที่สุด เรียกกฎ การเรียนรู้แบบนี้ว่า การเรียนรู้แบบซูปเปอร์ไลน์นิง ส่วนการเรียนรู้แบบอันซูปเปอร์ไวส์เลินนิง ค่า ของน้ำหนักและค่าไบอัสจะปรับปรุงค่าตามการเปลี่ยนแปลงของค่าอินพุตอย่างเดียว โดยไม่มีค่า เป้าหมายในการเปรียบเทียบเหมือนแบบซูปเปอร์ไวส์เลินนิง

กฎการเรียนรู้ทั่ว ๆ ไป ของโครงข่ายประสาทเทียม โดยให้น้ำหนักเวกเตอร์ $w_i = [w_{i1} w_{i2} \dots w_{in}]$ เพิ่มขึ้นอย่างมีสัดส่วนกับผลคูณของอินพุตเวกเตอร์ x และสัญญาณการเรียนรู้ r โดยสัญญาณ การเรียนรู้ r เป็นส่วนของฟังก์ชัน w_i และ x สัญญาณสอนหรือเป้าหมายเป็น d_i ดังแสดงในรูปที่ 2.29 และสมการที่ (2.65)



รูปที่ 2.29 การเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับการปรับค่าของน้ำหนัก

$$r = r(w_i, x, d_i) \tag{2.65}$$

- โดยที่ x คือ อินพุตเวกเตอร์
- O คือ เอาต์พุตเวกเตอร์
- d คือ ค่าเป้าหมายที่ต้องการ

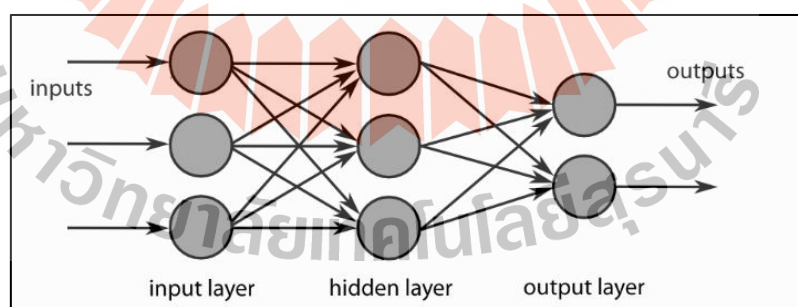
การปรับค่าของน้ำหนัก w_i จะเกิดขึ้นในขั้นตอนการเรียนรู้ในแต่ละช่วงของเวลา t สามารถ เขียนเป็นสมการการเรียนรู้ได้ดังสมการที่ (2.66)

$$\Delta w_i(t) = cr[w_i(t), x(t)d_i(t)]x(t) \tag{2.66}$$

c มีค่าเป็นบวก เรียกว่า ค่าคงที่ของการเรียนรู้ น้ำหนักเวกเตอร์จะปรับค่าตามเวลา t ของขั้นตอนการเรียนรู้ดังสมการที่ (2.67)

$$w_i(t+1) = w_i(t) + \Delta w_i(t) \quad (2.67)$$

งานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้ใช้ระบบโครงข่ายประสาทเทียมแบบโครงข่ายไปข้างหน้าดังแสดงในรูปที่ 2.30 โดยมีรูปแบบโครงสร้างที่ใช้ในการเรียนรู้ฝึกฝนระบบโครงข่ายประสาทเทียมเป็นฟังก์ชันซิกมอยด์ (Sigmoid function หรือ Sigmoid neurons) มีข้อมูลกลุ่มตัวอย่างเพื่อใช้เป็นชุดข้อมูลสำหรับการเรียนรู้ฝึกฝนและปรับค่าน้ำหนักของระบบโครงข่ายประสาทเทียม จากนั้น การลดความผิดพลาดให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้หรือให้ได้ค่าความคลาดเคลื่อนที่น้อยที่สุดเป็นเรื่องที่สำคัญที่ต้องคำนึงถึง ดังนั้น งานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้ใช้เกณฑ์สำหรับพิจารณาความคลาดเคลื่อนของวิธีโครงข่ายประสาทเทียม ได้แก่ ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ (Mean Absolute Percent Error: MAPE) และค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error: RMSE) เพื่อตรวจสอบค่าความคลาดเคลื่อน การใช้วิธีโครงข่ายประสาทเทียมต้องทำการเรียนรู้ปรับค่าน้ำหนัก และตรวจสอบค่าความคลาดเคลื่อนของระบบโครงข่ายประสาทเทียมจนได้ค่าข้อมูลที่เหมาะสม โดยที่ ค่า MAPE และ RMSE ยิ่งน้อยก็ยิ่งแสดงให้เห็นว่า การคำนวณของวิธีโครงข่ายประสาทเทียม มีความแม่นยำมาก จากนั้นจึงจะสามารถนำระบบโครงข่ายประสาทเทียมไปใช้งานในขั้นตอนถัดไปได้



รูปที่ 2.30 โครงข่ายประสาทเทียมแบบโครงข่ายไปข้างหน้า
(ที่มา: <http://web.utk.edu/~wfeng1/spark/fnn.html>, เข้าถึงเมื่อวันที่ 8/02/2561)

ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (MAPE) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.68) (Theeraviriya, 2007)

$$MAPE = \frac{100}{n} \sum_{t=1}^n \frac{|A_t - F_t|}{A_t} \quad (2.68)$$

และค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.69) (ประเสริฐ มังคะระณะกุล, 2541)

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (A_t - F_t)^2}{n}} \quad (2.69)$$

โดยที่ A_t คือ ค่าที่เกิดขึ้นจริง
 F_t คือ ค่าพยากรณ์
 N คือ จำนวนของชุดข้อมูล

2.10 ทฤษฎีฟัชชีลอจิก

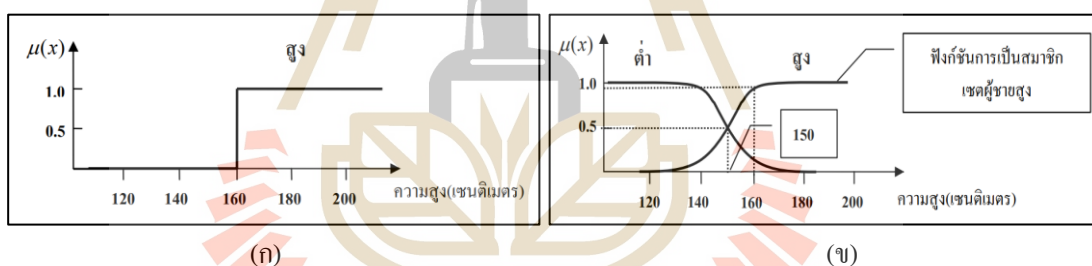
ในงานควบคุมแบบฟัชชีลอจิกเป็นวิธีการควบคุมแบบชาญฉลาดที่อาศัยข้อมูลความรู้และประสบการณ์การทำงานของมนุษย์เป็นพื้นฐานในการควบคุมหรือตัดสินใจ โดยไม่จำเป็นต้องพึ่งพาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่แม่นยำของระบบ เหมาะสำหรับระบบที่มีความซับซ้อนหรือคลุมเครือ มีความไม่เป็นเชิงเส้น และตัวแปรอินพุตหลาย ๆ ตัว ดังนั้น ฟัชชีลอจิกมีคุณลักษณะเด่นหลาย ๆ อย่าง ได้รับการนำไปประยุกต์ใช้ในด้านต่าง ๆ อย่างมากมาย และมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะงานด้านระบบควบคุม (พยุง มีสัง, 2561)

พื้นฐานแนวคิดแบบฟัชชีลอจิก

ฟัชชีลอจิกเป็นแนวคิดที่แตกต่างจากตรรกศาสตร์แบบเดิม ที่จะมีถูกกับผิด ใช่หรือไม่ใช่ แต่มีเหตุการณ์หลายอย่างในความเป็นจริงแล้วสร้างความยุ่งยากใจแก่ผู้วิเคราะห์ว่าตรรกะควรเป็นอย่างไร เช่น หากมีคำถามว่า รู้สึกร้อนหรือหนาว คำตอบที่อยากจะตอบอาจเป็นร้อนนิด ๆ หรือกำลังดี หรือคำถามที่ว่า สีที่เห็นอยู่นั้น (สมมุติว่า สีเทา) เป็นสีขาวหรือสีดำ คำตอบที่อยากจะตอบไม่ใช่ทั้งขาวและดำ เพราะคุณจะเป็นการให้คำตอบที่ชัดเจนเกินไป ดังนั้น ในหลาย ๆ กรณี มนุษย์มีลักษณะการใช้ตรรกศาสตร์แบบมีน้ำหนักร คือ มีการให้ระดับความเป็นไปได้ของตรรกะว่า มี

ลักษณะเช่นนี้นั้นอย่างน้อยเพียงใด ซึ่งการจะบอกค่าความเป็นไปได้ของเหตุการณ์จะถูกสร้างเป็นฟังก์ชันหรือเซตโดยเรียกว่า ฟัซซี่เซต (Fuzzy set) หลักการสำคัญของฟัซซี่เซต คือ ยอมรับสมาชิกที่มีลักษณะตามเซตเพียงบางส่วนเข้ามาเป็นสมาชิกของเซต สมาชิกแต่ละตัวจะมีค่าความเป็นสมาชิก (Grade of membership: μ) ของเซตนั้น ๆ สมาชิกที่มีคุณสมบัติครบถ้วนตามเซต 100% จะมีค่าความเป็นสมาชิกเท่ากับ 1 แต่หากมีคุณสมบัติของเซตแค่ 40% ก็จะมีค่าความเป็นสมาชิกเท่ากับ 0.4 ซึ่งจะเห็นได้ว่า แตกต่างจากทฤษฎีเซตดั้งเดิมที่เน้นชัดเจนว่า เป็นสมาชิกหรือไม่เป็นสมาชิกเท่านั้น

พิจารณากรณีของผู้ชายสูงดังแสดงในรูปที่ 2.31 หากเป็นเซตแบบเก่าดังแสดงในรูปที่ 2.31 (ก) ผู้ชายที่มีความสูงน้อยกว่า 160 เซนติเมตรจะไม่ใช่สมาชิกของเซตผู้ชายสูง แต่หากมีความสูงตั้งแต่ 160 เซนติเมตร ขึ้นไป จะเป็นสมาชิกของเซตผู้ชายสูง หากพิจารณาฟัซซี่เซตดังแสดงในรูปที่ 2.31 (ข) ผู้ชายที่มีความสูง 160 เซนติเมตร จะเป็นสมาชิกของเซตผู้ชายสูงโดยมีค่าความเป็นสมาชิกเท่ากับ 0.9 ในขณะที่ผู้ชายสูง 150 เซนติเมตร นั้นจะเป็นสมาชิกทั้งของเซตผู้ชายต่ำและเซตของผู้ชายสูงโดยมีค่าความเป็นสมาชิกเท่ากับ 0.5 ทั้งสองเซตนี้ค่าความเป็นสมาชิกขึ้นอยู่กับข้อกำหนดฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (Membership of function)



รูปที่ 2.31 ฟัซซี่เซตและฟังก์ชันการเป็นสมาชิก

นิยามเบื้องต้นของฟัซซี่เซต

นิยามฟัซซี่เซต A ของเอกภพสัมพัทธ์ที่กล่าวถึง U (Universe of discourse) ถูกแสดงถึงคุณลักษณะโดยฟังก์ชันความเป็นสมาชิก $\mu_A(u)$ และกำหนดค่าแต่ละสมาชิก $u \in U$ ค่าของ $\mu_A(u)$ มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ซึ่งแทนระดับความเป็นสมาชิกของ A นั่นคือ

$$A = \{(u, \mu_A(u)) | u \in U\} \quad (2.70)$$

ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก

ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (Membership function) เป็นฟังก์ชันที่มีการกำหนดระดับความเป็นสมาชิกของตัวแปรที่ต้องการใช้งาน โดยเริ่มต้นจากการแทนที่กับตัวแทนที่มีความไม่ชัดเจน ไม่แน่นอน และคลุมเครือ ดังนั้น ส่วนที่สำคัญต่อคุณสมบัติหรือการดำเนินการของฟัซซี เพราะรูปร่างของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกมีความสำคัญต่อกระบวนการคิดและแก้ไขปัญหา โดยฟังก์ชันความเป็นสมาชิกจะไม่สมมาตรกัน โดยมีชนิดของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่ใช้งานทั่วไปมีหลายชนิด แต่จะกล่าวถึงเพียง 6 ชนิด เท่านั้น ดังต่อไปนี้

1. ฟังก์ชันสามเหลี่ยม (Triangular membership function) ฟังก์ชันสามเหลี่ยมมีพารามิเตอร์ทั้งหมด 3 พารามิเตอร์ คือ $[a, b, c]$
2. ฟังก์ชันสี่เหลี่ยมคางหมู (Trapezoidal membership function) ฟังก์ชันสี่เหลี่ยมคางหมูมีพารามิเตอร์ทั้งหมด 4 พารามิเตอร์ คือ $[a, b, c, d]$
3. ฟังก์ชันเกาส์เซียน (Gaussian membership function) ฟังก์ชันเกาส์เซียนมีพารามิเตอร์ทั้งหมด 2 พารามิเตอร์ คือ $[m, \sigma]$ ซึ่ง m คือ ค่าเฉลี่ย และ σ คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
4. ฟังก์ชันระฆังคว่ำ (Bell-shaped membership function) ฟังก์ชันรูประฆังคว่ำมีพารามิเตอร์ทั้งหมด 3 พารามิเตอร์ คือ $[a, b, c]$
5. ฟังก์ชันตัวเอส (Smooth membership function) ฟังก์ชันรูปตัวเอสมีพารามิเตอร์ทั้งหมด 2 พารามิเตอร์ คือ $[a, b]$
6. ฟังก์ชันตัวแซด (Z-membership function) ฟังก์ชันรูปตัวเอสมีพารามิเตอร์ทั้งหมด 2 พารามิเตอร์ คือ $[a, b]$

การเลือกฟังก์ชันของความเป็นสมาชิกต้องเลือกตามความเหมาะสมครอบคลุมของข้อมูลที่ได้รับเข้ามา โดยสามารถทับซ้อนกันเพื่อให้การดำเนินงานราบเรียบ ซึ่งมีความเป็นสมาชิกหลายค่าได้และฟังก์ชันความเป็นสมาชิกเปลี่ยนแปลงแก้ไขให้เหมาะกับงานหรือความต้องการ

การดำเนินการเบื้องต้นของฟัซซีลอจิก

การดำเนินการเชิงตรรกะของฟัซซีลอจิกมีลักษณะเช่นเดียวกับทฤษฎีเซตแบบดั้งเดิม โดยการดำเนินการพื้นฐานที่นิยมใช้ ได้แก่ ยูเนียน อินเตอร์เซกชัน และคอมพลิเมนต์ สมมติให้ A และ B เป็นเซตภายในเอกภพสัมพัทธ์ที่กล่าวถึง U โดยมีค่าฟังก์ชันความเป็นสมาชิก μ_A และ μ_B ตามลำดับ

- การเท่ากัน ฟัซซีเซต A และ B จะเท่ากันก็ต่อเมื่อ

$$\mu_A(u) = \mu_B(u) \quad (2.71)$$

- ยูเนียน การยูเนียนระหว่างเซต A และ B จะเหมือนกับการใช้ตัวดำเนินการ OR ทางตรรกศาสตร์ สำหรับทุก ๆ $u \in U$

$$\mu_{A \cup B}(u) = \mu_{A \text{ OR } B}(u) = \max\{\mu_A(u), \mu_B(u)\} \tag{2.72}$$

- อินเตอร์เซกชัน การอินเตอร์เซกชันระหว่างเซต A และ B จะเหมือนกับการใช้ตัวดำเนินการ AND ทางตรรกศาสตร์ สำหรับทุก ๆ $u \in U$

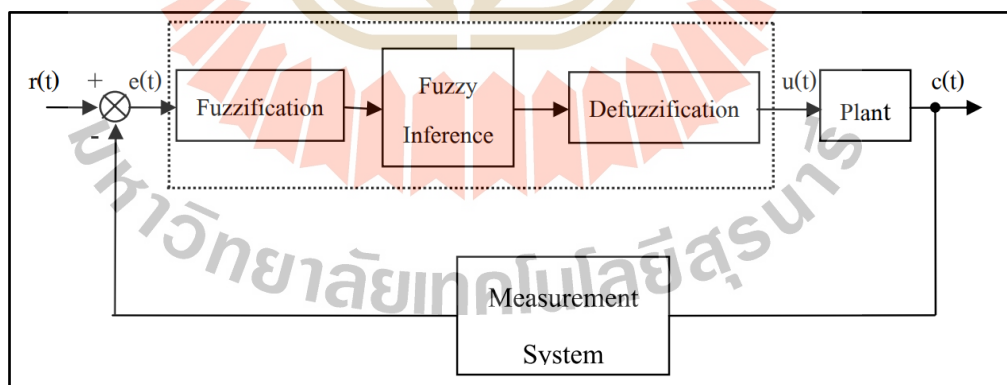
$$\mu_{A \cap B}(u) = \mu_{A \text{ AND } B}(u) = \min\{\mu_A(u), \mu_B(u)\} \tag{2.73}$$

- การคอมพลิเมนต์ การคอมพลิเมนต์ของเซต A จะเหมือนกับการใช้ตัวดำเนินการ NOT ทางตรรกศาสตร์ สำหรับทุก ๆ $u \in U$

$$\mu_{\neg A}(u) = \mu_{\text{NOT } A} = 1 - \mu_A(u) \tag{2.74}$$

ฟัซซี่ลอจิกกับการควบคุม

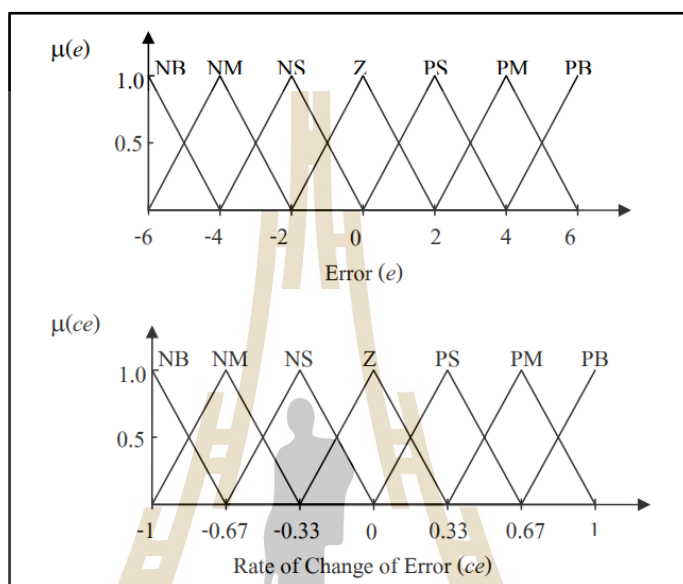
การควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิกมีส่วนประกอบหลัก ๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.32



รูปที่ 2.32 ระบบควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิก

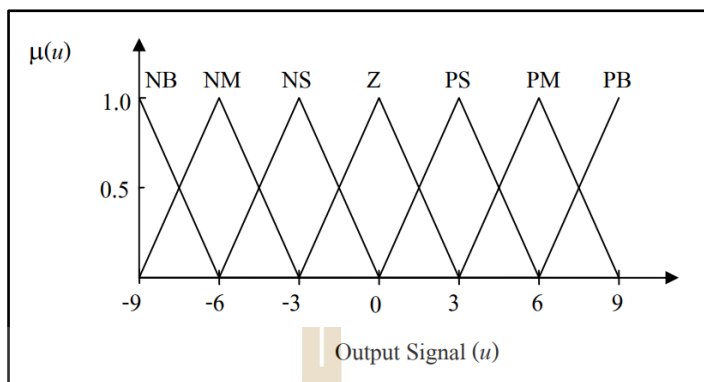
ฟัซซีฟิเคชัน (Fuzzification)

ทำหน้าที่แปลงข้อมูลที่รับเข้ามา เรียกว่า Crisp data ให้เป็นอินพุตของระบบควบคุมแบบฟัซซี ซึ่งอยู่ในรูปแบบของค่าความเป็นสมาชิกดังแสดงในรูปที่ 2.33



รูปที่ 2.33 ฟัซซีเซตของอินพุตและกระบวนการฟัซซีฟิเคชัน

ดังแสดงในรูปที่ 2.33 อินพุตและเอาต์พุต ประกอบด้วย ฟัซซีเซตจำนวน 7 เซต แทนด้วยตัวแปรเชิงภาษาเป็น Positive Big (PB), Positive Medium (PM), Positive Small (PS), Zero (Z), Negative Small (NS), Negative Medium (NM) และ Negative Big (NB) โดยกำหนดให้เป็นฟังก์ชันของความเป็นสมาชิกของอินพุต ซึ่งมีสองอินพุต คือ ค่าผิดพลาด (Error: $e(t)$) และอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าผิดพลาด (Rate of change of error: $ce(t)$) ส่วนเอาต์พุตมีเพียงตัวเดียวเป็นสัญญาณควบคุม (Control signal: $u(t)$) ฟัซซีเซตของเอาต์พุตดังแสดงในรูปที่ 2.34



รูปที่ 2.34 ฟังก์ชันเซตของสัญญาณควบคุม

สมมติให้ $e(t)$ เท่ากับ 2.5 และ $ce(t)$ เท่ากับ -0.2

จากรูปที่ 2.33 ค่าความผิดพลาดเท่ากับ 2.5 เป็นสมาชิกของ 2 เซต คือ PS และ PM และ อัตราการเปลี่ยนแปลงของความผิดพลาดเท่ากับ -0.2 นั้นเป็นสมาชิกของฟังก์ชันเซต NS และ Z จะได้ว่าค่าความเป็นสมาชิกของอินพุตแต่ละฟังก์ชันเซต ดังต่อไปนี้

$$\mu_{PS}(e) \text{ เท่ากับ } 0.7, \mu_{PM}(e) \text{ เท่ากับ } 0.4, \mu_{NS}(e) \text{ เท่ากับ } 0.6, \mu_Z(e) \text{ เท่ากับ } 0.3$$

การวินิจฉัย (Fuzzy Inference)

เป็นส่วนของการประมวลผลจะมีการตีความและวิเคราะห์อินพุตตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ หรือเข้าสู่กฎพื้นฐานของฟังก์ชันเซต (Fuzzy rule base) โดยกฎการควบคุมอยู่ในลักษณะ If Input = ... Then Output = ... ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนที่เกิดขึ้นก่อน (Antecedent; If Part) และผลที่ตามมา (Consequent; Then Part) โดยที่อินพุตและเอาต์พุตนั้นอาจมีหลายตัวก็ได้ขึ้นอยู่กับ การออกแบบ ผลที่ตามมาของแต่ละกฎจะถูกรวมกันด้วยวิธีการทางตรรกศาสตร์เพื่อให้ได้ค่าเอาต์พุตเพียงค่าเดียว ตัวอย่างคำสั่ง (Statement) ของกฎการควบคุม เช่น

If error is PS and Change of error is NS, then Control signal is PS

จากตัวอย่างมีอินพุต 2 ตัว ทำให้ส่วนที่เกิดขึ้นก่อนมี 2 ส่วน ซึ่งเชื่อมด้วยตัวดำเนินการ AND โดยตัวอย่างกฎการควบคุมทั้งหมดสามารถเขียนในรูปของตารางดังแสดงในตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 กฎการควบคุม

$ce \backslash e$	NB	NM	NS	Z	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NB	NM	Z	PM	PB
NM	NB	NB	NB	NM	PS	PM	PB
NS	NB	NB	NM	NS	PS	PM	PB
Z	NB	NM	NS	Z	PS	PM	PB
PS	NB	NM	NS	PS	PM	PB	PB
PM	NB	NM	NS	PM	PB	PB	PB
PB	NB	NM	Z	PM	PB	PB	PB

ตัวอย่างการวินิจฉัย เช่น การควบคุมค่าความผิดพลาดได้เท่ากับ 2.5 และสามารถคำนวณค่าการเปลี่ยนแปลงของความผิดพลาดเท่ากับ -0.2 ถ้าพิจารณาฟัซซีเซตดังแสดงในรูปที่ 2.33 จะได้

$e(t)$ เท่ากับ 2.5 เป็นสมาชิกของฟัซซีเซต PS และ PM

$ce(t)$ เท่ากับ -0.2 เป็นสมาชิกของฟัซซีเซต PS และ PM

ซึ่งสอดคล้องกับกฎการควบคุม 4 กฎ ดังต่อไปนี้

If e is PS AND ce is NS

OR If e is PS AND ce is Z

Then u is PS

If e is PM AND ce is NS

OR If e is PM AND ce is Z

Then u is PM

สามารถคำนวณค่าความเป็นสมาชิกของเอาต์พุตได้ดังต่อไปนี้

$$\mu_{PS}(u) = \max[\min(\mu_{PS}(e), \mu_{NS}(ce)), \min(\mu_{PS}(e), \mu_Z(ce))] \quad (2.75)$$

จากสมการที่ (2.75) จะได้

$$\mu_{PS}(u) = \max[\min(0.7, 0.6), \min(0.7, 0.3)]$$

$$\mu_{PS}(u) = \max[0.6, 0.3] = 0.6 \quad (2.76)$$

และ

$$\mu_{PM}(u) = \max[\min(\mu_{PM}(e), \mu_{NS}(ce)), \min(\mu_{PS}(e), \mu_Z(ce))] \quad (2.77)$$

จากสมการที่ (2.77) จะได้

$$\mu_{PM}(u) = \max[\min(0.4, 0.6), \min(0.4, 0.3)]$$

$$\mu_{PM}(u) = \max[0.4, 0.3] = 0.4 \quad (2.78)$$

ดีฟัซซิฟิเคชัน (Defuzzification)

ผลลัพธ์ที่ได้จากส่วนที่ 2 นั้น ยังอยู่ในรูปแบบของฟัซซี่ ในส่วนนี้การเปลี่ยนแปลงค่าจากเอาต์พุตแบบฟัซซี่ให้เป็นเอาต์พุตที่เป็นค่าเดียวและสามารถนำไปควบคุมระบบได้ คือ เป็นข้อมูลแบบคลิชตามเดิมดังแสดงในสมการที่ (2.79)

$$Y = \frac{\sum \mu_n y_n}{\sum \mu_n} \quad (2.79)$$

โดยที่ Y คือ เอาต์พุตของระบบควบคุม
 y_n คือ เอาต์พุตที่ได้จากแต่ละกฎ (จุดศูนย์กลาง)
 μ_n คือ ค่าความเป็นสมาชิกของแต่ละเอาต์พุต

จากสมการที่ (2.79) แทนค่า $\mu_{PS}(u)$ และ $\mu_{PM}(u)$ จะได้

$$\text{Control Signal} = \frac{(0.6)(3) + (0.4)(6)}{0.6 + 0.4} = 4.2 \quad (2.80)$$

เมื่อได้ค่า u เป็นค่าที่นำไปเปลี่ยนแปลงค่าเอาต์พุตในการควบคุมต่อไป โดยนำค่านี้ไปใช้ขึ้นอยู่กับสิ่งที่ควบคุม และฮาร์ดแวร์ของระบบ ซึ่งในการออกแบบนั้นทั้งส่วนที่เป็นซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์จะต้องสอดคล้องกัน

ดังนั้น การควบคุมแบบฟuzzyลอจิกมีขั้นตอนการออกแบบแบ่งเป็น 7 ขั้นตอน (Robynst et al., 2016) ดังต่อไปนี้

1. กำหนดข้อกำหนดของระบบ ได้แก่ วัตถุประสงค์ ข้อจำกัด และการดำเนินการ
2. กำหนดตัวแปรอินพุตและเอาต์พุต
3. กำหนดโครงสร้างของระบบฟuzzyลอจิก
4. กำหนดโครงสร้างของตัวแปรอินพุตและเอาต์พุตของระบบฟuzzyลอจิก
5. กำหนดกราฟการดำเนินการเป็นการออกแบบลักษณะการดำเนินการของระบบฟuzzyลอจิก
6. การเปลี่ยนกราฟการดำเนินการที่ได้จากการออกแบบไปเป็นกฎของระบบฟuzzyลอจิก
7. กำหนดตัวชี้วัดเพื่อที่สามารถประเมินถึงความสำเร็จของวัตถุประสงค์

วิธีการออกแบบการควบคุมแบบฟuzzyลอจิกสำหรับงานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้จะแสดงรายละเอียดของแต่ละขั้นตอนในบทถัดไป

2.11 ปรัชสน์วรรณกรรม

ปรัชสน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าของยานพาหนะไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าและแนวทางการแก้ปัญหาผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าของยานพาหนะไฟฟ้าต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้าเพื่อบรรเทาผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าของยานพาหนะไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า มีนักวิจัยหลายท่านได้ค้นคว้าและดำเนินงานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการอัดประจุไฟฟ้าของยานพาหนะไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าและแนวทางการบรรเทาผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าของยานพาหนะไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า ซึ่งสามารถสรุปการดำเนินงานวิจัยดังแสดงในตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.9 ปรัชสน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ค.ศ.	คณะผู้ทำวิจัย	การดำเนินงานวิจัย
2012	Ge, Feng, Liu, and Wang	เสนอแบบจำลองสำหรับการวางแผนโดยพิจารณาเส้นทางของถนนในพื้นที่เขตเมือง ข้อมูลการจราจรของยานพาหนะ ระบบจำหน่ายไฟฟ้า และขีดจำกัดของกำลังการผลิตไฟฟ้าระบบจำหน่ายไฟฟ้า เพื่อหาขนาดและตำแหน่งที่เหมาะสมของสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว การวางแผนสำหรับขนาดและตำแหน่งของสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วและผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้า พบว่า ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นมีค่าใช้จ่ายต่ำที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสำหรับการวางแผนสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วในพื้นที่เขตเมือง

ตารางที่ 2.9 ทัศนัวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

ค.ศ.	คณะผู้ทำวิจัย	การดำเนินงานวิจัย
2012	Phonrattanasak	เสนอการพัฒนาของสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วสำหรับประเทศไทย และการกำหนดจำนวนสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วในแต่ละเขตพื้นที่ พบว่า จำนวนสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วในเขตพื้นที่ที่มีจำนวนที่เพียงพอสำหรับการใช้บริการของรถยนต์ไฟฟ้าในพื้นที่ แต่มีข้อเสีย คือ จำนวนสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วในเขตพื้นที่ที่มีจำนวนมากเกินไป ซึ่งอาจทำให้ค่าใช้จ่ายในการลงทุนสูงเกินความจำเป็น
2012	Akhavan-Rezai, Shaaban, Saadany, and Zidan	ศึกษาแบบจำลองประเมินผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าที่ไม่แน่นอนของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าในประเทศแคนาดา โดยเปรียบเทียบการอัดประจุไฟฟ้าแบบปกติและเร็วในช่วงโหลดสูงสุด พบว่าผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าแบบปกติและเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่เห็นได้ชัดเจน คือ แรงดันไฟฟ้าตก และการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นในระบบจำหน่ายไฟฟ้า
2013	Boribun, Paolaor, and Kulworawanichpong	เสนอแบบจำลองของการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถบัสไฟฟ้า โดยแสดงวงจรสมมูลของการไหลของกำลังไฟฟ้าที่มีการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถบัสไฟฟ้า พบว่า ผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถบัสไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า ทำให้เกิดการสูญเสียกำลังไฟฟ้าและเกิดการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าในขณะอัดประจุไฟฟ้าให้กับรถบัสไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า ซึ่งนำไปสู่การเกิดแรงดันไฟฟ้าตกในระบบจำหน่ายไฟฟ้า
2014	Barzani, Ghahnavieh, and Karegar	เสนอการหาขนาดและตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดของสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วสำหรับรถยนต์ไฟฟ้า ซึ่งพิจารณาค่าใช้จ่ายเกี่ยวข้องกับสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว เช่น ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว ค่าเช่าพื้นที่ ค่าอุปกรณ์ต่าง ๆ ค่าใช้จ่ายในการเดินของผู้ขับขี่รถยนต์ไฟฟ้า และค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า เป็นต้น โดยใช้วิธี Mixed-Integer Non-Linear (MINLP) และเสนอนโยบายการพัฒนาสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วที่แตกต่างกัน พบว่า ในแต่ละนโยบายสำหรับการพัฒนาสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วมีจุดแข็งที่ต่างกัน ซึ่งในแต่ละนโยบายบอกถึงประสิทธิภาพของวิธีการที่เสนอเพื่อกำหนดขนาดและตำแหน่งที่เหมาะสมของสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว
2014	Celli, Soma, Pilo, Lacu, Mocci, and Natale	เสนอวิธีการจำลองแบบมอนติคาร์โล เพื่อสร้างแบบจำลองในการพิจารณาด้านต่าง ๆ ที่มีผลกระทบต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้าจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้า โดยวิเคราะห์สถานการณ์ต่าง ๆ เพื่อสามารถวางแผนการขยายระบบจำหน่ายไฟฟ้าสำหรับการประเมินความต้องการพลังงานไฟฟ้า

ตารางที่ 2.9 ทัศนัวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

ค.ศ.	คณะผู้ทำวิจัย	การดำเนินงานวิจัย
		ของสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว พบว่า สามารถประเมินความต้องการพลังงานไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าในสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว ซึ่งนำไปสู่การพิจารณาจำนวนและตำแหน่งที่เหมาะสมของสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วในเขตพื้นที่ที่พิจารณาได้อย่างมีประสิทธิภาพ
2014	Chen, and Guo	ศึกษาวางแผนระบบจำหน่ายไฟฟ้าเกี่ยวกับการอัดประจุไฟฟ้าเร็วสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าที่จะเพิ่มในอนาคต โดยใช้แบบจำลองระบบจำหน่ายไฟฟ้าทั่วไปเพื่อจำลองการสูญเสียของแรงดันไฟฟ้าที่เกิดจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในสายส่ง พบว่า การสูญเสียแรงดันไฟฟ้าแปรผันตรงกับระยะห่างระหว่างเครื่องอัดประจุไฟฟ้ากับแหล่งจ่ายไฟ และการสูญเสียแรงดันไฟฟ้าแปรผันตรงกับจำนวนของเครื่องอัดประจุไฟฟ้า
2014	บัณฑิต เพ็ญคา	เสนอวิธีการบริโภคพลังงานไฟฟ้าของสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วตามแบบจำลองของวิธีมอนติคาร์โล โดยพิจารณาสถานะของแบตเตอรี่ในรถยนต์ไฟฟ้า เวลาในการอัดประจุไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้า และเวลามาถึงที่สถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว โดยใช้โปรแกรม DIGSIENT Powerfactory ในการวิเคราะห์แรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า พบว่า สถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วมีผลกระทบต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้าเมื่อมีการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้า โดยส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งทำให้แรงดันไฟฟ้าตก จะเห็นได้ว่า วิธีการที่นำเสนอสามารถประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าต่อแรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า
2016	คณะจัดทำแผนพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านไฟฟ้าเพื่อรองรับยานยนต์ไฟฟ้าของประเทศไทย	เสนอแผนพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านไฟฟ้าเพื่อรองรับยานยนต์ไฟฟ้าของประเทศไทย วางแผนสำหรับเตรียมความพร้อมรองรับการเพิ่มขึ้นของยานยนต์ไฟฟ้าในอนาคต โดยคำนึงถึงผลกระทบต่อระบบไฟฟ้าจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของยานยนต์ไฟฟ้า และเสนอมาตรการลดผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของยานยนต์ไฟฟ้า รวมถึงเสนอกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับยานยนต์ไฟฟ้าและการใช้งานยานยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทย
2016	Islam, Shareef, and Mohamed	เสนอการหาขนาดและตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดของสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าในประเทศมาเลเซีย โดยพิจารณาค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว เช่น ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว ค่าเช่าพื้นที่ ค่าอุปกรณ์ต่าง ๆ ค่าใช้จ่ายในการเดินทางของผู้ขับขี่รถยนต์ไฟฟ้า และค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าของระบบจำหน่ายไฟฟ้า เป็นต้น โดยใช้เทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดพบว่า ค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วเป็นประโยชน์ต่อนัก

ตารางที่ 2.9 ทัศนัวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

ค.ศ.	คณะผู้ทำวิจัย	การดำเนินงานวิจัย
		ลงทุนในการก่อสร้างสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว เนื่องจากสามารถลดต้นทุนค่าใช้จ่ายให้ต่ำที่สุด รวมถึงค่าใช้จ่ายในการเดินทางของผู้ขับขี่รถยนต์ไฟฟ้า
2016	Negarestani, and Firuzabad	เสนอแนวทางการกำหนดประเภทและขนาดที่เหมาะสมของระบบกักเก็บพลังงานสำหรับสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว โดยพิจารณาประเด็นด้านเทคนิคและเศรษฐกิจ เช่น การสูญเสียพลังงาน ค่าใช้จ่ายของระบบกักเก็บพลังงาน รวมถึงพิจารณารูปแบบการขับขี่ของผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้าและลักษณะความต้องการพลังงานไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้า พบว่า สามารถออกแบบระบบกักเก็บพลังงานที่เหมาะสมสำหรับสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วเพื่อลดค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานของสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว และค่าใช้จ่ายของระบบกักเก็บพลังงานที่ต่ำที่สุด
2017	Deb, Tammi, Kalita, and Mahanta	เสนอการตรวจสอบผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าหลาย ๆ สถานการณ์ ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า โดยตรวจสอบเสถียรภาพของแรงดันไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าสูญเสีย ความน่าเชื่อถือ และค่าใช้จ่ายของกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบจำหน่ายไฟฟ้า พบว่า เป็นวิธีการตรวจสอบเพื่อวางแผนระบบจำหน่ายไฟฟ้าเมื่อมีรถยนต์ไฟฟ้า ซึ่งเป็นวิธีการวางแผนที่มีประสิทธิภาพในการตรวจสอบผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า
2017	Huo, Bouffard, and Joos	เสนอการวางแผนการปฏิบัติงานและการจัดการพลังงานไฟฟ้าในสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว ซึ่งเป็นกลยุทธ์การจัดตารางเวลาสำหรับการบริโภคพลังงานไฟฟ้า โดยพิจารณาพารามิเตอร์ความต้องการพลังงานไฟฟ้าที่มีความยืดหยุ่นถูกปรับตามสถานะการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของแบตเตอรี่ในรถยนต์ไฟฟ้าที่สถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว พบว่า สามารถลดเวลาการรอเข้าคิวของผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้า เพิ่มผลกำไรรายวันของสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว และยังสามารถลดผลกระทบของสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วในระบบจำหน่ายไฟฟ้า
2017	Xiong, Gan, An, Miao, and Bazzan	เสนอการหาขนาดและตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดของสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วสำหรับรถยนต์ไฟฟ้า โดยพิจารณาระยะทางจากผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้า พฤติกรรมการใช้รถยนต์ไฟฟ้า ค่าใช้จ่ายของผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้าในประเทศสิงคโปร์ โดยใช้วิธี Game Theoretical Framework ในการวิเคราะห์กับระบบจำหน่ายไฟฟ้าจริง พบว่า ช่วยแก้ปัญหาการจัดสรรสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น

ตารางที่ 2.9 ปรัชญานวัตกรรมกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

ค.ศ.	คณะผู้ทำวิจัย	การดำเนินงานวิจัย
2018	Chaudhari, Ukil, Kumar, Manandhar, and Kollimalla	เสนอวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพแบบไฮบริดสำหรับการกักเก็บพลังงานไฟฟ้าร่วมกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อประยุกต์ใช้กับสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วสำหรับเพิ่มประสิทธิภาพการลดต้นทุนการดำเนินงานของสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว พบว่า ระบบกักเก็บพลังงานช่วยในการจ่ายไฟฟ้าให้กับรถยนต์ไฟฟ้าในสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วร่วมกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานของสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว

จากการสำรวจปรัชญานวัตกรรมกรรม พบว่า มีการเผยแพร่เอกสารตีพิมพ์และผลงานการประชุมวิชาการจำนวนมากในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา การอัดประจุไฟฟ้าแบบปกติและเร็วของยานพาหนะไฟฟ้าที่ส่งผลกระทบต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้าก็มีการศึกษากันอย่างแพร่หลาย เช่น การบริโภคพลังงานไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าโดยผ่านสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วที่เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า (Chen et al., 2014) การบริโภคพลังงานไฟฟ้าของรถบัสไฟฟ้าโดยการวิเคราะห์จากลักษณะการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนในรถบัสไฟฟ้า (Boribun et al., 2013) ซึ่งการบริโภคพลังงานไฟฟ้าของยานพาหนะไฟฟ้าเหล่านี้ส่งผลกระทบต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้า โดยผลกระทบที่เห็นได้ชัดเจน คือ ผลกระทบต่อแรงดันไฟฟ้า ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้านำไปสู่การเกิดแรงดันไฟฟ้าตก และทำให้เกิดการสูญเสียกำลังไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น (Akhavan-Rezai et al., 2012) ผลการศึกษาของบัณฑิต เพ็ญดา (2557) พบว่า ในช่วงที่มีโหลดสูงสุดในระบบจำหน่ายไฟฟ้าและมีการอัดประจุไฟฟ้าเร็วให้กับรถยนต์ไฟฟ้าพร้อมกันหลาย ๆ คัน อาจส่งผลกระทบต่อกรจ่ายโหลดเกินของสายไฟแรงต่ำและการจ่ายโหลดของหม้อแปลงไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า ดังนั้น จึงจำเป็นต้องมีการตรวจสอบและปรับปรุงระบบจำหน่ายไฟฟ้าเพื่อเตรียมพร้อมรองรับการนำรถยนต์ไฟฟ้าเข้ามาใช้ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า เนื่องจากหม้อแปลงไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าสามารถทนต่อโหลดเกินได้เพียง 160 เปอร์เซ็นต์สำหรับการอัดประจุไฟฟ้าแบบปกติในระดับที่อยู่อาศัย บ้านพัก หรือสถานที่ต่าง ๆ ยกเว้นสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว ซึ่งเป็นระบบไฟฟ้า 1 เฟส อาจส่งผลกระทบก่อให้เกิดปัญหาความไม่สมดุลของแรงดันไฟฟ้า (บัณฑิต เพ็ญดา, 2557) นอกจากการศึกษผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าของยานพาหนะไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า ยังมีสิ่งที่สำคัญที่ควรคำนึงถึง คือ การวางแผนจำนวนขนาดและตำแหน่งที่เหมาะสมของสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วในแต่ละเขตพื้นที่ ดังนั้น จึงมีนักวิจัยได้เสนอวิธีการต่าง ๆ เพื่อวางแผนสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว เช่น Phonrattanasak et al. (2012) ได้เสนอสมการทางคณิตศาสตร์สำหรับคำนวณหาจำนวนสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วที่เหมาะสมในแต่ละเขต

พื้นที่เพื่อให้มีจำนวนที่เพียงพอสำหรับการเข้าใช้บริการการอัดประจุไฟฟ้าของผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้า Islam et al. (2016) ได้เสนอการออกแบบเพื่อหาตำแหน่งและขนาดที่เหมาะสมของสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วเพื่อลดผลกระทบจากการดำเนินงานของสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้า และช่วยในการลดค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว ระบบจำหน่ายไฟฟ้า และผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้า นอกจากนี้การศึกษผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของยานพาหนะไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าและการออกแบบเพื่อหาสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วที่เหมาะสมแล้ว ต่อมา Chaudhari et al. (2018) ได้เสนอให้ใช้พลังงานทดแทนร่วมกับสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว และ Negarestani et al. (2016) ได้เสนอการประยุกต์ใช้ระบบกักเก็บพลังงานไฟฟ้าร่วมกับสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วเพื่อบรรเทาผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า การเก็บกำไรพลังงานไฟฟ้าสำหรับนักลงทุน และปรับสมดุลของพลังงานไฟฟ้าในช่วงที่ความต้องการพลังงานไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าที่ไม่แน่นอนในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

งานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้ได้สังเกตเห็นถึงความสำคัญของปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้นในระบบจำหน่ายไฟฟ้าเมื่อมีการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของยานพาหนะไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า ดังนั้น งานวิจัยวิทยานิพนธ์จึงเสนอการศึกษผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา โดยเริ่มต้นจากการศึกษาลักษณะการอัดประจุไฟฟ้าแบบปกติและเร็วของรถยนต์ไฟฟ้า การวางแผนในการออกแบบตำแหน่งและขนาดของสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว การศึกษาพฤติกรรมของผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้า เช่น ระยะการเดินทางของผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้า ยี่ห้อรถยนต์ไฟฟ้า สถานะของแบตเตอรี่ เวลาที่เริ่มอัดประจุไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าที่สถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว และระยะเวลาในการอัดประจุไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้า เพื่อประเมินลักษณะการบริโภคพลังงานไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าโดยใช้วิธีมอนติคาร์โลและวิธีโครงข่ายประสาทเทียม การตรวจสอบผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าโดยใช้การคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสัน นอกจากนี้ผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแล้ว งานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้ให้ความสำคัญกับผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่เกิดขึ้น ดังนั้น จึงเสนอแนวทางการบรรเทาผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า ได้แก่ การยกระดับแรงดันไฟฟ้าด้วยชุดตัวเก็บประจุในระบบจำหน่ายไฟฟ้าโดยใช้วิธีการเพิ่มประสิทธิภาพแบบวาฟในการหาตำแหน่งและขนาดที่เหมาะสมที่สุดของชุดตัวเก็บประจุ และกลยุทธ์การจัดการการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าโดยใช้วิธีการควบคุมแบบฟuzzyลอจิกเพื่อลดการบริโภคพลังงานไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าในช่วงโหลดสูงสุดของระบบจำหน่ายไฟฟ้า

2.12 สรุป

บทนี้ได้กล่าวถึงความรู้พื้นฐานที่สำคัญสำหรับการศึกษาเกี่ยวกับรถยนต์ไฟฟ้า สถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว และระบบไฟฟ้า รวมถึงการติดตั้งสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วในระบบจำหน่ายไฟฟ้า สำหรับการศึกษาความเป็นไปได้ของการนำรถยนต์ไฟฟ้าเข้ามาใช้ในเขตอำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา สิ่งที่ต้องศึกษา ได้แก่ การศึกษาลักษณะการอัดประจุไฟฟ้าแบบปกติและเร็วของแบตเตอรี่ในรถยนต์ไฟฟ้า พฤติกรรมการเดินทางและการเข้าใช้บริการสถานีบริการน้ำมันของผู้ใช้ยานพาหนะ การวางแผนค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว ตัวชี้วัดคุณภาพของการจ่ายไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า และการศึกษาเทคนิคต่าง ๆ หรือวิธีการที่ใช้ในงานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้ ในตอนท้ายสุดของบทนี้เป็นการศึกษาปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าแบบปกติและเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าและแนวทางการบรรเทาผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า เพื่อเป็นแนวทางการศึกษาความเป็นไปได้ของการนำรถยนต์ไฟฟ้าเข้ามาใช้ในเขตอำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา รวมถึงการหาจุดสำคัญในการปรับปรุงและพัฒนาเพื่อการวางแผนเตรียมความพร้อมสำหรับการนำรถยนต์ไฟฟ้าเข้ามาใช้ในเขตอำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา ในบทถัดไปเป็นการอธิบายถึงขั้นตอนวิธีดำเนินการวิจัยของงานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 กล่าวนำ

การศึกษาความเป็นไปได้ของการนำรถยนต์ไฟฟ้าเข้ามาใช้ในเขตอำเภอเมือง จังหวัด นครราชสีมา จำเป็นต้องมีการศึกษาเกี่ยวกับลักษณะการอัดประจุไฟฟ้าแบบปกติและเร็วของ รถยนต์ไฟฟ้า ความเป็นไปได้ของรถยนต์ไฟฟ้า การวางแผนเพื่อออกแบบตำแหน่งและขนาดสถานี อัดประจุไฟฟ้าเร็วในเขตอำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา การประเมินลักษณะการบริโภคพลังงาน ไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าเพื่อตรวจสอบผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็ว ของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า นอกจากนี้ยังต้องมีการวางแผนและเสนอกลยุทธ์การ จัดการการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าเพื่อบรรเทาผลกระทบจาก การอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า โดยมีวิธีดำเนินการวิจัยหรือ ขั้นตอนการจำลองจะอธิบายไว้ในบทนี้

3.2 การจำลองลักษณะการอัดประจุไฟฟ้าแบบปกติและเร็วของรถยนต์ไฟฟ้า

การศึกษาลักษณะการอัดประจุไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้า ในงานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้ใช้ข้อมูล รถยนต์ไฟฟ้า Nissan Leaf 38 kWh เพื่อศึกษาลักษณะการอัดประจุไฟฟ้าแบบปกติและเร็วของ รถยนต์ไฟฟ้า คุณลักษณะเฉพาะของรถยนต์ไฟฟ้า Nissan Leaf 38 kWh ดังแสดงในตารางที่ 3.1 และภาพตัวอย่างของรถยนต์ไฟฟ้า Nissan Leaf 38 kWh ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 รถยนต์ไฟฟ้า Nissan Leaf 38 kWh

(ที่มา: <https://ev-database.uk/car/1106/Nissan-Leaf#charge-table>, เข้าถึงเมื่อวันที่ 25/11/2561)

ตารางที่ 3.1 คุณลักษณะเฉพาะของรถยนต์ไฟฟ้า Nissan Leaf 38 kWh

(Electric Vehicle Database, 2018)

คุณลักษณะเฉพาะ	รายละเอียด
พิสัยการเดินทาง	ประมาณ 241 km
มอเตอร์ไฟฟ้า	มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 110 kW (148 hp)
ความจุแบตเตอรี่	40 kWh
ความจุแบตเตอรี่ที่ใช้งานได้	38 kWh

3.2.1 การกำหนดพารามิเตอร์ในการศึกษาลักษณะการอัดประจุไฟฟ้าแบบปกติและเร็วของรถยนต์ไฟฟ้า

การศึกษาลักษณะการอัดประจุไฟฟ้าแบบปกติและเร็วของรถยนต์ไฟฟ้า Nissan Leaf 38 kWh ตามลักษณะทั่วไปของการอัดประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนดังที่อธิบายมาแล้วในหัวข้อที่ 2.2.2 ดังนั้น พารามิเตอร์ที่สำคัญได้ถูกกำหนด (Boribun et al., 2013) ดังนี้

ช่วงเวลาของการอัดประจุกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 5 เท่าของค่าคงที่เวลาแสดงโดยสมการที่ (3.1)

$$t_{con} = 5\tau \quad (3.1)$$

ดังนั้น ค่าคงที่เวลาของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าสามารถคำนวณจากสมการที่ (3.2) และ (3.3) ดังนี้

$$t_i = \frac{t}{5} \quad (3.2)$$

$$t_v = \frac{t}{5} \quad (3.3)$$

เพื่อศึกษาลักษณะการอัดประจุไฟฟ้าแบบปกติและเร็วของรถยนต์ไฟฟ้า Nissan Leaf 38 kWh ตามลักษณะทั่วไปของการอัดประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนดังที่อธิบายมาแล้วในหัวข้อที่ 2.2.2 ได้มีการกำหนดพารามิเตอร์อื่น ๆ ดังต่อไปนี้

3.2.2 การอัดประจุไฟฟ้าแบบปกติ

ข้อมูลจากโรงงานผู้ผลิตรถยนต์ไฟฟ้า Nissan Leaf 38 kWh สำหรับการอัดประจุไฟฟ้าแบบปกติดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 โหมดสำหรับการอัดประจุไฟฟ้าแบบปกติ (Electric Vehicle Database, 2018)

คุณลักษณะเฉพาะ	รายละเอียด
หัวอัดประจุไฟฟ้า 1 เฟส 32A (7.4 kW)	Type 2 (Mennekes - IEC 62196)
กำลังไฟฟ้า	6.6 kW AC (Max. Power 230V/ 29A)
เวลาในการอัดประจุไฟฟ้า (0-241 km)	7 ชั่วโมง

จากตารางที่ 3.2 สำหรับการอัดประจุไฟฟ้าแบบปกติใช้เวลาในการอัดประจุไฟฟ้าประมาณ 7 ชั่วโมง (ระดับช้า) ใช้ไฟฟ้ากระแสสลับในการอัดประจุไฟฟ้า งานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้ได้กำหนดพารามิเตอร์เพิ่มเติมสำหรับการจำลองลักษณะการอัดประจุไฟฟ้าแบบปกติ ได้แก่ ค่าคงที่เวลาของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าสามารถคำนวณได้จาก 6 ชั่วโมง 10 นาทีของการอัดประจุกระแสไฟฟ้าคงที่ และ 50 นาทีของการอัดประจุแรงดันไฟฟ้าคงที่ ระบบไฟฟ้าแรงดันไฟฟ้าต่ำที่ใช้ในบ้านเรือนหรือที่อยู่อาศัยในประเทศไทย แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส ซึ่งมีแรงดันไฟฟ้าอิมิตนอลเท่ากับ 230 V ดังนั้น ผลการจำลองลักษณะการอัดประจุไฟฟ้าแบบปกติของรถยนต์ไฟฟ้าจะถูกแสดงในบทถัดไป

3.2.3 การอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็ว

ข้อมูลจากโรงงานผู้ผลิตรถยนต์ไฟฟ้า Nissan Leaf 38 kWh สำหรับการอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็วดังแสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 โหมดสำหรับการอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็ว (Electric Vehicle Database, 2018)

คุณลักษณะเฉพาะ	รายละเอียด
หัวอัดประจุไฟฟ้า	CHAdeMO
กำลังไฟฟ้า	50 kW DC
เวลาในการอัดประจุไฟฟ้า (24-193 km)	40 นาที

จากตารางที่ 3.3 สำหรับการอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็วใช้เวลาในการอัดประจุไฟฟ้าประมาณ 40 นาที ใช้ไฟฟ้ากระแสตรงในการอัดประจุไฟฟ้า งานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้ได้กำหนดพารามิเตอร์เพิ่มเติมสำหรับการจำลองลักษณะการอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็ว ได้แก่ ค่าคงที่เวลาของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าสามารถคำนวณได้จาก 35 นาทีของการอัดประจุกระแสไฟฟ้าคงที่และ 5 นาทีของการอัดประจุแรงดันไฟฟ้าคงที่ สำหรับการอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็วของหัวอัดประจุไฟฟ้า CHAdeMO มีแรงดันไฟฟ้าเท่ากับ $500 \text{ V}_{\text{DC}}$ (บัณฑิต เพ็ญดา, 2557)

นอกจากนี้การศึกษาลักษณะการอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็วสำหรับหัวอัดประจุไฟฟ้าที่มีกำลังไฟฟ้าคงที่ขนาด 96 kW (Sadeghi-Barzani et al., 2014) ดังนั้น เวลาสำหรับการอัดประจุกระแสไฟฟ้าคงที่และการอัดประจุแรงดันไฟฟ้าคงที่ใช้เวลาในการอัดประจุไฟฟ้าเท่ากัน ซึ่งเท่ากับเวลาในการอัดประจุไฟฟ้าเร็ว จะได้ว่า เวลาที่ใช้ในการอัดประจุไฟฟ้าเร็วสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.11) ดังนั้น ผลการจำลองลักษณะการอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็วจะแสดงในบทถัดไป

หลังจากทราบพื้นฐานเกี่ยวกับลักษณะการอัดประจุไฟฟ้าแบบปกติและเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าแล้ว งานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้มุ่งเน้นไปที่การอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าที่สถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว ซึ่งเป็นการศึกษาผลกระทบของรถยนต์ไฟฟ้าแบบอัดประจุไฟฟ้าเร็วต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้าในเขตอำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา ดังนั้น จึงต้องออกแบบตำแหน่งและขนาดของสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วในเขตอำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา เป็นขั้นตอนแรกเพื่อวางแผนการให้บริการการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วให้กับผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้าในระหว่างการเดินทางในเขตอำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา ซึ่งรายละเอียดจะแสดงในหัวข้อถัดไป

3.3 การออกแบบตำแหน่งและขนาดของสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วในเขตอำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา

3.3.1 การออกแบบตำแหน่งของสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว

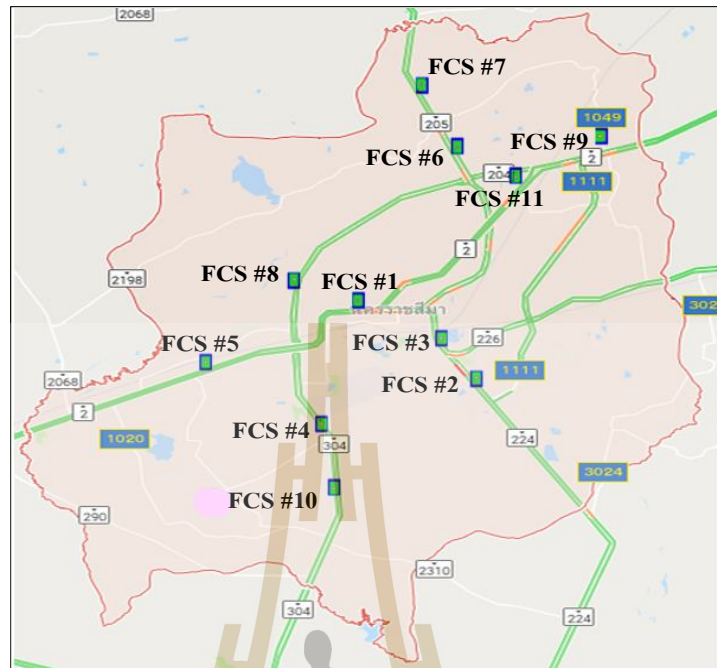
การออกแบบตำแหน่งของสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วในเขตอำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา โดยกำหนดตำแหน่งของสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วให้ถูกติดตั้งในสถานีบริการน้ำมัน เนื่องจากสถานีบริการน้ำมันเป็นสถานที่จุดบริการพักระหว่างการเดินทางและมีสิ่งอำนวยความสะดวกในระหว่างรอการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้า รวมถึงเป็นจุดที่สามารถติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าลูกใหม่ได้สำหรับสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว งานวิทยานิพนธ์วิจัยนี้ใช้สถานีบริการน้ำมันที่มีอยู่ในเขตอำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา เป็นที่ตั้งสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว โดยมีตำแหน่งดังแสดงในรูปที่ 3.2 โดยใช้โปรแกรม Google Maps ได้กำหนดพิกัดของเขตพื้นที่ที่ศึกษาเป็นรูป

สี่เหลี่ยมมีพิกัด ดังนี้ มุมบนซ้าย (ค่าละติจูด คือ 101.931215 องศา และค่าลองจิจูด คือ 15.144647 องศา) มุมบนขวา (ค่าละติจูด คือ 102.236772 องศา และค่าลองจิจูด คือ 15.144647 องศา) มุมล่างซ้าย (ค่าละติจูด คือ 101.931215 องศา และค่าลองจิจูด คือ 14.786372 องศา) และมุมล่างขวา (ค่าละติจูด คือ 102.236772 องศา และค่าลองจิจูด คือ 14.786372 องศา) สถานีบริการน้ำมันที่ถูกเลือกมีทั้งหมด 11 สถานี และมีวงจรไฟฟ้าของสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 8 วงจร ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 3.4 สถานีบริการน้ำมันที่ถูกเลือกเป็นสถานีที่มีตำแหน่งที่ตั้งอยู่ใกล้กับแต่ละเขตเทศบาลตำบลในอำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา เพื่อบริการผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้าในแต่ละเขตเทศบาลตำบล ข้อมูลรายละเอียดของแต่ละสถานีบริการน้ำมันได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก

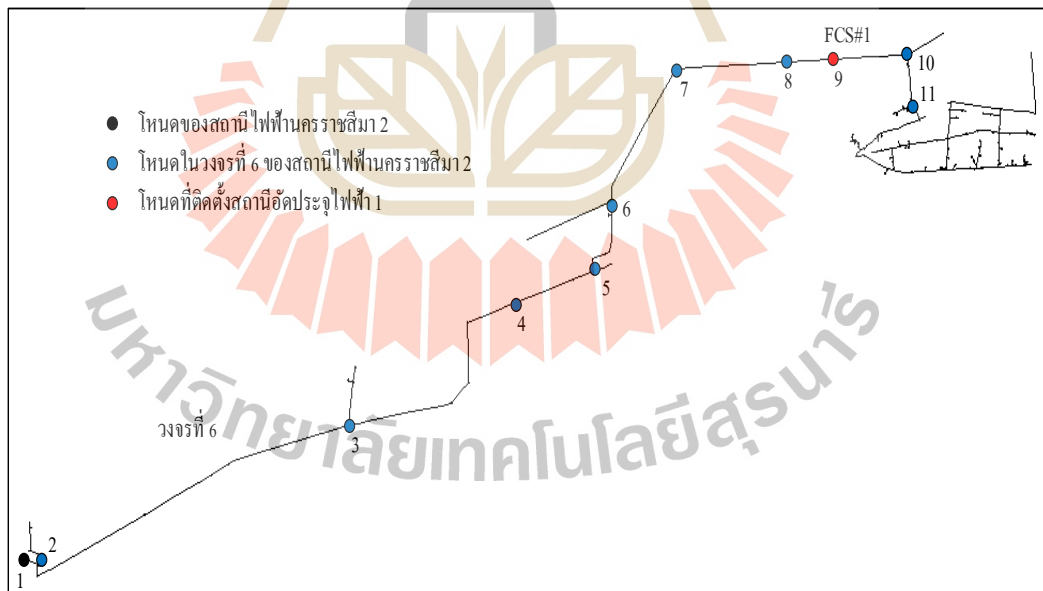
ตารางที่ 3.4 วงจรไฟฟ้าของสถานีไฟฟ้านครราชสีมา สำหรับสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว

วงจรไฟฟ้าที่	รหัสวงจรไฟฟ้า	สถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว	รหัสสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว	โหนดที่ติดตั้งสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว
1	NRB06	1	FCS#1	9
2	NRD04	2 และ 3	FCS#2, FCS#3	4 และ 2
3	NRE03	4 และ 10	FCS#4, FCS#10	6 และ 9
4	NRB09	5	FCS#5	2
5	NRC06	6	FCS#6	3
6	NRC02	7 และ 8	FCS#7, FCS#8	2 และ 12
7	NRC05	9	FCS#9	10
8	NRC03	11	FCS#11	13

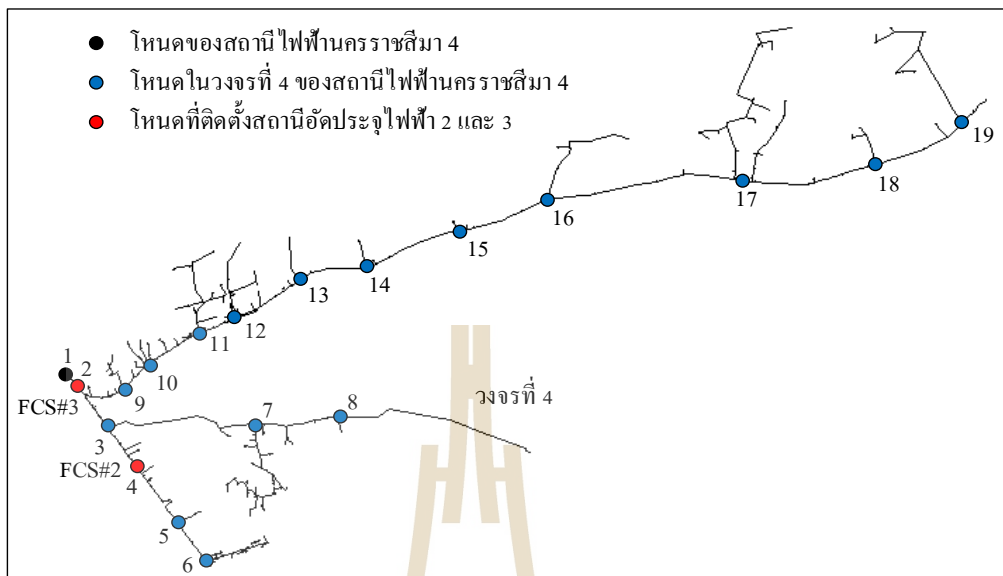
จากตารางที่ 3.4 แสดงตำแหน่งการติดตั้งสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วบนโหนดของแต่ละวงจรไฟฟ้าของสถานีไฟฟ้านครราชสีมา แผนภาพเส้นเดียวของแต่ละวงจรไฟฟ้าที่มีโหนดสำหรับติดตั้งแต่ละสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วดังแสดงในรูปที่ 3.3 ถึงรูปที่ 3.10



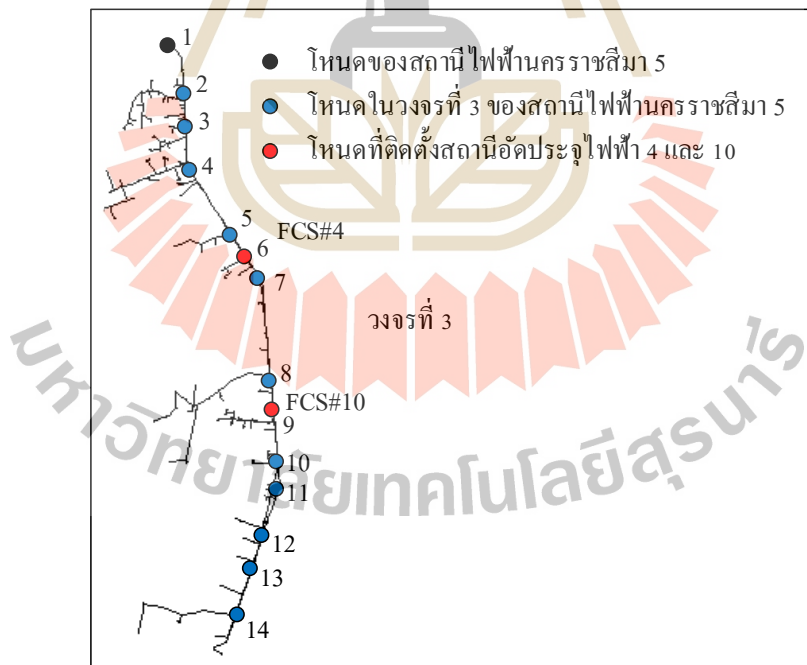
รูปที่ 3.2 สถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วในเขตอำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา



