



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)
ปริญญา

วิศวกรรมไฟฟ้า	วิศวกรรมไฟฟ้า
สาขา	ภาควิชา
เรื่อง	การจัดรูปแบบการชาร์จที่เหมาะสมของรถยนต์ไฟฟ้าประเภทที่อยู่อาศัย ของระบบจำหน่าย Optimizing Electric Vehicle's Charging Scheduling in Residential Area of Distribution Systems
นามผู้วิจัย	นางสาวธิดา สามศรี
ได้พิจารณาเห็นชอบโดย	
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	(รongศาสตราจารย์เอกชัย ไพบาลกิตติสกุล, Ph.D.)
หัวหน้าภาควิชา	(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วัชรระ จงบุรี, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รongศาสตราจารย์กัญญา วีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การจัดรูปแบบการชาร์จที่เหมาะสมของรถยนต์ไฟฟ้า
ประเภทที่อยู่อาศัยของระบบจำหน่าย

Optimizing Electric Vehicle's Charging Scheduling
in Residential Area of Distribution Systems

โดย

นางสาวชिरดา สามศรี

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)

พ.ศ. 2557

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ชิตดา สามศรี 2557: การจัดรูปแบบการชาร์จที่เหมาะสมของรถยนต์ไฟฟ้าประเภทที่อยู่อาศัยของระบบจำหน่าย ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า) สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์เอกชัย ไพบาลกิตติสกุล, Ph.D. 72 หน้า

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอวิธีการจัดการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่สามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ไฟ โดยที่ยังคงสามารถรักษาเสถียรภาพของระบบการจ่ายไฟให้เป็นไปตามมาตรฐาน ทั้งยังช่วยปรับปรุงรูปแบบการใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยการใช้ประโยชน์จากข้อดีของรถยนต์ไฟฟ้าที่ไม่จำเป็นต้องได้รับบริการอย่างทันทีทันใด อีกทั้งยังรองรับเทคโนโลยีด้านการสื่อสารที่ทันสมัย ซึ่งทำให้ผู้ดูแลระบบสามารถควบคุมพฤติกรรมการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าเพื่อป้องกันเหตุการณ์ที่ทำให้ระบบสูญเสียเสถียรภาพได้ โดยฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่นำเสนอมีการพิจารณาเวลาที่รถยนต์ไฟฟ้ารอคอยเพื่อเข้าชาร์จ เวลาสิ้นสุดในการชาร์จ รวมถึงประยุกต์ใช้วิธีการจัดการการชาร์จตามเวลาจริงร่วมด้วย และเนื่องจากพฤติกรรมการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้ามีความไม่แน่นอนขึ้นกับพฤติกรรมการใช้งานของแต่ละบุคคล วิทยานิพนธ์นี้ใช้ข้อมูลการเดินทางของ NHTS 2009 ร่วมกับข้อมูลการจำหน่ายรถยนต์ไฟฟ้าในปัจจุบัน เพื่อวิเคราะห์พฤติกรรมการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้า ได้แก่ ขนาดของแบตเตอรี่ สถานะของแบตเตอรี่คงเหลือ รวมถึงเวลาในการเข้าชาร์จเมื่อกลับถึงบ้าน โดยทำการทดสอบบนระบบ IEEE 69 บัส และประยุกต์ใช้บนระบบจำหน่ายวงจรที่ 5 สถานีไฟฟ้าห้วยหิน 3 ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยทำการจำลองการทำงานของวิธีการชาร์จและคำนวณค่าการไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบด้วยโปรแกรม MATLAB

ผลการทดลองแสดงให้เห็นถึงความสามารถของวิธีการจัดการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่นำเสนอ ด้านการรักษาระดับพลังงานไฟฟ้าสูงสุดที่ระบบใช้งานได้ ขยายระยะเวลาในการปรับปรุงระบบเพื่อรองรับการเชื่อมต่อของรถยนต์ไฟฟ้าในอนาคต และยังจัดสรรพลังงานในกรณีที่กำลังไฟฟ้าในระบบไม่เพียงพอได้อย่างมีประสิทธิภาพด้วย ผลการทดลองที่ได้ยังแสดงให้เห็นว่าวิธีการที่นำเสนอสามารถปรับปรุงรูปแบบการใช้พลังงานของระบบในส่วนของอัตราพลังงานสูงสุดต่อพลังงานเฉลี่ย ค่าองค์ประกอบการใช้ไฟฟ้า อีกทั้งยังสามารถชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าให้ได้อัตราเฉลี่ยของระดับค่าพลังงานสะสมคงเหลือที่เพียงพอกับการใช้งานในวันถัดไปได้อีกด้วย

ลายมือชื่อนิติสด

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Tirada Samsri 2014: Optimizing Electric Vehicle's Charging Scheduling in Residential Area of Distribution Systems. Master of Engineering (Electrical Engineering), Major Field: Electrical Engineering, Department of Electrical Engineering. Thesis Advisor: Associate Professor Ekachai Phaisangittisagul, Ph.D. 72 pages.

This thesis presents a Plug-in Electric Vehicles (PEVs) charging scheduling method that can meet the requirements of customer and still maintain the stability of the power distribution system. The proposed method also helps to improve the energy efficiency. The proposed method is considered the waiting time to charge, deadline and also applied with the real-time system. This allows the administrator to control the charging behavior of electric vehicle for protecting instability. According to the charging behavior is uncertain, depending on the individual usage, this thesis use the data of NHTS 2009 with the commercial data to analyze the electric vehicles model in the system such as the battery size, the percentage of the energy left in a battery, the time of arrival home to start charging. The proposed method is tested on IEEE 69 bus system and applied to the 5th feeder of the Hua-Hin 3 substation which is the distribution system of the Provincial Electricity Authority (PEA). The simulations of PEVs charging scheduling and the calculation of the power flow in the system are performed by MATLAB.

The experimental results demonstrate the ability of the proposed PEVs charging scheduling to maintain the maximum power of the system, extended time to improve the distribution system to be able to connect the PEVs in the future. The proposed scheduling method is also able to allocate the PEVs charging power even though the system occurs the insufficient power problem. The results show that the proposed method is able to improve the energy efficiency of the system in terms of peak to average ratio (PAR), load factor and the sufficient average plug-out SOC.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

___/___/___

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. เอกชัย ไพบูลย์กิตติสกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ที่กรุณาให้คำปรึกษาในการเรียน การค้นคว้าวิจัย แนะนำ ช่วยเหลือ ตลอดช่วงระยะเวลาการศึกษา ตลอดจนการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนกระทั่งเสร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการนำไปใช้ในอนาคตต่อไป ขอขอบคุณการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ที่ให้การสนับสนุนทุนการศึกษา ตลอดจนเจ้าหน้าที่ผู้ประสานงาน พี่ๆ และเพื่อนๆ ในโครงการความร่วมมือทางวิชาการระหว่างการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคและมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือ และให้คำแนะนำมาโดยตลอดจนสำเร็จการศึกษา

คุณค่าและประโยชน์อันใดที่ได้รับจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอมอบแต่บิดา มารดา และครอบครัวที่เป็นกำลังใจ คอยอบรมสั่งสอน ให้ความรัก ความหวังใจ และให้การสนับสนุนผู้วิจัยในทุกๆ ด้านเป็นอย่างยิ่ง

ธีรดา สามศรี
พฤศจิกายน 2557

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	21
อุปกรณ์	21
วิธีการ	21
ผลและวิจารณ์	43
ผล	43
วิจารณ์	66
สรุปและข้อเสนอแนะ	67
สรุป	67
ข้อเสนอแนะ	68
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	69
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	72

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของรถยนต์ไฟฟ้าประเภทต่างๆ	6
2	จำนวนผู้ใช้ไฟในแต่ละวงจรของสถานีไฟฟ้าหัวหิน 3	25
3	ตัวแปรของระบบทดสอบ IEEE 69 บัส ก่อนมีรถยนต์ไฟฟ้าเข้าชาร์จ	44
4	ตัวแปรของระบบจำหน่ายของ กฟภ. ก่อนมีรถยนต์ไฟฟ้าเข้าชาร์จ	44
5	ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ใช้ในงานวิจัย	55
6	เปรียบเทียบผลการทดลอง กรณีรถยนต์ไฟฟ้าเข้าเชื่อมต่อจำนวน 100 คัน	57
7	เปรียบเทียบผลการทดลอง กรณีรถยนต์ไฟฟ้าเข้าเชื่อมต่อจำนวน 300 คัน	58
8	เปรียบเทียบผลการทดลอง กรณีรถยนต์ไฟฟ้าเข้าเชื่อมต่อจำนวน 500 คัน	59
9	เปรียบเทียบผลการทดลอง กรณีรถยนต์ไฟฟ้าเข้าเชื่อมต่อจำนวน 100 คัน	60
10	เปรียบเทียบผลการทดลอง กรณีรถยนต์ไฟฟ้าเข้าเชื่อมต่อจำนวน 300 คัน	61
11	เปรียบเทียบผลการทดลอง กรณีรถยนต์ไฟฟ้าเข้าเชื่อมต่อจำนวน 500 คัน	62
12	ผลการทดลองกรณีรถยนต์ไฟฟ้าเข้าเชื่อมต่อที่ระบบทดสอบ IEEE 69 บัส จำนวน 300 คัน (วันทำงาน)	64
13	ผลการทดลองกรณีรถยนต์ไฟฟ้าเข้าเชื่อมต่อที่วงจร 5 สฟฟ.หัวหิน 3 จำนวน 300 คัน (วันหยุด)	64

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 พยากรณ์การจำหน่ายรถยนต์ขนาดเล็ก (LDV) ตามประเภทเชื้อเพลิง	7
2 โหมคการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าตามมาตรฐาน IEC 61851-1	8
3 โหมคการชาร์จที่ระดับต่างๆ และสัดส่วนรูปแบบการชาร์จที่คาดว่าจะใช้งานจริง	10
4 แบบจำลองการเชื่อมต่อระบบทดสอบ IEEE 69 บัส	22
5 รูปแบบการใช้กำลังไฟฟ้าที่บัสต่างๆ	23
6 ลักษณะการจ่ายไฟของวงจรที่ 5 สถานีไฟฟ้าหัวหิน 3	24
7 แบบจำลองระบบจำหน่ายวงจรที่ 5 สถานีไฟฟ้าหัวหิน 3	25
8 ข้อมูลโหลดรายวันของผู้ใช้ไฟประเภทที่อยู่อาศัย ในวันทำงานและวันหยุด	26
9 โหลดประเภทที่อยู่อาศัย วงจรที่ 5 สถานีไฟฟ้าหัวหิน 3 วันทำงานและวันหยุด	27
10 ความน่าจะเป็นในการกลับถึงบ้าน (วันทำงาน) จากข้อมูลสถิติ NHTS 2009	30
11 ความน่าจะเป็นในการกลับถึงบ้าน (วันหยุด) จากข้อมูลสถิติ NHTS 2009	30
12 แผนผังแสดงขั้นตอนการทำงานของวิธีการจัดการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่นำเสนอ วิธีที่ 1	34
13 แผนผังแสดงขั้นตอนการทำงานของวิธีการจัดการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่นำเสนอ วิธีที่ 2	39
14 ลักษณะการใช้ไฟฟ้าวันทำงาน เมื่อมีรถยนต์ไฟฟ้าเชื่อมต่อโดยไม่มีการจัดการชาร์จ	45
15 ลักษณะการใช้ไฟฟ้าวันหยุด เมื่อมีรถยนต์ไฟฟ้าเชื่อมต่อโดยไม่มีการจัดการชาร์จ	45
16 ลักษณะการใช้ไฟฟ้าวันทำงาน เมื่อมีรถยนต์ไฟฟ้าเชื่อมต่อโดยไม่มีการจัดการชาร์จ	46
17 ลักษณะการใช้ไฟฟ้าวันหยุด เมื่อมีรถยนต์ไฟฟ้าเชื่อมต่อโดยไม่มีการจัดการชาร์จ	47
18 ลักษณะการใช้ไฟฟ้าของระบบทดสอบ IEEE 69 บัส เมื่อมีและไม่มีวิธีการจัดการชาร์จกรณีมีรถยนต์ไฟฟ้าเข้าเชื่อมต่อจำนวน 500 คันในวันทำงาน	49
19 ลักษณะการใช้ไฟฟ้าของระบบทดสอบ IEEE 69 บัส เมื่อมีและไม่มีวิธีการจัดการชาร์จกรณีมีรถยนต์ไฟฟ้าเข้าเชื่อมต่อจำนวน 500 คันในวันหยุด	49
20 รูปแบบการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า 500 คัน ที่ไม่มีการจัดการชาร์จ	50
21 รูปแบบการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า 500 คัน ที่จัดการชาร์จด้วยวิธีการที่นำเสนอ	51
22 รูปแบบการใช้กำลังไฟฟ้าในวันทำงาน ของวงจร 5 สฟฟ.หัวหิน 3 เปรียบเทียบกรณีที่มีและไม่มีการจัดการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า	53
23 รูปแบบการใช้กำลังไฟฟ้าในวันหยุด ของวงจร 5 สฟฟ.หัวหิน 3 เปรียบเทียบกรณีที่มีและไม่มีการจัดการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า	53

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

กฟภ.	=	การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค
A	=	ampere
CPP	=	critical peak pricing
EVSE	=	electric vehicle service equipment
HEV	=	hybrid electric vehicle
HRTS	=	hard real-time system
LDV	=	light duty vehicle
LF	=	load factor
LP	=	linear programming
MVA	=	megavolt-ampere, rating of transformer capacity
NHTS	=	National Household Travel Survey
PAR	=	peak-to-average ratio
PEV	=	plug-in electric vehicle
PHEV	=	plug-in hybrid electric vehicle
SOC	=	state of charge
SRTS	=	soft real-time system
TOU	=	time of use
V	=	volt
V2G	=	vehicle-to-grid
W	=	watt
WCET	=	worst case execution time

การจัดรูปแบบการชาร์จที่เหมาะสมของรถยนต์ไฟฟ้า ประเภทที่อยู่อาศัยของระบบจำหน่าย

Optimizing Electric Vehicle's Charging Scheduling in Residential Area of Distribution Systems

คำนำ

จากวิกฤติการณ์ด้านพลังงานและปัญหาสิ่งแวดล้อมที่ทวีความรุนแรงเพิ่มมากขึ้นในปัจจุบัน ส่งผลให้ทั่วโลกพยายามที่จะลดการใช้พลังงานจากแหล่งพลังงานที่ใช้แล้วหมดไป และหันมาใช้พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากแหล่งพลังงานทดแทน (Renewable Energy) ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานทางเลือกที่ยั่งยืน ประเทศไทยก็เป็นประเทศหนึ่งที่มีนโยบายส่งเสริมด้านการพัฒนาแหล่งพลังงานทดแทนในประเทศให้มีกำลังการผลิตเพิ่มมากขึ้น การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) ซึ่งถือเป็นหนึ่งในองค์กรหลักที่ให้บริการด้านพลังงานไฟฟ้าของประเทศ จึงมีการพัฒนาระบบจำหน่ายไฟฟ้าจากเดิมให้เป็นระบบโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะ (Smart Grid) เพื่อรองรับการเชื่อมต่อของแหล่งผลิตไฟฟ้าจากแหล่งผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ ระบบโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะยังมีการวางโครงสร้างพื้นฐานเพื่อรองรับอุปกรณ์ไฟฟ้าอัจฉริยะ (Smart Device) ที่จะเข้ามาเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าในอนาคต

รถยนต์ไฟฟ้า (Plug-in Electric Vehicles, PEVs) ถือเป็นหนึ่งในอุปกรณ์ไฟฟ้าอัจฉริยะที่คาดว่าจะเข้ามาเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าในอนาคต และด้วยข้อได้เปรียบด้านประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่ดีกว่ารถเครื่องยนต์สันดาปภายในถึง 3 เท่า ทั้งยังช่วยลดการปล่อยมลพิษทางอากาศในภาคขนส่งได้ จึงทำให้รถยนต์ไฟฟ้า ถูกคาดการณ์ว่าจะมีการใช้งานเพิ่มขึ้นอย่างมากในอนาคต แต่เมื่อมองในมุมมองของผู้ให้บริการพลังงานไฟฟ้า (Utility) การเพิ่มขึ้นของรถยนต์ไฟฟ้า หมายถึงปริมาณของกลุ่มโหลดจำนวนมากที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ และหากมีการเชื่อมต่อเข้ากับระบบพร้อมกันโดยไม่มีการจัดการควบคุมที่เหมาะสม จะทำให้ระบบเกิดปัญหาทั้งด้านแรงดันไฟฟ้าตก การใช้หม้อแปลงไฟฟ้าเกินพิกัดกำลัง การจ่ายโหลดเกินของสายไฟแรงต่ำโดยเฉพาะช่วงเวลาที่มีการใช้โหลดสูงสุด ปัญหากำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เพิ่มขึ้น รวมไปถึงปัญหาแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล โดยเฉพาะอย่างยิ่ง หากโหลดรถยนต์ไฟฟ้าจำนวนมากเพิ่มเข้ามาในระบบในช่วงเวลาเดียวกับที่ระบบมีความต้องการกำลังไฟฟ้าสูง (Peak Load) ก็จะทำให้ปัญหาที่กล่าวมาข้างต้นทวีความ

รุนแรงมากขึ้น หากกำลังไฟฟ้าในระบบมีไม่เพียงพอ อาจส่งผลให้เกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับเป็นบริเวณกว้าง (Blackout) ได้ ข้อดีของโหลดประเภทรถยนต์ไฟฟ้าที่แตกต่างจากอุปกรณ์ไฟฟ้าโดยทั่วไปในระบบ คือมีการติดตั้งระบบติดต่อสื่อสารที่ทันสมัย รวมทั้งมีแบตเตอรี่คุณภาพสูงเป็นส่วนประกอบหลัก ดังนั้นผู้ให้บริการพลังงานไฟฟ้าจึงสามารถควบคุมการใช้พลังงานของรถยนต์ไฟฟ้าได้ โดยแทบจะไม่ส่งผลกระทบต่อการใช้ชีวิตประจำวันของผู้ใช้ไฟ

เพื่อให้การจัดการการชาร์จมีประสิทธิภาพเพียงพอที่จะสามารถตอบสนองต่อความต้องการของทั้งผู้ใช้ไฟและผู้ให้บริการพลังงานไฟฟ้า จึงจำเป็นต้องพิจารณาถึงตัวแปรที่สำคัญต่างๆ ร่วมด้วย วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้นำเสนอการจัดการการชาร์จ PEVs ที่สามารถกำหนดเส้นอ้างอิงกำลังไฟฟ้าของระบบได้ตามต้องการ ซึ่งทำให้สามารถควบคุมความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดของระบบได้ อีกทั้งฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของวิธีการที่นำเสนอนี้ มีการพิจารณาเวลาที่รถยนต์ไฟฟ้ารอคอยเพื่อเข้าชาร์จ (Waiting Time To Charge) เวลาสิ้นสุดในการชาร์จ (Earliest-Deadline First) รวมถึงประยุกต์ใช้วิธีการจัดการการชาร์จตามเวลาจริง (Real-Time Scheduling) โดยจัดแบ่งรถยนต์ไฟฟ้าออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่มีระดับค่าพลังงานสะสมคงเหลือน้อยกว่าและมากกว่าค่าที่กำหนด โดยกลุ่มที่มีระดับค่าพลังงานสะสมคงเหลือน้อยกว่าค่าที่กำหนดจะมีการเพิ่มค่าถ่วงน้ำหนัก (Weight) ให้ได้เข้าชาร์จก่อน ซึ่งเป็นผลให้วิธีการที่นำเสนอสามารถรับประกันความเพียงพอของระดับค่าพลังงานสะสมคงเหลือที่รถยนต์ไฟฟ้าแต่ละคันจะใช้ในการเดินทางครั้งต่อไปได้

วัตถุประสงค์

1. เพื่อพัฒนาโปรแกรม (Software) ที่ใช้วิเคราะห์ผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นกับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค จากการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าในที่อยู่อาศัย

2. เพื่อสร้างขั้นตอนวิธีการสำหรับจัดการระบบชาร์จของรถยนต์ไฟฟ้าในที่อยู่อาศัย โดยการประยุกต์ใช้กระบวนการหาจุดที่เหมาะสม (Optimization) ที่มีวัตถุประสงค์เพื่อตอบสนองต่อความต้องการของทั้งผู้ใช้ไฟ และรักษาระดับความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดให้อยู่ในหลักเกณฑ์คุณภาพไฟฟ้าในการจ่ายไฟ

การตรวจเอกสาร

จากผลกระทบจากภาวะโลกร้อนและปัญหาจากการขาดแคลนพลังงานฟอสซิลในปัจจุบัน ทำให้ทั่วโลกมีความตื่นตัวด้านการรักษาสิ่งแวดล้อม รวมถึงการอนุรักษ์พลังงานอย่างมาก โดยเริ่มมีการกำหนดนโยบายเพื่อลดผลกระทบและแสวงหาพลังงานทางเลือกที่สะอาดทดแทนการใช้พลังงานเชื้อเพลิงจากฟอสซิล การพัฒนารถยนต์ไฟฟ้าและรถยนต์ไฮบริดก็มีทิศทางที่เป็นจริงมากขึ้นอันเนื่องมาจากความต้องการแก้ปัญหาดังกล่าว ซึ่งจะพบได้จากการมีรถยนต์ไฟฟ้าจำหน่ายอย่างหลากหลายในตลาดรถยนต์ปัจจุบัน แต่เนื่องจากรถยนต์ไฟฟ้าเป็นการเปลี่ยนแปลงพลังงานที่ใช้ในการขับเคลื่อนจากเชื้อเพลิงฟอสซิลมาเป็นพลังงานไฟฟ้า ดังนั้นจึงหลีกเลี่ยงไม่ได้ที่จะต้องยอมรับว่าการเพิ่มขึ้นของรถยนต์ไฟฟ้าจะส่งผลต่อความต้องการกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นในระบบที่มีรถยนต์ไฟฟ้าเชื่อมต่อ

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอวิธีการจัดการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าโดยเป็นกลยุทธ์การควบคุมจากส่วนกลาง โดยมีจุดประสงค์เพื่อให้เกิดประโยชน์ต่อกลุ่มลูกค้ามากที่สุด อีกทั้งยังเป็นการจัดการใช้พลังงานที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งผู้วิจัยได้มีการตรวจเอกสารทั้งที่เกี่ยวข้องกับแนวความคิด นิยาม และงานวิจัยต่างๆ ซึ่งสามารถสรุปแนวคิดและทฤษฎีได้ดังนี้

รถยนต์ไฟฟ้า

ศิริพันธ์ (2555) ได้นำเสนอเกี่ยวกับรถยนต์ไฟฟ้าว่าปัจจุบันทั่วโลกได้ให้ความสนใจกับการดูแลรักษาสิ่งแวดล้อมมากขึ้น หนึ่งในประเด็นสำคัญคือ การใช้พลังงานในการขับเคลื่อนรถยนต์ บริษัทชั้นนำทั่วโลกต่างให้ความสำคัญกับการพัฒนาเทคโนโลยีในการรักษาสิ่งแวดล้อม และสามารถตอบสนองความต้องการของผู้ขับขี่รถยนต์ด้วย เช่น รถยนต์ไฮบริด (Hybrid) หรือรถยนต์ประหยัดพลังงาน เป็นต้น แต่เทคโนโลยีที่ใช้ในรถยนต์ดังกล่าวยังเป็นเพียงการลดการใช้พลังงานเชื้อเพลิง ก้าวต่อไปในอุตสาหกรรมยานยนต์ คือรถยนต์ที่ใช้กำลังไฟฟ้าเป็นตัวขับเคลื่อนหรือที่เรียกกันว่า รถยนต์ไฟฟ้า หรือ Electric Vehicle (EV)

ยศพงษ์ และคณะ (2556) ได้แบ่งรถยนต์ไฟฟ้าในปัจจุบันออกเป็น 4 ประเภท โดยหมายรวมถึงรถยนต์ที่อาศัยเครื่องยนต์เผาไหม้ภายในที่ทำงานร่วมกับมอเตอร์ไฟฟ้า รถยนต์ที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าแต่เพียงอย่างเดียว มีรายละเอียดแต่ละประเภทดังนี้

1. ประเภทของรถยนต์ไฟฟ้า

1.1 Hybrid Electric Vehicle

Hybrid Electric Vehicle (HEV) คือรถยนต์ที่ใช้ทั้งเครื่องยนต์และมอเตอร์ไฟฟ้า โดยจะนำพลังงานสูญเสียของเครื่องยนต์ เช่น การเบรกเพื่อชะลอความเร็ว มาผลิตไฟฟ้าเพื่อเก็บไว้ในแบตเตอรี่ และนำพลังงานที่เก็บไว้มาช่วยในการขับเคลื่อนรถยนต์เพื่อลดการใช้น้ำมัน พลังงานจากเครื่องยนต์ที่เกินความต้องการจะถูกนำไปผลิตพลังงานไฟฟ้า และเมื่อความต้องการใช้พลังงานของรถมากกว่าที่เครื่องยนต์ผลิตได้ ชุดควบคุมการใช้พลังงานของรถจะใช้พลังงานจากแบตเตอรี่เสริม HEV จะประหยัดพลังงานได้ระหว่างร้อยละ 10 - 50 ขึ้นอยู่กับการขับขี่และเส้นทางที่ขับขี่รถยนต์ไฟฟ้า

1.2 Plug-in Hybrid Electric Vehicle

Plug-in Hybrid Electric Vehicle (PHEV) คือรถยนต์ไฮบริดที่เก็บพลังงานไฟฟ้าในแบตเตอรี่ได้เพิ่มมากขึ้น โดยสามารถขับเคลื่อนโดยพลังงานไฟฟ้าอย่างเดียวเป็นระยะทางมากขึ้นถึง 20 - 80 กิโลเมตร เพื่อลดการใช้น้ำมัน โดย PHEV จะสามารถลดการใช้น้ำมันลงถึงร้อยละ 70

1.3 Extended-Range Electric Vehicle

Extended-Range Electric Vehicle (EREV) คือ รถยนต์ PHEV ที่เพิ่มระยะทางในการวิ่งด้วยพลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ให้ได้เพิ่มมากขึ้นกว่า PHEV

1.4 Battery Electric Vehicle

Battery Electric Vehicle (BEV) คือ รถยนต์ที่ใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ที่ใช้ในการขับเคลื่อนเพียงอย่างเดียว โดย BEV จะมีประสิทธิภาพสูงกว่ารถยนต์สันดาปภายในกว่า 3 เท่า ซึ่งอาจจะเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า Plug-in Electric Vehicle (PEV)

กรณีการ (2554) ได้เปรียบเทียบข้อดี ข้อเสียของรถยนต์ไฟฟ้าประเภทต่างๆ ทั้งด้าน เศรษฐศาสตร์ สิ่งแวดล้อม และการใช้พลังงาน ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของรถยนต์ไฟฟ้าประเภทต่างๆ

ข้อเปรียบเทียบ	รถยนต์ไฟฟ้า (PEV)	รถยนต์ไฮบริด (HEV)	รถยนต์ปลั๊กอินไฮบริด (PHEV)
ด้านเศรษฐศาสตร์ (Economics)	ราคาเปิดตัวประมาณ 900,000 บาท (ระบบ ภาณีแบบอเมริกัน) (หากนำเข้าไทยราคา ~1.5 - 2 ล้านบาท)	ราคาแพงกว่ารถธรรมดาขนาดเท่ากัน กว่า 200,000 บาท (~1.2 – 1.5 ล้านบาท)	ราคาเปิดตัวที่ยุโรปประมาณ 36,050 ยูโร (~1.4 ล้านบาท) (หากนำเข้าไทยราคา ~2 ล้านบาทขึ้นไป)
ด้านสิ่งแวดล้อม (Environment)	ไม่มีไอเสีย	มีไอเสียจากเครื่องยนต์	มีไอเสียจากเครื่องยนต์
ด้านพลังงาน (Energy)	ใช้พลังงานไฟฟ้า ซึ่งจะมีราคาถูกลงเมื่อประจุไฟในเวลากลางคืน ลดการใช้น้ำมัน 100%	ใช้น้ำมันเชื้อเพลิง ซึ่งสะดวกต่อการเติม จะลดการใช้น้ำมันลงถึง 10 - 50%	สามารถเลือกใช้น้ำมันเชื้อเพลิงหรือไฟฟ้า ซึ่งขึ้นกับราคาเชื้อเพลิง ทั้งนี้จะลดการใช้น้ำมันลงถึง 70%

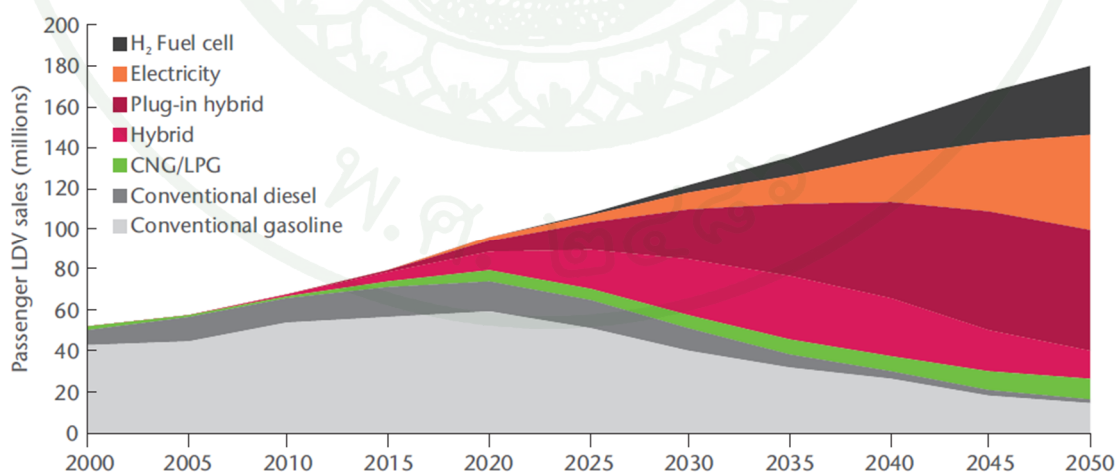
ที่มา: กรณีการ (2554)

2. แนวโน้มของรถยนต์ไฟฟ้าในปัจจุบัน และการเติบโตของรถยนต์ไฟฟ้าในตลาดโลก

Tal *et al.* (2013) ได้นำเสนอว่า การประเมินแนวโน้มของตลาดรถยนต์ไฟฟ้าเป็นขั้นตอนที่สำคัญมากสำหรับทั้งผู้ผลิต ผู้กำหนดมาตรการ และผู้วางแผนระบบจำหน่ายไฟฟ้าด้วย เนื่องจากจำเป็นต้องมีการเตรียมพร้อมเพื่อรองรับการเพิ่มขึ้นของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบ ซึ่งในปัจจุบันมีวิธีการประมาณความต้องการซื้อรถยนต์ไฟฟ้าโดยไม่ต้องใช้ข้อมูลจริงที่ได้จากลูกค้า แบ่งเป็น 3 วิธี โดยวิธีการแรกเป็นการประมาณการโดยใช้ข้อมูลความสามารถในการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า หรือพฤติกรรมการเดินทางที่มีระยะทางที่รถยนต์ไฟฟ้าสามารถให้บริการได้อย่างพอเพียงเพื่อคำนวณ

ความเป็นไปได้ในการซื้อรถยนต์ไฟฟ้ามาใช้แทนรถยนต์ที่มีอยู่เดิม วิธีการที่สองเป็นการวัดด้านผลประโยชน์ที่ลูกค้าจะได้รับจากการใช้รถยนต์ไฟฟ้า โดยเปรียบเทียบว่ารถยนต์ไฟฟ้าจะมีรูปแบบการใช้งานเช่นเดียวกับรถยนต์ทั่วไป และวิธีสุดท้ายคือการศึกษาถึงพฤติกรรมการตัดสินใจก่อนซื้อรถยนต์ไฟฟ้า จากวิธีการทั้งหมดที่กล่าวมาข้างต้นทำให้ทราบถึงความต้องการซื้อและกลุ่มลูกค้าที่จะซื้อรถยนต์ไฟฟ้า รวมถึงได้พฤติกรรมการใช้งานในแต่ละวันอีกด้วย ซึ่งจากผลการวิจัยพบว่าแนวโน้มการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าจะเพิ่มสูงขึ้นทุกปี และเริ่มมีจำนวนการใช้งานที่มากกว่ารถยนต์ที่ใช้พลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิลที่ประมาณปี 2050

International Energy Association [IEA], (2011: 14) ได้แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มการจำหน่ายรถยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงไฟฟ้า และรถยนต์ไฮบริดในอนาคตจะมีปริมาณจำหน่ายเพิ่มมากขึ้น ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2020 เป็นต้นไปอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่รถยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงจากฟอสซิลแต่เพียงอย่างเดียวจะค่อย ๆ ลดปริมาณลงจนมีสัดส่วนที่น้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณรถยนต์ที่ใช้พลังงานจากไฟฟ้าดังกล่าวที่ 1 โดยมีการตั้งเป้าหมายส่วนแบ่งตลาดในปี ค.ศ. 2020 สำหรับรถยนต์ EVs ที่ 2 ล้านคัน และรถยนต์ PHEVs ที่ประมาณ 5 ล้านคัน โดยหลังปี ค.ศ. 2040 คาดว่ารถยนต์ PHEVs จะเริ่มมีส่วนตลาดลดลงโดยถูกแทนที่ด้วยรถยนต์ไฟฟ้าแบบเซลล์เชื้อเพลิง อย่างไรก็ตาม ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2050 เป็นต้นไปเป้าหมายยอดขายรถยนต์ไฟฟ้าทั้งสองประเภทจะสูงกว่า 50 ล้านคันต่อปีทั้งคู่ โดยเป็นไปตามแผนเป้าหมายเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน ลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) และการใช้พลังงานทางเลือกที่สะอาดนั่นเอง



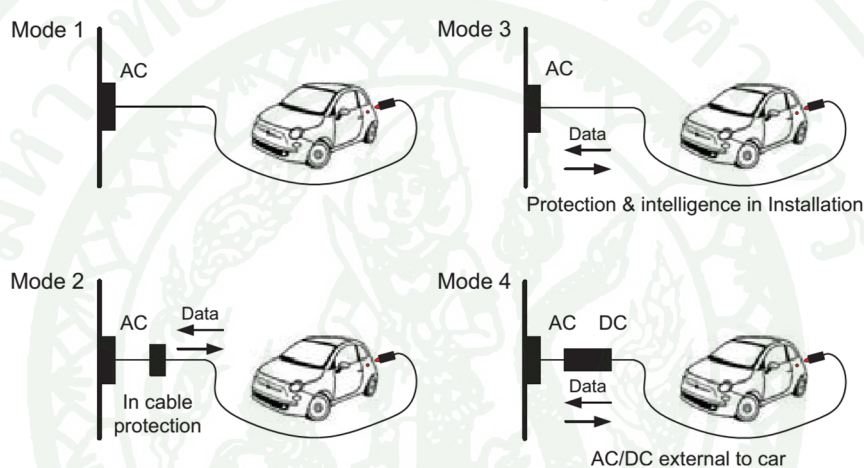
ภาพที่ 1 พยากรณ์การจำหน่ายรถยนต์ขนาดเล็ก (LDV) ตามประเภทเชื้อเพลิง

ที่มา: International Energy Association (2011)

การชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า

1. มาตรฐานการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า

Veneri *et al.* (2012) ได้อธิบายถึงรูปแบบการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าแบ่งออกเป็น 4 แบบ ตามมาตรฐานสากลของ IEC 61851-1 ดังแสดงในภาพที่ 2 ซึ่งมีรายละเอียดสำหรับแต่ละโหมดการชาร์จดังนี้



ภาพที่ 2 โหมดการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าตามมาตรฐาน IEC 61851-1

ที่มา: International Electrotechnical Commission (2001)

1.1 โหมดการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าลำดับที่ 1

โหมดการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าลำดับที่ 1 (Mode 1) เป็นการชาร์จแบบช้า (Slow Charging) เหมาะกับการชาร์จที่บ้านพักอาศัย ซึ่งเป็นการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าด้วยระบบไฟฟ้ากระแสสลับ ความถี่ 50 - 60 เฮิรตซ์ ระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับไม่เกิน 250 โวลต์ สำหรับระบบ 1 เฟส และระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับไม่เกิน 480 โวลต์ สำหรับระบบ 3 เฟส โดยเต้าเสียบ (Plug and socket system) ขนาดไม่เกิน 16 แอมแปร์ พร้อมการติดตั้งระบบป้องกันตามมาตรฐาน

1.2 โหมดการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าลำดับที่ 2

โหมดการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าลำดับที่ 2 (Mode 2) เป็นการชาร์จแบบช้า (Slow Charging) เหมาะกับการชาร์จที่บ้านพักอาศัย ซึ่งเป็นการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าด้วยระบบไฟฟ้ากระแสสลับที่มีค่าแรงดันระดับเดียวกับโหมดการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าลำดับที่ 1 ระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับไม่เกิน 250 โวลต์ สำหรับระบบ 1 เฟส และที่ระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับไม่เกิน 480 โวลต์ สำหรับระบบ 3 เฟส โดยใช้เต้าเสียบขนาดไม่เกิน 32 แอมแปร์ พร้อมกับระบบป้องกันตามที่มาตรฐานกำหนด และมีฟังก์ชันควบคุมที่ใช้ติดต่อสื่อสารกับระบบจำหน่ายได้









1.3 โหมดการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าลำดับที่ 3

โหมดการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าลำดับที่ 3 (Mode 3) เป็นการชาร์จแบบกึ่งชาร์จเร็ว (Semi-Fast) เหมาะกับการชาร์จเป็นกลุ่ม หรือที่สถานีชาร์จ โดยเป็นการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าด้วยระบบไฟฟ้ากระแสสลับที่มีแหล่งจ่ายและลักษณะการชาร์จเฉพาะ ซึ่งแตกต่างไปจากโหมดการชาร์จในลำดับที่ 1 และ 2 รวมทั้งขนาดกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการชาร์จจะต้องไม่เกิน 63 แอมแปร์ พร้อมกับระบบป้องกันตามมาตรฐานกำหนด และฟังก์ชันควบคุมที่ใช้เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายและติดต่อกับระบบอย่างถาวรได้

1.4 โหมดการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าลำดับที่ 4

โหมดการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าลำดับที่ 4 (Mode 4) เป็นการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าด้วยชุดคอนเวอร์เตอร์ซึ่งทำหน้าที่แปลงจากไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรงก่อนชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า ซึ่งการชาร์จแบบนี้เป็นการชาร์จแบบเร็ว (Fast Charging) ใช้เวลาการชาร์จประมาณ 20 - 30 นาที และนอกจากนี้ หากอุปกรณ์คอนเวอร์เตอร์สามารถชาร์จแบตเตอรี่จากระดับแบตเตอรี่คงเหลือ (State of Charge, SOC) ร้อยละ 0 ถึง ร้อยละ 80 ได้ภายในเวลาไม่เกิน 5 นาที ซึ่งเรียกวิธีการชาร์จแบบนี้ว่า เป็นการชาร์จเร็วสุดขีด (Ultra-Fast Charging) ตัวอย่างชุดคอนเวอร์เตอร์ ได้แก่คอนเวอร์เตอร์สำหรับเครื่องชาร์จรุ่นชาเดโม (CHAdeMO) ซึ่งกำหนดกระแสไฟฟ้าในการชาร์จมีค่าไม่เกิน 125 แอมแปร์ ที่ระดับแรงดัน 500 โวลต์

จากงานวิจัยของ Electric Power Research Institute (EPRI) แสดงให้เห็นว่าผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้าส่วนมากมีความคาดหวังที่จะชาร์จรถช่วงกลางคืนที่บ้านมากที่สุด ดังแสดงในภาพที่ 3 เนื่องจากความสะดวกในการใช้งาน และยังสามารถใช้อัตราค่าไฟฟ้าที่ถูก ดังนั้น อุปกรณ์การชาร์จระดับที่ 1 และระดับที่ 2 จึงเป็นตัวเลือกหลักที่สนใจ ทั้งนี้การชาร์จระดับที่ 3 จะเป็นการขยายระยะทางที่สามารถเดินทางไปได้ ซึ่งจะช่วยบรรเทาความกังวลใจเกี่ยวกับพลังงานของรถยนต์ให้แก่ผู้ขับขี่ได้ แต่การชาร์จระดับที่ 3 นั้นจะต้องมีการลงทุนเพิ่มเพื่อสร้างสถานีชาร์จและจะยังทำให้มีความลำบากและซับซ้อนในการจัดการปริมาณพลังงานจำนวนมากที่จะถูกดึงมาใช้จากระบบอีกด้วย

Charging Level	Setting	Supply Power	Representative Example	Where Charging Occurs
 AC Level 1	Residential/ Parking Lot 5 mi/hour @ 1.7 kW	120vac/20A (16A continuous)		RESIDENTIAL  2/3 of charging
 AC Level 2 (minimum) AC Level 2 (maximum)	Residential/ Commercial 10 mi/hour @ 3.4 kW Commercial (up to) 60 mi/hour @ 19.2 kW	208/240vac/20A (16A continuous) 208/240vac/100A (80A continuous)		COMMERCIAL  1/3 of charging
 DC Level 1 DC Level 2	Commercial up to 500v @ 80A dc (up to) 120 mi/hour @ 40 kW Commercial up to 500v @ 200A dc (up to) 300 mi/hour @ 100 kW	208vac/480vac 3-phase (input current proportional to output power; ~20A-200A AC) 208vac/480vac 3-phase (input current proportional to output power; ~20A-400A AC)		

ภาพที่ 3 โหมดการชาร์จที่ระดับต่างๆ และสัดส่วนรูปแบบการชาร์จที่คาดว่าจะใช้งานจริง

ที่มา: EV Everywhere - Grand Challenge Blueprint (2011)

2. ผลกระทบที่เกิดจากการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าเข้าสู่ระบบ

Shengnan *et al.* (2009) ได้นำเสนอว่าการวัดผลกระทบจากการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าในที่อยู่อาศัยด้วยวิธีการชาร์จแบบต่างๆ โดยทำการทดลองโดยการเพิ่มจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าเข้าไปที่ระดับต่างๆ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าในที่อยู่อาศัยจะทำให้เกิดค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดของระบบใหม่ (New Peak Load) ของหม้อแปลงไฟฟ้าในระบบจำหน่ายขึ้นได้ อย่างไรก็ตาม การชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่เวลาที่ต่างกันอาจส่งผลกระทบทำให้ประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้าในระบบจำหน่ายเพิ่มขึ้นหรือลดลงได้ต่างกันด้วย ขึ้นกับปัจจัย 3 อย่าง คือระดับของโหลดหม้อแปลงไฟฟ้าเดิม เวลาที่รถยนต์ไฟฟ้าเข้าชาร์จ และสุดท้ายคือวิธีการ (Strategies) ที่รถยนต์ไฟฟ้าแต่ละคันใช้เพื่อเริ่มเข้าชาร์จ

Shengnan *et al.* (2010) ได้นำเสนอผลกระทบต่อรูปร่างของโหลดในระบบจำหน่ายที่เกิดจากการตอบสนองของลูกค้าต่อราคาที่เปลี่ยนแปลงไป โดยกำหนดให้ลูกค้าสามารถที่จะเข้าถึงข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ตามเวลาจริง (Real-time) และลูกค้าทุกคนมีระบบการตอบสนองด้านโหลด (Demand Response) แบบอัตโนมัติเพื่อใช้ควบคุมการใช้พลังงานของอุปกรณ์ต่างๆ ตามราคาพลังงานไฟฟ้าในระบบที่เปลี่ยนแปลงไป จะพบว่าเมื่อเริ่มเข้าสู่ช่วงเวลาที่มีความต้องการใช้กำลังไฟฟ้าน้อย (Off-peak) ระบบจะประสบปัญหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดของระบบใหม่ แต่สามารถแก้ปัญหาได้โดยการเลือกเวลาในการชาร์จ เช่นหลัง 4 ทุ่ม เพื่อกระตุ้นการชาร์จในช่วงเวลาที่มีความต้องการใช้กำลังไฟฟ้าน้อย อัตราค่าไฟฟ้าในช่วงเวลาที่มีความต้องการใช้กำลังไฟฟ้าสูง (On-peak) จะมีความแตกต่างเมื่อเทียบกับอัตราคงที่ต่อหน่วย (Flat Rate) แต่อย่างไรก็ตาม หากอัตราค่าไฟฟ้าในช่วงเวลาที่มีความต้องการใช้กำลังไฟฟ้าสูงมีอัตราที่สูงเกินไป อาจทำให้ลูกค้าเกิดแรงจูงใจที่จะเลื่อนเวลาในการชาร์จพร้อมกัน และทำให้ระบบเกิดค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดของระบบใหม่ได้

Papadopoulos *et al.* (2009) ได้สรุปปัญหาที่อาจเกิดขึ้นในระบบจำหน่าย เมื่อมีการนำเอารถยนต์ไฟฟ้าเข้ามาใช้งาน ดังนี้

1. ปัญหาแรงดันตก (Voltage Drop) เนื่องจากการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายเปรียบเสมือนการเพิ่มโหลดของระบบไฟฟ้าให้มากขึ้น จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาแรงดันตกในระบบไฟฟ้าขึ้นได้

2. ปัญหาการใช้หม้อแปลงไฟฟ้าเกินพิกัดกำลัง (Distribution Transformer Thermal Limits) แม้ว่าการออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าในปัจจุบันเป็นการออกแบบพิกัดกำลังของหม้อแปลงไฟฟ้าที่คิดเผื่อการเพิ่มขึ้นของโหลดติดตั้งในอนาคตแล้วก็ตาม แต่เมื่อมีการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ซึ่งรูปแบบการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้ามีรูปแบบการชาร์จที่ต่อเนื่องเป็นเวลานาน อาจทำให้ต้องมีการปรับปรุง (Upgrade) หม้อแปลงไฟฟ้าในระบบจำหน่ายเพื่อรองรับการเข้าชาร์จของรถยนต์ไฟฟ้า แม้ว่าหม้อแปลงไฟฟ้าจะสามารถจ่ายโหลดที่เป็นโหลดทั่วไปได้เกินร้อยละ 160 ก็ตาม

3. ปัญหาการจ่ายโหลดเกินของสายไฟแรงต่ำ (Low Voltage Cable Thermal Limits) การเพิ่มขึ้นของการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าในระบบ จะทำให้สถานีไฟฟ้าต้องรองรับการจ่ายกระแสไฟฟ้าที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งอาจเกิดสถานะที่จ่ายไฟได้ยากลำบาก (Extreme Operating Condition) ในกรณีที่มีการใช้โหลดสูงสุดซึ่งเป็นช่วงเวลาเดียวกันกับที่ระบบมีการเข้าชาร์จของรถยนต์ไฟฟ้าจำนวนมากที่สุดด้วย

4. ปัญหาความสูญเสียที่เพิ่มขึ้น (Network Losses) การชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าจะทำให้ความสูญเสียในระบบจำหน่ายเพิ่มสูงขึ้น โดยปัจจัยที่ทำให้เกิดความสูญเสียเพิ่มมากขึ้นคือ ตำแหน่งการชาร์จ ระยะเวลาการชาร์จ และจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าที่เข้าชาร์จ

5. ปัญหาแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล (Voltage Unbalance) เนื่องจากการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าในที่อยู่อาศัยส่วนใหญ่จะเป็นการชาร์จแบบ 1 เฟส ซึ่งมีการกระจายตัวอยู่ทั่วทั้งระบบ ทำให้มีความเป็นไปได้ที่จะเกิดปัญหาแรงดันไม่สมดุลขึ้นในระบบ

6. ปัญหาความถี่ตก (Under-Frequency) การเพิ่มขึ้นของโหลดในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงต่ำอาจส่งผลกระทบต่อความถี่ของระบบได้

7. ปัญหาฮาร์มอนิกส์ของกระแสไฟฟ้า (Current Harmonics) หัวชาร์จเบตเตอรี่ของรถยนต์ เป็นอุปกรณ์ที่อาจก่อให้เกิดปัญหาฮาร์มอนิกส์ของกระแสไฟฟ้าได้

3. วิธีการควบคุมการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า

Zhou *et al.* (2014) ความแตกต่างที่สำคัญระหว่างรถยนต์ไฟฟ้าและอุปกรณ์ไฟฟ้าในระบบอื่น คือในกรณีที่เป็นการชาร์จที่บ้านรถยนต์ไฟฟ้า ไม่จำเป็นต้องได้รับบริการโดยทันที ทั้งนี้รถยนต์ไฟฟ้ามีแนวโน้มที่จะเสียบปลั๊กชาร์จ (Plug-in) นานกว่าเวลาที่ต้องการใช้ในการประจุแบตเตอรี่จนเต็ม 100% จึงทำให้มีช่วงเวลาที่สามารถจัดสรรการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าแต่ละคันได้ ซึ่งมีหลายงานวิจัยที่นำเสนอวิธีการเลื่อนการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าจากช่วงที่ระบบมีความต้องการกำลังไฟฟ้าสูง (Peak Hours) ไปชาร์จในช่วงที่มีความต้องการกำลังไฟฟ้าที่ต่ำกว่า (Non-peak Hours)

Zhimin and Furong (2011) ได้นำเสนอวิธีการออกแบบอัตราค่าไฟฟ้าที่จูงใจให้ลูกค้าลดการใช้งานในช่วงที่ระบบมีความต้องการสูง (Critical Peak Pricing, CPP) สำหรับประเทศอังกฤษ ซึ่งเป็นอัตราค่าไฟที่ต้องมีการรักษาสมดุลระหว่างต้นทุนของผู้ให้บริการพลังงานไฟฟ้าและรายได้จากการขายพลังงานไฟฟ้า จะพบว่าวิธีการที่นำเสนอจำเป็นต้องมีข้อมูลเพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาอัตราค่าไฟที่เหมาะสม แต่ทั้งนี้ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ต้องมีความเกี่ยวข้องกับช่วงเวลาที่จะนำอัตราค่าไฟที่ได้ไปใช้งาน ซึ่งหากต้องการนำวิธีการที่นำเสนอไปใช้งานจริง จำเป็นต้องมีตัวแปรเพิ่มเติมที่ต้องนำมาพิจารณา เช่น การลงทุนสร้างระบบจำหน่าย ต้นทุนการดำเนินการและการบำรุงรักษา คุณภาพการให้บริการ (Quality of Service, QoS) ต้นทุนทางการตลาด พลังงานที่สูญเสียในระบบ และต้นทุนด้านอื่นๆ รวมทั้งภาษีที่ต้องจ่ายอีกด้วย จะพบว่าหากระบบต้องการใช้การเปลี่ยนแปลงอัตราค่าไฟในแต่ละช่วงเวลาเพื่อจูงใจให้ผู้ใช้บริการ มีการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการใช้งาน จำเป็นต้องมีข้อมูลจำนวนมาก และกระบวนการคิดวิเคราะห์ที่ซับซ้อน ครอบคลุมความต้องการส่วนรวม เนื่องจากอัตราค่าไฟฟ้าที่นำมาใช้ทั้งระบบ ต้องมีความยุติธรรมต่อลูกค้าและไม่ทำให้ผู้ให้บริการพลังงานไฟฟ้าประสบภาวะขาดทุนอีกด้วย

มีงานวิจัยจำนวนมากได้นำเสนอวิธีจัดการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพจะสามารถรองรับการเข้ามาของรถยนต์ไฟฟ้าจำนวนมากได้ แม้ว่าโครงสร้างพื้นฐานของระบบไฟฟ้าจะเป็นแบบเดิมอยู่ก็ตาม ซึ่งในบางกรณี การจัดการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้านอกจากจะช่วยป้องกันผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นต่อระบบจำหน่ายแล้ว ยังจะเป็นการให้บริการระบบผ่านทางเทคโนโลยีการรวมตัวของรถยนต์ไฟฟ้าที่จ่ายกำลังไฟฟ้าเข้าสู่ระบบ (Vehicle-to-Grid, V2G) ด้วย เนื่องจากการเชื่อมต่อ V2G ไม่ได้เป็นเพียงการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าเท่านั้น แต่ยังเป็นเรื่องของ การติดต่อสื่อสารอีกด้วย โดย V2G คือระบบที่รถยนต์ไฟฟ้าสามารถที่จะติดต่อสื่อสารกับระบบเพื่อขายให้ระบบการตอบสนองด้าน

โหลด (Demand Response Services) โดยการส่งพลังงานจากระบบไฟฟ้าเข้าสู่ระบบในช่วงที่ระบบประสบปัญหาขาดแคลนพลังงาน

Rezaei *et al.* (2014) ได้นำเสนอว่าวิธีการจัดการซาร์จรถยนต์ไฟฟ้าและรูปแบบการควบคุม V2G ที่เคยมีการนำเสนอมาก่อนหน้านี้ โดยมีประเภทของรูปแบบดังต่อไปนี้

1. Centralized Optimization คือวิธีการควบคุมการซาร์จจากส่วนกลาง โดยที่รถยนต์ไฟฟ้าแต่ละคันส่งข้อมูล (Information) ให้กับผู้ดูแลระบบเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการจัดการตารางการซาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่เหมาะสมที่สุด

2. Decentralized Methods หรือเรียกว่าวิธีการเปลี่ยนแปลงราคาแบบพลวัต (Dynamic Pricing Schemes) คือการที่ผู้ให้บริการพลังงานไฟฟ้าตั้งราคาที่แตกต่างกันตามช่วงเวลาหรือตามปริมาณความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบไว้ เช่น วิธีการกำหนดอัตราค่าไฟฟ้าที่แตกต่างกันตามช่วงเวลาของการใช้ไฟฟ้า (Time of Use, TOU) เป็นต้น และรถยนต์ไฟฟ้าแต่ละคันทำการจัดการตารางการซาร์จเองโดยตอบสนองต่อราคาที่เปลี่ยนแปลง (Market-based Scheme) ซึ่งเป็นวิธีที่มีการตั้งราคาจากการประมูล (Bid) หรือตั้งจากจากข้อมูลในอดีต (Historical information) เพื่อให้อุปกรณ์สำหรับจัดการซาร์จรถยนต์ไฟฟ้าเกิดการตอบสนองต่อราคาพลังงานไฟฟ้าในระบบ ซึ่งวิธีการนี้ต้องอาศัยเทคโนโลยีสารสนเทศในการรวบรวมข้อมูลของลูกค้า การวิเคราะห์พฤติกรรม พยากรณ์ความต้องการใช้กำลังไฟฟ้า และการใช้สมการทางคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อนในการกำหนดราคาค่าไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลา

โดยทั้งสองวิธีที่กล่าวมาข้างต้น มีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกัน ดังนี้

1. วิธีการควบคุมการซาร์จจากส่วนกลาง มีข้อได้เปรียบด้านผลประโยชน์ที่เหมาะสมที่สุด (Optimal Outcomes) โดยการลดต้นทุนให้ต่ำที่สุด และหลีกเลี่ยงการฝ่าฝืนข้อจำกัดต่างๆ ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าได้ แต่อย่างไรก็ตาม วิธีการนี้จำเป็นต้องมีข้อมูลที่เจ้าของรถยนต์ไฟฟ้าต้องส่งให้แก่ผู้ดูแลระบบ เช่น ความยินยอมในการจ่าย หรือเวลาที่ต้องการออกจากบ้านในวันถัดไป อีกทั้งยังต้องยอมรับว่าไม่สามารถควบคุมการซาร์จพลังงานจากระบบได้ด้วยตนเอง

2. วิธีการเปลี่ยนแปลงราคาแบบพลวัต (Dynamic Pricing Schemes) เช่นการลดอัตราค่าไฟฟ้าในช่วงเวลากลางคืน ทั้งนี้ข้อเสียเปรียบของวิธีการนี้คือลูกค้ามีอิสระในการเลือกที่จะ

ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของราคาค่าไฟฟ้าอย่างไร อย่างไรก็ตาม เนื่องจากไม่ใช่ลูกค้าทุกคนที่จะมีการตอบสนองต่อราคาค่าไฟ ดังนั้นวิธีการนี้ไม่สามารถรับประกันได้ว่าการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าจะไม่ทำให้เกิดภาวะโหลดเกิน (Overload) ในระบบได้ ซึ่งในความเป็นจริง ภายใต้บางสถานการณ์ ราคาที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาอาจทำให้เกิดโหลดสูงสุดเพิ่มขึ้นในระบบมากกว่าที่จะลดการเกิดโหลดสูงสุดลง ซึ่งทำให้อายุการใช้งานของอุปกรณ์ในระบบจำหน่ายลดลงด้วย