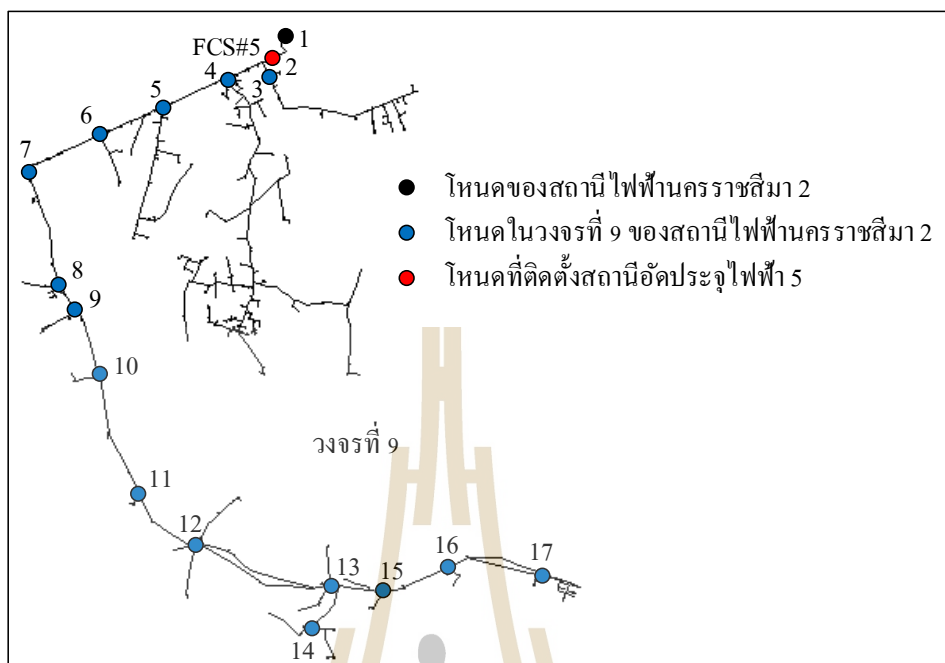
รูปที่ 3.3 การจ่ายไฟฟ้าของสถานีไฟฟ้าแรงดัน 20KV นครราชสีมา 6 ที่มีสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วที่ 1



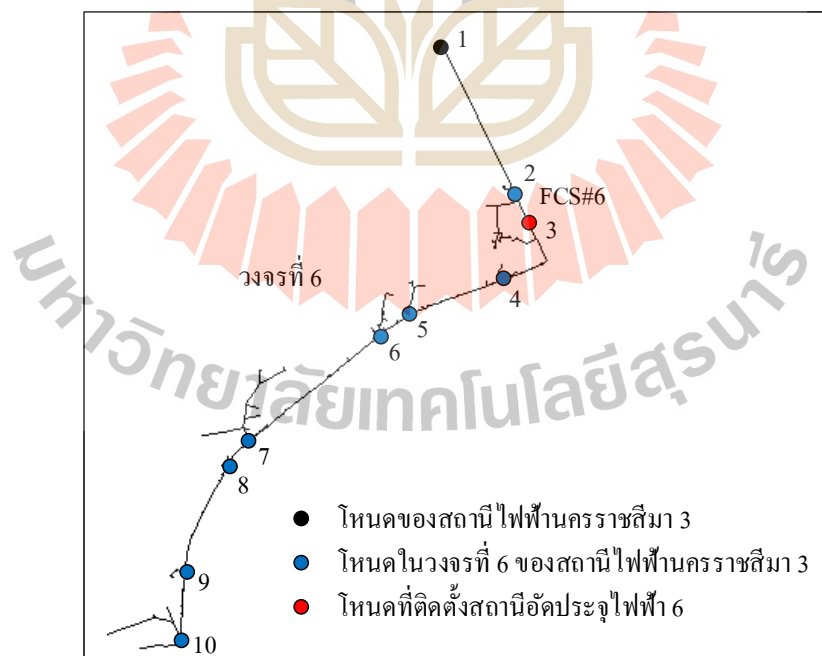
รูปที่ 3.4 การจ่ายไฟฟ้าของสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 4 วงจรนครราชสีมา 4
 ที่มีสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วที่ 2 และ 3



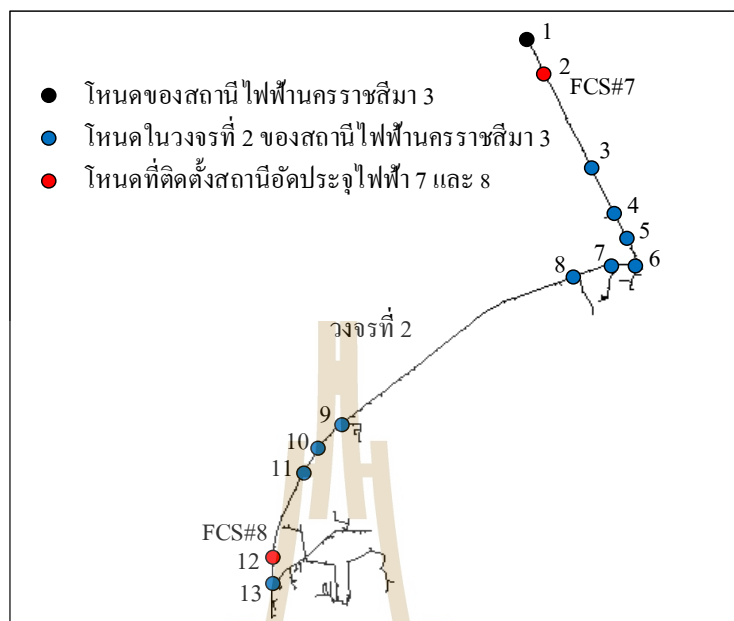
รูปที่ 3.5 การจ่ายไฟฟ้าของสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 5 วงจรนครราชสีมา 3
 ที่มีสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วที่ 4 และ 10



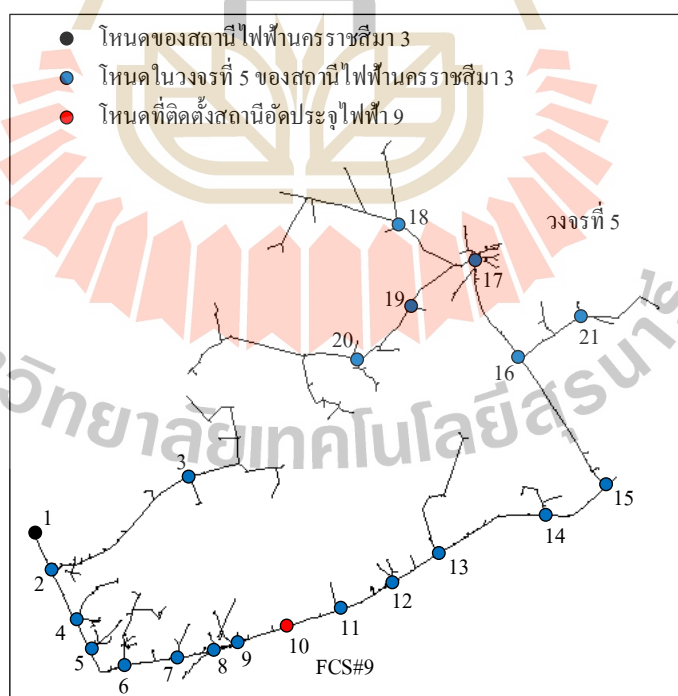
รูปที่ 3.6 การจ่ายไฟฟ้าของสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 2 วงจรนครราชสีมา 9 ที่มีสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วที่ 5



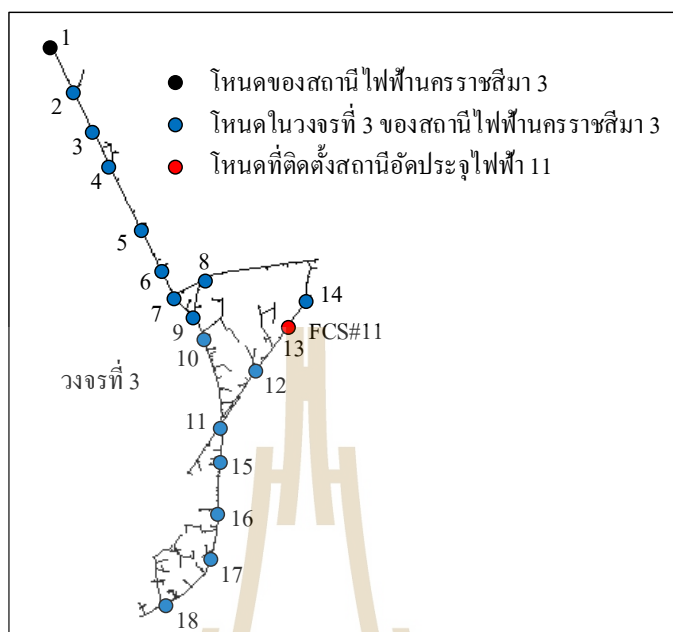
รูปที่ 3.7 การจ่ายไฟฟ้าของสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 3 วงจรนครราชสีมา 6 ที่มีสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วที่ 6



รูปที่ 3.8 การจ่ายไฟฟ้าของสถานีไฟฟ้าแรงดัน 3 วงจรแรงดัน 3 ที่มีสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วที่ 7 และ 8



รูปที่ 3.9 การจ่ายไฟฟ้าของสถานีไฟฟ้าแรงดัน 3 วงจรแรงดัน 3 ที่มีสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วที่ 9



รูปที่ 3.10 การจ่ายไฟฟ้าของสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 3 วงจรนครราชสีมา 3
ที่มีสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วที่ 11

จากรูปที่ 3.3 ถึงรูปที่ 3.10 เป็นการเลือกโหนดในวงจรไฟฟ้าของแต่ละสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วโดยเลือกจากระยะห่างที่ใกล้ที่สุด ดังนั้น เมื่อทราบจำนวนและตำแหน่งของสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วในเขตอำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา ในหัวข้อถัดไปเป็นการอธิบายถึงขั้นตอนการออกแบบขนาดของแต่ละสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วในเขตอำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา

3.3.2 การออกแบบขนาดของสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว

วิธีการประมาณช่วงความเชื่อมั่นถูกใช้เพื่อประมาณความต้องการพลังงานของแบตเตอรี่ในรถยนต์ไฟฟ้าที่ต้องการอัดประจุไฟฟ้าเร็วที่สถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว ขนาดพลังงานที่ต้องการของแบตเตอรี่ในรถยนต์ไฟฟ้าถูกนำไปเพื่อคำนวณหาเวลาที่ใช้ในการอัดประจุไฟฟ้าและขนาดกระแสไฟฟ้าในการอัดประจุไฟฟ้า ดังนั้น เวลาในการอัดประจุไฟฟ้าจึงเป็นตัวแปรในการกำหนดพารามิเตอร์ของจำนวนครั้งของหัวอัดประจุไฟฟ้าที่สามารถให้บริการการอัดประจุไฟฟ้าเร็วได้ภายในหนึ่งชั่วโมง ($N_{service}$) และขนาดกระแสไฟฟ้าในการอัดประจุไฟฟ้าเป็นตัวแปรในการเลือกขนาดของสายส่งกำลังไฟฟ้าจากจุดโหนดที่ติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าลูกใหม่สำหรับสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วในระบบจำหน่ายไฟฟ้าไปยังตำแหน่งของสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว วิธีมอนติคาร์โลเป็นวิธีการจำลองสถานการณ์ โดยใช้หลักการสุ่มในการดำเนินการเพื่อหาความเป็นไปได้ของตำแหน่ง

รถยนต์ไฟฟ้าที่จะเกิดขึ้นในอนาคตในแต่ละพื้นที่ของเทศบาลตำบลในเขตอำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา โดยความเป็นไปได้ของจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าในแต่ละพื้นที่ขึ้นอยู่กับจำนวนของประชากรในแต่ละเทศบาลตำบลในเขตอำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา ซึ่งข้อมูลประชากรในแต่ละเทศบาลตำบลได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก

งานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้เสนอสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการกำหนดขนาดของสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วโดยปรับปรุงแนวคิดจากสมการที่ (2.18) ดังนั้น สมการที่นำเสนอในงานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้แสดงในสมการที่ (3.4) โดยเป็นการพิจารณาจำนวนสูงสุดของรถยนต์ไฟฟ้าจากจำนวนของรถยนต์ไฟฟ้าที่ต้องอัดประจุไฟฟ้าที่สถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วในแต่ละชั่วโมงและจำนวนครั้งของหัวอัดประจุไฟฟ้าที่สามารถให้บริการการอัดประจุไฟฟ้าเร็วได้ภายในหนึ่งชั่วโมง ดังนั้น จำนวนหัวอัดประจุไฟฟ้าในสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3.4)

$$N_{charger} = \text{ceil} \left(\frac{\max(NEV_i)}{N_{service}} \right) ; i = 1, 2, 3, \dots, 24 \quad (3.4)$$

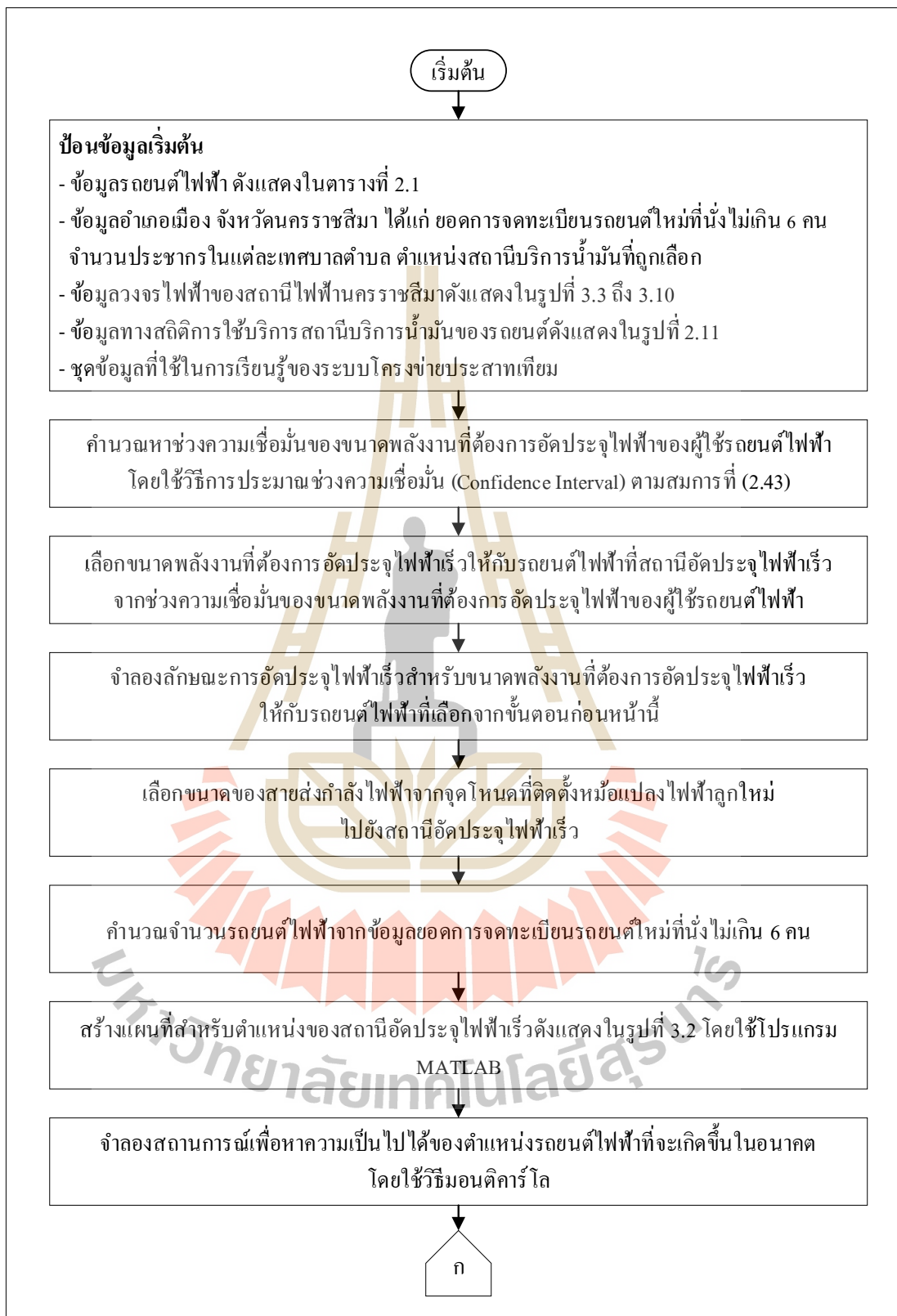
โดยที่ $N_{charger}$ คือ จำนวนหัวอัดประจุไฟฟ้าในสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว
 NEV_i คือ จำนวนของรถยนต์ไฟฟ้าที่อัดประจุไฟฟ้าเร็วที่สถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วในชั่วโมงที่ i โดยใช้ข้อมูลทางสถิติการใช้บริการสถานีบริการน้ำมันของรถยนต์ ดังแสดงในรูปที่ 2.11
 $N_{service}$ คือ จำนวนครั้งที่สามารถให้บริการการอัดประจุไฟฟ้าเร็วได้ภายในหนึ่งชั่วโมงของหัวอัดประจุไฟฟ้า

การหาขนาดของสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วในเขตอำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา ด้วยการประเมินค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วตามที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 2.5 มีกระบวนการและขั้นตอนของการหาขนาดของสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วดังแสดงในรูปที่ 3.11 ขั้นแรกต้องป้อนข้อมูลเริ่มต้น จากนั้นใช้วิธีการประมาณช่วงความเชื่อมั่น (Confidence Interval) ในการคำนวณหาช่วงความเชื่อมั่นของขนาดพลังงานที่ต้องการอัดประจุไฟฟ้าของผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้า โดยใช้สมการที่ (2.43) โดยที่พารามิเตอร์ n คือ จำนวนยี่ห้อของรถยนต์ไฟฟ้าดังแสดงในตารางที่ 2.1 ซึ่งเท่ากับ 14 และสมมุติให้รถยนต์ไฟฟ้าต้องเข้าอัดประจุไฟฟ้าเร็วทันทีเมื่อสถานะของแบตเตอรี่เหลือ 25% จนสถานะของแบตเตอรี่เต็ม ดังนั้น x_i คือ ขนาดพลังงานที่ต้องการอัดประจุไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าในแต่ละยี่ห้อดังแสดงในตารางที่ 2.1 และใช้ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95% จากนั้นเลือกขนาดพลังงานที่ต้องการอัดประจุไฟฟ้าเร็วให้กับรถยนต์ไฟฟ้าที่สถานีอัดประจุไฟฟ้า

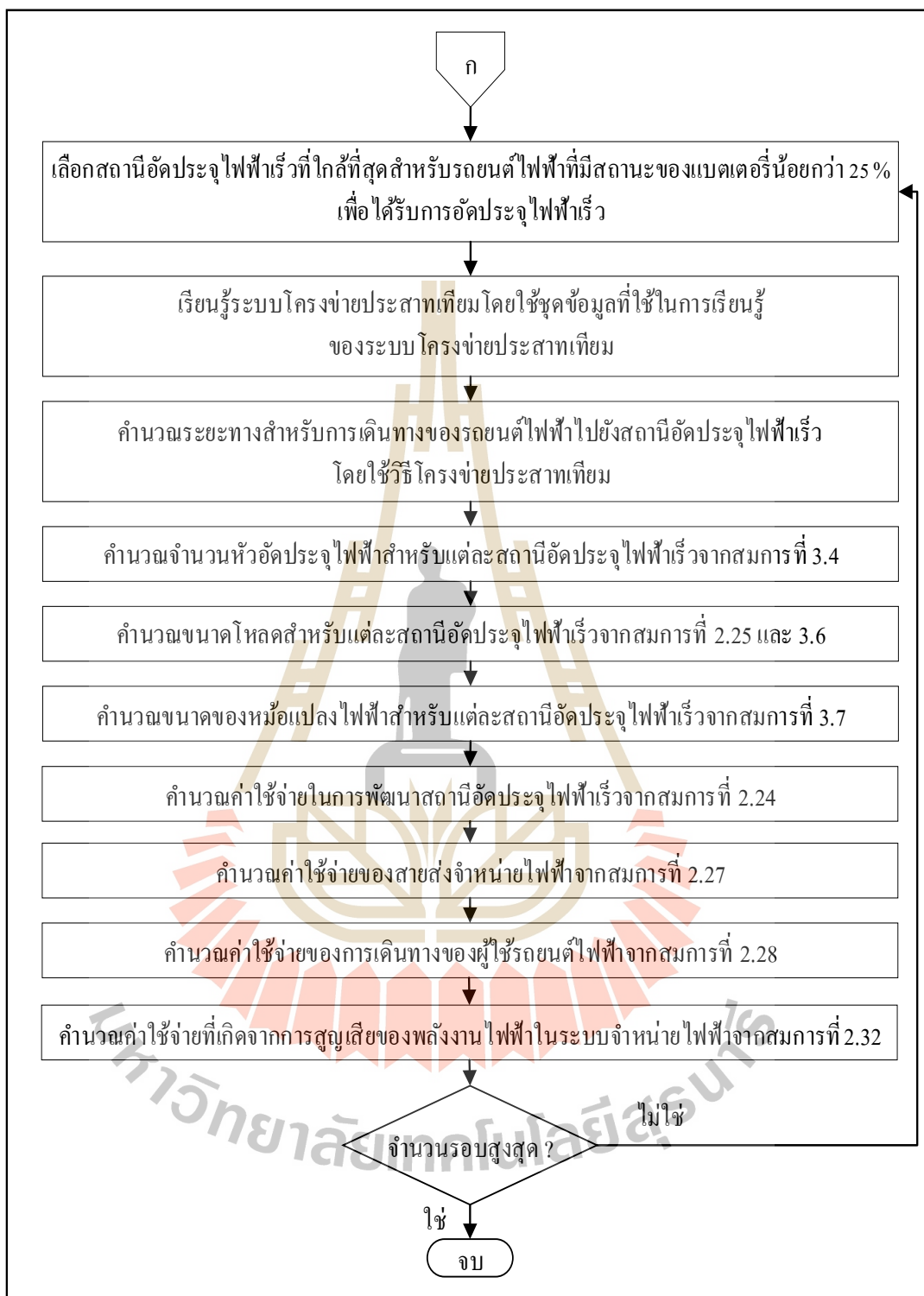
เร็วที่เป็นค่าเฉลี่ยจากช่วงความเชื่อมั่นของขนาดพลังงานที่ต้องการอัดประจุไฟฟ้าของผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้า เนื่องจากขนาดพลังงานที่ต้องการอัดประจุไฟฟ้าเร็วให้กับรถยนต์ไฟฟ้าโดยเฉลี่ย ทำให้ทราบเวลาในการอัดประจุไฟฟ้าโดยเฉลี่ยของแต่ละหัวอัดประจุไฟฟ้าในสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วต่อ 1 ครั้ง เพื่อใช้ในการกำหนดพารามิเตอร์ของจำนวนครั้งของหัวอัดประจุไฟฟ้าที่สามารถให้บริการการอัดประจุไฟฟ้าเร็วได้ภายในหนึ่งชั่วโมง ($N_{service}$) สำหรับใช้ในการคำนวณขนาดสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วตามสมการที่ (3.4) จากนั้นจำลองลักษณะการอัดประจุไฟฟ้าเร็วสำหรับขนาดพลังงานที่ต้องการอัดประจุไฟฟ้าเร็วให้กับรถยนต์ไฟฟ้าที่เลือกจากขั้นตอนก่อนหน้านี้ตามขั้นตอนวิธีการจำลองลักษณะการอัดประจุไฟฟ้าแบบปกติและเร็วของรถยนต์ไฟฟ้างอชบายในหัวข้อที่ 3.2 เพื่อหาขนาดกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการอัดประจุไฟฟ้าเร็วและใช้ในการพิจารณาการเลือกขนาดของสายส่งกำลังไฟฟ้าจากจุดโหนดที่ติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าลูกใหม่ไปยังสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว จากนั้นคำนวณจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าในเขตอำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา จากข้อมูลยอดการจดทะเบียนรถยนต์ใหม่ที่นั่งไม่เกิน 6 คน โดยคิดตามเปอร์เซ็นต์ของจำนวนประชากรในแต่ละอำเภอในจังหวัดนครราชสีมา (วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี, 2018) ขั้นตอนต่อไปสมมติกำหนดจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าในเขตอำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา ที่ต้องการอัดประจุไฟฟ้าที่สถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วในหนึ่งวัน จากนั้นงานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้ได้สร้างแผนที่สำหรับตำแหน่งของสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วในเขตอำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา ดังที่ได้แสดงไว้แล้วในรูปที่ 3.2 โดยใช้โปรแกรม MATLAB จากนั้นจำลองสถานการณ์เพื่อหาความเป็นไปได้ของตำแหน่งของรถยนต์ไฟฟ้าที่จะเกิดขึ้นในอนาคต ซึ่งตำแหน่งของรถยนต์ไฟฟ้าถูกสร้างขึ้นตามความหนาแน่นของประชากรในแต่ละเทศบาลตำบลในเขตอำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา ดังแสดงในตารางที่ ก.1 ในผนวก ก โดยใช้วิธีการจำลองสถานการณ์แบบมอนติคาร์โลตามที่ได้อธิบายในหัวข้อที่ 2.7 ใช้การจำลองสถานการณ์ 10,000 สถานการณ์ (เท่ากับจำนวนรอบสูงสุด) เนื่องจากความเป็นไปได้ของตำแหน่งรถยนต์ไฟฟ้าในอนาคตมีความไม่แน่นอนจึงต้องทำการตรวจสอบหลาย ๆ ครั้ง เพื่อตรวจสอบความแม่นยำของคำตอบที่ได้รับ จากนั้นเมื่อได้ตำแหน่งของรถยนต์ไฟฟ้าของแต่ละสถานการณ์ ดังนั้นผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้าจะเลือกกระยะทางที่มีเส้นทางที่ใกล้ที่สุดสำหรับการเดินทางไปยังสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วเพื่ออัดประจุไฟฟ้าเร็วให้กับรถยนต์ไฟฟ้า จากนั้นเรียนรู้ระบบโครงข่ายประสาทเทียมเนื่องจากการใช้โปรแกรม MATLAB ไม่สามารถคำนวณระยะทางจริงของรถยนต์ไฟฟ้าที่เดินทางไปยังสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วได้ งานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้จึงใช้วิธีโครงข่ายประสาทเทียมช่วยในการคำนวณเพื่อให้ได้ระยะทางสำหรับการเดินทางของรถยนต์ไฟฟ้าที่เดินทางไปยังสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วให้ใกล้เคียงกับระยะทางจริง โดยใช้ชุดข้อมูลอินพุตและชุดข้อมูลเป้าหมายที่ใช้ในการเรียนรู้ของระบบโครงข่ายประสาทเทียม ชุดข้อมูลอินพุต ได้แก่ ค่าละติจูดและค่าลองจิจูดของตำแหน่งรถยนต์ไฟฟ้า จำนวน 500 ชุด ค่าละติจูดและค่าลองจิจูดของตำแหน่งสถานีอัดประจุไฟฟ้า

เร็ว จำนวน 500 ชุด และระยะการกระจัดระหว่างรถยนต์ไฟฟ้าและสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว จำนวน 500 ชุด สำหรับชุดข้อมูลเป้าหมาย คือ ระยะทางสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าเดินทางไปยังสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วที่ได้จากการวัดด้วย Google Maps จำนวน 500 ชุด โดยสามารถจัดรูปแบบโครงข่ายประสาทเทียมดังแสดงในรูปที่ 3.12 แล้วใช้วิธีโครงข่ายประสาทเทียมที่ผ่านการเรียนรู้มาแล้วในการคำนวณระยะทางของรถยนต์ไฟฟ้าสำหรับการเดินทางไปยังสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว เพื่อตรวจสอบความเหมาะสมของระยะทางที่ผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้าเดินทางไปยังตำแหน่งที่ตั้งของสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วในเขตอำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา เพื่อให้บริการอัดประจุไฟฟ้าเร็วให้กับรถยนต์ไฟฟ้า การเลือกระยะทางที่มีเส้นทางที่ใกล้ที่สุดสำหรับการเดินทางไปยังสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วของผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้าทำให้ทราบจำนวนของรถยนต์ไฟฟ้าที่เข้าใช้บริการในแต่ละสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วในหนึ่งวัน ดังนั้น ข้อมูลทางสถิติการให้บริการสถานีบริการน้ำมันของรถยนต์ดังแสดงในรูปที่ 2.11 ถูกวิเคราะห์เพื่อตรวจสอบจำนวนของรถยนต์ไฟฟ้าที่ต้องอัดประจุไฟฟ้าเร็วที่สถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วในแต่ละชั่วโมงของแต่ละสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว จากนั้นสมการที่ (3.4) ที่เสนอโดยงานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้ใช้เพื่อหาขนาดของแต่ละสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วและออกแบบขนาดหม้อแปลงไฟฟ้าสำหรับแต่ละสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วตามวิธีการออกแบบขนาดหม้อแปลงไฟฟ้าง่ายแสดงไว้ในหัวข้อถัดไป ในตอนสุดท้ายเป็นการคำนวณค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วตามที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 2.5 สำหรับระยะเวลา 5 ปี ได้แก่ ค่าใช้จ่ายในการพัฒนาสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว ค่าใช้จ่ายของสายส่งจำหน่ายไฟฟ้า ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการสูญเสียของพลังงานไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า และค่าใช้จ่ายสำหรับการเดินทางของผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้าและพารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณดังแสดงในตารางที่ 3.5

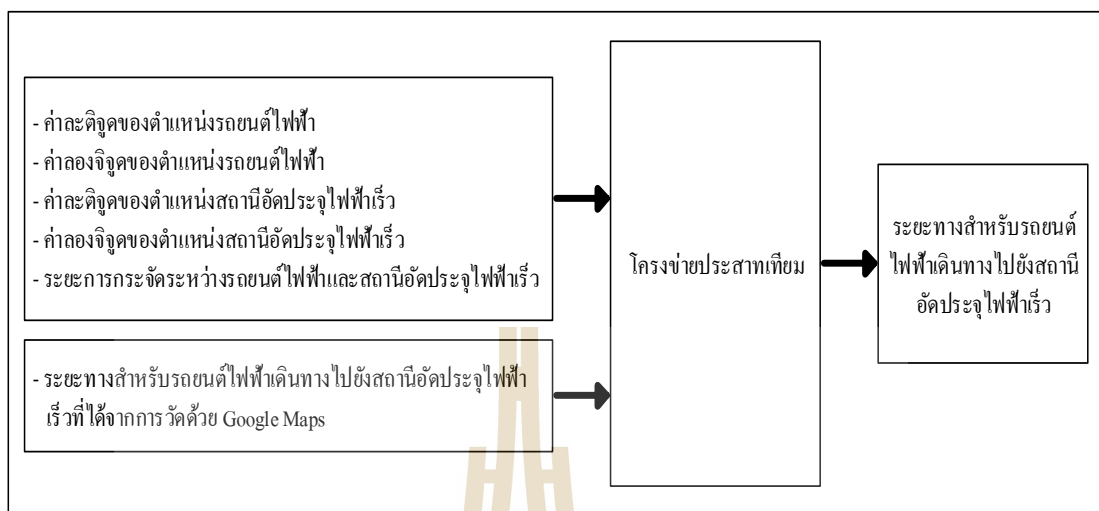
ตารางที่ 3.5 ค่าใช้จ่ายคงที่ของสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว ค่าเช่าพื้นที่สำหรับระยะเวลา 5 ปี ค่าใช้จ่ายในการพัฒนาหัวอัดประจุไฟฟ้า ค่าตั้งไฟฟ้าใช้งานของหัวอัดประจุไฟฟ้า ราคาไฟฟ้า และขนาดพื้นที่สำหรับหนึ่งหัวอัดประจุไฟฟ้าได้อ้างอิงมาจาก (Sadeghi-Barzani et al., 2014) ส่วนความยาวของสายไฟเหนื่อศีรษะได้ถูกกำหนดในงานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้ เนื่องจากระยะความยาวจากจุดติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าถูกใหม่ไปยังตำแหน่งสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วมีระยะความยาวที่สั้นภายในสถานีบริการน้ำมัน ดังนั้น งานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้จึงกำหนดให้ความยาวของสายไฟเหนื่อศีรษะเท่ากับ 0.1 km ส่วนประสิทธิภาพของหัวอัดประจุไฟฟ้าและเพาเวอร์แฟกเตอร์ของรถยนต์ไฟฟ้าได้อ้างอิงมาจาก (Boribun et al., 2013)



รูปที่ 3.11 การหาขนาดของสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วในเขตอำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา



รูปที่ 3.11 การหาขนาดของสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วในเขตอำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา (ต่อ)



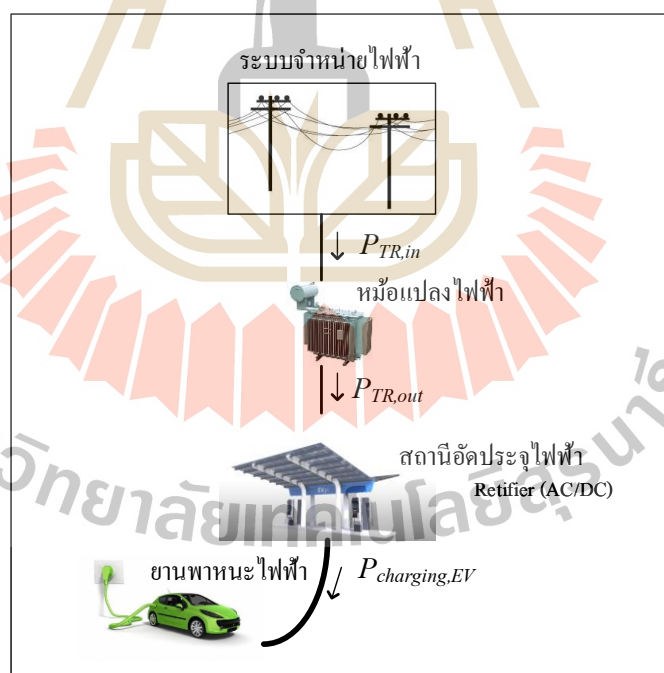
รูปที่ 3.12 ชุดข้อมูลอินพุตและชุดข้อมูลเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทดัดเทียม

ตารางที่ 3.5 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการศึกษา

ชื่อพารามิเตอร์	พารามิเตอร์	ค่า	หน่วย
ค่าใช้จ่ายคงที่ของสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว	$C_{initial}$	70000	\$
ค่าเช่าพื้นที่สำหรับระยะเวลา 5 ปี	C_{land}	4000	\$/m ²
ค่าใช้จ่ายในการพัฒนาหัวอัดประจุไฟฟ้า	$C_{charger}$	208.3	\$/kW
กำลังไฟฟ้าใช้งานของหัวอัดประจุไฟฟ้า	PC	96	kW
จำนวนวันทั้งหมดในระยะเวลา 5 ปี	T_{day}	1825	day
ราคาไฟฟ้า	EP	87.7	\$/MWh
ค่าเฉลี่ยของการใช้พลังงานของรถยนต์ไฟฟ้าในปี พ.ศ. 2558-2560	$AEVC$	5.9	km/kWh
ความยาวของสายไฟเหนือศีรษะ	L	0.1	km
ขนาดพื้นที่สำหรับหนึ่งหัวอัดประจุไฟฟ้า	A	25	m ²
ประสิทธิภาพของหัวอัดประจุไฟฟ้า	$\eta_{charger}$	80	%
เพาเวอร์แฟกเตอร์ของรถยนต์ไฟฟ้า	pf_{EV}	0.9	-

3.3.3 การออกแบบขนาดหม้อแปลงไฟฟ้าสำหรับสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว

การติดตั้งสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วในระบบจำหน่ายไฟฟ้าจำเป็นต้องมีการติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าลูกใหม่ดังแสดงรูปที่ 3.13 เป็นการแสดงโครงสร้างพื้นฐานของสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วที่มีการติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าลูกใหม่ ซึ่งประกอบด้วย หม้อแปลงไฟฟ้าทำหน้าที่ลดระดับแรงดันไฟฟ้าสูงไปเป็นระดับแรงดันไฟฟ้าต่ำเพื่อจ่ายไฟฟ้าไปยังรถยนต์ไฟฟ้า โดยผ่านอุปกรณ์ที่เรียกว่า เรกติไฟเออร์ (Rectifier) หรือหัวอัดประจุไฟฟ้าทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสสลับไปเป็นไฟฟ้ากระแสตรง เนื่องจากต้องอัดประจุไฟฟ้ากระแสตรงให้กับแบตเตอรี่ในรถยนต์ไฟฟ้า ดังนั้น ขนาดของหม้อแปลงไฟฟ้าเป็นเรื่องที่สำคัญที่ควรคำนึงถึง การพิจารณาขนาดของหม้อแปลงไฟฟ้าควรคำนึงถึงเรื่องของค่าใช้จ่าย ราคา และการป้องกันโหลดเกินของหม้อแปลงไฟฟ้า รวมถึงการป้องกันขนาดโหลดของสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วที่จะเกิดขึ้นในระบบจำหน่ายไฟฟ้าได้ ดังนั้น การออกแบบขนาดของหม้อแปลงไฟฟ้าต้องพิจารณาขนาดโหลดสูงสุดของสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว ซึ่งขนาดโหลดสูงสุดของสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วและขนาดของหม้อแปลงไฟฟ้าสำหรับสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วสามารถพิจารณาได้จากสมการที่ (3.5) ถึงสมการที่ (3.7)



รูปที่ 3.13 โครงสร้างพื้นฐานของสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วที่มีการติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าใหม่

$$P_{TR,out} = \frac{P_{charging, EV}}{\eta_{charger}} \quad (3.5)$$

$$S_{FCS} = \frac{P_{TR,out} \times N_{charger}}{pf_{EV}} \quad (3.6)$$

$$kVA_{Transformer} = 1.25 \times S_{FCS} \quad (3.7)$$

โดยที่ $P_{charging, EV}$	คือ กำลังไฟฟ้าที่ส่งจ่ายให้กับรถยนต์ไฟฟ้าในสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว (kW)
S_{FCS}	คือ ขนาดโหลดสูงสุดของสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว (kVA)
$kVA_{Transformer}$	คือ ขนาดของหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีการเผื่อโหลดทางไฟฟ้า 25% (kVA)

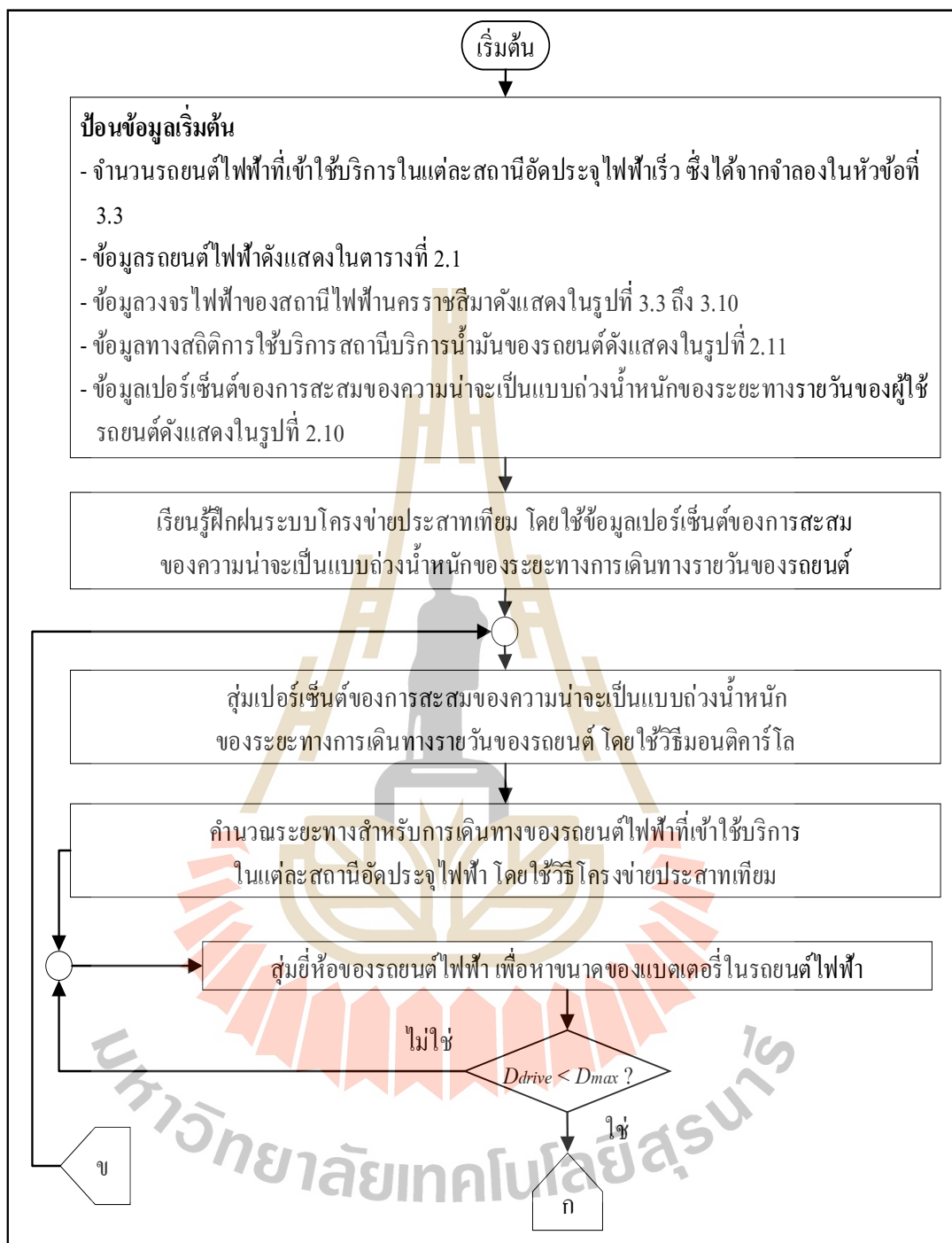
เมื่อทราบตำแหน่งและขนาดของสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วในเขตอำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา รวมถึงขนาดหม้อแปลงไฟฟ้าสำหรับสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว และจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าที่เข้าใช้บริการในแต่ละสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วในวันแล้ว ดังนั้น ในหัวข้อถัดไปเป็นการอธิบายถึงขั้นตอนการศึกษาพฤติกรรมของผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้าในแต่ละสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว เพื่อประเมินลักษณะการบริโภคพลังงานไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า โดยพิจารณาข้อของรถยนต์ไฟฟ้า ระยะการเดินทางของผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้า สถานะของแบตเตอรี่ เวลาในการเข้าอัดประจุไฟฟ้าที่สถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว และเวลาในการอัดประจุไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้า จากนั้นตรวจสอบผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าของสถานีไฟฟ้านครราชสีมา

3.4 กระบวนการจำลองผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

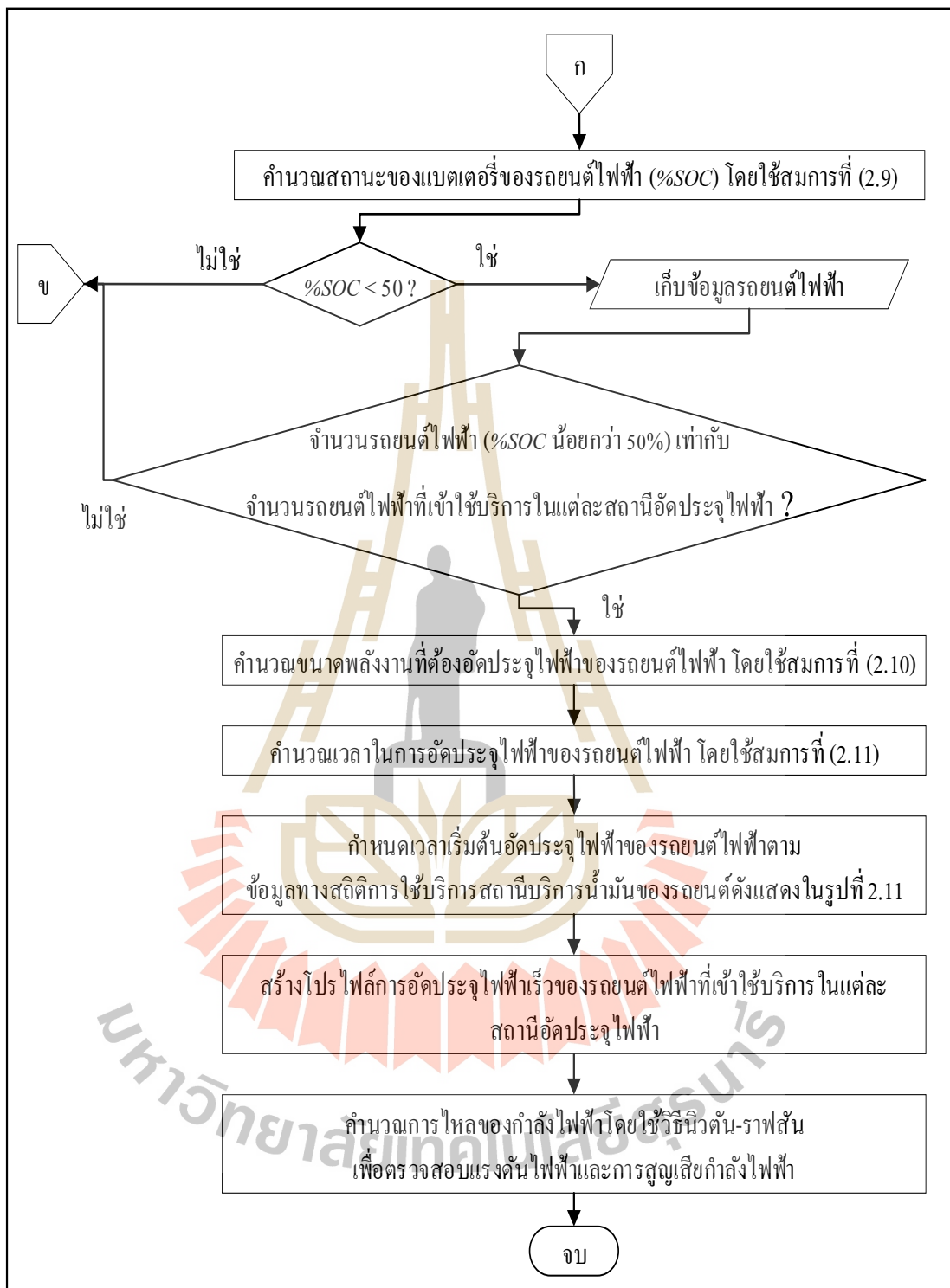
การจำลองผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า งานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้ได้เสนอวิธีการประเมินการบริโภคพลังงานไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าในเขตอำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา โดยพิจารณาข้อของรถยนต์ไฟฟ้า ระยะการเดินทางของผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้า สถานะของแบตเตอรี่ เวลาในการเข้าอัดประจุไฟฟ้าที่สถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว และเวลาในการอัดประจุไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้า เพื่อสร้างโปรไฟล์การอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าที่เข้าใช้บริการในแต่ละสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว กระบวนการสร้างโปรไฟล์การอัดประจุ

ไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าที่เข้าใช้บริการในแต่ละสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วสำหรับการศึกษาผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าดังแสดงในรูปที่ 3.14

จากรูปที่ 3.14 ขั้นตอนแรกป้อนข้อมูลเริ่มต้นและเรียนรู้ระบบโครงข่ายประสาทดัดเทียมโดยใช้ชุดข้อมูลอินพุต คือ ค่าเปอร์เซ็นต์ของการสะสมของความน่าจะเป็นแบบถ่วงน้ำหนักของระยะทางการเดินทางรายวันของรถยนต์ และชุดข้อมูลเป้าหมาย คือ ระยะทางสำหรับการเดินทางของรถยนต์ไฟฟ้าดังแสดงในรูปที่ 2.10 จากนั้นวิธีมอนติคาร์โลถูกใช้ในการเลือกค่าโดยการสุ่มค่าเปอร์เซ็นต์ของการสะสมของความน่าจะเป็นแบบถ่วงน้ำหนักของระยะทางการเดินทางรายวันของรถยนต์ โดยที่ช่วงของค่าเปอร์เซ็นต์ของการสะสมของความน่าจะเป็นแบบถ่วงน้ำหนักของระยะทางการเดินทางรายวันของรถยนต์ดังแสดงในรูปที่ 2.10 ค่าที่ได้จากการสุ่มของวิธีมอนติคาร์โลจะถูกส่งไปยังโหนดอินพุตของระบบโครงข่ายประสาทดัดเทียมที่ผ่านการเรียนรู้มาแล้ว จากนั้นผลลัพธ์จะถูกส่งไปยังโหนดเอาต์พุตของระบบโครงข่ายประสาทดัดเทียมเพื่อได้ระยะทางสำหรับการเดินทางของรถยนต์ไฟฟ้าที่เข้าใช้บริการในแต่ละสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว โดยใช้วิธีโครงข่ายประสาทดัดเทียมการกำหนดคีย์ของรถยนต์ไฟฟ้าแต่ละคันดำเนินการโดยการสุ่มรถยนต์ไฟฟ้าแต่ละคันที่แสดงในตารางที่ 2.1 ภายใต้เงื่อนไขการตรวจสอบระยะทางการเดินทางของรถยนต์ไฟฟ้าและระยะกิโลเมตรของรถยนต์ไฟฟ้าที่สามารถเดินทางได้สูงสุดที่ถูกกำหนดโดยโรงงานผู้ผลิตรถยนต์ไฟฟ้า จากนั้นคำนวณสถานะของแบตเตอรี่ของรถยนต์ไฟฟ้าโดยใช้สมการที่ (2.9) โดยพิจารณาเฉพาะรถยนต์ไฟฟ้าที่มีสถานะของแบตเตอรี่ของรถยนต์ไฟฟ้าน้อยกว่า 50% เนื่องจากกำหนดให้ว่า ถ้าสถานะของแบตเตอรี่ของรถยนต์ไฟฟ้ามีสถานะน้อยกว่า 50% ผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้าจะเดินทางไปยังสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วทันที เพื่ออัดประจุไฟฟ้าเร็วให้กับรถยนต์ไฟฟ้า ขั้นตอนถัดไปตรวจสอบจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าที่เข้าใช้บริการในแต่ละสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วตามเงื่อนไขเพื่อข้ามไปยังขั้นตอนถัดไป ในขั้นตอนถัดไปเป็นการคำนวณขนาดพลังงานที่ต้องอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าแต่ละคัน โดยใช้สมการที่ (2.10) และคำนวณเวลาในการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าโดยใช้สมการที่ (2.11) จากนั้นกำหนดเวลาเริ่มต้นในการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าตามข้อมูลทางสถิติการให้บริการสถานีบริการน้ำมันของรถยนต์ดังแสดงในรูปที่ 2.11 โดยกำหนดให้ในแต่ละชั่วโมงการต่อคิวของรถยนต์ไฟฟ้าจะเริ่มอัดประจุไฟฟ้าได้ที่เวลาที่ 0, นาฬิกาที่ 20 และนาฬิกาที่ 40 ของแต่ละชั่วโมงเท่านั้น แล้วนำข้อมูลที่ได้อัปโหลดโปรแกรมไฟล์การอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าที่เข้าใช้บริการในแต่ละสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว ในขั้นตอนสุดท้ายคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสันสำหรับแต่ละวงจรไฟฟ้าของสถานีไฟฟ้าแรงดันต่ำแสดงในรูปที่ 3.3 ถึงรูปที่ 3.10 เพื่อตรวจสอบผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าต่อแรงดันไฟฟ้าและการสูญเสียของกำลังไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า (Saadat, 1999)



รูปที่ 3.14 กระบวนการจำลองผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า



รูปที่ 3.14 กระบวนการจำลองผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า (ต่อ)

เนื่องจากรถยนต์ไฟฟ้าใช้แบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์เก็บพลังงานไฟฟ้า จึงต้องอัดประจุไฟฟ้าที่สถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว โดยที่สถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วติดตั้งบนโหนดในระบบจำหน่ายไฟฟ้าเพื่อบริโภคพลังงานไฟฟ้าจากระบบจำหน่ายไฟฟ้า แบตเตอรี่ในรถยนต์ไฟฟ้าเป็นโหลดทางไฟฟ้า ถ้ามีจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าหลาย ๆ คัน อัดประจุไฟฟ้าเร็วให้กับแบตเตอรี่ในรถยนต์ไฟฟ้าที่สถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วในเวลาเดียวกันอาจเป็นผลทำให้ระบบจำหน่ายไฟฟ้ามีประสิทธิภาพของการจ่ายไฟฟ้าลดลง เนื่องจากในระบบจำหน่ายไฟฟ้าเกิดแรงดันไฟฟ้าตก กระแสไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้ามีค่าสูงขึ้น และเกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบจำหน่ายไฟฟ้ามากขึ้น ทำให้เห็นว่า การอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าที่สถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วในระบบจำหน่ายไฟฟ้าส่งผลกระทบต่อคุณภาพการจ่ายไฟฟ้าของระบบจำหน่ายไฟฟ้า ดังนั้น งานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้จึงได้เสนอแนวทางการบรรเทาผลกระทบจากอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า โดยมีรายละเอียดของวิธีการบรรเทาผลกระทบจากอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าได้อธิบายในหัวข้อถัดไป

3.5 การบรรเทาผลกระทบจากอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

การบริโภคพลังงานไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าโดยการอัดประจุไฟฟ้าเร็วที่สถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วเป็นเสมือนการเพิ่มโหลดในระบบจำหน่ายไฟฟ้า เมื่อโหลดของระบบจำหน่ายไฟฟ้ามากขึ้น ทำให้แรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าลดลง นั่นคือ โหนดที่มีโหลดมากจะทำให้แรงดันไฟฟ้าที่โหนดนั้นตก นอกจากนี้ยังทำให้ประสิทธิภาพของการจ่ายไฟฟ้าลดลง เนื่องจากในระบบจำหน่ายไฟฟ้าเกิดแรงดันไฟฟ้าตก กระแสไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้ามีค่าสูงขึ้น และเกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบจำหน่ายไฟฟ้ามากขึ้น ทำให้เห็นว่า การอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าที่สถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วในระบบจำหน่ายไฟฟ้าส่งผลกระทบต่อคุณภาพการจ่ายไฟฟ้าของระบบจำหน่ายไฟฟ้า การเกิดแรงดันไฟฟ้าตกในระบบจำหน่ายไฟฟ้าเป็นเรื่องที่ควรให้ความสำคัญเป็นอย่างมาก เนื่องจากการเกิดแรงดันไฟฟ้าตกในระบบจำหน่ายไฟฟ้าอาจนำไปสู่สถานะไฟดับได้ ดังนั้น งานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้จึงเสนอวิธีการยกระดับแรงดันไฟฟ้าด้วยชุดตัวเก็บประจุ เพื่อยกระดับแรงดันไฟฟ้าให้สูงขึ้น ป้องกันการเกิดแรงดันไฟฟ้าตกต่ำกว่าเกณฑ์กำหนดมาตรฐานของแรงดันไฟฟ้าหรือหลีกเลี่ยงการนำไปสู่สถานะไฟดับเมื่อมีรถยนต์ไฟฟ้าอัดประจุไฟฟ้าเร็วในระบบจำหน่ายไฟฟ้า เนื่องจากชุดตัวเก็บประจุไฟฟ้าทำหน้าที่เหมือนกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่จ่ายกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ โดยรายละเอียดของวิธีการยกระดับแรงดันไฟฟ้าด้วยชุดตัวเก็บประจุจะแสดงในหัวข้อถัดไป

3.5.1 การยกระดับแรงดันไฟฟ้าด้วยชุดตัวเก็บประจุในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

เนื่องจากเมื่อโหลดของระบบจำหน่ายไฟฟ้ามากขึ้น ทำให้แรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าลดลง นั่นคือ โหลดที่มีโหลดมากจะทำให้แรงดันไฟฟ้าที่โหนดนั้นตก จึงต้องใช้ชุดตัวเก็บประจุต่อเข้ากับโหนด เพื่อยกระดับแรงดันไฟฟ้าให้สูงขึ้น เนื่องจากชุดตัวเก็บประจุไฟฟ้าทำหน้าที่เหมือนกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่จ่ายกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ นอกจากช่วยในการยกระดับแรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแล้ว ยังสามารถช่วยลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบจำหน่ายไฟฟ้า เนื่องจากการติดตั้งชุดตัวเก็บประจุในระบบจำหน่ายไฟฟ้าเป็นวิธีการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าให้สูงขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพของการจ่ายไฟฟ้าของระบบจำหน่ายไฟฟ้าดีขึ้น ข้อดีของชุดตัวเก็บประจุ คือ สามารถลดกำลังไฟฟ้าสูญเสีย การรักษาระดับของแรงดันไฟฟ้า และความสามารถในการรับโหลดทางไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าเพิ่มขึ้น แต่ข้อควรระวังสำหรับการติดตั้งชุดตัวเก็บประจุควรติดตั้งตำแหน่งและขนาดที่เหมาะสม ถ้าติดตั้งในตำแหน่งและขนาดที่ไม่เหมาะสมอาจนำไปสู่ผลลัพธ์ในทิศทางตรงกันข้าม ซึ่งจะก่อให้เกิดผลเสียได้ นั่นคือ อาจทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าตกและกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบจำหน่ายไฟฟ้ามากขึ้นกว่าเดิม ดังนั้น วิธีการเพิ่มประสิทธิภาพแบบวาฟลูกใช้ในการเลือกขนาดของชุดตัวเก็บประจุที่มีดังแสดงในตารางที่ 3.6 และกำหนดตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดในระบบจำหน่ายไฟฟ้าสำหรับการติดตั้งชุดตัวเก็บประจุ ซึ่งขั้นตอนวิธีการหาตำแหน่งและขนาดที่เหมาะสมที่สุดของชุดตัวเก็บประจุในระบบจำหน่ายไฟฟ้า โดยใช้วิธีการเพิ่มประสิทธิภาพแบบวาฟลูกแสดงขั้นตอนดังในรูปที่ 3.15 โดยมีฟังก์ชันวัตถุประสงค์ และข้อจำกัด ดังนี้

วัตถุประสงค์ คือ เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการดำเนินการให้ต่ำที่สุดและลดกำลังไฟฟ้าสูญเสีย รวมถึงการรักษาระดับของแรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการประกอบไปด้วย ค่าใช้จ่ายรายปีจากกำลังไฟฟ้าสูญเสียของระบบจำหน่ายไฟฟ้า ค่าใช้จ่ายรายปีจากกำลังไฟฟ้าสูญเสียจากผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า และค่าใช้จ่ายรายปีจากการติดตั้งชุดตัวเก็บประจุไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า ค่าใช้จ่ายทั้งหมดดังกล่าวข้างต้นสามารถแสดงได้โดยสมการที่ (3.7)

$$\text{Min. } Cost_{total} = K_p (E_{loss,PS} + E_{loss,EV}) + \sum_{i=1}^{NQ} K_{C,i} Q_{M \text{ var},i} \quad (3.7)$$

โดยที่ $Cost_{total}$ คือ ค่าใช้จ่ายทั้งหมดหรือค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ (บาท/ปี)

$E_{loss,PS}$ คือ พลังงานไฟฟ้าสูญเสียของระบบจำหน่ายไฟฟ้าโดยที่ไม่มีรถยนต์ไฟฟ้าในหนึ่งปี (MWh)

- $E_{loss, EV}$ คือ พลังงานไฟฟ้าสูญเสียจากผลการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าในหนึ่งปี (MWh)
- K_p คือ ราคาไฟฟ้าหรือ EP (87.7 \$/MWh)
- $Q_{Mvar, I}$ คือ ขนาดของชุดตัวเก็บประจุ (Mvar)
- $K_{C, I}$ คือ หน่วยของค่าใช้จ่ายสำหรับติดตั้งชุดตัวเก็บประจุไฟฟ้า (\$/Mvar)
- NQ คือ จำนวนโหนดในระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่ติดตั้งชุดตัวเก็บประจุไฟฟ้า

มาตรฐานของระดับแรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า โดยกำหนดให้ระดับแรงดันไฟฟ้าต่ำสุดและสูงสุด คือ 0.95 และ 1.05 เปรอ์ยูนิต ตามลำดับ และสำหรับค่าชดเชยกำลังรีแอกทีฟสามารถแสดงได้โดยสมการที่ (3.8) และสมการที่ (3.9) ตามลำดับ

$$V_{\min} \leq V_p \leq V_{\max} \quad (3.8)$$

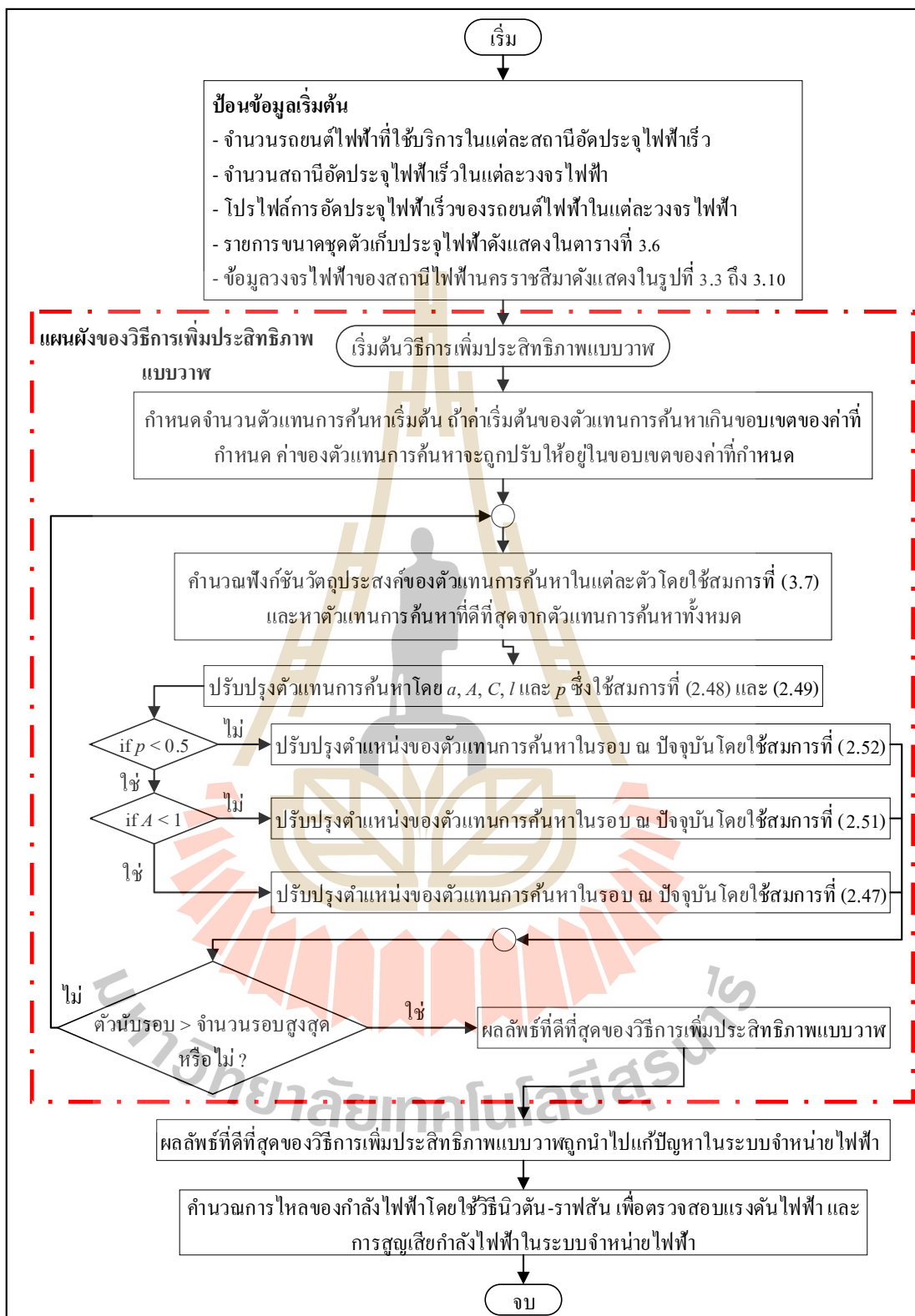
$$Q_{base} - \sum_{i=1}^{NQ} Q_{Mvar, i} \geq 0 \quad (3.9)$$

- โดยที่ V_p คือ ระดับแรงดันไฟฟ้าที่โหนด p ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า (p.u.)
- V_{\min} คือ ระดับแรงดันไฟฟ้าต่ำสุดในระบบจำหน่ายไฟฟ้า (p.u.)
- V_{\max} คือ ระดับแรงดันไฟฟ้าสูงสุดในระบบจำหน่ายไฟฟ้า (p.u.)
- Q_{base} คือ ค่าฐานของกำลังรีแอกทีฟในระบบจำหน่ายไฟฟ้า (Mvar)

ตารางที่ 3.6 ขนาดของชุดตัวเก็บประจุและค่าใช้จ่าย (บาท/Mvar) (Baghzouz et al., 1990)

ขนาดชุดตัวเก็บประจุ (Mvar)	0.15	0.30	0.45	0.60	0.75	0.90	1.05
ค่าใช้จ่าย (บาท/Mvar)	16,420	11,494	8,309	7,225	9,064	6,010	7,488
ขนาดชุดตัวเก็บประจุ (Mvar)	1.20	1.35	1.50	1.65	1.80	1.95	2.10
ค่าใช้จ่าย (บาท/Mvar)	5,583	6,798	6,601	6,338	6,141	6,929	5,780
ขนาดชุดตัวเก็บประจุ (Mvar)	2.25	2.40	2.55	2.70	2.85	3.00	3.15
ค่าใช้จ่าย (บาท/Mvar)	6,469	5,583	6,207	6,141	6,010	5,911	6,404
ขนาดชุดตัวเก็บประจุ (Mvar)	3.30	3.45	3.60	3.75	3.90	4.05	-
ค่าใช้จ่าย (บาท/Mvar)	5,714	6,174	5,583	6,010	5,977	5,878	-

(1 ดอลลาร์สหรัฐ เท่ากับ 32.84 บาท)



รูปที่ 3.15 วิธีการหาค่าเหมาะที่สุดและขนาดที่เหมาะสมที่สุดของชุดตัวเก็บประจุในระบบจำหน่ายไฟฟ้าโดยใช้วิธีการเพิ่มประสิทธิภาพแบบวาพ

การตั้งค่าพารามิเตอร์สำหรับการใช้วิธีการเพิ่มประสิทธิภาพแบบวาฟในการแก้ปัญหาข้างต้น งานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้ได้ทดสอบซ้ำหลาย ๆ ครั้ง เพื่อปรับเปลี่ยนตั้งค่าพารามิเตอร์จนได้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับปัญหาหรือให้มีความแม่นยำและเที่ยงตรงในการหาผลเฉลยของปัญหา ดังนั้น จะได้ พารามิเตอร์สำหรับการใช้วิธีการเพิ่มประสิทธิภาพแบบวาฟในการแก้ปัญหาข้างต้น คือ จำนวนประชากร 20 ชุด และจำนวนรอบสูงสุด 50 รอบ

เนื่องจากการยกระดับแรงดันไฟฟ้าด้วยชุดตัวเก็บประจุในระบบจำหน่ายไฟฟ้า ทำให้คุณภาพของการจ่ายไฟฟ้าของระบบจำหน่ายไฟฟ้าดีขึ้น คือ สามารถลดกำลังไฟฟ้าสูญเสีย การรักษาระดับของแรงดันไฟฟ้า และความสามารถในการรับโหลดทางไฟฟ้าเพิ่มขึ้น แต่ไม่สามารถลดการบริโภคพลังงานไฟฟ้าจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในช่วงโหลดสูงสุดของระบบจำหน่ายไฟฟ้าได้ ดังนั้น งานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้จึงได้เสนอกฤษฎีการจัดการการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าโดยใช้วิธีการควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิกเพื่อลดขนาดโหลดสูงสุดจากการบริโภคพลังงานไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า โดยรายละเอียดจะแสดงในหัวข้อถัดไป

3.5.2 กฤษฎีการจัดการการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าโดยใช้วิธีการควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิก

การอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าจำเป็นต้องบริโภคพลังงานขนาดใหญ่เพื่อความรวดเร็วในการอัดประจุไฟฟ้า ดังนั้น งานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้เสนอกฤษฎีการจัดการการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าโดยใช้วิธีการควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิกดังที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 เข้ามาควบคุมการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าที่เข้ามาใช้บริการอัดประจุไฟฟ้าเร็วที่สถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว โดยรายละเอียดการดำเนินการในแต่ละขั้นตอนของวิธีการควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิกมีดังต่อไปนี้

1. กำหนดข้อกำหนดของระบบ

วัตถุประสงค์ คือ เพื่อลดขนาดโหลดสูงสุดจากการบริโภคพลังงานไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

ข้อจำกัด คือ สถานะของแบตเตอรี่ของรถยนต์ไฟฟ้าที่กำลังอัดประจุไฟฟ้าต้องมีสถานะของแบตเตอรี่เต็มก่อนที่รถยนต์ไฟฟ้าคันถัดไปที่จะเข้ามาใช้บริการที่หัวอัดประจุไฟฟ้าเดียวกันในสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว

การดำเนินการ คือ การควบคุมขนาดกำลังไฟฟ้าที่อัดประจุไฟฟ้าให้กับรถยนต์ไฟฟ้าที่สถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว

งานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้พิจารณาวัตถุประสงค์ ข้อจำกัด และการดำเนินการ ซึ่งถูกดำเนินการภายในกลยุทธ์การควบคุม โดยมีเป้าหมาย คือ ควบคุมขนาดกำลังไฟฟ้าที่อัดประจุไฟฟ้าให้กับรถยนต์ไฟฟ้าที่สถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วเพื่อลดขนาดโหลดสูงสุดจากการบริโภคพลังงานไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า และสถานะของแบตเตอรี่ของรถยนต์ไฟฟ้าที่กำลังอัดประจุไฟฟ้าต้องมีสถานะของแบตเตอรี่เต็มก่อนที่รถยนต์ไฟฟ้าคันถัดไปที่จะเข้ามาใช้บริการที่หัวอัดประจุไฟฟ้าเดียวกันในสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว

2. กำหนดตัวแปรอินพุตและเอาต์พุต

การกำหนดโครงสร้างของกลยุทธ์การควบคุมโดยการกำหนดตัวแปรอินพุตและเอาต์พุต งานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้ได้กำหนดตัวแปรอินพุตทั้งหมด 2 ตัว และตัวแปรเอาต์พุต 1 ตัว ดังนี้

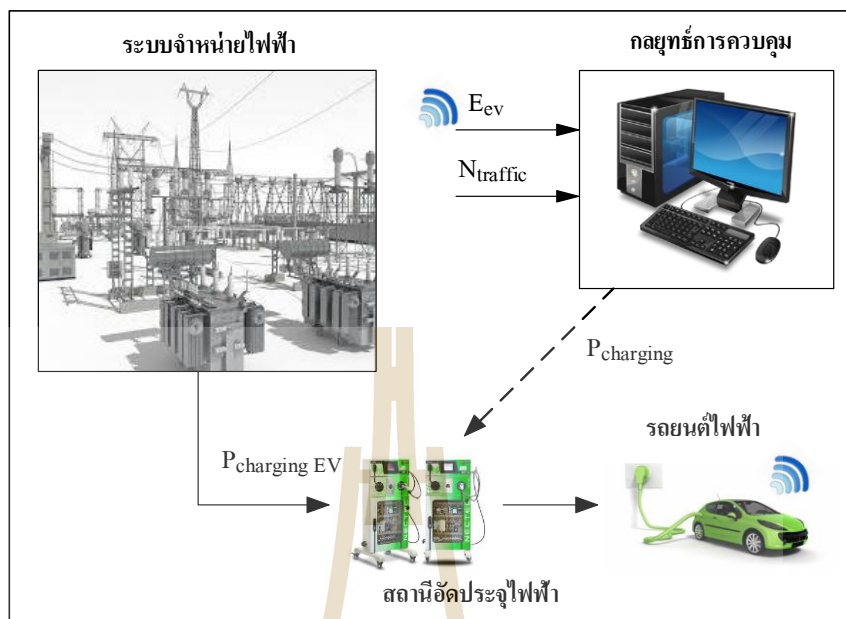
ตัวแปรอินพุตที่ 1 คือ ขนาดพลังงานไฟฟ้าที่ต้องอัดประจุไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าที่สถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว (E_{ev}) ที่ได้จากวิธีการประเมินการบริโภคพลังงานไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าในเขตอำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 3.4

ตัวแปรอินพุตที่ 2 คือ จำนวนรถยนต์ไฟฟ้า ($N_{traffic}$) ที่จะเข้ามาใช้บริการอัดประจุไฟฟ้าที่สถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วในเวลา 20 นาทีข้างหน้าที่ได้ประเมินไว้ล่วงหน้าจากวิธีการประเมินการบริโภคพลังงานไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าในเขตอำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 3.4

ตัวแปรเอาต์พุต คือ ขนาดกำลังไฟฟ้าที่ถูกส่งจ่ายให้กับรถยนต์ไฟฟ้าในขณะอัดประจุไฟฟ้า ($P_{charging}$)

ดังนั้น ค่าของ E_{ev} ประมาณ โดยการรวมขนาดกำลังไฟฟ้าที่ถูกส่งจ่ายให้กับรถยนต์ไฟฟ้าในขณะอัดประจุไฟฟ้าเร็ว ($P_{charging}$) ซึ่งโครงสร้างของกลยุทธ์การควบคุมแสดงดังในรูปที่

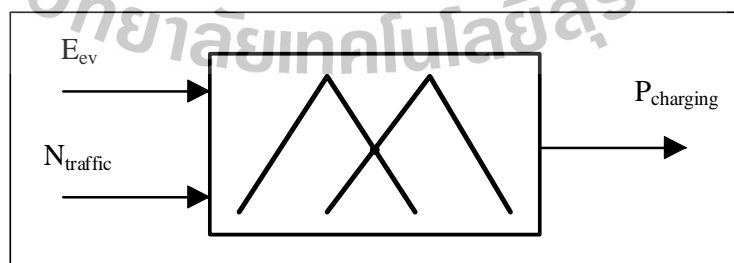
3.16



รูปที่ 3.16 โครงสร้างของกลยุทธ์การควบคุมการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้า

3. กำหนดโครงสร้างของระบบพีซซีลอจิก

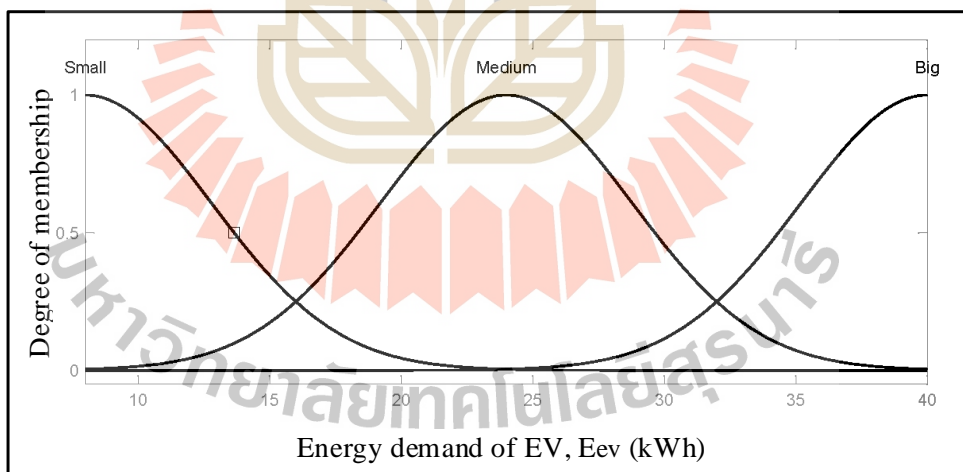
โครงสร้างของระบบพีซซีลอจิกเป็นการแสดงส่วนประกอบของระบบพีซซีลอจิกที่ใช้เพื่อควบคุมขนาดกำลังไฟฟ้าที่ถูกส่งจ่ายให้กับรถยนต์ไฟฟ้าในขณะอัดประจุไฟฟ้า ($P_{charging}$) ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดพลังงานไฟฟ้าที่ต้องอัดประจุไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าที่สถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว (E_{ev}) และจำนวนรถยนต์ไฟฟ้า ($N_{traffic}$) ที่จะเข้ามาใช้บริการอัดประจุไฟฟ้าที่สถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วในเวลา 20 นาทีข้างหน้าที่ได้ประเมินไว้ล่วงหน้า ซึ่งโครงสร้างของระบบพีซซีลอจิกแสดงดังในรูปที่ 3.17



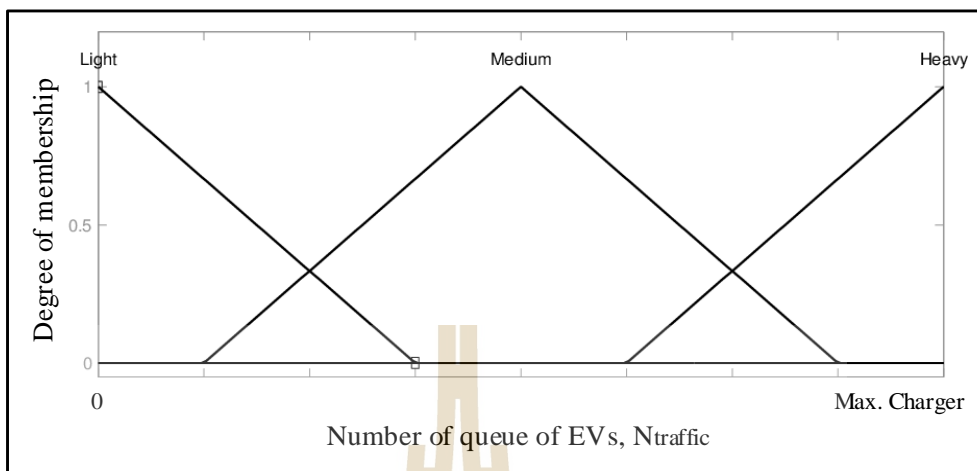
รูปที่ 3.17 โครงสร้างของระบบพีซซีลอจิกสำหรับการควบคุมการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้า

4. กำหนดโครงสร้างของตัวแปรอินพุตและเอาต์พุตในระบบฟัซซี่ลอจิก

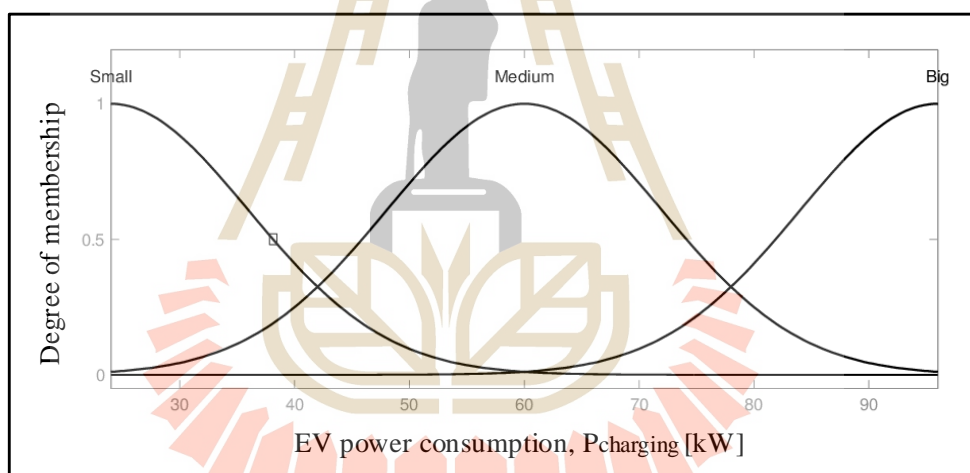
โครงสร้างของตัวแปรอินพุตถูกกำหนดเพื่อการประเมินถึงผลลัพธ์ที่จะเกิดขึ้นได้ สำหรับขนาดกำลังไฟฟ้าที่ถูกส่งจ่ายให้กับรถยนต์ไฟฟ้าในขณะอัดประจุไฟฟ้า ($P_{charging}$) ซึ่งโครงสร้างของตัวแปรอินพุตและเอาต์พุตหรือชุดฟัซซี่ของแต่ละตัวแปรเป็นการแสดงสถานะของแต่ละตัวแปรดังแสดงในรูปที่ 3.18 ถึงรูปที่ 3.20 โดยที่ตัวแปร E_{ev} มี 3 สถานะ แสดงเป็นขนาดพลังงานไฟฟ้าที่ต้องอัดประจุไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าที่สถานีอัดประจุไฟฟ้า ได้แก่ เล็ก (Small) กลาง (Medium) และใหญ่ (Big) ในทำนองเดียวกัน ตัวแปร $N_{traffic}$ มี 3 สถานะ แสดงความหนาแน่นของจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าที่จะเข้ามาใช้บริการอัดประจุไฟฟ้าที่สถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วในเวลา 20 นาทีข้างหน้าที่ได้ประเมินไว้ล่วงหน้า ได้แก่ เล็กน้อย (Light) ปานกลาง (Medium) และหนาแน่น (Heavy) นอกจากนี้ ตัวแปรเอาต์พุต $P_{charging}$ แสดงเป็นขนาดกำลังไฟฟ้าที่ถูกส่งจ่ายให้กับรถยนต์ไฟฟ้าในขณะอัดประจุไฟฟ้าสามารถเป็นได้ 3 สถานะ ได้แก่ เล็ก (Small) กลาง (Medium) และใหญ่ (Big) จากรูปที่ 3.18 และรูปที่ 3.20 ฟังก์ชันสมาชิกแบบเกาส์ (Gaussian membership functions) ถูกใช้เพื่อแสดงโครงสร้างของตัวแปร $P_{charging}$ และ E_{ev} ในระบบฟัซซี่ลอจิก และรูปที่ 3.19 ฟังก์ชันสมาชิกรูปสามเหลี่ยม (Triangular membership function) ถูกใช้เพื่อแสดงโครงสร้างของตัวแปร $N_{traffic}$ ในระบบฟัซซี่ลอจิก



รูปที่ 3.18 โครงสร้างของตัวแปรอินพุต E_{ev} ในระบบฟัซซี่ลอจิก



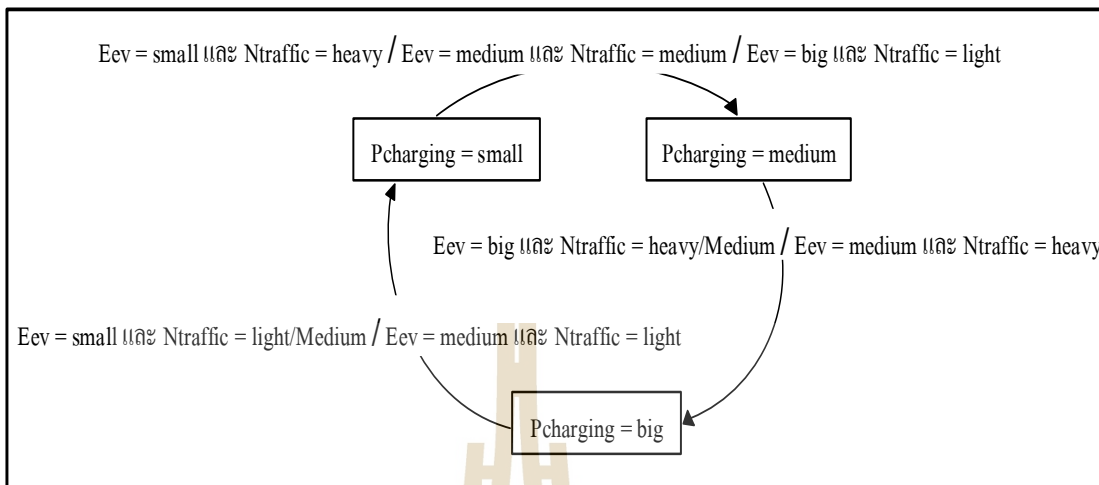
รูปที่ 3.19 โครงสร้างของตัวแปรอินพุต $N_{traffic}$ ในระบบฟัซซี่ลอจิก



รูปที่ 3.20 โครงสร้างของตัวแปรเอาต์พุต $P_{charging}$ ในระบบฟัซซี่ลอจิก

5. กำหนดกราฟการดำเนินการเป็นการออกแบบลักษณะการดำเนินการของระบบฟัซซี่ลอจิก

โครงสร้างของตัวแปรอินพุตหรือชุดฟัซซี่ของตัวแปรอินพุตถูกนำไปกำหนดโหมดการทำงาน ดังนั้น กราฟการดำเนินการดังแสดงในรูปที่ 3.21 เป็นการแสดงโหมดการทำงานของระบบฟัซซี่ลอจิก ซึ่งได้รับจากการออกแบบโดยผู้เขียนในงานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้



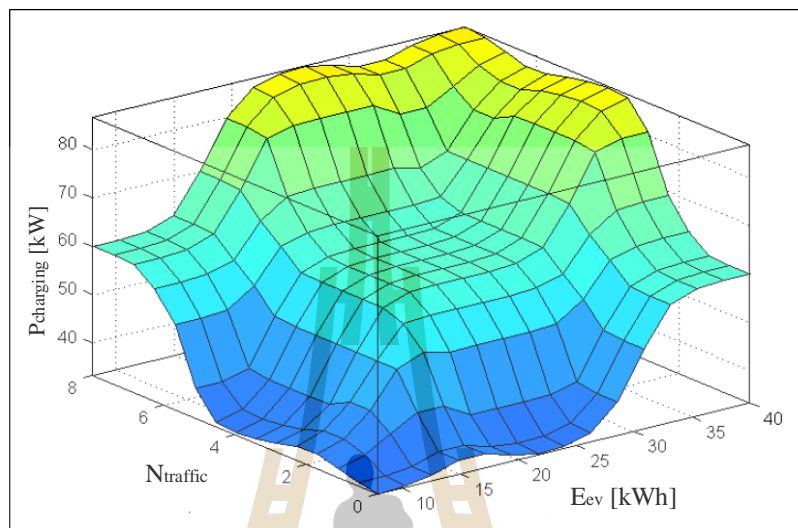
รูปที่ 3.21 การดำเนินการของระบบฟิวส์ลอจิก

6. การเปลี่ยนการดำเนินการที่ได้จากการออกแบบไปเป็นกฎของระบบฟิวส์ลอจิก
 การเปลี่ยนการดำเนินการของระบบฟิวส์ลอจิก (ดังรูปที่ 3.21) ไปเป็นกฎของระบบฟิวส์ลอจิกแสดงได้ดังต่อไปนี้

ถ้า $E_{ev} = \text{big}$ และ $N_{traffic} = \text{heavy}$	แล้ว	$P_{charging} = \text{big}$
ถ้า $E_{ev} = \text{big}$ และ $N_{traffic} = \text{medium}$	แล้ว	$P_{charging} = \text{big}$
ถ้า $E_{ev} = \text{big}$ และ $N_{traffic} = \text{light}$	แล้ว	$P_{charging} = \text{medium}$
ถ้า $E_{ev} = \text{medium}$ และ $N_{traffic} = \text{heavy}$	แล้ว	$P_{charging} = \text{big}$
ถ้า $E_{ev} = \text{medium}$ และ $N_{traffic} = \text{medium}$	แล้ว	$P_{charging} = \text{medium}$
ถ้า $E_{ev} = \text{medium}$ และ $N_{traffic} = \text{light}$	แล้ว	$P_{charging} = \text{small}$
ถ้า $E_{ev} = \text{small}$ และ $N_{traffic} = \text{heavy}$	แล้ว	$P_{charging} = \text{medium}$
ถ้า $E_{ev} = \text{small}$ และ $N_{traffic} = \text{medium}$	แล้ว	$P_{charging} = \text{small}$
ถ้า $E_{ev} = \text{small}$ และ $N_{traffic} = \text{light}$	แล้ว	$P_{charging} = \text{small}$

กฎของระบบฟิวส์ลอจิกที่ได้จากการออกแบบ ดังนั้น การประเมินถึงผลลัพธ์ที่จะเกิดได้สำหรับขนาดกำลังไฟฟ้าที่ถูกส่งจ่ายให้กับรถยนต์ไฟฟ้าในขณะที่อัตราประจุไฟฟ้า ($P_{charging}$) ของกลยุทธ์การควบคุมการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าสามารถประเมินได้และผลลัพธ์แสดงดัง

ในรูปที่ 3.22 เป็นการแสดงลักษณะพื้นผิวของระบบพีชชีลลจิก ซึ่งได้จากการจำลองโดยระบบการอนุมาน ระบบการอนุมานเป็นการประมวลผลจากการดำเนินการของระบบพีชชีลลจิก



รูปที่ 3.22 ลักษณะพื้นผิวของระบบพีชชีลลจิก

7. กำหนดตัวชี้วัดเพื่อให้สามารถประเมินถึงความสำเร็จของวัตถุประสงค์

จากการกำหนดข้อกำหนดของระบบสำหรับการควบคุมขนาดกำลังไฟฟ้าที่ถูกส่งจ่ายให้กับรถยนต์ไฟฟ้าในขณะอัดประจุไฟฟ้า ($P_{charging}$) ที่มีวัตถุประสงค์เพื่อลดขนาดโหลดสูงสุดจากการบริโภคพลังงานไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า โดยมี 2 ตัวชี้วัดเพื่อให้สามารถประเมินถึงความสำเร็จของวัตถุประสงค์ ได้แก่ ขนาดพลังงานไฟฟ้าที่ต้องอัดประจุไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าที่สถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว (E_{ev}) และสถานะของแบตเตอรี่ของรถยนต์ไฟฟ้าที่กำลังอัดประจุไฟฟ้าต้องมีสถานะของแบตเตอรี่เต็มก่อนที่รถยนต์ไฟฟ้าคันถัดไปที่จะเข้ามาใช้บริการที่หัวอัดประจุไฟฟ้าเดียวกันในสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว

3.6 สรุป

การศึกษาความเป็นไปได้ของการนำรถยนต์ไฟฟ้าเข้ามาใช้ในเขตอำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา จำเป็นต้องมีการศึกษาเกี่ยวกับลักษณะการอัดประจุไฟฟ้าแบบปกติและเร็วของรถยนต์ไฟฟ้า ซึ่งในบทนี้ได้อธิบายถึงวิธีการกำหนดพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองลักษณะการอัดประจุไฟฟ้าแบบปกติและเร็วของรถยนต์ไฟฟ้า และเพื่อรองรับจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าที่จะเพิ่มขึ้นในอนาคตสำหรับจำนวนสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว ในบทนี้ได้กำหนดตำแหน่งสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว

ในสถานบริการน้ำมันที่มีในเขตอำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา สถานีอัดประจุไฟฟ้าถูกติดตั้งบน โหนดของวงจรไฟฟ้าที่มีตำแหน่งใกล้ที่สุด การกำหนดขนาดของแต่ละสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว ขึ้นอยู่กับจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าที่เข้าใช้บริการในแต่ละสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วเพื่อให้มีจำนวนหัว อัดประจุไฟฟ้าที่เพียงพอในการให้บริการการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้า การศึกษา ผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าเป็นการศึกษาพฤติกรรมของผู้ใช้รถยนต์ ไฟฟ้าเพื่อนำมาสร้างโปรไฟล์การอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า ผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในระบบจำหน่ายไฟฟ้าเป็นสิ่งที่ไม่ สามารถหลีกเลี่ยงได้ จึงจำเป็นต้องมีการวางแผนเพื่อบรรเทาผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็ว ของรถยนต์ไฟฟ้าที่อาจจะเกิดขึ้นในระบบจำหน่ายไฟฟ้า โดยในบทนี้ได้เสนอวิธีการยกระดับ แรงดันไฟฟ้าด้วยชุดตัวเก็บประจุในระบบจำหน่ายไฟฟ้า รวมถึงกลยุทธ์การจัดการการอัดประจุ ไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าโดยใช้วิธีการควบคุมแบบพีซีซีลอจิก เพื่อช่วยใน การลดผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า โดย ผลการวิจัยหรือผลการจำลองได้แสดงไว้ในบทถัดไป

บทที่ 4

ผลการวิจัย

4.1 กล่าวนำ

จากบทที่ 3 งานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้ได้ออกแบบพารามิเตอร์เพื่อศึกษาลักษณะการอัดประจุไฟฟ้าแบบปกติและเร็วของรถยนต์ไฟฟ้า ออกแบบตำแหน่งและขนาดของสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วในเขตอำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา และเสนอวิธีการประเมินการบริโภคพลังงานไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าเพื่อศึกษาผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า รวมถึงเสนอแนวทางการบรรเทาผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า ได้แก่ การยกระดับแรงดันไฟฟ้าด้วยชุดตัวเก็บประจุในระบบจำหน่ายไฟฟ้า และเสนอกกลยุทธ์การจัดการการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าโดยใช้วิธีการควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิก ดังนั้น ในบทนี้จะแสดงผลการวิจัยหรือผลการจำลองที่ได้จากวิธีดำเนินการวิจัยในบทที่ 3 ดังต่อไปนี้

4.2 ผลการจำลองลักษณะการอัดประจุไฟฟ้าแบบปกติและเร็วของรถยนต์ไฟฟ้า

การศึกษาลักษณะการอัดประจุไฟฟ้าแบบปกติและเร็วของรถยนต์ไฟฟ้า ใช้ข้อมูลรถยนต์ไฟฟ้า Nissan Leaf 38 kWh โดยพารามิเตอร์ที่ใช้ในการศึกษาลักษณะการอัดประจุไฟฟ้าแบบปกติและเร็ว ได้รับการออกแบบพารามิเตอร์ดังแสดงในหัวข้อที่ 3.2 ตามลักษณะทั่วไปของการอัดประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนดังที่อธิบายมาแล้วในหัวข้อที่ 2.2.2 และใช้ข้อมูลการอัดประจุไฟฟ้าแบบปกติและเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าที่ได้จากโรงงานผู้ผลิตรถยนต์ไฟฟ้าดังแสดงใน (Electric Vehicle Database, 2018) โดยผลการจำลองสำหรับการศึกษาลักษณะการอัดประจุไฟฟ้าแบบปกติและเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าจะแสดงรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.2.1 การอัดประจุไฟฟ้าแบบปกติ

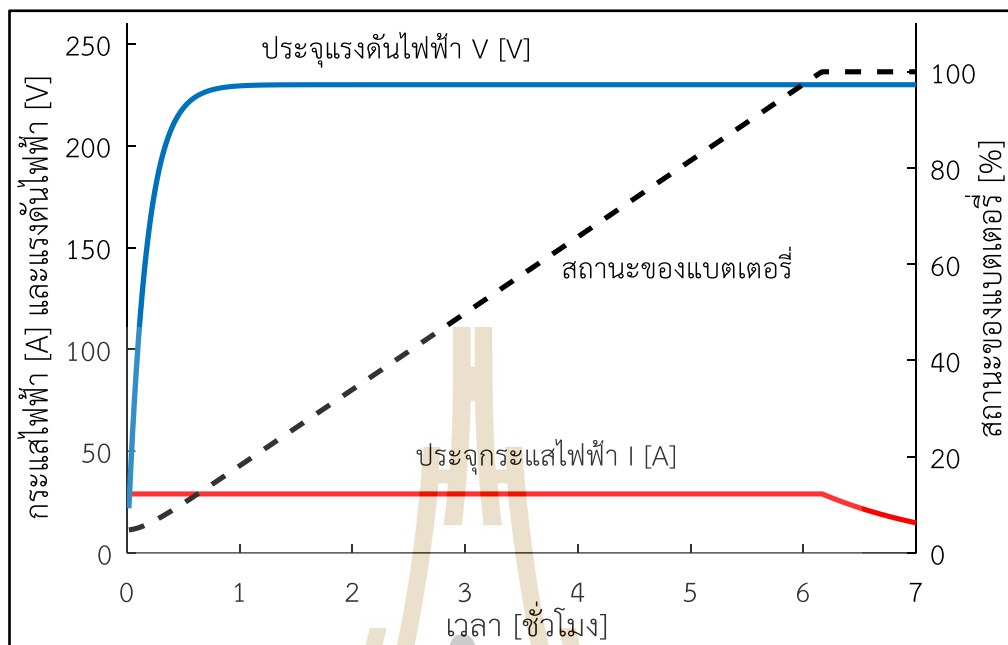
การศึกษาลักษณะการอัดประจุไฟฟ้าแบบปกติของรถยนต์ไฟฟ้า ใช้ข้อมูลรถยนต์ไฟฟ้า Nissan Leaf 38 kWh ที่มีเวลาในการอัดประจุไฟฟ้าแบบปกติประมาณ 7 ชั่วโมง สำหรับสถานะของแบตเตอรี่ในรถยนต์ไฟฟ้าเริ่มต้นที่ 0 จนถึง 100% และการกำหนดพารามิเตอร์ได้อธิบาย

ไว้ในหัวข้อที่ 3.2 ดังนั้น ผลการจำลองลักษณะการอัดประจุไฟฟ้าแบบปกติของรถยนต์ไฟฟ้าที่มีลักษณะการอัดประจุไฟฟ้าตามลักษณะทั่วไปของการอัดประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน ดังที่อธิบายมาแล้วในหัวข้อที่ 2.2.2 ผลการจำลองดังแสดงในรูปที่ 4.1 และรูปที่ 4.2 โดยรูปที่ 4.1 แสดงลักษณะการอัดประจุของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าในขณะอัดประจุไฟฟ้าแบบปกติให้กับแบตเตอรี่ในรถยนต์ไฟฟ้าตามลักษณะทั่วไปของการอัดประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนดังที่อธิบายมาแล้วในหัวข้อที่ 2.2.2 ส่วนรูปที่ 4.2 แสดงลักษณะกำลังไฟฟ้าในขณะอัดประจุไฟฟ้าแบบปกติให้กับแบตเตอรี่ในรถยนต์ไฟฟ้าตามสมการที่ (2.5)

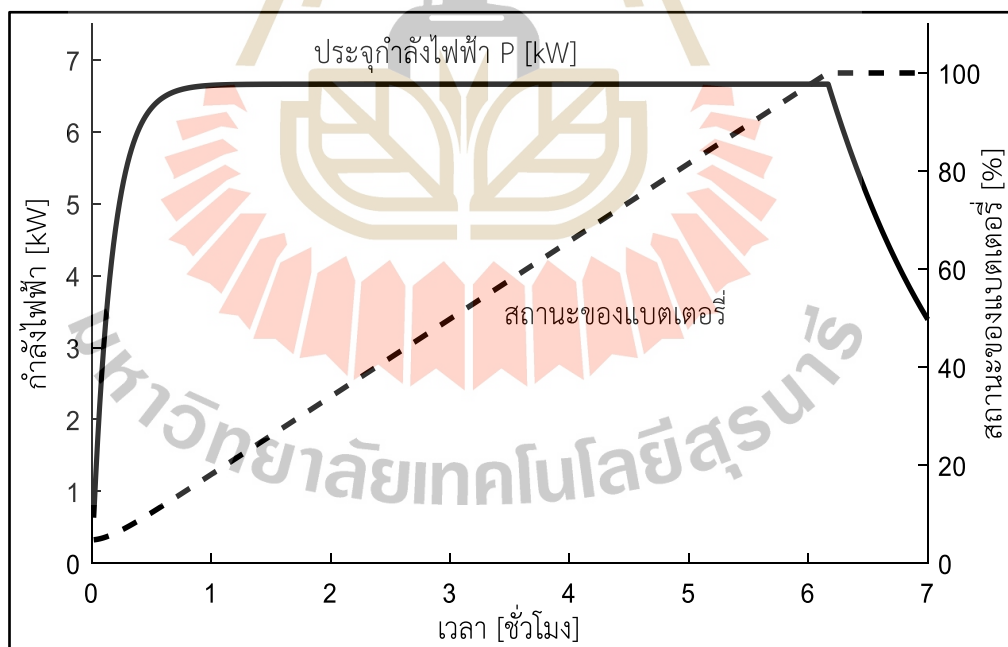
4.2.2 การอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็ว

การศึกษาลักษณะการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้า ใช้ข้อมูลรถยนต์ไฟฟ้า Nissan Leaf 38 kWh ที่มีเวลาในการอัดประจุไฟฟ้าเร็วประมาณ 40 นาที สำหรับสถานะของแบตเตอรี่ในรถยนต์ไฟฟ้าเริ่มต้นที่ 10 จนถึง 80-90% และการกำหนดพารามิเตอร์ได้ถูกอธิบายไว้ในหัวข้อที่ 3.2 ดังนั้น ผลการจำลองลักษณะการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าที่มีลักษณะการอัดประจุไฟฟ้าตามลักษณะทั่วไปของการอัดประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนดังที่อธิบายมาแล้วในหัวข้อที่ 2.2.2 ผลการจำลองดังแสดงในรูปที่ 4.3 และรูปที่ 4.4 โดยรูปที่ 4.3 แสดงลักษณะการอัดประจุของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าในขณะอัดประจุไฟฟ้าเร็วให้กับแบตเตอรี่ในรถยนต์ไฟฟ้าตามลักษณะทั่วไปของการอัดประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนดังที่อธิบายมาแล้วในหัวข้อที่ 2.2.2 ส่วนรูปที่ 4.4 แสดงลักษณะกำลังไฟฟ้าในขณะอัดประจุไฟฟ้าเร็วให้กับแบตเตอรี่ในรถยนต์ไฟฟ้าตามสมการที่ (2.5)

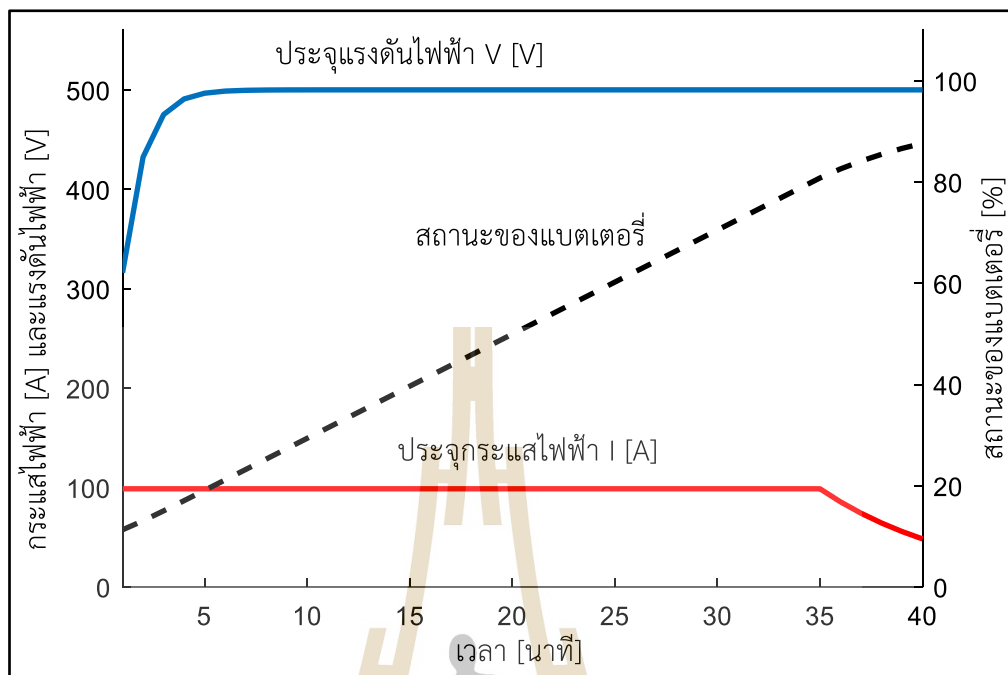
สำหรับการศึกษาลักษณะการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของหัวอัดประจุไฟฟ้าที่มีกำลังไฟฟ้าคงที่ขนาด 96 kW ที่มีแรงดันไฟฟ้าเท่ากับ $500 V_{DC}$ โดยใช้ข้อมูลรถยนต์ไฟฟ้า Nissan Leaf 38 kWh สำหรับสถานะของแบตเตอรี่ในรถยนต์ไฟฟ้าเริ่มต้นที่ 10 จนถึง 80% ใช้เวลาในการอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็วประมาณ 17.5 นาที ตามสมการที่ (2.11) และการกำหนดพารามิเตอร์ได้ถูกอธิบายไว้ในหัวข้อที่ 3.2 ดังนั้น ผลการจำลองลักษณะการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าสำหรับหัวอัดประจุไฟฟ้าที่มีกำลังไฟฟ้าคงที่ขนาด 96 kW ดังแสดงในรูปที่ 4.5 และรูปที่ 4.6 โดยในรูปที่ 4.5 แสดงลักษณะการอัดประจุของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าคงที่ในขณะอัดประจุไฟฟ้าเร็วให้กับแบตเตอรี่ในรถยนต์ไฟฟ้า ส่วนรูปที่ 4.6 แสดงลักษณะกำลังไฟฟ้าสำหรับหัวอัดประจุไฟฟ้าที่มีกำลังไฟฟ้าคงที่ขนาด 96 kW ในขณะอัดประจุไฟฟ้าเร็วให้กับแบตเตอรี่ในรถยนต์ไฟฟ้า



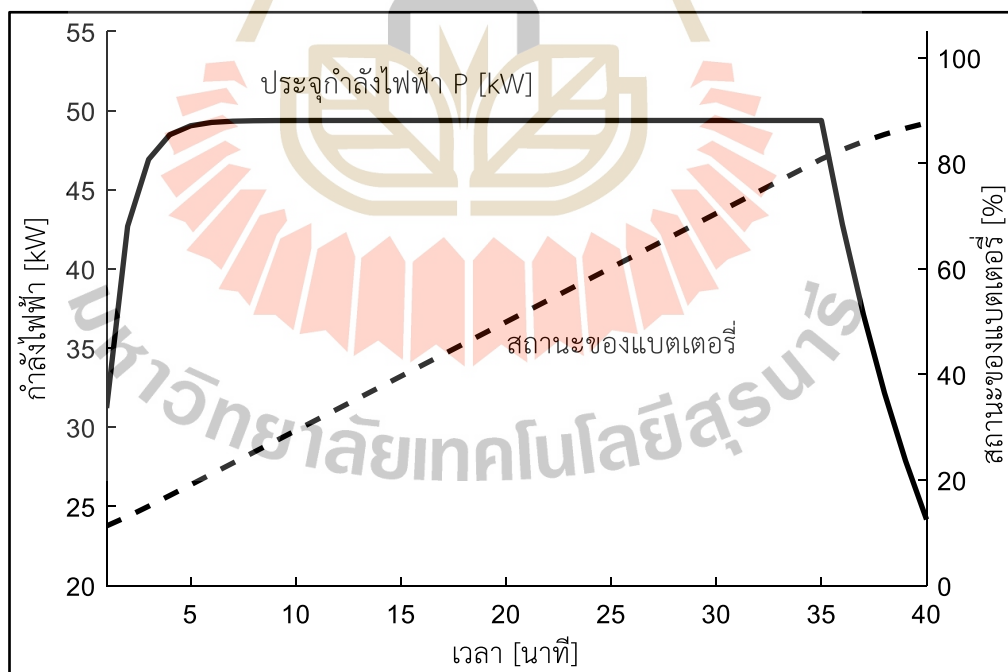
รูปที่ 4.1 ลักษณะการอัดประจุของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าแบบปกติ



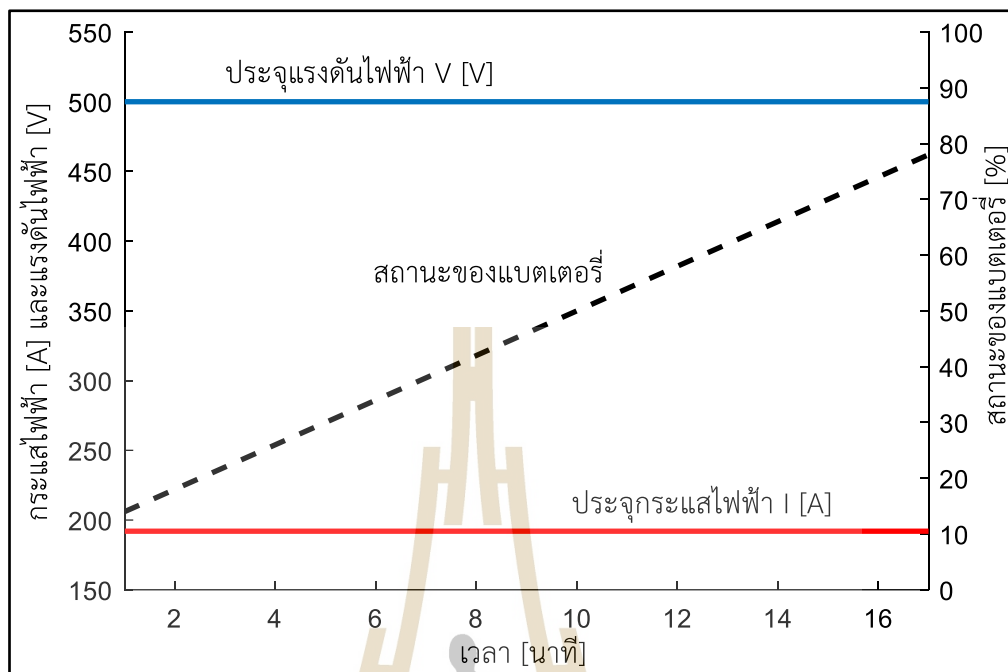
รูปที่ 4.2 ลักษณะกำลังไฟฟ้าในขณะอัดประจุไฟฟ้าแบบปกติให้กับแบตเตอรี่ในรถยนต์ไฟฟ้า



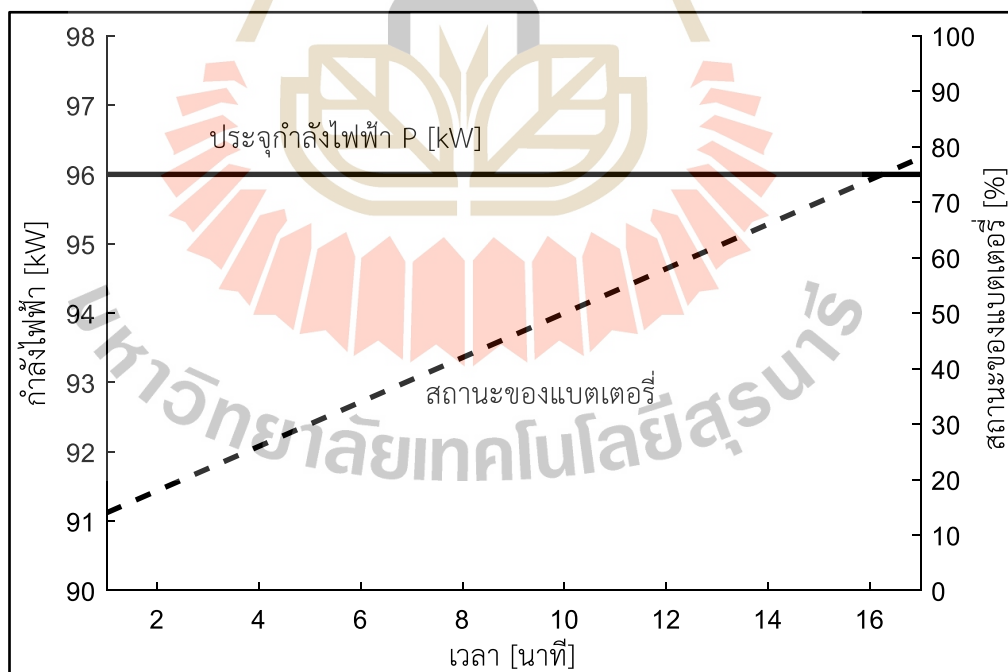
รูปที่ 4.3 ลักษณะการอัดประจุของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าแบบเร็ว



รูปที่ 4.4 ลักษณะกำลังไฟฟ้าในขณะที่อัดประจุไฟฟ้าเร็วให้กับแบตเตอรี่ในรถยนต์ไฟฟ้า



รูปที่ 4.5 ลักษณะการอัดประจุของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าคงที่แบบเร็ว



รูปที่ 4.6 ลักษณะกำลังไฟฟ้าสำหรับหัวอัดประจุไฟฟ้าที่กำลังไฟฟ้าคงที่ขนาด 96 kW ในขณะอัดประจุไฟฟ้าเร็วให้กับแบตเตอรี่ในรถยนต์ไฟฟ้า

จากรูปที่ 4.1 ถึงรูปที่ 4.6 ผลการจำลองสำหรับการศึกษาลักษณะการอัดประจุไฟฟ้าแบบปกติและเร็วของรถยนต์ไฟฟ้า โดยใช้ข้อมูลรถยนต์ไฟฟ้า Nissan Leaf 38 kWh สามารถสรุปได้ในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 การอัดประจุไฟฟ้าแบบปกติและเร็วของรถยนต์ไฟฟ้า Nissan Leaf 38 kWh

โหมด	ประเภทแรงดันไฟฟ้า	แรงดันนอมิ นอล (V)	กระแสไฟฟ้าที่อัดประจุ (A)	กำลังไฟฟ้า (kW)	เวลาในการอัดประจุไฟฟ้า
ปกติ	AC 1 เฟส	230	29	6.66	7 ชั่วโมง
เร็ว	DC	500	99	49.5	40 นาที
	DC คงที่	500	192	96	17.5 นาที

จากตารางที่ 4.1 การอัดประจุไฟฟ้าแบบปกติของรถยนต์ไฟฟ้าจะใช้ไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส สำหรับหัวอัดประจุไฟฟ้าแบบปกติ ส่วนการอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าจะใช้ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส สำหรับหัวอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็ว การอัดประจุไฟฟ้าแบบปกติและเร็วมีความแตกต่างกันในด้านการใช้ระยะเวลาในการอัดประจุไฟฟ้า ซึ่งเป็นทราบกันดีว่าระยะเวลาในการอัดประจุไฟฟ้าขึ้นอยู่กับขนาดของกำลังไฟฟ้าของหัวอัดประจุไฟฟ้าที่ใช้ในการอัดประจุไฟฟ้าให้กับรถยนต์ไฟฟ้า โดยหัวอัดประจุไฟฟ้าที่มีกำลังไฟฟ้ามากก็จะมีขนาดของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้ามากเช่นเดียวกัน ซึ่งจะใช้เวลาในการอัดประจุไฟฟ้าน้อยกว่าหัวอัดประจุไฟฟ้าที่มีกำลังไฟฟ้าน้อย

หลังจากทราบพื้นฐานเกี่ยวกับลักษณะการอัดประจุไฟฟ้าแบบปกติและเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าแล้ว งานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้มุ่งเน้นไปที่การอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าที่สถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว ซึ่งเป็นการศึกษาผลกระทบของรถยนต์ไฟฟ้าแบบอัดประจุไฟฟ้าเร็วต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้าในเขตอำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา ดังนั้น จึงต้องออกแบบตำแหน่งและขนาดสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วในเขตอำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา เป็นขั้นตอนแรกเพื่อวางแผนการให้บริการการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วให้กับผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้าในระหว่างการเดินทางในเขตอำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา โดยผลการจำลองสำหรับออกแบบตำแหน่งและขนาดสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วในเขตอำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา จะแสดงในหัวข้อถัดไป

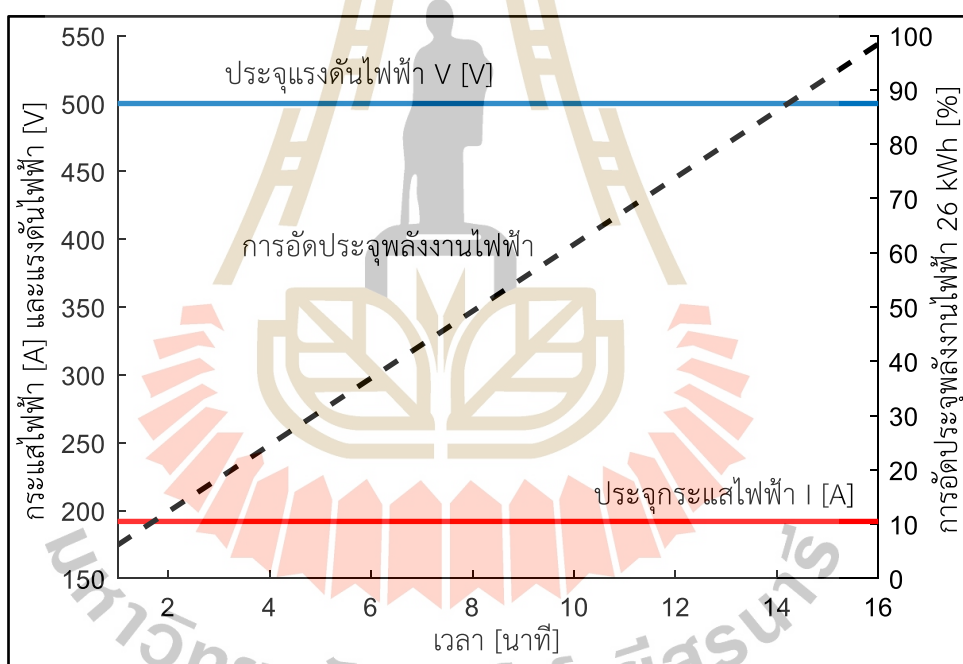
4.3 ตำแหน่งและขนาดของสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วในเขตอำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา

การออกแบบตำแหน่งและขนาดของสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วในเขตอำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา ได้แสดงกระบวนการและขั้นตอนของการออกแบบตำแหน่งและขนาดของสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วดังในหัวข้อที่ 3.3 โดยการออกแบบตำแหน่งของสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วในเขตอำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา ได้แสดงในหัวข้อที่ 3.3.1 ส่วนวิธีการออกแบบขนาดของแต่ละสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วได้แสดงในหัวข้อที่ 3.3.2

การออกแบบขนาดของแต่ละสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วที่ได้อธิบายกระบวนการและขั้นตอนการออกแบบขนาดของแต่ละสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วในหัวข้อที่ 3.3.2 งานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้ใช้รถยนต์ไฟฟ้าที่มีในปี พ.ศ. 2558-2560 ดังแสดงในตารางที่ 2.1 และใช้วิธีการประมาณช่วงความเชื่อมั่น (Confidence Interval) ในการคำนวณหาช่วงความเชื่อมั่นของขนาดพลังงานที่ต้องการอัดประจุไฟฟ้าของผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้า โดยใช้สมการที่ (2.43) โดยที่พารามิเตอร์ n คือ จำนวนยี่ห้อของรถยนต์ไฟฟ้างานแสดงในตารางที่ 2.1 ซึ่งเท่ากับ 14 และสมมติให้รถยนต์ไฟฟ้าต้องเข้าอัดประจุไฟฟ้าเร็วทันทีเมื่อสถานะของแบตเตอรี่เหลือ 25% จนสถานะของแบตเตอรี่เต็ม ดังนั้น x_i คือ ขนาดพลังงานที่ต้องการอัดประจุไฟฟ้าของผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้าในแต่ละยี่ห้อดังแสดงในตารางที่ 2.1 และใช้ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95% ผลการคำนวณจากสมการที่ (2.43) พบว่า ช่วงความเชื่อมั่นของขนาดพลังงานที่ต้องการอัดประจุไฟฟ้าของผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 17.35 ถึง 33.97 kWh หมายความว่า มีความมั่นใจ 95% ที่รถยนต์ไฟฟ้าต้องการขนาดพลังงานในการอัดประจุไฟฟ้าไฟฟ้าเร็วที่สถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วอยู่ระหว่าง 17.35 ถึง 33.97 kWh

งานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้จึงเลือกขนาดพลังงานที่ต้องการอัดประจุไฟฟ้าเร็วให้กับรถยนต์ไฟฟ้าที่สถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วเป็นค่าเฉลี่ยจากช่วงความเชื่อมั่นของขนาดพลังงานที่ต้องการอัดประจุไฟฟ้าของผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้าที่อยู่ระหว่าง 17.35 ถึง 33.97 kWh โดยค่าเฉลี่ยของขนาดพลังงานที่ต้องการอัดประจุไฟฟ้าเร็วให้กับรถยนต์ไฟฟ้าที่สถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วเท่ากับ 26 kWh เนื่องจากขนาดพลังงานที่ต้องการอัดประจุไฟฟ้าเร็วให้กับรถยนต์ไฟฟ้าโดยเฉลี่ย ทำให้ทราบเวลาในการอัดประจุไฟฟ้าโดยเฉลี่ยของแต่ละหัวอัดประจุไฟฟ้าในสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วต่อ 1 ครั้ง และทราบขนาดกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการอัดประจุไฟฟ้าเร็วเพื่อใช้ในการพิจารณาการเลือกขนาดสายส่งจำหน่ายไฟฟ้าสำหรับสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว ดังนั้น จึงต้องจำลองลักษณะการอัดประจุไฟฟ้าเร็วสำหรับขนาดพลังงานที่ต้องการอัดประจุไฟฟ้าเร็วให้กับรถยนต์ไฟฟ้า 26 kWh โดยใช้หัวอัดประจุไฟฟ้าที่มีขนาดกำลังไฟฟ้างานที่ 96 kW ที่มีแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 500 V_{DC} ตามขั้นตอนวิธีการ

จำลองลักษณะการอัดประจุไฟฟ้าแบบปกติและเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าตั้งอธิบายในหัวข้อที่ 3.2 ผลการผลการจำลองลักษณะการอัดประจุไฟฟ้าเร็วสำหรับขนาดพลังงานที่ต้องการอัดประจุไฟฟ้าเร็วให้กับรถยนต์ไฟฟ้า 26 kWh พบว่า ใช้เวลาประมาณ 16 นาที ในการอัดประจุไฟฟ้าเร็วสำหรับขนาดพลังงานที่ต้องการอัดประจุไฟฟ้าเร็วให้กับรถยนต์ไฟฟ้า 26 kWh แสดงว่า แต่ละหัวอัดประจุไฟฟ้าในสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วใช้เวลาในการอัดประจุไฟฟ้าโดยเฉลี่ยประมาณ 16 นาที ต่อ 1 ครั้ง ดังนั้น ภายใน 1 ชั่วโมง หัวอัดประจุไฟฟ้าสามารถให้บริการการอัดประจุไฟฟ้าเร็วได้โดยเฉลี่ยประมาณ 3 ครั้ง และใช้กระแสไฟฟ้าในการอัดประจุไฟฟ้า 192 A ดังแสดงในรูปที่ 4.7 โดยรูปที่ 4.7 แสดงลักษณะการอัดประจุพลังงานไฟฟ้า 26 kWh ให้กับรถยนต์ไฟฟ้า ซึ่งประกอบด้วย ลักษณะการอัดประจุของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าคงที่ในขณะที่อัดประจุไฟฟ้าเร็วให้กับแบตเตอรี่ในรถยนต์ไฟฟ้า



รูปที่ 4.7 กระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าในขณะที่อัดประจุไฟฟ้าเร็วสำหรับพลังงานที่ต้องการอัดประจุไฟฟ้าให้กับรถยนต์ไฟฟ้า 26 kWh

เมื่อพิจารณาการกำหนดพารามิเตอร์ของจำนวนครั้งของหัวอัดประจุไฟฟ้าที่สามารถให้บริการการอัดประจุไฟฟ้าเร็วได้ภายในหนึ่งชั่วโมง เพื่อใช้ในการคำนวณหาจำนวนหัวอัดประจุไฟฟ้าในแต่ละสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วตามสมการที่ (3.4) จากที่ได้กล่าวมาข้างต้น ภายใน 1 ชั่วโมง

หัวอัดประจุไฟฟ้าสามารถให้บริการการอัดประจุไฟฟ้าเร็วได้โดยเฉลี่ยประมาณ 3 ครั้ง ดังนั้นพารามิเตอร์ $N_{service}$ จึงกำหนดให้เท่ากับ 3

ตารางที่ 4.2 ระยะทางที่สามารถเดินทางของรถยนต์ไฟฟ้าหลังจากอัดประจุไฟฟ้า

รถยนต์ไฟฟ้า (ปี พ.ศ. 2558-2560)	ระยะทาง [km]	สถานะแบตเตอรี่เหลือ 25% [km]	อัดประจุไฟฟ้า 1 ครั้ง [km]	รวมระยะทาง [km]
Mitsubishi i-MiEV	100	25.0	75.0	100.0
Smart Electric	110	27.5	82.5	110.0
Chevy Spark EV	130	32.5	97.5	130.0
BMW i3	130	32.5	97.5	130.0
Ford Focus EV	130	32.5	97.0	130.0
Fiat 500e	140	35.0	105.0	140.0
Leaf 24kWh	130	32.5	97.5	130.0
Leaf 30kWh	165	41.2	123.8	165.0
Kia Soul EV	150	37.5	112.5	150.0
Mercedes BClassEV	170	42.5	122.8	165.3
VW eGolf	300	75.0	210.8	285.8
Tesla S 60	340	85.0	147.3	232.3
Tesla model 3	350	87.5	151.7	239.2
Tesla modelS80	450	112.5	146.3	258.8

จากรถยนต์ไฟฟ้าที่มีในปี พ.ศ. 2558-2560 ดังแสดงในตารางที่ 2.1 ถ้าพิจารณารถยนต์ไฟฟ้าหลังจากอัดประจุพลังงานไฟฟ้า 26 kWh ซึ่งเป็นขนาดพลังงานที่ต้องการอัดประจุไฟฟ้าเร็วให้กับรถยนต์ไฟฟ้าที่สถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วโดยเฉลี่ย พบว่า ระยะทางที่สามารถขับขี่รถยนต์ไฟฟ้าหลังจากอัดประจุไฟฟ้าเร็วให้กับรถยนต์ไฟฟ้ามีระยะทางรวมมากกว่า 100 km ดังแสดงในตารางที่ 4.2 ซึ่งเป็นระยะทางที่เพียงพอสำหรับการขับขี่รถยนต์ไฟฟ้าในเมืองและนอกเมือง สำหรับรถยนต์ไฟฟ้าที่มีแบตเตอรี่ขนาดเล็ก เช่น ยี่ห้อ Mitsubishi i-MiEV, Smart Electric, Chevy Spark EV, BMW i3, Ford Focus EV, Fiat 500e และ Leaf 24kWh เป็นต้น การอัดประจุไฟฟ้าเร็วใช้เวลาในการอัดประจุไฟฟ้าจากสถานะของแบตเตอรี่ 25% จนสถานะของแบตเตอรี่เต็มใช้เวลาไม่น้อยกว่า 16 นาที และสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าที่มีแบตเตอรี่ขนาดใหญ่ เช่น ยี่ห้อ VW eGolf, Tesla S 60, Tesla Model 3 และ Tesla ModelS80 เป็นต้น การอัดประจุไฟฟ้า 1 ครั้ง สำหรับพลังงานไฟฟ้า 26 kWh ใช้ระยะเวลาในการอัดประจุไฟฟ้า 16 นาที ทำให้อัตราการอัดประจุไฟฟ้าเหล่านี้มีระยะทางการเดินทางได้

มากกว่า 230 km แต่ถ้าผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้าบางรายต้องการให้สถานะของแบตเตอรี่เต็มต้องอัดประจุไฟฟ้าโดยใช้เวลามากกว่า 16 นาที

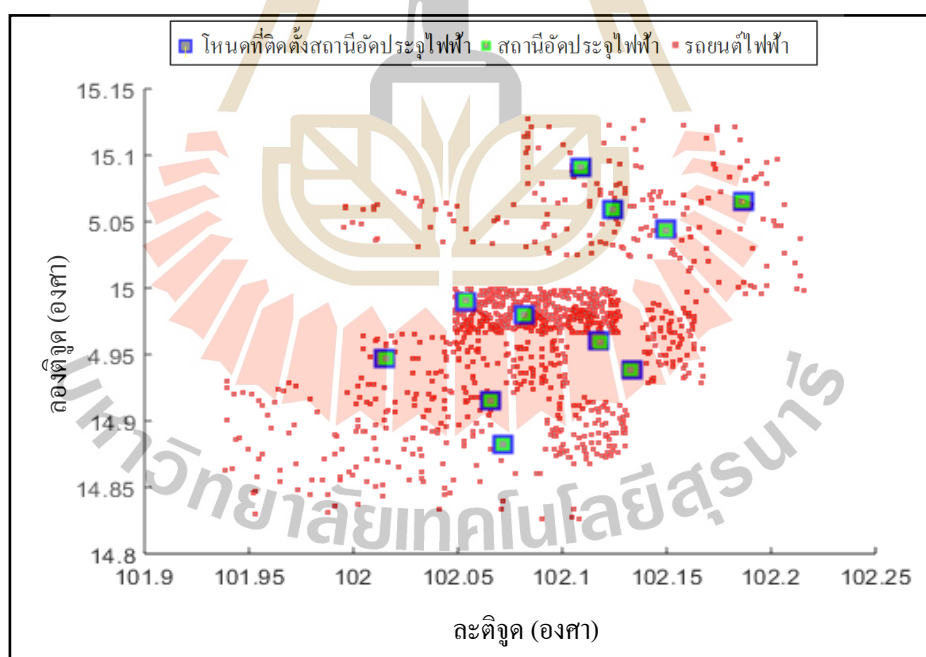
การคำนวณจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าในเขตอำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา และจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าที่ต้องการอัดประจุไฟฟ้าเร็วในแต่ละสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว โดยพิจารณาจากตารางที่ ก.2 ดังแสดงไว้ในผนวก ก เป็นข้อมูลการจดทะเบียนรถยนต์ใหม่ (รถยนต์ที่นั่งส่วนบุคคลไม่เกิน 7 คน) ในระหว่างปี พ.ศ. 2555 ถึง 2559 ของจังหวัดนครราชสีมา แสดงให้เห็นว่า การจดทะเบียนรถยนต์ใหม่ในจังหวัดนครราชสีมา มีอัตราการเพิ่มขึ้นของจำนวนรถยนต์เฉลี่ยประมาณปีละ 16205 คัน งานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้ สมมติให้จำนวนรถยนต์ไฟฟ้าที่จะเกิดขึ้นในอนาคตมีจำนวนคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ตามจำนวนประชากรในแต่ละอำเภอในจังหวัดนครราชสีมา ซึ่งจำนวนประชากรในอำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา เท่ากับ 17% ของประชากรทั้งหมดในจังหวัดนครราชสีมา (วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี, 2018) ดังนั้น 17% ของจำนวนรถยนต์ใหม่ที่มีการเพิ่มขึ้นเฉลี่ยต่อปี (รถยนต์ที่นั่งส่วนบุคคลไม่เกิน 7 คน) เท่ากับจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าในเขตอำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา ดังนั้น รถยนต์ไฟฟ้าในเขตอำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา มีจำนวนเท่ากับ 2758 คัน งานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้ได้สมมุติกรณีศึกษา 2 กรณี ดังนี้

กรณีที่ 1 สมมติให้ 40 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าในเขตอำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา เท่ากับจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าที่ต้องการอัดประจุไฟฟ้าเร็วที่สถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วในแต่ละวัน ดังนั้น มีจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าในเขตอำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา ที่ต้องการอัดประจุไฟฟ้าเร็วที่สถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วเท่ากับ 1,103 คัน ในหนึ่งวัน