Zhou *et al.* (2014) ได้นำเสนอว่าการจัดการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าโดยควบคุมจากผู้ดูแลระบบมีความเท่าเทียมกันมากกว่าวิธีการจัดการ โดยการเปลี่ยนแปลงราคาค่าพลังงานไฟฟ้า (Pricing Mechanism) ซึ่งเหมาะสมสำหรับกลุ่มลูกค้าที่พร้อมจะจ่ายค่าพลังงานไฟฟ้าในราคาที่สูงกว่า ซึ่งระบบต้องทำการจัดหาพลังงานให้เพียงพอแม้ว่าขณะนั้นเป็นช่วงที่ระบบกำลังประสบปัญหาการใช้กำลังไฟฟ้าเกินความสามารถในการรองรับภาระโหลดของระบบก็ตาม ทั้งนี้วิธีการจัดการชาร์จโดยผู้ดูแลระบบจะมีหลักการในการเลือกรถยนต์ไฟฟ้าเข้าชาร์จที่เที่ยงตรงกว่า สามารถจัดสรรการใช้พลังงานที่มีอยู่อย่างจำกัดได้ดีกว่า เนื่องจากวิธีการเปลี่ยนแปลงราคาแบบพลวัตจะกระตุ้นให้กลุ่มลูกค้าพยายามที่จะเลื่อนเวลาในการชาร์จไปอยู่ในช่วงที่มีพลังงานเหลือมาก แต่ก็ยังเป็นเพียงการกระตุ้น ไม่สามารถควบคุมรถยนต์ไฟฟ้าที่ทำการเลื่อนเวลาเข้าชาร์จด้วยจำนวนที่แน่นอนได้ ซึ่งหากจำนวนลูกค้าที่เลื่อนมีมากเกินความจำเป็น จะทำให้พลังงานที่เหลืออยู่ไม่ถูกใช้งานได้ ดังนั้นวิธีการจัดการชาร์จโดยการควบคุมจากส่วนกลางจึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจเพื่อให้สามารถควบคุมจำนวนรถยนต์ที่ถูกเลื่อนได้อย่างแน่นอน อีกทั้งยังเลือกพิจารณาได้ด้วยว่ารถยนต์ไฟฟ้าคันใดที่จะถูกเลื่อนเวลาการเข้าชาร์จ

Maigha and Crow (2014) ได้นำเสนอวิธีการจัดการชาร์จจากส่วนกลาง โดยใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์หลายแบบ เพื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นเมื่อใช้ในการจัดการรถยนต์ไฟฟ้าที่เข้ามาเชื่อมต่อในระบบ เช่น การทำให้ความผันผวนของโหลดโดยเฉลี่ยทั้งระบบน้อยที่สุด การเลื่อนการชาร์จรถยนต์ทุกคันไปให้ไกลที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ และการจัดการชาร์จที่ทำให้ต้นทุนของระบบมีค่าต่ำที่สุด โดยใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm, GA) ร่วมกับข้อมูลการเดินทางของ NHTS 2009 เพื่อวิเคราะห์หาพลังงานที่รถยนต์ไฟฟ้าต้องการจากระบบ และมีการคำนึงถึงอัตราค่าไฟฟ้าแบบ TOU ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นว่าวิธีการที่นำเสนอสามารถปรับปรุงระดับแรงดันและทำให้มีการเปลี่ยนแปลงของแรงดัน (Voltage Deviation) น้อยลงได้

Alonso *et al.* (2014) นำเสนอวิธีการจัดการชาร์จโดยควบคุมจากผู้ดูแลระบบ ด้วยขั้นตอนเชิงพันธุกรรมในการหารูปแบบการชาร์จที่เหมาะสมที่สุดในเพื่อจัดการรถยนต์ไฟฟ้าที่อยู่ในระบบจำหน่ายแรงต่ำของพื้นที่เมืองมาดริด ประเทศสเปน ร่วมกับรูปแบบของการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า 24 ชั่วโมงที่ได้จากการสำรวจพฤติกรรมการเดินทางประชาชนชาวสเปน ซึ่งงานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อจัดการชาร์จที่ทำให้การจ่ายไฟจากสถานีไฟฟ้า ตามความต้องการใช้ไฟฟ้าของทั้งระบบมีความราบเรียบตลอดทั้งวัน ผลที่ได้จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าการจัดการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าจะทำให้ลักษณะการใช้ไฟฟ้ามีความราบเรียบขึ้น (Flattening Load Profile) การลดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุดลง (Peak Load Shaving) และสุดท้ายสามารถยืดอายุการใช้งานของอุปกรณ์ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าได้อีกด้วย

Pecas *et al.* (2009) ได้นำเสนอวิธีการจัดการชาร์จจากส่วนกลางที่มีวัตถุประสงค์เพื่อให้มีจำนวนรถยนต์ไฟฟ้ามากที่สุดที่ได้เข้าชาร์จในแต่ละชั่วโมง โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างการชาร์จที่นำเสนอกับการชาร์จแบบไม่มีการควบคุม (Dumb Charging) ซึ่งทำการทดลองบนระบบจำหน่ายแรงต่ำ (Low Voltage, LV) ของประเทศโปรตุเกส ซึ่งข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง คือการพยากรณ์โหลดในวันที่ต้องการทดลอง กำลังการผลิตไฟฟ้า และช่วงเวลาที่รถยนต์ไฟฟ้ามีการจอดเชื่อมต่อกับระบบ โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อไม่ให้ระดับแรงดันไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงเกินเกณฑ์ที่กำหนด อีกทั้งยังจำกัดไม่ให้กำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าเกินข้อจำกัดของสายไฟฟ้าอีกด้วย

มาตรฐานและข้อกำหนดที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาปัญหาที่อาจเกิดขึ้นเมื่อมีรถยนต์ไฟฟ้าเข้ามาในอาคาร ซึ่งส่วนใหญ่เป็นการชาร์จในบ้านพักอาศัย ดังนั้นในช่วงที่ระบบประสบปัญหาความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงอยู่แล้ว เมื่อมีรถยนต์ไฟฟ้าเข้ามาในช่วงเวลาเดียวกัน อาจทำให้ระบบไฟฟ้าเสี่ยงต่อสถานะที่มีพลังงานไฟฟ้าไม่เพียงพอได้ ซึ่งสถานะนี้จะส่งผลกระทบต่อเสถียรภาพของแรงดันไฟฟ้า และอาจทำให้เกิดปัญหาไฟฟ้าดับ ดังนั้นเพื่อให้การจ่ายไฟเป็นไปตามมาตรฐาน ควรมีการศึกษาเกณฑ์ด้านคุณภาพในการจ่ายไฟของระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

1. การเปลี่ยนแปลงแรงดันอย่างรวดเร็ว (Rapid Voltage Change) โดยทั่วไปการเปลี่ยนแปลงแรงดันของระบบจำหน่ายแรงต่ำต้องไม่เกินร้อยละ 5
2. Harmonic Voltage Distortion ฮาร์โมนิกส์ที่สามของระบบต้องไม่เกินร้อยละ 8

3. แรงดันไม่สมดุล (Voltage Unbalance) ในสภาวะปกติระบบจำหน่ายแรงสูง และแรงต่ำ แรงดันไม่สมดุลต้องไม่เกินร้อยละ 2

4. ความถี่ของระบบ (System Frequency) อยู่ในช่วง 50 ± 0.5 รอบต่อวินาที

ระบบเชิงเวลาจริง

ระบบเชิงเวลาจริง จะเป็นระบบที่ต้องการความถูกต้องทั้งผลลัพธ์ที่ได้และเวลาที่ใช้ในการทำงาน โดยต้องทำงานให้เสร็จทันตามเวลาที่กำหนด เป็นระบบที่ฮาร์ดแวร์ (Hardware) และซอฟต์แวร์ (Software) จะต้องสนับสนุนการทำงานเชิงเวลาจริงและสามารถสนับสนุนงานที่มีการทำงานพร้อมกันหลายๆงานได้ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อเวลาที่ใช้ในการทำงานกับเวลาที่กำหนดไว้ นั่นคือจะต้องทำงานให้เสร็จภายในเวลาที่แย่ที่สุดในการทำงานของแต่ละงาน (Worst Case Execution Time : WCET) ระบบเชิงเวลาจริงแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ Hard Real-time System (HRTS) และ Soft Real-time System (SRTS)

HRTS เป็นระบบที่สนับสนุนงานเชิงเวลาจริง ต้องทำงานให้เสร็จทันตามเวลาที่กำหนด หากใช้เวลาในการทำงานเกินเวลาที่กำหนดไว้จะก่อให้เกิดผลกระทบร้ายแรงได้ ดังนั้นระบบนี้เป็นระบบที่ต้องการการทดสอบที่แน่นอน และต้องทนต่อความผิดพลาดได้สูง โดยจะต้องมีวิธีการแก้ปัญหาที่เหมาะสมเมื่อมีข้อผิดพลาดเกิดขึ้น

SRTS เป็นระบบที่สนับสนุนการทำงานเชิงเวลาจริงเช่นเดียวกับ HRTS แต่ระบบนี้มีข้อจำกัดน้อยกว่าเนื่องจากมีความยืดหยุ่นในเรื่องของเวลาในการทำงานมากกว่า กล่าวคือ เมื่อใช้เวลาในการทำงานเกินเวลาที่กำหนดเพียงเล็กน้อยก็ยังสามารถยอมรับได้ไม่มีผลกระทบร้ายแรงเกิดขึ้น

Soares *et al.* (2014) เป็นการควบคุมการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า โดยผู้ดูแลระบบ โดยมีการแบ่งรถยนต์ไฟฟ้าออกเป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มที่ต้องการได้รับการทันทีที่เชื่อมต่อกับระบบ และอีกกลุ่มคือกลุ่มที่ยินยอมให้เลื่อนเวลาในการชาร์จได้ เป็นกลุ่มที่งานวิจัยนี้ให้ความสนใจ ทั้งนี้รถยนต์ไฟฟ้าอีกกลุ่มจะนำไปคำนวณรวมเป็นโหลดพื้นฐานด้วย โดยจุดมุ่งหมายของวิธีการที่นำเสนอคือต้องการให้พลังงานที่ซื้อกับพลังงานที่ใช้ในการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้ามีความแตกต่างกันน้อยที่สุด สามารถใช้การแก้ปัญหาโดยวิธีการเชิงเส้น (Linear Programming, LP) ซึ่งเหมาะสมกับโปรแกรมประยุกต์

แบบตามเวลาจริงเนื่องจากสามารถแก้ปัญหาได้เร็ว ทั้งยังไม่จำเป็นต้องอาศัยข้อมูลในอนาคต (การพยากรณ์) เนื่องจากข้อมูลที่ต้องการใช้มีเพียงพลังงานที่ผู้ให้บริการพลังงานไฟฟ้าต้องการซื้อจากผู้ผลิตไฟฟ้า พลังงานรวมที่รถยนต์ไฟฟ้ากลุ่มที่ไม่สามารถควบคุมได้ต้องการ และสุดท้ายคือระยะเวลาที่ใช้ในการเชื่อมต่อและพลังงานไฟฟ้าที่รถยนต์ไฟฟ้าในกลุ่มที่เปลี่ยนแปลงเวลาในการชาร์จได้ต้องการ

วิธีการหาคำตอบด้วยวิธีแตกกิ่งและกำหนดขอบเขต

วิธีการหาคำตอบด้วยวิธีแตกกิ่งและกำหนดขอบเขต (Branch-and-Bound Method) นั้นเป็นวิธีพื้นฐานในการแก้ปัญหาการตัดสินใจแบบไม่ต่อเนื่อง ซึ่งสามารถถูกพัฒนาให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นในการหาคำตอบของแต่ละปัญหา วิธีการหาคำตอบด้วยวิธีแตกกิ่งและกำหนดขอบเขตตั้งอยู่บนสมมติฐานของการสังเกตว่า คำตอบของตัวแปรในการตัดสินใจนั้นมีลักษณะเป็นแผนภูมิแบบต้นไม้ (Decision Tree)

แนวคิดในการสร้างค่าของตัวแปรการตัดสินใจแบบต้นไม้คือการหลีกเลี่ยงการแผ่ขยายของโหนดให้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ เพราะการสร้างค่าของตัวแปรแบบต้นไม้ในทุกๆทางเลือกจะทำให้ต้นไม้มีขนาดใหญ่มาก โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในการหาคำตอบที่มีตัวแปรการตัดสินใจเป็นจำนวนมาก

อย่างไรก็ตาม วิธีการหาคำตอบด้วยวิธีแตกกิ่งและกำหนดขอบเขตนี้ไม่ได้สร้างค่าของตัวแปรทั้งหมดในทุกๆทางเลือก แต่จะสร้างค่าของตัวแปรในลักษณะเป็นลำดับขั้นของการตัดสินใจ (Decision Stage) ทั้งนี้ วิธีการหาคำตอบด้วยวิธีแตกกิ่งและกำหนดขอบเขตจะสร้างโหนด หรือค่าของตัวแปร ที่มีความเป็นไปได้ที่จะนำไปสู่คำตอบที่ดีที่สุดในทุกๆลำดับขั้นของการตัดสินใจ (ขั้นของต้นไม้) ซึ่งจะกำหนดว่าโหนดใดควรถูกเลือกในการสร้างโหนดรุ่นลูก โดยการเปรียบเทียบค่าขีดจำกัดของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (ค่า Bounding Function) กับค่าของคำตอบที่ไม่ขัดแย้งกับเงื่อนไขซึ่งมีค่าที่ดีที่สุด ณ ขณะนั้น (ค่า Incumbent Solution) วิธีการดังกล่าวนี้จะช่วยลดขนาดแผนภูมิการตัดสินใจแบบต้นไม้ได้เป็นอย่างมาก

สิ่งที่สำคัญอีกประการหนึ่งของวิธีการหาคำตอบด้วยวิธีแตกกิ่งและกำหนดขอบเขตนั้นคือวิธีการตัดโหนด (Pruning) วิธีการหาคำตอบด้วยวิธีแตกกิ่งและกำหนดขอบเขตจะทำการตัดโหนดออกไปอย่างถาวรเมื่อทราบว่าโหนดรุ่นลูกที่กำลังจะแตกออกมาจากโหนดนั้น จะให้คำตอบที่มี

ความขัดแย้งกับเงื่อนไข (Infeasible Solution) หรือไม่มีความเป็นไปได้ที่จะให้คำตอบค่าที่ดีที่สุด (Optimal Solution) การตัดโหนดนี้เป็นเทคนิคที่มีความสำคัญต่อวิธีการหาคำตอบด้วยวิธีแตกกิ่ง และกำหนดขอบเขตเป็นอย่างมากด้วยเช่นกัน เพราะการตัดโหนดที่นี้จะช่วยลดขนาดแผนภูมิการตัดสินใจแบบต้นไม้ได้เป็นอย่างมาก

ตัวแปรที่ใช้ในการวัดประสิทธิภาพ

Yunus (2010) ได้นำเสนอตัวแปรที่เหมาะสมในการพิจารณาผลกระทบที่เกิดจากการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่าย ได้แก่

1. ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้า (Demand) คือค่าการใช้กำลังไฟฟ้าในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง เช่นพิจารณาโหลดทุก 15 นาที ในหนึ่งวัน เป็นต้น
2. ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Maximum Demand) คือค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดเมื่อพิจารณาโหลด 1 วัน
3. ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (Average Demand) คือค่าที่บอกว่าในแต่ละช่วงเวลาระบบจะมีความต้องการกำลังไฟฟ้ากี่กิโลวัตต์
4. ค่าองค์ประกอบการใช้ไฟฟ้า (Load Factor, LF) เป็นค่าที่ใช้ในการอธิบายพฤติกรรมการใช้งานของโหลด โดยนิยามของค่าองค์ประกอบการใช้ไฟฟ้าคือสัดส่วนของความต้องการกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยต่อความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด ซึ่งในบางครั้งค่าองค์ประกอบการใช้ไฟฟ้าจะเป็นตัวบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพการใช้งานสาธารณูปโภคในระบบจำหน่าย และเมื่อมองในมุมมองของผู้ให้บริการค่าองค์ประกอบการใช้ไฟฟ้าที่เหมาะสมที่สุดควรเป็น 1 ซึ่งนั่นหมายความว่าระบบที่ถูกออกแบบมาใช้งานให้รองรับค่าความต้องการได้สูงสุด

Xiaojun and Khargonekar (2012) ได้นำเสนอการนำอัตราพลังงานสูงสุดต่อพลังงานเฉลี่ย (Peak-to-Average Ratio, PAR) มาใช้วัดผลการจัดการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า จากฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่นำเสนอคือจัดการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าเพื่อให้ค่าความต้องการของการใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุดมีค่าต่ำที่สุด (Minimize Peak Demand) ซึ่งข้อดีของการที่อัตราพลังงานสูงสุดต่อพลังงานเฉลี่ยมีค่ามากขึ้น แสดงว่ามีค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่สูงมากหรือมีประสิทธิภาพในการใช้พลังงานในแต่ละวันที่ไม่คุ้มค่า

เนื่องจากอัตราพลังงานสูงสุดต่อพลังงานเฉลี่ยเป็นค่าที่บอกถึงความแตกต่างระหว่างพลังงานที่ใช้สูงสุดใน 1 วัน (Peak Power Consumption) และค่าเฉลี่ยของพลังงานที่ใช้ใน 1 วัน (Average Power Consumption) ดังนั้น หากอัตราพลังงานสูงสุดต่อพลังงานเฉลี่ยมีค่าน้อยลง จะส่งผลในด้านการสำรองพลังงานเพื่อใช้ในกรณีฉุกเฉิน อีกทั้งยังต้องมีการจัดหาแหล่งผลิตไฟฟ้าเพิ่มทั้งที่ยังใช้งานแหล่งผลิตไฟฟ้าเดิมได้ไม่เต็มประสิทธิภาพ

Kang *et al.* (2013) ได้นำเสนอวิธีการจัดการชาร์จตามเวลาจริง (Real-Time Scheduling Technique) ที่มีการวัดผลเปรียบเทียบกับวิธีการเพิ่มความต้องการในช่วงเวลาที่มีความต้องการใช้กำลังไฟฟ้าต่ำ ถ้าหากต้นทุนหน่วยสุดท้าย (Long-run Marginal Cost) ต่ำกว่าราคาค่าไฟฟ้าเฉลี่ย (Valley-Filling Technique) โดยเปรียบเทียบผลของการทดลอง ด้วยตัวแปรดังต่อไปนี้

1. จำนวนรถยนต์ไฟฟ้าที่ไม่สามารถชาร์จได้เต็ม (Number of EVs Missing Deadlines) เป็นการวัดประสิทธิภาพของวิธีการจัดการชาร์จโดยเปรียบเทียบจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าที่ไม่สามารถชาร์จได้เต็ม 100% ก่อนถึงเวลาออกจากบ้านในวันถัดไป
2. อัตราการรับประกันการชาร์จเต็มพิกัด (Guarantee Ratio) เป็นอัตราเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของรถยนต์ไฟฟ้าที่สามารถชาร์จได้เต็ม 100% ก่อนถึงเวลาออกจากบ้านในวันถัดไป กับจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าทั้งหมดที่เชื่อมต่อในระบบ
3. อัตราเฉลี่ยของระดับค่าพลังงานสะสมคงเหลือ (Average plug-out SOC) คือระดับพลังงานสะสมคงเหลือ โดยเฉลี่ยเมื่อเทียบกับจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าที่เชื่อมต่อในระบบทั้งหมด

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล
2. ระบบปฏิบัติการ Microsoft Windows 7
3. โปรแกรม Microsoft Office 2010 (Words, Excel, Access และ Power Point)
4. โปรแกรมช่วยวิเคราะห์ข้อมูลเชิงวิศวกรรมคณิตศาสตร์ MATLAB

วิธีการ

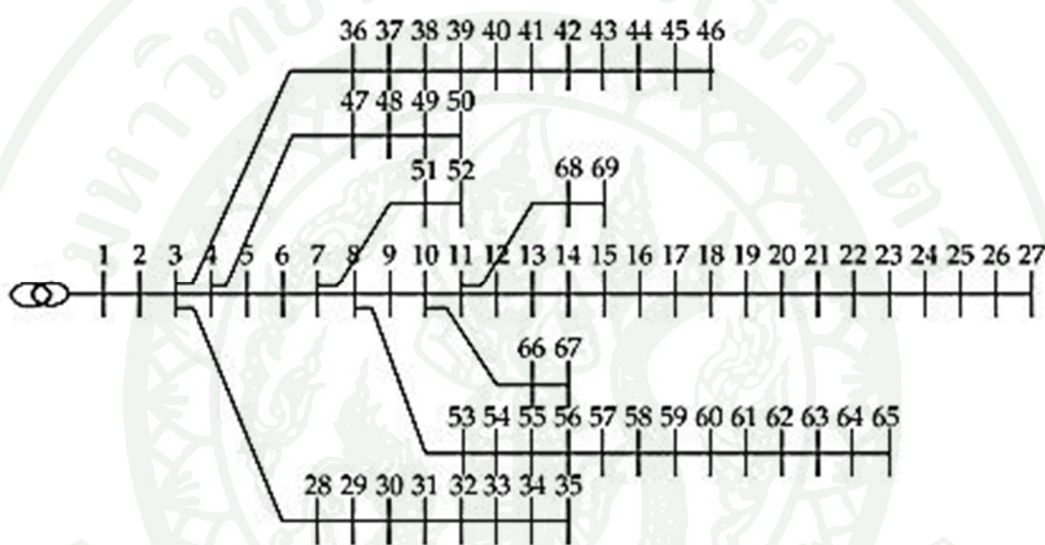
จากการที่รถยนต์ไฟฟ้าถูกคาดการณ์ว่าจะมีการใช้งานเพิ่มขึ้นอย่างมากในอนาคต แต่ในมุมมองของผู้ให้บริการพลังงานไฟฟ้า การเพิ่มขึ้นของรถยนต์ไฟฟ้าหมายถึงปริมาณของกลุ่มโหลดจำนวนมากที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ และหากโหลดรถยนต์ไฟฟ้าจำนวนมากเพิ่มเข้ามาในช่วงเวลาเดียวกันกับที่ระบบมีความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด ก็จะยิ่งทำให้ระบบประสบปัญหาทั้งด้านแรงดันไฟฟ้าตก ความถี่ตก การจ่ายโหลดเกินของสายไฟแรงต่ำ และหากกำลังไฟฟ้าในระบบมีไม่เพียงพอก็อาจส่งผลให้เกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับเป็นบริเวณกว้างได้ ดังนั้นเพื่อป้องกันการเกิดปัญหาที่อาจเกิดขึ้นเนื่องจากการเข้ามามีบทบาทของรถยนต์ไฟฟ้า วิธีการจัดการชาร์จที่เหมาะสมจะช่วยลดปัญหาที่อาจเกิดขึ้นกับระบบไฟฟ้า รวมถึงสามารถจัดสรรพลังงานที่มีอยู่อย่างจำกัดได้อย่างมีประสิทธิภาพอีกด้วย จากแนวคิดดังกล่าวทำให้เกิดขั้นตอนในการทดลองดังนี้

1. การสร้างแบบจำลองระบบไฟฟ้า (System Configuration)

เพื่อเป็นการวัดผลความถูกต้องของวิธีการจัดการชาร์จที่นำเสนอ วิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการทดสอบขั้นตอนวิธีที่ได้นำเสนอบนระบบทดสอบของ IEEE 69 บัส และทดสอบการใช้งานจริงบนระบบจำหน่ายของ กฟภ. วงจรที่สนใจคือวงจรที่ 5 สถานีไฟฟ้าหัวหิน 3 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1.1 ระบบทดสอบ IEEE 69 บัส

งานวิจัยนี้เลือกทดสอบบนระบบทดสอบ IEEE 69 บัส เนื่องจากเป็นระบบที่มีขนาดเหมาะสมกับจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าที่ต้องการทดสอบ อีกทั้งยังเป็นระบบทดสอบมาตรฐานที่มีการใช้เพื่อเป็นระบบทดลองของงานวิจัยด้านการจัดการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าจำนวนมาก โดยระบบทดสอบ IEEE 69 บัส เป็นระบบจำหน่ายแบบเรเดียล ที่มีพิกัดแรงดัน (Rated Voltage) 12.66 กิโลโวลต์ (kV) หม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 10 เมกะวีเอ (MVA) โดยมีรูปแบบการเชื่อมต่อดังภาพที่ 4

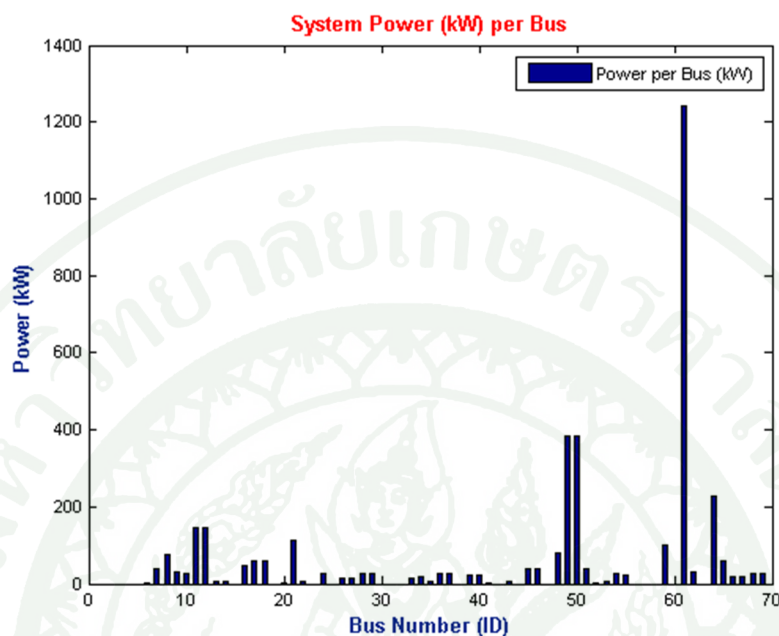


ภาพที่ 4 แบบจำลองการเชื่อมต่อระบบทดสอบ IEEE 69 บัส

ที่มา: Baran and Wu (1989)

เนื่องจากระบบทดสอบ IEEE 69 บัสนี้เป็นแบบจำลองระบบที่มีความต้านทานสูง (Highly Resistive) ดังนั้นเมื่อเพิ่มสัดส่วนของกำลังไฟฟ้าปรากฏ (Active Power) เข้าไปในระบบ จะเป็นการช่วยปรับปรุงระดับแรงดันของระบบได้ ซึ่งในงานวิจัยนี้ตั้งข้อสมมติฐานว่า เครื่องชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าซึ่งเป็นการชาร์จแบบกระแสตรง จะไม่ทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าเสมือน หรือกำลังไฟฟารีแอกทีฟ (Reactive Power) เพิ่มขึ้น ซึ่งก็หมายความว่า เป็นการดึงเฉพาะกำลังไฟฟ้าปรากฏจากระบบเท่านั้น โดยระบบทดสอบ IEEE 69 บัส มีโหลดรวมทั้งระบบเท่ากับ 3.802 เมกะวัตต์ (MW)

และมีกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ 2.719 เมกะวาร์ (MVAR) โดยลักษณะการกระจายตัวของโหลดที่บัสต่างๆ แสดงได้ดังภาพที่ 5



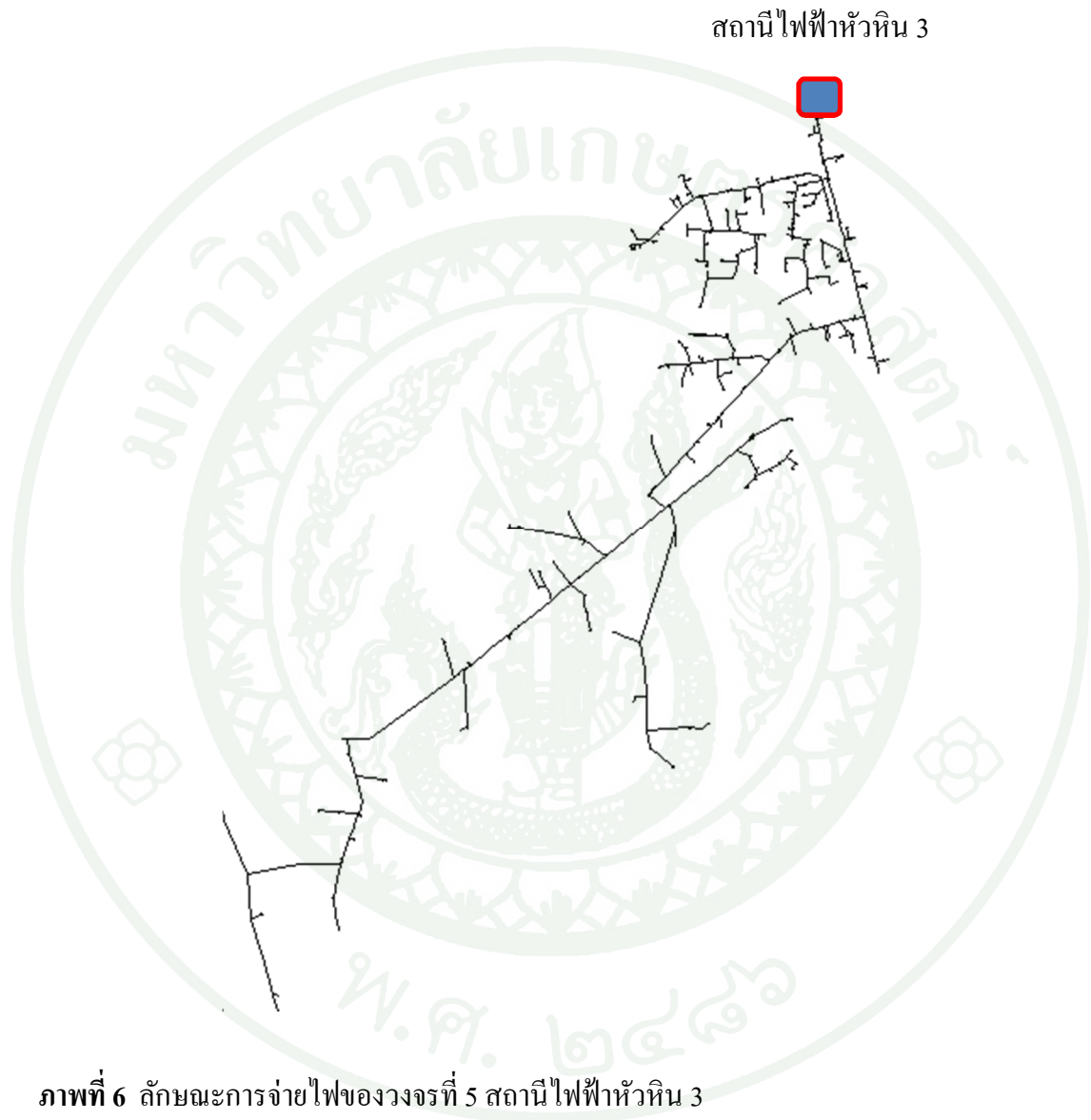
ภาพที่ 5 รูปแบบการใช้กำลังไฟฟ้าที่บัสต่างๆ