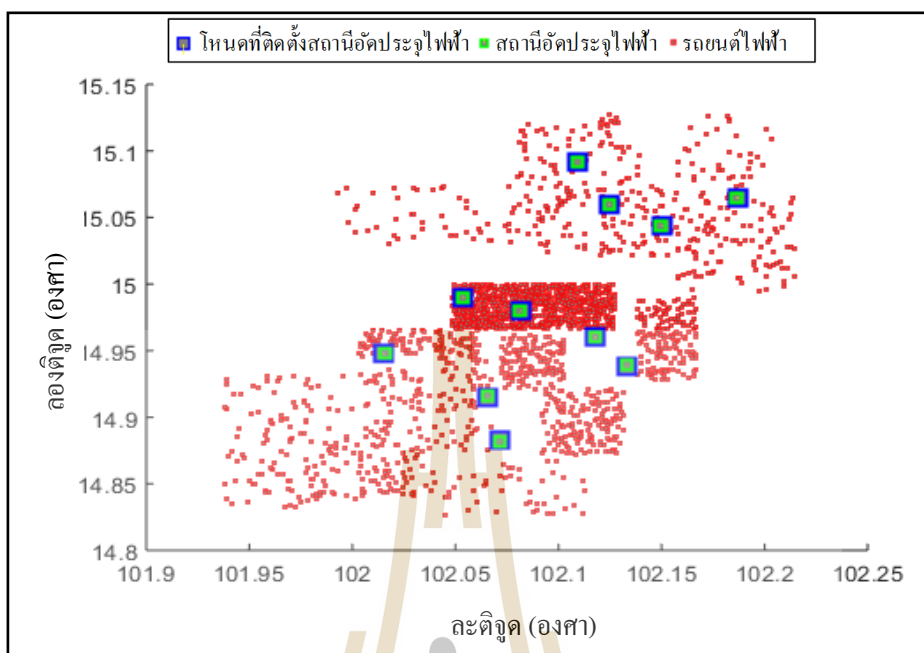
กรณีที่ 2 สมมติให้ 80 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าในเขตอำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา เท่ากับจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าที่ต้องการอัดประจุไฟฟ้าเร็วที่สถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วในแต่ละวัน ดังนั้น มีจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าในเขตอำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา ที่ต้องการอัดประจุไฟฟ้าเร็วที่สถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วเท่ากับ 2,206 คัน ในหนึ่งวัน

โดยกรณีศึกษา 2 กรณี มีความแตกต่างกันที่จำนวนรถยนต์ไฟฟ้าที่ต้องการอัดประจุไฟฟ้าเร็วที่สถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วในแต่ละวัน กรณีที่ 1 มีรถยนต์ไฟฟ้าที่ต้องการอัดประจุไฟฟ้าเร็วที่สถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วจำนวน 1,103 คัน ส่วนกรณีที่ 2 มีจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าที่ต้องการอัดประจุไฟฟ้าเร็วที่สถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วจำนวน 2,206 คัน โดยมีวัตถุประสงค์ คือ เพื่อแสดงการออกแบบขนาดของสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วที่เหมาะสมในแต่ละกรณี เพื่อศึกษาผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าและเสนอแนวทางการบรรเทาผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าเมื่อมีจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าที่ต้องการอัดประจุไฟฟ้าเร็วที่สถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วในแต่ละกรณี

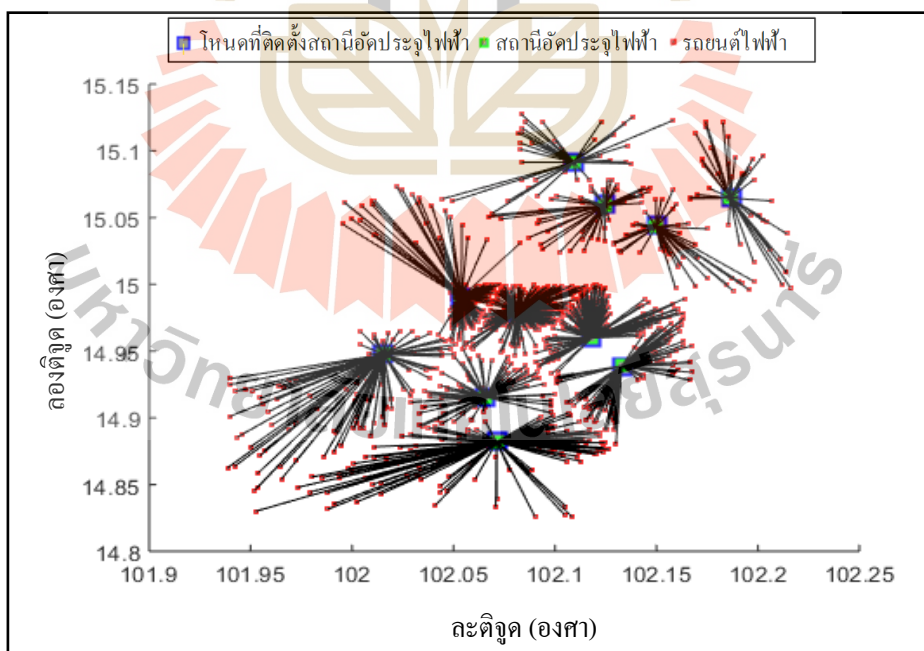
การจำลองตำแหน่งความเป็นไปได้ของรถยนต์ไฟฟ้าที่อาจจะเกิดขึ้นในอนาคตในเขตอำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา จำนวน 1,103 คัน สำหรับกรณีที่ 1 และกรณีที่ 2 จำนวน 2,206 คัน ถูกสร้างขึ้นตามความหนาแน่นของประชากรในแต่ละเทศบาลตำบลในเขตอำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา ดังแสดงในตารางที่ ก.1 ในผนวก ก โดยใช้วิธีการจำลองสถานการณ์แบบมอนติคาร์โลตามที่ได้อธิบายในหัวข้อที่ 2.7 ดังนั้น ผลการจำลองสำหรับการจำลองตำแหน่งของรถยนต์ไฟฟ้าที่อาจจะเกิดขึ้นในอนาคตของทั้ง 2 กรณี ที่ต้องการอัดประจุไฟฟ้าเร็วที่สถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วในแต่ละวันในเขตอำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา แสดงในรูปที่ 4.8 และรูปที่ 4.9 โดยแสดงตำแหน่งของรถยนต์ไฟฟ้าด้วยจุดสีแดง แสดงตำแหน่งของสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วด้วยจุดสีเขียว และแสดงตำแหน่งของโหนดที่ติดตั้งสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วด้วยจุดสีน้ำเงิน โดยที่ตำแหน่งของสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วและตำแหน่งของโหนดที่ติดตั้งสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วมีตำแหน่งเช่นเดียวกันกับดังแสดงในรูปที่ 3.2 จากนั้นผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้าเลือกเส้นทางที่ใกล้ที่สุดสำหรับเดินทางไปยังสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วเพื่ออัดประจุไฟฟ้าเร็วให้กับรถยนต์ไฟฟ้าแสดงโดยเส้นสีด่างแสดงในรูปที่ 4.10 และรูปที่ 4.11



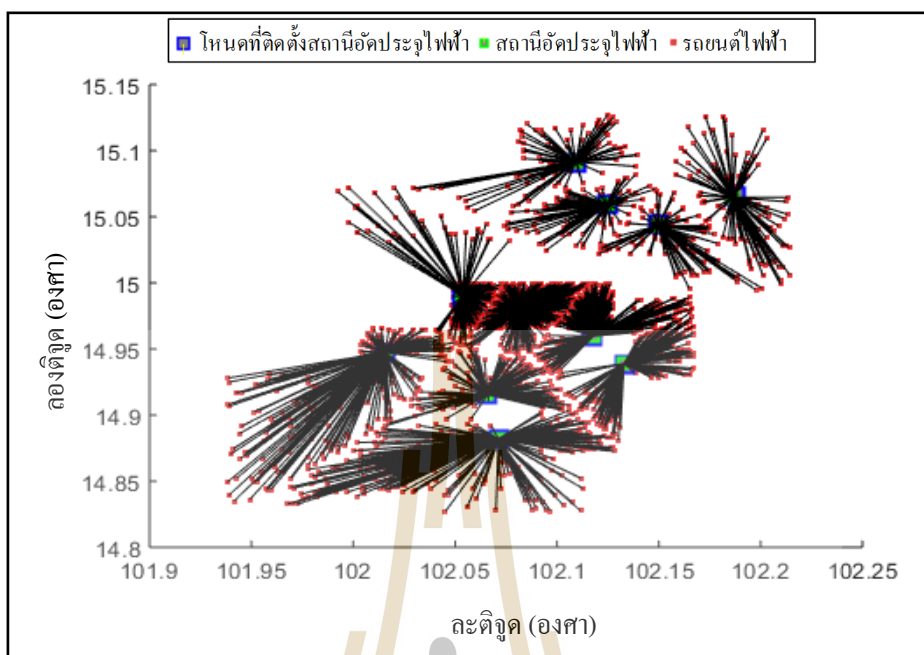
รูปที่ 4.8 ตำแหน่งรถยนต์ไฟฟ้า 1,103 คัน ที่ต้องการอัดประจุไฟฟ้าเร็วที่สถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว สำหรับกรณีที่ 1



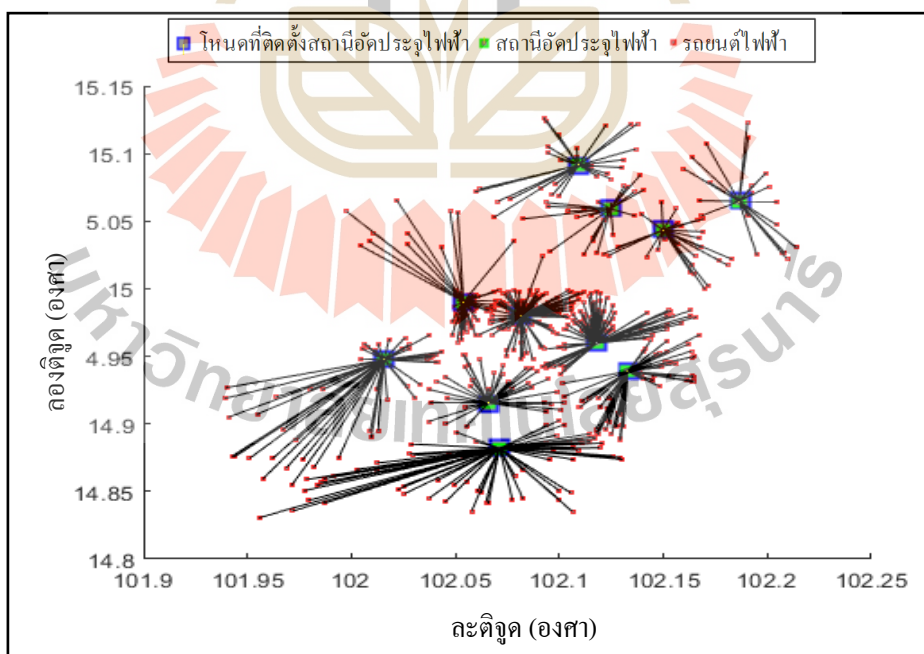
รูปที่ 4.9 ตำแหน่งรถยนต์ไฟฟ้า 2,206 คัน ที่ต้องการอัดประจุไฟฟ้าเร็วที่สถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว สำหรับกรณีที่ 2



รูปที่ 4.10 ผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้าเลือกเส้นทางที่ใกล้ที่สุดสำหรับเดินทางไปยังสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว สำหรับกรณีที่ 1



รูปที่ 4.11 ผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้าเลือกเส้นทางที่ใกล้ที่สุดสำหรับเดินทางไปยังสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว
สำหรับกรณีที่ 2

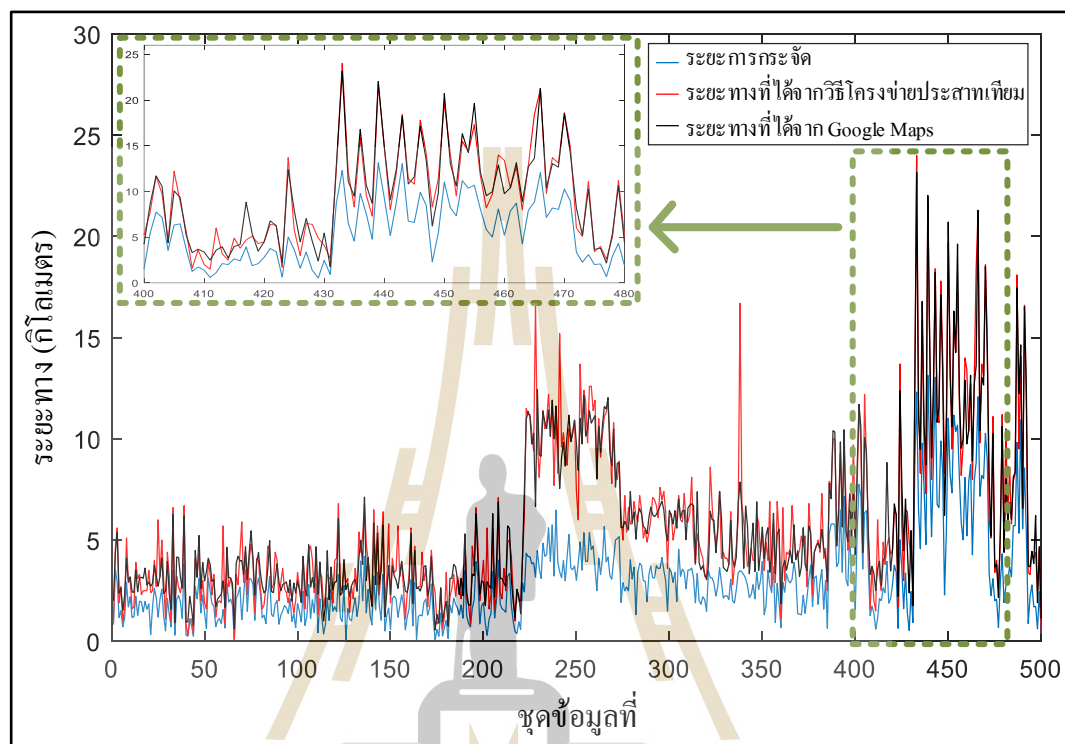


รูปที่ 4.12 กลุ่มตัวอย่างเพื่อเรียนรู้ฝึกฝนระบบโครงข่ายประสาทเทียม จำนวน 500 ชุด

เนื่องจากไม่สามารถคำนวณระยะทางจริงของรถยนต์ไฟฟ้าที่เดินทางไปยังสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วได้ งานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้จึงใช้วิธีโครงข่ายประสาทเทียมช่วยในการคำนวณเพื่อให้ได้ระยะทางสำหรับการเดินทางของรถยนต์ไฟฟ้าที่เดินทางไปยังสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วให้ใกล้เคียงกับระยะทางจริง โดยใช้ข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างดังแสดงในรูปที่ 4.12 โดยตำแหน่งของรถยนต์ไฟฟ้าด้วยจุดสีแดง ตำแหน่งของสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วด้วยจุดสีเขียว และตำแหน่งของโหนดที่ติดตั้งสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วด้วยจุดสีน้ำเงิน โดยที่ตำแหน่งของสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วและตำแหน่งของโหนดที่ติดตั้งสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วมีตำแหน่งเดียวกันที่แสดงในรูปที่ 3.2 ดังนั้น ข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่าง ประกอบด้วย ชุดข้อมูลอินพุตและชุดข้อมูลเป้าหมายที่ใช้ในการเรียนรู้ของระบบโครงข่ายประสาทเทียม จำนวน 500 ชุด ชุดข้อมูลอินพุต ได้แก่ ค่าละติจูดและค่าลองจิจูดของตำแหน่งรถยนต์ไฟฟ้า จำนวน 500 ชุด ค่าละติจูดและค่าลองจิจูดของตำแหน่งสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว จำนวน 500 ชุด และระยะการกระจัดระหว่างรถยนต์ไฟฟ้าและสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว จำนวน 500 ชุด สำหรับชุดข้อมูลเป้าหมาย คือ ระยะทางสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าเดินทางไปยังสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วที่ได้จากการวัดด้วย Google Maps จำนวน 500 ชุด ดังนั้น ผลลัพธ์จากการเรียนรู้ระบบโครงข่ายประสาทเทียมโดยใช้ข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างสำหรับการคำนวณระยะการเดินทางของรถยนต์ไฟฟ้าไปยังสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วที่มี *RMSE* และ *MAPE* เท่ากับ 1.2278 และ 0.8012 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.13 ดังนั้น ระบบโครงข่ายประสาทเทียมที่ผ่านการเรียนรู้จะถูกนำไปใช้เพื่อการคำนวณระยะทางการเดินทางเฉลี่ยและระยะทางการเดินทางสูงสุดสำหรับการเดินทางของรถยนต์ไฟฟ้าไปยังสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วในเขตอำเภอ จังหวัดนครราชสีมา ในขั้นตอนถัดไป

เมื่อทราบจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าเข้าใช้บริการในแต่ละสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วในหนึ่งวัน จากผลการจำลองของผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้าเลือกเส้นทางที่ใกล้ที่สุดสำหรับเดินทางไปยังสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วดังแสดงในรูปที่ 4.10 และรูปที่ 4.11 สำหรับทั้ง 2 กรณี จากนั้นใช้ข้อมูลทางสถิติการใช้บริการสถานีบริการน้ำมันของรถยนต์ดังแสดงในรูปที่ 2.11 ในการวิเคราะห์หาจำนวนของรถยนต์ไฟฟ้าที่ต้องอัดประจุไฟฟ้าเร็วที่สถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วในแต่ละชั่วโมงในแต่ละสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว เพื่อคำนวณหาจำนวนหัวอัดประจุไฟฟ้าในแต่ละสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วโดยใช้สมการที่ (3.4) และคำนวณหาขนาดหม้อแปลงไฟฟ้าโดยพิจารณาจากขนาดของสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วตามวิธีการออกแบบขนาดหม้อแปลงไฟฟ้าสำหรับสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วดังแสดงไว้ในหัวข้อที่ 3.3.3 ดังนั้น ผลการคำนวณขนาดของแต่ละสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วและขนาดหม้อแปลงไฟฟ้าสำหรับแต่ละสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วดังแสดงในตารางที่ 4.3 และตารางที่ 4.4 สำหรับทั้ง 2 กรณี ซึ่งประกอบด้วย จำนวนรถยนต์ไฟฟ้าใช้บริการในแต่ละสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วในหนึ่งวัน

(NEV) จำนวนหัวอัดประจุไฟฟ้าในแต่ละสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว ($N_{charger}$) ขนาดของแต่ละสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว (CS) และขนาดหม้อแปลงไฟฟ้าสำหรับแต่ละสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว



รูปที่ 4.13 การเรียนรู้ฟังก์ชันระบบโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับคำนวณระยะการเดินทาง

ในตอนท้ายสุดค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วดังที่ได้อธิบายในหัวข้อที่ 2.5 ได้ถูกคำนวณสำหรับระยะเวลา 5 ปี ดังแสดงในตารางที่ 4.5 และตารางที่ 4.6 สำหรับทั้ง 2 กรณี ซึ่งประกอบด้วย ค่าใช้จ่ายในการพัฒนาสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว (DC) ค่าใช้จ่ายของสายส่งจำหน่ายไฟฟ้า (EC) และค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการสูญเสียของพลังงานไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า (ELC) โดยพิจารณาเฉพาะช่วงที่โหลดสูงสุดของสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วและช่วงที่โหลดสูงสุดของแต่ละวงจรไฟฟ้า และค่าใช้จ่ายสำหรับการเดินทางของผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้าเป็นระยะเวลา 5 ปี สำหรับทั้ง 2 กรณี ดังแสดงในตารางที่ 4.7 รวมถึงแสดงระยะทางการเดินทางโดยเฉลี่ยและระยะทางการเดินทางสูงสุดสำหรับการเดินทางของรถยนต์ไฟฟ้าไปยังสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วในเขตอำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา โดยใช้ระบบโครงข่ายประสาทเทียมที่ผ่านการเรียนรู้จากกลุ่มตัวอย่างดังแสดงในรูปที่ 4.13 เพื่อใช้ในการคำนวณระยะการเดินทางของรถยนต์ไฟฟ้าไปยังสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว

ตารางที่ 4.3 ขนาดของสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วและขนาดของหม้อแปลงไฟฟ้าสำหรับกรณีที่ 1

สถานีอัดประจุไฟฟ้า	NEV	$N_{charger}$	CS [kW]	ขนาดหม้อแปลงไฟฟ้า [MVA]
1	240	10	960	2.0
2	94	4	384	0.8
3	163	7	672	2.0
4	72	3	288	0.5
5	113	5	480	1.0
6	39	2	192	0.4
7	42	2	192	0.4
8	131	6	576	1.0
9	47	2	192	0.4
10	120	5	480	1.0
11	42	2	192	0.4
รวม	1103	48	4608	9.9

ตารางที่ 4.4 ขนาดของสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วและขนาดของหม้อแปลงไฟฟ้าสำหรับกรณีที่ 2

สถานีอัดประจุไฟฟ้า	NEV	$N_{charger}$	CS [kW]	ขนาดหม้อแปลงไฟฟ้า [MVA]
1	479	20	1,920	2.0 (2 ลูก)
2	188	8	768	1.5
3	325	13	1,248	1.25 (2 ลูก)
4	145	6	576	1.0
5	226	10	960	2.0
6	79	4	384	0.8
7	84	4	384	0.8
8	261	11	1,056	2.0
9	94	4	384	0.8
10	240	10	960	2.0
11	85	4	384	0.8
รวม	2206	94	9,024	18.2

ตารางที่ 4.5 ค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วสำหรับระยะเวลา 5 ปี สำหรับกรณีที่ 1

สถานีอัดประจุไฟฟ้า	ค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้อง (บาท)			
	DC	EC	ELC	รวม
1	41,050,000	413,750	819,960	42,283,710
2	17,405,200	165,500	80,290	17,650,990
3	29,227,600	289,630	3,310	29,520,540
4	13,464,400	124,130	58,080	13,646,610
5	21,346,000	206,880	19,300	21,572,180
6	9,523,600	82,750	2,140	9,608,490
7	9,523,600	82,750	120	9,606,470
8	25,286,800	248,250	248,640	25,783,690
9	9,523,600	82,750	80,290	9,686,640
10	21,346,000	206,880	119,580	21,672,460
11	9,523,600	82,750	62,780	9,669,130
รวม	207,220,400	1,986,020	1,494,490	210,700,910

(1 ดอลลาร์สหรัฐ เท่ากับ 32.84 บาท)

ตารางที่ 4.6 ค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วสำหรับระยะเวลา 5 ปี สำหรับกรณีที่ 2

สถานีอัดประจุไฟฟ้า	ค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้อง (บาท)			
	DC	EC	ELC	รวม
1	80,458,000	827,500	1,742,400	83,027,900
2	33,168,400	331,000	170,600	33,670,000
3	52,872,400	537,880	3,300	53,413,580
4	25,286,800	248,250	123,000	25,658,050
5	41,050,000	413,750	35,400	41,499,150
6	17,405,200	165,500	4,500	17,575,200
7	17,405,200	165,500	200	17,570,900
8	44,990,800	455,130	497,300	45,943,230
9	17,405,200	165,500	163,900	17,734,600
10	41,050,000	413,750	256,200	41,719,950
11	17,405,200	165,500	125,600	17,696,300
รวม	388,497,200	3,889,260	3,122,400	395,508,860

(1 ดอลลาร์สหรัฐ เท่ากับ 32.84 บาท)

ตารางที่ 4.7 ตัวชี้วัดความสะดวกของผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้าสำหรับ 2 กรณีศึกษา

กรณีที่ 1	ค่า	หน่วย
ระยะทางระหว่างรถยนต์ไฟฟ้าถึงสถานีอัดประจุไฟฟ้าโดยเฉลี่ย	6.02	km
ระยะทางสูงสุดระหว่างรถยนต์ไฟฟ้าถึงสถานีอัดประจุไฟฟ้า	24.82	km
ค่าใช้จ่ายของการเดินทางของผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้าทั้งหมด	5,935,896	บาท
ค่าใช้จ่ายของการเดินทางต่อผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้าโดยเฉลี่ย	5,382	บาท
กรณีที่ 2	ค่า	หน่วย
ระยะทางระหว่างรถยนต์ไฟฟ้าถึงสถานีอัดประจุไฟฟ้าโดยเฉลี่ย	6.00	km
ระยะทางสูงสุดระหว่างรถยนต์ไฟฟ้าถึงสถานีอัดประจุไฟฟ้า	30.28	km
ค่าใช้จ่ายของการเดินทางของผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้าทั้งหมด	11,826,998	บาท
ค่าใช้จ่ายของการเดินทางต่อผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้าโดยเฉลี่ย	5,361	บาท

(1 ดอลลาร์สหรัฐ เท่ากับ 32.84 บาท)

จากผลการจำลองดังแสดงในตารางที่ 4.3 และตารางที่ 4.4 ขนาดของสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วขึ้นอยู่กับจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าที่เข้าใช้บริการอัดประจุไฟฟ้าเร็วในแต่ละสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว ในหนึ่งวัน ขนาดหม้อแปลงไฟฟ้าขึ้นอยู่กับขนาดของสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว โดยเลือกขนาดหม้อแปลงไฟฟ้าที่ขนาดเล็กที่สุดที่สามารถรับโหลดจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในแต่ละสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว เพื่อค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุดของหม้อแปลงไฟฟ้าในแต่ละสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว ส่วนเรื่องค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วดังแสดงในตารางที่ 4.5 และตารางที่ 4.6 พบว่า ค่าใช้จ่ายในการพัฒนาสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วมีราคา 170,000 บาท ต่อ 1 หัวอัดประจุไฟฟ้า ถ้าหัวอัดประจุไฟฟ้าในสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วมีจำนวนมากกว่า 1 หัวอัดประจุไฟฟ้า ราคาต่อจำนวนหัวอัดประจุไฟฟ้าจะลดลง ค่าใช้จ่ายของสายส่งจำหน่ายไฟฟ้าขึ้นอยู่กับความยาวของสายส่งจำหน่ายไฟฟ้า ขนาดกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านสายส่งจำหน่ายไฟฟ้าเพื่ออัดประจุไฟฟ้าให้กับรถยนต์ไฟฟ้า และจำนวนหัวอัดประจุไฟฟ้าในสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว ในงานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้ค่าใช้จ่ายของสายส่งจำหน่ายไฟฟ้ามีราคา 35,500 บาท ต่อ 1 หัวอัดประจุไฟฟ้า และค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการสูญเสียของพลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าขึ้นอยู่กับโหลดทั่วไปที่มีการใช้งานในแต่ละวงจรไฟฟ้าและขนาดโหลดสูงสุดของแต่ละสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว โดยมีระยะทางระหว่างรถยนต์ไฟฟ้าเดินทางไปยังสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วเป็นระยะทางเฉลี่ยประมาณ 6 km และระยะทางสูงสุดประมาณ 24.82 km สำหรับกรณีที่ 1 และสำหรับกรณีที่ 2 มีระยะทางสูงสุดประมาณ 30.28 km โดยคิดเป็นค่าใช้จ่ายต่อผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้าสำหรับการเดินทางไปยังสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วโดยเฉลี่ยประมาณ 5,300 บาท ต่อ 1 ผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้า ในระยะเวลา 5 ปี ดังแสดงในตารางที่ 4.7

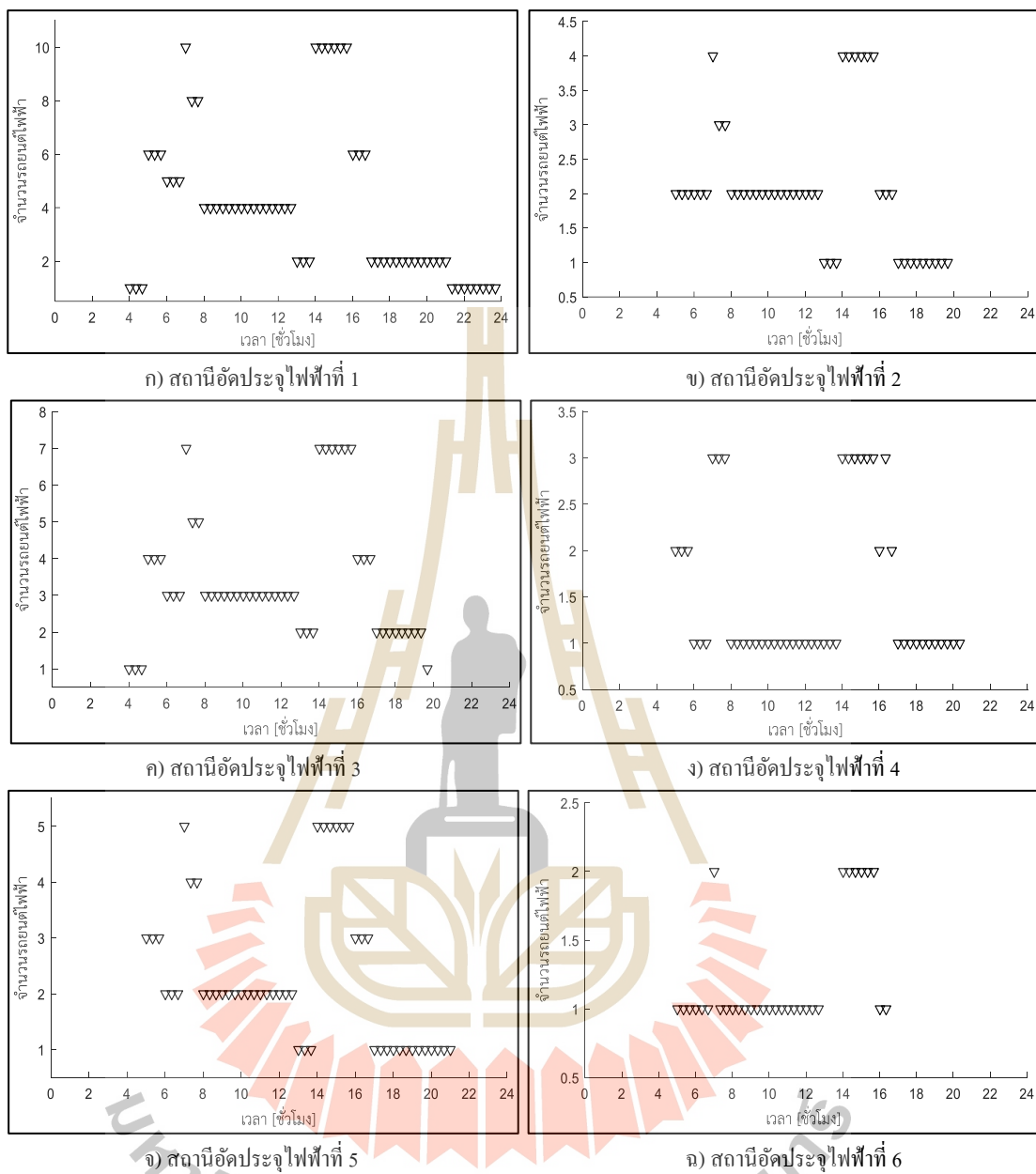
เมื่อทราบตำแหน่งและขนาดของสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วในเขตอำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา รวมถึงขนาดหม้อแปลงไฟฟ้าสำหรับสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว และจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าที่เข้าใช้บริการในแต่ละสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วในวันแล้ว ดังนั้น ในหัวข้อถัดไปเป็นการอธิบายถึง ผลการศึกษาพฤติกรรมของผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้าในแต่ละสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วเพื่อประเมินลักษณะการบริโภคพลังงานไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า โดยพิจารณาข้อของรถยนต์ไฟฟ้า ระยะการเดินทางของผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้า สถานะของแบตเตอรี่ เวลาที่เข้าใช้บริการการอัดประจุไฟฟ้าที่สถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว และเวลาในการอัดประจุไฟฟ้าที่สถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว จากนั้นเป็นการตรวจสอบผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

4.4 ผลการจำลองผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

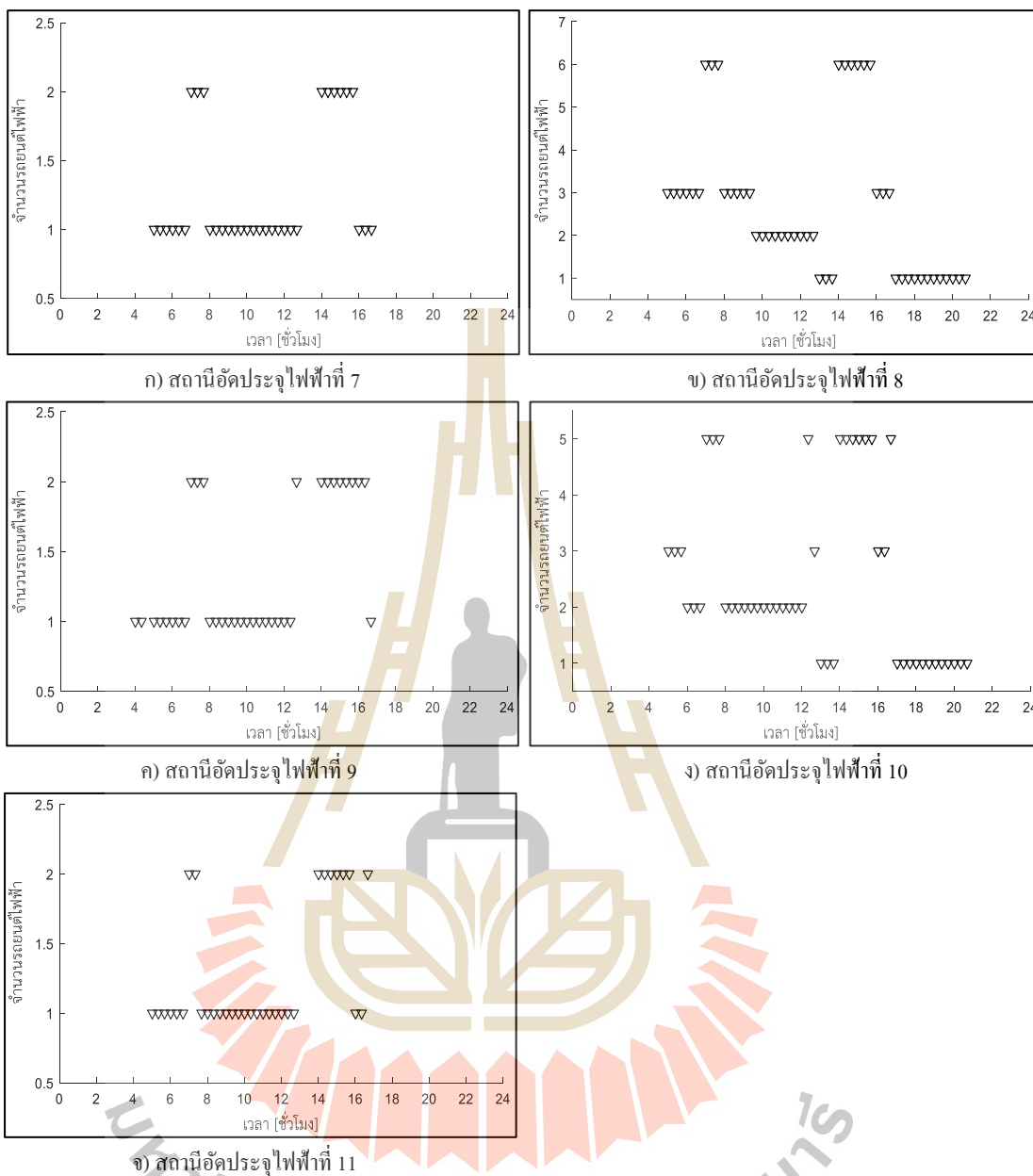
การจำลองผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าได้แสดงกระบวนการและขั้นตอนของการจำลองผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าดังในหัวข้อที่ 3.4 โดยผลการจำลองผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าจะแสดงในหัวข้อดังต่อไปนี้

4.4.1 จำนวนรถยนต์ไฟฟ้าที่เข้าใช้บริการอัดประจุไฟฟ้าเร็วที่เวลาต่าง ๆ ในแต่ละสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว

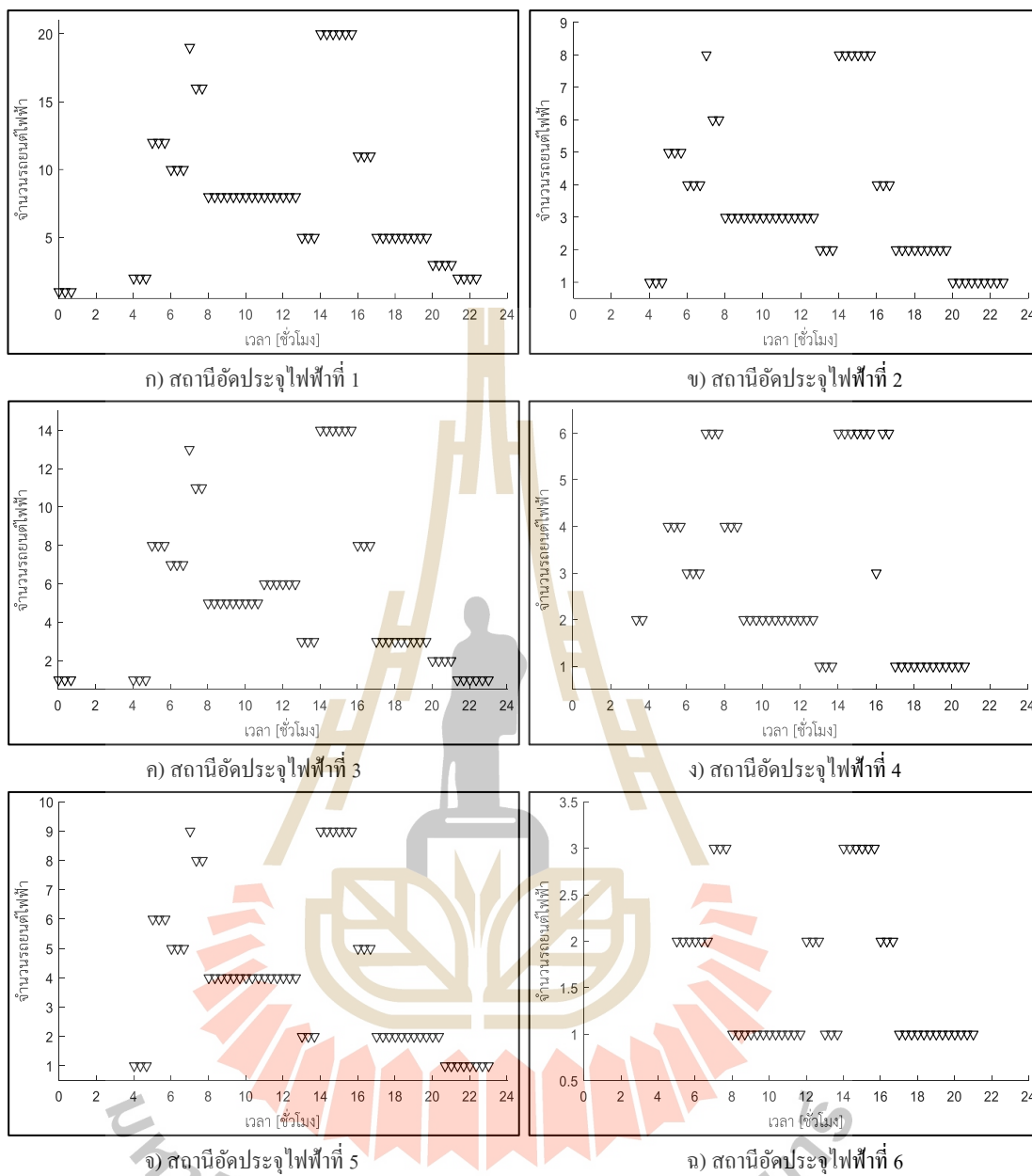
เมื่อทราบตำแหน่งและขนาดของสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วในเขตอำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา รวมถึงขนาดหม้อแปลงไฟฟ้าสำหรับสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วแล้ว จากกรณีศึกษา 2 กรณี ตามหัวข้อที่ 4.3 ดังแสดงในตารางที่ 4.3 และตารางที่ 4.4 สำหรับ 2 กรณี ทำให้ทราบจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าที่เข้าใช้บริการในแต่ละสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วในวัน การวิเคราะห์โดยใช้ข้อมูลทางสถิติการให้บริการสถานีบริการน้ำมันของรถยนต์ดังแสดงในรูปที่ 2.11 ตามกระบวนการและขั้นตอนของการจำลองผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าดังในหัวข้อที่ 3.4 ทำให้ทราบพฤติกรรมของผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้าในการเข้าใช้บริการสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้า โดยทำให้ทราบจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าที่เข้าใช้บริการอัดประจุไฟฟ้าเร็วที่เวลาต่าง ๆ ในแต่ละสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว ดังนั้น ผลการจำลองจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าที่เริ่มอัดประจุไฟฟ้าเร็วที่เวลาต่าง ๆ ในแต่ละสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว ดังแสดงในรูปที่ 4.14 และรูปที่ 4.15 สำหรับกรณีที่ 1 และกรณีที่ 2 ดังแสดงในรูปที่ 4.16 และรูปที่ 4.17



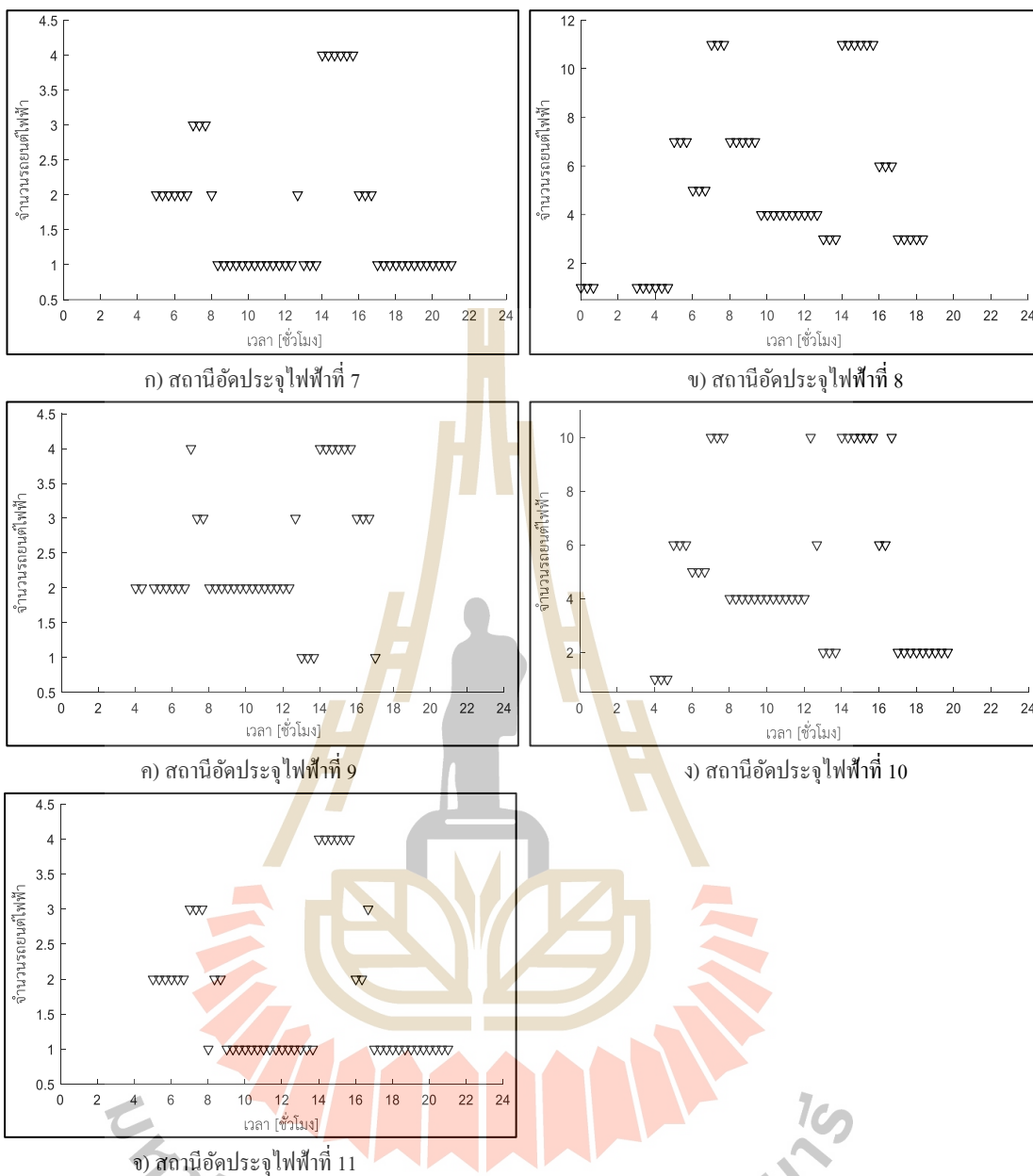
รูปที่ 4.14 จำนวนรถยนต์ไฟฟ้าที่เริ่มอัดประจุไฟฟ้าเร็วที่เวลาต่าง ๆ ในสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วที่ 1 ถึง 6 สำหรับกรณีที่ 1



รูปที่ 4.15 จำนวนรายนัดไฟฟ้าที่เริ่มอัดประจุไฟฟ้าเร็วที่เวลาต่าง ๆ ในสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วที่ 7 ถึง 11 สำหรับกรณีที่ 1



รูปที่ 4.16 จำนวนรถยนต์ไฟฟ้าที่เริ่มอัดประจุไฟฟ้าเร็วที่เวลาต่าง ๆ ในสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วที่ 1 ถึง 6 สำหรับกรณีที่ 2



รูปที่ 4.17 จำนวนรถยนต์ไฟฟ้าที่เริ่มอัดประจุไฟฟ้าเร็วที่เวลาต่าง ๆ ในสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วที่ 7 ถึง 11 สำหรับกรณีที่ 2

จากข้อมูลทางสถิติการเข้าใช้บริการสถานีบริการน้ำมันของรถยนต์ดังแสดงในรูปที่ 2.11 จะเห็นได้ว่า ช่วงเวลา 15.00 ถึง 17.00 น. เป็นช่วงที่มีเปอร์เซ็นต์ความหนาแน่นของจำนวนรถยนต์มากที่สุดในการเข้าใช้บริการสถานีบริการน้ำมัน ดังนั้น ผลการจำลองจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าที่เริ่มอัดประจุไฟฟ้าเร็วที่เวลาต่าง ๆ ในแต่ละสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วดังแสดงในรูปที่ 4.14 ถึงรูปที่ 4.17 ในช่วงเวลา 15.00 ถึง 17.00 น. จึงมีความหนาแน่นของจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าในการเข้าอัดประจุไฟฟ้าที่สถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วมากที่สุด

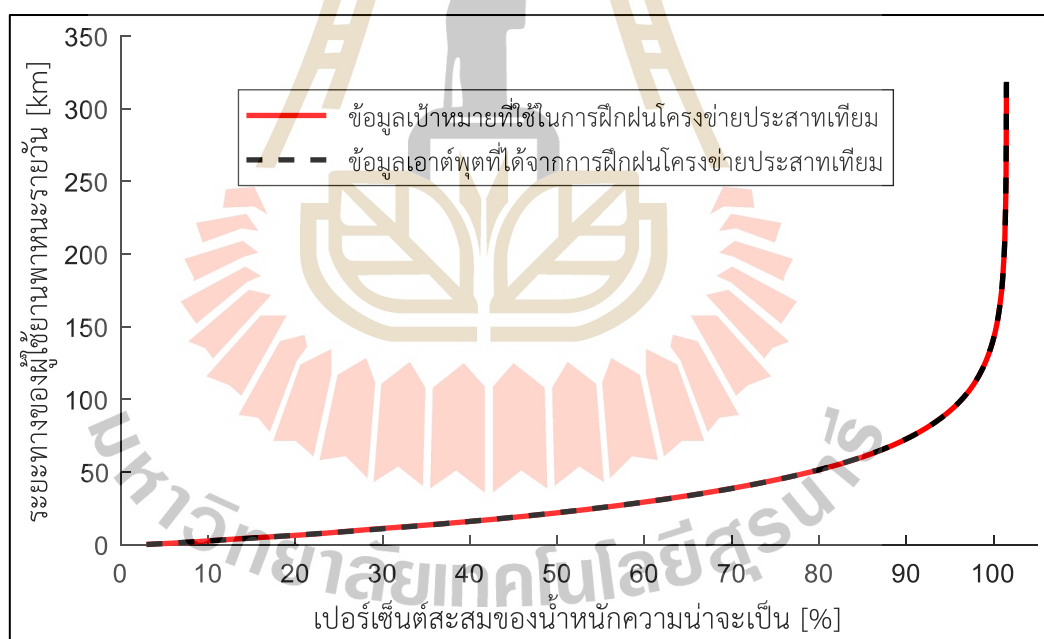
ในหัวข้อถัดไปเป็นการแสดงลักษณะการบริโภคพลังงานไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า โดยขนาดพลังงานไฟฟ้าที่ต้องการอัดประจุไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าขึ้นอยู่กับความจุของแบตเตอรี่ในรถยนต์ไฟฟ้าแต่ละยี่ห้อ และระยะทางที่รถยนต์ไฟฟ้าเดินทางไปในแต่ละวันหรือพลังงานไฟฟ้าที่รถยนต์ไฟฟ้าบริโภคไปในแต่ละวัน

4.4.2 ลักษณะการบริโภคพลังงานไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

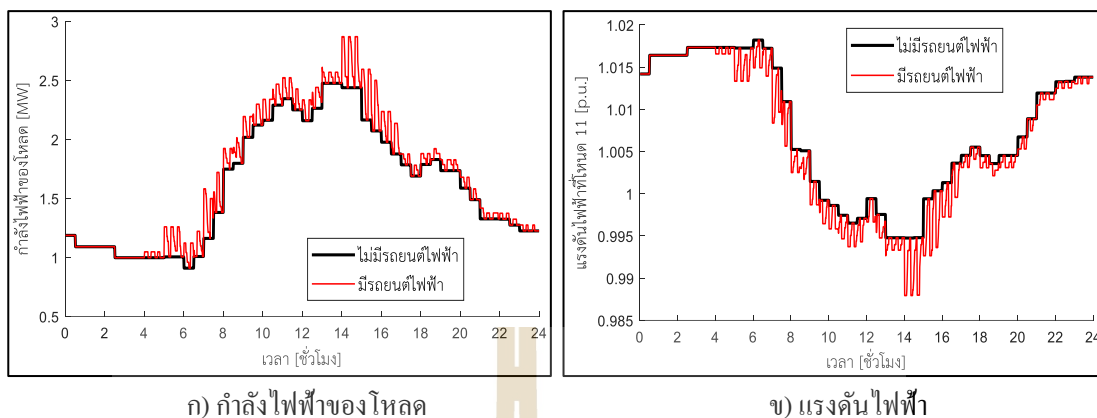
ลักษณะการบริโภคพลังงานไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า โดยขนาดพลังงานไฟฟ้าที่ต้องการอัดประจุไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าขึ้นอยู่กับความจุของแบตเตอรี่ในรถยนต์ไฟฟ้าแต่ละยี่ห้อ และระยะทางที่รถยนต์ไฟฟ้าเดินทางไปในแต่ละวันหรือพลังงานไฟฟ้าที่รถยนต์ไฟฟ้าบริโภคไปในแต่ละวัน ในหัวข้อที่ 3.4 ได้อธิบายกระบวนการและขั้นตอนของการจำลองผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า โดยขั้นตอนแรกในการคำนวณระยะการเดินทางของรถยนต์ไฟฟ้าในแต่ละวัน คือ ต้องเรียนรู้ระบบโครงข่ายประสาทเทียม ดังนั้น ผลลัพธ์จากการเรียนรู้ระบบโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับใช้คำนวณระยะการเดินทางของผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้าในแต่ละวันที่มี *RMSE* และ *MAPE* เท่ากับ 1.1830 และ 0.7899 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.18 โดยมีชุดข้อมูลอินพุต คือ ค่าเปอร์เซ็นต์ของการสะสมของความน่าจะเป็นแบบถ่วงน้ำหนักของระยะทางการเดินทางรายวันของรถยนต์ และชุดข้อมูลเป้าหมาย คือ ระยะทางสำหรับการเดินทางของรถยนต์ไฟฟ้าดังแสดงในรูปที่ 2.10 ดังนั้น ระบบโครงข่ายประสาทเทียมที่ผ่านการเรียนรู้จะถูกนำไปใช้เพื่อการคำนวณระยะการเดินทางของผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้าในแต่ละวันตามกระบวนการและขั้นตอนของการจำลองผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าดังในหัวข้อที่ 3.4

หลังจากที่ทราบจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าที่เริ่มอัดประจุไฟฟ้าเร็วที่เวลาต่าง ๆ ในแต่ละสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วดังแสดงในหัวข้อที่ 4.4.1 และสามารถคำนวณระยะการเดินทางในแต่ละวันของรถยนต์ไฟฟ้าในแต่ละคัน โดยใช้ระบบโครงข่ายประสาทเทียมที่ผ่านการเรียนรู้มาแล้วดังแสดงในรูปที่ 2.18 จากนั้นสามารถประเมินขนาดพลังงานไฟฟ้าที่ต้องการอัดประจุไฟฟ้าให้กับรถยนต์ไฟฟ้าในแต่ละคันและสามารถสร้างโปรไฟล์การอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าที่เข้าใช้บริการในแต่ละสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วตามกระบวนการและขั้นตอนของการจำลองผลกระทบจากการอัด

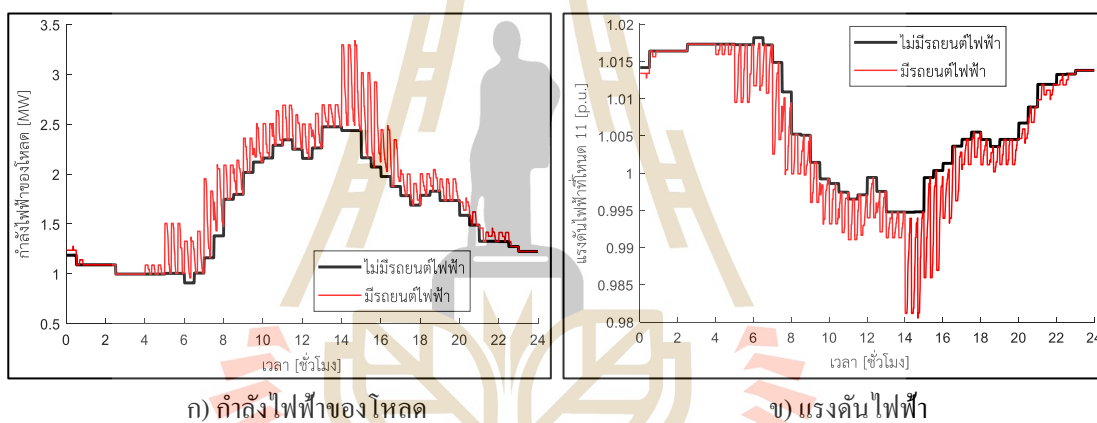
ประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าดังแสดงในหัวข้อที่ 3.4 ดังนั้น จากโปรไฟล์การอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าที่เข้าใช้บริการในแต่ละสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว ทำให้ทราบลักษณะการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในแต่ละวงจรไฟฟ้าของสถานีไฟฟ้านครราชสีมา จึงได้ผลการจำลองสำหรับลักษณะการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในแต่ละเฟสของแต่ละวงจรไฟฟ้า และการตรวจสอบรูปแบบแรงดันไฟฟ้าที่โหลดที่มีความเสี่ยงมากที่สุดในแต่ละเฟสของแต่ละวงจรไฟฟ้าดังแสดงในรูปที่ 4.19 ถึงรูปที่ 4.34 ซึ่งประกอบไปด้วย ลักษณะการบริโภคพลังงานไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าในแต่ละเฟสของแต่ละวงจรไฟฟ้า และรูปแบบแรงดันไฟฟ้าที่โหลดที่มีความเสี่ยงมากที่สุดในแต่ละเฟสของแต่ละวงจรไฟฟ้าที่เกิดการเปลี่ยนแปลงในขณะอัดประจุไฟฟ้าเร็วให้กับรถยนต์ไฟฟ้า โดยแสดงขนาดของพลังงานไฟฟ้าที่ต้องการอัดประจุไฟฟ้าเร็วให้กับรถยนต์ไฟฟ้าในแต่ละสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว และเวลาที่ใช้ในการอัดประจุไฟฟ้าโดยเฉลี่ยให้กับรถยนต์ไฟฟ้าของแต่ละสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วดังในตารางที่ 4.8 และตารางที่ 4.9 สำหรับทั้ง 2 กรณี



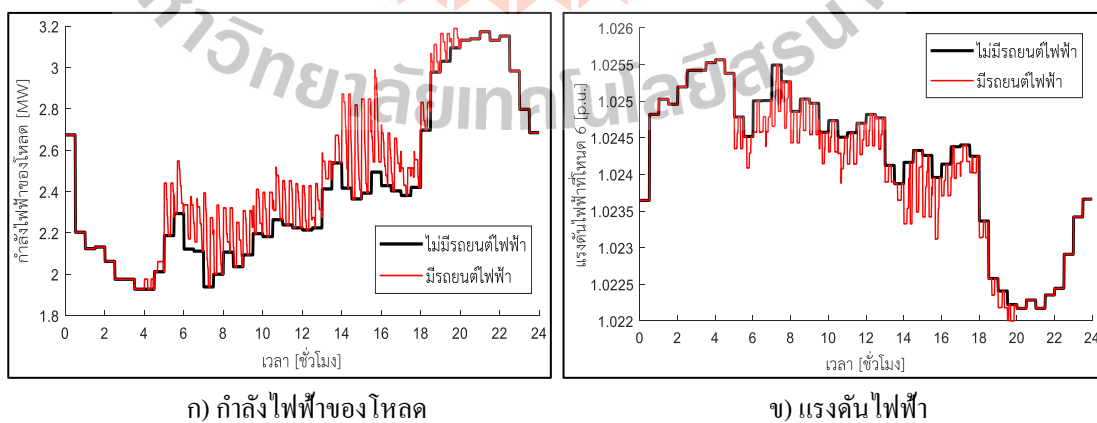
รูปที่ 4.18 ผลลัพธ์จากการเรียนรู้ระบบโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับใช้คำนวณระยะการเดินทางของรถยนต์ไฟฟ้าในแต่ละวัน



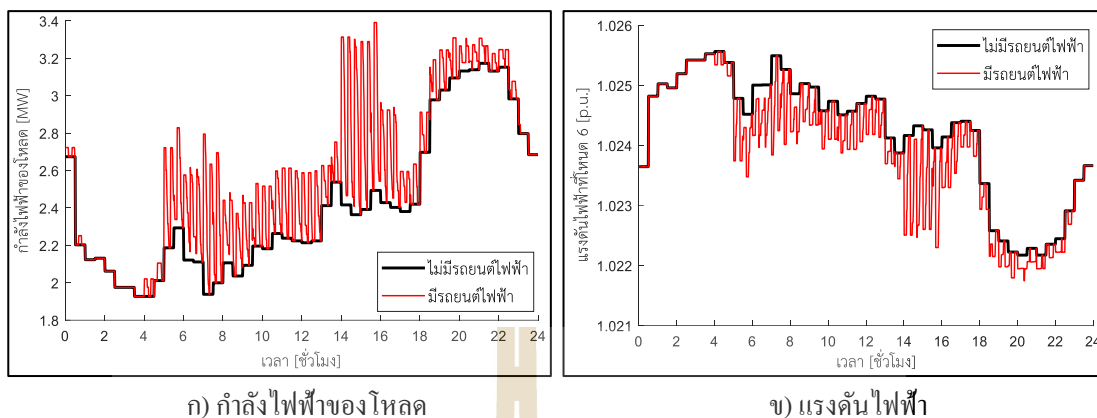
รูปที่ 4.19 การบริโภคพลังงานไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้าที่ 1 (NR06) สำหรับกรณีที่ 1



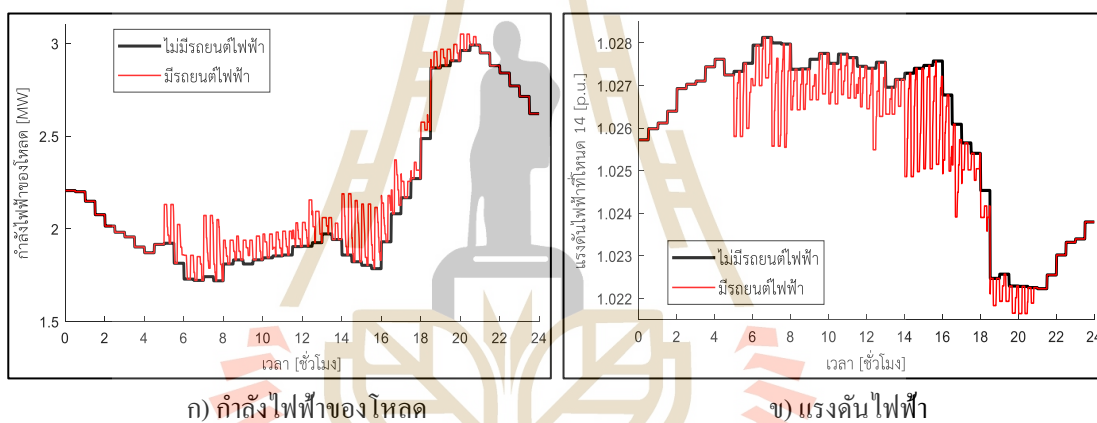
รูปที่ 4.20 การบริโภคพลังงานไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้าที่ 1 (NR06) สำหรับกรณีที่ 2



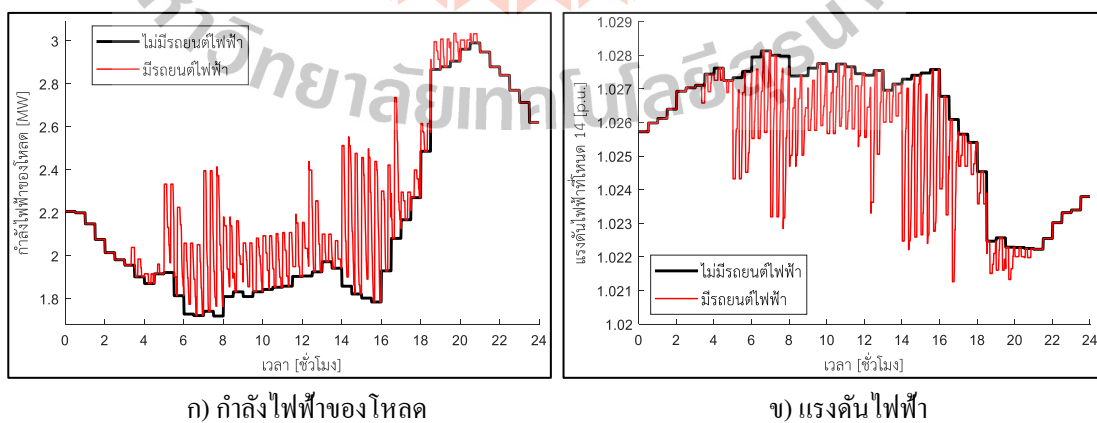
รูปที่ 4.21 การบริโภคพลังงานไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้าที่ 2 (NR04) สำหรับกรณีที่ 1



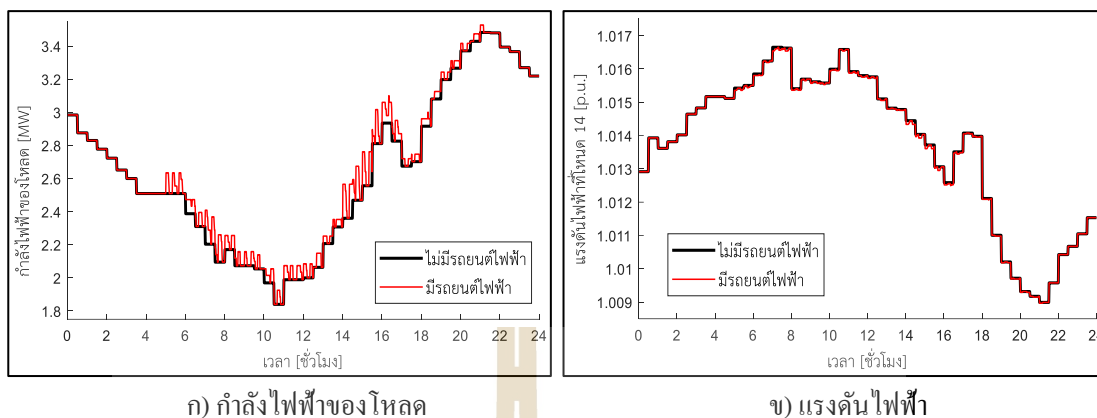
รูปที่ 4.22 การบริโภคพลังงานไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้าที่ 2 (NRD04) สำหรับกรณีที่ 2