จากภาพที่ 5 พบว่าบัสที่ 61 มีพฤติกรรมการใช้กำลังไฟฟ้าที่สูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับระบบ (1.244 MW และ 0.888 MVAR) และโหลดบัส 49 และบัส 50 ก็มีความต้องการกำลังไฟฟ้าที่สูงเป็นอันดับรองลงมา (0.384 MW และ 0.274 MVAR) แต่ก็ยังน้อยกว่าบัสที่ 61 อยู่เกือบ 3 เท่า แต่ทั้งนี้บัสส่วนใหญ่ในระบบจะมีความต้องการกำลังไฟฟ้าที่ไม่เกิน 100 กิโลวัตต์ (kW)

1.2 ระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

งานวิจัยนี้ยังได้ทำการทดสอบบนระบบจำหน่ายของวงจรที่ 5 สถานีไฟฟ้าหัวหิน 3 จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ จ่ายไฟให้พื้นที่เทศบาลอำเภอหัวหินซึ่งพื้นที่นี้เป็นหนึ่งในแผนงานของ กฟภ. ในการพัฒนาระบบไฟฟ้าเมืองใหญ่ ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา พบว่า PEVs จะมีการใช้งานอย่างแพร่หลายโดยเฉพาะในชุมชนเมือง โดยงานวิจัยนี้เลือกใช้โหลดวงจรที่ 5 เนื่องจากเป็นกลุ่มโหลดที่ผู้ใช้ไฟส่วนใหญ่เป็นผู้ใช้ไฟประเภทที่อยู่อาศัย และมีจำนวนผู้ใช้ไฟในเขตเทศบาลเมืองมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับทั้ง 5 วงจร

การจ่ายไฟของวงจรที่ 5 สถานีไฟฟ้าหัวหิน 3 มีลักษณะการจ่ายไฟแบบเรเดียล ระบบจำหน่าย 22 กิโลโวลต์ สายส่งเป็นแบบหุ้มฉนวนขนาด 185 ตารางมิลลิเมตร มีลักษณะการจ่ายไฟดังภาพที่ 6 และรายละเอียดข้อมูลจำนวนผู้ใช้ไฟประจำเดือน กรกฎาคม 2557 แสดงได้ดังตารางที่ 2



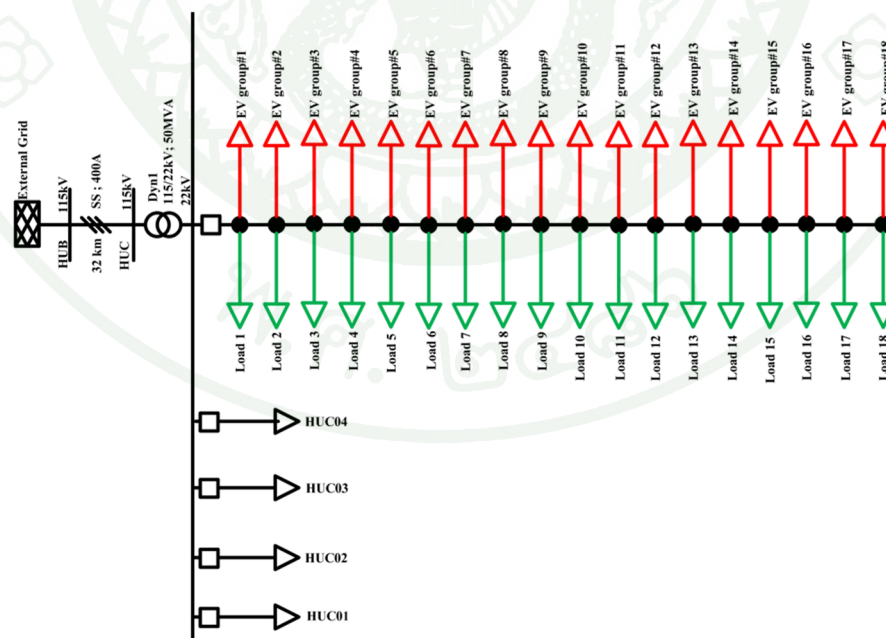
ที่มา: การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (2557)

ตารางที่ 2 จำนวนผู้ใช้ไฟในแต่ละวงจรของสถานีไฟฟ้าหัวหิน 3

วงจรที่	จำนวนผู้ใช้ไฟ (ราย)		
	เขตเทศบาลเมือง	เขตเทศบาลตำบล	รวม
1	13	-	13
2	3,806	-	3,806
3	3,768	-	3,768
4	4,048	665	4,713
5	6,819	297	7,166

ที่มา: การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (2557)

จากลักษณะวงจรทางกายภาพที่นำมาจากโปรแกรมสารสนเทศระบบไฟฟ้าทางภูมิศาสตร์ (Geographic Information System, GIS) ของ กฟภ. เพื่อให้ง่ายต่อการสร้างแบบจำลองสำหรับวิธีการจัดการซาร์จที่นำเสนอ งานวิจัยนี้ทำการยุบรวม โหลดย่อยของวงจรที่ 5 เป็น 18 กลุ่มโหลดใหญ่ ดังภาพที่ 7



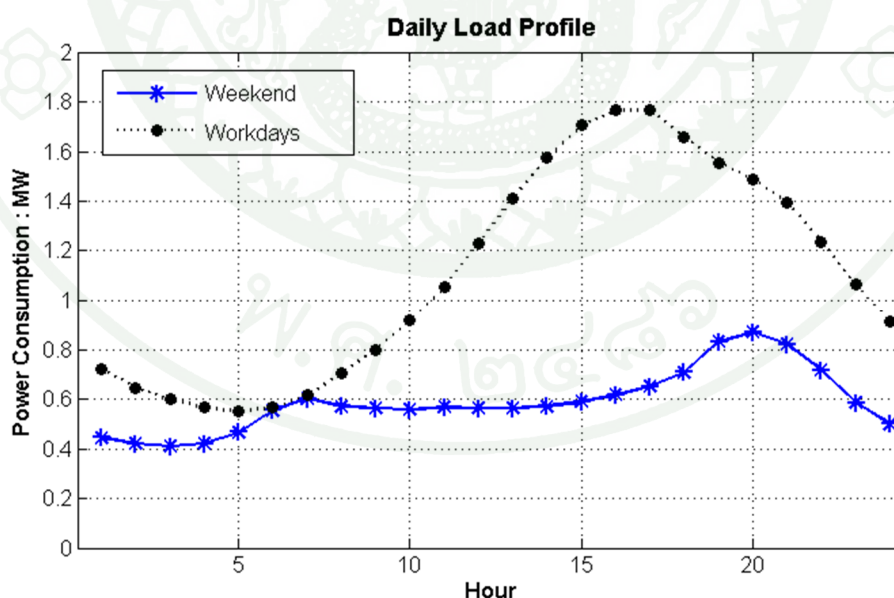
ภาพที่ 7 แบบจำลองระบบจำหน่ายวงจรที่ 5 สถานีไฟฟ้าหัวหิน 3

2. การสร้างแบบจำลองความต้องการกำลังไฟฟ้า (Load Profile)

รูปแบบความต้องการกำลังไฟฟ้าเป็นค่าที่ใช้แสดงถึงความต้องการกำลังไฟฟ้าของระบบ ในช่วงเวลาหนึ่ง ซึ่งเป็นค่าที่รวมระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ใช้งานและค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบ จำหน่ายด้วย โดยค่าความต้องการกำลังไฟฟ้านี้จะต้องมีความสมดุลกับกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จาก เครื่องกำเนิดไฟฟ้า อีกทั้งยังเป็นค่ากำลังไฟฟ้าที่รวมกำลังไฟฟ้าที่มีการส่งจ่ายให้กับระบบข้างเคียง ด้วย โดยแบบจำลองความต้องการกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในงานวิจัยนี้มี 2 แบบ ดังนี้

2.1 แบบจำลองความต้องการกำลังไฟฟ้าของรัฐแคลิฟอร์เนีย ประเทศสหรัฐอเมริกา

ในแบบจำลองนี้จะแยกเป็นกลุ่มของโหลดพื้นฐานของระบบ (Base Load) และกลุ่ม โหลดรถยนต์ไฟฟ้า (PEVs Load) เนื่องจากระบบจำหน่ายระบบทดสอบ IEEE 69 บัส ไม่มีข้อมูล โหลดรายวัน (Daily Load) ซึ่งเป็นข้อมูลที่จำเป็นสำหรับงานวิจัยนี้ ดังนั้นเพื่อให้กำลังไฟฟ้าที่ได้ สอดคล้องกับพฤติกรรมการใช้งานในวันทำงานและวันหยุด งานวิจัยนี้จึงใช้ข้อมูลโหลดจาก Southern California Edison ซึ่งเป็นผู้ให้บริการพลังงานไฟฟ้ารายใหญ่ของประเทศสหรัฐอเมริกา มาประยุกต์ใช้เป็น โหลดทดสอบของระบบ IEEE 69 บัส ซึ่งมีลักษณะโหลดรายวันดังภาพที่ 8



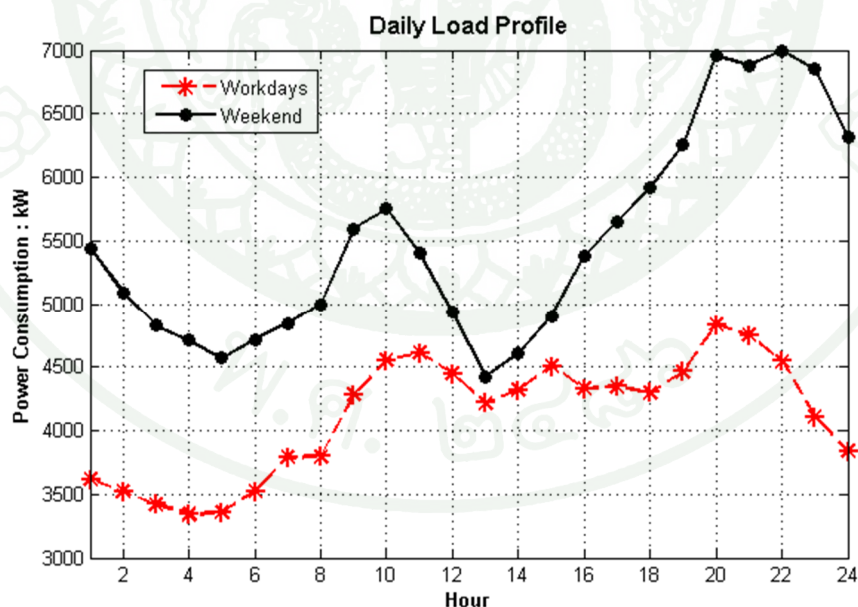
ภาพที่ 8 ข้อมูลโหลดรายวันของผู้ใช้ไฟประเภทที่อยู่อาศัย ในวันทำงานและวันหยุด

ที่มา: Southern California Edison (2014)

จากภาพที่ 8 แสดงข้อมูลการใช้ไฟฟ้าทุก 1 ชั่วโมง ของผู้ใช้ไฟประเภทที่อยู่อาศัยในพื้นที่ให้บริการของบริษัท Southern California Edison เมื่อวันที่ 29 สิงหาคม 2557 (วันศุกร์) วันที่ 30 สิงหาคม 2557 (วันเสาร์) เพื่อใช้เป็นรูปแบบแทนพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในวันทำงานและวันหยุดตามลำดับ โดยจะพบว่ารูปแบบการใช้ไฟฟ้าในวันหยุด (เส้นทึบ) จะมีลักษณะที่ใกล้เคียงกันทั้งวัน โดยเฉลี่ยอยู่ในระดับที่ต่ำกว่าพลังงานสูงสุดของการใช้ไฟฟ้าในวันทำงาน (เส้นประ) เกือบ 3 เท่า และรูปแบบการใช้ไฟฟ้าในวันทำงานจะมีค่าสูงสุดโดยประมาณอยู่ในช่วง 15.00 – 18.00 น. ซึ่งมีความสอดคล้องกับพฤติกรรมกลับบ้านหลังจากเลิกงาน ดังนั้นจะเป็นการสะท้อนให้เห็นว่าพฤติกรรมใช้พลังงานไฟฟ้ามีความเกี่ยวเนื่องกับพฤติกรรมกลับบ้านอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้จึงเลือกที่จะทดสอบวิธีการจัดการชาร์จที่นำเสนอโดยแบ่งออกเป็นโหลดวันทำงานและวันหยุด

2.2 แบบจำลองกำลังไฟของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

โหลดส่วนใหญ่ของสถานีไฟฟ้าหัวหิน 3 มีลักษณะการใช้ไฟฟ้าที่สูงที่สุดในช่วงเวลากลางคืน เวลาประมาณ 20.00 – 23.00 น. แสดงดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 โหลดประเภทที่อยู่อาศัย วงจรที่ 5 สถานีไฟฟ้าหัวหิน 3 วันทำงานและวันหยุด

ที่มา: การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (2557)

จากภาพที่ 9 เป็นข้อมูลการใช้ไฟฟ้าทุก 1 ชั่วโมง ของผู้ใช้ไฟประเภทที่อยู่อาศัยของ สถานีไฟฟ้าห้วยหิน 3 วงจรที่ 5 ในวันที่ 29 สิงหาคม 2557 (วันศุกร์) และ วันที่ 30 สิงหาคม 2557 (วันเสาร์) เพื่อเป็นรูปแบบที่ใช้แทนพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในวันทำงานและวันหยุด จะพบว่า รูปแบบการใช้ไฟฟ้าในวันทำงาน (เส้นประ) จะเพิ่มสูงขึ้นตามเวลาการทำงานโดยเฉลี่ยตั้งแต่เวลา 09.00 – 22.00 น. แต่ลักษณะการใช้ไฟจะใกล้เคียงกันทั้งวัน ซึ่งเป็นพฤติกรรมที่เป็นเอกลักษณ์ สำหรับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในพื้นที่ท่องเที่ยว และค่าสูงสุดของโหลดในวันทำงานมีค่าต่ำกว่า โหลดวันหยุดเกือบ 2 เท่า และรูปแบบการใช้ไฟฟ้าในวันหยุดจะมีค่าสูงสุดโดยประมาณอยู่ในช่วง 19.00 – 24.00 น.

3. การสร้างแบบจำลองการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า (PEVs Model)

Shafiee *et al.* (2013) ได้นำเสนอว่าคุณลักษณะเฉพาะของรถยนต์ไฟฟ้าสามารถแบ่งออก ได้เป็นสองกลุ่ม โดยกลุ่มแรกเป็นข้อมูลของผู้ผลิตรถยนต์ เช่น ขนาดและชนิดของแบตเตอรี่ เป็นต้น และอีกประเภทหนึ่งคือข้อมูลที่ขึ้นกับพฤติกรรมการใช้งานของผู้ขับขี่ เช่น ข้อมูลการเดินทางในแต่ละวัน หรือข้อมูลการเริ่มชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าเมื่อกลับถึงบ้าน เป็นต้น ดังนั้นเพื่อเป็นการสร้างแบบจำลองของรถยนต์ไฟฟ้าเพื่อใช้ทดสอบระบบจัดการชาร์จ สามารถสรุปข้อมูลที่ต้องการใช้ทั้งหมด ได้ดังนี้

3.1 สมมุติฐาน

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้กำหนดให้รูปแบบการกระจายตัวเข้าเชื่อมต่อของรถยนต์ไฟฟ้า ในแต่ละบัส เป็นการแจกแจงแบบเอกรูป (Uniform Distribution) ซึ่งทำให้เกิดความเท่าเทียมในการกระจายตัว ไม่เกิดความลำเอียง (Bias) ในการเข้าชาร์จของรถยนต์ไฟฟ้าที่บัสใดบัสหนึ่ง งานวิจัยนี้ กำหนดให้รถยนต์ไฟฟ้าทุกคันมีกำลังไฟฟ้าในการชาร์จเท่ากัน โดยพิกัดกำลังไฟฟ้าในการชาร์จที่ใช้ อ้างอิงข้อมูลจากรายงานผลการตรวจวัดรถยนต์ไฟฟ้าของ กฟภ. ซึ่งเป็นการชาร์จแบบกำลังไฟฟ้ คงที่ (Constant Power) ที่ระดับ 3.4 kW

เนื่องจากวิทยานิพนธ์นี้เป็นการนำเสนอวิธีจัดการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าโดยการควบคุม จากผู้ดูแลระบบ (Centralized Scheduling) ดังนั้นการจำลองระบบจำหน่ายที่ใช้ในงานวิจัยนี้ กำหนดให้ระบบมีเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร (Information and Communication Technology, ICT) และระบบมิเตอร์อัจฉริยะ (Advance Metering Infrastructure, AMI) รองรับอยู่

แล้ว เพื่อให้ผู้ดูแลระบบสามารถตรวจสอบ (Monitor) และควบคุม (Control) การชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า แต่ละคันผ่านทางชุดอุปกรณ์ชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า (Electric Vehicle Service Equipment, EVSE) ที่ติดตั้งในบ้านแต่ละหลังได้

3.2 สถานะของแบตเตอรี่คงเหลือ

สถานะของแบตเตอรี่คงเหลือสัมพันธ์กับพฤติกรรมการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าในแต่ละวัน (Daily Miles Driven) ซึ่งงานวิจัยนี้อ้างอิงการวิเคราะห์ข้อมูลการใช้งานรถยนต์ของ NHTS 2009 ร่วมกับขนาดของแบตเตอรี่ที่ได้จากข้อมูลสถิติการจำหน่ายรถยนต์ไฟฟ้าทั่วโลกในปี 2557 ที่กล่าวถึงข้างต้น เพื่อคำนวณหาสถานะของแบตเตอรี่คงเหลือโดยใช้สมการ (1) ซึ่งสถานะของแบตเตอรี่คงเหลือของรถยนต์ไฟฟ้าแต่ละคัน อาจมีความแตกต่างกันถึงแม้ว่าระยะทางที่ใช้งานจะเท่ากัน ทั้งนี้เนื่องจากความแตกต่างของขนาดความจุแบตเตอรี่ (กิโลวัตต์-ชั่วโมง) รวมถึงสมรรถนะของรถยนต์ไฟฟ้าแต่ละรุ่นอีกด้วย

$$\%SOC = \frac{D_{\max} - D_{\text{drive}}}{D_{\max}} \times 100\% \quad (1)$$

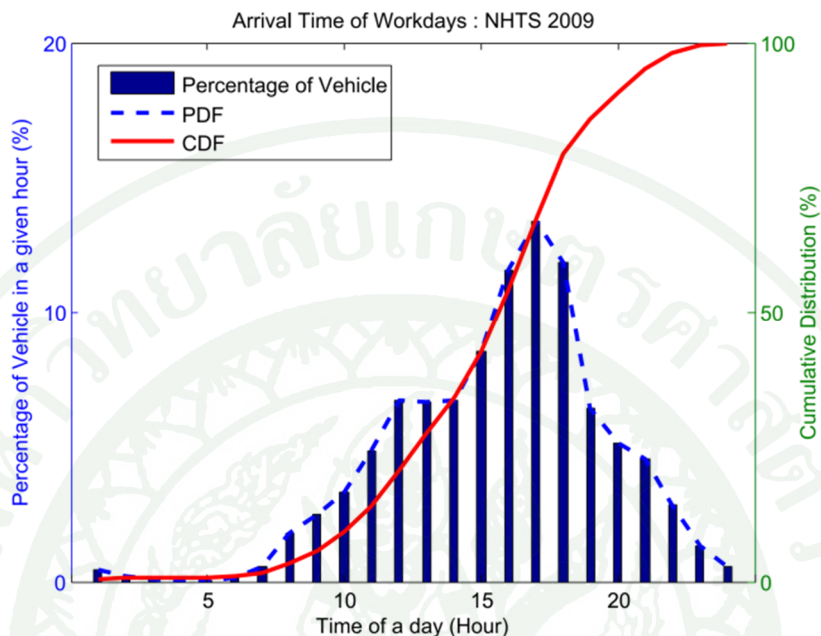
กำหนดให้

$\%SOC$	คือ ระดับค่าพลังงานสะสมคงเหลือ
D_{\max}	คือ ระยะทางมากที่สุดที่รถยนต์ไฟฟ้าสามารถเดินทางได้โดยใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างเดียวก่อนประจุเต็ม 100% (ขึ้นกับขนาดของแบตเตอรี่)
D_{drive}	คือ ระยะทางที่รถยนต์ไฟฟ้าเดินทางในแต่ละวัน

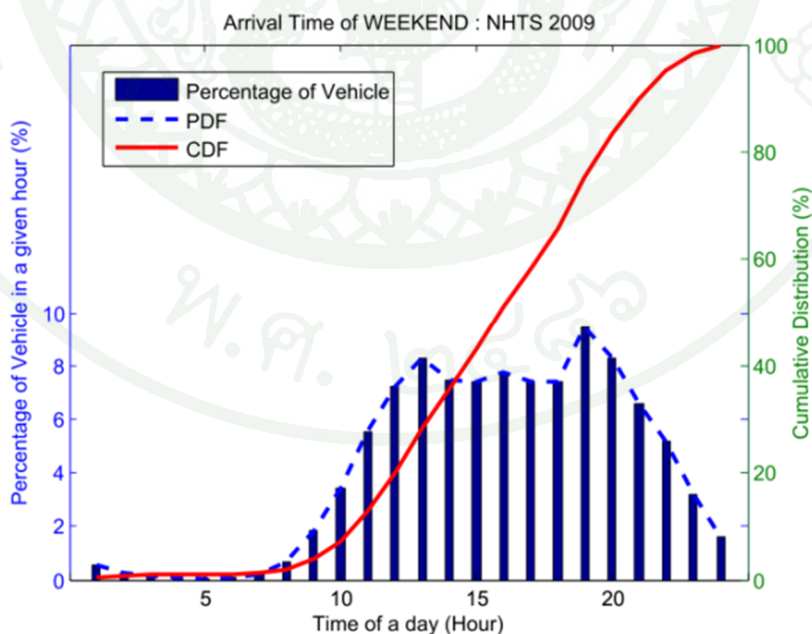
3.2 เวลาในการเข้าชาร์จของรถยนต์ไฟฟ้า

รถยนต์ไฟฟ้าจะเริ่มชาร์จทันทีที่กลับถึงบ้าน เนื่องจากรูปแบบการติดตั้งชุดอุปกรณ์ชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าระดับ 1 (สำหรับติดตั้งในที่อยู่อาศัย) ถูกติดตั้งไว้ที่โรงจอดรถ ทำให้ตั้งสมมติฐานที่ว่าเมื่อกลับถึงบ้านผู้ขับขี่รถยนต์ไฟฟ้าจะทำการเชื่อมต่อรถยนต์ไฟฟ้าเข้าสู่ระบบทันที ดังนั้นเวลาในการเข้าชาร์จของรถยนต์ไฟฟ้าในแต่ละวันจึงมีความสอดคล้องกับเวลาที่ผู้ขับขี่กลับถึงบ้าน

นั่นเอง โดยงานวิจัยนี้ใช้ข้อมูล NHTS 2009 เพื่อหาความน่าจะเป็นในการกลับบ้านที่เวลาต่างๆ ซึ่งแสดงได้ดังภาพที่ 10 และ ภาพที่ 11



ภาพที่ 10 ความน่าจะเป็นในการกลับถึงบ้าน (วันทำงาน) จากข้อมูลสถิติ NHTS 2009



ภาพที่ 11 ความน่าจะเป็นในการกลับถึงบ้าน (วันหยุด) จากข้อมูลสถิติ NHTS 2009

จากภาพที่ 10 แสดงเวลาการเข้าชาร์จของรถยนต์ไฟฟ้าในวันทำงาน ซึ่งจะพบว่ามีค่าความน่าจะเป็นในการชาร์จสูงสุดอยู่ที่ช่วงเวลา 16.00 – 18.00 น. ซึ่งเป็นเวลาที่ผู้ใช้รถยนต์ส่วนใหญ่เดินทางกลับถึงบ้านหลังเลิกงาน และจากภาพที่ 11 แสดงเวลาการเข้าชาร์จของรถยนต์ไฟฟ้าในวันหยุด ซึ่งค่าความน่าจะเป็นของเวลาในการกลับถึงบ้านเพื่อเริ่มชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าโดยเฉลี่ยจะมีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากไม่มีเวลาที่แน่นอนในการเดินทาง ขึ้นอยู่กับกิจกรรมที่ทำในวันหยุด

3.3 เวลาสิ้นสุดการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า

Zhou *et al.* (2014) ได้นำเสนอว่าระยะเวลาในการเชื่อมต่อของรถยนต์ไฟฟ้ามีรูปแบบการกระจายตัวแบบปกติ (Normal Distribution) โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 14 ชั่วโมง และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 4 ชั่วโมง ดังนั้นเวลาสิ้นสุดในการชาร์จสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าแต่ละคัน คือเวลาที่รถยนต์คันดังกล่าวเข้ามาเชื่อมต่อกับระบบ (Arrival Time) บวกระยะเวลารวมทั้งรถยนต์คันนั้นเชื่อมต่อกับเครื่องชาร์จ

4. ระบบการจัดการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่นำเสนอ (Proposed Optimal EVs Charging Scheduling System)

4.1 วิธีการจัดการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่นำเสนอ วิธีที่ 1

เพื่อให้การจัดการระบบการชาร์จมีประสิทธิภาพเพียงพอที่จะสามารถตอบสนองต่อความต้องการของทั้งผู้ใช้ไฟและผู้ให้บริการพลังงานไฟฟ้า งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการจัดการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่สามารถจำกัดการใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุดของระบบได้ตามต้องการ อีกทั้งฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ได้นำเสนอนี้ มีการพิจารณาเวลาที่รถยนต์ไฟฟ้ารอคอยเพื่อเข้าชาร์จ (Waiting Time To Charge) เวลาที่ต้องการใช้ในการชาร์จ (เวลารวมทั้งหมดที่ต้องการจนกระทั่งชาร์จประจุเต็ม 100%) และเวลาสิ้นสุดการชาร์จ (Deadline)

4.1.1 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function)

เป้าหมายของวิธีการที่นำเสนอคือการจัดการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าให้สามารถรองรับจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าที่เข้าเชื่อมต่อได้มากที่สุด โดยคำนึงถึงความเหมาะสมในการเลือกรถยนต์ไฟฟ้าเข้าชาร์จในแต่ละชั่วโมง ในกรณีที่พลังงานในระบบมีไม่เพียงพอกับความต้องการ

โดยมีตัวแปรที่ใช้ในการตัดสินใจเลือกรถยนต์ไฟฟ้าเข้าชาร์จ 3 ตัว คือเวลาที่รถยนต์ไฟฟ้ารอเข้าชาร์จ เวลาที่รถยนต์ไฟฟ้าจะสิ้นสุดการเชื่อมต่อ และตัวแปรสุดท้ายคือเวลาที่รถยนต์ไฟฟ้าแต่ละคันต้องการใช้ในการชาร์จจนทำให้ระดับค่าพลังงานสะสมคงเหลือเต็ม 100% โดยสามารถแสดงฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่น่าเสนอได้ดังสมการ (2)

$$\max \sum_{i=1}^n (W_i x_i + (D_{\max} - D_i) x_i + T_i x_i) \quad (2)$$

กำหนดให้

- n คือ จำนวนรถยนต์ไฟฟ้าที่อยู่ในสถานะเตรียมพร้อม (คัน)
(รถยนต์ไฟฟ้าที่เชื่อมต่ออยู่ในระบบ และรอรับการเลือกเข้าชาร์จ)
- W_i คือ เวลาที่รถยนต์ไฟฟ้าคันที่ i รอเข้ารับการชาร์จ (ชั่วโมง)
- D_{\max} คือ กำหนดเวลา (Deadline) ก่อนปลดการเชื่อมต่อที่มากที่สุด (นาฬิกา)
(พิจารณาเฉพาะกลุ่มของรถยนต์ไฟฟ้าที่อยู่ในสถานะเตรียมพร้อม)
- D_i คือ กำหนดเวลา (Deadline) ที่รถยนต์ไฟฟ้าคันที่ i จะปลดการเชื่อมต่อ
ก่อนออกเดินทางจากบ้านในวันถัดไป (นาฬิกา)
- T_i คือ ระยะเวลาที่รถยนต์ไฟฟ้าคันที่ i ต้องการใช้ในการชาร์จจนทำให้
ระดับค่าพลังงานสะสมคงเหลือเต็ม 100%
- x_i คือ ค่าไบนารี (0,1) ที่ใช้ระบุว่ารถยนต์ไฟฟ้าคันใดจะได้รับเลือกให้เข้า
ชาร์จในชั่วโมงที่พิจารณา โดยที่ 0 คือไม่ได้ชาร์จ, 1 คือได้รับเลือก

4.1.2 เงื่อนไขบังคับ (Constraint)

วิธีการนี้สามารถกำหนดให้การใช้กำลังไฟฟ้ารวมของระบบเมื่อรวมการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าในแต่ละชั่วโมงไม่ให้เกินค่าความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดได้ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ระบบยังมีส่วนเผื่อของกำลังไฟฟ้าสำรอง (Safety Margin) ให้อยู่ในระดับที่สามารถรองรับเหตุการณ์ฉุกเฉินของระบบได้ เช่น การเพิ่มขึ้นของโหลดอย่างทันทีทันใด โดยไม่ทำให้ระบบเกิดปัญหาหรือรุนแรงถึงขั้นไฟดับ เนื่องจากกำลังการผลิตไฟฟ้าไม่เพียงพอต่อความต้องการ หรือกรณีระบบมีความจำเป็นที่จะต้องรองรับการถ่ายโอนโหลดจากวงจรข้างเคียงในกรณีฉุกเฉิน ก็จะไม่

ส่งผลให้ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดเกินกว่าความสามารถในการรองรับภาระโหลดของระบบ ดังนั้นที่เวลาใดๆ พลังงานที่ใช้ในระบบเมื่อรวมโหลดพื้นฐานและโหลดประเภทรถยนต์ไฟฟ้าแล้วจะต้องไม่เกินขีดจำกัดพลังงานสูงสุดดังสมการ (3) และ (4)

$$P_{Quota}^{(k)} = \gamma \cdot P_{max} - P_{baseload}^{(k)} \quad (3)$$

กำหนดให้

$P_{Quota}^{(k)}$ คือ พลังงานที่ระบบสามารถรองรับรถยนต์ไฟฟ้าเข้ามาชาร์จเพิ่ม
ในชั่วโมงที่ k

γ คือ แฟกเตอร์ปรับขีดจำกัดพลังงานสูงสุด (Maximum Power Limitation)

P_{max} คือ ค่าความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดของระบบ

$P_{baseload}^{(k)}$ คือ โหลดพื้นฐานของระบบในชั่วโมงที่ k

$$\sum_{i=1}^n P_i x_i \leq P_{Quota}^{(k)} \quad (4)$$

กำหนดให้

n คือ จำนวนรถยนต์ไฟฟ้าที่อยู่ในสถานะเตรียมพร้อมเข้ารับการชาร์จ

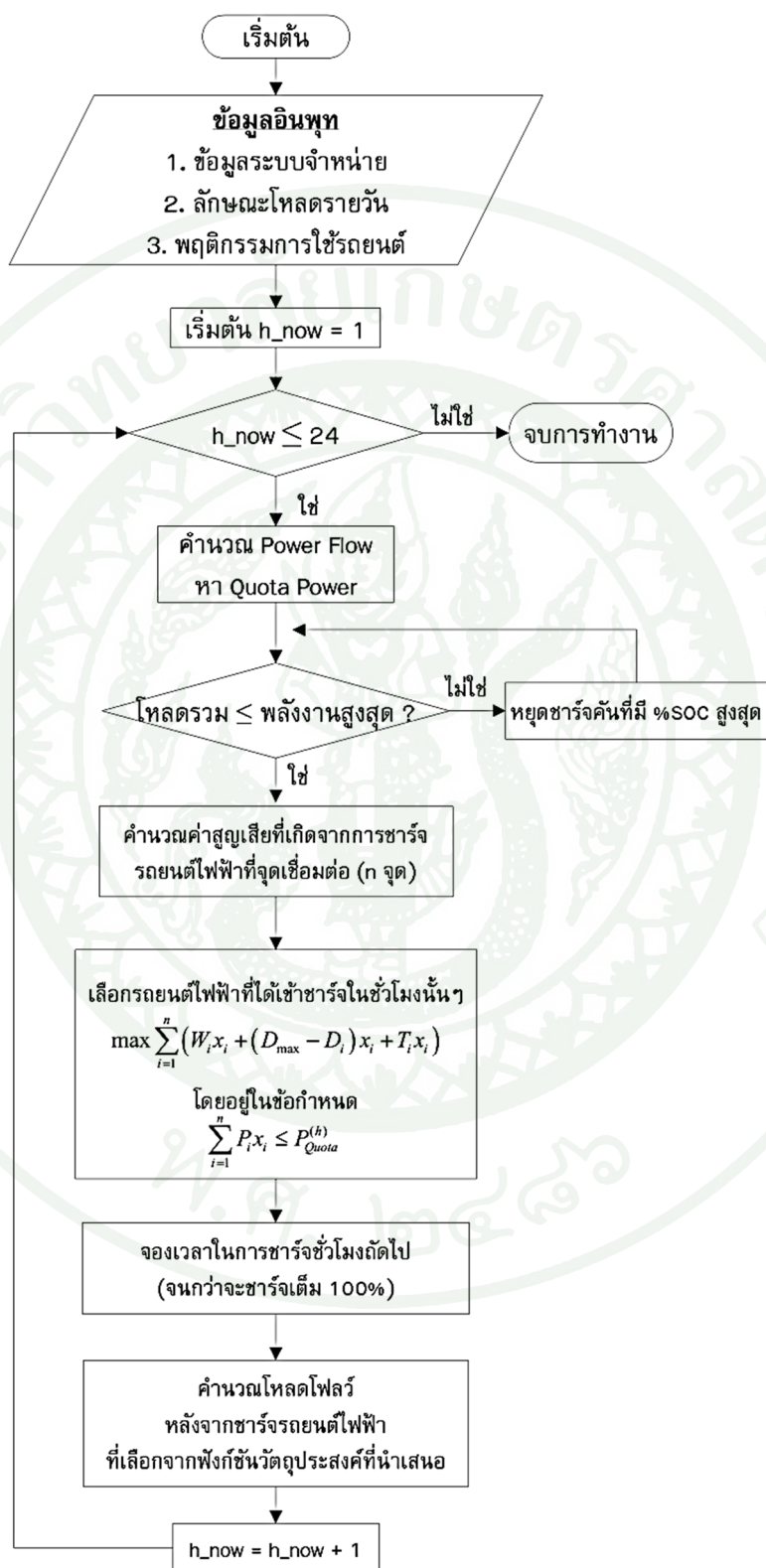
P_i คือ พลังงานที่รถยนต์ไฟฟ้าคันที่ i ต้องการในชั่วโมงที่ k โดยเป็นกำลังไฟฟ้าที่รวมทั้งพิกัดการชาร์จและค่าความสูญเสียที่รถยนต์ไฟฟ้าคันที่ i ทำให้เกิดขึ้นต่อระบบ

x_i คือ ค่าไบนารีที่แสดงว่ารถยนต์ไฟฟ้าคันที่ i มีการชาร์จในชั่วโมงที่ k

4.1.3 แผนผังแสดงขั้นตอนการทำงาน (Flow Chart)

จากฟังก์ชันวัตถุประสงค์และเงื่อนไขบังคับที่นำเสนอ การทดลองในงานวิจัยนี้จะใช้จำนวนรถยนต์ไฟฟ้าที่เชื่อมต่อกับระบบในจำนวนที่ต่างกัน คือ 100 คัน 300 คัน และ 500 คัน

ตามลำดับ ซึ่งขั้นตอนการทำงานสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 12



ภาพที่ 12 แผนผังแสดงขั้นตอนการทำงานของวิธีการจัดการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่น่าเสนอ วิธีที่ 1

จากแผนผังแสดงขั้นตอนการทำงานของวิธีการจัดการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่นำเสนอในภาพที่ 12 สามารถอธิบายโดยละเอียดได้ดังนี้

ก. เลือกระบบที่จะนำมาใช้ในการทดลอง ซึ่งในงานวิจัยนี้ทดลองบนระบบทดสอบ IEEE 69 บัส และวงจรของ กฟภ. (วงจรที่ 5 สฟฟ. หัวหิน 3)

ข. เลือกข้อมูลการใช้กำลังไฟฟ้ารายวัน (Load Profile) เพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลสำหรับการทดลอง โดยใช้ข้อมูลโหลดพื้นที่ให้บริการของ Southern California Edison Regulatory โดยงานวิจัยนี้เลือกข้อมูลวันที่ 29 และ 30 สิงหาคม 2557 เป็นข้อมูลสำหรับโหลดวันทำงานและวันหยุดตามลำดับ

ค. การสร้างรูปแบบการเข้าชาร์จของรถยนต์ไฟฟ้าในที่อยู่อาศัย โดยใช้ข้อมูลระยะทางรวมถึงเวลาในการเดินทางกลับบ้านแต่ละวัน จากข้อมูลเชิงสถิติของ NHTS 2009 ร่วมกับข้อมูลขนาดแบตเตอรี่ของรถยนต์ไฟฟ้าที่ได้รับความนิยมในปัจจุบัน ซึ่งได้มาจากข้อมูลการจำหน่ายรถยนต์ไฟฟ้าของประเทศไทยปี 2014

ง. ทดสอบการจัดการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่นำเสนอ โดยกำหนดจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าที่มาเชื่อมต่อ 3 กรณี คือ 100, 300 และ 500 คันตามลำดับ และเริ่มทดสอบชั่วโมงที่ 1 (เวลา 01.00 น.) และจัดการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าจนกว่าจะครบ 24 ชั่วโมง

1) หากมีรถยนต์ไฟฟ้าที่จองช่วงเวลา (Timeslot) เพื่อชาร์จต่อจากชั่วโมงก่อนหน้า ให้มีสิทธิ์จองพลังงานในระบบก่อน

2) คำนวณค่าการไหลของกำลังไฟฟ้า (Power Flow) และเปรียบเทียบกับพิกัดกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่กำหนดไว้ (Defined Maximum Power) จะทำให้ทราบค่ากำลังไฟฟ้าส่วนที่เหลือ (Quota Power) ที่สามารถรองรับการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าเพิ่มได้

3) การพิจารณากำลังไฟฟ้าส่วนที่เหลือ (Quota Power) แบ่งเป็น 3 กรณีคือ กรณีแรกเป็นกรณีที่กำลังไฟฟ้าส่วนที่เหลือมีค่ามากกว่า 0 kW ระบบจัดการชาร์จ จะเลือกรถยนต์ไฟฟ้าคันที่มีเวลาในการเข้าชาร์จที่น้อยกว่าชั่วโมงที่พิจารณา และยังไม่ถูกเลือกเข้าชาร์จ

(Process_flag = 0) กรณีที่สองเป็นกรณีกำลังไฟฟ้าส่วนที่เหลือมีค่าเท่ากับ 0 kW ระบบจะไม่มีกรเลือกรถยนต์ไฟฟ้าเข้ามาชาร์จเพิ่มในชั่วโมงนี้ และกรณีสุดท้ายเป็นกรณีที่กำลังไฟฟ้าส่วนที่เหลือมีค่าน้อยกว่า 0 kW ระบบจะหยุดการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าบางคัน โดยพิจารณาเลือกหยุดรถยนต์ไฟฟ้าคันที่มีระดับค่าพลังงานสะสมคงเหลือมากที่สุด จนกว่าผลรวมของพลังงานที่ได้จากการหยุดชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าทั้งหมดทำให้กำลังไฟฟ้าส่วนเหลือมีค่ามากกว่า หรือเท่ากับ 0 kW

4) เลือกรถยนต์ไฟฟ้าเข้าชาร์จ โดยมีจุดประสงค์เพื่อให้ได้จำนวนรถยนต์ไฟฟ้าที่เข้าเชื่อมต่อมากที่สุด และไม่ก่อให้เกิดปัญหากับระบบจำหน่าย โดยมีตัวแปรที่ใช้ในการตัดสินใจเลือกรถยนต์ไฟฟ้าเข้าชาร์จ 3 ตัว คือเวลาที่รถยนต์ไฟฟ้ารอเข้าชาร์จ เวลาที่รถยนต์ไฟฟ้าจะสิ้นสุดการเชื่อมต่อ และตัวแปรสุดท้ายคือเวลาที่รถยนต์ไฟฟ้าแต่ละคันต้องการใช้ในการชาร์จ จนทำให้ระดับค่าพลังงานสะสมคงเหลือเต็ม 100% ทั้งนี้ผลลัพธ์ที่ได้จากกระบวนการนี้คือรถยนต์ไฟฟ้าที่ได้รับเลือกให้เริ่มเข้าชาร์จในเวลาที่จะพิจารณา จะส่งค่าผลลัพธ์ x เป็น 1 แต่หากไม่ได้รับเลือกเข้าชาร์จอันเนื่องมาจากระดับพลังงานคงเหลือในระบบมีไม่เพียงพอ ค่า x ของรถยนต์ไฟฟ้าคันที่ไม่ถูกเลือก จะเป็น 0

5) คำนวณค่าการไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบ เพื่อหาค่ากำลังไฟฟ้ารวมและกำลังไฟฟ้าสูญเสีย รวมถึงค่าแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้น เมื่อมีรถยนต์ไฟฟ้าเข้ามาชาร์จตามรูปแบบที่ได้เลือกมา

6) คำนวณที่ชั่วโมงถัดไป และดำเนินการตั้งแต่ขั้นตอนที่ 1) อีกครั้งจนกว่าจะครบ 24 ชั่วโมง

จ. วิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีการจัดการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่นำเสนอ เช่น อัตราพลังงานสูงสุดต่อพลังงานเฉลี่ย (Peak-to-Average Ratio, PAR) ค่าองค์ประกอบการใช้ไฟฟ้า (Load Factor) อัตราเฉลี่ยของระดับค่าพลังงานสะสมคงเหลือ (Average Plug-out SOC) และอัตราการรับประกันการชาร์จตามพิกัด (Guarantee Ratio)

4.2 วิธีการจัดการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่นำเสนอ วิธีที่ 2

เพื่อให้สามารถรับประกันความเพียงพอของระดับค่าพลังงานสะสมคงเหลือที่รถยนต์ไฟฟ้าแต่ละคันจะใช้ในการเดินทางครั้งต่อไปได้ งานวิจัยนี้ได้มีการพัฒนาวิธีการจัดการชาร์จ โดยการใช้ระบบจัดการตามเวลาจริง (Real-Time Scheduling) สำหรับจัดการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า โดยจัดแบ่งรถยนต์ไฟฟ้าออกเป็น 2 กลุ่มตามระดับค่าพลังงานสะสมคงเหลือ กล่าวคือ กำหนดค่าระดับพลังงานสะสมคงเหลือที่ใช้เป็นขีดแบ่ง (Threshold) เช่นกำหนดไว้ที่ 80% จากนั้นแบ่งกลุ่มของรถยนต์ไฟฟ้าคันที่มีระดับค่าพลังงานสะสมคงเหลือน้อยกว่าและมากกว่าค่าดังกล่าว และใช้การถ่วงน้ำหนัก (Weight) เพื่อปรับให้รถยนต์ในกลุ่มแรกซึ่งมีระดับค่าพลังงานสะสมคงเหลือต่ำกว่าค่าที่กำหนด มีแนวโน้มที่จะถูกเลือกเข้าชาร์จมากกว่า

4.2.1 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function)

เป้าหมายของวิธีการที่นำเสนอคือการจัดการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าให้สามารถรองรับจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าที่เข้าเชื่อมต่อได้มากที่สุด โดยที่สามารถชาร์จแบตเตอรี่ให้ได้ระดับค่าพลังงานสะสมคงเหลือเฉลี่ยมากที่สุด เพื่อที่รถยนต์ไฟฟ้าแต่ละคันในระบบจะมีพลังงานเพียงพอต่อการใช้งานในวันถัดไป ดังนั้นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่นำเสนอจะมีตัวแปรที่ใช้ในการตัดสินใจเลือกรถยนต์ไฟฟ้าเข้าชาร์จ 3 ตัว คือเวลาที่รถยนต์ไฟฟ้ารอเข้าชาร์จ เวลาที่รถยนต์ไฟฟ้าจะสิ้นสุดการเชื่อมต่อ และตัวแปรสุดท้ายคือค่าถ่วงน้ำหนักซึ่งสอดคล้องกับระดับค่าพลังงานสะสมคงเหลือของรถยนต์ไฟฟ้าคันที่พิจารณา โดยสามารถแสดงฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่นำเสนอได้ดังสมการ (5)

$$\max \sum_{i=1}^n (\alpha_i \cdot [W_i x_i + (D_{\max} - D_i) x_i]) \quad (5)$$

กำหนดให้

- n คือ จำนวนรถยนต์ไฟฟ้าที่อยู่ในสถานะเตรียมพร้อม (คัน)
(รถยนต์ไฟฟ้าที่เชื่อมต่ออยู่ในระบบ และรอรับการเลือกเข้าชาร์จ)
- W_i คือ เวลาที่รถยนต์ไฟฟ้าคันที่ i รอเข้ารับการชาร์จ (ชั่วโมง)

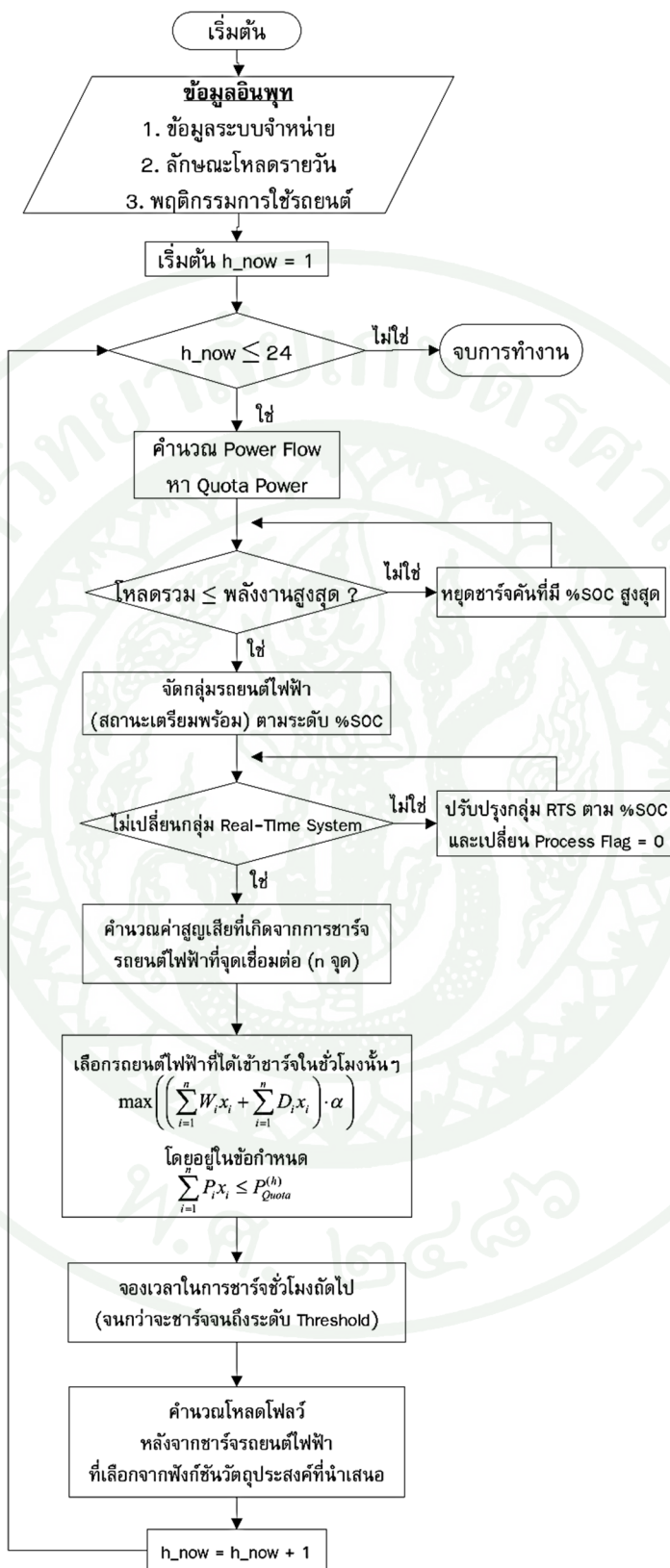
- D_{\max} คือ กำหนดเวลา (Deadline) ก่อนปลดการเชื่อมต่อที่มากที่สุด (นาฬิกา)
(พิจารณาเฉพาะกลุ่มของรถยนต์ไฟฟ้าที่อยู่ในสถานะเตรียมพร้อม)
- D_i คือ กำหนดเวลา (Deadline) ที่รถยนต์ไฟฟ้าคันที่ i จะปลดการเชื่อมต่อ
ก่อนออกเดินทางจากบ้านในวันถัดไป (นาฬิกา)
- x_i คือ ค่าไบนารี (0,1) ที่ใช้ระบุว่ารถยนต์ไฟฟ้าคันใดจะได้รับเลือกให้เข้า
ชาร์จในช่วงเวลาที่พิจารณา โดยที่ 0 คือไม่ได้ชาร์จ, 1 คือได้รับเลือก
- α_i คือ ค่าถ่วงน้ำหนักสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าคันที่ i โดยจะมีค่าขึ้นอยู่กับ
ระดับความแตกต่างของระดับค่าพลังงานสะสมคงเหลือ

4.2.2 เงื่อนไขบังคับ (Constraint)

ใช้เงื่อนไขบังคับเดียวกันกับวิธีที่ 1 (อ้างอิงตามสมการที่ 3 และ 4) กล่าวคือที่
เวลาใดๆ พลังงานที่ใช้ในระบบเมื่อรวมโหลดพื้นฐานและโหลดประเภทรถยนต์ไฟฟ้าแล้วจะต้อง
ไม่เกินขีดจำกัดพลังงานสูงสุด เพื่อให้ระบบยังมีส่วนเผื่อของกำลังไฟฟ้าอยู่ในระดับที่สามารถ
รองรับเหตุการณ์ฉุกเฉินของระบบได้

4.2.3 แผนผังแสดงขั้นตอนการทำงาน (Flow Chart)

จากฟังก์ชันวัตถุประสงค์และเงื่อนไขบังคับที่นำเสนอ การทดลองในงานวิจัยนี้
จะทำการพิจารณาปริมาณรถยนต์ไฟฟ้าที่เข้าเชื่อมต่อกับระบบในจำนวนที่ต่างกัน คือ 100 คัน 300
คัน และ 500 คันตามลำดับ ซึ่งขั้นตอนการทดลองแสดงได้ดังภาพที่ 13



ภาพที่ 13 แผนผังแสดงขั้นตอนการทำงานของวิธีการจัดการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่นำเสนอ วิธีที่ 2

จากแผนผังแสดงขั้นตอนการทำงานของวิธีการจัดการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่นำเสนอในภาพที่ 13 สามารถอธิบายขั้นตอนโดยละเอียดได้ดังนี้

ก. เลือกระบบที่จะนำมาใช้ในการทดลอง ซึ่งในงานวิจัยนี้ทดลองบนระบบทดสอบ IEEE 69 บัส และวงจรของ กฟภ. (วงจรที่ 5 สฟฟ. หัวหิน 3)

ข. เลือกข้อมูลการใช้กำลังไฟฟ้ารายวัน (Load Profile) เพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลสำหรับการทดลอง โดยงานวิจัยนี้เลือกข้อมูลวันที่ 29 และ 30 สิงหาคม 2557 เป็นข้อมูลสำหรับโหลดวันทำงานและวันหยุดตามลำดับ

ค. การสร้างรูปแบบการเข้าชาร์จของรถยนต์ไฟฟ้าในที่อยู่อาศัย โดยใช้ข้อมูลระยะทางรวมถึงเวลาในการเดินทางกลับบ้านแต่ละวัน จากข้อมูลเชิงสถิติของ NHTS 2009 ร่วมกับข้อมูลขนาดแบตเตอรี่ของรถยนต์ไฟฟ้าที่ได้รับความนิยมในปัจจุบัน ซึ่งได้มาจากข้อมูลการจำหน่ายรถยนต์ไฟฟ้าของประเทศสหรัฐอเมริกาปี 2014

ง. ทดสอบการจัดการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่นำเสนอ โดยกำหนดจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าที่มาเชื่อมต่อ 3 กรณี คือ 100, 300 และ 500 คันตามลำดับ และเริ่มทดสอบชั่วโมงที่ 1 (เวลา 01.00 น.) และจัดการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าจนกว่าจะครบ 24 ชั่วโมง

1) หากมีรถยนต์ไฟฟ้าที่จองช่วงเวลา (Timeslot) เพื่อชาร์จต่อจากชั่วโมงก่อนหน้า ให้มีสิทธิ์จองพลังงานในระบบก่อน

2) คำนวณค่าการไหลของกำลังไฟฟ้า (Power Flow) และเปรียบเทียบกับพิกัดกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่กำหนดไว้ (Defined Maximum Power) จะทำให้ทราบค่ากำลังไฟฟ้าส่วนที่เหลือ (Quota Power) ที่สามารถรองรับการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าเพิ่มได้

3) การพิจารณากำลังไฟฟ้าส่วนที่เหลือ (Quota Power) แบ่งเป็น 3 กรณีคือ กรณีแรกเป็นกรณีที่กำลังไฟฟ้าส่วนที่เหลือมีค่ามากกว่า 0 kW ระบบจัดการชาร์จ จะเลือกรถยนต์ไฟฟ้าคันที่มีเวลาในการเข้าชาร์จที่น้อยกว่าชั่วโมงที่พิจารณา และยังไม่ถูกเลือกเข้าชาร์จ (Process_flag = 0) กรณีที่สองเป็นกรณีที่กำลังไฟฟ้าส่วนที่เหลือมีค่าเท่ากับ 0 kW ระบบจะไม่มีทางเลือกรถยนต์ไฟฟ้าเข้ามาชาร์จเพิ่มในชั่วโมงนี้ และกรณีสุดท้ายเป็นกรณีที่กำลังไฟฟ้าส่วนที่เหลือมี

ค่าน้อยกว่า 0 kW ระบบจะหยุดการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าบางคัน โดยพิจารณาเลือกหยุดรถยนต์ไฟฟ้าคันที่มีระดับค่าพลังงานสะสมคงเหลือมากที่สุด จนกว่าผลรวมของพลังงานที่ได้จากการหยุดชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าทั้งหมดทำให้กำลังไฟฟ้าส่วนเหลือมีค่ามากกว่า หรือเท่ากับ 0 kW

4) เลือกรถยนต์ไฟฟ้าเข้าชาร์จ โดยที่มีจุดประสงค์เพื่อให้ได้จำนวนรถยนต์ไฟฟ้าเข้าชาร์จในแต่ละชั่วโมงมากที่สุด และไม่ก่อให้เกิดปัญหาให้กับระบบจำหน่าย โดยพิจารณาจากเวลาในการเข้าชาร์จ เวลาในการรอคอยการเข้าชาร์จ เวลาสิ้นสุดการชาร์จ รวมไปถึงระดับค่าพลังงานสะสมคงเหลือของรถยนต์ไฟฟ้าแต่ละคัน โดยในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการกำหนดค่าความสำคัญ โดยการแบ่งกลุ่มของรถยนต์ไฟฟ้าตามระดับค่าพลังงานสะสมคงเหลือซึ่งกำหนดขีดแบ่งระดับค่าพลังงานสะสมคงเหลือไว้ที่ 90% แต่ทั้งนี้เมื่อนำไปใช้งานจริง ก็สามารถเปลี่ยนแปลงได้ โดยที่รถยนต์ไฟฟ้าคันที่มีระดับค่าพลังงานสะสมคงเหลือต่ำกว่าค่าที่กำหนด จะถูกจัดให้อยู่ในกลุ่ม HRTS ซึ่งมีการกำหนดค่าลำดับความสำคัญสูงกว่า มีโอกาสได้รับเลือกให้เข้าชาร์จมากกว่า และรถยนต์ไฟฟ้าคันที่มีระดับค่าพลังงานสะสมคงเหลือมากกว่าค่าที่กำหนด ก็จะถูกจัดให้อยู่ในกลุ่ม SRTS ซึ่งเป็นกลุ่มที่มีโอกาสถูกเลือกเข้าชาร์จน้อยกว่ากลุ่ม HRTS เพราะมีระดับค่าพลังงานสะสมคงเหลือเพียงพอที่จะใช้งานได้ในวันถัดไป ทั้งนี้ผลลัพธ์ที่ได้จากกระบวนการนี้คือรถยนต์ไฟฟ้าที่ได้รับเลือกให้เริ่มเข้าชาร์จในเวลาที่จะพิจารณา จะส่งค่าผลลัพธ์ x เป็น 1 แต่หากไม่ได้รับเลือกเข้าชาร์จอันเนื่องมาจากระดับพลังงานคงเหลือในระบบมีไม่เพียงพอ ค่า x ของรถยนต์ไฟฟ้าคันที่ไม่ถูกเลือก จะเป็น 0