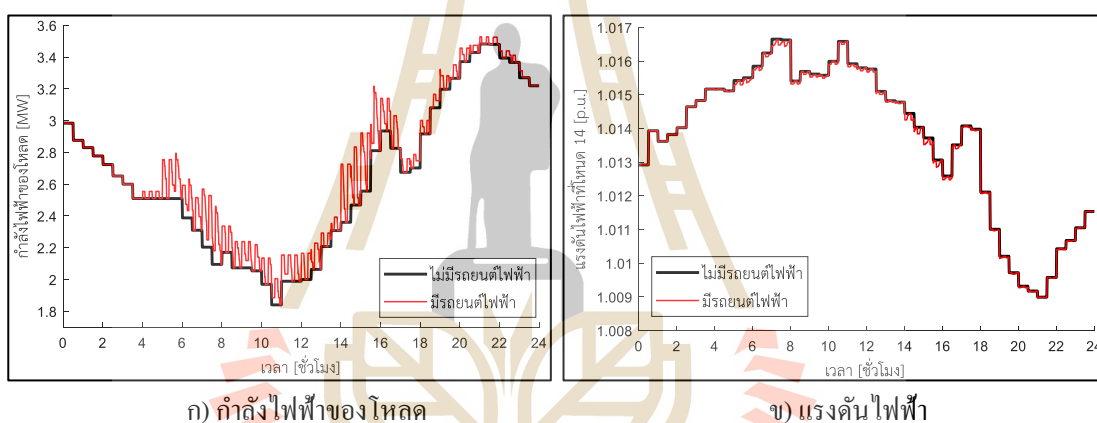
รูปที่ 4.23 การบริโภคพลังงานไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้าที่ 3 (NRE03) สำหรับกรณีที่ 1



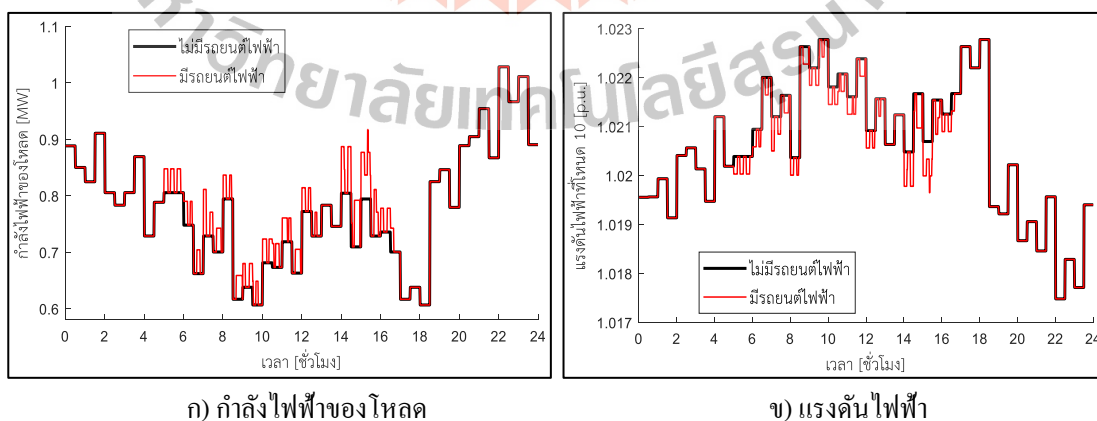
รูปที่ 4.24 การบริโภคพลังงานไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้าที่ 3 (NRE03) สำหรับกรณีที่ 2



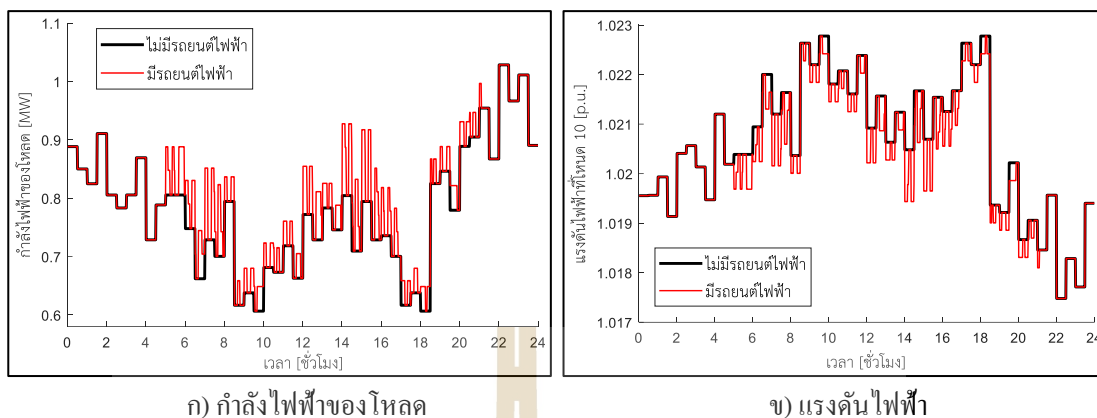
รูปที่ 4.25 การบริโภคพลังงานไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้าที่ 4 (NRB09) สำหรับกรณีที่ 1



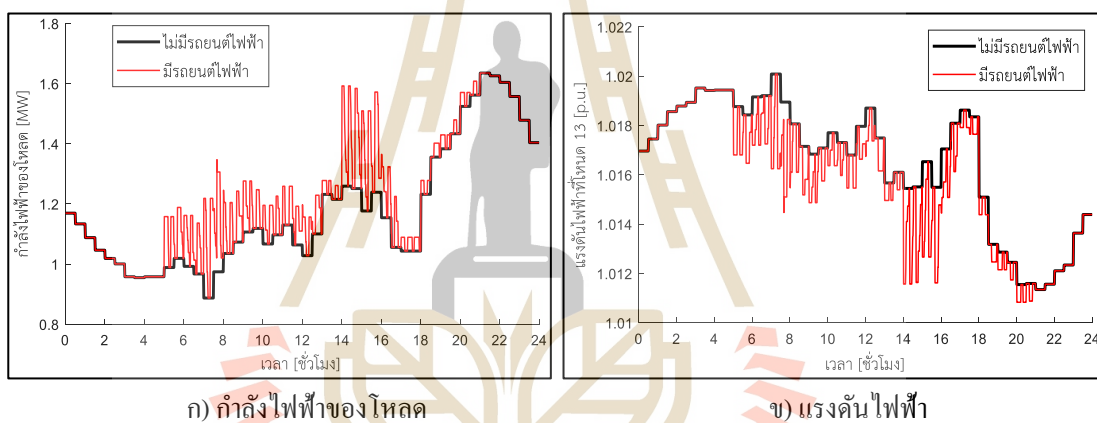
รูปที่ 4.26 การบริโภคพลังงานไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้าที่ 4 (NRB09) สำหรับกรณีที่ 2



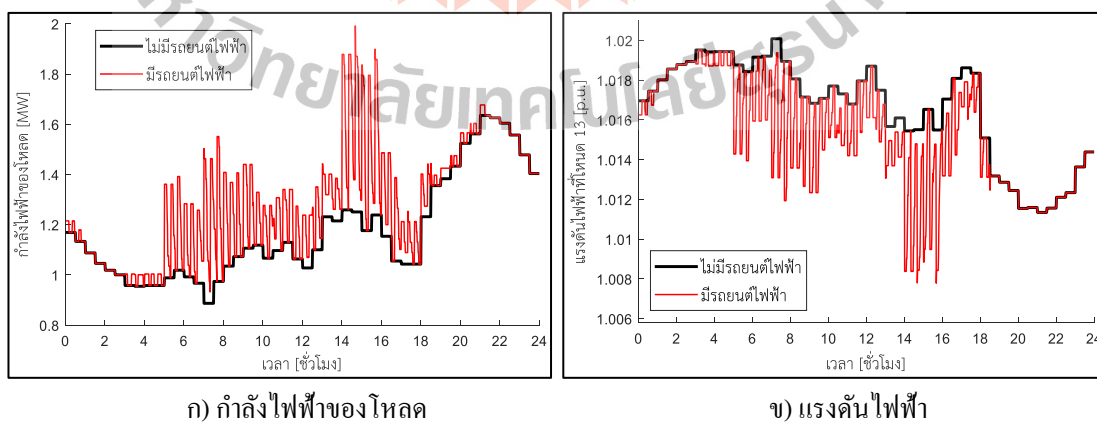
รูปที่ 4.27 การบริโภคพลังงานไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้าที่ 5 (NRC06) สำหรับกรณีที่ 1



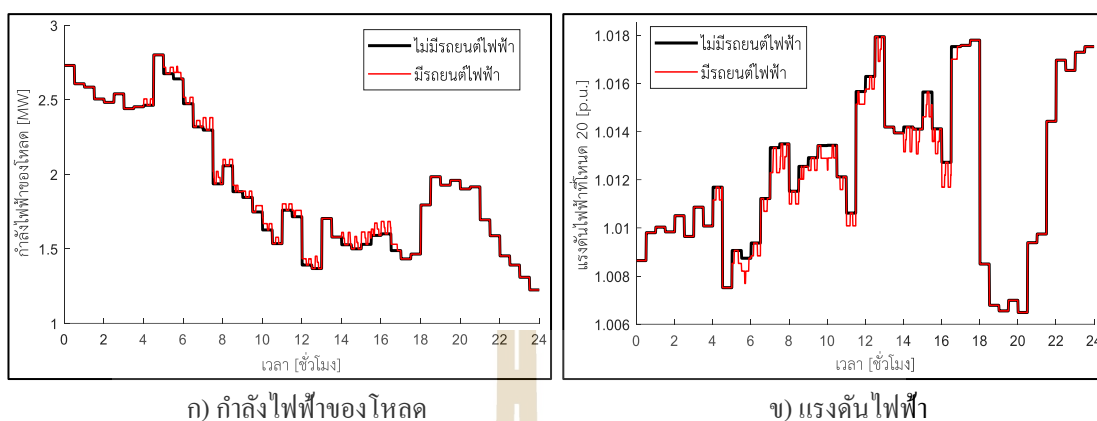
รูปที่ 4.28 การบริโภคพลังงานไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้าที่ 5 (NRC06) สำหรับกรณีที่ 2



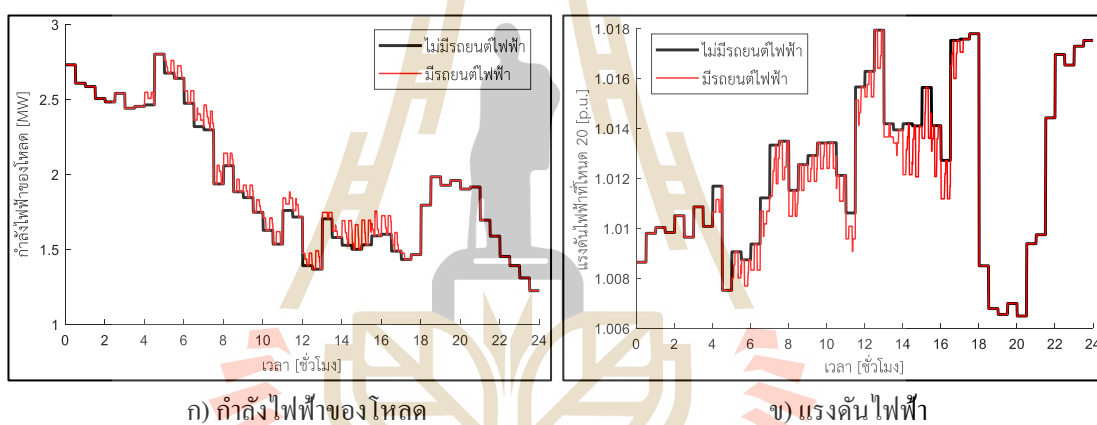
รูปที่ 4.29 การบริโภคพลังงานไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้าที่ 6 (NRC02) สำหรับกรณีที่ 1



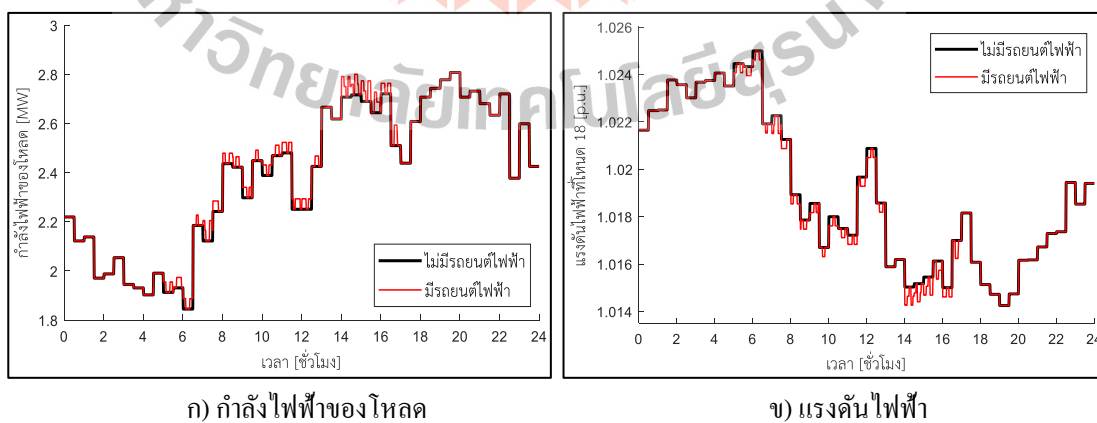
รูปที่ 4.30 การบริโภคพลังงานไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้าที่ 6 (NRC02) สำหรับกรณีที่ 2



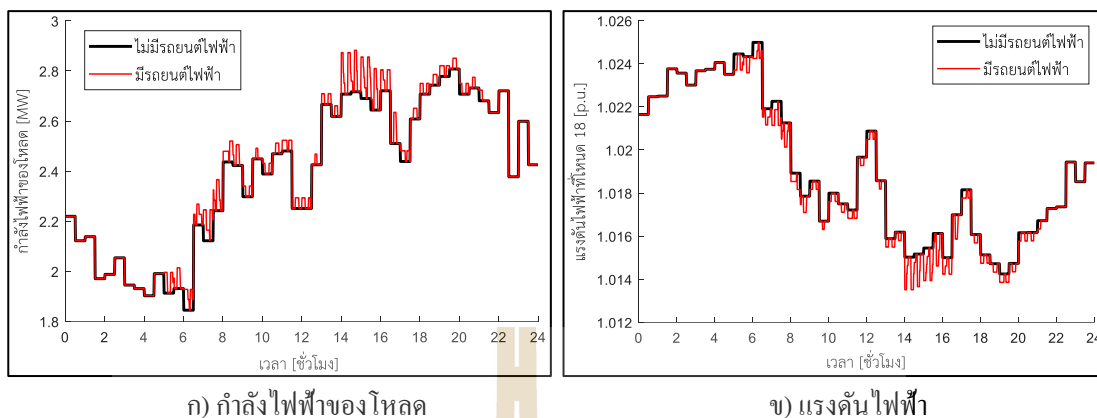
รูปที่ 4.31 การบริโภคพลังงานไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้าที่ 7 (NRC05) สำหรับกรณีที่ 1



รูปที่ 4.32 การบริโภคพลังงานไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้าที่ 7 (NRC05) สำหรับกรณีที่ 2



รูปที่ 4.33 การบริโภคพลังงานไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้าที่ 8 (NRC03) สำหรับกรณีที่ 1



รูปที่ 4.34 การบริโภคพลังงานไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้าที่ 8 (NRC03) สำหรับกรณีที่ 2

ตารางที่ 4.8 การบริโภคพลังงานไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าที่สถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วสำหรับกรณีที่ 1

สถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วที่	ขนาดพลังงานที่ต้องการอัดประจุไฟฟ้าให้รถยนต์ไฟฟ้า (kWh)			เวลาในการอัดประจุไฟฟ้าโดยเฉลี่ย (นาท)
	ต่ำสุด	โดยเฉลี่ย	สูงสุด	
1	8.16	15.90	33.6	9.94
2	8.66	16.07	33.26	10.04
3	8.32	16.63	35.37	10.39
4	8.48	16.71	28.38	10.45
5	8.16	17.01	35.12	10.63
6	8.64	17.53	33.60	10.96
7	8.32	15.21	25.80	9.51
8	8.80	16.96	34.09	10.60
9	8.32	16.61	35.58	10.38
10	8.48	16.82	32.91	10.51
11	8.48	16.19	31.98	10.12

ตารางที่ 4.9 การบริโภคพลังงานไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าที่สถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วสำหรับกรณีที่ 2

สถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วที่	ขนาดพลังงานที่ต้องการอัดประจุไฟฟ้าให้รถยนต์ไฟฟ้า (kWh)			เวลาในการอัดประจุไฟฟ้าโดยเฉลี่ย (นาท)
	ต่ำสุด	โดยเฉลี่ย	สูงสุด	
1	8.32	16.75	34.24	10.47
2	8.64	17.07	34.94	10.67
3	8.16	16.24	33.00	10.15
4	8.48	16.77	34.94	10.48
5	8.16	16.71	34.73	10.44
6	8.16	16.66	31.59	10.41
7	8.48	18.07	33.94	11.30
8	8.16	16.61	34.73	10.38
9	8.32	16.63	33.88	10.40
10	8.16	16.95	34.52	10.59
11	8.01	15.08	30.35	9.43

จากรูปที่ 4.19 ถึงรูปที่ 4.34 ลักษณะการบริโภคพลังงานไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าในแต่ละเฟสของแต่ละวงจรไฟฟ้าถูกนำไปคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าโดยวิธีนิวตัน-ราฟสัน เพื่อตรวจสอบผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า โดยผลการจำลองการตรวจสอบผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าจะแสดงในหัวถัดไป จากตารางที่ 4.8 และตารางที่ 4.9 พบว่า ขนาดพลังงานที่ต้องการอัดประจุไฟฟ้าให้กับรถยนต์ไฟฟ้าต่ำสุด โดยเฉลี่ย และสูงสุด ในสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วอยู่ประมาณ 8 kWh, 16.6 kWh และ 36 kWh ตามลำดับ และเวลาที่ใช้ในการอัดประจุไฟฟ้าโดยเฉลี่ยให้กับรถยนต์ไฟฟ้าของสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วประมาณ 10.38 นาที แสดงว่า ผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้าต้องรอเวลาในการอัดประจุไฟฟ้าให้กับรถยนต์ไฟฟ้าที่สถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วโดยเฉลี่ยประมาณ 10.38 นาที หลังจากที่เริ่มต้นอัดประจุไฟฟ้าให้กับรถยนต์ไฟฟ้าที่สถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว

4.4.3 ผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

จากรูปที่ 4.19 ถึงรูปที่ 4.34 เป็นลักษณะการบริโภคพลังงานไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าในแต่ละเฟสของแต่ละวงจรไฟฟ้าดังแสดงในหัวข้อที่ 4.4.2 ถูกนำไปตรวจสอบผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าโดยการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสัน ตามกระบวนการและขั้นตอนของการจำลองผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าดังแสดงในหัวข้อที่ 3.4 โดยผลการจำลองแสดงให้เห็นถึง ผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่าย

ไฟฟ้าดังแสดงในตารางที่ 4.10 และตารางที่ 4.11 ซึ่งประกอบด้วย โหลดสูงสุดที่เกิดขึ้นในแต่ละเฟสของแต่ละวงจรไฟฟ้า การเบี่ยงเบนของแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในแต่ละเฟสของแต่ละวงจรไฟฟ้า และพลังงานไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดขึ้นในหนึ่งวันของระบบจำหน่ายไฟฟ้า

ตารางที่ 4.10 ผลกระทบจากรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าสำหรับกรณีที่ 1

วงจร ที่	ไม่มีรถยนต์ไฟฟ้า			มีรถยนต์ไฟฟ้า		
	โหลดสูงสุด [MW]	พลังงานที่สูญเสีย [MWh]	<i>VDI</i>	โหลดสูงสุด [MW]	พลังงานที่สูญเสีย [MWh]	<i>VDI</i>
1	2.47	2.0556	0.1455	2.87	2.2710	0.1539
2	3.17	0.5577	0.0679	3.18	0.5802	0.0688
3	2.99	0.7422	0.0373	3.05	0.7851	0.0419
4	3.48	0.7593	0.1491	3.53	0.7641	0.1494
5	1.03	0.3123	0.0724	1.03	0.3204	0.0734
6	1.63	0.7659	0.0981	1.63	0.8319	0.1027
7	2.80	1.3017	0.2316	2.80	1.3227	0.2345
8	2.81	1.7550	0.1362	2.81	1.7742	0.1380

ตารางที่ 4.11 ผลกระทบจากรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าสำหรับกรณีที่ 2

วงจร ที่	ไม่มีรถยนต์ไฟฟ้า			มีรถยนต์ไฟฟ้า		
	โหลดสูงสุด [MW]	พลังงานที่สูญเสีย [MWh]	<i>VDI</i>	โหลดสูงสุด [MW]	พลังงานที่สูญเสีย [MWh]	<i>VDI</i>
1	2.47	2.0556	0.1455	3.34	2.5221	0.1627
2	3.17	0.5577	0.0679	3.39	0.6072	0.0698
3	2.99	0.7422	0.0373	3.04	0.8313	0.0463
4	3.48	0.7593	0.1491	3.53	0.7686	0.1497
5	1.03	0.3123	0.0724	1.03	0.3282	0.0743
6	1.63	0.7659	0.0981	1.99	0.8976	0.1069
7	2.80	1.3017	0.2316	2.80	1.3437	0.2374
8	2.81	1.7550	0.1362	2.88	1.7919	0.1395

จากตารางที่ 4.10 และตารางที่ 4.11 สำหรับ 2 กรณีศึกษา ผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า พบว่า การบริโภคพลังงานไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าเป็นการเพิ่มโหลดในระบบจำหน่ายไฟฟ้าส่งผลให้เกิดพลังงานสูญเสียเพิ่มขึ้นและเกิดการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าหรือเกิดแรงดันไฟฟ้าตก โดยสามารถสรุปผลการจำลองจากตารางที่ 4.10 และตารางที่ 4.11 เป็นเปอร์เซ็นต์ของการเปลี่ยนแปลงในระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่มีผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าของแต่ละวงจรไฟฟ้าสำหรับทั้ง 2 กรณีศึกษา ดังแสดงในตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นจากผลกระทบของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

วงจร ที่	การเพิ่มโหลดสูงสุด (%)		การเพิ่มพลังงานสูญเสีย (%)		การเปลี่ยนแปลง VDI (%)	
	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2
1	16.19	35.22	10.48	22.69	5.77	11.82
2	0.32	6.94	4.03	8.88	1.33	2.80
3	2.01	1.67	5.78	12.00	12.33	24.13
4	1.44	1.44	0.63	1.22	0.20	0.40
5	0.00	0.00	2.59	5.09	1.38	2.62
6	0.00	22.09	8.62	17.20	4.69	8.97
7	0.00	0.00	1.61	3.23	1.25	2.50
8	0.00	2.49	1.09	2.10	1.32	2.42

จากตารางที่ 4.12 จะเห็นได้ว่า คุณภาพการจ่ายไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าลดลงเนื่องจากรถยนต์ไฟฟ้าใช้แบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์เก็บพลังงานไฟฟ้า จึงต้องอัดประจุไฟฟ้าที่สถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว โดยที่สถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วติดตั้งในระบบจำหน่ายไฟฟ้าเพื่อบริโภคพลังงานไฟฟ้าจากระบบจำหน่ายไฟฟ้า แบตเตอรี่ในรถยนต์ไฟฟ้าเป็นโหลดทางไฟฟ้า ถ้ามีจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าหลาย ๆ คัน อัดประจุไฟฟ้าเร็วให้กับแบตเตอรี่ในรถยนต์ไฟฟ้าที่สถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วในเวลาเดียวกันอาจเป็นผลทำให้ระบบจำหน่ายไฟฟ้ามีประสิทธิภาพของการจ่ายไฟฟ้าลดลง เนื่องจากในระบบจำหน่ายไฟฟ้าเกิดแรงดันไฟฟ้าตก กระแสไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้ามีค่าสูงขึ้น และเกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบจำหน่ายไฟฟ้ามากขึ้น ดังนั้น การอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าที่สถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วในระบบจำหน่ายไฟฟ้าส่งผลกระทบต่อคุณภาพการจ่ายไฟฟ้าของระบบจำหน่ายไฟฟ้า งานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้ได้เสนอแนวทางการบรรเทาผลกระทบจากอัดประจุ

ไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า ได้แก่ การยกระดับแรงดันไฟฟ้าด้วยชุดตัวเก็บประจุในระบบจำหน่ายไฟฟ้า และกลยุทธ์การจัดการการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายโดยใช้วิธีการควบคุมแบบพีชชีลจิกเพื่อลดการเพิ่มโหลดในช่วงโหลดสูงสุดในระบบจำหน่ายไฟฟ้าสำหรับวงจรไฟฟ้าที่ 1 และ 6 ที่ได้รับโหลดจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็วให้กับรถยนต์ไฟฟ้าเป็นอย่างมากดังแสดงในตารางที่ 4.12 การเพิ่มโหลดในช่วงโหลดสูงสุดในระบบจำหน่ายไฟฟ้านำไปสู่พลังงานไฟฟ้าสูญเสียในระบบจำหน่ายไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น รวมถึงทำให้การเบี่ยงเบนของแรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้ามากขึ้นเช่นกัน โดยผลการจำลองการบรรเทาผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าจะแสดงในหัวข้อถัดไป

4.5 ผลการจำลองการบรรเทาผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

ผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าเป็นผลกระทบที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ เนื่องจากในปัจจุบันรถยนต์ไฟฟ้าเริ่มได้รับความนิยมในการใช้งานมากขึ้นสำหรับการเดินทาง ยิ่งจำนวนรถยนต์ไฟฟ้ามากขึ้นผลกระทบต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่ตามมาก็มากขึ้นด้วย ดังนั้น การที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าได้ แต่สามารถหาวิธีการจัดการหรือปรับปรุงคุณภาพการจ่ายไฟฟ้าของระบบจำหน่ายไฟฟ้าเพื่อเตรียมพร้อมรองรับการเพิ่มขึ้นของจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าได้ รวมถึงกลยุทธ์การบรรเทาผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า ดังนั้น งานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้ได้เสนอการยกระดับแรงดันไฟฟ้าด้วยชุดตัวเก็บประจุในระบบจำหน่ายไฟฟ้า และกลยุทธ์การจัดการการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าเพื่อเตรียมพร้อมรองรับการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า และเพื่อบรรเทาผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า โดยผลการจำลองจะแสดงในหัวข้อดังต่อไปนี้

4.5.1 การยกระดับแรงดันไฟฟ้าด้วยชุดตัวเก็บประจุในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

การยกระดับแรงดันไฟฟ้าด้วยชุดตัวเก็บประจุในระบบจำหน่ายไฟฟ้าโดยใช้วิธีการเพิ่มประสิทธิภาพแบบวาฟในการเลือกตำแหน่งและขนาดที่เหมาะสมที่สุดของชุดตัวเก็บประจุในแต่ละวงจรไฟฟ้า โดยมีกระบวนการและขั้นตอนการหาตำแหน่งและขนาดที่เหมาะสมที่สุดของชุดตัวเก็บประจุในระบบจำหน่ายไฟฟ้าดังแสดงในหัวข้อที่ 3.5.1 เพื่อยกระดับแรงดันไฟฟ้าให้สูงขึ้น เนื่องจากชุดตัวเก็บประจุไฟฟ้าทำหน้าที่เหมือนกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่จ่ายกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟ นอกจากช่วยในการยกระดับแรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแล้ว ยัง

สามารถช่วยลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบจำหน่ายไฟฟ้า เนื่องจากการติดตั้งตัวเก็บประจุในระบบจำหน่ายไฟฟ้าเป็นวิธีการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าให้สูงขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพของการจ่ายไฟฟ้าของระบบจำหน่ายไฟฟ้าดีขึ้น ข้อดีของชุดตัวเก็บประจุ คือ สามารถลดกำลังไฟฟ้าสูญเสีย การรักษาระดับของแรงดันไฟฟ้า และความสามารถในการรับโหลดทางไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าเพิ่มขึ้นดังที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 2.3.5 จากกระบวนการและขั้นตอนการหาตำแหน่งและขนาดที่เหมาะสมที่สุดของชุดตัวเก็บประจุในระบบจำหน่ายไฟฟ้าดังแสดงในหัวข้อที่ 3.5.1 จะได้ผลการจำลองดังแสดงในตารางที่ 4.13 ถึงตารางที่ 4.20 สำหรับแต่ละวงจรไฟฟ้า ซึ่งประกอบด้วย 3 สถานการณ์ เพื่อเปรียบเทียบผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าและการบรรเทาผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าโดยการติดตั้งชุดตัวเก็บประจุ ในแต่ละสถานการณ์แสดงรายละเอียดได้ดังต่อไปนี้

สถานการณ์ที่ 1 การประเมินคุณภาพการจ่ายไฟฟ้าของระบบจำหน่ายไฟฟ้าโดยไม่มีรถยนต์ไฟฟ้าและชุดตัวเก็บประจุ

สถานการณ์ที่ 2 การประเมินคุณภาพการจ่ายไฟฟ้าของระบบจำหน่ายไฟฟ้าโดยมีการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า แต่ไม่มีชุดตัวเก็บประจุ

สถานการณ์ที่ 3 การประเมินคุณภาพการจ่ายไฟฟ้าของระบบจำหน่ายไฟฟ้าโดยมีการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าและชุดตัวเก็บประจุที่ได้จากการใช้วิธีการเพิ่มประสิทธิภาพแบบวาฟในการเลือกตำแหน่งและขนาดที่เหมาะสมที่สุดของชุดตัวเก็บประจุ โดยมีฟังก์ชันวัตถุประสงค์ตามสมการที่ (3.7) และแสดงการหาค่าตอบที่ดีที่สุดของวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพแบบวาฟดังแสดงในรูปที่ 4.35 ถึงรูปที่ 4.42 ซึ่งแสดงค่าในแกน X ดังในรูปการหาค่าตอบที่ดีที่สุดของวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพแบบวาฟเพื่อแสดงรอบการคำนวณที่ต่ำที่สุดในการค้นพบคำตอบที่ดีที่สุดของวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพแบบวาฟ

โดยตารางที่ 4.13 ถึงตารางที่ 4.20 มีตัวชี้วัดคุณภาพของการจ่ายไฟฟ้าและความน่าเชื่อถือของระบบจำหน่ายไฟฟ้า คือ ค่าใช้จ่ายจากกำลังไฟฟ้าสูญเสียหรือพลังงานไฟฟ้าสูญเสียและการเบี่ยงเบนของแรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

ตารางที่ 4.13 ผลการจำลองการยกระดับแรงดันไฟฟ้าด้วยชุดตัวเก็บประจุในวงจรไฟฟ้าที่ 1

ผลการจำลอง	กรณีที่ 1		
	สถานการณ์ 1	สถานการณ์ 2	สถานการณ์ 3
ชุดตัวเก็บประจุเพิ่มเติม [ขนาด Mvar] (โหนด)	-	-	1.5 (10)
ค่าใช้จ่ายของชุดตัวเก็บประจุ [บาท/ปี]	-	-	9,918
พลังงานสูญเสียโดยไม่มีรอยนต์ไฟฟ้า [MWh]	2,0556	2,0556	1,8885
พลังงานสูญเสียจากรอยนต์ไฟฟ้า [MWh]	-	0.2154	0.1881
ค่าใช้จ่ายของพลังงานที่สูญเสียโดยไม่มีรอยนต์ไฟฟ้า [บาท/ปี]	2,160,897	2,160,897	1,985,354
ค่าใช้จ่ายของพลังงานสูญเสียจากรอยนต์ไฟฟ้า [บาท/ปี]	-	226,434	197,735
ค่าใช้จ่ายทั้งหมด [บาท/ปี]	2,160,897	2,387,331	2,193,007
% การเพิ่มขึ้นของค่าใช้จ่ายทั้งหมด	-	10.48%	1.49%
<i>VDI</i>	0.1455	0.1539	0.1071
% การเพิ่มขึ้นของ <i>VDI</i>	-	5.77%	-26.39%
ผลการจำลอง	กรณีที่ 2		
	สถานการณ์ 1	สถานการณ์ 2	สถานการณ์ 3
ชุดตัวเก็บประจุเพิ่มเติม [ขนาด Mvar] (โหนด)	-	-	0.15 (3), 0.15(7) , 1.5(11)
ค่าใช้จ่ายของชุดตัวเก็บประจุ [บาท/ปี]	-	-	14,844
พลังงานสูญเสียโดยไม่มีรอยนต์ไฟฟ้า [MWh]	2,0556	2,0556	1,8876
พลังงานสูญเสียจากรอยนต์ไฟฟ้า [MWh]	-	0.4665	0.4038
ค่าใช้จ่ายของพลังงานที่สูญเสียโดยไม่มีรอยนต์ไฟฟ้า [บาท/ปี]	2,160,897	2,160,897	1,984,262
ค่าใช้จ่ายของพลังงานสูญเสียจากรอยนต์ไฟฟ้า [บาท/ปี]	-	490,395	424,484
ค่าใช้จ่ายทั้งหมด [บาท/ปี]	2,160,897	2,651,292	2,423,590
% การเพิ่มขึ้นของค่าใช้จ่ายทั้งหมด	-	22.69%	12.57%
<i>VDI</i>	0.1455	0.1627	0.1091
% การเพิ่มขึ้นของ <i>VDI</i>	-	11.82%	-25.02%

(1 ดอลลาร์สหรัฐ เท่ากับ 32.84 บาท)

ตารางที่ 4.14 ผลการจำลองการยกระดับแรงดันไฟฟ้าด้วยชุดตัวเก็บประจุในวงจรไฟฟ้าที่ 2

ผลการจำลอง	กรณีที่ 1		
	สถานการณ์ 1	สถานการณ์ 2	สถานการณ์ 3
ชุดตัวเก็บประจุเพิ่มเติม [ขนาด Mvar] (โหนด)	-	-	0.6(5), 0.45(8) , 0.45(18)
ค่าใช้จ่ายของชุดตัวเก็บประจุ [บาท/ปี]	-	-	11,813
พลังงานสูญเสียโดยไม่มีรอยนต์ไฟฟ้า [MWh]	0.5577	0.5577	0.5082
พลังงานสูญเสียจากรอยนต์ไฟฟ้า [MWh]	-	0.0225	0.0192
ค่าใช้จ่ายของพลังงานที่สูญเสียโดยไม่มีรอยนต์ไฟฟ้า [บาท/ปี]	586,269	586,269	534,344
ค่าใช้จ่ายของพลังงานสูญเสียจากรอยนต์ไฟฟ้า [บาท/ปี]	-	23,652	20,184
ค่าใช้จ่ายทั้งหมด [บาท/ปี]	586,269	609,921	566,341
% การเพิ่มขึ้นของค่าใช้จ่ายทั้งหมด	-	4.03%	-3.40%
<i>VDI</i>	0.0679	0.0688	0.0530
% การเพิ่มขึ้นของ <i>VDI</i>	-	1.33%	-21.94%
ผลการจำลอง	กรณีที่ 2		
	สถานการณ์ 1	สถานการณ์ 2	สถานการณ์ 3
ชุดตัวเก็บประจุเพิ่มเติม [ขนาด Mvar] (โหนด)	-	-	0.9(3), 0.15(7) , 0.45(19)
ค่าใช้จ่ายของชุดตัวเก็บประจุ [บาท/ปี]	-	-	11,611
พลังงานสูญเสียโดยไม่มีรอยนต์ไฟฟ้า [MWh]	0.5577	0.5577	0.5097
พลังงานสูญเสียจากรอยนต์ไฟฟ้า [MWh]	-	0.0495	0.0432
ค่าใช้จ่ายของพลังงานที่สูญเสียโดยไม่มีรอยนต์ไฟฟ้า [บาท/ปี]	586,269	586,269	535,824
ค่าใช้จ่ายของพลังงานสูญเสียจากรอยนต์ไฟฟ้า [บาท/ปี]	-	52,035	45,413
ค่าใช้จ่ายทั้งหมด [บาท/ปี]	586,269	638,304	592,848
% การเพิ่มขึ้นของค่าใช้จ่ายทั้งหมด	-	8.88%	1.12%
<i>VDI</i>	0.0679	0.0698	0.0554
% การเพิ่มขึ้นของ <i>VDI</i>	-	2.80%	-18.41%

(1 ดอลลาร์สหรัฐ เท่ากับ 32.84 บาท)

ตารางที่ 4.15 ผลการจำลองการยกระดับแรงดันไฟฟ้าด้วยชุดตัวเก็บประจุในวงจรไฟฟ้าที่ 3

ผลการจำลอง	กรณีที่ 1		
	สถานการณ์ 1	สถานการณ์ 2	สถานการณ์ 3
ชุดตัวเก็บประจุเพิ่มเติม [ขนาด Mvar] (โหนด)	-	-	[]
ค่าใช้จ่ายของชุดตัวเก็บประจุ [บาท/ปี]	-	-	0
พลังงานสูญเสียโดยไม่มีรอยนต์ไฟฟ้า [MWh]	0.7422	0.7422	0.7422
พลังงานสูญเสียจากรอยนต์ไฟฟ้า [MWh]	-	0.0429	0.0429
ค่าใช้จ่ายของพลังงานที่สูญเสียโดยไม่มีรอยนต์ไฟฟ้า [บาท/ปี]	780,219	780,219	780,219
ค่าใช้จ่ายของพลังงานสูญเสียจากรอยนต์ไฟฟ้า [บาท/ปี]	-	45,099	45,099
ค่าใช้จ่ายทั้งหมด [บาท/ปี]	780,219	825,318	825,318
% การเพิ่มขึ้นของค่าใช้จ่ายทั้งหมด	-	5.78%	5.78%
<i>VDI</i>	0.0373	0.0419	0.0419
% การเพิ่มขึ้นของ <i>VDI</i>	-	12.33%	12.33%
ผลการจำลอง	กรณีที่ 2		
	สถานการณ์ 1	สถานการณ์ 2	สถานการณ์ 3
ชุดตัวเก็บประจุเพิ่มเติม [ขนาด Mvar] (โหนด)	-	-	[]
ค่าใช้จ่ายของชุดตัวเก็บประจุ [บาท/ปี]	-	-	0
พลังงานสูญเสียโดยไม่มีรอยนต์ไฟฟ้า [MWh]	0.7422	0.7422	0.7422
พลังงานสูญเสียจากรอยนต์ไฟฟ้า [MWh]	-	0.0891	0.0891
ค่าใช้จ่ายของพลังงานที่สูญเสียโดยไม่มีรอยนต์ไฟฟ้า [บาท/ปี]	780,219	780,219	780,219
ค่าใช้จ่ายของพลังงานสูญเสียจากรอยนต์ไฟฟ้า [บาท/ปี]	-	93,663	93,663
ค่าใช้จ่ายทั้งหมด [บาท/ปี]	780,219	873,882	873,882
% การเพิ่มขึ้นของค่าใช้จ่ายทั้งหมด	-	12%	12%
<i>VDI</i>	0.0373	0.0463	0.0463
% การเพิ่มขึ้นของ <i>VDI</i>	-	24.13%	24.13%

(1 ดอลลาร์สหรัฐ เท่ากับ 32.84 บาท)

ตารางที่ 4.16 ผลการจำลองการยกระดับแรงดันไฟฟ้าด้วยชุดตัวเก็บประจุในวงจรไฟฟ้าที่ 4

ผลการจำลอง	กรณีที่ 1		
	สถานการณ์ 1	สถานการณ์ 2	สถานการณ์ 3
ชุดตัวเก็บประจุเพิ่มเติม [ขนาด Mvar] (โหนด)	-	-	0.9(5), 0.45(12), 0.15(13), 0.3(17)
ค่าใช้จ่ายของชุดตัวเก็บประจุ [บาท/ปี]	-	-	15,059
พลังงานสูญเสียโดยไม่มีรอยนต์ไฟฟ้า [MWh]	0.7593	0.7593	0.6579
พลังงานสูญเสียจากรอยนต์ไฟฟ้า [MWh]	-	0.0048	0.0042
ค่าใช้จ่ายของพลังงานที่สูญเสียโดยไม่มีรอยนต์ไฟฟ้า [บาท/ปี]	798,195	798,195	691,601
ค่าใช้จ่ายของพลังงานสูญเสียจากรอยนต์ไฟฟ้า [บาท/ปี]	-	5,046	4,415
ค่าใช้จ่ายทั้งหมด [บาท/ปี]	798,195	803,241	711,075
% การเพิ่มขึ้นของค่าใช้จ่ายทั้งหมด	-	0.63%	-10.91%
<i>VDI</i>	0.1491	0.1494	0.0891
% การเพิ่มขึ้นของ <i>VDI</i>	-	0.2%	-40.24%
ผลการจำลอง	กรณีที่ 2		
	สถานการณ์ 1	สถานการณ์ 2	สถานการณ์ 3
ชุดตัวเก็บประจุเพิ่มเติม [ขนาด Mvar] (โหนด)	-	-	0.9(5), 0.45(12), 0.15(13), 0.3(17)
ค่าใช้จ่ายของชุดตัวเก็บประจุ [บาท/ปี]	-	-	15,059
พลังงานสูญเสียโดยไม่มีรอยนต์ไฟฟ้า [MWh]	0.7593	0.7593	0.6579
พลังงานสูญเสียจากรอยนต์ไฟฟ้า [MWh]	-	0.0093	0.0084
ค่าใช้จ่ายของพลังงานที่สูญเสียโดยไม่มีรอยนต์ไฟฟ้า [บาท/ปี]	798,195	798,195	691,529
ค่าใช้จ่ายของพลังงานสูญเสียจากรอยนต์ไฟฟ้า [บาท/ปี]	-	9,777	8,830
ค่าใช้จ่ายทั้งหมด [บาท/ปี]	798,195	807,972	715,418
% การเพิ่มขึ้นของค่าใช้จ่ายทั้งหมด	-	1.22%	-10.37%
<i>VDI</i>	0.1491	0.1497	0.0894
% การเพิ่มขึ้นของ <i>VDI</i>	-	0.4%	-40.04%

(1 ดอลลาร์สหรัฐ เท่ากับ 32.84 บาท)

ตารางที่ 4.17 ผลการจำลองการยกระดับแรงดันไฟฟ้าด้วยชุดตัวเก็บประจุในวงจรไฟฟ้าที่ 5

ผลการจำลอง	กรณีที่ 1		
	สถานการณ์ 1	สถานการณ์ 2	สถานการณ์ 3
ชุดตัวเก็บประจุเพิ่มเติม [ขนาด Mvar] (โหนด)	-	-	0.9(5)
ค่าใช้จ่ายของชุดตัวเก็บประจุ [บาท/ปี]	-	-	5,409
พลังงานสูญเสียโดยไม่มีรอยนต์ไฟฟ้า [MWh]	0.3123	0.3123	0.2643
พลังงานสูญเสียจากรอยนต์ไฟฟ้า [MWh]	-	0.0081	0.0069
ค่าใช้จ่ายของพลังงานที่สูญเสียโดยไม่มีรอยนต์ไฟฟ้า [บาท/ปี]	328,299	328,299	277,739
ค่าใช้จ่ายของพลังงานสูญเสียจากรอยนต์ไฟฟ้า [บาท/ปี]	-	8,514	7,253
ค่าใช้จ่ายทั้งหมด [บาท/ปี]	328,299	336,813	290,401
% การเพิ่มขึ้นของค่าใช้จ่ายทั้งหมด	-	2.59%	-11.54%
<i>VDI</i>	0.0724	0.0734	0.0476
% การเพิ่มขึ้นของ <i>VDI</i>	-	1.38%	-34.25%
ผลการจำลอง	กรณีที่ 2		
	สถานการณ์ 1	สถานการณ์ 2	สถานการณ์ 3
ชุดตัวเก็บประจุเพิ่มเติม [ขนาด Mvar] (โหนด)	-	-	0.9(6)
ค่าใช้จ่ายของชุดตัวเก็บประจุ [บาท/ปี]	-	-	5,409
พลังงานสูญเสียโดยไม่มีรอยนต์ไฟฟ้า [MWh]	0.3123	0.3123	0.2637
พลังงานสูญเสียจากรอยนต์ไฟฟ้า [MWh]	-	0.0159	0.0135
ค่าใช้จ่ายของพลังงานที่สูญเสียโดยไม่มีรอยนต์ไฟฟ้า [บาท/ปี]	328,299	328,299	277,171
ค่าใช้จ่ายของพลังงานสูญเสียจากรอยนต์ไฟฟ้า [บาท/ปี]	-	16,713	14,192
ค่าใช้จ่ายทั้งหมด [บาท/ปี]	328,299	345,012	296,772
% การเพิ่มขึ้นของค่าใช้จ่ายทั้งหมด	-	5.09%	-9.60%
<i>VDI</i>	0.0724	0.0743	0.0474
% การเพิ่มขึ้นของ <i>VDI</i>	-	2.62%	-34.53%

(1 ดอลลาร์สหรัฐ เท่ากับ 32.84 บาท)

ตารางที่ 4.18 ผลการจำลองการยกระดับแรงดันไฟฟ้าด้วยชุดตัวเก็บประจุในวงจรไฟฟ้าที่ 6

ผลการจำลอง	กรณีที่ 1		
	สถานการณ์ 1	สถานการณ์ 2	สถานการณ์ 3
ชุดตัวเก็บประจุเพิ่มเติม [ขนาด Mvar] (โหนด)	-	-	0.9(13)
ค่าใช้จ่ายของชุดตัวเก็บประจุ [บาท/ปี]	-	-	5409
พลังงานสูญเสียโดยไม่มีรอยนต์ไฟฟ้า [MWh]	0.7659	0.7659	0.7044
พลังงานสูญเสียจากรอยนต์ไฟฟ้า [MWh]	-	0.0660	0.0576
ค่าใช้จ่ายของพลังงานที่สูญเสียโดยไม่มีรอยนต์ไฟฟ้า [บาท/ปี]	805,134	805,134	740,477
ค่าใช้จ่ายของพลังงานสูญเสียจากรอยนต์ไฟฟ้า [บาท/ปี]	-	69,381	60,551
ค่าใช้จ่ายทั้งหมด [บาท/ปี]	805,134	874,515	806,437
% การเพิ่มขึ้นของค่าใช้จ่ายทั้งหมด	-	8.62%	0.16%
<i>VDI</i>	0.0981	0.1027	0.0754
% การเพิ่มขึ้นของ <i>VDI</i>	-	4.69%	-23.14%
ผลการจำลอง	กรณีที่ 2		
	สถานการณ์ 1	สถานการณ์ 2	สถานการณ์ 3
ชุดตัวเก็บประจุเพิ่มเติม [ขนาด Mvar] (โหนด)	-	-	0.15(9), 0.9(13)
ค่าใช้จ่ายของชุดตัวเก็บประจุ [บาท/ปี]	-	-	7,872
พลังงานสูญเสียโดยไม่มีรอยนต์ไฟฟ้า [MWh]	0.7659	0.7659	0.7035
พลังงานสูญเสียจากรอยนต์ไฟฟ้า [MWh]	-	0.1317	0.1137
ค่าใช้จ่ายของพลังงานที่สูญเสียโดยไม่มีรอยนต์ไฟฟ้า [บาท/ปี]	805,134	805,134	739,409
ค่าใช้จ่ายของพลังงานสูญเสียจากรอยนต์ไฟฟ้า [บาท/ปี]	-	138,447	119,524
ค่าใช้จ่ายทั้งหมด [บาท/ปี]	805,134	943,581	866,805
% การเพิ่มขึ้นของค่าใช้จ่ายทั้งหมด	-	17.2%	7.66%
<i>VDI</i>	0.0981	0.1069	0.0756
% การเพิ่มขึ้นของ <i>VDI</i>	-	8.97%	-22.94%

(1 ดอลลาร์สหรัฐ เท่ากับ 32.84 บาท)

ตารางที่ 4.19 ผลการจำลองการยกระดับแรงดันไฟฟ้าด้วยชุดตัวเก็บประจุในวงจรไฟฟ้าที่ 7

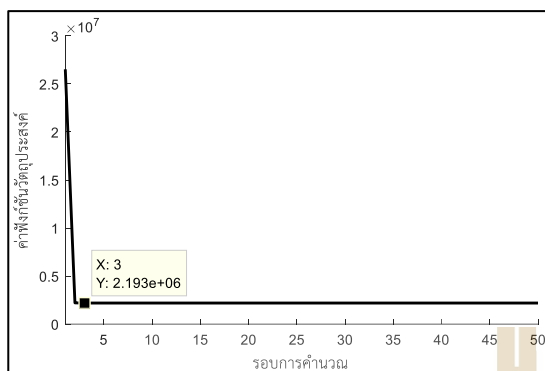
ผลการจำลอง	กรณีที่ 1		
	สถานการณ์ 1	สถานการณ์ 2	สถานการณ์ 3
ชุดตัวเก็บประจุเพิ่มเติม [ขนาด Mvar] (โหนด)	-	-	0.9(8)
ค่าใช้จ่ายของชุดตัวเก็บประจุ [บาท/ปี]	-	-	5,409
พลังงานสูญเสียโดยไม่มีรอยนต์ไฟฟ้า [MWh]	1,3017	1,3017	1,2666
พลังงานสูญเสียจากรอยนต์ไฟฟ้า [MWh]	-	0.0210	0.0195
ค่าใช้จ่ายของพลังงานที่สูญเสียโดยไม่มีรอยนต์ไฟฟ้า [บาท/ปี]	1,368,378	1,368,378	1,331,380
ค่าใช้จ่ายของพลังงานสูญเสียจากรอยนต์ไฟฟ้า [บาท/ปี]	-	22,077	20,499
ค่าใช้จ่ายทั้งหมด [บาท/ปี]	1,368,378	1,390,455	1,357,288
% การเพิ่มขึ้นของค่าใช้จ่ายทั้งหมด	-	1.61%	-0.81%
<i>VDI</i>	0.2316	0.2345	0.1859
% การเพิ่มขึ้นของ <i>VDI</i>	-	1.25%	-19.73%
ผลการจำลอง	กรณีที่ 2		
	สถานการณ์ 1	สถานการณ์ 2	สถานการณ์ 3
ชุดตัวเก็บประจุเพิ่มเติม [ขนาด Mvar] (โหนด)	-	-	0.15(8), 0.6(10), 0.15(20)
ค่าใช้จ่ายของชุดตัวเก็บประจุ [บาท/ปี]	-	-	9,261
พลังงานสูญเสียโดยไม่มีรอยนต์ไฟฟ้า [MWh]	1,3017	1,3017	1,2657
พลังงานสูญเสียจากรอยนต์ไฟฟ้า [MWh]	-	0.0420	0.0381
ค่าใช้จ่ายของพลังงานที่สูญเสียโดยไม่มีรอยนต์ไฟฟ้า [บาท/ปี]	1,368,378	1,368,378	1,330,624
ค่าใช้จ่ายของพลังงานสูญเสียจากรอยนต์ไฟฟ้า [บาท/ปี]	-	44,151	40,052
ค่าใช้จ่ายทั้งหมด [บาท/ปี]	1,368,378	1,412,529	1,379,937
% การเพิ่มขึ้นของค่าใช้จ่ายทั้งหมด	-	3.23%	0.84%
<i>VDI</i>	0.2316	0.2374	0.1737
% การเพิ่มขึ้นของ <i>VDI</i>	-	2.50%	-25.00%

(1 ดอลลาร์สหรัฐ เท่ากับ 32.84 บาท)

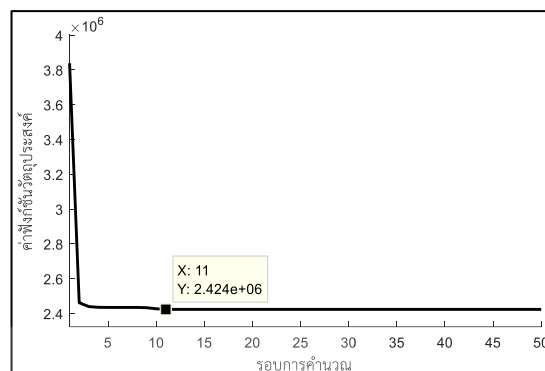
ตารางที่ 4.20 ผลการจำลองการยกระดับแรงดันไฟฟ้าด้วยชุดตัวเก็บประจุในวงจรไฟฟ้าที่ 8

ผลการจำลอง	กรณีที่ 1		
	สถานการณ์ 1	สถานการณ์ 2	สถานการณ์ 3
ชุดตัวเก็บประจุเพิ่มเติม [ขนาด Mvar] (โหนด)	-	-	□
ค่าใช้จ่ายของชุดตัวเก็บประจุ [บาท/ปี]	-	-	0
พลังงานสูญเสียโดยไม่มีรอยนต์ไฟฟ้า [MWh]	1,7550	1,7550	1,7550
พลังงานสูญเสียจากรอยนต์ไฟฟ้า [MWh]	-	0.0192	0.0192
ค่าใช้จ่ายของพลังงานที่สูญเสียโดยไม่มีรอยนต์ไฟฟ้า [บาท/ปี]	1,844,901	1,844,901	1,844,901
ค่าใช้จ่ายของพลังงานสูญเสียจากรอยนต์ไฟฟ้า [บาท/ปี]	-	20,184	20,184
ค่าใช้จ่ายทั้งหมด [บาท/ปี]	1,844,901	1,865,085	1,865,085
% การเพิ่มขึ้นของค่าใช้จ่ายทั้งหมด	-	1.09%	1.09%
<i>VDI</i>	0.1362	0.1380	0.1380
% การเพิ่มขึ้นของ <i>VDI</i>	-	1.32%	1.32%
ผลการจำลอง	กรณีที่ 2		
	สถานการณ์ 1	สถานการณ์ 2	สถานการณ์ 3
ชุดตัวเก็บประจุเพิ่มเติม [ขนาด Mvar] (โหนด)	-	-	□
ค่าใช้จ่ายของชุดตัวเก็บประจุ [บาท/ปี]	-	-	0
พลังงานสูญเสียโดยไม่มีรอยนต์ไฟฟ้า [MWh]	1,7550	1,7550	1,7550
พลังงานสูญเสียจากรอยนต์ไฟฟ้า [MWh]	-	0.0369	0.0369
ค่าใช้จ่ายของพลังงานที่สูญเสียโดยไม่มีรอยนต์ไฟฟ้า [บาท/ปี]	1,844,901	1,844,901	1,844,901
ค่าใช้จ่ายของพลังงานสูญเสียจากรอยนต์ไฟฟ้า [บาท/ปี]	-	38,790	38,790
ค่าใช้จ่ายทั้งหมด [บาท/ปี]	1,844,901	1,883,691	1,883,691
% การเพิ่มขึ้นของค่าใช้จ่ายทั้งหมด	-	2.1%	2.1%
<i>VDI</i>	0.1362	0.1395	0.1395
% การเพิ่มขึ้นของ <i>VDI</i>	-	2.42%	2.42%

(1 ดอลลาร์สหรัฐ เท่ากับ 32.84 บาท)

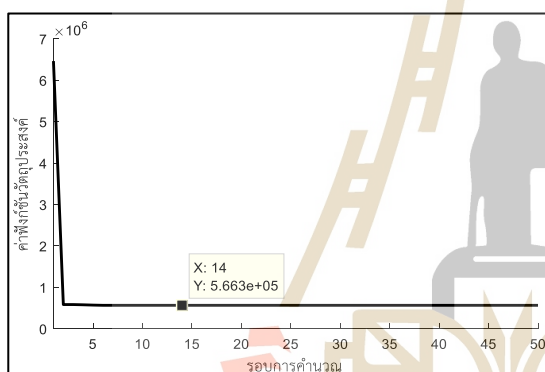


ก) กรณีที่ 1

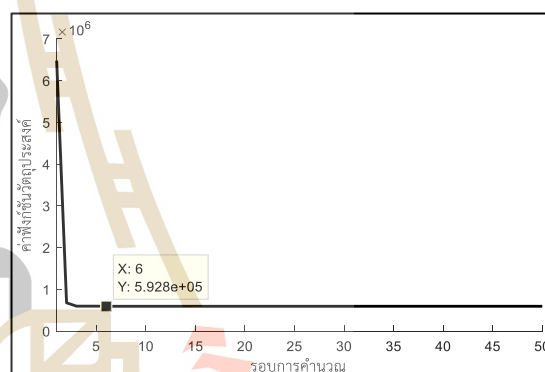


ข) กรณีที่ 2

รูปที่ 4.35 การหาค่าตอบที่ดีที่สุดของวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพแบบวาฟสำหรับวงจรไฟฟ้าที่ 1

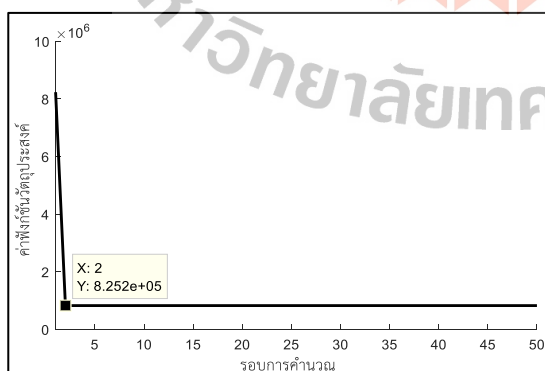


ก) กรณีที่ 1

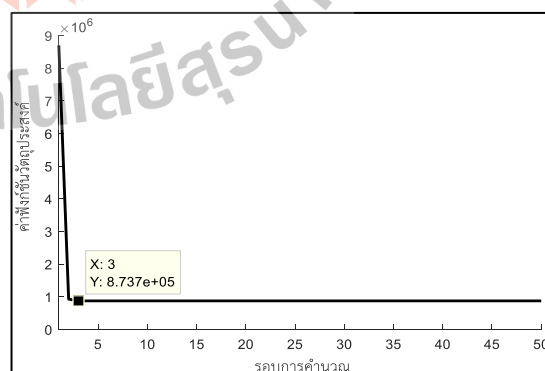


ข) กรณีที่ 2

รูปที่ 4.36 การหาค่าตอบที่ดีที่สุดของวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพแบบวาฟสำหรับวงจรไฟฟ้าที่ 2

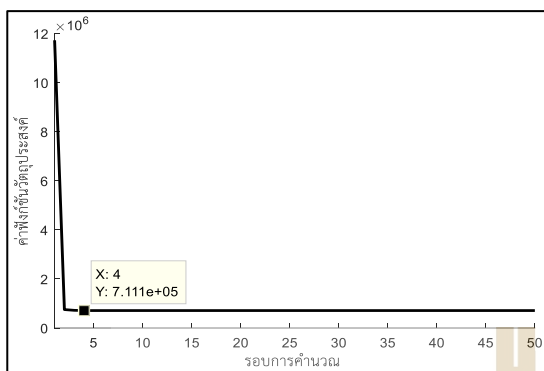


ก) กรณีที่ 1

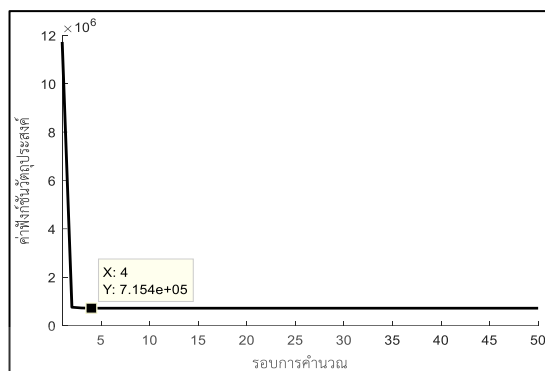


ข) กรณีที่ 2

รูปที่ 4.37 การหาค่าตอบที่ดีที่สุดของวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพแบบวาฟสำหรับวงจรไฟฟ้าที่ 3

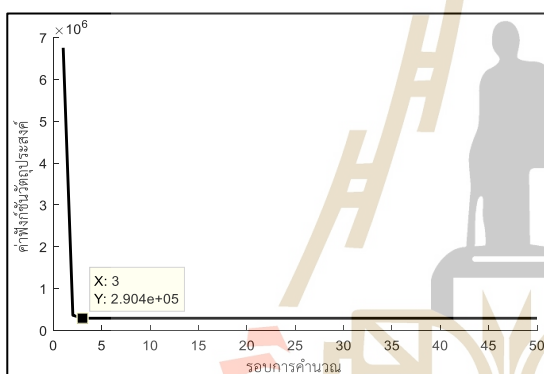


ก) กรณีที่ 1

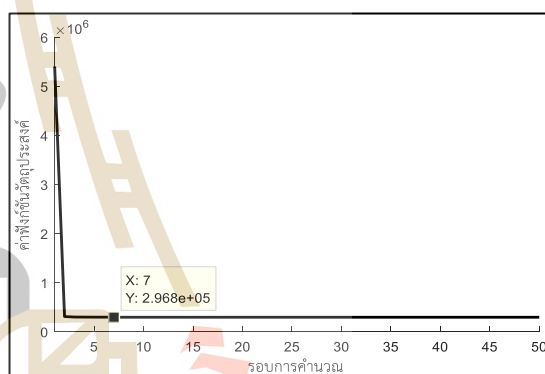


ข) กรณีที่ 2

รูปที่ 4.38 การหาค่าตอบที่ดีที่สุดของวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพแบบวาฟสำหรับวงจรไฟฟ้าที่ 4

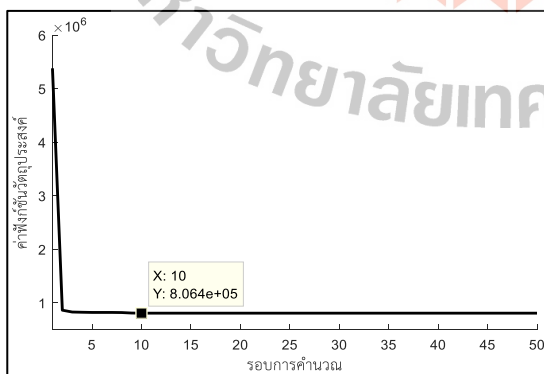


ก) กรณีที่ 1

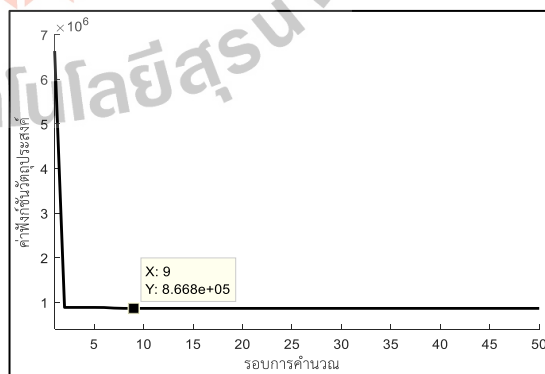


ข) กรณีที่ 2

รูปที่ 4.39 การหาค่าตอบที่ดีที่สุดของวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพแบบวาฟสำหรับวงจรไฟฟ้าที่ 5

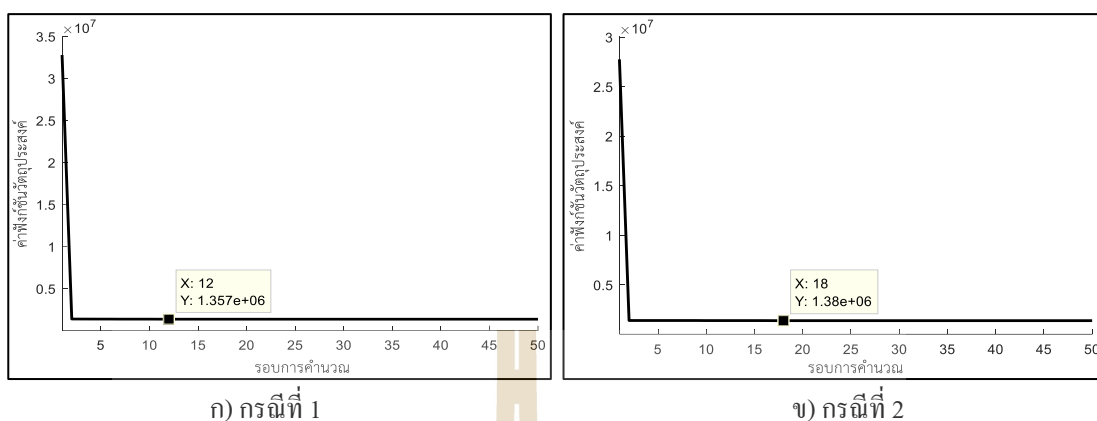


ก) กรณีที่ 1

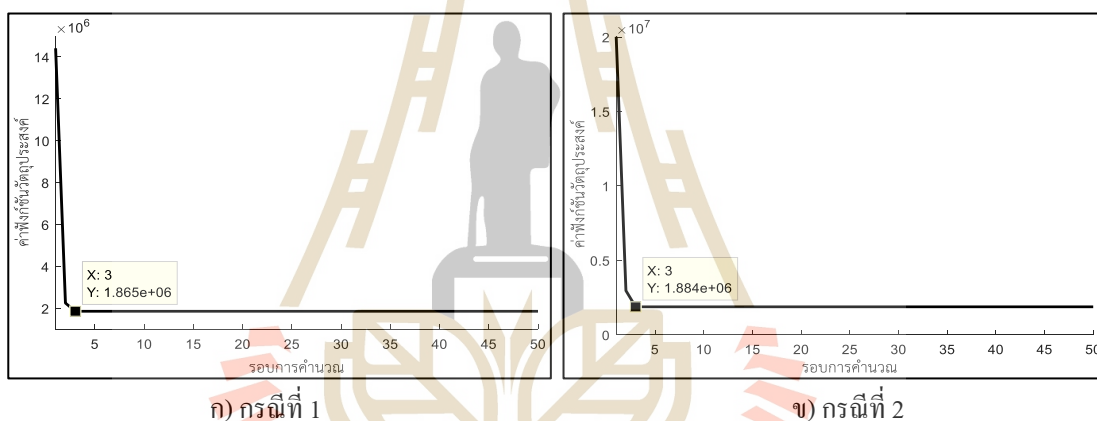


ข) กรณีที่ 2

รูปที่ 4.40 การหาค่าตอบที่ดีที่สุดของวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพแบบวาฟสำหรับวงจรไฟฟ้าที่ 6



รูปที่ 4.41 การลู่เข้าหาค่าตอบที่ดีที่สุดของวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพแบบวาฟสำหรับวงจรไฟฟ้าที่ 7



รูปที่ 4.42 การลู่เข้าหาค่าตอบที่ดีที่สุดของวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพแบบวาฟสำหรับวงจรไฟฟ้าที่ 8