5) คำนวณค่าการไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบ เพื่อหาค่ากำลังไฟฟ้ารวมและกำลังไฟฟ้าสูญเสีย รวมถึงค่าแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้น เมื่อมีรถยนต์ไฟฟ้าเข้ามาชาร์จตามรูปแบบที่ได้เลือกมา

6) จำนวนที่ชั่วโมงถัดไป และดำเนินการตั้งแต่ขั้นตอนที่ 1) อีกครั้งจนกว่าจะครบ 24 ชั่วโมง

จ. วิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีการจัดการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่นำเสนอ เช่น อัตราพลังงานสูงสุดต่อพลังงานเฉลี่ย ค่าองค์ประกอบการใช้ไฟฟ้า อัตราเฉลี่ยของระดับค่าพลังงานสะสมคงเหลือ และอัตราการรับประกันการชาร์จตามปกติ

5. กรณีศึกษา (Case Study)

การจำลองแบ่งกรณีศึกษาออกเป็น 3 กรณี คือ

5.1 จำลองเหตุการณ์กรณีที่ไม่มีการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า (Base case)

การจำลองกรณีนี้จะเป็นการจำลองรันเพาเวอร์โพล์ของทั้งระบบทดสอบ IEEE 69 บัส และวงจรที่ 5 สถานีไฟฟ้าห้วยหิน 3 เพื่อวิเคราะห์แรงดันไฟฟ้าในเวลาต่างๆ รวมถึงค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าขณะที่ไม่มีการเชื่อมต่อรถยนต์ไฟฟ้าเข้ามาในระบบ เพื่อนำค่าความต้องการกำลังไฟฟ้านี้ไปเปรียบเทียบกับค่าความต้องการกำลังไฟฟ้ากรณีที่มีการเชื่อมต่อรถยนต์ไฟฟ้าเข้ามา

5.2 จำลองเหตุการณ์การชาร์จรถยนต์ไฟฟ้ากรณีไม่มีการควบคุม (Uncontrolled Charging)

การจำลองกรณีนี้จะเป็นการจำลองรันเพาเวอร์โพล์ของทั้งระบบทดสอบ IEEE 69 บัส และวงจรที่ 5 สถานีไฟฟ้าห้วยหิน 3 กรณีที่มีรถยนต์ไฟฟ้าจำนวน 100, 300 และ 500 คัน เข้ามาเชื่อมต่อในระบบโดยไม่มีการควบคุม เพื่อให้ได้ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าไปเปรียบเทียบผลกับค่าความต้องการกำลังไฟฟ้ากรณีที่ไม่มีการเชื่อมต่อรถยนต์ไฟฟ้า

5.3 จำลองเหตุการณ์การชาร์จรถยนต์ไฟฟ้ากรณีมีรถยนต์ 100, 300 และ 500 คัน โดยใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่นำเสนอวิธีที่ 1 และวิธีที่ 2

การจำลองกรณีนี้จะเป็นการจำลองรันเพาเวอร์โพล์ของทั้งระบบทดสอบ IEEE 69 บัส และวงจรที่ 5 สถานีไฟฟ้าห้วยหิน 3 กรณีที่มีรถยนต์ไฟฟ้าจำนวน 100, 300 และ 500 คัน เข้ามาเชื่อมต่อในระบบตามลำดับ โดยใช้วิธีการจัดการชาร์จที่นำเสนอวิธีที่ 1 และวิธีที่ 2 โดยแยกการทดสอบระหว่างวันทำงานและวันหยุด วิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้โดยใช้พารามิเตอร์เปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการจัดการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า เช่น อัตราพลังงานสูงสุดต่อพลังงานเฉลี่ย ค่าองค์ประกอบการใช้ไฟฟ้า อัตราเฉลี่ยของระดับค่าพลังงานสะสมคงเหลือ และอัตราการรับประกันการชาร์จตามปกติ และทำการเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่มีการเชื่อมต่อรถยนต์ไฟฟ้า และกรณีที่มีการจัดการชาร์จด้วยวิธีอื่น

ผลและวิจารณ์

ผล

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองสำหรับแบบจำลองระบบ 2 แบบ ได้แก่ระบบ IEEE 69 บัส และระบบจำหน่ายของ กฟภ. (สฟฟ.หัวหิน 3 วงจรที่ 5) โดยมีการจำลองการเชื่อมต่อรถยนต์ไฟฟ้าเข้ากับบัสต่างๆ ด้วยการแจกแจงเอกกรูป (Uniform Distribution) จึงทำให้ทุกบัสมีความน่าจะเป็นที่จะมีรถยนต์ไฟฟ้าเข้ามาเชื่อมต่อในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน โดยรูปแบบการเข้าเชื่อมต่อนั้นใช้พฤติกรรมการกลับบ้านที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลการเดินทางของ NHTS 2009 และทำการปรับเปลี่ยนจำนวนของรถยนต์ไฟฟ้าที่เชื่อมต่อตั้งแต่ 100 คัน 300 คัน และ 500 คันตามลำดับ เพื่อให้เห็นถึงความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นต่อระบบไฟฟ้าเมื่อมีและไม่มีวิธีการจัดการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่นำเสนอ

1. ผลการจำลองกรณีที่ไม่มีการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า (Base case)

เนื่องจากวิทยานิพนธ์นี้ ทำการทดสอบบนระบบ IEEE 69 บัส และระบบจำหน่ายวงจรที่ 5 สถานีไฟฟ้าหัวหิน 3 ของ กฟภ. ดังนั้นผลการจำลองกรณีที่ไม่มีการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า จึงแบ่งออกเป็น 2 กรณีตามระบบทดสอบ ดังนี้

1.1 ระบบทดสอบ IEEE 69 บัส

จำลองระบบเดิมก่อนที่จะมีการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าเข้ามา โดยพิจารณาตัวแปรที่แตกต่างกัน เพื่อเป็นกรณีเปรียบเทียบให้เห็นถึงความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับระบบ ในการจำลองนี้ใช้รูปแบบการใช้กำลังไฟฟ้า 24 ชั่วโมง ของ Southern California Edison Regulatory โดยมีการแบ่งรูปแบบในวันทำงานและวันหยุด ซึ่งช่วงเวลาที่ระบบมีความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดในวันทำงานจะอยู่ที่ช่วงเวลา 16.00 – 17.00 น. และอยู่ที่เวลา 20.00 น. ในวันหยุด ดังแสดงใน ตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ตัวแปรของระบบทดสอบ IEEE 69 บัส ก่อนมีรถยนต์ไฟฟ้าเข้าชาร์จ

ตัวแปรที่พิจารณา	วันทำงาน	วันหยุด
ความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดของระบบ (Peak Demand)	3,972.98 kW	1,807.64 kW
ค่าเฉลี่ยความต้องการกำลังไฟฟ้า (Average Demand)	2,447.92 kW	1,218.09 kW
อัตราพลังงานสูงสุดต่อพลังงานเฉลี่ย (PAR)	1.623	1.484
ค่าองค์ประกอบการใช้ไฟฟ้า (LF)	0.616	0.674

1.2 ระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

จำลองระบบเดิมก่อนที่จะมีการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าเข้ามา โดยพิจารณาตัวแปรที่แตกต่างกัน เพื่อเป็นกรณีเปรียบเทียบให้เห็นถึงความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับระบบ ในการจำลองนี้ใช้รูปแบบการใช้กำลังไฟฟ้าของวงจรที่ 5 สฟฟ.หัวหิน 3 โดยมีการแบ่งรูปแบบในวันทำงานและวันหยุดเช่นเดียวกัน ซึ่งช่วงเวลาที่ระบบมีความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดในวันทำงานจะอยู่ที่ช่วงเวลา 20.00 – 22.00 น. และอยู่ที่ช่วงเวลา 20.00 – 21.00 น. ในวันหยุด ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ตัวแปรของระบบจำหน่ายของ กฟภ. ก่อนมีรถยนต์ไฟฟ้าเข้าชาร์จ

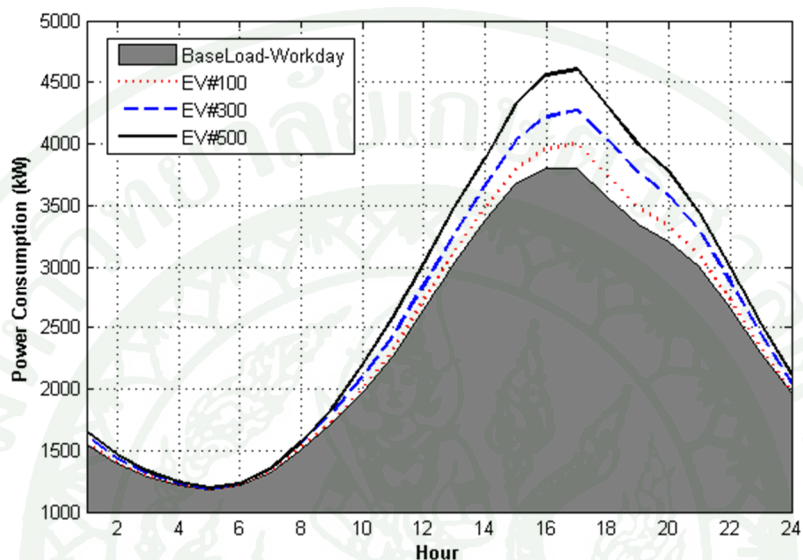
ตัวแปรที่พิจารณา	วันทำงาน	วันหยุด
ความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดของระบบ (Peak Demand)	4,864.98 kW	7,068.48 kW
ค่าเฉลี่ยความต้องการกำลังไฟฟ้า (Average Demand)	2,786.36 kW	5,543.91 kW
อัตราพลังงานสูงสุดต่อพลังงานเฉลี่ย (PAR)	1.746	1.275
ค่าองค์ประกอบการใช้ไฟฟ้า (LF)	0.851	0.784

2. ผลการจำลองการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้ากรณีไม่มีการควบคุม (Uncontrolled Charging)

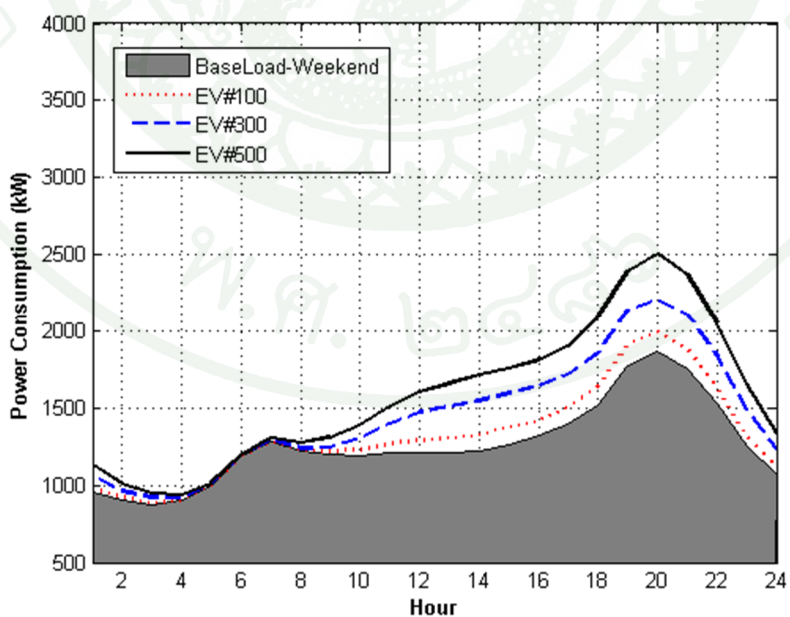
จำลองรูปแบบการเข้าชาร์จของรถยนต์ไฟฟ้าที่บัสต่างๆ โดยกำหนดจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าที่เข้าเชื่อมต่อกับระบบจำนวน 100 คัน 300 คัน และ 500 คัน โดยแบ่งกรณีทดลองเป็น 2 รูปแบบ ตามการใช้กำลังไฟฟ้าคือวันทำงานและวันหยุด ซึ่งทั้งสองแบบนี้ มีรูปแบบการเข้าชาร์จของรถยนต์

ไฟฟ้าที่แตกต่างกันด้วย ทั้งยังทำการทดสอบบนระบบ IEEE 69 บัส และระบบจำหน่ายของ กฟภ. ซึ่งผลการทดลองที่ได้แบ่งออกเป็น 2 กรณีตามการทดลองที่แบ่งตามระบบทดสอบ ดังนี้

2.1 ระบบทดสอบ IEEE 69 บัส



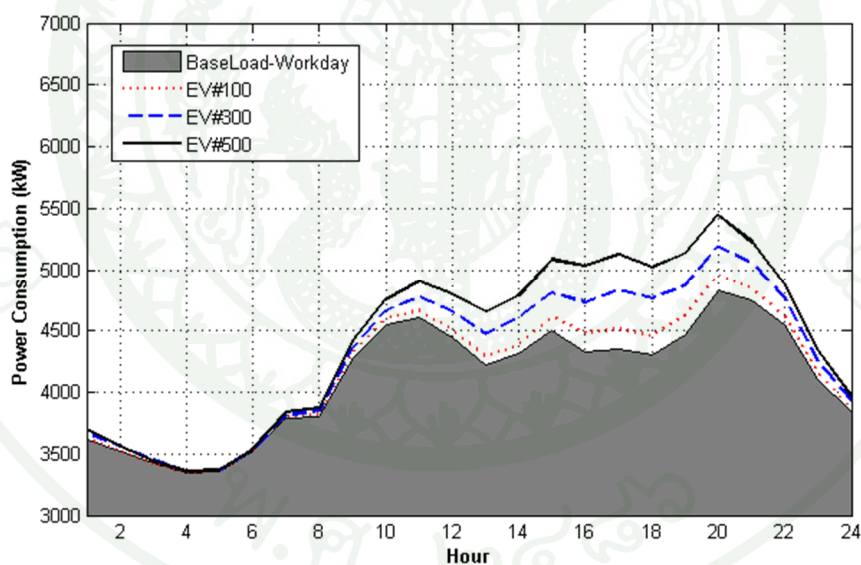
ภาพที่ 14 ลักษณะการใช้ไฟฟ้าในวันทำงาน เมื่อมีรถยนต์ไฟฟ้าเชื่อมต่อโดยไม่มีการจัดการชาร์จ



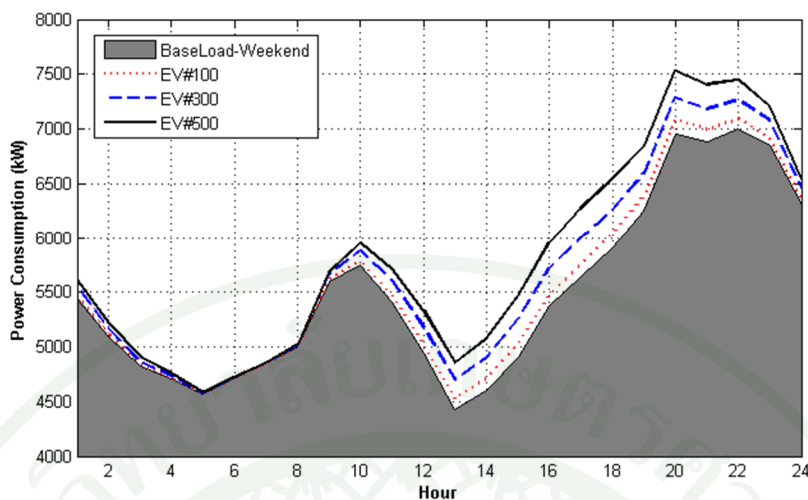
ภาพที่ 15 ลักษณะการใช้ไฟฟ้าในวันหยุด เมื่อมีรถยนต์ไฟฟ้าเชื่อมต่อโดยไม่มีการจัดการชาร์จ

2.2 ระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

เนื่องจากพื้นที่ให้บริการของวงจรที่ 5 สฟฟ.หัวหิน 3 เป็นพื้นที่ท่องเที่ยว ดังนั้นความต้องการกำลังไฟฟ้าในวันหยุดจะสูงกว่าปกติ จากข้อมูลจะพบว่าการใช้ไฟฟ้าในช่วงที่มีความต้องการสูงสุดในวันหยุดจะสูงกว่าวันธรรมดาถึง 2.2 MW เมื่อใช้พฤติกรรมกรเข้าชาร์จที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลของ NHTS 2009 จะทำให้โหลดสูงสุดของวันหยุดที่เพิ่มขึ้น ไม่สูงเท่ากรณีระบบทดสอบ IEEE 69 บัส แต่จากผลการทดลองที่ได้ ถึงแม้จะไม่เกิดความรุนแรงมากนัก แต่หากไม่มีการจัดการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า เมื่อมีจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าที่เข้าเชื่อมต่อกับระบบมากขึ้นเรื่อยๆ ก็จะทำให้ระบบมีแนวโน้มที่จะประสบปัญหาความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดเกินความสามารถในการรองรับภาระโหลดของระบบอย่างแน่นอน โดยลักษณะการใช้ไฟฟ้าในวันธรรมดาและวันหยุดของวงจรที่ 5 สฟฟ.หัวหิน 3 เมื่อมีรถยนต์ไฟฟ้าเชื่อมต่อโดยไม่มีการจัดการชาร์จ แสดงได้ดังภาพที่ 16 และภาพที่ 17 ตามลำดับ



ภาพที่ 16 ลักษณะการใช้ไฟฟ้าในวันทำงาน เมื่อมีรถยนต์ไฟฟ้าเชื่อมต่อโดยไม่มีการจัดการชาร์จ



ภาพที่ 17 ลักษณะการใช้ไฟฟ้าในวันหยุด เมื่อมีรถยนต์ไฟฟ้าเชื่อมต่อโดยไม่มีการจัดการชาร์จ

จากการทดลองการเข้ามาของรถยนต์ไฟฟ้าพบว่า เมื่อไม่มีการจัดการชาร์จ รถยนต์ไฟฟ้าจะเริ่มชาร์จทันทีเมื่อกลับถึงบ้านตามพฤติกรรมการเดินทางที่ได้จำลองไว้ ซึ่งเป็นช่วงเวลาเดียวกันกับที่ระบบมีความต้องการใช้กำลังไฟฟ้าสูงอยู่แล้ว จึงทำให้การเข้ามาของรถยนต์ไฟฟ้าที่ไม่มีการจัดการชาร์จเพิ่มค่าความต้องการใช้กำลังไฟฟ้าสูงขึ้น โดยเฉพาะในช่วงเวลาที่ความต้องการใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุด และเมื่อเพิ่มจำนวนรถยนต์ไฟฟ้ามากขึ้น ทั้งระบบ IEEE 69 บัส และวงจรที่ 5 ของ สฟฟ.หัวหิน 3 นั้นจะพบว่า การเข้ามาของรถยนต์ไฟฟ้าจะใกล้เคียงกับช่วงเวลาที่ความต้องการใช้กำลังไฟฟ้าของระบบสูงอยู่แล้ว จึงทำให้ค่าความต้องการใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุดของระบบเพิ่มสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัด และระดับความรุนแรงจะเพิ่มขึ้นตามจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าที่เข้าเชื่อมต่อในระบบอีกด้วย ซึ่งจากผลการทดลองจะพบว่าอัตราพลังงานสูงสุดต่อพลังงานเฉลี่ยจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นทุกกรณี เนื่องจากเป็นผลมาจากระดับพลังงานสูงสุดที่เพิ่มมากขึ้นเมื่อมีจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าเชื่อมต่อเข้ามาในระบบเพิ่มมากขึ้น และค่าองค์ประกอบการใช้ไฟฟ้ามีค่าต่ำลง ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงพฤติกรรมการใช้โหลด จะพบว่าเมื่อไม่มีการจัดการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า จะทำให้มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ต่ำลง

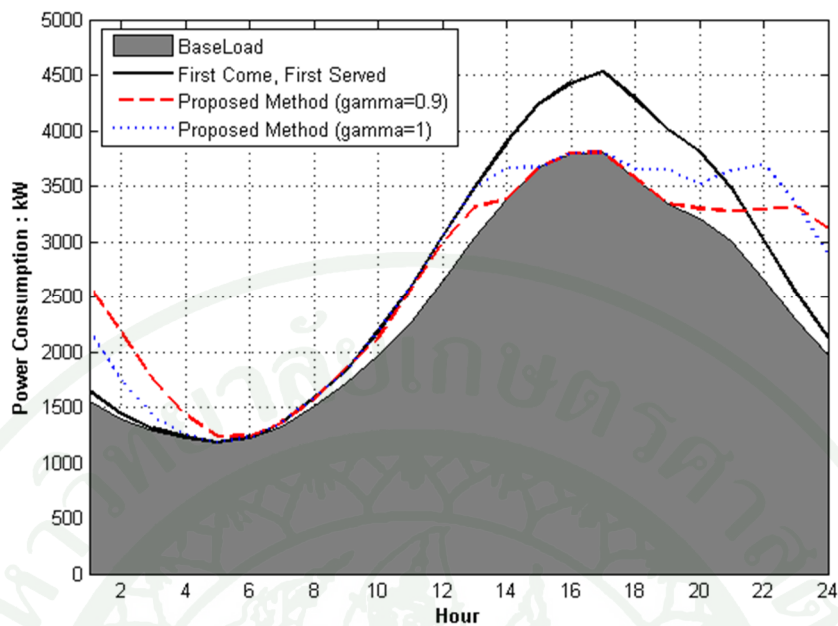
3. ผลการจำลองการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าจำนวน 100, 300 และ 500 คัน โดยใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่นำเสนอวิธีที่ 1 และวิธีที่ 2 เทียบกับกรณีที่ไม่มีการจัดการชาร์จ

เนื่องจากวิธีการจัดการชาร์จทั้ง 2 วิธี มีข้อได้เปรียบที่แตกต่างกัน ซึ่งวิธีที่ 1 จะมีจุดเด่นที่สามารถจัดสรรพลังงานที่มีอยู่อย่างจำกัด โดยพิจารณาถึงความยุติธรรม (Fairness) ในการเลือกรถยนต์ไฟฟ้าเข้าชาร์จ เช่น หากคันใดที่มีระดับค่าพลังงานสะสมคงเหลือน้อยกว่า จะมีสิทธิ์ที่จะถูกเลือกก่อน หรือรถยนต์ไฟฟ้าคันที่เข้ามารอนานกว่า นั่นคือเข้ามาชาร์จก่อน ก็สมควรที่จะได้รับเลือกก่อนเช่นกัน แต่ทั้งนี้เมื่อรถยนต์ไฟฟ้าถูกเลือกเข้าชาร์จแล้ว วิธีที่ 1 จะไม่มีการหยุดชาร์จจนกว่ารถยนต์คันดังกล่าว จะมีระดับค่าพลังงานสะสมคงเหลือเต็ม 100% นั่นทำให้กรณีที่ระบบมีพลังงานสำหรับชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าทั้งระบบไม่เพียงพอ จะทำให้รถยนต์ไฟฟ้าที่เข้าชาร์จมีบางคันได้เต็ม 100% แต่บางคันอาจไม่ถึงระดับที่เพียงพอจะใช้งานในวันถัดไปได้

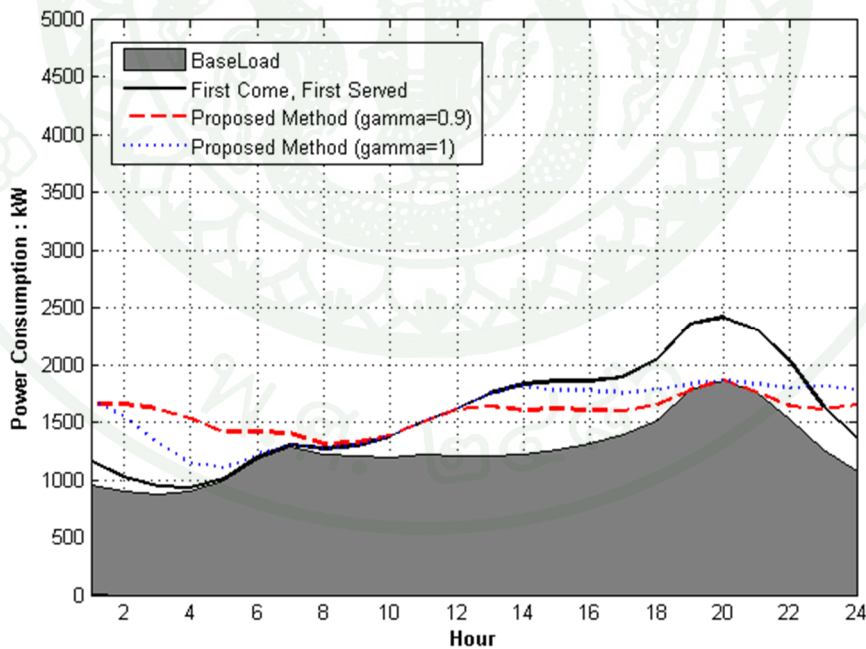
เมื่อพิจารณาถึงระดับค่าพลังงานสะสมคงเหลือที่เพียงพอจะใช้งานในวันถัดไป นั่นคือเพียงพอที่จะใช้เดินทางประมาณ 40 - 50 ไมล์ (ประมาณ 65 - 80 กิโลเมตร) และระดับค่าพลังงานสะสมคงเหลือที่บริษัทผู้ผลิตรถยนต์ไฟฟ้านำเสนอเพื่อทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน (Li-Ion) มีอายุการใช้งานที่นานที่สุด ซึ่งเป็นระดับค่าพลังงานสะสมคงเหลือที่อยู่ในช่วง 20 - 80% (Marra *et al.*, 2010) ทำให้ผู้วิจัยคิดพิจารณาการจัดการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่สามารถจัดสรรพลังงานให้อยู่ในระดับที่เพียงพอจะใช้งานในวันถัดไปได้ทุกคัน แม้ว่าระบบจะมีพลังงานไม่เพียงพอสำหรับชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าได้เต็มทุกคันก็ตาม

3.1 ระบบทดสอบ IEEE 69 บัส

เมื่อนำวิธีการจัดการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่นำเสนอในงานวิจัยนี้มาช่วยในการจัดการชาร์จ จะเห็นได้ว่าสามารถที่จะควบคุมค่าความต้องการใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุดของระบบให้มีค่าเท่ากับค่าความต้องการใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุดของระบบก่อนที่จะมีการเข้ามาของรถยนต์ไฟฟ้าได้ โดยวิธีการที่นำเสนอจะมีการจัดลำดับและจังหวะการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่เหมาะสม อีกทั้งยังสามารถควบคุมค่าความต้องการใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุดของระบบได้ตามที่ต้องการ ทั้งนี้ลักษณะการใช้ไฟฟ้าเมื่อมีวิธีการจัดการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าจำนวน 500 คัน ในวันทำงานและวันหยุดเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่มีการจัดการชาร์จ สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 18 และภาพที่ 19 ตามลำดับ

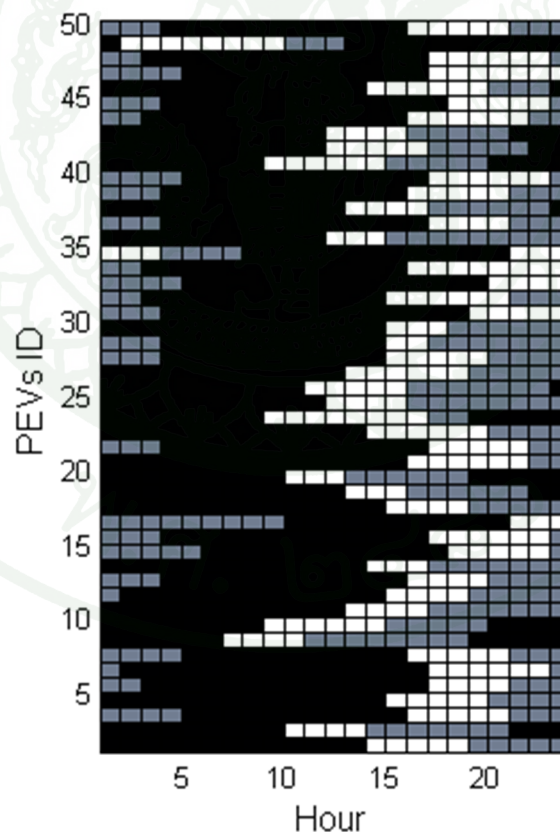


ภาพที่ 18 ลักษณะการใช้ไฟฟ้าของระบบทดสอบ IEEE 69 บัส เมื่อมีและไม่มีวิธีการจัดการชาร์จกรณีมีรถยนต์ไฟฟ้าเชื่อมต่อจำนวน 500 คันในวันทำงาน

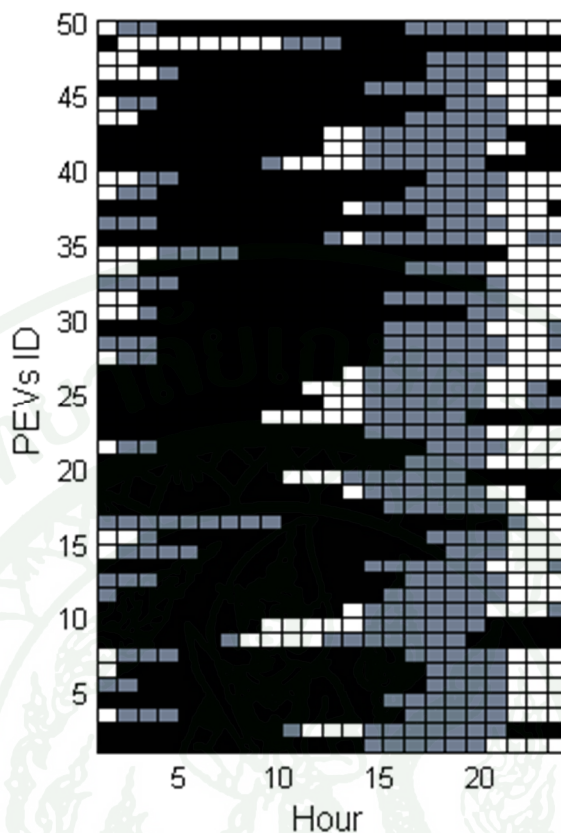


ภาพที่ 19 ลักษณะการใช้ไฟฟ้าของระบบทดสอบ IEEE 69 บัส เมื่อมีและไม่มีวิธีการจัดการชาร์จกรณีมีรถยนต์ไฟฟ้าเชื่อมต่อจำนวน 500 คันในวันหยุด

จาก ภาพที่ 18 และ ภาพที่ 19 แสดงให้เห็นถึงลักษณะการใช้ไฟฟ้าเมื่อมีวิธีการจัดการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า (โดยฟังก์ชันที่นำเสนอวิธีที่ 1) ทั้งในวันทำงานและวันหยุด ซึ่งจากทั้งสองรูปข้างต้น เส้นประแทนค่าความต้องการใช้กำลังไฟฟ้าที่เกิดจากวิธีการจัดการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า จะเห็นว่าค่าความต้องการใช้กำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นจากการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าจะมีค่าไม่เกินค่าความต้องการใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุดเดิมของระบบ ซึ่งในการทดลองนี้ กำหนดให้แฟกเตอร์ปรับขีดจำกัดพลังงานสูงสุด มีค่าเท่ากับ 0.9 เท่าของค่าความต้องการใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุด ($\gamma = 0.9$) และเท่ากับค่าความต้องการใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุดเดิม ($\gamma = 1$) เพื่อดูรูปแบบการกระจายตัวของการใช้งานกำลังไฟฟ้าในแต่ละชั่วโมง อีกทั้งยังต้องการดูผลที่ได้ในรูปแบบของตัวแปรต่างๆ ตามที่ได้กล่าวมาข้างต้นอีกด้วย โดยค่าความต้องการใช้กำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าจะมีลักษณะกระจายออกไปในช่วงเวลาที่ไม่ตรงกับค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดของระบบ ดังนั้นจึงสะท้อนให้เห็นถึงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของระบบที่ถูกปรับปรุงให้ดีขึ้นด้วย โดยรูปแบบการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 20 และ ภาพที่ 21



ภาพที่ 20 รูปแบบการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า 50 คัน ที่ไม่มีการจัดการชาร์จ



ภาพที่ 21 รูปแบบการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า 50 คัน ที่จัดการชาร์จด้วยวิธีการที่นำเสนอ วิธีที่ 1

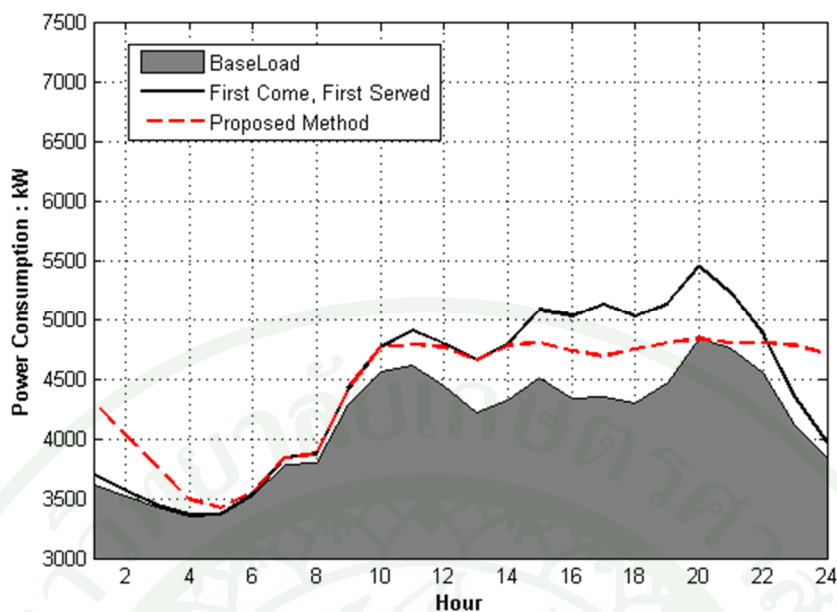
จากภาพที่ 20 และ ภาพที่ 21 แสดงรูปแบบการชาร์จ PEVs จำนวน 50 คัน (เลือกแสดงผล 50 คัน) เปรียบเทียบกรณีที่มีและไม่มีการจัดการชาร์จ โดยแกน x แสดงเวลา และแกน y แสดงหมายเลขของรถยนต์ไฟฟ้า ซึ่งวิธีการที่นำเสนอจะมีการระบุช่วงเวลาที่ยานยนต์ไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบ (Plug-in Duration) ซึ่งแทนด้วยช่อง (Timeslot) สีขาว ส่วนเวลาที่ไม่มีการเชื่อมต่อแทนด้วยช่องสีดำ ทั้งนี้ หากรถยนต์ไฟฟ้าได้เข้าชาร์จจะแทนด้วยช่องสีเทา จากภาพที่ 20 แสดงให้เห็นถึงรูปแบบการชาร์จกรณีที่ไม่มีการจัดการชาร์จที่ช่วงเวลาต่างๆ ดังนั้นเมื่อรถยนต์ไฟฟ้าเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบจะเริ่มชาร์จทันทีโดยไม่คำนึงถึงผลกระทบหรือข้อจำกัดของระบบ และภาพที่ 21 แสดงให้เห็นว่าเมื่อมีพลังงานเพียงพอรถยนต์ไฟฟ้าจะได้รับเลือกเข้าชาร์จ แต่หากมีพลังงานไม่เพียงพอระบบจะไม่มีการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าเพิ่มเข้ามาและอาจหยุดชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าคันที่ชาร์จจากชั่วโมงก่อนหน้าเนื่องจากพลังงานเกินระดับความต้องการไฟฟ้าสูงสุดที่กำหนดไว้แต่รถยนต์ไฟฟ้ากลุ่มนี้ก็จะได้รับเลือกให้เข้าชาร์จต่อทันทีที่ระบบมีพลังงานเพียงพอ ผลการทดลองเมื่อพิจารณาระดับค่าพลังงานสะสมคงเหลือของรถยนต์ไฟฟ้าแต่ละคันจะพบว่าเมื่อถึงเวลาสิ้นสุดการชาร์จจะมีระดับ

ค่าพลังงานสะสมคงเหลือไม่ต่ำกว่าค่าที่รับประกันไว้ (ในการทดลองนี้กำหนดไว้ที่ 90%) ยกเว้นในบางกรณี ตัวอย่างเช่นรถยนต์ไฟฟ้าที่เชื่อมต่อเข้ามาในขณะที่ระบบกำลังประสบกับสภาวะความต้องการใช้กำลังไฟฟ้าสูงอยู่แล้ว ทำให้มีกำลังไฟฟ้าส่วนที่สำรองไว้สำหรับการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าน้อยหรืออาจไม่มีเหลือเลย และในกรณีที่รถยนต์ไฟฟ้ามีระดับค่าพลังงานสะสมคงเหลือเริ่มต้นที่ต่ำมาก ทำให้ต้องการเวลาในการชาร์จนาน (เนื่องจากข้อสมมติฐานของงานวิจัยนี้ คือรถยนต์ไฟฟ้าทุกคันจะชาร์จด้วยรูปแบบกำลังไฟฟ้าคงที่ 3.4 kW) และเวลาที่เชื่อมต่อในระบบมีไม่เพียงพอกับความ ต้องการใช้จริง เป็นต้น

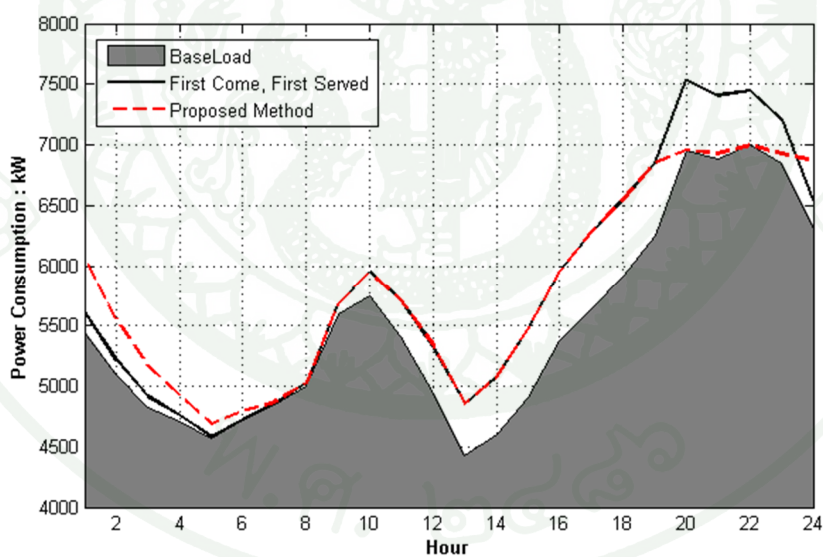
เมื่อพิจารณาระดับค่าพลังงานสะสมคงเหลือก่อนและหลังการเข้าชาร์จในวันทำงาน และวันหยุด โดยใช้วิธีการที่นำเสนอ เมื่อระบบมีพลังงานเพียงพอจะพบว่ารถยนต์ไฟฟ้าจะถูกชาร์จจนกว่าจะเต็ม 100% ซึ่งจากผลการทดลองรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจะสามารถชาร์จได้เต็ม 100% ถึง 80% ของจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าทั้งหมด และมีรถยนต์ไฟฟ้าเพียง 10% เท่านั้นที่มีระดับค่าพลังงานสะสมคงเหลือเมื่อสิ้นสุดการชาร์จไม่ถึง 90% โดยจะพบว่ารถยนต์ไฟฟ้ากลุ่มนี้มีระดับค่าพลังงานสะสมคงเหลือเริ่มต้นที่ต่ำมากรวมทั้งเวลาที่เชื่อมต่อในระบบอยู่ในระหว่างที่กำลังไฟฟ้าในระบบมีความต้องการสูง ซึ่งสอดคล้องกับสาเหตุที่ทำให้ระบบจัดการชาร์จไม่สามารถชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่เข้าเชื่อมต่อให้มี %SOC ได้ตามที่รับประกันตามที่กล่าวมาแล้วข้างต้น

3.2 ระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

ลักษณะการใช้ไฟฟ้าเมื่อมีการจัดการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าจำนวน 500 คัน โดยวิธีการที่นำเสนอวิธีที่ 2 ในวันทำงานและวันหยุดเมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองกับกรณีที่ไม่มีการจัดการชาร์จของวงจรที่ 3 สฟฟ. หัวหิน 3 สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 22 และภาพที่ 23 ตามลำดับ



ภาพที่ 22 รูปแบบการใช้กำลังไฟฟ้าในวันทำงาน ของวงจร 5 สฟฟ.หัวหิน 3 เปรียบเทียบกรณีที่มีและไม่มีการจัดการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า



ภาพที่ 23 รูปแบบการใช้กำลังไฟฟ้าในวันหยุด ของวงจร 5 สฟฟ.หัวหิน 3 เปรียบเทียบกรณีที่มีและไม่มีการจัดการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า

ภาพที่ 22 และ ภาพที่ 23 แสดงลักษณะการใช้ไฟฟ้าของ สฟฟ.หัวหิน 3 วงจร 5 เปรียบเทียบระหว่างกรณีที่มีและไม่มีการจัดการชาร์จในวันทำงานและวันหยุดตามลำดับ โดยกำหนดให้รถยนต์ไฟฟ้าที่เข้าชาร์จมีจำนวน 500 คัน จะพบว่าวิธีการจัดการชาร์จที่นำเสนอวิธีที่ 2

ซึ่งเป็นการประยุกต์ใช้วิธีการจัดการตามเวลาจริงร่วมด้วย สามารถรักษาระดับพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าให้ไม่เกินระดับกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ตั้งไว้ ซึ่งในการทดลองนี้ กำหนดให้แฟลคเตอร์ปรับขีดจำกัดพลังงานสูงสุด มีค่าเท่ากับ 0.9 เท่าของค่าความต้องการใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุด ($\gamma = 0.9$) และเท่ากับค่าความต้องการใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุดเดิม ($\gamma = 1$) เพื่อดูรูปแบบการกระจายตัวของการใช้งานกำลังไฟฟ้าในแต่ละชั่วโมง อีกทั้งยังต้องการดูผลที่ได้ในรูปของตัวแปรต่างๆ ตามที่ได้กล่าวมาข้างต้นอีกด้วย และขีดจำกัดนี้จะเป็นตัวบ่งชี้ว่า ระบบที่ใช้วิธีการที่นำเสนอ สามารถรองรับการถ่ายโอนโหลดของวงจรข้างเคียงได้ เนื่องจากสามารถรักษาระดับพลังงานที่ใช้ไม่เกิน 50% ของความสามารถในการรองรับภาระโหลดของระบบซึ่งอยู่ในข้อกำหนดของการจ่ายไฟแบบวงรอบ (Closed-Loop) ได้อีกด้วย

เมื่อพิจารณาผลของระดับค่าพลังงานสะสมคงเหลือก่อนและหลังเข้าชาร์จโดยใช้วิธีการจัดการชาร์จที่นำเสนอ จะพบว่าเมื่อพิจารณาที่จำนวนรถยนต์ไฟฟ้าที่เท่ากัน (ทดสอบที่จำนวน 500 คัน) กรณีวงจรที่ 5 สฟฟ.หัวหิน 3 จะมีจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าที่ไม่สามารถชาร์จได้จนเต็มน้อยกว่ากรณีระบบทดสอบ IEEE 69 บัส เนื่องจากความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดเดิม มีค่าสูงกว่า ดังนั้นเมื่อกำหนดขีดจำกัดพลังงานสูงสุดที่อ้างอิงจากแฟลคเตอร์ปรับระดับ โดยกำหนดให้แฟลคเตอร์นี้มีค่า 0.9 และ 1 นั่นก็คือขีดจำกัดพลังงานสูงสุดที่สามารถใช้งานได้ จะไม่เกินระดับความต้องการพลังงานสูงสุดเดิม นั่นคือระบบจำหน่ายของ กฟภ. จะมีขีดจำกัดพลังงานสูงสุดที่มากกว่าระบบทดสอบ IEEE 69 บัส ถึง 3 MW ดังนั้นทำให้มีพลังงานเพื่อชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าได้มากกว่า

4. เปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการที่นำเสนอกับวิธีการอื่นๆ

มีงานวิจัยจำนวนมากที่นำเสนอวิธีการจัดการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าจากผู้ดูแลระบบ อันเนื่องมาจากข้อได้เปรียบด้านความสามารถในการรักษาเสถียรภาพในการจ่ายไฟ และยังสามารถจัดสรรการใช้พลังงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ ซึ่งมีการจัดการที่ใช้วิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของตัวแปรเชิงเส้น (Linear Optimization Problem) เพื่อให้พลังงานที่ซื้อเก็บกับพลังงานที่ใช้ในการชาร์จรถยนต์มีความแตกต่างกันน้อยที่สุด (Soares *et al.*, 2014) แต่วิธีการนี้ไม่พิจารณาการควบคุมกำลังไฟฟ้าสูงสุดของระบบ วิธีการจัดการการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่มีจุดประสงค์เพื่อให้รถยนต์ไฟฟ้าสามารถเข้าชาร์จได้จำนวนมากที่สุด โดยพิจารณาจากค่านิ่งถึงข้อจำกัดความสามารถในการจ่ายไฟของวงจร (Richardson *et al.*, 2012) และระดับแรงดันไฟฟ้าที่จุดเชื่อมต่อให้อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด ดังนั้นสามารถสรุปฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ใช้ในการทดลองได้ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ใช้ในงานวิจัย

ลำดับ	ฟังก์ชันวัตถุประสงค์	หน่วย
1	$\max \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)$	คัน
2	$\min \left(\sum_{i=1}^n P_i x_i \right)$	วัตต์
3	$\max \left(\sum_{i=1}^n EV_i x_i \right)$	คัน
4	$\max \sum_{i=1}^n (T_i x_i + W_i x_i + (D_{\max} - D_i) x_i)$	ชั่วโมง
5	$\max \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot [W_i x_i + (D_{\max} - D_i) x_i]$	ชั่วโมง

ตารางที่ 5 แสดงฟังก์ชันวัตถุประสงค์ทั้งหมดที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ซึ่งมีทั้งหมด 5 ฟังก์ชัน โดยฟังก์ชันลำดับที่ 1 มีจุดประสงค์เพื่อเลือกรถยนต์ไฟฟ้าคันที่เข้ามาก่อนให้ได้รับการชาร์จก่อน (First Come, First Served, FCFS) ซึ่งฟังก์ชันนี้เปรียบเสมือนกรณีที่เป็นการชาร์จแบบไม่มีการจัดการ ดังนั้นผลที่ได้จากฟังก์ชันนี้จะแสดงให้เห็นถึงปัญหาที่อาจเกิดขึ้นกับระบบหากมีการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าแบบไม่มีการควบคุม โดยที่ W_i เป็นเวลาที่รอเข้าชาร์จของรถยนต์ไฟฟ้าคันที่ i โดยที่ n คือจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าทั้งหมด x_i คือค่าไบนารีที่แสดงว่ารถยนต์ไฟฟ้าคันที่ i มีการชาร์จในชั่วโมงที่พิจารณาหรือไม่ (0 คือไม่ได้ชาร์จ 1 คือได้รับเลือกเข้าชาร์จในชั่วโมงนั้นๆ)

ฟังก์ชันลำดับที่ 2 และ 3 เป็นการเปรียบเทียบกับวิธีการที่เคยมีการนำเสนอก่อนหน้านี้ โดยฟังก์ชันลำดับที่ 2 เป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของ (Soares *et al.*, 2014) ซึ่งมีจุดมุ่งหมายเพื่อให้พลังงานที่ซื้อกับพลังงานที่ใช้ในการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าให้มีความแตกต่างกันน้อยที่สุด โดยที่ P_i คือพิคตการชาร์จของรถยนต์ไฟฟ้าคันที่ i โดยมีข้อจำกัดที่ว่า พิคตการชาร์จต้องมากกว่า 0 และไม่เกิน 3 กิโลวัตต์ ($0 \leq P_i \leq 3$) แต่เนื่องจากวิธีการที่นำเสนอ ใช้การจำลองโดยกำหนดพิคตการชาร์จตามผลการทดสอบของ กฟภ. ดังนั้นจึงใช้พิคตการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าในระบบที่ 3.4 กิโลวัตต์เท่ากันทุกคัน และฟังก์ชันลำดับที่ 3 เป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของ มีจุดมุ่งหมายเพื่อจัดการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าให้ได้รับเลือกมากที่สุด โดยที่ EV_i คือรถยนต์ไฟฟ้าคันที่ i โดยมีข้อจำกัดด้านพลังงานในระบบไม่เกินพิคตของสาย และสามารถจ่ายพลังงานได้เพียงพอกับความต้องการของรถยนต์ไฟฟ้าทุกคัน

ฟังก์ชันลำดับที่ 4 เป็นฟังก์ชันที่งานวิจัยนี้นำเสนอเป็นวิธีแรก โดยมีจุดประสงค์เพื่อจัดรถยนต์ไฟฟ้าให้ได้เข้าชาร์จมากที่สุด ใช้วิธีกำหนดลำดับความสำคัญจากตัวแปร 3 พจน์จากสมการ โดยที่พจน์แรก นั่นคือ $T_i x_i$ หมายถึงการเลือกรถยนต์ไฟฟ้าคันที่มีระดับพลังงานสะสมคงเหลือน้อยที่สุด ให้ได้รับการชาร์จก่อน โดยที่พิจารณาในรูปของเวลาที่ต้องการใช้ในการชาร์จตั้งแต่เริ่มเทียบปลั๊กจนกว่าจะมีประจุแบตเตอรี่เต็ม 100% พจน์ที่สองคือ $W_i x_i$ คือการเลือกรถยนต์ไฟฟ้าคันที่ i ที่เข้าเชื่อมต่อนานที่สุด จะมีโอกาสถูกเลือกเข้าชาร์จก่อนรถยนต์ไฟฟ้าคันอื่น และ $(D_{\max} - D_i) x_i$ เป็นการเลือกรถยนต์ไฟฟ้าคันที่ใกล้จะถึงกำหนดเวลาออกจากบ้านใกล้จะมากที่สุด และ x_i เป็นค่าผลลัพธ์ที่ได้จากกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด นั่นคือหากรถยนต์ไฟฟ้าคันที่ i ได้รับเลือกเข้าชาร์จในชั่วโมงที่พิจารณา ค่า x_i ที่ได้จะเป็น 1 และหากไม่ถูกเลือกเข้าชาร์จ ค่า x_i ที่ได้จะเป็น 0

ฟังก์ชันลำดับที่ 5 เป็นฟังก์ชันที่ปรับปรุงการจัดการชาร์จของฟังก์ชันที่นำเสนอก่อนหน้านี้ ในด้านการจัดสรรกรณีมีพลังงานในระบบไม่เพียงพอ ทำให้เกิดการแย่งชิงทรัพยากรไฟฟ้าขึ้น เมื่อพิจารณาถึงความจำเป็นในการชาร์จประจุแบตเตอรี่ที่เพียงพอกับความต้องการ หากใช้ฟังก์ชันที่นำเสนอจะสามารกำหนดระดับพลังงานสะสมคงเหลือที่เพียงพอกับการใช้งานให้แก่รถทุกคันได้ โดยวิธีการนี้มีการกำหนดลำดับความสำคัญจากตัวแปร 2 พจน์ คือ $W_i x_i$ และ $(D_{\max} - D_i) x_i$ ซึ่งเป็นเวลาในการรอคอยเข้าชาร์จ และเวลาที่กำหนดก่อนออกจากบ้านครั้งถัดไปตามที่ได้กล่าวมาข้างต้น แต่วิธีการนี้มีการประยุกต์ใช้การแบ่งกลุ่มรถยนต์ไฟฟ้าตามระดับค่าพลังงานสะสมคงเหลือร่วมด้วย โดยใช้ค่าถ่วงน้ำหนัก (α) ที่ต่างกันตามกลุ่มของ HRTS และ SRTS นั่นเอง โดยการทดลองในวิทยานิพนธ์นี้ กำหนดให้ค่าถ่วงน้ำหนักสำหรับ PEVs ที่อยู่ในกลุ่ม HRTS มีค่าเท่ากับ 0.8 และค่าถ่วงน้ำหนักเท่ากับ 0.2 สำหรับ PEVs ที่อยู่ในกลุ่ม SRTS ทั้งนี้ ค่าถ่วงน้ำหนักที่นำมาใช้งานจริง สามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามที่ผู้ดูแลระบบเห็นว่าเหมาะสม

4.1 การประเมินผลเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของผลลัพธ์

เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองระหว่างฟังก์ชันวัตถุประสงค์ตามตารางที่ 5 งานวิจัยนี้ใช้การประเมินผล 5 แบบเพื่อวัดผล คือ

4.1.1 ความต้องการพลังงานสูงสุด (Peak Demand)

4.1.2 อัตราพลังงานสูงสุดต่อพลังงานเฉลี่ย (Peak-to-Average Ratio, PAR)

4.1.3 ค่าองค์ประกอบการใช้ไฟฟ้า (Load Factor, LF)

4.1.4 อัตราเฉลี่ยของระดับค่าพลังงานสะสมคงเหลือ (Average Plug-out SOC)

4.1.5 อัตราการรับประกันการชาร์จเต็มพิกัด (Guarantee Ratio)

ดังนั้นสามารถสรุปผลการทดลองแยกตามตัวแปรที่ใช้วัดผลและจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าที่เชื่อมต่อได้ แยกตามระบบทดสอบได้ดังนี้

4.2 ระบบทดสอบ IEEE 69 บัส

ตารางที่ 6 เปรียบเทียบผลการทดลอง กรณีรถยนต์ไฟฟ้าเข้าเชื่อมต่อจำนวน 100 คัน

Objective Function	Workday / Weekend	Peak Demand	PAR	Load Factor	Average Plug-out SOC
Base load	วันทำงาน	3,972.98	1.623	0.616	-
	วันหยุด	1,807.64	1.484	0.674	-
1	วันทำงาน	4,173.77	1.682	0.594	100
	วันหยุด	1,900.53	1.632	0.613	100
2	วันทำงาน	4,173.77	1.682	0.594	100
	วันหยุด	1,900.53	1.632	0.613	100
3	วันทำงาน	4,173.77	1.682	0.594	100
	วันหยุด	1,900.53	1.632	0.613	100
4	วันทำงาน	3,972.98	1.602	0.693	99.295
	วันหยุด	1,807.64	1.384	0.723	97.96
5	วันทำงาน	3,972.98	1.602	0.693	99.157
	วันหยุด	1,807.64	1.384	0.723	97.96

ตารางที่ 7 เปรียบเทียบผลการทดลอง กรณีรถยนต์ไฟฟ้าเข้าเชื่อมต่อจำนวน 300 คัน

Objective Function	Workday / Weekend	Peak Demand	PAR	Load Factor	Average Plug-out SOC
Base load	วันทำงาน	3,972.98	1.623	0.616	-
	วันหยุด	1,807.64	1.484	0.674	-
1	วันทำงาน	4,467.04	1.755	0.570	100
	วันหยุด	2,248.85	1.770	0.565	100
2	วันทำงาน	4,467.04	1.755	0.570	100
	วันหยุด	2,248.85	1.770	0.565	100
3	วันทำงาน	4,467.04	1.755	0.570	100
	วันหยุด	2,248.85	1.770	0.565	100
4	วันทำงาน	3,972.98	1.563	0.705	97.89
	วันหยุด	1,807.64	1.330	0.752	95.12
5	วันทำงาน	3,972.98	1.563	0.705	98.04
	วันหยุด	1,807.64	1.330	0.752	95.12

ตารางที่ 8 เปรียบเทียบผลการทดลอง กรณีรถยนต์ไฟฟ้าเข้าเชื่อมต่อจำนวน 500 คัน

Objective Function	Workday / Weekend	Peak Demand	PAR	Load Factor	Average Plug-out SOC
Base load	วันทำงาน	3,972.98	1.623	0.616	-
	วันหยุด	1,807.64	1.484	0.674	-
1	วันทำงาน	4,811.57	1.842	0.543	100
	วันหยุด	2,498.76	1.650	0.554	100
2	วันทำงาน	4,811.57	1.842	0.543	100
	วันหยุด	2,498.76	1.650	0.554	100
3	วันทำงาน	4,811.57	1.842	0.543	100
	วันหยุด	2,498.76	1.650	0.554	100
4	วันทำงาน	3,972.98	1.528	0.711	95.23
	วันหยุด	1,807.64	1.358	0.788	92.13
5	วันทำงาน	3,972.98	1.528	0.711	95.73
	วันหยุด	1,807.64	1.358	0.788	92.13