จากตารางที่ 4.13 ถึงตารางที่ 4.20 การติดตั้งชุดตัวเก็บประจุไฟฟ้าเพิ่มในระบบจำหน่ายไฟฟ้าเพื่อยกระดับแรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า พบว่า ชุดตัวเก็บประจุช่วยปรับปรุงคุณภาพการจ่ายไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าให้ดีขึ้น สามารถลดกำลังไฟฟ้าสูญเสีย รักษาระดับของแรงดันไฟฟ้า และมีความสามารถในการรับโหลดทางไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าเพิ่มขึ้น เช่น วงจรไฟฟ้าที่ 1 สำหรับกรณีที่ 1 ดังแสดงในตารางที่ 4.13 พบว่า ในสถานการณ์ที่ 1 ไม่มีรอยนต์ไฟฟ้าและชุดตัวเก็บประจุในระบบจำหน่ายไฟฟ้า ทำให้มีค่าใช้จ่ายของพลังงานที่สูญเสียโดยไม่มีรอยนต์ไฟฟ้าหรือค่าใช้จ่ายทั้งหมดเท่ากับ 2,160,897 บาท และการเบี่ยงเบนของแรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 0.1455 เมื่อมีรอยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าดังในสถานการณ์ที่ 2 จะเห็น

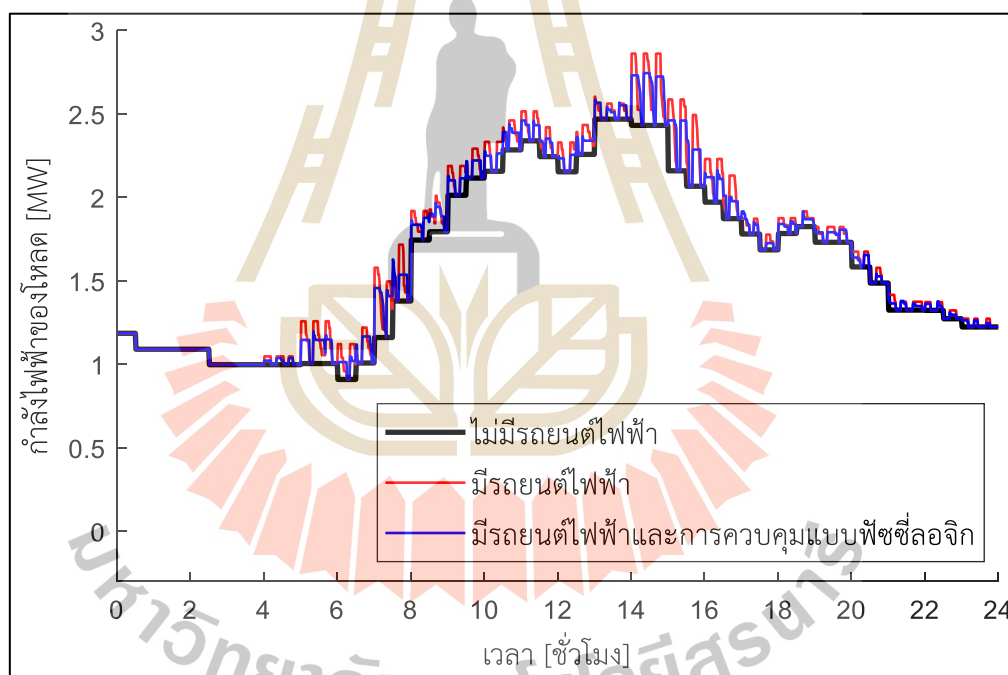
ได้ว่า มีค่าใช้จ่ายทั้งหมดเท่ากับ 2,387,331 บาท เพิ่มขึ้นจากสถานการณ์ที่ 1 ประมาณ 10.48% และการเบี่ยงเบนของแรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 0.1539 เพิ่มขึ้นจากสถานการณ์ที่ 1 ประมาณ 5.77 % สำหรับสถานการณ์ที่ 3 ที่มีการติดตั้งชุดตัวเก็บประจุขนาด 1.5 Mvar ที่โหนด 10 ในวงจรไฟฟ้าที่ 1 พบว่ามีค่าใช้จ่ายทั้งหมดเท่ากับ 2,193,007 บาท ซึ่งรวมถึงค่าใช้จ่ายของชุดตัวเก็บประจุเป็นการเพิ่มขึ้นจากสถานการณ์ที่ 1 ประมาณ 1.49% และลดลงจากสถานการณ์ที่ 2 ประมาณ 8.99% ซึ่งแสดงให้เห็นถึง ผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่น้อยมาก และการเบี่ยงเบนของแรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 0.1071 นั่นคือ การเบี่ยงเบนของแรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้ามีการเบี่ยงเบนน้อยกว่าสถานการณ์ที่ 1 แสดงให้เห็นว่า ประสิทธิภาพการรักษาระดับของแรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าดีขึ้นประมาณ 26.39% เมื่อมีการติดตั้งชุดตัวเก็บประจุขนาด 1.5 Mvar ที่โหนด 10 ในวงจรไฟฟ้าที่ 1 ยกเว้นวงจรไฟฟ้าที่ 3 และ 8 ดังแสดงในตารางที่ 3.15 และ 3.20 ที่ไม่สามารถติดตั้งชุดตัวเก็บประจุเพิ่มในระบบจำหน่ายไฟฟ้าได้ เนื่องจากชุดตัวเก็บประจุที่มีอยู่เดิมในระบบจำหน่ายไฟฟ้ามีขนาดที่เหมาะสม สำหรับการติดตั้งชุดตัวเก็บประจุเพิ่มในวงจรไฟฟ้าที่ 3 และ 8 อาจส่งผลกระทบให้เกิดผลเสียมากกว่าผลดี

การยกระดับแรงดันไฟฟ้าด้วยชุดตัวเก็บประจุในระบบจำหน่ายไฟฟ้า ทำให้คุณภาพของการจ่ายไฟฟ้าของระบบจำหน่ายไฟฟ้าดีขึ้น คือ สามารถลดกำลังไฟฟ้าสูญเสีย การรักษาระดับของแรงดันไฟฟ้า และความสามารถในการรับโหลดทางไฟฟ้าเพิ่มขึ้น แต่ไม่สามารถลดการบริโภคพลังงานไฟฟ้าจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในช่วงโหลดสูงสุดของระบบจำหน่ายไฟฟ้าได้ ดังนั้น งานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้จึงได้เสนอกกลยุทธ์การจัดการการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าโดยใช้วิธีการควบคุมแบบพีชชีลลจิกเพื่อลดขนาดโหลดสูงสุดจากการบริโภคพลังงานไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า โดยผลการจำลองจะแสดงในหัวข้อถัดไป

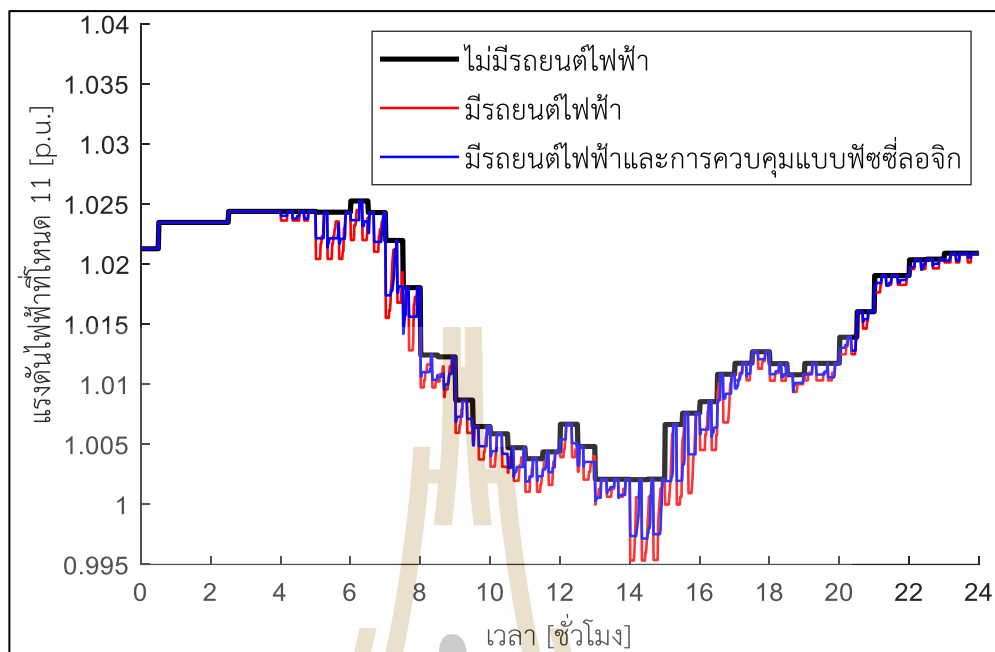
4.5.2 กลยุทธ์การจัดการการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าโดยใช้วิธีการควบคุมแบบพีชชีลลจิก

ผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าดังแสดงในตารางที่ 4.12 พบว่า ในวงจรไฟฟ้าที่ 1 และ 6 ได้รับโหลดจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าเป็นอย่างมาก ส่งผลทำให้มีการบริโภคพลังงานไฟฟ้าในช่วงโหลดสูงสุดของวงจรไฟฟ้าเพิ่มขึ้นประมาณ 16.19 และ 35.22% สำหรับวงจรไฟฟ้าที่ 1 ส่วนวงจรไฟฟ้าที่ 6 เพิ่มขึ้นประมาณ 22.09% ในกรณีที่ 2 ดังนั้น งานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้จึงเสนอกกลยุทธ์การจัดการการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าสำหรับวงจรไฟฟ้าที่ 1 และ 6 โดยใช้วิธีการควบคุมแบบพีชชีลลจิก เพื่อลดการบริโภคพลังงานไฟฟ้าจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในช่วงโหลดสูงสุดของวงจรไฟฟ้า โดยมีกระบวนการและขั้นตอนวิธีการควบคุมแบบพีชชีลลจิกสำหรับกลยุทธ์การจัดการการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าดัง

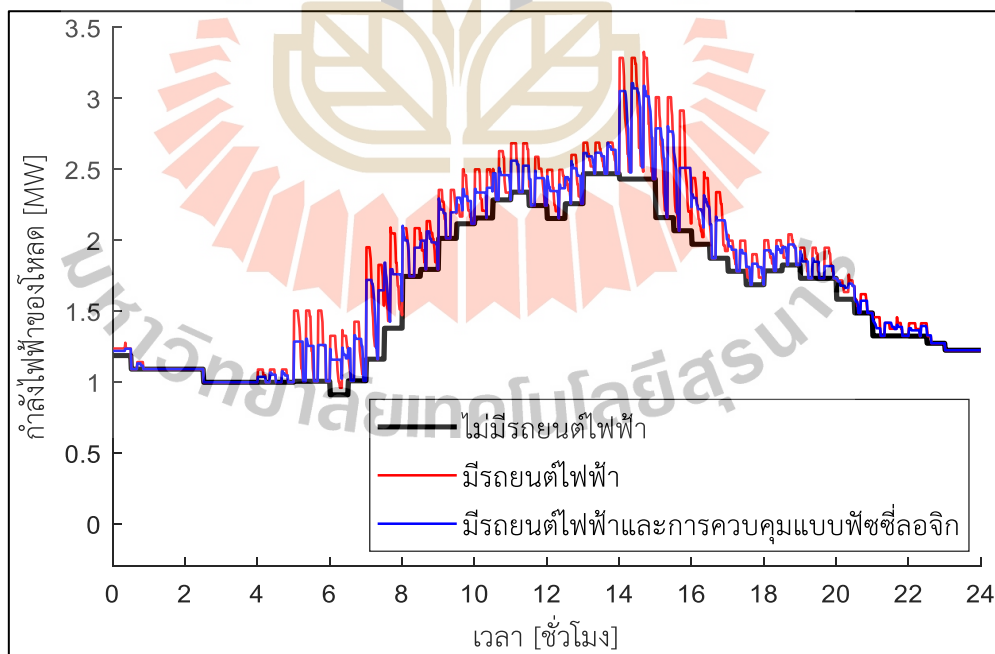
แสดงในหัวข้อที่ 3.5.2 และกำหนดพารามิเตอร์ของตัวแปรอินพุต $N_{traffic}$ สำหรับแต่ละสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วที่แสดงในตารางที่ ก.4 ในภาคผนวก ก ดังนั้น เมื่อมีกลยุทธ์การจัดการการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าตามกระบวนการและขั้นตอนวิธีการควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิกสำหรับกลยุทธ์การจัดการการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่แสดงในหัวข้อที่ 3.5.2 จะได้ ผลการจำลองเป็นลักษณะการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในแต่ละเฟสของวงจรไฟฟ้าที่ 1 และ 6 และการตรวจสอบรูปแบบแรงดันไฟฟ้าที่โหนดที่มีความเสี่ยงมากที่สุดในแต่ละเฟสของวงจรไฟฟ้าดังกล่าว ซึ่งผลการจำลองดังแสดงในรูปที่ 4.43 ถึง 4.48 ประกอบด้วย ลักษณะการบริโภคพลังงานไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าในแต่ละเฟสของวงจรไฟฟ้าที่ 1 และ 6 และรูปแบบแรงดันไฟฟ้าที่โหนดที่มีความเสี่ยงมากที่สุดในแต่ละเฟสที่เกิดการเปลี่ยนแปลงในขณะอัดประจุไฟฟ้าให้กับรถยนต์ไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้าที่ 1 และ 6



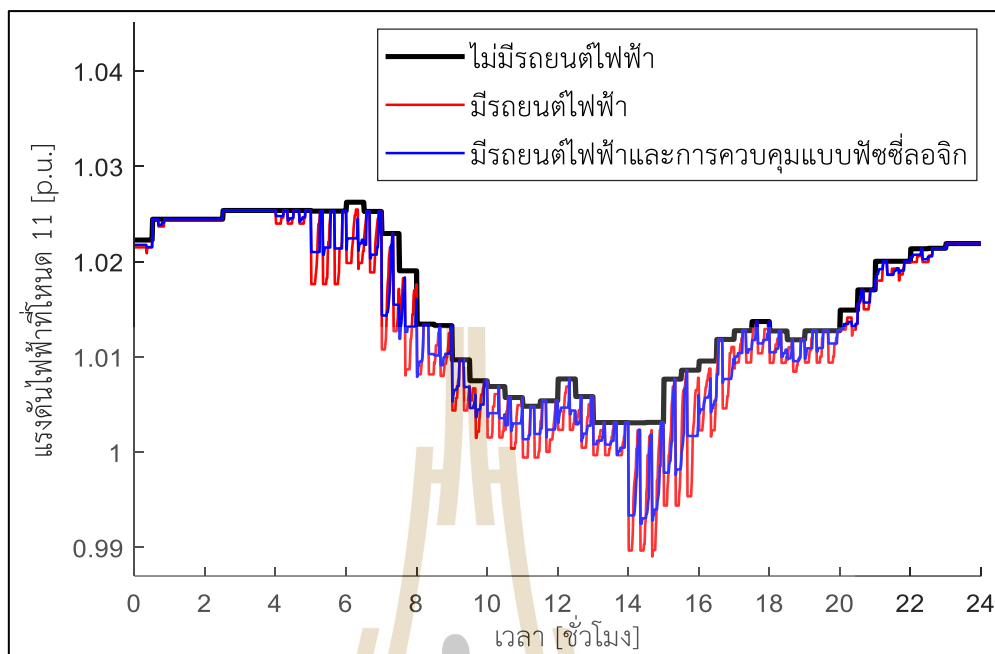
รูปที่ 4.43 การจัดการการอัดประจุไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้าที่ 1 (NRC03)
สำหรับกรณีที่ 1 (กำลังไฟฟ้าของโหลด)



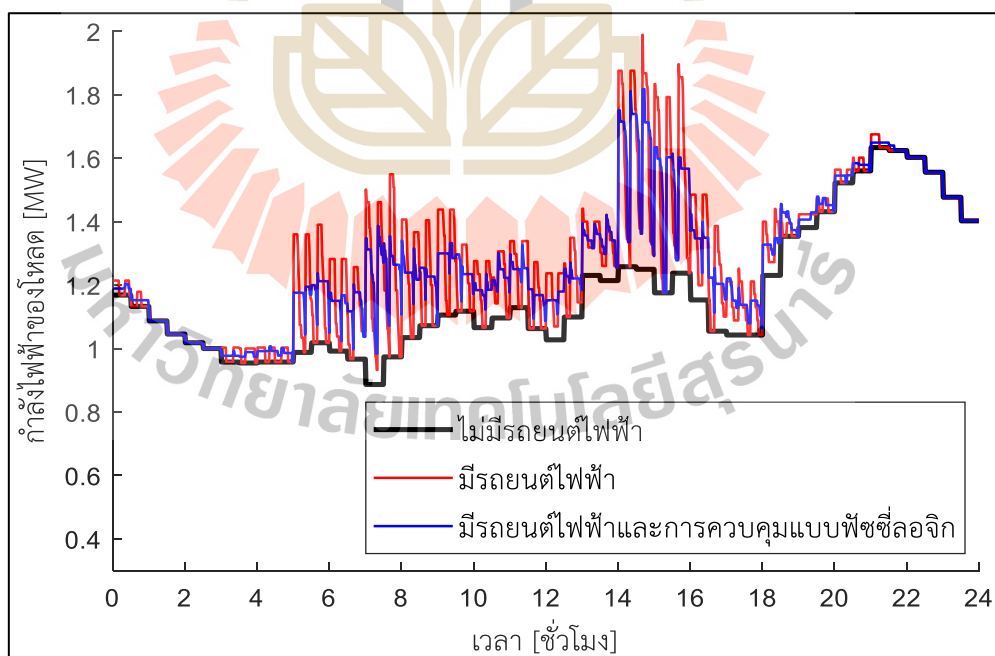
รูปที่ 4.44 การจัดการการอัดประจุไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้าที่ 1 (NRC03) สำหรับกรณีที่ 1 (แรงดันไฟฟ้า)



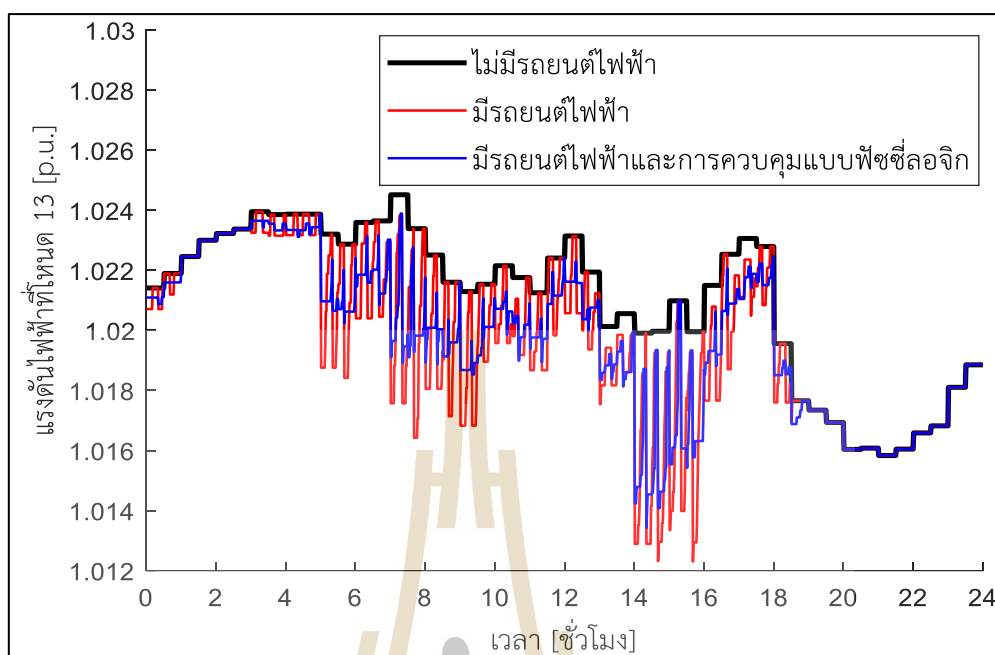
รูปที่ 4.45 การจัดการการอัดประจุไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้าที่ 1 (NRC03) สำหรับกรณีที่ 2 (กำลังไฟฟ้าของโหลด)



รูปที่ 4.46 การจัดการการอัดประจุไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้าที่ 1 (NRC03) สำหรับกรณีที่ 2 (แรงดันไฟฟ้า)



รูปที่ 4.47 การจัดการการอัดประจุไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้าที่ 6 (NRC02) สำหรับกรณีที่ 2 (กำลังไฟฟ้าของโหนด)



รูปที่ 4.48 การจัดการการอัดประจุไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้าที่ 6 (NRC02) สำหรับกรณีที่ 2 (แรงดันไฟฟ้า)

จากรูปที่ 4.43 ถึงรูปที่ 4.48 เป็นลักษณะการบริโภคพลังงานไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าในแต่ละเฟสของวงจรไฟฟ้าที่ 1 และ 6 ที่มีกลยุทธ์การจัดการการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า โดยลักษณะการบริโภคพลังงานไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าในแต่ละเฟสของวงจรไฟฟ้าที่ 1 และ 6 ดังแสดงในรูปที่ 4.43 ถึงรูปที่ 4.48 ถูกนำไปตรวจสอบผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่มีกลยุทธ์การจัดการการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าด้วยการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสัน พบว่า ผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่มีกลยุทธ์การจัดการการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า ผลการจำลองดังแสดงในตารางที่ 4.21 และตารางที่ 4.22 ซึ่งประกอบด้วย โหลดสูงสุดที่เกิดขึ้นในแต่ละเฟสของแต่ละวงจรไฟฟ้า การเบี่ยงเบนของแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในแต่ละเฟสของแต่ละวงจรไฟฟ้า และพลังงานไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดขึ้นในหนึ่งวันของระบบจำหน่ายไฟฟ้า

จากตารางที่ 4.21 และตารางที่ 4.22 ประกอบด้วย 4 สถานการณ์ เพื่อเปรียบเทียบผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าและการบรรเทาผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า โดยในแต่ละสถานการณ์แสดงรายละเอียดได้ดังต่อไปนี้

สถานการณ์ที่ 1 การประเมินคุณภาพการจ่ายไฟฟ้าของระบบจำหน่ายไฟฟ้าโดยไม่มีรถยนต์ไฟฟ้า ไม่มีชุดตัวเก็บประจุ และไม่มีกลยุทธ์การจัดการการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

สถานการณ์ที่ 2 การประเมินคุณภาพการจ่ายไฟฟ้าของระบบจำหน่ายไฟฟ้าโดยมีรถยนต์ไฟฟ้า แต่ไม่มีชุดตัวเก็บประจุและกลยุทธ์การจัดการการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

สถานการณ์ที่ 3 การประเมินคุณภาพการจ่ายไฟฟ้าของระบบจำหน่ายไฟฟ้าโดยมีรถยนต์ไฟฟ้าและชุดตัวเก็บประจุ แต่ไม่มีกลยุทธ์การจัดการการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

สถานการณ์ที่ 4 การประเมินคุณภาพการจ่ายไฟฟ้าของระบบจำหน่ายไฟฟ้าโดยมีรถยนต์ไฟฟ้า ชุดตัวเก็บประจุ และกลยุทธ์การจัดการการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

ตารางที่ 4.21 ผลการจำลองจากการจัดการการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้าที่ 1

กรณีที่ 1	สถานการณ์ที่ 1	สถานการณ์ที่ 2	สถานการณ์ที่ 3	สถานการณ์ที่ 4
โหลดสูงสุด [MW]	2.47	2.87	2.87	2.75
การเพิ่มโหลดสูงสุด (%)	-	16.19%	16.19%	11.34%
พลังงานที่สูญเสีย [MWh]	2.0556	2.2710	2.0766	2.0391
การเพิ่มพลังงานสูญเสีย (%)	-	10.48%	1.02%	-0.80%
<i>VDI</i>	0.1455	0.1539	0.1071	0.1055
การเปลี่ยนแปลง <i>VDI</i> (%)	-	5.77%	-26.39%	-27.49%
กรณีที่ 2	สถานการณ์ที่ 1	สถานการณ์ที่ 2	สถานการณ์ที่ 3	สถานการณ์ที่ 4
โหลดสูงสุด [MW]	2.47	3.34	3.34	3.11
การเพิ่มโหลดสูงสุด (%)	-	35.22%	35.22%	25.91%
พลังงานที่สูญเสีย [MWh]	2.0556	2.5221	2.2914	2.2380
การเพิ่มพลังงานสูญเสีย (%)	-	22.69%	11.47%	8.87%
<i>VDI</i>	0.1455	0.1627	0.1091	0.1071
การเปลี่ยนแปลง <i>VDI</i> (%)	-	11.82%	-25.02%	-26.39%

ตารางที่ 4.22 ผลการจำลองจากการจัดการการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้าที่ 6

กรณีที่ 2	สถานการณ์ที่ 1	สถานการณ์ที่ 2	สถานการณ์ที่ 3	สถานการณ์ที่ 4
โหลดสูงสุด [MW]	1.63	1.99	1.99	1.82
การเพิ่มโหลดสูงสุด (%)	-	22.09%	22.09%	11.66%
พลังงานที่สูญเสีย [MWh]	0.7659	0.8976	0.8172	0.8115
การเพิ่มพลังงานสูญเสีย (%)	-	17.20%	6.70%	5.95%
<i>VDI</i>	0.0981	0.1069	0.0759	0.0755
การเปลี่ยนแปลง <i>VDI</i> (%)	-	8.97%	-22.63%	-23.04%

จากตารางที่ 4.21 และตารางที่ 4.22 แสดงผลการจำลองการบรรเทาผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า ประกอบด้วย กลยุทธ์การจัดการการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าโดยใช้วิธีการควบคุมแบบพีชชีลอจิก และการยกระดับแรงดันไฟฟ้าด้วยชุดตัวเก็บประจุในระบบจำหน่ายไฟฟ้า พบว่า สามารถบรรเทาผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าได้เป็นอย่างดี เช่น ผลการจำลองกลยุทธ์การจัดการการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้าที่ 1 สำหรับกรณีที่ 1 ดังแสดงในตารางที่ 4.21 พบว่า สถานการณ์ที่ 1 โหลดสูงสุดในระบบจำหน่ายไฟฟ้าเท่ากับ 2.47 MW พลังงานที่สูญเสียที่เกิดขึ้นในหนึ่งวันเท่ากับ 2.0556 MWh และการเบี่ยงเบนของแรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 0.1455 สถานการณ์ที่ 2 เมื่อมีรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า พบว่า โหลดสูงสุดที่เกิดขึ้นเท่ากับ 2.87 MW เพิ่มขึ้นประมาณ 16.19% พลังงานที่สูญเสียที่เกิดขึ้นในหนึ่งวันเท่ากับ 2.2710 MWh เพิ่มขึ้นประมาณ 10.48% และการเบี่ยงเบนของแรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 0.1539 เพิ่มขึ้นประมาณ 5.77% สำหรับสถานการณ์ที่ 3 มีการยกระดับแรงดันไฟฟ้าด้วยชุดตัวเก็บประจุในระบบจำหน่ายไฟฟ้าโดยใช้วิธีการเพิ่มประสิทธิภาพแบบวาฟ เพื่อการบรรเทาผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าโดยการติดตั้งชุดตัวเก็บประจุในระบบจำหน่ายไฟฟ้าดังที่ได้กล่าวมาก่อนหน้านี้ในหัวข้อที่ 4.4 สามารถช่วยลดพลังงานที่สูญเสียที่เกิดขึ้นในหนึ่งวันเท่ากับ 2.0766 เพิ่มขึ้นจากสถานการณ์ที่ 1 ประมาณ 1.02% และยังสามารถลดการเบี่ยงเบนของแรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 0.1071 ทำให้การรักษาระดับของแรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าดีขึ้นมากกว่าสถานการณ์ที่ 1 ประมาณ 26.39% แต่โหลดสูงสุดในระบบจำหน่ายไฟฟ้ายังคงเท่าเดิม ซึ่งเท่ากับ 2.87 MW ดังนั้น ในสถานการณ์ที่ 4 ที่มีกลยุทธ์การจัดการการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าโดยใช้วิธีการควบคุมแบบพีชชีลอจิก พบว่า สามารถลดการบริโภคพลังงานไฟฟ้าในช่วงโหลดสูงสุดในระบบจำหน่ายไฟฟ้า ทำให้โหลดสูงสุดในระบบจำหน่ายไฟฟ้าเท่ากับ 2.75 MW เพิ่มขึ้นจากสถานการณ์ที่ 1 ประมาณ 11.34% นั่นคือ สามารถลดการบริโภคพลังงาน

ไฟฟ้าในช่วงโหลดสูงสุดในระบบจำหน่ายไฟฟ้าจากกรณีที่ไม่มีการจัดการการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าได้ประมาณ 4.85% สำหรับกรณีที่ 1 ของวงจรไฟฟ้าที่ 1 นอกจากนี้ยังสามารถลดพลังงานที่สูญเสียที่เกิดขึ้นและการรักษาระดับของแรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า ดังแสดงในตารางที่ 4.21 แต่มีข้อเสียของกลยุทธ์การจัดการการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าโดยใช้วิธีการควบคุมแบบพีซีลอจิก คือ เวลาในการอัดประจุไฟฟ้าโดยเฉลี่ยของผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้าในแต่ละสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วเพิ่มขึ้นเกือบ 2 เท่า ขึ้นอยู่กับสถานะของแบตเตอรี่ในรถยนต์ไฟฟ้าหรือพลังงานที่ต้องการอัดประจุไฟฟ้าให้กับรถยนต์ไฟฟ้า (E_{ev}) และขนาดกำลังไฟฟ้าที่ถูกส่งจ่ายให้กับรถยนต์ไฟฟ้าในขณะอัดประจุไฟฟ้า ($P_{charging}$)

4.6 สรุป

ลักษณะการอัดประจุไฟฟ้าแบบปกติและเร็วของรถยนต์ไฟฟ้ามีความแตกต่างกันที่ระยะเวลาในการอัดประจุไฟฟ้า โดยเวลาในการอัดประจุไฟฟ้าขึ้นอยู่กับขนาดของกำลังไฟฟ้าของหัวอัดประจุไฟฟ้าที่ใช้ในการอัดประจุไฟฟ้า หัวอัดประจุไฟฟ้าที่มีกำลังไฟฟ้ามกก็จะมขนาดของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้ามากเช่นเดียวกัน ซึ่งจะใช้เวลาในการอัดประจุไฟฟ้าน้อยกว่าหัวอัดประจุไฟฟ้าที่มีกำลังไฟฟ้าน้อย การบริโภคพลังงานไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าขึ้นอยู่กับพฤติกรรมของผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้า ซึ่งการบริโภคพลังงานไฟฟ้าของรถยนต์ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าเป็นเสมือนการเพิ่มโหลดในระบบจำหน่ายไฟฟ้า ทำให้ส่งผลกระทบต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่เห็นได้ชัดเจน คือ การเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าหรือเกิดแรงดันไฟฟ้าตก และเกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสียมากขึ้น การยกระดับแรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าให้สูงขึ้นโดยการติดตั้งชุดตัวเก็บประจุ ซึ่งทำหน้าที่จ่ายกำลังไฟฟ้ารีแอคตีฟทำให้สามารถลดกำลังไฟฟ้าสูญเสีย รักษากระดับของแรงดันไฟฟ้า และมีความสามารถในการรับโหลดทางไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าเพิ่มขึ้น แต่ยังไม่สามารถลดการบริโภคพลังงานไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าในช่วงโหลดสูงสุดในระบบจำหน่ายไฟฟ้าได้ ดังนั้น กลยุทธ์การจัดการการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าโดยใช้วิธีการควบคุมแบบพีซีลอจิกสามารถลดการบริโภคพลังงานไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าในช่วงโหลดสูงสุดในระบบจำหน่ายไฟฟ้าได้ แต่มีข้อเสียของกลยุทธ์การจัดการการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าโดยใช้วิธีการควบคุมแบบพีซีลอจิก คือ ผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้าต้องใช้เวลาในการอัดประจุไฟฟ้าที่นานมากขึ้น

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุป

งานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้มุ่งเน้นไปที่การอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าที่สถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว ซึ่งเป็นการศึกษาผลกระทบของรถยนต์ไฟฟ้าแบบอัดประจุไฟฟ้าเร็วต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้าในเขตอำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา โดยเริ่มต้นจากศึกษาลักษณะการอัดประจุไฟฟ้าแบบปกติและเร็วของรถยนต์ไฟฟ้า เพื่อทราบพื้นฐานเกี่ยวกับลักษณะการอัดประจุไฟฟ้าแบบปกติและเร็วของรถยนต์ไฟฟ้า พบว่า ลักษณะการอัดประจุไฟฟ้าแบบปกติและเร็วของรถยนต์ไฟฟ้ามีความแตกต่างกันที่ระยะเวลาในการอัดประจุไฟฟ้า เวลาในการอัดประจุไฟฟ้าขึ้นอยู่กับขนาดของกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการอัดประจุไฟฟ้าให้กับรถยนต์ไฟฟ้าของหัวอัดประจุไฟฟ้า หัวอัดประจุไฟฟ้าที่มีกำลังไฟฟ้ามักจะมีขนาดของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้ามากเช่นเดียวกัน ซึ่งจะใช้เวลาในการอัดประจุไฟฟ้าน้อยกว่าหัวอัดประจุไฟฟ้าที่มีกำลังไฟฟ้าน้อย จากนั้นการศึกษาความเป็นไปได้ของการนำรถยนต์ไฟฟ้าเข้ามาใช้ในเขตอำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา โดยกำหนดตำแหน่งสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วถูกติดตั้งในสถานีบริการน้ำมันที่มีในเขตอำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา สถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วถูกติดตั้งบนโหนดของวงจรไฟฟ้าที่มีตำแหน่งใกล้ที่สุด การกำหนดขนาดของแต่ละสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วขึ้นอยู่กับจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าที่เข้าใช้บริการในแต่ละสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วเพื่อให้มีจำนวนหัวอัดประจุไฟฟ้าที่เพียงพอในการให้บริการการอัดประจุไฟฟ้าเร็วให้กับรถยนต์ไฟฟ้า การศึกษาผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า พบว่า ผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่เห็นได้ชัดเจน คือ การเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าหรือการเกิดแรงดันไฟฟ้าตก และเกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบจำหน่ายไฟฟ้ามากขึ้น แบบจำลองที่สร้างขึ้นในการศึกษาผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า พบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า ได้แก่ ระยะการเดินทางของผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้าในแต่ละวันหรือพลังงานไฟฟ้าที่รถยนต์ไฟฟ้าบริโภคในแต่ละวัน จำนวนรถยนต์ไฟฟ้าที่อัดประจุไฟฟ้าในเวลาเดียวกันในแต่ละสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว และขนาดของกำลังไฟฟ้าที่ส่งจ่ายให้กับรถยนต์ไฟฟ้าของหัวอัดประจุไฟฟ้า รวมถึงเวลาที่เริ่มอัดประจุไฟฟ้าและระยะเวลาในการอัดประจุไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้า

การกำหนดจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าสูงสุดที่สามารถอัดประจุไฟฟ้าในเวลาเดียวกันได้ในแต่ละสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วสามารถกำหนดโดยจำนวนหัวอัดประจุไฟฟ้าในแต่ละสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว ดังนั้น การออกแบบขนาดหม้อแปลงไฟฟ้าสำหรับสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วเป็นเรื่องที่ควรให้ความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากสามารถกำหนดจำนวนหัวอัดประจุไฟฟ้าหรือโหลดสูงสุดของสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วในระบบจำหน่ายไฟฟ้าได้ เพื่อป้องกันการเกิดโหลดเกินในระบบจำหน่ายไฟฟ้า นอกจากนี้โหลดของสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วแล้ว ควรพิจารณาโหลดของผู้ใช้ไฟฟ้าทั่วไปในระบบจำหน่ายไฟฟ้า เนื่องจากเมื่อมีโหลดรวมในระบบจำหน่ายไฟฟ้ามากขึ้นอาจเกิดโหลดเกินในระบบจำหน่ายไฟฟ้า แล้วยังส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าหรือทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าตก เกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสียมากขึ้น และอาจทำให้อุปกรณ์ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าชำรุดเสียหายได้

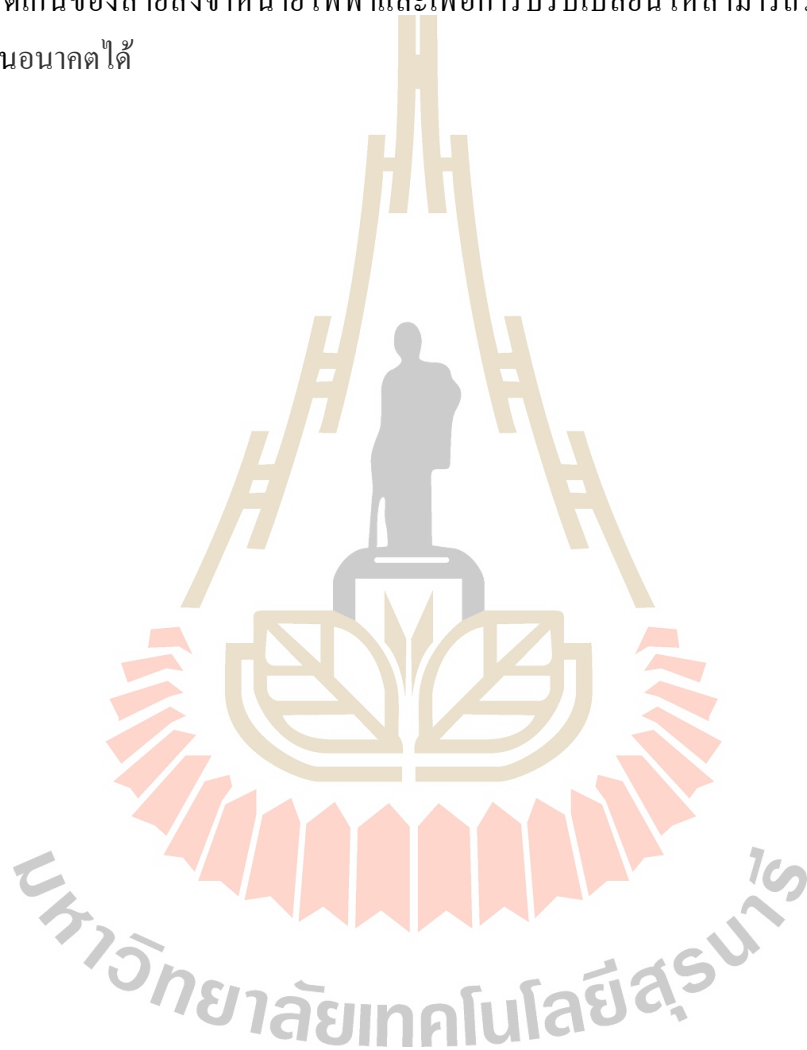
งานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้ได้เสนอแนวทางการบรรเทาผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า ได้แก่ การยกระดับแรงดันไฟฟ้าด้วยชุดตัวเก็บประจุในระบบจำหน่ายไฟฟ้าโดยใช้วิธีการเพิ่มประสิทธิภาพแบบวาฟในการเลือกขนาดและตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดของชุดตัวเก็บประจุในระบบจำหน่ายไฟฟ้า ข้อดีของการยกระดับแรงดันไฟฟ้าด้วยชุดตัวเก็บประจุในระบบจำหน่ายไฟฟ้า คือ สามารถลดกำลังไฟฟ้าสูญเสีย การรักษาระดับของแรงดันไฟฟ้า และมีความสามารถในการรับโหลดทางไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมความพร้อมของระบบจำหน่ายไฟฟ้าเพื่อรองรับการเพิ่มขึ้นของรถยนต์ไฟฟ้าในอนาคต และได้เสนอกกลยุทธ์การจัดการการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าโดยใช้วิธีการควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิก ทำให้สามารถลดการบริโภคพลังงานไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าในช่วงโหลดสูงสุดในระบบจำหน่ายไฟฟ้า รวมถึงสามารถลดการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าสูญเสีย แต่มีข้อเสียของกลยุทธ์การจัดการการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าโดยใช้วิธีการควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิก คือ ผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้าต้องใช้เวลาในการอัดประจุไฟฟ้าที่นานมากขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรมีแบบสอบถามและสำรวจความต้องการใช้รถยนต์ไฟฟ้า พฤติกรรมการเดินทาง และพฤติกรรมการเข้าใช้สถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วของผู้คนในเขตอำเภอ จังหวัด นครราชสีมา ก่อนการเลือกตำแหน่งและออกแบบขนาดของสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วเพื่อให้มีความเหมาะสมและสะดวกแก่ผู้ที่ต้องการใช้รถยนต์ไฟฟ้าในเขตอำเภอ จังหวัดนครราชสีมา

5.2.2 ควรมีการสำรวจการบริโภคพลังงานไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าทั่วไปในแต่ละวงจรไฟฟ้า ก่อนการเลือกตำแหน่งและออกแบบขนาดของสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว รวมถึงขนาดหม้อแปลงไฟฟ้าสำหรับสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วเพื่อป้องกันการเกิดโหลดเกินในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

5.2.3 ควรพิจารณาขนาดของสายส่งจำหน่ายไฟฟ้าในแต่ละวงจรไฟฟ้าเพื่อป้องกันการเกิดโหลดเกินของสายส่งจำหน่ายไฟฟ้าและเพื่อการปรับเปลี่ยนให้สามารถรองรับโหลดที่จะเพิ่มขึ้นในอนาคตได้



รายการอ้างอิง

การไฟฟ้านครหลวง. (2018). การปรับปรุงค่า Power Factor. [ออนไลน์]. ได้จาก:

<https://www.mea.or.th/profile/110/269?fbclid=IwAR1doFytAt1u3c2XXhzu6t13Dxr953dkjWyWENZw4Rxi56ZtPI-un9I9Qg4>

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. 2559. ระเบียบการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคว่าด้วยข้อกำหนดการเชื่อมต่อระบบ
โครงข่ายไฟฟ้า พ.ศ. 2559. ระเบียบการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. 98 น.

คณะกรรมการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านไฟฟ้าเพื่อรองรับยานยนต์ไฟฟ้าของประเทศไทย.
2559. แผนพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านไฟฟ้า เพื่อรองรับยานยนต์ไฟฟ้าของประเทศไทย.
รายงานแผนพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านไฟฟ้า เพื่อรองรับยานยนต์ไฟฟ้าของ
ประเทศไทย. 179 น.

ฉลอง สีแก้วสีว. (2018). ทฤษฎีช่วงความเชื่อมั่น (Confidence Interval Theorem). [ออนไลน์].
ได้จาก: <https://sites.google.com/site/mystatistics01/chapter1/confidence-interval-theorem>

ชานนท์ ชูพงษ์. 2554. การพยากรณ์กำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อสายส่งโดย
ไม่ใช้ตัววัดรังสีดวงอาทิตย์ กรณีศึกษาระบบที่ติดตั้งในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล
ธัญบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี. 166 น.

दनัย ปัตตพงศ์ (2559). เอกสารวิชาการด้านศาสตร์การบริหารธุรกิจ เรื่อง Monte Carlo Simulation
Technique. มหาวิทยาลัยเนชั่น.

ธนวัฒน์ ฉลาดสกุล. 2547. การวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลัง. สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี
(ไทย-ญี่ปุ่น). 464 น.

บัณฑิต เพ็ญดา. 2557. การวิเคราะห์ผลกระทบการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าแบบรวดเร็วต่อแรงดันไฟฟ้า
ในระบบจำหน่ายโดยการจำลองมอนติคาร์โล. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร
มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 102 น.

ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์. 2548. การออกแบบระบบไฟฟ้า. บริษัท ทีซีจี พรินต์ติ้ง จำกัด, กรุงเทพมหานคร.
525 น.

ประเสริฐ มังคละชนะกุล (2541). การเปรียบเทียบความแม่นยำของการพยากรณ์วัฏจักรธุรกิจโดยวิธีของฮามิลตัน(1989) และวิธีวิเคราะห์สเปคตรัล. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาคณิตศาสตร์และสถิติ สาขาสถิติประยุกต์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

พยุ่ง มีสัจ. (2561). **Fuzzy logic**. [ออนไลน์]. ได้จาก:

<https://suanpalm3.kmitnb.ac.th/teacher/phayung/powerpoint.asp?pno=1>

พิชัย กองทอง. 2557. การวิเคราะห์ผลกระทบการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่บ้านพักอาศัยแบบไม่สมดุลในระบบจำหน่าย. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 98 น.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. 2558. การศึกษาการพัฒนาของเทคโนโลยียานยนต์ไฟฟ้าและผลกระทบที่เกิดขึ้นสำหรับประเทศไทย. รายงานการวิจัยพัฒนาและวิศวกรรม ฉบับสมบูรณ์ รหัสโครงการ P-12-01114. 295 น.

วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. (2561). จังหวัดนครราชสีมา. [ออนไลน์]. ได้จาก:

<https://th.wikipedia.org/wiki/จังหวัดนครราชสีมา>

วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. (2561). อำเภอเมืองนครราชสีมา. [ออนไลน์]. ได้จาก:

<https://th.wikipedia.org/wiki/อำเภอเมืองนครราชสีมา>

สำนักงานขนส่งจังหวัดนครราชสีมา. (2561). สถิติจำนวนรถจดทะเบียนใหม่และจดทะเบียนสะสม. [ออนไลน์]. ได้จาก: <http://www.dltkorat.go.th/statistic.php>

สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน และกระทรวงพลังงาน. 2558. แผนอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2558–2579 (Energy Efficiency Plan; EEP 2015). แผนอนุรักษ์พลังงาน. 21 น.

Akhavan-Rezai, E., Shaaban, M. F., El-Saadany, E. F. and Zidan, A. (2012). **Uncoordinated charging impacts of electric vehicles on electric distribution grids: Normal and fast charging comparison**. Proceedings of 2012 IEEE Power and Energy Society General Meeting, San Diego, Vol.1, pp. 1 - 7.

Baghzouz, Y., and Ertem, S. (1990). **Shunt Capacitor Sizing for Radial Distribution Feeders with Distorted Substation Voltages**. IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 5, No. 2, pp. 650 - 657.

Boribun, B., Paolaor, P. and Kulworawanichpong T. (2013). **Impact of electric bus charging in power distribution systems**. Proceedings of The 2013 World congress on Advances in Nano, Biomechanics, Robotics, and Energy Reseach (ANBRE13), Korea, Vol.1, pp. 1 - 8.

- Celli, G., Soma, G. G., Pilo, F., Lacu, F., Mocci, S. and Natale, N. (2014). **Aggregated electric vehicles load profiles with fast charging stations**. Proceedings of 18th Power System Computation Conference 2014, Wroclaw, Vol.1, pp. 1 - 7.
- Chaudhari, K., Ukil, A., Kumar, K. N., Manandhar, U., and Kollimalla, S. K. (2018). **Hybrid Optimization for Economic Deployment of ESS in PV-Integrated EV Charging Stations**. IEEE Transactions on Industrial Informatics, Vol. 14, No. 1, pp. 106 - 116.
- Chen, W. and Guo, C. L. (2014). **The Impact of Fast Charging for EVs on Distribution System**. Advanced Materials Research, Vol. 1070 - 1072, No. 4, pp. 1664 – 1667.
- Deb, S., Tammi, K., Kalita, K. and Mahanta, P. (2017). **Impact of Electric Vehicle Charging Station Load on Distribution Network**. Energies, Vol. 178, No. 11, pp. 1 – 25.
- Electric Vehicle Database. (2018). **Nissan Leaf**. [ออนไลน์]. ได้จาก:
<https://ev-database.uk/car/1106/Nissan-Leaf#charging>
- Ge, S., Feng, L., Liu, H. and Wang, L. (2012). **The Planning of Electric Vehicle Charging Stations in the Urban Area**. Proceedings of the 2nd International Conference on Electronic and Mechanical Engineering and Information Technology, Paris, Vol.1, pp. 1 - 7.
- Gjelaj, M., Traeholt, C., Hashemi, S. and Andersen, P. B. (2017). **Optimal design of DC fast-charging stations for EVs in low voltage grids**. Proceedings of IEEE Transportation Electrification Conference and Expo (ITEC), Chicago, Vol.1, pp. 1 - 6.
- Huo, Y., Bouffard, F. and Joós, G. (2017). **An Energy Management Approach for Electric Vehicle Fast Charging Station**. Proceedings of 2017 IEEE Electrical Power and Energy Conference (EPEC), Saskatoon, Vol.1, pp. 1 - 6.
- Islam, M. M., Shareef, H. and Mohamed, A. (2016). **Optimal siting and sizing of rapid charging station for electric vehicles considering Bangi city road network in Malaysia**. Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences, Vol. 24, No. 5, pp. 3933 – 3948.
- Khan, B. and Singh, P. (2017). **Selecting a Meta-Heuristic Technique for Smart Micro-Grid Optimization Problem: A Comprehensive Analysis**. IEEE Access, Vol. 5, No. 1, pp. 13951 – 139
- Ling, Y., Zhou, Y. and Luo, Q. (2017). **Lévy Flight Trajectory-Based Whale Optimization Algorithm for Global Optimization**. IEEE Access, Vol. 5, No. 1, pp. 1 - 19.

- Liu, R., Dow, L. and Liu, E. (2011). **A survey of PEV impacts on electric utilities**. Proceedings of ISGT 2011, Anaheim, Vol.1, pp. 1 - 8.
- Mayfield, D. (2012). **Site design for electric vehicle charging stations**. The support of New York State Energy Research and Development Authority, New York.
- Mirjalili, S.. (2018). **Whale Optimization Algorithm (WOA)**. [ออนไลน์]. ได้จาก:
<https://www.alimirjalili.com>
- Murphy, P. (2008). **Quantitative Methods Theory and Concepts**. University College Dublin. School of Mathematical SciencesIreland, University College Dublin, Ireland.
- Negarestani, S., Fotuhi-Firuzabad, M., Rastegar, M. and Rajabi-Ghahnavieh, A. (2016). **Optimal Sizing of Storage System in a Fast Charging Station for Plug-in Hybrid Electric Vehicles**. IEEE Transactions on Transportation, Vol. 2, No. 4, pp. 443 - 453.
- Phonrattanasak, P. and Leeprechanon, N. (2012). **Development of Fast Charging Station for Thailand**. International Journal of Innovation, Management and Technology, Vol. 3, No. 6, pp. 1 - 7.
- Prakash, D. B. and Lakshminarayana, C. (2017). **Optimal siting of capacitors in radial distribution network using Whale Optimization Algorithm**. Alexandria Engineering Journal, Vol. 56, No. 1, pp. 499 - 509.
- Rajabi-Ghahnavieh, A., Sadeghi-Barzani, P. and Kazemi-Karegar, H. (2017). **Optimal Zonal Fast Charging Station Placement Considering Urban Traffic Circulation**. IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 66, No. 1, pp. 45 - 56.
- Robyns, B., Saudemont, C., Hissel, D., Roboam, X., Sareni, B. and Pouget, J. (2016). **Electrical Energy Storage in Transportation Systems**. McGraw-Hill Book Co., Great Britain.
- Saadat, H. (1999). **Power System Analysis**. McGraw-Hill Book Co., New York.
- Sadeghi-Barzani, P., Rajabi-Ghahnavieh, A. and Kazemi-Karegar, H. (2014). **Optimal fast charging station placing and sizing**. Applied Energy, Vol. 1, No. 125, pp. 289 - 299.
- Shiau, C.S.N., Peterson, S.B. and Michalek, J.J. (2010). **Optimal Plug-In Hybrid Vehicle Design and Allocation for Minimum Life Cycle Cost, Petroleum Consumption and Greenhouse Gas Emissions**. Proceedings of the ASME 2010 International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference IDETC/CIE 2010, Montreal, Vol.1, pp. 1 - 14.

- Shukla, T. N., Singh, S. P. and Naik, K. B. (2010). **Allocation of optimal distributed generation using GA for minimum system losses in radial distribution networks**. International Journal of Engineering, Science and Technology, Vol. 2, No. 3, pp. 94 - 106.
- Theeraviriya, C. (2007). **A Comparison of the Forecasting Method for Electric Energy Demand in Nakhonphanom Province**. Naresuan University Journal: Science and Technology, Vol. 25, No. 4, pp. 124 - 137.
- Veneri, O., Ferraro, L., Capasso, C. and Iannuzzi, D. (2012). **Charging Infrastructures for EV: Overview of Technologies and Issues**. Proceedings of 2012 Electrical Systems for Aircraft, Railway and Ship Propulsion, Bologna, Vol.1, pp. 1 - 6.
- Vujic, L. J. (2018). **Monte Carlo Sampling Methods**. Nuclear Engineering Department University of California.
- Xiong, Y., Gan, J., An, B., Miao, C. and Bazzan, A. L. (2017). **Optimal Electric Vehicle Fast Charging Station Placement Based on Game Theoretical Framework**. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, Vol. 19, No. 8, pp. 2493 – 2504.
- Yunus, K., Parra, H.Z.D.L., Reza, M. (2011). **Distribution Grid Impact of Plug-In Electric Vehicles Charging at Fast Charging Stations Using Stochastic Charging Model**. Proceedings of the 2011 14th European Conference on Power Electronics and Applications, Birmingham, Vol.1, pp. 1 - 12.



ข้อมูลประชากรในแต่ละเทศบาลตำบล อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา

ตารางที่ ก.1 จำนวนเทศบาลตำบล 15 แห่ง อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา (วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี, 2018)

ลำดับ	หน่วยงานส่วนท้องถิ่น	จำนวนประชากร (พ.ศ. 2555)	พื้นที่ (ตร.กม.)	ความหนาแน่น (คนต่อ ตร.กม.)
1	เทศบาลนครนครราชสีมา	137,579	37.50	3,668.77
2	เทศบาลตำบลโพธิ์กลาง	26,174	55.23	473.90
3	เทศบาลตำบลหัวทะเล	25,510	15.59	1,636.30
4	เทศบาลตำบลหนองไผ่ล้อม	19,157	17.89	1,070.82
5	เทศบาลตำบลบ้านใหม่	17,873	19.55	914.21
6	เทศบาลตำบลสุรนารี	16,663	49.90	333.92
7	เทศบาลตำบลจอหอ	16,500	9.50	1,736.84
8	เทศบาลตำบลเมืองใหม่โคกกรวด	13,024	64.17	202.96
9	เทศบาลตำบลโลกสูง	9,997	30.56	327.12
10	เทศบาลตำบลพุดซา	9,746	39.36	247.61
11	เทศบาลตำบลปรุใหญ่	9,526	16.63	572.82
12	เทศบาลตำบลบ้านโพธิ์	9,045	44.36	203.89
13	เทศบาลตำบลไชยมงคล	7,111	60.18	118.16
14	เทศบาลตำบลหนองไข่น้ำ	5,998	43.44	138.07
15	เทศบาลตำบลตลาด	6,606	22.20	297.56

ข้อมูลการจดทะเบียนรถยนต์ใหม่ในจังหวัดนครราชสีมา

การจดทะเบียนรถยนต์ใหม่ (รถยนต์ที่นั่งส่วนบุคคลไม่เกิน 7 คน) ในปี พ.ศ. 2555 ถึง 2559 ของจังหวัดนครราชสีมาแสดงข้อมูลดังในตารางที่ ก.2

ตารางที่ ก.2 การจดทะเบียนรถยนต์ใหม่ (สำนักงานขนส่งจังหวัดนครราชสีมา, 2561)

ปี	จำนวนจดทะเบียน (คัน)	ปี	จำนวนจดทะเบียน (คัน)
2555	20577	2558	12134
2556	19609	2559	13078
2557	15631	-	-

ข้อมูลสถานีบริการน้ำมันที่ถูกเลือกในพื้นที่อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา

สถานีบริการน้ำมันที่ถูกเลือกในเขตอำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา ดังแสดงในตารางที่

ก.3

ตารางที่ ก.3 สถานีบริการน้ำมันที่ถูกเลือกในเขตอำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา

สถานีอัดประจุไฟฟ้า	รหัสวางจร	สถานีบริการน้ำมัน	พิกัด	
			เลขละติจูด	เลขลองจิจูด
1	NRB06	ปตท. หจก.ธนพล เอ็นเนอจี	102.081368	14.979718
2	NRD04	ปตท. หจก.พงษ์กิต 2	102.132935	14.938971
3	NRD04	เชลล์	102.117973	14.959755
4	NRE03	ปตท.	102.065903	14.915528
5	NRB09	เอสโซ่	102.015592	14.947443
6	NRC06	ปตท. หจก. พิศลัดดาบริการ	102.124545	15.059152
7	NRC02	พีโอออยล์	102.109198	15.091398
8	NRC02	ปตท. หจก.อาทิตย์ไฮเวย์	102.053884	14.990349
9	NRC05	ปตท. มิตรภาพ เอเทค	102.186305	15.064701
10	NRE03	บางจาก	102.071212	14.881958
11	NRC03	ปตท. หจก.พงษ์กิต 1	102.149821	15.043324

การออกแบบพารามิเตอร์ของตัวแปรอินพุต $N_{traffic}$ ในแต่ละสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็ว

ตัวแปรอินพุต $N_{traffic}$ คือ จำนวนรถยนต์ไฟฟ้าที่จะเข้ามาใช้บริการอัดประจุไฟฟ้าที่สถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วในเวลา 20 นาทีข้างหน้าที่ได้คาดการณ์ไว้ล่วงหน้า ดังนั้น การกำหนดพารามิเตอร์ช่วงของ $N_{traffic}$ จะขึ้นอยู่กับจำนวนหัวอัดประจุไฟฟ้าในแต่ละสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วดังแสดงในตารางที่ ก.4

ตารางที่ ก.4 พารามิเตอร์ของตัวแปรอินพุต $N_{traffic}$

สถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วที่	กรณีที่	ตัวแปรอินพุต	ฟังก์ชันสมาชิก	ช่วง	สถานะ		
					Light	Medium	Heavy
1	1	$N_{traffic}$	รูปสามเหลี่ยม	[0 10]	-3, 0, 3	2, 5, 8	7, 10, 13
	2	$N_{traffic}$	รูปสามเหลี่ยม	[0 20]	-6, 0, 6	4, 10, 16	14, 20, 26
7	2	$N_{traffic}$	รูปสามเหลี่ยม	[0 4]	-1.5, 0, 1.5	0.5, 2, 3.5	2.5, 4, 5.5
8	2	$N_{traffic}$	รูปสามเหลี่ยม	[0 11]	-4, 0, 4	3, 6, 9	8, 11, 14





ภาคผนวก ข

ชุดคำสั่งโปรแกรม MATLAB ที่ใช้งานวิจัย

ชุดคำสั่งโปรแกรม MATLAB ที่ใช้ในงานวิจัย

โดย นายณัฐพล ชาติสุข สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี พ.ศ. 2561

ชุดคำสั่ง โปรแกรมสำหรับการจำลองลักษณะการอัดประจุไฟฟ้าแบบปกติและเร็วของรถยนต์ไฟฟ้า

ชุดคำสั่ง โปรแกรมสำหรับการจำลองลักษณะการอัดประจุไฟฟ้าแบบปกติ “Charging_Li_on_battery_40kWh_Normal.m”

ชุดคำสั่ง โปรแกรมสำหรับการจำลองลักษณะการอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็ว “Charging_Li_on_battery_40kWh_Fast.m”

ชุดคำสั่ง โปรแกรมสำหรับการจำลองลักษณะการอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็ว (P คงที่) “Charging_Li_on_battery_40kWh_Constant.m”

ตัวอย่างสำหรับชุดคำสั่งโปรแกรมสำหรับการจำลองลักษณะการอัดประจุไฟฟ้าแบบปกติ

```
%การป้อนข้อมูล-----
kWh=40; % ความจุของแบตเตอรี่ในรถยนต์ไฟฟ้า
t0=0; % เวลาเริ่มต้นอัดประจุไฟฟ้า (นาทิจ)
t1=370; % เวลาเริ่มต้นอัดประจุแรงดันไฟฟ้าคงที่ (นาทิจ)
t2=420; % เวลาหยุดอัดประจุไฟฟ้า (นาทิจ)
tv=t2-t1; % ช่วงเวลาอัดประจุแรงดันไฟฟ้าคงที่ (นาทิจ)
ti=t1-t0; % ช่วงเวลาอัดประจุกระแสไฟฟ้าคงที่ (นาทิจ)
V_nominal=230; % แรงดันไฟฟ้า nominal (V)
con_v=tv/5; % จำนวนค่าคงที่เวลาของแรงดันไฟฟ้า
con_i=ti/5; % จำนวนค่าคงที่เวลาของกระแสไฟฟ้า
%-----สิ้นสุด
% Trapezoidal method -----
v_fun = @(t) (1-exp(-t/con_v));
v_int = integral(v_fun,t0,t1);
i_fun = @(t) (exp(-t/con_i));
i_int = integral(i_fun,t1,t2);
%-----สิ้นสุด
% การคำนวณลักษณะการอัดประจุไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้า-----
P=[]; V=[]; I=[]; ww=0; Inew=[];
Int=(v_int+i_int);
K=V_nominal*Int;
I_nominal=(kWh*(10^3)*60)/K; % จำนวนค่ากระแส nominal
x=1:t1;
V=V_nominal*(1-exp(-x/con_v));
x=1:t2-t1;
I=I_nominal*exp(-x/con_i);
for qq=1:t1
    Inew(qq)=I_nominal;
end
```

```

for qq=t1+1:t2
    V(qq)=V_nominal;
    Inew(qq)=I(qq-t1);
end
for qq=1:t2
    P(qq)=V(qq)*Inew(qq)/1000;
end
W=sum(P)/60;
Prated=max(P);
%-----สิ้นสุด
% การคำนวณสถานะของแบตเตอรี่ในระหว่างการอัดประจุไฟฟ้า-----
Cum_P=cumsum(P/60);
Cum_P=Cum_P+2; % เริ่มต้นที่สถานะแบตเตอรี่เท่ากับ 20% (7.6 kWh)
SOC=(Cum_P*100/(kWh+2));
for qq=1:size(P,2)
    if SOC(qq)>100
        SOC(qq)=100;
    end
end
%-----สิ้นสุด
% การแสดงกราฟผลการจำลองลักษณะการอัดประจุไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้า-----
figure
yyaxis left
t=1:t2;
t=t/60;
plot(t,Inew,'r',t,V)
xlabel('Time, t [mins]');
ylabel('Charge V, I');
yyaxis right
plot(t,SOC,'k')
ylabel('Charge capacity (%)');
legend('Charge current : I [A]','Charge voltage : V [V]','Charge capacity','Location','NorthEast')
xlabel('Time, t [mins]');
ylabel('Charge capacity (%)');
figure
plot(t,P,'k')
xlabel('Time, t [mins]');
ylabel('Power, P [kW]');
yyaxis right
plot(t,SOC,'-k')
ylabel('Charge capacity (%)');

```

```

legend('Charge real power : P [kW]','Charge capacity','Location','NorthEast')
%-----สิ้นสุด
% การแสดงผลการจำลองลักษณะการอัดประจุไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้า-----
fprintf('P [kW]   V_nominal I_nominal W [kWh]   K\n')
fprintf('-----\n')
fprintf(' %.2f   %d   %.2f   %.2f   %d\n',Prated,V_nominal,I_nominal,W,Prated)
%-----สิ้นสุด

```

ชุดคำสั่ง โปรแกรมสำหรับการออกแบบขนาดและตำแหน่งของสถานีอัดประจุไฟฟ้าเร็วในพื้นที่อำเภอเมือง
จังหวัดนครราชสีมา

ชุดคำสั่งโปรแกรมสำหรับการคำนวณขนาดพลังงานที่ต้องการอัดประจุไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าที่สถานีอัดประจุไฟฟ้า โดยใช้วิธีการ
ประมาณช่วงความเชื่อมั่น “Energy_demand_by_confident_interval.m”

```

% เริ่มต้นป้อนข้อมูล-----
n=14; % จำนวนยี่ห้อรถยนต์ไฟฟ้า
Battery_size=[16 17 20 22 23 24 24 30 30 36 37 60 60 80]; % ความจุของแบตเตอรี่ของแต่ละยี่ห้อรถยนต์ไฟฟ้า
km_car=[100 110 130 130 130 140 130 165 150 170 300 ...
340 350 450]; % ระยะทางสูงสุดของแต่ละยี่ห้อรถยนต์ไฟฟ้า
%-----สิ้นสุด
% เริ่มต้นการคำนวณขนาดพลังงานที่ต้องการอัดประจุไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้า-----
SOC_25=Battery_size*0.25;
SOC_100=Battery_size;
Demand_kWh=SOC_100-SOC_25;
Xm=sum(Demand_kWh)/n % ค่าเฉลี่ยของขนาดพลังงานที่ต้องการอัดประจุไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้า
sumX=0;
for qq=1:n
    sumX=sumX+((Demand_kWh(1,qq)-Xm)^2);
end
s=sqrt(sumX/(n-1)) % ค่าความแปรปรวนของขนาดพลังงานที่ต้องการอัดประจุไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้า
ta=1.96; % ระดับความเชื่อมั่นที่กำหนดค่าวิกฤตเท่ากับ 0.95
EV_consumption=0.1;
kWh_CS_min=Xm-(s/sqrt(n))*ta % ขนาดพลังงานที่ต้องการอัดประจุไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าต่ำสุด
kWh_CS_max=Xm+(s/sqrt(n))*ta % ขนาดพลังงานที่ต้องการอัดประจุไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าสูงสุด
kWh_CS_avg=round((kWh_CS_min+...
kWh_CS_max)/2) % ขนาดพลังงานที่ต้องการอัดประจุไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าที่ถูกเลือก
After_charge_kWh=SOC_25+kWh_CS_avg;
for qq=1:n
    if After_charge_kWh(1,qq) > Battery_size(1,qq)
        After_charge_kWh(1,qq)=Battery_size(1,qq);
    end
end