4.3 ระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

ตารางที่ 9 เปรียบเทียบผลการทดลอง กรณีรถยนต์ไฟฟ้าเข้าเชื่อมต่อจำนวน 100 คัน

Objective Function	Workday / Weekend	Peak Demand	PAR	Load Factor	Average Plug-out SOC
Base load	วันทำงาน	4,864.98	1.746	0.851	-
	วันหยุด	7,068.48	1.275	0.784	-
1	วันทำงาน	4,992.95	1.196	0.836	100
	วันหยุด	7,165.40	1.285	0.778	100
2	วันทำงาน	4,992.95	1.196	0.836	100
	วันหยุด	7,165.40	1.285	0.778	100
3	วันทำงาน	4,992.95	1.196	0.836	100
	วันหยุด	7,165.40	1.285	0.778	100
4	วันทำงาน	4,864.98	1.166	0.858	100
	วันหยุด	7,068.48	1.268	0.789	99.73
5	วันทำงาน	4,864.98	1.166	0.858	100
	วันหยุด	7,068.48	1.268	0.789	99.73

ตารางที่ 10 เปรียบเทียบผลการทดลอง กรณีรถยนต์ไฟฟ้าเข้าเชื่อมต่อจำนวน 300 คัน

Objective Function	Workday / Weekend	Peak Demand	PAR	Load Factor	Average Plug-out SOC
Base load	วันทำงาน	4,864.98	1.746	0.851	-
	วันหยุด	7,068.48	1.275	0.784	-
1	วันทำงาน	5,224.69	1.233	0.811	100
	วันหยุด	7,364.07	1.306	0.766	100
2	วันทำงาน	5,224.69	1.233	0.811	100
	วันหยุด	7,364.07	1.306	0.766	100
3	วันทำงาน	5,224.69	1.233	0.811	100
	วันหยุด	7,364.07	1.306	0.766	100
4	วันทำงาน	4,864.98	1.148	0.871	99.45
	วันหยุด	7,068.48	1.253	0.798	99.49
5	วันทำงาน	4,864.98	1.148	0.871	99.45
	วันหยุด	7,068.48	1.253	0.798	99.49

ตารางที่ 11 เปรียบเทียบผลการทดลอง กรณีรถยนต์ไฟฟ้าเข้าเชื่อมต่อจำนวน 500 คัน

Objective Function	Workday / Weekend	Peak Demand	PAR	Load Factor	Average Plug-out SOC
Base load	วันทำงาน	4,864.98	1.746	0.851	-
	วันหยุด	7,068.48	1.275	0.784	-
1	วันทำงาน	5,485.06	1.276	0.784	100
	วันหยุด	7,613.34	1.335	0.749	100
2	วันทำงาน	5,485.06	1.276	0.784	100
	วันหยุด	7,613.34	1.335	0.749	100
3	วันทำงาน	5,485.06	1.276	0.784	100
	วันหยุด	7,613.34	1.335	0.749	100
4	วันทำงาน	4,864.98	1.133	0.882	97.691
	วันหยุด	7,068.48	1.240	0.807	99.458
5	วันทำงาน	4,864.98	1.133	0.882	98.877
	วันหยุด	7,068.48	1.240	0.807	98.458

จากตารางที่ 6 ถึงตารางที่ 11 แสดงผลการทดลองเปรียบเทียบกรณีที่มีรถยนต์ไฟฟ้าเข้าเชื่อมต่อระบบทดสอบ IEEE 69 บัส และวงจรที่ 5 ของ สฟฟ. หัวหิน 3 จำนวน 100 คัน 300 คัน และ 500 คันตามลำดับ ซึ่งผลการทดลองเปรียบเทียบระหว่างตัวแปรที่ใช้วัดผลและฟังก์ชันจุดประสงค์ ทั้ง 5 แบบ คอลัมน์ที่ 2 ของทุกตารางแสดงให้เห็นว่าค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดกรณีที่ไม่มี การจัดการชาร์จ (ฟังก์ชันลำดับที่ 1) จะมีค่าสูงที่สุด และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตาม จำนวนของรถยนต์ไฟฟ้าที่เพิ่มเข้ามาในระบบ เนื่องจากรูปแบบการเข้าชาร์จของรถยนต์ไฟฟ้าอยู่ใน ช่วงเวลาเดียวกันกับที่ระบบกำลังประสบปัญหาความต้องการพลังงานสูง และเมื่อเปรียบเทียบกับ

ฟังก์ชันลำดับที่ 2 และ 3 จะพบว่ามีความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับกรณีไม่มีการจัดการชาร์จ เนื่องจากทั้งสองวิธีนี้กำหนดให้รถยนต์ไฟฟ้าจะยังสามารถเข้าชาร์จเพิ่มได้ถ้าผลรวมของพลังงานในระบบไม่เกินความสามารถในการจ่ายโหลดของวงจร เมื่อเปรียบเทียบฟังก์ชันลำดับที่ 4 และ 5 ซึ่งเป็นวิธีการที่นำเสนอ จะพบว่ามีการหยุดชาร์จเมื่อค่าพลังงานรวมในระบบสูงเท่ากับค่าขีดจำกัดพลังงานสูงสุด ซึ่งกรณีนี้กำหนดแพ็คเกจปรับขีดจำกัดไว้เท่ากับกำลังไฟฟ้าสูงสุดเดิมและเลื่อนเวลาการเข้าชาร์จของรถยนต์ไฟฟ้าเพื่อรักษาระดับกำลังไฟฟ้าสูงสุดไว้ไม่ให้มากกว่าเดิม วิธีการดังกล่าวสามารถปรับปรุงค่า PAR และ LF ได้ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการใช้งานระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นอีกด้วย

ในคอลัมน์ที่ 3 แสดงค่า PAR ของฟังก์ชันลำดับที่ 4 และ 5 มีค่าต่ำกว่ากรณีทดลองด้วยฟังก์ชันอื่น เนื่องจากค่า PAR เป็นค่าที่บอกถึงความแตกต่างระหว่างพลังงานที่ใช้สูงสุดใน 1 วัน (Peak Power Consumption) และค่าเฉลี่ยของพลังงานที่ใช้ใน 1 วัน (Average Power Consumption) ทั้งนี้ หากค่า PAR มีค่ามากแสดงว่ามีกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่สูงมาก หรือมีประสิทธิภาพในการใช้พลังงานในแต่ละวันที่ไม่คุ้มค่า ซึ่งจะส่งผลในด้านการสำรองพลังงานเพื่อใช้ในกรณีฉุกเฉิน อีกทั้งยังต้องมีการจัดหาแหล่งผลิตไฟฟ้าเพิ่มทั้งที่ยังใช้งานแหล่งผลิตไฟฟ้าเดิมได้ไม่เต็มประสิทธิภาพ ดังนั้นวิธีการที่นำเสนอ สามารถลดค่า PAR ได้อย่างมีนัยสำคัญ

ในคอลัมน์ที่ 4 แสดงค่า Load Factor เปรียบเทียบระหว่างระบบที่มีและไม่มีการจัดการชาร์จ ซึ่งค่า LF นี้เป็นค่าที่บ่งบอกถึงประสิทธิภาพการถูกใช้งาน (Utilized) ของระบบจากมุมมองของผู้ให้บริการไฟฟ้า ใช้อธิบายประสิทธิภาพการใช้งานของโหลด ตามพฤติกรรมของผู้ใช้ไฟ โดยคำนวณจากสัดส่วนของพลังงานเฉลี่ยเทียบกับค่าพลังงานสูงสุด โดยค่า LF ที่ระบบต้องการ คือมีค่าใกล้เคียง 1 มากที่สุด จากผลการทดลองจะพบว่า ระบบที่ไม่มีการจัดการและระบบที่จัดการโดยใช้ฟังก์ชันลำดับที่ 2 และ 3 มีค่า LF ลดลงเป็นสัดส่วนตามจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าที่เข้าชาร์จ แสดงว่าระบบมีประสิทธิภาพการใช้งานลดลง เนื่องจากโหลดสูงสุดเทียบกับโหลดเฉลี่ยแตกต่างกันมากขึ้นอย่างชัดเจน ซึ่งต่างกับระบบที่จัดการโดยฟังก์ชันลำดับที่ 4 และ 5 จะพบว่าค่า LF มีค่าเข้าใกล้ 1 มากขึ้นเรื่อยๆ ตามจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าที่เข้าชาร์จ เพราะระบบมีการจัดสรรพลังงานที่มีอยู่อย่างจำกัดเพื่อใช้ในการรถยนต์ไฟฟ้าอย่างเต็มประสิทธิภาพ

และในคอลัมน์สุดท้ายแสดงระดับค่าพลังงานสะสมคงเหลือที่พร้อมใช้งานในวันถัดไป แยกตามฟังก์ชันวัตถุประสงค์ จะพบว่าในกรณีที่จำนวนรถยนต์ไฟฟ้าเข้าชาร์จไม่เกินความสามารถในการจ่ายพลังงานของระบบระดับค่าพลังงานสะสมคงเหลือของรถยนต์ไฟฟ้าเมื่อปลดการเชื่อมต่อ

จะมีระดับพลังงานเต็ม 100% แต่เมื่อจำนวนรถยนต์ไฟฟ้ามีมากเกินไปเกินความสามารถที่ระบบจะรองรับได้ ซึ่งในการทดลองนี้จะเห็นว่า เมื่อรถยนต์ไฟฟ้าในระบบเพิ่มจำนวนขึ้น โอกาสที่ค่าเฉลี่ยระดับพลังงานสะสมคงเหลือของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจะลดลงก็จะมีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย แต่เมื่อพิจารณาระดับระดับค่าพลังงานสะสมคงเหลือเมื่อปลดการเชื่อมต่อที่ลดลง จะเห็นว่ามีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ซึ่งระดับค่าพลังงานสะสมคงเหลือเมื่อปลดการเชื่อมต่อ จะอยู่ในระดับที่ผู้ใช้งานสามารถใช้งานได้อย่างพอเพียงในวันถัดไป

เพื่อเปรียบเทียบผลการทดลองของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่นำเสนอทั้ง 2 วิธี พิจารณาตัวแปรอัตราการรับประกันการชาร์จเต็มพิกัด เพื่อเป็นการเปรียบเทียบจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าที่มีระดับพลังงานสะสมคงเหลือที่ระดับ 80%, 85%, 90% และ 100% ก่อนออกจากบ้าน โดยพิจารณากรณีที่ระบบมีความต้องการใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุด นั่นคือระบบ IEEE 69 บัสจะเป็นการทดสอบในวันทำงาน และระบบจำหน่ายของ กฟภ. ซึ่งเป็นพื้นที่ท่องเที่ยว โหลดในวันหยุดจะสูงกว่าวันทำงาน ดังนั้นระบบนี้จะทดสอบในหยุด ดังแสดงในตารางที่ 12 และตารางที่ 13

ตารางที่ 12 ผลการทดลองกรณีรถยนต์ไฟฟ้าเข้าเชื่อมต่อที่ระบบทดสอบ IEEE 69 บัส
จำนวน 300 คัน (วันทำงาน)

Objective Function	Average Plug-out SOC	Guarantee Ratio			
		80%	85%	90%	100%
4	90.40	91.3	90.6	90.1	89.6
5	91.07	94.3	92.67	90.0	87.3

ตารางที่ 13 ผลการทดลองกรณีรถยนต์ไฟฟ้าเข้าเชื่อมต่อที่วงจร 5 สฟฟ. หัวหิน 3
จำนวน 300 คัน (วันหยุด)

Objective Function	Average Plug-out SOC	Guarantee Ratio			
		80%	85%	90%	100%
4	93.67	95.8	94.67	92.9	91.3
5	94.22	96.5	95.07	93.9	91.4

ตารางที่ 12 และตารางที่ 13 แสดงผลการทดลองกรณีรถยนต์ไฟฟ้าจำนวน 300 คันเข้าเชื่อมต่อกับระบบทดสอบ IEEE 69 บัส และวงจรที่ 5 สฟฟ.หัวหิน 3 ตามลำดับ จะพบว่าฟังก์ชันลำดับที่ 5 จากทั้งสองตารางมีอัตราเฉลี่ยของระดับค่าพลังงานสะสมคงเหลือมากกว่าฟังก์ชันลำดับที่ 4 อยู่เล็กน้อย และจากตารางที่ 12 ซึ่งเป็นระบบ IEEE 69 บัส เมื่อพิจารณาถึงอัตราการรับประกันระดับค่าพลังงานคงเหลือก่อนใช้งานในวันถัดไป (Guarantee Ratio) จะพบว่าฟังก์ชันลำดับที่ 4 จะมีเปอร์เซ็นต์การรับประกันระดับค่าพลังงานคงเหลือที่ 90% และ 100% สูงกว่าฟังก์ชันลำดับที่ 5 เนื่องจากฟังก์ชันลำดับที่ 4 จะชาร์จแบตเตอรี่อย่างต่อเนื่องจนกว่าจะเต็ม 100% แม้ว่าจะต้องรองรับรถยนต์ไฟฟ้าถึง 300 คันก็ตาม กล่าวคือฟังก์ชันลำดับที่ 4 จะให้ความสำคัญต่อรถยนต์ไฟฟ้าคันที่เข้ามาก่อนจะได้รับการชาร์จจนเต็ม 100% ก่อน โดยไม่พิจารณาระดับค่าพลังงานสะสมคงเหลือของรถยนต์ไฟฟ้าคันที่เข้ามาทีหลัง แต่จากตารางที่ 13 ซึ่งเป็นการทดลองของวงจรที่ 5 สฟฟ.หัวหิน 3 จะพบว่าอัตราการรับประกันการชาร์จเต็มพิกัด (Guarantee Ratio) ของทั้งสองฟังก์ชันให้ผลที่ใกล้เคียงกันมาก เนื่องจากวงจรนี้มีขีดจำกัดพลังงานสูงสุดที่ประมาณ 7 เมกะวัตต์ ทำให้สามารถรองรับรถยนต์ไฟฟ้าจำนวน 300 คัน ได้โดยฟังก์ชันที่ 5 ไม่จำเป็นต้องหยุดการชาร์จเมื่อถึงระดับขีดแบ่ง HRTS และ SRTS ดังนั้น เมื่อพิจารณาจากระดับพลังงานในระบบที่สามารถใช้งานได้มีไม่เพียงพอต่อการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าได้เต็มทุกคันที่เข้าเชื่อมต่อ หากผู้ให้บริการพลังงานไฟฟ้ามีมุมมองที่ให้ความสำคัญต่อมากกว่าอัตราเฉลี่ยของระดับค่าพลังงานสะสมคงเหลือ ฟังก์ชันลำดับที่ 4 จะเป็นอีกทางเลือกที่เหมาะสม

วิจารณ์

จากการศึกษาวิธีการควบคุมการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าในที่อยู่อาศัยโดยการควบคุมจากส่วนกลาง (Centralized Control) สามารถแสดงให้เห็นว่าวิธีการควบคุมการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่นำเสนอสามารถลดระดับความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดของระบบจำหน่ายให้เท่ากับระดับความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดเดิมของระบบ อีกทั้งยังสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบจำหน่ายที่มีการควบคุมการชาร์จได้อีกด้วย จะเห็นได้จากการไม่ทำให้ระบบประสบปัญหาความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดสูงขึ้น แต่ยังทำให้ค่าองค์กรประกอบการใช้ไฟฟ้า และอัตราพลังงานสูงสุดต่อพลังงานเฉลี่ยมีค่าที่ดีขึ้นอีกด้วย

นอกจากนี้หากนำวิธีการที่นำเสนอไปใช้ประยุกต์ในระบบจำหน่ายจริง เพื่อควบคุมอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและแหล่งผลิตพลังงานทดแทน เช่น พลังงานลม และพลังงานแดด ที่มีการเชื่อมต่อกับระบบและรองรับปลั๊กอัจฉริยะ (Smart Plug) จะทำให้ผู้ดูแลระบบลดการใช้พลังงานลงตามระดับความผันผวนของกำลังไฟฟ้าที่มาจากแหล่งผลิตพลังงานทดแทน ในช่วงที่ระบบเกิดภาวะขาดแคลนพลังงาน ซึ่งทำให้ระบบจำหน่ายยังคงรักษาเสถียรภาพของระบบได้อีกด้วย

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

งานวิจัยนี้มีการนำเสนอการจัดการจัดการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่สามารถปรับปรุงรูปแบบการใช้พลังงานของระบบ อีกทั้งยังสามารถรับประกันระดับพลังงานสะสมคงเหลือเฉลี่ยของรถยนต์ไฟฟ้าที่เชื่อมต่อในระบบได้ด้วย โดยมีการคำนึงถึงพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจัดการพลังงานตามเวลาจริง รวมทั้งใช้ฐานข้อมูลมาตรฐานของ NHTS 2009 เพื่อใช้ในการจำลองพฤติกรรมการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้า โดยการทดลองจะทำการพิจารณาปริมาณรถยนต์ไฟฟ้าที่แตกต่างกัน กระบวนการแก้ปัญหาที่ใช้คือ กำหนดการจำนวนเต็มแบบทวิภาคและทำการทดลองบนระบบทดสอบ 2 แบบ คือ IEEE 69 บัส และระบบจำหน่ายของ กฟภ. ที่สถานีไฟฟ้าหัวหิน 3 วงจร 5

จากผลการทดลองจะพบว่า วิธีการที่นำเสนอสามารถรักษาระดับค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด ได้เท่ากับค่าเดิมของระบบเมื่อไม่มีการเชื่อมต่อดรถยนต์ไฟฟ้า นอกจากนี้ยังพบว่า อัตราเฉลี่ยของระดับค่าพลังงานสะสมคงเหลือต่างกันเล็กน้อย แต่ผลของวิธีการที่นำเสนอ สามารถทำให้ค่าอัตราพลังงานสูงสุดต่อพลังงานเฉลี่ยลดลง และสามารถปรับปรุงค่าองค์ประกอบการใช้ไฟฟ้าได้อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งหมายถึงระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่มีการนำวิธีการที่นำเสนอไปใช้จัดการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้านั้น มีการใช้งานพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังสามารถควบคุมการใช้งานช่วงที่ระบบมีความต้องการใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุด ไม่ให้ทวีความรุนแรงเพิ่มขึ้นอันเนื่องมาจากพฤติกรรมและจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าที่เข้าชาร์จในระบบ ซึ่งส่งผลให้สามารถขยายระยะเวลาในการจัดหาแหล่งผลิตไฟฟ้าเพิ่ม อีกทั้งยังรักษาระดับกำลังไฟฟ้าสำรองให้อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดไว้ได้อีกด้วย

ทั้งนี้เนื่องจากวิธีการที่นำเสนอ สามารถรักษาระดับพลังงานให้ไม่เกินขอบเขตที่กำหนด ซึ่งไม่เกินค่าความสามารถในการรองรับ โหลดของวงจร ดังนั้นจะทำให้ระดับแรงดันไฟฟ้าเกิดการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย เนื่องจากรูปแบบการใช้พลังงานเฉลี่ยมีความใกล้เคียงกัน อีกทั้งยังทำให้ระบบสามารถรองรับการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการจ่ายไฟจากเรเดียล เป็นการส่งจ่ายแบบวงรอบ (Closed-Loop) ได้เนื่องจากมีความสามารถในการจำกัดระดับพลังงานสูงสุดไม่ให้เกิน 50% ของความสามารถในการจ่ายไฟของระบบ และจากข้อดีด้านการใช้พลังงานไม่เกินความสามารถในการรองรับภาระ โหลดของระบบนี้เอง ทำให้ผู้ใช้บริการพลังงานไม่จำเป็นต้องมีการปรับปรุงระบบจำหน่ายเพื่อรองรับการเพิ่มขึ้นของรถยนต์ไฟฟ้าโดยที่ยังใช้งานระบบเดิมได้ไม่เต็มประสิทธิภาพ

รวมถึงสามารถจัดสรรเพื่อให้วงจรที่มีการจัดการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าสามารถรองรับการถ่ายโอน โหลดจากวงจรข้างเคียงได้ และวิธีการนี้ยังสามารถยืดอายุการใช้งานของอุปกรณ์ในระบบจำหน่าย เช่น สายไฟฟ้า หรือหม้อแปลงไฟฟ้า ได้อีกด้วย

ทั้งนี้ วิธีการที่นำเสนอสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับระบบจำหน่ายได้อย่างหลากหลาย โดยวิธีการจัดการชาร์จวิธีที่ 1 เหมาะสมกับระบบที่มีพลังงานเหลือเพียงพอที่จะรองรับรถยนต์ไฟฟ้าที่เชื่อมต่อเข้ามาในระบบได้ ทำให้มีตัวแปรที่ต้องการใช้ในการจัดการเพียงสามอย่าง คือ เวลาที่เข้าเชื่อมต่อกับระบบ ระยะเวลาที่รอคอยเข้าชาร์จ และกำหนดเวลาที่จะใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าในวันถัดไป แต่วิธีการจัดการชาร์จวิธีที่ 2 จะเป็นการประยุกต์ใช้ระบบการจัดการตามเวลาจริง ซึ่งทำให้สามารถจัดการกับระบบที่มีพลังงานไม่เพียงพอที่จะรองรับการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าจนเต็ม 100% ทุกคัน แต่วิธีการนี้จะทำการจัดสรรพลังงานที่มีอยู่อย่างจำกัดให้เพียงพอกับความต้องการใช้งานในวันถัดไปได้อย่างเท่าเทียมกัน

ข้อเสนอแนะ

ผลการศึกษาในวิทยานิพนธ์นี้ ชี้ให้เห็นประโยชน์ของวิธีการควบคุมการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าในที่อยู่อาศัย เพื่อให้สามารถรักษาระดับพลังงานสูงสุดของระบบได้ โดยผลที่ได้จากการสร้างแบบจำลอง เช่น โมเดลอย่างง่ายของระบบจำหน่ายที่ใช้ในงานทดลองนี้ อาจทำให้ผลที่ได้มีค่าคลาดเคลื่อนจากค่าจริง แต่อย่างไรก็ตามผลการจำลองนี้สามารถใช้เป็นแนวทางเพื่อให้ผู้เกี่ยวข้องวางแผนและออกแบบระบบให้เหมาะสมกับการรองรับการเข้ามาเชื่อมต่อของรถยนต์ไฟฟ้าในอนาคตได้อย่างมีประสิทธิภาพ

วิธีการจัดการชาร์จที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้ สามารถใช้วิธีการแก้ปัญหาแบบฮิวริสติก (Heuristic Method) มาใช้แทนวิธีการแม่นยำ (Exact Method) ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้ได้ ซึ่งจะช่วยให้สามารถรองรับการแก้ปัญหาสำหรับระบบที่ใหญ่ขึ้นได้ภายในเวลาที่ยอมรับได้ รูปแบบการจัดการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่นำเสนอ สามารถนำไปใช้ร่วมกับการควบคุมการชาร์จอุปกรณ์ไฟฟ้าอัจฉริยะ ที่เชื่อมต่อกับปลั๊กอัจฉริยะ (Smart Plug) อีกทั้งสามารถใช้ในการควบคุมแหล่งผลิตพลังงานทดแทนขนาดเล็กที่เชื่อมต่อในระบบได้อีกด้วย

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

ศิริพันธ์ ขงวัฒนานันท์. 2555. รถยนต์ไฟฟ้า...ก้าวต่อไปของอุตสาหกรรมรถยนต์ไทย.

Investment Promotion Journal 23 (12): 38 - 41.

Alonso, M., H. Amaris, J. Germain and J. Galan. 2014. Optimal Charging Scheduling of Electric Vehicles in Smart Grids by Heuristic Algorithms. **Energies** 7 (4): 2449-2475.

Baran, M.E. and F.F. Wu. 1989. Optimal Capacitor Placement on Radial Distribution Systems. **IEEE Transactions** 4 (1): 725-734.

International Electrotechnical Commission. 2010. **Electric Vehicle Conductive Charging System - Part 1: General Requirements**. Draft IEC 61851 - 1.

International Energy Association. 2011. **Technology Roadmap: Electric and Plug-in Hybrid Electric Vehicles (EV/PHEV)**. Available Source:
<http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/name-3851-en.html>,
December 11, 2013

Kang, J., S.J. Duncan and D.N. Mavris. 2013. Real-Time Scheduling Techniques for Electric Vehicle Charging in Support of Frequency Regulation. **Procedia Computer Science** 16: 767-775.

Maigha and M. Crow. 2014. Economic Scheduling of Residential Plug-in (Hybrid) Electric Vehicle (Phev) Charging. **Energies** 7 (4): 1876-1898.

Marra, F., C. Traholt, E. Larsen and W. Qiuwei. 2010. Average Behavior of Battery-Electric Vehicles for Distributed Energy Studies, pp. 1 - 7. *In* **Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT Europe)**, 11-13 October 2010. Gothenburg, Sweden.

Papadopoulos, P., L.M. Cipcigan, N. Jenkins and I. Grau. 2009. Distribution Networks with Electric Vehicles, pp. 1 - 5. *In Universities Power Engineering Conference (UPEC)*, 1-4 September 2009. Glasgow, Scotland.

Pecas Lopes, J.A., Soares, F.J., Almeida, P.M. and Moreira da Silva, M. 2009. Smart Charging Strategies for Electric Vehicles: Enhancing Grid Performance and Maximizing the Use of Variable Renewable Energy Resources. pp. 2680-2690. *In 24th International Electric Vehicle Symposium and Exposition (EVS24)*. 13 – 16 May 2009. Stavanger, Norway.

Rezaei, P., J. Frolik and P.D.H. Hines. 2014. Packetized Plug-in Electric Vehicle Charge Management. *Packetized Plug-in Electric Vehicle Charge Management. IEEE Transactions* 5 (2): 642-650.

Richardson, P., D. Flynn and A. Keane. 2012. Optimal Charging of Electric Vehicles in Low-Voltage Distribution Systems. *IEEE Transactions* 27 (1): 268-279.

Shafiee, S., M. Fotuhi-Firuzabad and M. Rastegar. 2013. Investigating the Impacts of Plug-in Hybrid Electric Vehicles on Power Distribution Systems. *IEEE Transactions* 4 (3): 1351-1360.

Shengnan, S., M. Pipattanasomporn and S. Rahman. 2009. Challenges of PHEV Penetration to the Residential Distribution Network, pp. 1 - 8. *In Power & Energy Society General Meeting*. 26 - 30 July 2009. Alberta, Canada.

_____, Z. Tianshu, M. Pipattanasomporn and S. Rahman. 2010. Impact of Tou Rates on Distribution Load Shapes in a Smart Grid with Phev Penetration, pp. 1 - 6. *In Transmission and Distribution Conference and Exposition*. 19-22 April 2010. Louisiana, USA.

- Soares, F.J., P.M.R. Almeida and J.A.P. Lopes. 2014. Quasi-Real-Time Management of Electric Vehicles Charging. Quasi-Real-Time Management of Electric Vehicles Charging. **Electric Power Systems Research** 108: 293-303.
- Van den Bossche, P. 2010. **Electric and Hybrid Vehicles**. Elsevier, Amsterdam.
- Veneri, O., L. Ferraro, C. Capasso and D. Iannuzzi. 2012. Charging Infrastructures for EV: Overview of Technologies and Issues, pp. 1 - 6. *In **Electrical Systems for Aircraft, Railway and Ship Propulsion (ESARS)***. 16 - 18 October 2012. Bologna, Italy.
- Xiaojun, G. and P.P. Khargonekar. 2012. Electric Vehicles as Flexible Loads: Algorithms to Optimize Aggregate Behavior, pp. 430 - 435. *In **IEEE Third International Conference on Smart Grid Communication***. 5 – 8 November 2012. Tainan, Taiwan.
- Yingjie Z., C. Wang, and N.F. Maxemchuk. 2014. The Fair Distribution of Power to Electric Vehicles: An Alternative to Pricing, *In **IEEE Smart Grid Communication Conference***. 3 – 6 November 2014. Venice, Italy.
- Yunus K. J. 2010. **Probabilistic Modeling of Plug-In Electric Vehicle Charging Impacts on Power Systems**. Master's Thesis, Chalmers University of Technology Gothenburg.
- Zhimin, W. and L. Furong. 2011. Critical Peak Pricing Tariff Design for Mass Consumers in Great Britain, pp. 1 - 6. *In **IEEE Power and Energy Society General Meeting***. 24 - 29 July 2011. Detroit Michigan, USA.

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ	นางสาวธิดา สามศรี
เกิดวันที่	22 ธันวาคม 2528
สถานที่เกิด	ศรีสะเกษ
ประวัติการศึกษา	วศ.บ. (วิศวกรรมคอมพิวเตอร์) จาก มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา
ตำแหน่งปัจจุบัน	วิศวกร 5
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	กองควบคุมและบำรุงรักษา ฝ่ายปฏิบัติการเครือข่าย การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เขต 2 ภาค 2 (อุบลราชธานี)
ผลงานดีเด่น และ/หรือรางวัลทางวิชาการ ทุนการศึกษาที่ได้รับ	- ทุนโครงการความร่วมมือทางวิชาการและพัฒนา ผู้เชี่ยวชาญระหว่างการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคและ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์