```

```

end
end
After_charge_kWh          % พลังงานในแบตเตอรี่หลังจากอัดประจุไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่
After_charge_km=After_charge_kWh.* ...
km_car./Battery_size      % ระยะทางที่สามารถเดินทางหลังจากอัดประจุไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่
%-----สิ้นสุด

```

ชุดคำสั่งโปรแกรมสำหรับการคำนวณหาขนาดของกระแสไฟฟ้าที่อัดประจุไฟฟ้าให้กับรถยนต์ไฟฟ้า

ใช้ชุดคำสั่งเดียวกับชุดคำสั่งโปรแกรมสำหรับการจำลองลักษณะการอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็ว (P คงที่) โดยต้องปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์บางส่วน “Charging_Li_on_battery_40kWh_Constant.m”

ชุดคำสั่งโปรแกรมสำหรับการหาขนาดของสถานีอัดประจุไฟฟ้าในอำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา

การหาขนาดของสถานีอัดประจุไฟฟ้าในอำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา รวมถึงการหาขนาดหม้อแปลงไฟฟ้าสำหรับสถานีอัดประจุไฟฟ้า ประกอบไปด้วย 6 ไฟล์ ดังนี้

1. Step_1_Size_of_FCS_Transformer.m คือ การคำนวณจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าในพื้นที่อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา
2. Step_2_Size_of_FCS_Transformer.m คือ การสร้างแผนที่สำหรับตำแหน่งสถานีอัดประจุไฟฟ้าในพื้นที่อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา
3. Step_3_Size_of_FCS_Transformer.m คือ การเลือกใช้บริการสถานีอัดประจุไฟฟ้าของผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้า
4. Step_4_Size_of_FCS_Transformer.m คือ การคำนวณค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับสถานีอัดประจุไฟฟ้า
5. Runs_10000_scenarios.m คือ การวิเคราะห์ผลการจำลองจากไฟล์ที่ 1 ถึง 4
6. Run_Size_of_FCS_Transformer.m คือ การรวมไฟล์ที่ 1 ถึง 5 และแสดงผลการจำลอง

1. Step_1_Size_of_FCS_Transformer.m

```

% เริ่มต้นป้อนข้อมูล-----
Nservice=3;          % จำนวนครั้งที่สามารถให้บริการของหัวอัดประจุไฟฟ้าในหนึ่งชั่วโมง
percent_EVs_max_each_hour=0.12; % จำนวนรถยนต์ไฟฟ้าที่ต้องการอัดประจุไฟฟ้าในชั่วโมงที่มีความหนาแน่นต้องการอัดประจุไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 12%
distance_FCS_to_Substation=1000; % ทำให้ทุกสถานีอัดประจุไฟฟ้าได้รับการเลือกเพื่อติดตั้งสถานีอัดประจุไฟฟ้า

P_people=[439466 126781 83760 116146 129964 ...
122671 187050 94261 70117 78945 126384 77848 ...
77848 80205 75080 82311 68628 81298 72259 ...
43259 37484 42070 21592 59729 23842 42237 ...
24344 24769 25486 28822 28081 32232 34968]; % จำนวนประชากรในแต่ละอำเภอ จังหวัดนครราชสีมา
P_ratio_car=16205; % จำนวนรถยนต์ไฟฟ้าในอำเภอเมือง
Percent_of_EVs=0.4; % จำนวนรถยนต์ไฟฟ้าที่ต้องการอัดประจุไฟฟ้าในแต่ละวัน สำหรับ 2 กรณีศึกษา คือ คิดเป็น 40% หรือ 80%

Municipality=[137579 26174 25510 19157 17873 16663 ...
16500 20083 9997 9746 9526 9045 7111 5998 6606]; % จำนวนประชากรในแต่ละเทศบาลตำบล อำเภอเมือง

```



```

sustation(1,:)= [14.979601 14.938489 14.959960 ...
14.915097 14.947405 15.059589 15.091141 ...
14.989575 15.065012 14.882305 15.043980]; % เลขล่องจิกูดของตำแหน่งโหนดที่เชื่อมต่อกับสถานีอัดประจุไฟฟ้า
sustation(2,:)= [102.081708 102.133070 102.117553 ...
102.065890 102.015237 102.124549 102.109309 ...
102.053538 102.187288 102.071182 102.149975]; % เลขละติจูดของตำแหน่งโหนดที่เชื่อมต่อกับสถานีอัดประจุไฟฟ้า
Number_of_Substation=size(sustation,2); % จำนวนโหนดที่เชื่อมต่อกับสถานีอัดประจุไฟฟ้า
CS_X=[102.081368 102.132935 102.117973
102.065903 102.015592 102.124545 ...
102.109198 102.053884 102.186349 ...
102.071212 102.149821 ]; % เลขละติจูดของตำแหน่งสถานีอัดประจุไฟฟ้า
CS_Y=[14.979718 14.938971 14.959755
14.915528 14.947443 15.059152 15.091398 ...
14.990349 15.064670 14.881958 15.043324 ]; % เลขล่องจิกูดของตำแหน่งสถานีอัดประจุไฟฟ้า
NFCS=size(CS_X,2); % จำนวนสถานีอัดประจุไฟฟ้า
%-----สิ้นสุด
% จำนวนรถยนต์ไฟฟ้าที่ต้องการอัดประจุไฟฟ้าในแต่ละวัน
percent_P_people=P_people*100/sum(P_people);
Total_NEV=(percent_P_people(1,1)/100)*P_ratio_car; % จำนวนรถยนต์ไฟฟ้าในอำเภอเมือง
NEV_day=floor(Total_NEV*Percent_of_EVs);
NEV=NEV_day; % จำนวนรถยนต์ไฟฟ้าที่ต้องการอัดประจุไฟฟ้าในแต่ละวัน สำหรับ 2
% กรณีสึกษา คือ คิดเป็น 40% หรือ 80%
%-----สิ้นสุด
% หาจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าในแต่ละพื้นที่เทศบาลตำบล อำเภอเมือง โดยใช้วิธีมอนติคาร์โล
EVs_in_area=zeros(1,length(Municipality));
St=0;
SEnd=100;
Rand=(SEnd-St).*rand(NEV,1)+St;
Rand=round(Rand);
for aa=1:NEV
if Rand(aa)>=0&&Rand(aa)<40
EVs_in_area(1,1)=EVs_in_area(1,1)+1;
elseif Rand(aa)>=40&&Rand(aa)<48
EVs_in_area(1,2)=EVs_in_area(1,2)+1;
elseif Rand(aa)>=48&&Rand(aa)<56
EVs_in_area(1,3)=EVs_in_area(1,3)+1;
elseif Rand(aa)>=56&&Rand(aa)<62
EVs_in_area(1,4)=EVs_in_area(1,4)+1;
elseif Rand(aa)>=62&&Rand(aa)<67
EVs_in_area(1,5)=EVs_in_area(1,5)+1;
elseif Rand(aa)>=67&&Rand(aa)<72

```

```

    EVs_in_area(1,6)=EVs_in_area(1,6)+1;
elseif Rand(aa)>=72&&Rand(aa)<77
    EVs_in_area(1,7)=EVs_in_area(1,7)+1;
elseif Rand(aa)>=77&&Rand(aa)<83
    EVs_in_area(1,8)=EVs_in_area(1,8)+1;
elseif Rand(aa)>=83&&Rand(aa)<86
    EVs_in_area(1,9)=EVs_in_area(1,9)+1;
elseif Rand(aa)>=86&&Rand(aa)<89
    EVs_in_area(1,10)=EVs_in_area(1,10)+1;
elseif Rand(aa)>=89&&Rand(aa)<92
    EVs_in_area(1,11)=EVs_in_area(1,11)+1;
elseif Rand(aa)>=92&&Rand(aa)<95
    EVs_in_area(1,12)=EVs_in_area(1,12)+1;
elseif Rand(aa)>=95&&Rand(aa)<97
    EVs_in_area(1,13)=EVs_in_area(1,13)+1;
elseif Rand(aa)>=97&&Rand(aa)<99
    EVs_in_area(1,14)=EVs_in_area(1,14)+1;
elseif Rand(aa)>=99&&Rand(aa)<=100
    EVs_in_area(1,15)=EVs_in_area(1,15)+1;
end
end
%-----สิ้นสุด

```

2. Step_2_Size_of_FCS_Transformer.m

```

% การสร้างแผนที่สำหรับตำแหน่งสถานีอัดประจุไฟฟ้าในพื้นที่อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา-----
% ขอบเขตของพื้นที่อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา
%อำเภอเมืองนครราชสีมา นครราชสีมา
% top = 15.144647;
% bottom=14.786372;
% L=101.931215;
% R=102.236772;
% y=linspace(14.786372,15.144647);
% x=linspace(101.931215,102.236772);
% % plot(x,top,x,bottom,L,y,R,y);
%-----
% ขอบเขตของพื้นที่แต่ละเทศบาลตำบลในอำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา
%1 เทศบาลนครราชสีมา
top1 = 15;
bottom1=14.965797;
L1=102.048313;
R1=102.127621;

```

```

y1=linspace(14.965797,15);
x1=linspace(102.048313,102.127621);
% hold on
% % plot(x1,top1,x1,bottom1,L1,y1,R1,y1)
%-----
%2 เทศบาลตำบลโพธิ์กลาง
top2 = 14.921037;
bottom2=14.872255;
L2=102.091957;
R2=102.131185;
y2=linspace(14.872255,14.921037);
x2=linspace(102.091957,102.131185);
% hold on
% % plot(x2,top2,x2,bottom2,L2,y2,R2,y2)
%-----
%3 เทศบาลตำบลหัวทะเล
top3 = 14.990295;
bottom3=14.927635;
L3=102.138027;
R3=102.167545;
y3=linspace(14.927635,14.990295);
x3=linspace(102.138027,102.167545);
% hold on
% % plot(x3,top3,x3,bottom3,L3,y3,R3,y3)
%-----
%4 เทศบาลตำบลหนองไผ่ล้อม
top4 = 14.961672;
bottom4=14.921037;
L4=102.072073;
R4=102.102629;
y4=linspace(14.921037,14.961672);
x4=linspace(102.072073,102.102629);
% hold on
% % plot(x4,top4,x4,bottom4,L4,y4,R4,y4)
%-----
%5 ตำบล
top5 = 14.965797;
bottom5=14.945831;
L5=102.003226;
R5=102.062650;
y5=linspace(14.945831,14.965797);

```

```

x5=linspace(102.003226,102.062650);
% hold on
% % plot(x5,top5,x5,bottom5,L5,y5,R5,y5)
%-----
% 6 เทศบาลตำบลสุรนารี
top6 = 14.936462;
bottom6=14.840241;
L6=102.002870;
R6=102.040635;
y6=linspace(14.840241,14.936462);
x6=linspace(102.002870,102.040635);
% hold on
% % plot(x6,top6,x6,bottom6,L6,y6,R6,y6)
%-----
% 7 ตำบล
top7 = 15.074244;
bottom7=15.020988;
L7=102.090541;
R7=102.157268;
y7=linspace(15.020988,15.074244);
x7=linspace(102.090541,102.157268);
% % hold on
% % plot(x7,top7,x7,bottom7,L7,y7,R7,y7)
%-----
%8 เทศบาลตำบลเมืองใหม่โคกกรวด
top8 = 14.931543;
bottom8=14.830009;
L8=101.937754;
R8=102.002870;
y8=linspace(14.830009,14.931543);
x8=linspace(101.937754,102.002870);
% % hold on
% % plot(x8,top8,x8,bottom8,L8,y8,R8,y8)
%-----
%9
top9 = 15.127630;
bottom9=15.074244;
L9=102.079440;
R9=102.139521;
y9=linspace(15.074244,15.127630);
x9=linspace(102.079440,102.139521);

```

```

%% hold on
%% plot(x9,top9,x9,bottom9,L9,y9,R9,y9)
%-----
%10
top10 = 15.074244;
bottom10=15.030480;
L10=101.992351;
R10=102.090541;
y10=linspace(15.030480,15.074244);
x10=linspace(101.992351,102.090541);
%% hold on
%% plot(x10,top10,x10,bottom10,L10,y10,R10,y10)
%-----
%11
top11 = 14.945831;
bottom11=14.874170;
L11=102.040870;
R11=102.069366;
y11=linspace(14.874170,14.945831);
x11=linspace(102.040870,102.069366);
%% hold on
%% plot(x11,top11,x11,bottom11,L11,y11,R11,y11)
%-----
%12
top12 = 15.066018;
bottom12=14.994066;
L12=102.171710;
R12=102.215999;
y12=linspace(14.994066,15.066018);
x12=linspace(102.171710,102.215999);
%% hold on
%% plot(x12,top12,x12,bottom12,L12,y12,R12,y12)
%-----
%13
top13 = 14.872255;
bottom13=14.825792;
L13=102.040635;
R13=102.113404;
y13=linspace(14.825792,14.872255);
x13=linspace(102.040635,102.113404);
%% hold on

```

```

% % plot(x13,top13,x13,bottom13,L13,y13,R13,y13)
%-----
%14
top14 = 15.126858;
bottom14=15.066018;
L14=102.157268;
R14=102.203112;
y14=linspace(15.066018,15.126858);
x14=linspace(102.157268,102.203112);
% % hold on
% % plot(x14,top14,x14,bottom14,L14,y14,R14,y14)
%-----
%15
top15 = 15.066018;
bottom15=14.995228;
L15=102.157268;
R15=102.171710;
y15=linspace(14.995228,15.053587);
x15=linspace(102.157268,102.171710);
% % hold on
% % plot(x15,top15,x15,bottom15,L15,y15,R15,y15)
%-----
% การสร้างตำแหน่งของรถยนต์ไฟฟ้าในพื้นที่เทศบาลตำบลในอำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา
rxcar=zeros(1,NEV);
rycar=zeros(1,NEV);
for qq=1:NEV
    if qq<=EVs_in_area(1,1)
        x0=102.048313;
        x1=102.127621;
        rxcar(1,qq)=rxcar(1,qq)+((x1-x0).*rand(1,1)+x0);
        y0=14.965797;
        y1=15;
        rycar(1,qq)=rycar(1,qq)+((y1-y0).*rand(1,1)+y0);
    elseif qq>EVs_in_area(1,1)&&qq<=(EVs_in_area(1,1)+EVs_in_area(1,2))
        rxcar(1,qq)=rxcar(1,qq)+((R2-L2).*rand(1,1)+L2);
        rycar(1,qq)=rycar(1,qq)+((top2-bottom2).*rand(1,1)+bottom2);
    elseif qq>(EVs_in_area(1,1)+EVs_in_area(1,2))&&qq<=(EVs_in_area(1,1)+EVs_in_area(1,2)+EVs_in_area(1,3))
        rxcar(1,qq)=rxcar(1,qq)+((R3-L3).*rand(1,1)+L3);
        rycar(1,qq)=rycar(1,qq)+((top3-bottom3).*rand(1,1)+bottom3);
    end
end

```

```

elseif
qq>(EVs_in_area(1,1)+EVs_in_area(1,2)+EVs_in_area(1,3))&&qq<=(EVs_in_area(1,1)+EVs_in_area(1,2)+EVs_in_area(1,3)+E
Vs_in_area(1,4))
    rxcar(1,qq)=rxcar(1,qq)+((R4-L4).*rand(1,1)+L4);
    rycar(1,qq)=rycar(1,qq)+((top4-bottom4).*rand(1,1)+bottom4);
elseif
qq>(EVs_in_area(1,1)+EVs_in_area(1,2)+EVs_in_area(1,3)+EVs_in_area(1,4))&&qq<=(EVs_in_area(1,1)+EVs_in_area(1,2)+E
Vs_in_area(1,3)+EVs_in_area(1,4)+EVs_in_area(1,5))
    rxcar(1,qq)=rxcar(1,qq)+((R5-L5).*rand(1,1)+L5);
    rycar(1,qq)=rycar(1,qq)+((top5-bottom5).*rand(1,1)+bottom5);
elseif
qq>(EVs_in_area(1,1)+EVs_in_area(1,2)+EVs_in_area(1,3)+EVs_in_area(1,4)+EVs_in_area(1,5))&&qq<=(EVs_in_area(1,1)+E
Vs_in_area(1,2)+EVs_in_area(1,3)+EVs_in_area(1,4)+EVs_in_area(1,5)+EVs_in_area(1,6))
    rxcar(1,qq)=rxcar(1,qq)+((R6-L6).*rand(1,1)+L6);
    rycar(1,qq)=rycar(1,qq)+((top6-bottom6).*rand(1,1)+bottom6);
elseif
qq>(EVs_in_area(1,1)+EVs_in_area(1,2)+EVs_in_area(1,3)+EVs_in_area(1,4)+EVs_in_area(1,5)+EVs_in_area(1,6))&&qq<=(E
Vs_in_area(1,1)+EVs_in_area(1,2)+EVs_in_area(1,3)+EVs_in_area(1,4)+EVs_in_area(1,5)+EVs_in_area(1,6)+EVs_in_area(1,7)
)
    rxcar(1,qq)=rxcar(1,qq)+((R7-L7).*rand(1,1)+L7);
    rycar(1,qq)=rycar(1,qq)+((top7-bottom7).*rand(1,1)+bottom7);
elseif
qq>(EVs_in_area(1,1)+EVs_in_area(1,2)+EVs_in_area(1,3)+EVs_in_area(1,4)+EVs_in_area(1,5)+EVs_in_area(1,6)+EVs_in_ar
ea(1,7))&&qq<=(EVs_in_area(1,1)+EVs_in_area(1,2)+EVs_in_area(1,3)+EVs_in_area(1,4)+EVs_in_area(1,5)+EVs_in_area(1,6
)+EVs_in_area(1,7)+EVs_in_area(1,8))
    rxcar(1,qq)=rxcar(1,qq)+((R8-L8).*rand(1,1)+L8);
    rycar(1,qq)=rycar(1,qq)+((top8-bottom8).*rand(1,1)+bottom8);
elseif
qq>(EVs_in_area(1,1)+EVs_in_area(1,2)+EVs_in_area(1,3)+EVs_in_area(1,4)+EVs_in_area(1,5)+EVs_in_area(1,6)+EVs_in_ar
ea(1,7)+EVs_in_area(1,8))&&qq<=(EVs_in_area(1,1)+EVs_in_area(1,2)+EVs_in_area(1,3)+EVs_in_area(1,4)+EVs_in_area(1,5
)+EVs_in_area(1,6)+EVs_in_area(1,7)+EVs_in_area(1,8)+EVs_in_area(1,9))
    rxcar(1,qq)=rxcar(1,qq)+((R9-L9).*rand(1,1)+L9);
    rycar(1,qq)=rycar(1,qq)+((top9-bottom9).*rand(1,1)+bottom9);
elseif
qq>(EVs_in_area(1,1)+EVs_in_area(1,2)+EVs_in_area(1,3)+EVs_in_area(1,4)+EVs_in_area(1,5)+EVs_in_area(1,6)+EVs_in_ar
ea(1,7)+EVs_in_area(1,8)+EVs_in_area(1,9))&&qq<=(EVs_in_area(1,1)+EVs_in_area(1,2)+EVs_in_area(1,3)+EVs_in_area(1,4
)+EVs_in_area(1,5)+EVs_in_area(1,6)+EVs_in_area(1,7)+EVs_in_area(1,8)+EVs_in_area(1,9)+EVs_in_area(1,10))
    rxcar(1,qq)=rxcar(1,qq)+((R10-L10).*rand(1,1)+L10);
    rycar(1,qq)=rycar(1,qq)+((top10-bottom10).*rand(1,1)+bottom10);
elseif
qq>(EVs_in_area(1,1)+EVs_in_area(1,2)+EVs_in_area(1,3)+EVs_in_area(1,4)+EVs_in_area(1,5)+EVs_in_area(1,6)+EVs_in_ar

```

```

ea(1,7)+EVs_in_area(1,8)+EVs_in_area(1,9)+EVs_in_area(1,10))&&qq<=(EVs_in_area(1,1)+EVs_in_area(1,2)+EVs_in_area(1,3)+EVs_in_area(1,4)+EVs_in_area(1,5)+EVs_in_area(1,6)+EVs_in_area(1,7)+EVs_in_area(1,8)+EVs_in_area(1,9)+EVs_in_area(1,10)+EVs_in_area(1,11))
    rxcar(1,qq)=rxcar(1,qq)+((R11-L11).*rand(1,1)+L11);
    rycar(1,qq)=rycar(1,qq)+((top11-bottom11).*rand(1,1)+bottom11);
elseif
qq>(EVs_in_area(1,1)+EVs_in_area(1,2)+EVs_in_area(1,3)+EVs_in_area(1,4)+EVs_in_area(1,5)+EVs_in_area(1,6)+EVs_in_area(1,7)+EVs_in_area(1,8)+EVs_in_area(1,9)+EVs_in_area(1,10)+EVs_in_area(1,11))&&qq<=(EVs_in_area(1,1)+EVs_in_area(1,2)+EVs_in_area(1,3)+EVs_in_area(1,4)+EVs_in_area(1,5)+EVs_in_area(1,6)+EVs_in_area(1,7)+EVs_in_area(1,8)+EVs_in_area(1,9)+EVs_in_area(1,10)+EVs_in_area(1,11)+EVs_in_area(1,12))
    rxcar(1,qq)=rxcar(1,qq)+((R12-L12).*rand(1,1)+L12);
    rycar(1,qq)=rycar(1,qq)+((top12-bottom12).*rand(1,1)+bottom12);
elseif
qq>(EVs_in_area(1,1)+EVs_in_area(1,2)+EVs_in_area(1,3)+EVs_in_area(1,4)+EVs_in_area(1,5)+EVs_in_area(1,6)+EVs_in_area(1,7)+EVs_in_area(1,8)+EVs_in_area(1,9)+EVs_in_area(1,10)+EVs_in_area(1,11)+EVs_in_area(1,12))&&qq<=(EVs_in_area(1,1)+EVs_in_area(1,2)+EVs_in_area(1,3)+EVs_in_area(1,4)+EVs_in_area(1,5)+EVs_in_area(1,6)+EVs_in_area(1,7)+EVs_in_area(1,8)+EVs_in_area(1,9)+EVs_in_area(1,10)+EVs_in_area(1,11)+EVs_in_area(1,12)+EVs_in_area(1,13))
    rxcar(1,qq)=rxcar(1,qq)+((R13-L13).*rand(1,1)+L13);
    rycar(1,qq)=rycar(1,qq)+((top13-bottom13).*rand(1,1)+bottom13);
elseif
qq>(EVs_in_area(1,1)+EVs_in_area(1,2)+EVs_in_area(1,3)+EVs_in_area(1,4)+EVs_in_area(1,5)+EVs_in_area(1,6)+EVs_in_area(1,7)+EVs_in_area(1,8)+EVs_in_area(1,9)+EVs_in_area(1,10)+EVs_in_area(1,11)+EVs_in_area(1,12)+EVs_in_area(1,13))&&qq<=(EVs_in_area(1,1)+EVs_in_area(1,2)+EVs_in_area(1,3)+EVs_in_area(1,4)+EVs_in_area(1,5)+EVs_in_area(1,6)+EVs_in_area(1,7)+EVs_in_area(1,8)+EVs_in_area(1,9)+EVs_in_area(1,10)+EVs_in_area(1,11)+EVs_in_area(1,12)+EVs_in_area(1,13)+EVs_in_area(1,14))
    rxcar(1,qq)=rxcar(1,qq)+((R14-L14).*rand(1,1)+L14);
    rycar(1,qq)=rycar(1,qq)+((top14-bottom14).*rand(1,1)+bottom14);
elseif
qq>(EVs_in_area(1,1)+EVs_in_area(1,2)+EVs_in_area(1,3)+EVs_in_area(1,4)+EVs_in_area(1,5)+EVs_in_area(1,6)+EVs_in_area(1,7)+EVs_in_area(1,8)+EVs_in_area(1,9)+EVs_in_area(1,10)+EVs_in_area(1,11)+EVs_in_area(1,12)+EVs_in_area(1,13)+EVs_in_area(1,14))&&qq<=sum(EVs_in_area)
    rxcar(1,qq)=rxcar(1,qq)+((R15-L15).*rand(1,1)+L15);
    rycar(1,qq)=rycar(1,qq)+((top15-bottom15).*rand(1,1)+bottom15);
end
end
for qq=1:NEV
    % hold on
    % plot(rxcar(1,qq),rycar(1,qq),'r')
end
%-----สิ้นสุด

```



```

% การสร้างตำแหน่งของโหนดที่เชื่อมกับสถานีอัดประจุไฟฟ้าในพื้นที่อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา-----
for qq=1:Number_of_Substation
    % hold on
    % plot(sustation(2,qq),sustation(1,qq),'-gs',...
% 'LineWidth',2,...
% 'MarkerSize',10,...
% 'MarkerEdgeColor','b',...
% 'MarkerFaceColor',[0.5,0.5,0.5])
end
%-----สิ้นสุด
% การสร้างตำแหน่งสถานีอัดประจุไฟฟ้าในพื้นที่อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา-----
for qq=1:NFCS
    % hold on
    % plot(CS_X(1,qq),CS_Y(1,qq),'-gs',...
% 'LineWidth',1,...
% 'MarkerSize',5,...
% 'MarkerEdgeColor','g',...
% 'MarkerFaceColor',[0.5,0.5,0.5])
end
%-----สิ้นสุด
% การคำนวณระยะทางจากสถานีอัดประจุไฟฟ้าไปยังโหนดของระบบจำหน่ายไฟฟ้า-----
dCS=zeros(NFCS,Number_of_Substation);
for qq=1:NFCS
    for ww=1:Number_of_Substation
        dCS(qq,ww)=sqrt((CS_X(1,qq)-sustation(2,ww))^2+(CS_Y(1,qq)-sustation(1,ww))^2);
        dCS(qq,ww)=(dCS(qq,ww)/0.0093);
    end
end
%-----สิ้นสุด
% การเลือกระยะทางจากสถานีอัดประจุไฟฟ้าไปยังโหนดของระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่ใกล้ที่สุด-----
dCSmin=min(dCS,[],2);
for aa=1:length(dCSmin)
    if dCSmin(aa)<=distance_FCS_to_Substation
    else
        dCSmin(aa)=0;
    end
end
%-----สิ้นสุด

```

```

% การสร้างเส้นเพื่อระบุการเลือกกระแทางจากสถานีอัดประจุไฟฟ้าไปยัง โหนดของระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่ใกล้ที่สุด-----
NFCS_under_condition=0;
Number_CS=zeros(1,Number_of_Substation);
Number_Si=zeros(50,Number_of_Substation);
for aa=1:NFCS
    if dCSmin(aa)>0
        NFCS_under_condition=NFCS_under_condition+1;
    end
    for bb=1:Number_of_Substation
        if dCS(aa,bb)==dCSmin(aa)
            Number_CS(1,bb)=Number_CS(1,bb)+1;
            Number_Si(aa,bb)=Number_Si(aa,bb)+1;
            SelectX=[CS_X(1,aa) sustation(2,bb)];
            SelectY=[CS_Y(1,aa) sustation(1,bb)];
            % hold on
            % plot(SelectX,SelectY,'y')
        end
    end
end
end
%-----สิ้นสุด

```

3. Step_3_Size_of_FCS_Tranformer.m

```

% การคำนวณระยะทางกระจัดของผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้าไปยังสถานีอัดประจุไฟฟ้า-----
dEV=zeros(NEV,NFCS);
for aa=1:NEV
    for bb=1:NFCS
        dEV(aa,bb)=sqrt((rxcar(1,aa)-CS_X(1,bb))^2+(rycar(1,aa)-CS_Y(1,bb))^2);
        dEV(aa,bb)=(dEV(aa,bb)/0.0093);
    end
end
end
%-----สิ้นสุด

```

```

% การคำนวณระยะทางกระจัดของผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้าไปยังสถานีอัดประจุไฟฟ้าที่ใกล้ที่สุด-----
for aa=1:NFCS
    for bb=1:NEV
        if dCSmin(aa)==0
            dEV(bb,aa)=1000;
        end
    end
end
end
[dEVmin_before_ANN eachEV_to_FCS]=min(dEV,[],2);
dEVmin=dEVmin_before_ANN;

```

```

%-----สิ้นสุด
% การคำนวณระยะทางจริงของผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้าไปยังสถานีอัดประจุไฟฟ้าที่ใกล้ที่สุด โดยใช้วิธีโครงข่ายประสาทเทียม-----
Input_for_real_km_of_EV=[];          % ข้อมูลที่ใช้ในการป้อนเข้าเพื่อประมวลผลในโครงข่ายประสาทเทียม
Input_for_real_km_of_EV(1,:)=rycar;
Input_for_real_km_of_EV(2,:)=rxcar;
Input_for_real_km_of_EV(3,:)=dEVmin;
for qq=1:NEV
    Input_for_real_km_of_EV(4,qq)=CS_Y(eachEV_to_FCS(qq));
    Input_for_real_km_of_EV(5,qq)=CS_X(eachEV_to_FCS(qq));
end
dEVmin=net(Input_for_real_km_of_EV); % การนำโครงข่ายประสาทเทียมที่ได้จากการเรียนฝึกฝนมาใช้ในการคำนวณระยะทาง
                                       % จริงของผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้าไปยังสถานีอัดประจุไฟฟ้าที่ใกล้ที่สุด
%-----สิ้นสุด
% การคำนวณจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าที่เข้าใช้บริการในแต่ละสถานีอัดประจุไฟฟ้า-----
dEV_avg=zeros(1,NEV);
car_Over_15km=0;
Number_car_CS=zeros(1,NFCS);
for aa=1:NEV
    if dEVmin(aa)>15
        car_Over_15km=car_Over_15km+1;
    end
    Number_car_CS(1,eachEV_to_FCS(aa))=Number_car_CS(1,eachEV_to_FCS(aa))+1;
    SelectX=[rxcar(1,aa) CS_X(1,eachEV_to_FCS(aa))];
    SelectY=[rycar(1,aa) CS_Y(1,eachEV_to_FCS(aa))];
    hold on
%     plot(SelectX,SelectY,'k')
end
car_Over_15km;
%-----สิ้นสุด
% การคำนวณจำนวนหัวอัดประจุไฟฟ้าในแต่ละสถานีอัดประจุไฟฟ้า-----
number_pole=zeros(NFCS,Number_of_Substation);
for aa=1:NFCS
    for bb=1:Number_of_Substation
        number_pole(aa,bb)=number_pole(aa,bb)+Number_car_CS(1,aa)*Number_Si(aa,bb);
    end
end
cb=max(number_pole,[],1);
for aa=1:NFCS
    for bb=1:Number_of_Substation
        number_pole(aa,bb)=ceil(percent_EVs_max_each_hour*number_pole(aa,bb)/Nservice);
    end
end

```

```

end
Si=zeros(1,Number_of_Substation);
for aa=1:NFCS
    for bb=1:Number_of_Substation
        Si(1,bb)=Si(1,bb)+number_pole(aa,bb);
    end
end
Pole_Si=max(number_pole,[],2);
%-----สิ้นสุด
4. Step_4_Size_of_FCS_Tranformer.m
% ค่าใช้จ่ายในการเดินทางของผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้า-----
EVL=zeros(1,NEV);
for aa=1:NEV
    EVj=5*365*0.0877*0.17*dEVmin(aa);
    EVL(1,aa)=EVL(1,aa)+EVj;
end
EVL_cost=sum(EVL);
%-----สิ้นสุด
% ค่าใช้จ่ายสำหรับสายส่งจำหน่ายไฟฟ้า-----
EC=zeros(1,NFCS);
dCSmin=ones(11,1)*0.1; % กำหนดระยะจากจุดติดตั้งสถานีอัดประจุไฟฟ้าไปโหนดที่เชื่อมต่อกับสถานีอัด
                          % ประจุไฟฟ้าเท่ากับ 100 เมตร
for aa=1:NFCS
    ACj=8000+(65.7*42.77);
    ECj=ACj*dCSmin(aa)*Pole_Si(aa);
    EC(1,aa)=EC(1,aa)+ECj;
end
EC_total=sum(EC);
%-----สิ้นสุด
% ค่าใช้จ่ายในการพัฒนาสถานีอัดประจุไฟฟ้า-----
Cinit=70000; % ค่าใช้จ่ายคงที่ของสถานีอัดประจุไฟฟ้า ($)
Clan=4000; % ค่าเช่าพื้นที่สำหรับระยะเวลา 5 ปี ($/m2)
PC=96; % กำลังไฟฟ้าใช้งานของหัวอัดประจุไฟฟ้า (kW)
Ccon=208.33; % ค่าใช้จ่ายในการพัฒนาหัวอัดประจุไฟฟ้า ($/kW)
Dc=zeros(1,NFCS);
for aa=1:NFCS
    if Pole_Si(aa)==0
        Dc(1,aa)=0;
    else
        Dc(1,aa)=Dc(1,aa)+(Cinit+(25*Clan*Pole_Si(aa))+(PC*Ccon*(Pole_Si(aa)-1))); % (1) [$]
    end
end

```

```

end
end
Dc_cost=sum(Dc);
%-----สิ้นสุด
% ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการสูญเสียของพลังงานไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า-----
hn=zeros(1,Number_of_Substation);
for aa=1:Number_of_Substation
    if cb(aa)>0
        hn(1,aa)=hn(1,aa)+(cb(aa)/Si(aa)*(16.25/60));
    end
end
end
% loss_MW=[0.0026 0.0006 0.000012 0.0006 0.0001 ...
0.0005 0.000002 0.0014 0.0012 0.0007 0.0011]*3;    % กำลังไฟฟ้าสูญเสียในกรณี 40% ของแต่ละวงจรไฟฟ้า
loss_MW=[0.0026 0.0007 0.000011 0.0006 0.0002 ...
0.0005 0.000002 0.0015 0.0013 0.0008 0.0011]*3;    % กำลังไฟฟ้าสูญเสียในกรณี 80% ของแต่ละวงจรไฟฟ้า
AGL=zeros(1,Number_of_Substation);
GLC=zeros(1,Number_of_Substation);
for aa=1:Number_of_Substation
    if hn(aa)>0
        AGL(1,aa)=AGL(1,aa)+(hn(1,aa)*loss_MW(1,aa));
        GLC(1,aa)=GLC(1,aa)+(AGL(1,aa)*87.7*1825);
    end
end
end
loss5yr=sum(AGL);
GLC_Cost=sum(GLC);
%-----สิ้นสุด
% ผลการจำลองอื่น ๆ -----
Number_Pole=sum(Pole_Si);    % จำนวนหัวอัดประจุไฟฟ้าทั้งหมด
dEV_avg=sum(dEVmin)/NEV;    % ระยะทางเฉลี่ยไปยังสถานีอัดประจุไฟฟ้าสำหรับผู้ใช้งานดีไฟฟ้า
dEV_max=max(dEVmin);    % ระยะทางสูงสุดไปยังสถานีอัดประจุไฟฟ้าสำหรับผู้ใช้งานดีไฟฟ้า
%-----สิ้นสุด

5. Runs_10000_scenarios.m
% เริ่มต้นการป้อนข้อมูล -----
Nraaa=10000;    % จำนวนสถานการณ์
N_FCS=11;    % จำนวนสถานีอัดประจุไฟฟ้า
%-----สิ้นสุด
% การกำหนดตัวแปรเพื่อเก็บข้อมูล -----
Number_car_CS_avg=zeros(1,N_FCS);
Pole_Si_each_FCS=zeros(N_FCS,1);
number_pole_each_FCS=zeros(N_FCS,4);

```

```

dEV_max_avg=zeros(1,Nraaa);
dEV_avg_avg=zeros(1,Nraaa);
EVL_a=zeros(1,Nraaa);
EC_a=zeros(1,Nraaa);
Dc_a=zeros(1,Nraaa);
GLC_a=zeros(1,Nraaa);
CCharger=zeros(1,Nraaa);
avg_distance_of_EVs=0;
max_distance_of_EVs=0;
for raaa=1:Nraaa
    Step_1_Size_of_FCS_Transformer
    Step_2_Size_of_FCS_Transformer
    Step_3_Size_of_FCS_Transformer
    Step_4_Size_of_FCS_Transformer
    Number_car_CS_avg=Number_car_CS_avg+Number_car_CS;
    Pole_Si_each_FCS=Pole_Si_each_FCS+Pole_Si;
    dEV_max_avg(1,raaa)=dEV_max_avg(1,raaa)+dEV_max;
    dEV_avg_avg(1,raaa)=dEV_avg_avg(1,raaa)+dEV_avg;
    EVL_a(1,raaa)=EVL_a(1,raaa)+EVL_cost;
    EC_a(1,raaa)=EC_a(1,raaa)+EC_total;
    Dc_a(1,raaa)=Dc_a(1,raaa)+Dc_cost;
    GLC_a(1,raaa)=GLC_a(1,raaa)+GLC_Cost;
    CCharger(1,raaa)=CCharger(1,raaa)+Number_Pole;
    avg_distance_of_EVs=avg_distance_of_EVs+dEV_avg;
    max_distance_of_EVs=max_distance_of_EVs+dEV_max;
end
%-----สิ้นสุด
% การคำนวณค่าเฉลี่ยจากผลการจำลอง-----
Number_car_CS_avg=Number_car_CS_avg/Nraaa;
Pole_Si_each_FCS=Pole_Si_each_FCS/Nraaa;
CCharger=sum(CCharger)/Nraaa;
Avg_Dist=avg_distance_of_EVs/Nraaa;
Max_Dist=max_distance_of_EVs/Nraaa;
avg_num_c15km=sum(num_c15km)/Nraaa;
avg_EVL=sum(EVL_a)/Nraaa;
avg_EC=sum(EC_a)/Nraaa;
avg_Dc=sum(Dc_a)/Nraaa;
avg_GLC=sum(GLC_a)/Nraaa;
Total=avg_EC+avg_Dc+avg_EVL+avg_GLC;
car_CS_avg=[]; ww=0;
Pole_Si_each_FCS_avg=[];

```

```

for qq=1:N_FCS
    if Number_car_CS_avg(1,qq)>0
        ww=ww+1;
        car_CS_avg(ww)=Number_car_CS_avg(1,qq);
        Pole_Si_each_FCS_avg(ww)=Pole_Si_each_FCS(qq,1);
    end
end
%-----สิ้นสุด

6. Run_Size_of_FCS_Tranformer.m
% การเรียนรู้ฝึกฝนระบบโครงข่ายประสาทเทียม-----
Stop_km_ANN=1.3; % ค่าสำหรับตั้งเงื่อนไขการหยุดของการเรียนรู้ฝึกฝนระบบโครงข่ายประสาทเทียม
for qq=1:1000000
    Input_training_km_of_EV=[]; % ข้อมูลป้อนเข้าสำหรับการเรียนรู้ฝึกฝนระบบโครงข่ายประสาทเทียม ประกอบด้วย
    % เลขละติจูดของตำแหน่งรถยนต์ไฟฟ้า เลขลองจิจูดของตำแหน่งรถยนต์ไฟฟ้า
    % เลขละติจูดของตำแหน่งสถานีอัดประจุไฟฟ้า เลขลองจิจูดของตำแหน่งสถานีอัด
    % ประจุไฟฟ้า และระยะการกระจัดระหว่างรถยนต์ไฟฟ้าและสถานีอัดประจุไฟฟ้า
    % ตามลำดับ
    Input_training_km_of_EV(1,:)=[]; % เลขละติจูดของตำแหน่งรถยนต์ไฟฟ้า
    Input_training_km_of_EV(2,:)=[]; % เลขลองจิจูดของตำแหน่งรถยนต์ไฟฟ้า
    Input_training_km_of_EV(3,:)=[]; % เลขละติจูดของตำแหน่งสถานีอัดประจุไฟฟ้า
    Input_training_km_of_EV(4,:)=[]; % เลขลองจิจูดของตำแหน่งสถานีอัดประจุไฟฟ้า
    Input_training_km_of_EV(5,:)=[]; % ระยะการกระจัดระหว่างรถยนต์ไฟฟ้าและสถานีอัดประจุไฟฟ้า
    Target_training_km_of_EV=[]; % ข้อมูลเป้าหมาย คือ ระยะทางสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าเดินทางไปยังสถานีอัดประจุ
    % ไฟฟ้าที่ได้จากการวัดโดย Google Maps

    net = fitnet(10);
    net = train(net,Input_training_km_of_EV,Target_training_km_of_EV);
    output=net(Input_training_km_of_EV);
    RMSE=mse(net,Target_training_km_of_EV,output); % คำนวณค่า Root Mean Square Error : RMSE
    e=Target_training_km_of_EV-output;
    MAPE=mae(e); % คำนวณค่า Mean Absolute Percentage Error
    if RMSE<Stop_km_ANN % ตรวจสอบเงื่อนไขการหยุดการเรียนรู้ฝึกฝนระบบโครงข่าย
        % ประสาทเทียม

        RMSE
        MAPE

    plot(1:size(Target_training_km_of_EV,2),Input_training_km_of_EV(3,:),1:size(Target_training_km_of_EV,2),Target_training_k
    m_of_EV,'r',1:size(Target_training_km_of_EV,2),output,'k')

    break;
end
end
%-----สิ้นสุด

```

```

% การเรียกชุดคำสั่งโปรแกรม Runs_10000_scenarios.m -----
Runs_10000_scenarios
%-----สิ้นสุด
% การแสดงผลการจำลอง -----
fprintf('\n\nThe Results\n');
fprintf('fast charging stations = %d   Chargers = %.2f\n',NFCS_under_condition,CCCharger);
fprintf('\n=====');
fprintf('\n\nOptimal Fast Charging Stations\n');
for qq=1:NFCS_under_condition
    fprintf('%d   %.2f   %.2f   %.2f\n',qq,(Pole_Si_each_FCS_avg(qq)),Pole_Si_each_FCS_avg(qq)*96,car_CS_avg(qq));
end
fprintf('=====');
fprintf('\n\nThe Results of the minimal total cost\n');
fprintf('Station development cost (M$) = %.2f\n',avg_Dc);
fprintf('Electrification cost of fast charging station(M$) = %.2f\n',avg_EC);
fprintf('Loss cost of EVs (M$) = %.2f\n',avg_EVL);
fprintf('Loss cost of power distribution system(M$) = %.2f\n',avg_GLC);
fprintf('Total cost(M$) = %.2f   DC+EC (M$) = %.4f\n',...
        Total/1000000,(avg_Dc+avg_EC)/1000000);
fprintf('=====');
fprintf('\n\nThe traveling distances of EV users\n');
fprintf('Average (km) = %.2f   Maximum (km) = %.2f\n',Avg_Dist,Max_Dist);
fprintf('=====');
%-----สิ้นสุด

ชุดคำสั่งโปรแกรมสำหรับการออกแบบขนาดของหม้อแปลงไฟฟ้าสำหรับสถานีอัดประจุไฟฟ้า
การหาขนาดหม้อแปลงไฟฟ้าสำหรับสถานีอัดประจุไฟฟ้า ประกอบไปด้วย 2 ไฟล์ ดังนี้
1. Transformers_load_case_1.m สำหรับกรณีที่ 1
2. Transformers_load_case_2.m สำหรับกรณีที่ 2
ตัวอย่างสำหรับการหาขนาดหม้อแปลงไฟฟ้าสำหรับสถานีอัดประจุไฟฟ้า กรณีที่ 1 “Transformers_load_case_1.m” ดังนี้
% เริ่มต้นป้อนข้อมูล -----
CS_MW=[960 384 672 288 480 192 192 576 192 480 192]/1000; % ขนาดสถานีอัดประจุไฟฟ้าที่ 1 ถึง 11 ตามลำดับ
n_rf=0.8; % ประสิทธิภาพของหัวอัดประจุไฟฟ้า
pf_EV=0.9; % ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้า
%-----สิ้นสุด
% การคำนวณขนาดของหม้อแปลงไฟฟ้า -----
P_CS=CS_MW./n_rf % โหลดสูงสุดของสถานีอัดประจุไฟฟ้า
MVA_CS=P_CS./pf_EV % โหลดสูงสุดของสถานีอัดประจุไฟฟ้าที่มีรถยนต์ไฟฟ้า
Size_TR_MVA=MVA_CS*1.25 % ขนาดของหม้อแปลงไฟฟ้า
%-----สิ้นสุด

```


% การป้อนข้อมูลเพื่อคำนวณประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า -----

Pout_EV_kW=[960 384 672 288 480 192 192 576 192 480 192]/0.8; % โหลดสูงสุดของรถยนต์ไฟฟ้าในแต่ละสถานีอัดประจุไฟฟ้า

Pcu_kW=[24 11 24 5.5 13.5 4.6 4.6 13.5 4.6 13.5 4.6]; % กำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวด

Pcore_kW=[3.25 1.6 3.25 1.15 1.95 0.96 0.96 1.95 0.96 1.95 0.96]; % กำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็ก

%-----สิ้นสุด

% การคำนวณประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า -----

Ploss=Pcu_kW+Pcore_kW;

Pin_EV_kW=Pout_EV_kW+Ploss;

n_TR=(Pout_EV_kW./Pin_EV_kW)*100

%-----สิ้นสุด

% การคำนวณโหลดสูงสุดของแต่ละสถานีอัดประจุไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า -----

Q=(Pin_EV_kW/0.9)*0.436;

Pin_EV_MW=Pin_EV_kW/1000 % กำลังไฟฟ้าจริงของโหลดในแต่ละสถานีอัดประจุไฟฟ้า [MW]

Q=Q/1000 % กำลังไฟฟ้รีแอกทีฟของโหลดในแต่ละสถานีอัดประจุไฟฟ้า [Mvar]

% โหลดสูงสุดของแต่ละสถานีอัดประจุไฟฟ้าถูกนำไปพิจารณาตรวจสอบกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบจำหน่ายไฟฟ้า ซึ่งใช้ในการคำนวณค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการสูญเสียของพลังงานไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไฟล์ “Step_4_Size_of_FCS_Transformer.m”

%-----สิ้นสุด

ชุดคำสั่งโปรแกรมสำหรับตรวจสอบกำลังไฟฟ้าสูญเสียและแรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

การตรวจสอบกำลังไฟฟ้าสูญเสียและแรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า ประกอบไปด้วย 5 ไฟล์ (Saadat, 1999) ดังนี้

1. abusout.m คือ แสดงข้อมูลของระบบไฟฟ้า และผลการจำลอง
2. alfnewton.m คือ การคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าโดยใช้วิธีนิวตัน-ราฟสัน
3. alfybus.m คือ การหาแอมิตแดนซิมเมตริกซ์
4. alineflow.m คือ การคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าในสายส่ง
5. afeeder คือ การป้อนข้อมูลของระบบจำหน่ายไฟฟ้า

โดยที่ข้อมูลของระบบจำหน่ายไฟฟ้าสำหรับทุกวงจรไฟฟ้าของสถานีไฟฟ้านครราชสีมาแสดงดังในไฟล์ที่แนบมา ได้แก่ “Feeder_data (1 Phase).xlsx” และ “Feeder_data (3 Phase).xlsx”

ชุดคำสั่งโปรแกรมสำหรับการจำลองผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า และกลยุทธ์การจัดการการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า โดยใช้วิธีการควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิก

ตัวอย่างการจำลองผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า และกลยุทธ์การจัดการการอัดประจุไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า โดยใช้วิธีการควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิก สำหรับสถานีอัดประจุไฟฟ้าที่ 1 กรณีที่ 1 ประกอบไปด้วย 9 ไฟล์ ดังนี้

1. abusout.m คือ แสดงข้อมูลของระบบไฟฟ้า และผลการจำลอง
2. alfnewton.m คือ การคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าโดยใช้วิธีนิวตัน-ราฟสัน

3. alfybus.m	คือ การหาแอมิตแดนซ์เมทริกซ์
4. alineflow.m	คือ การคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าในสายส่ง
5. EVs_load_forecast.m	คือ การคาดการณ์การบริโภคพลังงานไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าในสถานีอัดประจุไฟฟ้าที่ 1
6. Run_EVs_load_forecast.m	คือ ไฟล์สำหรับรันวิธีการคาดการณ์การบริโภคพลังงานไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าในสถานีอัดประจุไฟฟ้าที่ 1
7. Feeder_without_EV.m	คือ การป้อนข้อมูลของระบบจำหน่ายไฟฟ้า
8. Feeder_with_EV.m	คือ การป้อนข้อมูลของระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่มีการอัดประจุไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้า
9. Feeder_with_EVs_fuzzy	คือ การป้อนข้อมูลของระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่มีการอัดประจุไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าและกลยุทธ์การจัดการการอัดประจุไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าโดยใช้วิธีการควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิก
10. Model_FCS_fuzzy.fis	คือ แบบจำลองสำหรับกลยุทธ์การจัดการการอัดประจุไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า โดยใช้วิธีการควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิก

```

5. EVs_load_forecast.m
%การป้อนข้อมูล-----
fprintf('iter min_kWh avg_kWh max_kWh num_EVs RMSE MAPE number_fcs\n')
fprintf('-----\n')
% NEV=10000; % จำนวนรถยนต์ไฟฟ้าสูงสุด
km_EVs=zeros(1,NEV);
%-----สิ้นสุด
% การคำนวณระยะการเดินทางของผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้าที่สถานีอัดประจุไฟฟ้า โดยใช้ระบบโครงข่ายประสาทเทียม-----
for qq=1:NEV
    St=2.96;
    SEnd=101.2227;
    Rand=(SEnd-St).*rand(1,1)+St;
    W_test=Rand;
    km_EVs(1,qq)=net(W_test); % ระยะการเดินทางของผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้าที่สถานีอัดประจุไฟฟ้า [km]
end
km_EVs=round(km_EVs);
% figure
% plot(1:NEV,km_EVs)
%-----สิ้นสุด
% การคำนวณสถานะของแบตเตอรี่และกำหนดคีย์ห้อยของรถยนต์ไฟฟ้า-----
SOC=zeros(1,NEV);
Dmax=[100 110 130 130 130 130 140 150 165 170 300 340 350 450]; % ระยะทางสูงสุดของรถยนต์ไฟฟ้าแต่ละยี่ห้อ
Full_SOC_kWh=[16 17 20 22 23 24 24 30 30 36 37 60 60 80]; % ความจุของแบตเตอรี่ของรถยนต์ไฟฟ้าแต่ละยี่ห้อ
NEV_Full_SOC_kWh=zeros(1,NEV);
for qq=1:NEV
    if km_EVs(1,qq)<100
        St=1;

```

```

SEnd=14;
n=(SEnd-St).*rand(1,1)+St;
n=round(n);
Dm=Dmax(n);
SOC(1,qq)=SOC(1,qq)+((Dm-km_EVs(1,qq))/Dm)*100;           % จำนวนสถานะของแบตเตอรี่ของรถยนต์ไฟฟ้า
NEV_Full_SOC_kWh(1,qq)=NEV_Full_SOC_kWh(1,qq)+Full_SOC_kWh(1,n); % ยี่ห้อของรถยนต์ไฟฟ้า
elseif 100<km_EVs(1,qq) && km_EVs(1,qq)<110
    St=2;
    SEnd=14;
    n=(SEnd-St).*rand(1,1)+St;
    n=round(n);
    Dm=Dmax(n);
    SOC(1,qq)=SOC(1,qq)+((Dm-km_EVs(1,qq))/Dm)*100;
    NEV_Full_SOC_kWh(1,qq)=NEV_Full_SOC_kWh(1,qq)+Full_SOC_kWh(1,n);
elseif 110<km_EVs(1,qq) && km_EVs(1,qq)<130
    St=3;
    SEnd=14;
    n=(SEnd-St).*rand(1,1)+St;
    n=round(n);
    Dm=Dmax(n);
    SOC(1,qq)=SOC(1,qq)+((Dm-km_EVs(1,qq))/Dm)*100;
    NEV_Full_SOC_kWh(1,qq)=NEV_Full_SOC_kWh(1,qq)+Full_SOC_kWh(1,n);
elseif 130<km_EVs(1,qq) && km_EVs(1,qq)<140
    St=7;
    SEnd=14;
    n=(SEnd-St).*rand(1,1)+St;
    n=round(n);
    Dm=Dmax(n);
    SOC(1,qq)=SOC(1,qq)+((Dm-km_EVs(1,qq))/Dm)*100;
    NEV_Full_SOC_kWh(1,qq)=NEV_Full_SOC_kWh(1,qq)+Full_SOC_kWh(1,n);
elseif 140<km_EVs(1,qq) && km_EVs(1,qq)<150
    St=8;
    SEnd=14;
    n=(SEnd-St).*rand(1,1)+St;
    n=round(n);
    Dm=Dmax(n);
    SOC(1,qq)=SOC(1,qq)+((Dm-km_EVs(1,qq))/Dm)*100;
    NEV_Full_SOC_kWh(1,qq)=NEV_Full_SOC_kWh(1,qq)+Full_SOC_kWh(1,n);
elseif 150<km_EVs(1,qq) && km_EVs(1,qq)<165
    St=9;
    SEnd=14;

```

```

n=(SEnd-St).*rand(1,1)+St;
n=round(n);
Dm=Dmax(n);
SOC(1,qq)=SOC(1,qq)+((Dm-km_EVs(1,qq))/Dm)*100;
NEV_Full_SOC_kWh(1,qq)=NEV_Full_SOC_kWh(1,qq)+Full_SOC_kWh(1,n);
elseif 165<km_EVs(1,qq) && km_EVs(1,qq)<170
St=10;
SEnd=14;
n=(SEnd-St).*rand(1,1)+St;
n=round(n);
Dm=Dmax(n);
SOC(1,qq)=SOC(1,qq)+((Dm-km_EVs(1,qq))/Dm)*100;
NEV_Full_SOC_kWh(1,qq)=NEV_Full_SOC_kWh(1,qq)+Full_SOC_kWh(1,n);
elseif km_EVs(1,qq)>170
St=11;
SEnd=14;
n=(SEnd-St).*rand(1,1)+St;
n=round(n);
Dm=Dmax(n);
SOC(1,qq)=SOC(1,qq)+((Dm-km_EVs(1,qq))/Dm)*100;
NEV_Full_SOC_kWh(1,qq)=NEV_Full_SOC_kWh(1,qq)+Full_SOC_kWh(1,n);
end
end
%-----สิ้นสุด
% การคำนวณพลังงานที่ต้องการอัดประจุไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าที่สถานีอัดประจุไฟฟ้า [kW] -----
kWh_charge=zeros(1,NEV); % พลังงานที่ต้องการอัดประจุไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าที่สถานีอัดประจุไฟฟ้า [kW]
for AA=1:NEV
if SOC(1,AA)<50
kWh_charge(1,AA)=kWh_charge(1,AA)+(NEV_Full_SOC_kWh(1,AA)-(NEV_Full_SOC_kWh(1,AA)*SOC(1,AA)/100));
end
end
Number_soc_50=NEV_set;
kWhEV_charge=zeros(1,Number_soc_50); % พลังงานที่ต้องการอัดประจุไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าที่สถานีอัดประจุไฟฟ้า [kW]
aa=0;
for qq=1:NEV
if kWh_charge(1,qq)>0
aa=aa+1;
if aa<=Number_soc_50
kWhEV_charge(1,aa)=kWhEV_charge(1,aa)+kWh_charge(1,qq);
end
end
end

```

```

end
avg_kWh_charge=sum(kWhEV_charge)/Number_soc_50;
max_kWh_EVs=max(kWhEV_charge);
min_kWh_EVs=min(kWhEV_charge);
%-----สิ้นสุด
% การหาจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าที่เริ่มอัดประจุไฟฟ้าในสถานีอัดประจุไฟฟ้าที่เวลาต่าง ๆ-----
time=1:72;          % 1440 นาที เวลาห่างกัน 20 นาที เท่ากับ 72 ช่วง
% percent_EV=[0.6 0.3 0.3 0.3 1 7.5 6 10 5 5 5 5 3 12.5 12.5 7 3 3 3 2 1 1 1];
percent_EV=[0.2 0.2 0.2 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.32 0.32 0.32 ...
2.5 2.5 2.5 2 2 2 4 3.32 3.32 1.66 1.66 1.66 1.66 1.66 1.66 1.66 1.66 ...
1.7 1.7 1.7 1.7 1.7 1.7 1 1 1 4.2 4.2 4.2 4.2 4.2 4.2 2.33 2.33 2.33 1 1 ...
1 1 1 1 1 1 0.7 0.7 0.66 0.66 0.33 0.33 0.33 0.33 0.33 0.33 0.33 0.33];
% figure
% plot(time,percent_EV)
num_EVsp_hr=zeros(1,72);
for qq=1:72
    num_EVsp_hr(1,qq)=num_EVsp_hr(1,qq)+(Number_soc_50*percent_EV(1,qq)/100);
end
num_EVsp_hr=round(num_EVsp_hr); % จำนวนรถยนต์ไฟฟ้าที่เริ่มอัดประจุไฟฟ้าในสถานีอัดประจุไฟฟ้าที่เวลาต่าง ๆ
%-----สิ้นสุด
% การตั้งค่าจำนวนสถานีอัดประจุไฟฟ้าที่พิจารณา-----
number_fcs=1; % จำนวนสถานีอัดประจุไฟฟ้าที่พิจารณา
%-----สิ้นสุด
% การตรวจสอบจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าที่เข้าใช้บริการอัดประจุไฟฟ้าที่สถานีอัดประจุไฟฟ้าในหนึ่งวัน-----
num_EVsp_day=zeros(number_fcs,72);
nrr=0;
for qq=1:72
    for bb=1:num_EVsp_hr(1,qq);
        nrr=nrr+1;
        num_EVsp_day(nrr,qq)=num_EVsp_day(nrr,qq)+1;
        if nrr==number_fcs
            nrr=0;
        end
    end
end
end
Number_soc=sum(sum(num_EVsp_day)); % ตรวจสอบโดยเปรียบเทียบกับจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าที่เข้าใช้บริการอัดประจุไฟฟ้าที่
                                % สถานีอัดประจุไฟฟ้าในหนึ่งวัน (>= Number_soc_50)
%-----สิ้นสุด
% การหาพลังงานไฟฟ้า [kWh] ที่ต้องการอัดประจุไฟฟ้าให้กับรถยนต์ไฟฟ้าที่เวลาต่าง ๆ -----
kW_day_mins=zeros(number_fcs,1440);
NEV_time_at_FCS=zeros(number_fcs,1440);

```

```

kWh_day=zeros(number_fcs,72);
num_EV_s_charge=zeros(number_fcs,72);
qq=1; ee=0;
for aa=1:number_fcs
    for bb=1:72
        if num_EVsp_day(aa,bb)>0
            for cc=1:num_EVsp_day(aa,bb)
                ee=ee+1;
                if ee<=Number_soc_50
                    kWh_day(aa,bb)=kWh_day(aa,bb)+kWhEV_charge(1,qq);
                    num_EV_s_charge(aa,bb)=num_EV_s_charge(aa,bb)+1;
                    tst=((bb-1)*20)+1;
                    tev=tst+(kWhEV_charge(1,qq)*60/96); % หาเวลา Charging ของแต่ละ EV
                    NEV_time_at_FCS(aa,tst)=NEV_time_at_FCS(aa,tst)+1;
                    for zz=tst:tev
                        if zz<=1440
                            kW_day_mins(aa,zz)=kW_day_mins(aa,zz)+1;
                        end
                    end
                    qq=qq+1;
                end
            end
        end
    end
end
num_EV_s_charge; % จำนวนรถยนต์ไฟฟ้าที่สถานีอัดประจุไฟฟ้าต่อ 20 นาที
MW_EV_s_charge=num_EV_s_charge.*0.096;
MW_day_mins=kW_day_mins.*0.096; % โหลดของรถยนต์ไฟฟ้า MW ในแต่ละวัน
%-----สิ้นสุด
% การคำนวณเวลาในการอัดประจุไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้า -----
time_charging=zeros(1,Number_soc_50); % time charging EVs
for qq=1:Number_soc_50
    time_charging(1,qq)=time_charging(1,qq)+(kWhEV_charge(1,qq)*60/96);
end
min_time=min(time_charging);
avg_time=(sum(time_charging)/Number_soc_50);
max_time=max(time_charging);
%-----สิ้นสุด
% การแสดงผลการจำลอง -----
fprintf('%d % .3f % .3f % .3f %d % .4f % .4f
%d\n',iter,min_kWh_EVs,avg_kWh_charge,max_kWh_EVs,Number_soc_50,RMSE,MAPE,number_fcs)

```

```

fprintf('\nmin_time  avg_time  max_time (With charging EVs)\n')
fprintf('-----\n')
fprintf(' %.3f  %.3f  %.3f\n',min_time,avg_time,max_time)
plot(x,output,'r',x,t)
figure
plot(1:NEV,km_EVs)
% figure
% plot(time,percent_EV)
figure
plot(1:1440,NEV_time_at_FCS)
%-----สิ้นสุด
% กลยุทธ์การจัดการการอัดประจุไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า โดยใช้วิธีการควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิก-----
kW_day_mins_fuzzy=zeros(number_fcs,1440);
kW_day_fuzzy=zeros(number_fcs,72);
kW_EV_fuzzy=zeros(1,Number_soc_50);
ee=0; qq=1;
for aa=1:number_fcs
    for bb=1:72
        if num_EVs_charge(aa,bb)>0
            for cc=1:num_EVs_charge(aa,bb)
                ee=ee+1;
                if ee<=Number_soc_50
                    if bb<72
%source code of a fuzzy inference system with 2 inputs, 1 output and 3 rules
a=newfis('tipper');
a=addvar(a,'input','Eev',[8 40]);
a=addmf(a,'input',1,'Small','gaussmf',[4.8 8]);
a=addmf(a,'input',1,'Medium','gaussmf',[4.8 24]);
a=addmf(a,'input',1,'Big','gaussmf',[4.8 40]);
a=addvar(a,'input','Traffic',[0 10]);
a=addmf(a,'input',2,'Light','trimf',[-3 0 3]);
a=addmf(a,'input',2,'Medium','trimf',[2 5 8]);
a=addmf(a,'input',2,'Heavy','trimf',[7 10 13]);
a=addvar(a,'output','Charging',[24 96]);
a=addmf(a,'output',1,'Small','gaussmf',[12 24]);
a=addmf(a,'output',1,'Medium','gaussmf',[12 60]);
a=addmf(a,'output',1,'Big','gaussmf',[12 96]);
ruleList=[ ...
3 3 3 1 1
3 2 3 1 1
3 1 2 1 1

```

```

2 3 3 1 1
2 2 2 1 1
2 1 1 1 1
1 3 2 1 1
1 2 1 1 1
1 1 1 1 1];
a=addrule(a,ruleList);
% showfis(a);
showrule(a);

kW_EV_fuzzy(1,qq)=evalfis([kWhEV_charge(1,qq) num_EVs_charge(aa,bb+1)], a);
kW_day_fuzzy(aa,bb)= kW_day_fuzzy(aa,bb)+kW_EV_fuzzy(1,qq);
tst=((bb-1)*20)+1;
tev=tst+(kWhEV_charge(1,qq)*60/kW_EV_fuzzy(1,qq)); % ระยะเวลา Charging ของแต่ละ EV
for zz=tst:tev
    if zz<=1440
        kW_day_mins_fuzzy(aa,zz)=kW_day_mins_fuzzy(aa,zz)+kW_EV_fuzzy(1,qq);
    end
end
qq=qq+1;
else
%source code of a fuzzy inference system with 2 inputs, 1 output and 3 rules
a=newfis('tipper');
a=addvar(a,'input','Eev',[8 40]);
a=addmf(a,'input',1,'Small','gaussmf',[4.8 8]);
a=addmf(a,'input',1,'Medium','gaussmf',[4.8 24]);
a=addmf(a,'input',1,'Big','gaussmf',[4.8 40]);
a=addvar(a,'input','Traffic',[0 10]);
a=addmf(a,'input',2,'Light','trimf],[-4 0 4]);
a=addmf(a,'input',2,'Medium','trimf',[2 5 8]);
a=addmf(a,'input',2,'Heavy','trimf',[6 10 14]);
a=addvar(a,'output','Charging',[24 96]);
a=addmf(a,'output',1,'Small','gaussmf',[12 24]);
a=addmf(a,'output',1,'Medium','gaussmf',[12 60]);
a=addmf(a,'output',1,'Big','gaussmf',[12 96]);

ruleList= [ ...
3 3 3 1 1
3 2 3 1 1
3 1 2 1 1
2 3 3 1 1
2 2 2 1 1
2 1 1 1 1

```



```

1 3 2 1 1
1 2 1 1 1
1 1 1 1 1 ];
a=addrule(a,ruleList);
% showfis(a);
showrule(a);

kW_EV_fuzzy(1,qq)=evalfis([kWhEV_charge(1,qq) num_EVs_charge(aa,1)], a);
kW_day_fuzzy(aa,bb)= kW_day_fuzzy(aa,bb)+kW_EV_fuzzy(1,qq);
tst=((bb-1)*20)+1;
tev=tst+(kWhEV_charge(1,qq)*60/kW_EV_fuzzy(1,qq)); % หาเวลา Charging ของแต่ละ EV
for zz=tst:tev
    if zz<=1440
        kW_day_mins_fuzzy(aa,zz)=kW_day_mins_fuzzy(aa,zz)+kW_EV_fuzzy(1,qq);
    end
end
qq=qq+1;
end
end
end
end
end

end
end
end
end
end

MW_day_mins_fuzzy=kW_day_mins_fuzzy./1000; % [1440 mins]
MW_day_fuzzy=kW_day_fuzzy./1000; % [72]
%-----สิ้นสุด
% การหาเวลาในการอัดประจุไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้า โดยมีกลยุทธ์การจัดการการอัดประจุไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่าย
% ไฟฟ้า โดยใช้วิธีการควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิก-----
time_charging_fuzzy=zeros(1,Number_soc_50); % time charging EVs with Fuzzy logic
for qq=1:Number_soc_50
    time_charging_fuzzy(1,qq)=time_charging_fuzzy(1,qq)+(kWhEV_charge(1,qq)*60/kW_EV_fuzzy(1,qq));
end
min_time_fuzzy=min(time_charging_fuzzy);
avg_time_fuzzy=(sum(time_charging_fuzzy)/Number_soc_50);
max_time_fuzzy=max(time_charging_fuzzy);
%-----สิ้นสุด
% การแสดงผลการจำลอง -----
fprintf("\n min_time   avg_time   max_time (With charging EVs with Fuzzy logic)\n')
fprintf('-----\n')
fprintf('%0.3f   %0.3f   %0.3f\n',min_time_fuzzy,avg_time_fuzzy,max_time_fuzzy)
%-----สิ้นสุด

```

6. Run_EVs_load_forecast.m

```

% เริ่มต้นการป้อนข้อมูล -----
Stop=1; % เงื่อนไขการหยุดการเรียนรู้ฝึกฝนของระบบโครงข่ายประสาทเทียม เมื่อ RMSE < 1
NEV_set=240; % จำนวนรอบยนต์ไฟฟ้าที่ใช้บริการที่สถานีอัดประจุไฟฟ้าที่ 1 ในหนึ่งวัน
NEV=5000; % ตั้งค่าจำนวนรอบยนต์ไฟฟ้าที่ใช้พิจารณาสูงสุด
nnn=1000; % ตั้งค่าจำนวนรอบสูงสุดในการการเรียนรู้ฝึกฝนของระบบโครงข่ายประสาทเทียม
%-----สิ้นสุด

% การเรียนรู้ฝึกฝนของระบบโครงข่ายประสาทเทียม -----
for iter=1:nnn
    km=0:322; % ความน่าจะเป็นของระยะการเดินทาง km ของผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้าในแต่ละวัน
    f=0.0296*exp(-0.0296.*km);
    f=0.0296*exp(-0.0296.*km)*100;
    W_percent=zeros(1,323);
    for qq=1:323
        W_percent(1,qq)=W_percent(1,qq)+f(1,qq);
        if qq<323
            f(1,qq+1)=f(1,qq+1)+f(1,qq);
        end
    end
    end
x=W_percent;
t=km;
% plot(t,x)
net = fitnet(10);
net = train(net,x,t);
% view(net)
output=net(x);
% figure
% plot(x,output,'r',x,time)
RMSE=mse(net,t,output); % การคำนวณ Root Mean Square Error : RMSE
e=t-output;
MAPE=mae(e); % การคำนวณ Mean Absolute Percentage Error
    if RMSE<Stop
        break;
    end
end
%-----สิ้นสุด

% การเรียกใช้งานชุดคำสั่ง EVs_load_forecast.m -----
EVs_load_forecast
%-----สิ้นสุด

```

ชุดคำสั่งโปรแกรมสำหรับการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

ตัวอย่างการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า สำหรับสถานีอัดประจุไฟฟ้าที่ 1 กรณีที่ 1 โดยใช้วิธีการเพิ่มประสิทธิภาพแบบวาฟ (Mirjalili, 2018) ประกอบไปด้วย 13 ไฟล์ ดังนี้

1. abusout.m	คือ แสดงข้อมูลของระบบไฟฟ้า และผลการการจำลอง
2. alfnewton.m	คือ การคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าโดยใช้วิธีนิวตัน-ราฟสัน
3. alfybus.m	คือ การหาแอมิตแดนซ์เมทริกซ์
4. alineflow.m	คือ การคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าในสายส่ง
5. alineflow_EV.m	คือ การคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าในสายส่ง โดยมีรถยนต์ไฟฟ้าอัดประจุไฟฟ้า
6. func_plot.m	คือ การพล็อตกราฟ
7. Get_Functions_details.m	คือ ฟังก์ชันวัตถุประสงค์และข้อจำกัด
8. initialization.m	คือ การเริ่มต้นประชากรชุดแรกของตัวแทนการค้นหา
9. WOA.m	คือ กระบวนการสำหรับวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพแบบวาฟ
10. WOAmain.m	คือ การป้อนข้อมูลพารามิเตอร์และเริ่มทำงาน
11. Feeder_without_EVs.m	คือ การป้อนข้อมูลของระบบจำหน่ายไฟฟ้า
12. Feeder_with_EVs.m	คือ การป้อนข้อมูลของระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่มีการอัดประจุไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้า
13. Location_and_size_of_C.m	คือ การแสดงผลการจำลองสำหรับตำแหน่งและขนาดของชุดตัวเก็บประจุ

7. Get_Functions_details.m

% การหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์

```
function [lb,ub,dim,fobj] = Get_Functions_details(F)
```

```
    fobj = @F1;
```

```
    lb=1;
```

```
% ค่าขอบเขตต่ำสุด
```

```
    ub=28;
```

```
% ค่าขอบเขตสูงสุด
```

```
    dim=10;
```

```
% จำนวนตัวแปร
```

```
end
```

```
function o = F1(x)
```

```
size_Mvar=[0 0.150 0.300 0.450 0.600 0.750 0.900 1.050 1.200 1.350 1.500 1.650 ...
```

```
1.800 1.950 2.100 2.250 2.400 2.550 2.700 2.850 3.000 3.150 3.300 3.450 3.600 ...
```

```
3.750 3.900 4.050];
```

```
% ขนาดของชุดตัวเก็บประจุ
```

```
Kc_Mvar=[0 0.5 0.35 0.253 0.220 0.276 0.183 0.228 0.170 0.207 0.201 0.193 0.187 ...
```

```
0.211 0.176 0.197 0.170 0.189 0.187 0.183 0.180 0.195 0.174 0.188 0.170 0.183 ...
```

```
0.182 0.179]*1000;
```

```
% ค่าใช้จ่ายของชุดตัวเก็บประจุ
```

```
x=round(x);
```

```
Feeder_with_EVs
```

```
QCtt=sum(busdata(:,11));
```

```
Cost_C=0;
```

```
for tpp=1:size(busdata,1)-1
```

```
    Cost_C=Cost_C+(Kc_Mvar(x(tpp))*size_Mvar(x(tpp)));
```

```

end
o=(Cost_EVs_loss_yr+Cost_grid_loss_yr+Cost_C)*32.84;      % ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (1$=32.84฿)
%-----สิ้นสุด
% การกำหนดข้อจำกัด -----
c0=[];
% c0(1)=-Pgt+Pdt; % <=0 type constraints
c0(1)=-6.45+QCtt;
c0(2)=-1.05+Voltage_1_max;      % ขอบเขตแรงดันไฟฟ้าสูงสุด โดยมีรถยนต์ไฟฟ้า
c0(3)=-1.05+Voltage_max;      % ขอบเขตแรงดันไฟฟ้าสูงสุด โดยไม่มีรถยนต์ไฟฟ้า
c0(4)=0.95-Voltage_1_min;      % ขอบเขตแรงดันไฟฟ้าต่ำสุด โดยมีรถยนต์ไฟฟ้า
c0(5)=0.95-Voltage_min;      % ขอบเขตแรงดันไฟฟ้าต่ำสุด โดยไม่มีรถยนต์ไฟฟ้า
%-----สิ้นสุด
% การปรับโทษ เมื่อเกินขอบเขตข้อจำกัด -----
for i=1:length(c0)
    if c0(i)>0
        c(i)=1;
    else
        c(i)=0;
    end
end
end
penalty=10000000; % penalty on each constraint violation
o=o+penalty*sum(c); % fitness function
end
%-----สิ้นสุด

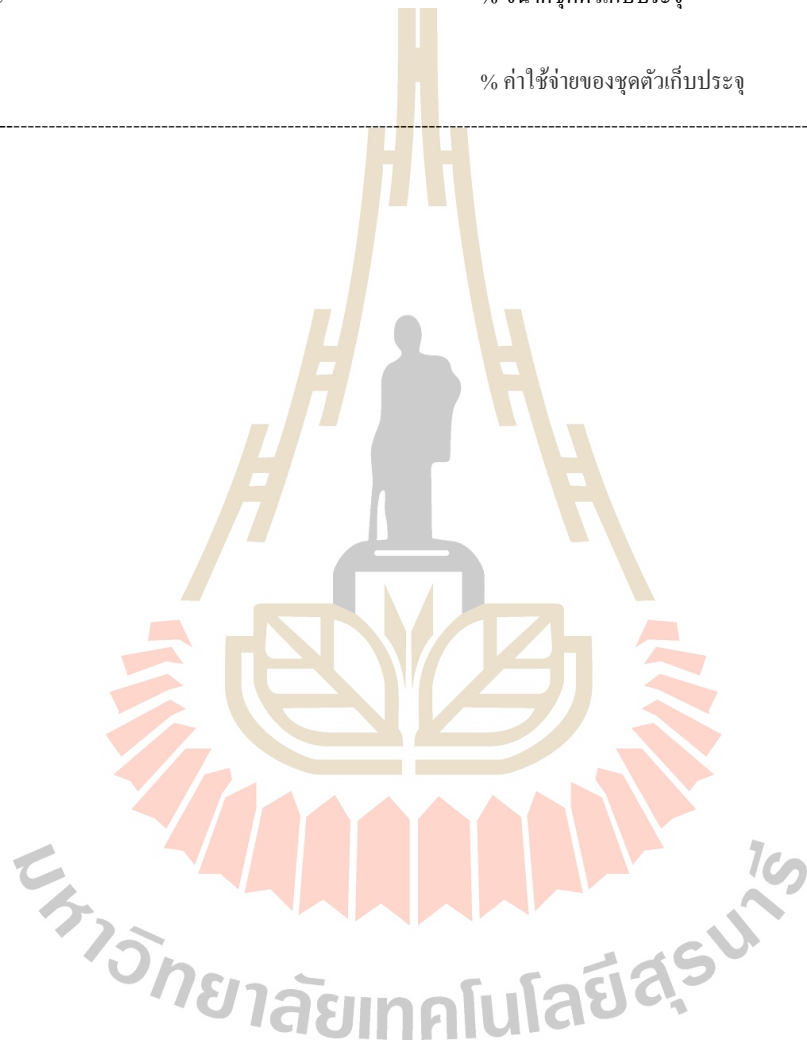
13. Location_and_size_of_C.m
% การแสดงผลการจำลองสำหรับตำแหน่งและขนาดของชุดตัวเก็บประจุ-----
size_Mvar=[0 0.150 0.300 0.450 0.600 0.750 0.900 1.050 1.200 1.350 1.500 1.650 ...
    1.800 1.950 2.100 2.250 2.400 2.550 2.700 2.850 3.000 3.150 3.300 3.450 3.600 ...
    3.750 3.900 4.050];      % ขนาดของชุดตัวเก็บประจุ
Kc_Mvar=[0 0.5 0.35 0.253 0.220 0.276 0.183 0.228 0.170 0.207 0.201 0.193 0.187 ...
    0.211 0.176 0.197 0.170 0.189 0.187 0.183 0.180 0.195 0.174 0.188 0.170 0.183 ...
    0.182 0.179]*1000;      % ค่าใช้จ่ายของชุดตัวเก็บประจุ
qe=1;
bus_install_C=[];
Capacity_C=[];
Cost_Cc=[];
Cost_Cc=0;
Best_pos=round(Best_pos);
for tend=1:10
    if Best_pos(tend)>1

```

```

bus_install_C(qe)=tend+1;
Capacity_C(qe)=size_Mvar(Best_pos(tend));
Cost_Cc=Cost_Cc+(Kc_Mvar(Best_pos(tend))*size_Mvar(Best_pos(tend)));
qe=qe+1;
end
end
bus_install_C          % ตำแหน่งที่ติดตั้งชุดตัวเก็บประจุ
Capacity_C             % ขนาดชุดตัวเก็บประจุ
Cost_Cc                % ค่าใช้จ่ายของชุดตัวเก็บประจุ
%-----สิ้นสุด

```





รายชื่อบทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารวิชาการนานาชาติในระหว่างการศึกษา

Chartsuk, N. and Marungsri, B. (2019). **Optimal Fast Charging Station for Electric Vehicles (EVs) in Muang District, Nakhon Ratchasima, Thailand.** GMSARN International Journal, Vol. 13, No. 1, pp. 26 - 35.

Chartsuk, N. and Marungsri, B. (2018). **Supervision Strategy to Mitigate the Effect of Electric Vehicles (EVs) Charging Load on Power Distribution System Operations.** International Journal on Energy Conversion (IRECON), Vol. 6, No. 6, pp. 184 - 195.

รายชื่อบทความที่ได้นำเสนอในการประชุมวิชาการระดับชาติและนานาชาติ

ณัฐพล ชาติสุข และบุญเรือง มะรังศรี. 2561. การศึกษาลักษณะการอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า. การประชุมสัมมนาวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 11, น. DE 588-594.

ณัฐพล ชาติสุข และบุญเรือง มะรังศรี. 2561. ผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้า. การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 14, น. SEC 1091-1095.

Chartsuk, N., Boonraksa, T. and Marungsri, B. (2019). **Comparison of the Charging Behavior of Electric Vehicles with Normal and Fast Charging.** Asian Conference on Engineering and Natural Sciences, Hokkaido, Japan, January 22-24.

Chartsuk, N. and Marungsri, B. (2018). **Optimal Strategy to Mitigate the Effect of Fast Charging Electric Tram in Power Distribution.** Proceedings of 2nd International Conference on Electrical Engineering and Automation (ICEEA 2018), Chengdu, Vol. 139, pp. 74 - 77.

Supervision Strategy to Mitigate the Effect of Electric Vehicles (EVs) Charging Load on Power Distribution System Operations

N. Chartsuk¹, B. Marungsri^{1,*}

Abstract – In a fast charging station (FCS), electrical energy is supplied to rapidly charge electric vehicles (EVs). EV charging station acts as the load to the power distribution system, and the large-sized charging activity may bring an effect on the power distribution system. In this paper, an approach to forecast the characteristic of power consumption due to EVs charging has been studied by using Monte Carlo and Artificial Neural Network (ANN) method. The traveling distance of EV users, the state of charge (SOC) of EV battery, and the arrival time to the FCS have been considered in this study. The proposed mathematical equation was used to determine the number of FCS in the area. Finally, a Fuzzy supervisor design methodology has been applied to model supervision strategy in order to reduce the effect on the power distribution system by considering the electric energy demand of EV and number of EV to be charged. Thus, the obtained results indicate that the effect of EVs charging on the power distribution system increases voltage fluctuation and power losses. A supervision strategy can mitigate the effect of EVs charging on the power distribution system.

Keywords: Monte Carlo, Artificial Neural Network, Fuzzy Supervisor Design Methodology, Fast Charging Station, State of Charge

I. Nomenclatures

ANN	Artificial Neural Network
ESS	Energy Storage System
EV	Electric Vehicle
FCS	Fast Charging Station
PV	Photovoltaic
RES	Renewable Energy Source
SOC	State of Charge
%SOC	State of charge in %
D_{drive}	Distance traveled of EV in km
D_{max}	Maximum distance of EV in km
E_{cap}	Nominal capacity of EVs given by the manufacturers in kWh
E_{ev}	Energy demand of EV at the FCS in kWh
$f(x)$	Weighted probability of the daily driving kilometers of the vehicle in %
$N_{charger}$	Number of chargers in FCS
N_{FCS}	Number of FCS
$N_{service}$	Number of services of the charger in an hour
NB	Number of the bus in a power distribution system
NEV_i	Number of required EVs charging for each hour i
P_{ev}	Power of charger delivered to the EV in kW
$t_{charging}$	Time of EV charging at the FCS in h
V_i	Voltage at bus i in per unit
V_{rated}	A nominal voltage of power distribution system in per unit
x	Daily driving kilometers of the vehicle in km

II. Introduction

Nowadays, an electric vehicle (EV) has become the best substitute for internal combustion engine cars in the transportation system [1], [2]. The major advantage is that EV produces less pollution and hence it is environmentally friendly compared to internal combustion engine cars. An EV requires electricity from a battery which needs recharging by plugging it to the source of electricity at charging station and the time required for recharging (about 20 min to 8 h which are a long time [3]) is the significant disadvantage associated with EV. Therefore, the fast-charging station (FCS) is of a great importance for recharging. If the time for charging became less than half an hour, FCS would expectedly replace traditional gas stations in the future [4], [5]. The FCS requires a tremendous amount of power connected to the power distribution system as shown in Fig. 1, which may cause massive electricity consumption peaks in the power distribution system [6]-[9]. The massive electricity consumption of EVs affects voltage drop and power losses in distribution system [10]-[13]. For years, researchers have worked to study the effect of EVs charging and to evaluate the effect of EVs charging on the power distribution system [14]. The effect of EVs charging on the power distribution system cannot be neglected. Therefore, it needs detailed investigation about the effect of EV charging on voltage stability, power losses, reliability, and economics of power loss [15], [16].

N. Chartsuk, B. Marungsri

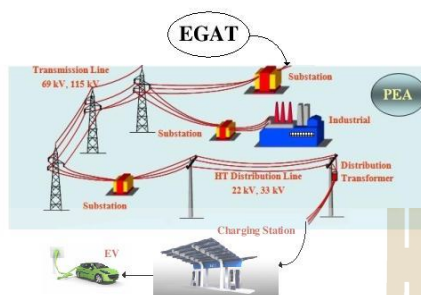


Fig. 1. The basic structure of the FCS

The effect of EVs charging on the power distribution system is investigated by using different load profiles, the majority of the studies for EVs charging load on the power distribution system is a simulation, in order to generate EVs charging profile such in [17], [18]. The author in [17] has proposed a load forecast method of EVs charging on the freeway, the EVs charging load of each FCS on the freeway has been obtained from considering the information interactions between the FCSs and EV users. As well as the author in [18] has proposed a Monte Carlo method to assess EVs charging profile in power distribution system by considering the state of charge (SOC) of EV battery, the charging time and the arrival time to charging station of EVs. The EVs charging profile has been applied to analyze the impact on the voltage profile in the power distribution system; the results suggest that the voltage drops in the power distribution system [18]. It has been shown that the EVs charging profile has the guiding significance for the planning and operational improvement of the FCSs in the future. The author in [19] presents the effect of EVs charging based on customer charging behaviors in a power distribution system. It has been observed that the impact on node voltage behavior depends mainly on the behavior of EV users such as start time and duration of EV recharge [19]. Therefore, the behavior of EV users is a key parameter to estimate the effects of EVs charging on the power distribution system. The author in [20] has investigated the key parameters to estimate the behavior of EV users on highways by using Monte Carlo method, to find statistical information on the behavior of EV users at FCS on highways by considering the size of EV batteries, the SOC of EV batteries, and the traveling speed of EVs [20].

The purpose of [21], [22] has been to determine the optimal place and size of FCS, which is beneficial to EV users, FCS developers, and the power distribution system. In order to reduce the effect of EVs charging on the power distribution system, [23], [24] have proposed the application of energy storage system (ESS) in FCS to reduce operational costs of FCS and to alleviate adverse

effect of FCS on the power distribution system. The FCS integrated with photovoltaic (PV) and ESS, can effectively perform energy management in the EV charging station [25]. Moreover, the renewable energy sources (RESs) for EV charging station are composed by PV system and wind energy system as well as ESS. The propose of [26] has been to improve power management approach of a hybrid energy system with RESs (PV and wind energy system), in order to balance load demand of the charging station.

Recent studies [21]-[26] have shown many important strategies to mitigate the effect of EV charging on the power distribution system, as well as economic losses. But the drawbacks of RES and ESS for EV charging station are the high investment cost and the fact that it is not suitable for some areas. Therefore, this paper focuses on the forecast of EVs charging profile, to lead to the planning and operational improvement of the FCSs by supervision strategy, to reduce the effect of EVs charging.

In this paper, an approach is proposed to forecast the characteristic of power consumption due to EVs charging by using Monte Carlo and Artificial Neural Network (ANN) method, the traveling distance of EV users, the SOC of EVs battery, and the arrival time at FCS has been considered in this study. The proposed mathematical equation is used to determine the number of FCS in the area. Finally, a Fuzzy supervisor design methodology is applied to model supervision strategy to reduce the effect on the power distribution system by considering the electric energy demand of EV and number of EV to be charged.

This paper is organized as follows. Section III describes Methodology. Section IV describes the system model. Section V shows the simulation results and discussion. The conclusion is in Section VI.

III. Methodology

In this section, the voltage deviation, the Monte Carlo method, the Artificial Neural Network Method, and the fuzzy supervisor design methodology are explained.

III.1. Voltage Deviation Index

As well known, the voltage deviation indicates the stability in the power distribution system. The variation of voltage affects the power distribution system and may result in a blackout condition. The amount of voltage deviation from the rated voltage can be calculated as [27].

$$VID = \sum_{i=1}^{NB} \frac{|V_{rated} - V_i|}{V_{rated}} \quad (1)$$

III.2. Monte Carlo Method

N. Chartsuk, B. Marungsri

Monte Carlo method uses statistical simulation integrated with Artificial Neural Network method to approximate daily driving kilometers of EV. Monte Carlo method simulates the problem by using a random number or generating a random number. Monte Carlo method includes the following steps [28],

1. Determining the statistical properties or outcome of possible inputs.
2. Determining possible inputs which follow the outcome in 1.
3. Determining the range of numbers refers to possible outcomes which follow the possible inputs in 2.
4. Generating random numbers based on possible outcomes.
5. Analyzing the results statistically.

III.3. Artificial Neural Network Method

A neural network is an attempt to simulate the brain, which can pattern recognition or data classification through a learning process. The architecture of neural networks consists of three nodes: input nodes which receives inputs, hidden nodes which gather the inputs and weight values to perform nonlinear processing to generate a result then sent to output nodes, and output nodes which show the outputs [29].

III.4. Fuzzy Supervisor Design Methodology

The fuzzy logic is a method of reasoning that resembles human reasoning or imitates the way of decision making in humans. The fuzzy supervisor design methodology has seven steps [30]:

1. Defining the system specifications, such as the objectives, constraints, and means of action.
2. Defining the supervisory structure, the inputs, and the outputs.
3. Defining the functional graphs, a representation of the operating modes is proposed.
4. Defining the membership functions, representation of each variable of the fuzzy supervisor.
5. Defining the operational graphs, representation of the fuzzy operating modes is proposed.
6. Defining the transition of the operational graphs to the particularly fuzzy rules.
7. Defining the indicators, which can estimate the achievement of objectives.

IV. System Model

In this section, a detail of the power distribution system and EVs model is shown. The probability of a vehicle's daily kilometers, the SOC of EV battery, and the arrival time of EVs at FCS are explained. The proposed mathematical equation determines the number

of FCSs in the area. Finally, the procedure of forecasting energy demand of EVs and the supervision strategy are explained.

IV.1. Power Distribution System

Using test system data of radial distribution system with 13 buses, whose single line diagram is shown in Fig. 2 and the detail is illustrated in [31]. The load curve of the typical day of the radial distribution system with 13 buses indicates electrical energy consumption of electricity users during a day without EVs charging loads as shown in Fig. 3.

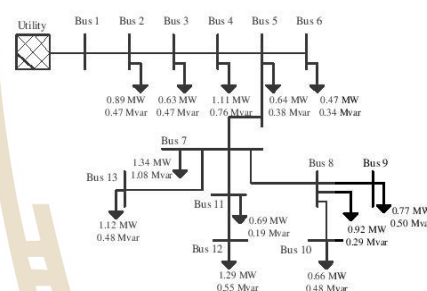


Fig. 2. The single line diagram of a radial distribution system with 13 buses

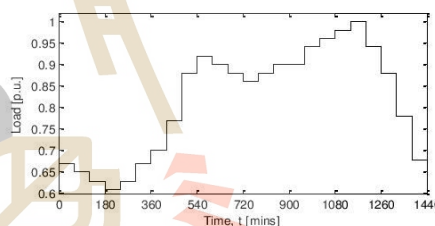


Fig. 3. The load curves of the typical days of the radial distribution system with 13 buses

IV.2. Electric Vehicle Models

A nominal capacity of EVs given by the manufacturers is the number of kilometers EV can travel. The commercial EVs (models 2015-2017) capacity are shown in Table I [32].

IV.3. The probability of a Vehicle Daily Kilometers

In this paper, daily driving kilometers of vehicle-based on the real mobility data [33] are assumed to have an exponential distribution [34]. The exponential distribution can be expressed as follows,

N. Chartsuk, B. Marungsri

$$f(x) = (0.0296e^{-0.0296x}) \times 100\%, \quad x \geq 0 \quad (2)$$

From equation (2), the distribution of the probability of a daily vehicle kilometer is as shown in Fig. 4. Moreover, Fig. 5 shows the cumulative weighted probability of daily kilometers.

TABLE I
THE COMMERCIAL EVS (MODELS 2015-2017) [32]

Models 2015-2017	Battery [kWh]	Range [km]
Mitsubishi i-MiEV	16	100
Smart Electric	17	110
Chevy Spark EV	20	130
BMW i3	22	130
Ford Focus EV	23	130
Fiat 500e	24	140
Leaf 24kWh	24	130
Leaf 30kWh	30	165
Kia Soul EV	30	150
Mercedes BClassEV	36	170
VW eGolf	37	300
Tesla S 60	60	340
Tesla model 3	60	350
Tesla modelS80	80	450

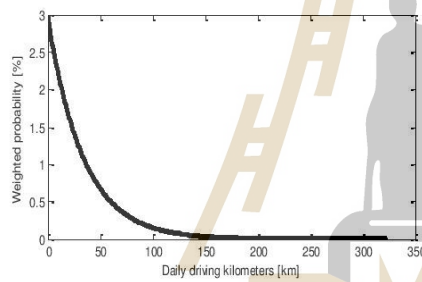


Fig. 4. The probability distribution of daily driving kilometers

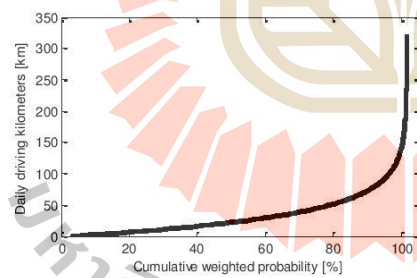


Fig. 5. The cumulative weighted probability of daily driving kilometers

IV.4. State of Charge

The state of charge (SOC) of the battery is equivalent to the energy gauge of battery in EV, which is an

indicator of traveling distance or maximum traveling distance of EVs. The SOC can estimate the energy requirement of the EV battery at FCS. The SOC can be calculated as follows [18],

$$\%SOC = \frac{D_{max} - D_{drive}}{D_{max}} \times 100\% \quad (3)$$

IV.5. Arrival Time at Fast Charging Station

The arrival time of the vehicle at a petroleum fueling station based on real mobility data is shown in [18], [35]. In this paper, the arrival time of EVs at the FCS during a day is given in Fig. 6.

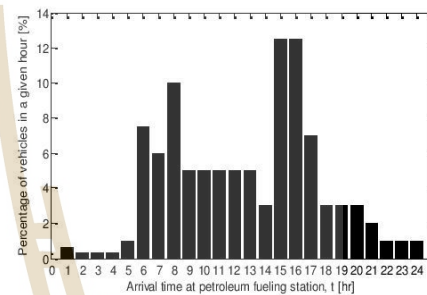


Fig. 6. The arrival time of vehicles at petroleum fueling station [35]

IV.6. Determination of the Number of Fast Charging Station in Area

In the power distribution system, there is a transformer which decreases the primary distribution voltage (Step down) to low-voltage to supply electric energy to the FCS. The basic structure of FCS connected to the power distribution system is shown in Fig. 1. This paper proposes a mathematical equation in order to determine the number of FCSs in an area, which can be calculated from a maximum number of required EVs charging during an hour and a number of EVs that can be charged in an hour at FCS. Mathematically,

$$N_{FCS} = \frac{\max(NEV_i)}{N_{charger} \times N_{service}}, \quad i = 1, 2, \dots, 24 \quad (4)$$

IV.7. Forecasting energy demand of EVs

In this paper, three cases are proposed for a case study. Each case consists of three scenarios without EVs charging, with EVs charging with the rated power of each charger that is 96 kW [21], and EVs charging with the supervision strategy. These cases are as follows,

- Case 1: 5,000 EVs in the area.
- Case 2: 10,000 EVs in the area.

□ Case 3: 15,000 EVs in the area.

The probability of the number of EVs in the area based on the vehicle's sales and people in the area is shown in [22]. In this paper, three cases have been proposed to compare the effect of EVs charging on the power distribution system when a different number of EVs are present in the area.

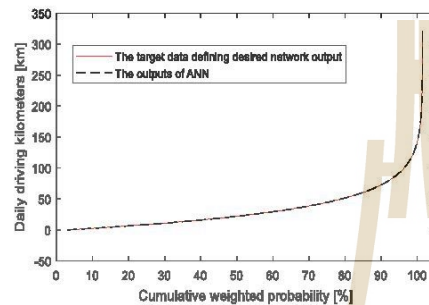


Fig. 7. The comparison between the target data defining the desired network output and the outputs of ANN training

ANN Method with a two-layer feed-forward neural network with hidden sigmoid neurons and linear output neurons has been used to analyze the problem. The Levenberg-Marquardt algorithm trained the network. The input data to represent the network of this paper is the percentage of cumulative weighted probability. The target data, defining desired network output are the daily driving kilometers of the vehicle. The simulation result of the process of training a neural network based on a set of inputs to produce an associated set of target outputs is shown in Fig 7. Once the ANN has fit the data, it forms a generalized relation between input and output, and it can be used to generate outputs for not trained input.

The procedure of operation of this model for three cases is shown in Fig. 8. At first, the data inputs are initialized. After that, the Monte Carlo method is employed to select values of inputs which are the percentage of cumulative weighted probability randomly. The inputs are sent to input nodes of the ANN method. The inputs are used to generate outputs to test the neural network then sent to output nodes. The outputs of the ANN method are the daily distance traveled by EVs. Then, the random determination of the EVs model is carried out by investigating daily distance traveled by EV and the number of kilometers that EV can travel, given by the manufacturers by calculating the SOC of EVs battery. In this paper, it is assumed that if the SOC of EVs is less than 50%, then the EV users will go to FCS. After that, the energy demand of EVs has been calculated by using equation (5), and charging duration depend on the SOC of EV battery. The number of EVs charging at the FCS in each hour was calculated according to the

percentage of vehicles arrival time to petroleum fueling station [35]. After that, the number of FCSs in the area is determined by using equation (4). Then, a bus of the power distribution system has been selected for installation of the FCSs. The bus of the power distribution system was selected by assuming to be an optimal location. The optimal location to install FCSs should have minimum investment cost, the suitable traveling distance between EV users and FCSs, and minimum power loss of the power distribution system with EVs charging [21], [22]. Then, the charging profile of EVs is generated, and the Fuzzy supervisor design methodology in a supervision strategy is applied to reduce the effect on the power distribution system. Finally, the power flow analysis is solved by using MATLAB R2014a programming to investigate the voltage profile and the power losses by using Newton-Raphson power flow method [36].

The energy demand of EV (E_{ev}) at the FCS and time of EV charging (t) can be calculated by

$$E_{ev} = E_{cap} - (E_{cap} \times SOC) \quad (5)$$

$$t_{charging} = \frac{E_{ev}}{P_{ev}} \quad (6)$$

IV.8. Fuzzy supervisor design

The fuzzy supervisor design methodology has seven steps:

1. The system specifications

Objective: reducing peak-load of EVs charging consumption.

Constraint: the battery must reach the full charging status before the next EV come to charge.

Means of action: the power of charging.

In this paper, the objectives, the constraints, and the means of action are considered and implemented within the supervision strategy. The supervision strategy aims to control the power of EVs charging to reduce peak-load of EVs charging consumption and the battery must reach the full charging status before the next EV come to charge.

2. The supervisor structures

The energy demand of EV at a fast charging station (E_{ev}) is the first input. The second one is a number of queues of EVs calculated by statistical methods with a probability forecasted in advance for 20 mins ($N_{traffic}$). The value of the E_{ev} is estimated by integrating the EV power consumption ($P_{charging}$) delivered to the EV ($P_{charging}$ is supervisor output). The supervisor structure is shown in Fig. 9.

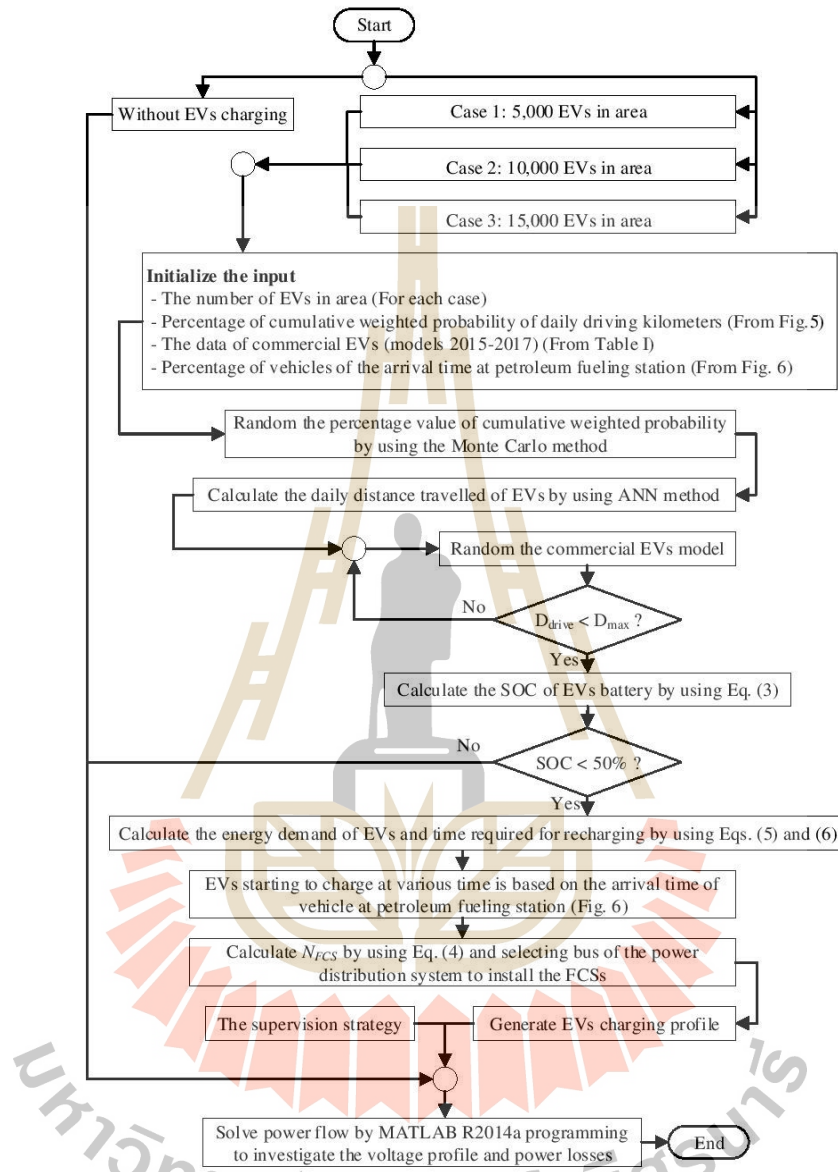


Fig. 8. The procedure of operation of this model for three cases

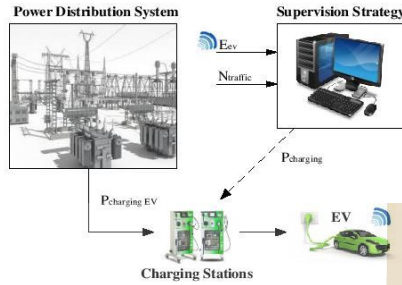


Fig. 9. Structure of the supervision strategy

3. The functional graph

The fuzzy mode component is used to adjust the EV power consumption ($P_{charging}$) delivered to the EV of the supervisor output depending on the energy demand of EV (E_{ev}) and a number of the queue of EVs with a probability forecasted in advance ($N_{traffic}$). The structure of the fuzzy mode system is shown in Fig. 10.



Fig. 10. The fuzzy mode system configuration

4. The membership functions

The inputs of the membership functions ensure the transitions between each output state ($P_{charging}$). Each fuzzy set is used to represent a state of the variable as shown in Fig. 11-13. The energy demand of EV (E_{ev}) can be small, medium, or big.

Similarly, a number of queues of EVs with a probability forecasted in advance ($N_{traffic}$) can be light, medium, or heavy. Moreover, the output of the supervisor ($P_{charging}$) can be small, medium, or big. Gaussian membership functions and triangular membership function are used to represent different fuzzy sets.

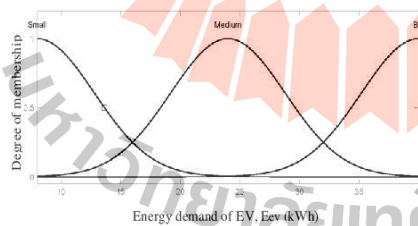


Fig. 11. Characteristic parameters of the membership functions of variables E_{ev}

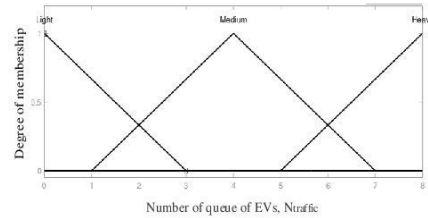


Fig. 12. Characteristic parameters of the membership functions of variables $N_{traffic}$

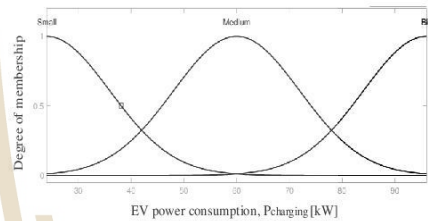


Fig. 13. Characteristic parameters of the membership functions of variables $P_{charging}$

5. The operational graph

The fuzzy sets of input variables determine the operating modes. The operational graph, representation of the fuzzy operating modes is designed by the author in this paper as shown in Fig. 14.

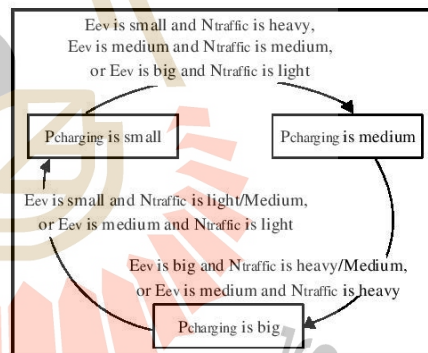


Fig. 14. Operational mode

6. The characteristic fuzzy rules

The transition of the operational graphs (Fig. 14) to the particularly fuzzy rules of the fuzzy supervisor is:

- If E_{ev} is big and $N_{traffic}$ is heavy, then $P_{charging}$ is big.
- If E_{ev} is big and $N_{traffic}$ is medium, then $P_{charging}$ is big.

- If E_{ev} is big and $N_{traffic}$ is light, then $P_{charging}$ is medium.
- If E_{ev} is medium and $N_{traffic}$ is heavy, then $P_{charging}$ is big.
- If E_{ev} is medium and $N_{traffic}$ is medium, then $P_{charging}$ is medium.
- If E_{ev} is medium and $N_{traffic}$ is light, then $P_{charging}$ is small.
- If E_{ev} is small and $N_{traffic}$ is heavy, then $P_{charging}$ is medium.
- If E_{ev} is small and $N_{traffic}$ is medium, then $P_{charging}$ is small.
- If E_{ev} is small and $N_{traffic}$ is light, then $P_{charging}$ is small.

After that the fuzzy rules have been designed, it is possible to assess the outputs of the supervisor. Fig. 15 shows the formation of the characteristic surface of the fuzzy system which has been simulated by the extrapolation system, which requires numerical processing of various operators used by the fuzzy logic. The characteristic surface represents the values assigned to the EV power consumption ($P_{charging}$) of the fuzzy modes.

7. The indicators

From the system specifications, the objective is to reduce power consumption of EV charging ($P_{charging}$). Two indicators make it possible to define the objectives, energy demand of EV at FCS (E_{ev}) and EV battery must reach full charging status before the next EV comes to charge.

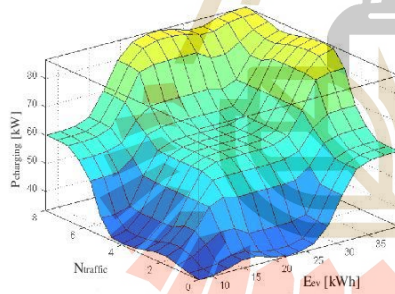


Fig. 15. Characteristic Surface of the Fuzzy System

V. Simulation Results and Discussion

Results are separated into four parts; the first one is the determination of the number of FCSs in the area and the number of EVs charging in a day. The second one shows the load profile of the power distribution system during a day. The third one shows the voltage profile in the power distribution system. The fourth part regards the peak-load

of the power distribution system, the voltage deviation, and the energy loss in the power distribution system.

In the first part, if it is known, a maximum number of required EVs charging at the same time during an hour, the determination of the number of FCS in the area can be calculated from equation (4). The essential data have been defined, the number of chargers in the FCS ($N_{charger}$) have been defined as eight chargers. The number of services of the charger ($N_{service}$) was defined as three times within an hour due to the average time of EV charging less than 20 mins as shown in Table II. The calculated results of a number of FCSs for three cases are shown in Table III. Then, a bus of the power distribution system is selected to install the FCSs.

The number of EVs starting to charge at a various time is based on the arrival time of the vehicle at a petroleum fueling station [35]. The number of EVs starting charging at various time for three cases is shown in Figs. 16-18. Case 1 (5,000 EVs in the area) has 458 EVs charging in a day, case 2 (10,000 EVs in the area) has 898 EVs charging in a day, and case 3 (15,000 EVs in the area) has 1310 EVs charging in a day. Form Figs. 16-18, it is assumed that there is an equal number of EV in each FCS.

TABLE II
ANALYSIS OF TIME OF EV CHARGING FOR THREE CASES

Time of EV charging	Min.	Avg.	Max.
Time of EV charging [mins]	5.10	10.28	21.88
Time of EV charging with the supervision strategy [mins]	8.52	18.94	42.70

TABLE III
THE RESULTS OF A NUMBER OF FCSs FOR THREE CASES

Cases	1	2	3
Number of FCSs	3	5	7
Bus to install the FCSs	2,6,11	2,6,9,11,13	2,4,6,9,10,11,13

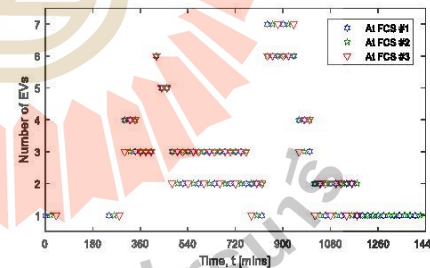


Fig. 16. The number of EVs starting to charge at various time for case 1

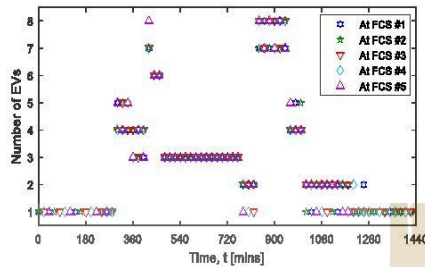


Fig. 17. The number of EVs starting to charge at various time for case 2

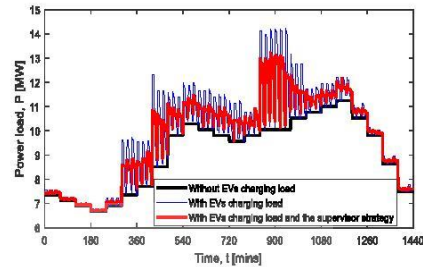


Fig. 20. The load profile of the power distribution system for case 2

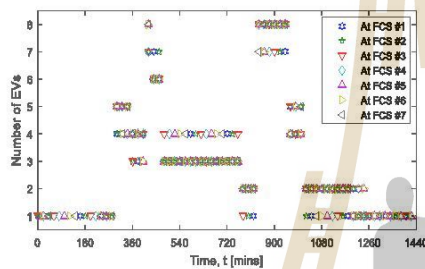


Fig. 18. The number of EVs starting to charge at various time for case 3

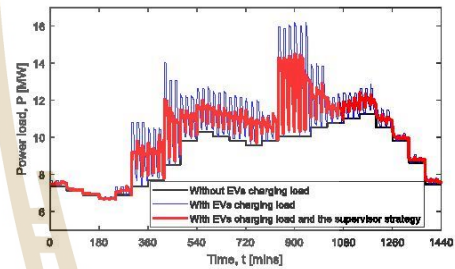


Fig. 21. The load profile of the power distribution system for case 3

In the second part, the SOC of EVs has been considered. In this paper, assumed that if the SOC of EVs is less than 50%, then the EV user will go to the charging station whose charging duration depends on the SOC of EV. The load profile with EVs charging depends on the SOC of EVs, starting time of EVs charging on arrival at FCS, charging period of EVs, the power of charger, and the number of EVs charging in a day. The load profile of the power distribution system for three cases is shown in Figs. 19-21, respectively.

The third part shows the voltage profile in the power distribution system. Fig. 22 shows the voltage profile when the power distribution system is at base load or without EVs charging. The voltage characteristics in the power distribution system are affected by EVs charging. The EVs charging leads to sudden voltage change in the power distribution system as shown in Figs. 23-25 for three cases, respectively. The supervision strategy mitigates the effect of EVs charging on the power distribution system by controlling the power of the charger, the decrease in the voltage fluctuation for the three cases is as shown in Figs. 26-28, respectively.

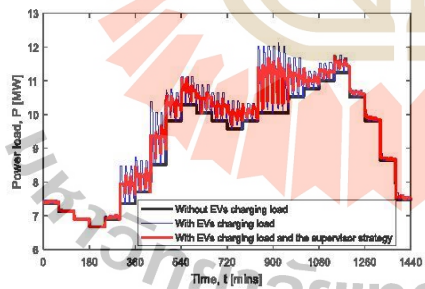


Fig. 19. The load profile of the power distribution system for case 1

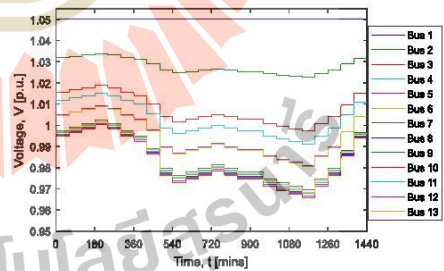


Fig. 22. The voltage profile when the power distribution system is with baseload

N. Chartsuk, B. Marungsri

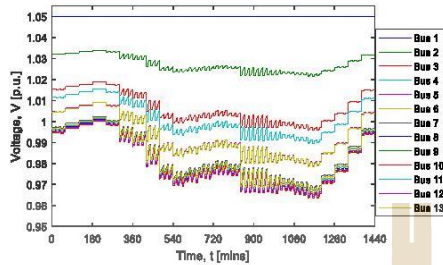


Fig. 23. The voltage profile with EVs charging for case 1

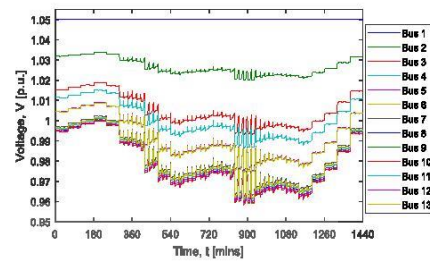


Fig. 27. The voltage profile is with EVs charging and the supervision strategy for case 2

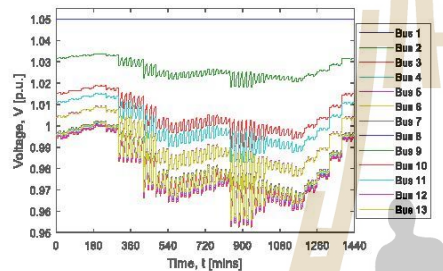


Fig. 24. The voltage profile with EVs charging for case 2

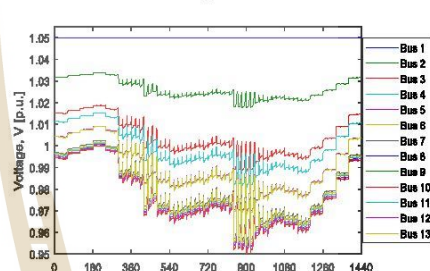


Fig. 28. The voltage profile is with EVs charging and the supervision strategy for case 3

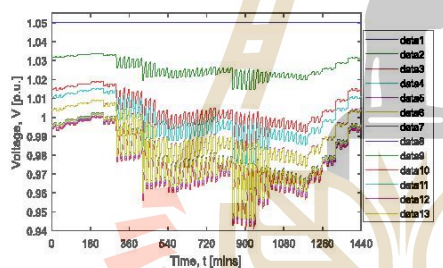


Fig. 25. The voltage profile with EVs charging for case 3

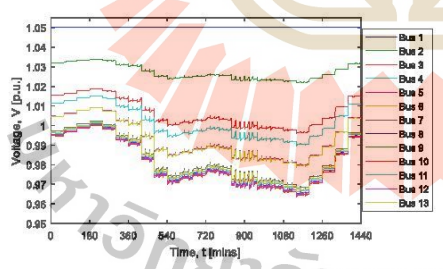


Fig. 26. The voltage profile is with EVs charging and the supervision strategy for case 1

The fourth part discusses regarding the peak-load of the power distribution system, the voltage deviation, and the energy loss in the power distribution system. The simulation results regarding the peak-load of the power distribution system, the voltage deviation, and the energy loss in the power distribution system are summarized in Table IV-VI.

When the power distribution system is with baseload or without EVs charging, the peak-load is 11.25 MW, the voltage deviation is 0.0409, and the energy loss in a day is 11.39 MWh. For case 1, the peak-load of the power distribution system has increased from 11.25 to 12.13 MW as shown in Fig. 19, that is about 7.82% than the base case. The voltage deviation has increased from 0.0409 to 0.0573. The energy loss in a day increased from 11.39 to 12.02 MWh. In case 2, the peak-load of the power distribution system has increased from 11.25 to 14.22 MW as shown in Fig. 20, about 25.16%. The voltage deviation has increased from 0.0409 to 0.0782. The energy loss in a day has increased from 11.39 to 12.88 MWh. In case 3, the peak-load of the power distribution system has raised from 11.25 to 16.22 MW as shown in Fig. 21, which is an increment of about 44.18%. The voltage deviation has increased from 0.0409 to 0.0964. The energy loss in a day has increased from 11.39 to 13.70 MWh.

The supervision strategy mitigates the effect of EVs charging on the power distribution system by controlling the power of the charger. For case 1, the peak-load of the power distribution system has decreased from 12.13 to 11.73 MW as shown in Fig. 19, i.e., that represents a decrease of about 3.30%. The voltage deviation has decreased from 0.0573 to 0.0569. The energy loss in a day has decreased from 12.02 to 11.99 MWh. In case 2, the peak-load of the power distribution system has decreased from 14.22 to 13.21 MW as shown in Fig. 20, about 7.10%. The voltage deviation has decreased from 0.0782 to 0.0771. The energy loss in a day has decreased from 12.88 to 12.80 MWh. In case 3, the peak-load of the power distribution system has decreased from 16.22 to 14.48 MW as shown in Fig. 21, about 10.73%. The voltage deviation has decreased from 0.0964 to 0.0948. The energy loss in a day has decreased from 13.70 to 13.55 MWh. The disadvantage of the supervision strategy is that the time of EV charging increases about almost two times because the time of EV charging depends on the SOC of EV or the energy demand of EV, and power of charger as shown in Table II.

TABLE IV
THE PEAK LOAD OF THE POWER DISTRIBUTION SYSTEM FOR THREE CASES

The peak-load	1	2	3
Peak-load without EVs charging [MW]	11.25	11.25	11.25
Peak-load with EVs charging [MW]	12.13	14.22	16.22
Peak-load with EVs charging and the supervision strategy [MW]	11.73	13.21	14.48

TABLE V
THE VOLTAGE DEVIATION IN THE POWER DISTRIBUTION SYSTEM FOR THREE CASES

The voltage deviation	1	2	3
The voltage deviation without EVs charging	0.0409	0.0409	0.0409
The voltage deviation with EVs charging	0.0573	0.0782	0.0964
The voltage deviation with EVs charging and the supervision strategy	0.0569	0.0771	0.0948

TABLE VI
THE ENERGY LOSS IN THE POWER DISTRIBUTION SYSTEM FOR THREE CASES

The energy loss	1	2	3
Energy loss without EVs charging [MWh]	11.39	11.39	11.39
Energy loss with EVs charging [MWh]	12.02	12.88	13.70
Energy loss with EVs charging and the supervision strategy [MWh]	11.99	12.80	13.55

VI. Conclusion

In this paper, an approach to forecast characteristic of power consumption due to EVs charging has been studied by using Monte Carlo and Artificial Neural Network (ANN) method considering the traveling distance of EV users, the SOC of the battery, and the arrival time of EVs at FCS. In this paper, three cases have been considered to compare the effects of EVs charging on the power distribution system when a different number of EVs are present in the area. For the three cases, the characteristic of power consumption of EVs with different energy demand level has been studied. The simulation result about the effect of EVs charging on power distribution systems shows that the EVs charging increases the load demand of the power distribution system. The consequence effects for three cases are an increase in peak-load of the power distribution system, voltage deviation, and the energy loss in the power distribution system in a day. The determination of the number of FCS in the area needs to know the maximum number of EVs which requires charging at the same time for an hour. The supervision strategy to mitigate the effect of EVs charging on power distribution system for three cases has also been analyzed. The simulation results to mitigate the effect of EVs charging on power distribution systems for three cases show that the supervision strategy can decrease the peak-load demand of power distribution system. Also, it can decrease the voltage deviation, and the energy loss in the power distribution system in a day. The disadvantage of the supervision strategy is that the time of EV charging increases by almost the double.

Acknowledgments

This work has been supported by the Suranaree University of Technology.

References

- [1] D. Aguirre, J.R. Garcia, O. Duarte, Market Penetration Analysis of Electric and CNG Technologies in Colombian Freight Transportation, *International Journal on Energy Conversion (IRECON)*, vol. 6 n. 2, June 2018, pp. 44 – 55. <https://doi.org/10.15866/irecon.v6i2.15091>
- [2] F. Faisal, An Analysis of Electric Vehicle Trends in Developed Nations: A Sustainable Solution for India, *The Journal of Undergraduate Research at the University of Illinois at Chicago*, vol. 10 n. 1, January 2017, pp. 1 – 8. <https://doi.org/10.5210/jur.v10i1.8014>
- [3] InsideEVs (Internet), Welcome to 2009, SAE officially approves new fast charging combo: coupler standard (SAE J1772) for plug-in EVs, cited 2018 June 30, Available from: <https://insideevs.com/welcome-to-2009-sae-releases-new-fast-charging-combo-coupler-standard-sae-j1772-for-plug-in-evs/>
- [4] D. Meyer, J. Wang, Integrating ultra-fast charging stations within the power grids of smart cities: A review, *IET Smart Grid*, vol. 1 n. 1, March 2018, pp. 3 – 10. <https://doi.org/10.1049/iet-stg.2018.0006>
- [5] D. Christen, F. Jauch, J. Biel, Ultra-fast charging station for electric vehicles with integrated split grid storage, *European*

- Conference on Power Electronics and Applications (EPE15 ECCE-Europe), September 8-10, 2015, Geneva, Switzerland.
<https://doi.org/10.1109/epe.2015.7309322>
- [6] P. Chlebis, M. Tvrdoň, K. Baresova, A. Havel, The System of Fast Charging Station for Electric Vehicles with Minimal Impact on the Electrical Grid, *Advances in Electrical and Electronic Engineering*, vol. 14 n. 2, June 2016, pp. 89 – 94.
<https://doi.org/10.15598/aee.v14i2.1318>
- [7] C. Weiller, Plug-in hybrid electric vehicle impacts on hourly electricity demand in the United State, *Energy Policy*, vol. 39 n. 6, June 2011, pp. 3766 – 3778.
<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.04.005>
- [8] R.L. Gonçalves, J.T. Saraiva, J.C. Sousa, V.T. Mendes, Impact of Electric Vehicles on the electricity prices and on the load curves of the Iberian Electricity Market, *International Conference on the European Energy Market (EEM)*, May 27-31, 2013, Stockholm, Sweden.
<https://doi.org/10.1109/EEM.2013.6607279>
- [9] J. Liu, Electric vehicle charging infrastructure assignment and power grid impacts assessment in Beijing, *Energy Policy*, vol. 51, December 2012, pp. 544 – 557.
<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.08.074>
- [10] E. Akhavan-Rezaei, M.F. Shaaban, E.F. El-Saadany, A. Zidan, Uncoordinated charging impacts of electric vehicles on electric distribution grids: Normal and fast charging comparison, *IEEE Power and Energy Society General Meeting*, July 22-26, 2005, San Diego, USA.
<https://doi.org/10.1109/pesgm.2012.6345583>
- [11] H.L. Li, X.M. Bai, W. Tan, Impacts of plug-in hybrid electric vehicles charging on distribution grid and smart charging, *IEEE International Conference on Power System Technology (POWERCON)*, January 7, 2012, Auckland, New Zealand.
<https://doi.org/10.1109/PowerCon.2012.6401265>
- [12] L.P. Fernandez, T.G.S. Roman, R. Cossent, C.M. Domingo, P. Frias, Assessment of the Impact of Plug-in Electric Vehicles on Distribution Networks, *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 26 n. 1, February 2011, pp. 206 – 213.
<https://doi.org/10.1109/TPWRS.2010.2049133>
- [13] C. H. Dharmakeerthi, N. Mithulananthan, T. K. Saha, Overview of the impacts of plug-in electric vehicles on the power grid, *IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies*, November 13-16, 2011, Perth, WA, Australia.
<https://doi.org/10.1109/isgt-asia.2011.6167115>
- [14] A. G. Neagoe-itefana, A. C. Neagoe, Al. C. Mandis, Impact of Charging Electric Vehicles in Residential Grid on the Power Losses and Voltage Plan, *International Symposium on Fundamentals of Electrical Engineering (ISFEE)*, November 28-29, 2014, Bucharest, Romania.
<https://doi.org/10.1109/isfee.2014.7050603>
- [15] S. Deb, K. Tammi, K. Kalita, P. Mahanta, Impact of Electric Vehicle Charging Station Load on Distribution Network, *Energies*, vol. 11 n. 1, December 2017, pp. 1 – 25.
<https://doi.org/10.3390/en11010178>
- [16] S. Deb, K. Tammi, K. Kalita, P. Mahanta, Impact of Electric Vehicle Charging Station Load on Distribution Network, *Energies*, vol. 11 n. 1, January 2018, pp. 1 – 25.
<https://doi.org/10.3390/en11010178>
- [17] X. Dong, K. Yuan, Y. Song, Y. Mu, H. Jia, A Load Forecast Method for Fast Charging Stations of Electric Vehicles on the freeway considering the information interaction, *Energy Procedia*, vol. 142, August 2017, pp. 2171-2176.
<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.12.584>
- [18] P. Sadeghi-Barzani, A. Rajabi-Ghahnavieh, H. Kazemi-Karegar, Optimal fast charging station placing and sizing, *Applied Energy*, vol. 125 n. 1, April 2014, pp. 289 – 299.
<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.03.077>
- [19] S. Tellez, W. Villamil, J.R. Garcia, Electric Vehicle Charging Impacts by Increasing Demand and Varying Customer Charging Behaviors, *International Review of Electrical Engineering (IREE)*, vol. 11 n. 2, April 2016, pp. 142 – 150.
<https://doi.org/10.15866/iree.v11i2.8311>
- [20] F.H. Malik, M. Lehtonen, E. Saarijärvi, A. Safdarian, A Feasibility Study of Fast Charging Infrastructure for EVs on Highways, *International Review of Electrical Engineering (IREE)*, vol. 9 n. 2, April 2014, pp. 341-350.
- [21] M.M. Islam, H. Shareef, A. Mohamed, Optimal siting and sizing of rapid charging station for electric vehicles considering Bangi city road network in Malaysia, *Turkish Journal Of Electrical Engineering & Computer Sciences*, vol. 24 n. 1, June 2016, pp. 3933 – 3948.
<https://doi.org/10.3906/elk-1412-136>
- [22] H. Chen, Z. Hu, H. Zhang, H. Luo, Coordinated charging and discharging strategies for plug-in electric bus fast charging station with energy storage system, *IET Generation, Transmission & Distribution*, vol. 12 n. 9, January 2018, pp. 2019 – 2028.
<https://doi.org/10.1049/iet-gtd.2017.0636>
- [23] T. Dragicovic, S. Susic, J.C. Vasquez, J.M. Guerrero, Flywheel-Based Distributed Bus Signalling Strategy for the Public Fast Charging Station, *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 5 n. 6, November 2014, pp. 2825 – 2835.
<https://doi.org/10.1109/tsg.2014.2325963>
- [24] K. Chaudhari, A. Ukil, K.N. Kumar, U. Manandhar, S.K. Kollimalla, Hybrid Optimization for Economic Deployment of ESS in PV-Integrated EV Charging Stations, *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 14 n. 1, January 2018, pp. 106 – 116.
<https://doi.org/10.1109/tii.2017.2713481>
- [25] S. Vidyasagar, K. Vijayakumar, D. Sattianadan, S. George Fernandez, Optimal Placement of DG Based On Voltage Stability Index and Voltage Deviation Index, *Indian Journal of Science and Technology*, vol. 9 n. 38, October 2016, pp. 1 – 9.
<https://doi.org/10.17485/ijst/2016/v9i38/101930>
- [26] A. Hassoun, M. Khafallah, A. Mesbahi, L. Benaouinate, T. Bouragba, Control Strategies of a Smart Topology of EVs Charging Station Based Grid Tied RES-Battery, *International Review of Electrical Engineering (IREE)*, vol. 13 n. 5, October 2018.
- [27] D. Pattaphongse, *Monte Carlo Simulation Technique* (National University, 2015).
- [28] K. Kandanandon, Forecasting Electricity Demand in Thailand with an Artificial Neural Network Approach, *Energies*, vol. 4 n. 8, August 2011, pp. 1246 – 1257.
<https://doi.org/10.3390/en4081246>
- [29] B. Robyns, Ch. Saudeumont, D. Hissel, X. Roboam, B. Sareni, J. Pouget, *Electrical Energy Storage in Transportation Systems* (John Wiley & Sons, Inc., 2016).
- [30] M. Afzalan, M.A. taghikhani, DG Placement and Sizing in Radial Distribution Network Using PSO&HBMO Algorithms, *Energy and Power*, vol. 2 n. 4, August 2006, pp. 61 – 66.
<https://doi.org/10.5923/j.ep.20120204.04>
- [31] M. Gjelaj, C. Trachoit, S. Hashemi, P.B. Andersen, Optimal design of DC fast-charging stations for EVs in low voltage grids, *IEEE Transportation Electrification Conference and Expo (ITEC)*, June 22-24, 2017, Chicago, USA.
<https://doi.org/10.1109/itec.2017.7993352>
- [32] Y. H. Febriwijaya, A. Purwadi, A. Rizqiawan, N. Heryana, A study on the impacts of DC Fast Charging Stations on power distribution system, *International Conference on Electrical Engineering and Computer Science (ICEECS)*, November 24-25, 2014, Bali, Indonesia.
<https://doi.org/10.1109/iceecs.2014.7045233>
- [33] S. Negarestani, M. Fotuhi-Firuzabad, M. Rastegar, A. Rajabi-Ghahnavieh, Optimal Sizing of Storage System in a Fast Charging Station for Plug-in Hybrid Electric Vehicles, *IEEE Transactions on Transportation Electrification*, vol. 2 n. 4, December 2016, pp. 443 – 453.
<https://doi.org/10.1109/tte.2016.2559165>
- [34] B. Pea-Da, S. Dechantapaprittha, Impact analysis of fast charging to voltage profile in PEA distribution system by Monte Carlo simulation, *International Conference on Information Technology and Electrical Engineering (ICITEE)*, June 15-18, 2015, Chiang Mai, Thailand.
<https://doi.org/10.1109/icitee.2015.7408942>

N. Chartsuk, B. Marungsri

- [35] K. J. Yunus, Distribution Grid Impact of Plug-In Electric Vehicles Charging at Fast Charging Stations Using Stochastic Charging Model, *The 14th European Conference on Power Electronics and Applications*, September 1, 2011, Birmingham, UK.
- [36] H. Saadat, *Power System Analysis* (The McGraw-Hill Companies, Inc., 1999).

Authors' information

¹ Suranaree University of Technology, 111 University Avenue, Muang District, Nakhon Ratchasima, 30000, Thailand

^{*} Corresponding Author Email: bmsvvee@sut.ac.th



N. Chartsuk was born in Roi Et province, in 1995. He received his B. Eng. in Electrical Engineering from the Suranaree University of Technology at Nakhon Ratchasima in 2016. Currently, he is a Master's Degree student in the school of Electrical Engineering at Suranaree University of Technology, Thailand. E-mail: pao_nuttapol@hotmail.com



B. Marungsri was born in Nakhon Ratchasima Province, Thailand, in 1973. He received his B. Eng. and M. Eng. From Chulalongkorn University, Thailand in 1996 and 1999 and D. Eng. from Chubu University, Kasugai, Aichi, Japan in 2006, all in electrical engineering, respectively. Dr. Marungsri is currently an assistant professor in School of Electrical Engineering, Suranaree University of Technology, Thailand. His areas of interest are high voltage insulation technologies and electrical power system.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ประวัติผู้เขียน

นายณัฐพล ชาติสุข เกิดเมื่อวันที่ 13 มีนาคม พ.ศ. 2538 เกิดที่อำเภอเชียงขวัญ จังหวัดร้อยเอ็ด สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต เกียรตินิยมอันดับสอง (วิศวกรรมไฟฟ้า) จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เมื่อปี พ.ศ. 2559 และในปีเดียวกันได้เข้าศึกษาต่อระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในขณะที่เรียนได้มีโอกาสเป็นผู้ช่วยสอนในรายวิชาปฏิบัติการของสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ได้แก่ ปฏิบัติการวิศวกรรมไฟฟ้ามูลฐาน ปฏิบัติการกรรมวิธีเชิงตัวเลข ปฏิบัติการเขียนโปรแกรม MATLAB สำหรับวิศวกรรมไฟฟ้า และปฏิบัติการเครื่องจักรกลไฟฟ้า สำหรับนักศึกษาระดับปริญญาตรี และมีผลงานทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในขณะศึกษาดังแสดงในภาคผนวก ค ทั้งนี้ผู้วิจัยมีความสนใจทางด้านระบบไฟฟ้ากำลัง ระบบไฟฟ้าควบคุมและวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี