

การจัดการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าตามเวลาจริงโดยการรักษาระดับความต้องการใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุดในระบบไฟฟ้ากำลังเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพระบบจัดการพลังงาน

Optimal Real-Time PEVs Charging Scheduling for Enhancing Energy Management by Maintaining Power System Peak Demand

ธีรดา สามศรี* เอกชัย ไผ่สกลิตติสกุล

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

Tirada Samsri* Ekachai Phaisangittisagul

Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University,

Chatuchak, Bangkok 10900

E-mail: SamsriTirada@gmail.com

บทคัดย่อ

รถยนต์ไฟฟ้า (Plug-in Electric Vehicles, PEVs) ได้รับการคาดการณ์ว่าจะมีปริมาณการใช้งานเพิ่มขึ้นอย่างมากในอนาคต จำนวนรถยนต์ไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นเปรียบได้กับการเพิ่มโหลดในระบบไฟฟ้า วิธีจัดการชาร์จที่เหมาะสมจะช่วยลดปัญหาที่เกิดขึ้นกับระบบไฟฟ้าได้ งานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีจัดการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่สามารถตอบสนองตามความต้องการของผู้ใช้ไฟ โดยที่ยังคงสามารถรักษาประสิทธิภาพของระบบการจ่ายไฟได้อีกด้วย ทั้งยังช่วยปรับปรุงรูปแบบการใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในงานวิจัยได้มีการพิจารณาถึงขนาดแบตเตอรี่ของรถยนต์ไฟฟ้าที่หลากหลาย (16 และ 24 กิโลวัตต์-ชั่วโมง) รวมทั้งใช้ฐานข้อมูลการสำรวจการเดินทางภาคครัวเรือนทั้งประเทศ กระทรวงคมนาคม สหรัฐอเมริกา เพื่อใช้ในการจำลองพฤติกรรมการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้า โดยฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่นำเสนอจะใช้เพื่อการจัดการตารางการเข้าชาร์จแบบตามเวลาจริง (real-time Scheduling) โดยอาศัยการแก้ปัญหาเพื่อได้คำตอบที่ดีที่สุดโดยวิธีไบนารี ซึ่งผลการศึกษาแสดงให้เห็นถึงความสามารถของวิธีจัดการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่สามารถปรับปรุงรูปแบบการใช้พลังงานของระบบให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น อีกทั้งยังสามารถรับประกันระดับพลังงานสะสมคงเหลือของรถยนต์ไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำหลัก รถยนต์ไฟฟ้า วิธีจัดการชาร์จที่เหมาะสม การแก้ปัญหาเพื่อได้คำตอบที่ดีที่สุดโดยวิธีไบนารี ความต้องการใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุด ระดับพลังงานสะสมคงเหลือ

Abstract

Plug-in Electric Vehicles (PEVs) are predicted to increase dramatically in the future. However, the more penetration of PEVs, the more increased load in the electrical system. Appropriate coordinated charging scheduling of PEVs is expected to reduce the problems of the system which result from PEVs penetration. This research presents a methodology to control charging PEVs that meet the customer's requirements and also maintain the quality of distribution system. This research has considered various battery sizes (16 and 24 kWh), and employed transportation's behavior from National Household Travel Survey (NHTS) database. The proposed objective function is applied to Real-Time Scheduling of PEVs that solved by Binary Programming. Experimental results demonstrate that the proposed method can effectively improve the charging scheduling system of PEVs and can guarantee average plug-out State-of-Charge (SOC)

efficiently.

Keywords: Plug-in Electric Vehicles (PEVs), optimal real-time charging scheduling, binary programming, peak demand, State-of-Charge (SOC)

1. บทนำ

รถยนต์ไฟฟ้าถือเป็นหนึ่งในอุปกรณ์ไฟฟ้าอัจฉริยะที่คาดว่าจะเข้ามาเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าในอนาคต และด้วยข้อได้เปรียบด้านประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่ดีกว่า รถเครื่องยนต์สันดาปภายในถึง 3 เท่า [1] ทั้งยังช่วยลดการปล่อยมลพิษทางอากาศในภาคขนส่งได้ จึงทำให้รถยนต์ไฟฟ้าถูกคาดการณ์ว่าจะมีการใช้งานเพิ่มขึ้นอย่างมากในอนาคต แต่ในมุมมองของผู้ให้บริการพลังงานไฟฟ้า (utility) การเพิ่มขึ้นของรถยนต์ไฟฟ้า หมายถึงปริมาณของกลุ่มโหลดจำนวนมากที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ และหากไม่มีการจัดการควบคุมที่เหมาะสม จะทำให้ระบบเกิดปัญหาแรงดันตก การใช้หม้อแปลงไฟฟ้าเกินพิกัดกำลัง การจ่ายโหลดเกินของสายไฟแรงต่ำ โดยเฉพาะช่วงเวลาที่มีการใช้โหลดสูงสุด ปัญหา กำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เพิ่มขึ้น และแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล [2] โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากโหลดรถยนต์ไฟฟ้าจำนวนมากเพิ่มเข้ามาในช่วงเวลาเดียวกันกับที่ระบบมีความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด (peak demand) ก็จะทำให้ปัญหาที่กล่าวมาข้างต้นทวีความรุนแรงมากยิ่งขึ้น และหากกำลังการผลิตไฟฟ้าในระบบมีไม่เพียงพอก็อาจส่งผลให้เกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับเป็นบริเวณกว้างได้ในที่สุด

ปัจจุบันมีการนำเสนอวิธีจัดการการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่น่าสนใจหลากหลายวิธี เช่น การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของตัวแปรเชิงเส้น (linear optimization problem) เพื่อให้พลังงานที่ซื้อกับพลังงานที่ใช้ในการชาร์จรถยนต์มีความแตกต่างกันน้อยที่สุด [3] แต่วิธีนี้ไม่พิจารณาการควบคุมกำลังไฟฟ้าสูงสุดของระบบ โดยมีจุดประสงค์เพื่อให้รถยนต์ไฟฟ้าสามารถเข้าชาร์จได้จำนวนมากที่สุด ใช้เกณฑ์ข้อจำกัดด้านการจ่ายไฟของวงจร [4] และรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าที่จุดเชื่อมต่อให้อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด [5] ซึ่งทั้งสองจุดประสงค์ดังกล่าวไม่มีการพิจารณาพฤติกรรมการเดินทาง และระดับพลังงานสะสมคงเหลือ (State-of-Charge, %SOC) ตามจริงในแต่ละวัน และอีกงานวิจัยได้นำเสนอวิธีจัดการการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าเพื่อลด

การเปลี่ยนแปลงของความต้องการไฟฟ้าในแต่ละชั่วโมงให้น้อยที่สุด โดยใช้วิธีค้นหาเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm, GA) [6] แต่วิธีนี้ไม่คำนึงถึงความแตกต่างของรูปแบบการใช้ไฟในวันทำงานและวันหยุด

เพื่อให้ระบบจัดการการชาร์จมีประสิทธิภาพเพียงพอที่จะตอบสนองต่อความต้องการของทั้งผู้ใช้ไฟและผู้ให้บริการพลังงานไฟฟ้า จำเป็นต้องพิจารณาถึงตัวแปรอื่นร่วมด้วย งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการจัดการการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่สามารถจำกัดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของระบบได้ตามต้องการ ในงานวิจัยนี้มีการกำหนดเงื่อนไขว่าโหลดประเภทรถยนต์ไฟฟ้ามีการติดตั้งระบบติดต่อสื่อสารที่ทันสมัย ดังนั้นผู้ให้บริการพลังงานไฟฟ้าจึงสามารถควบคุมการใช้พลังงานของรถยนต์ไฟฟ้าได้ [7] อีกทั้งฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่นำเสนอมีการพิจารณาเวลาที่รถยนต์ไฟฟ้ารอคอยเพื่อเข้าชาร์จ และเวลาสิ้นสุดในการชาร์จ (deadline) ร่วมกับใช้ระบบจัดการการชาร์จตามเวลาจริง (real-time scheduling) [8] โดยแบ่งรถยนต์ไฟฟ้าเป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มที่ SOC น้อยกว่าและกลุ่มที่มี SOC มากกว่าค่าที่กำหนด โดยกลุ่มแรกจะถูกเพิ่มค่าถ่วงน้ำหนัก (weight) ให้ได้เข้าชาร์จก่อน ซึ่งเป็นผลให้วิธีการที่นำเสนอสามารถรับประกันความเพียงพอของ %SOC ก่อนการเดินทางครั้งต่อไปได้ เพื่อให้เห็นพฤติกรรมการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าในอนาคต ระบบจำลองที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้ใช้ฐานข้อมูลที่มีรูปแบบการกลับบ้าน (arrival time) และ %SOC ที่เหลือในแต่ละวันอ้างอิงจากข้อมูลการสำรวจการเดินทางภาคครัวเรือนทั้งประเทศ สหรัฐอเมริกา (National Household Travel Survey, NHTS) [9] นอกจากนี้ยังใช้ข้อมูลความต้องการกำลังไฟฟ้าและข้อมูลของระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) ร่วมด้วย ดังนั้น แบบจำลองที่ได้จึงสะท้อนให้เห็นถึงความแตกต่างระหว่างผลกระทบที่เกิดขึ้นกับระบบจำหน่ายของ กฟภ. กรณีที่มีและไม่มีการจัดการการชาร์จได้อย่างมีนัยสำคัญ

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอวิธีจัดการการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่สามารถตอบสนองต่อความต้องการของทั้งผู้ใช้ไฟและผู้ให้บริการพลังงานไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในส่วนที่ 2 จะกล่าวถึงแบบจำลองรถยนต์ไฟฟ้าที่ใช้ในงานวิจัยนี้ โดยแบ่งตามมาตรฐานการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า ส่วนที่ 3 จะกล่าวถึงขั้นตอนวิธี

จัดการการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่นำเสนอ และข้อจำกัดในงานวิจัยนี้ ส่วนที่ 4 กล่าวถึงรายละเอียดขั้นตอนที่ใช้ในการทดลอง รวมทั้งผลที่ได้จากการทดลอง และในส่วนสุดท้ายจะเป็นการสรุปผลการทดลอง รวมถึงประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัยนี้

2. แบบจำลองรถยนต์ไฟฟ้า

2.1 มาตรฐานการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า

การชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าตามมาตรฐาน IEC 61851-1 แบ่งเป็น 4 ระดับ [10] ซึ่งงานวิจัยนี้สนใจเฉพาะมาตรฐานการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าระดับที่ 1 ซึ่งเป็นการชาร์จโดยใช้ไฟฟ้ากระแสสลับ แรงดันไม่เกิน 250 โวลต์ และ 480 โวลต์ สำหรับระบบไฟฟ้า 1 เฟส และ 3 เฟส ตามลำดับ พิกัดการชาร์จไม่เกิน 16 แอมแปร์ โดยรูปแบบการชาร์จที่ใช้อ้างอิงข้อมูลรายงานผลการตรวจวัดรถยนต์ไฟฟ้าของ กฟภ. ซึ่งเป็นการชาร์จแบบกำลังไฟฟ้าคงที่ พิกัดการชาร์จ 3.4 กิโลวัตต์ [11]

2.2 ขนาดของแบตเตอรี่ที่ใช้ในงานวิจัย

ในปัจจุบันขนาดของแบตเตอรี่มีความหลากหลายตามความต้องการทั้งของผู้ใช้และขนาดของรถยนต์ผู้ผลิต เพื่อให้สามารถรองรับการเดินทางโดยใช้พลังงานไฟฟ้าในการขับเคลื่อนเพียงอย่างเดียว ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงออกแบบให้สามารถปรับขนาดแบตเตอรี่ของรถยนต์ไฟฟ้าได้ โดยใช้อ้างอิงข้อมูลจาก [12] ซึ่งขนาดแบตเตอรี่ที่เลือกใช้มี 2 ขนาด คือ 16 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ซึ่งเป็นแบตเตอรี่ของรถยนต์ Mitsubishi iMiEV และ Chevy Volt ส่วนแบตเตอรี่ขนาด 24 กิโลวัตต์-ชั่วโมง เป็นของรถยนต์ Nissan LEAF

2.3 ข้อมูลพฤติกรรมการเดินทาง

การใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าแต่ละวัน จะสะท้อน %SOC ตามระยะทางที่ใช้งาน ดังนั้นงานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลสถิติพฤติกรรมการเดินทางที่ได้จากการสำรวจขององค์กร NHTS กระทรวงคมนาคม ประเทศสหรัฐอเมริกา เนื่องจากการศึกษาของงานวิจัยที่ผ่านมา [13] พบว่ารถยนต์ไฟฟ้าจะมีการใช้งานอย่างแพร่หลายโดยเฉพาะในชุมชนเมือง และรถยนต์ที่ใช้งานส่วนใหญ่จะเป็นประเภทรถยนต์นั่งส่วนบุคคล เพื่อให้สอดคล้องกับพฤติกรรมการใช้งานของรถยนต์ไฟฟ้า ผู้วิจัยจึงวิเคราะห์ข้อมูลเฉพาะกลุ่มผู้เดินทางที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ชุมชนเมือง และประเภทรถยนต์ที่น่าสนใจคือ รถยนต์นั่งส่วนบุคคล รถตู้ และรถยนต์

เอนกประสงค์สมรรถนะสูง (SUV) ตามลำดับ

2.3.1 เวลากลับถึงบ้าน (arrival time)

พฤติกรรมการเดินทางของผู้ขับขีรถยนต์จะแตกต่างกันในแต่ละวัน เช่น วันหยุดจะมีเวลากลับถึงบ้านที่ไม่แน่นอน เนื่องจากส่วนใหญ่เป็นการเดินทางไปทำกิจกรรมที่ไม่มีการระบุอย่างชัดเจน ต่างจากวันทำงานที่มีพฤติกรรมการกลับถึงบ้านสอดคล้องกับเวลาเลิกงาน อีกทั้งยังเป็นช่วงเวลาที่ยังมีระบบจำหน่ายโดยทั่วไปมีความต้องการใช้พลังงานสูงอยู่แล้ว ดังนั้นหากในอนาคตรถยนต์ไฟฟ้ามีการใช้งานเพิ่มมากขึ้น และมีรูปแบบการเข้าชาร์จเมื่อกลับถึงบ้านพร้อมกันจำนวนมากโดยไม่มี การควบคุม จะส่งผลให้กำลังไฟฟ้าสำรอง (reserved capacity) ของระบบลดลงอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ยังอาจส่งผลให้มีการใช้กำลังไฟฟ้าสูงเกินกว่าค่าพิกัดความสามารถของระบบ (maximum loading capability) ทำให้ระบบขาดเสถียรภาพหากเกิดการใช้พลังงานเพิ่มมากขึ้นแบบทันทีทันใด ซึ่งอาจส่งผลให้เกิดปัญหาที่รุนแรงได้

2.3.2 ระดับค่าพลังงานสะสมคงเหลือ (%SOC)

ปริมาณพลังงานคงเหลือในแต่ละวัน แสดงในรูปของ %SOC ซึ่งได้จากการคำนวณระยะทางที่รถยนต์ไฟฟ้าเดินทางในแต่ละวัน โดยคำนวณได้จากสมการ (1) ซึ่ง %SOC ของรถยนต์ไฟฟ้าแต่ละคัน อาจแตกต่างกัน แม้ว่าใช้ระยะทางเท่ากัน ทั้งนี้เนื่องจากขนาดความจุแบตเตอรี่ รวมถึงสมรรถนะของรถยนต์ที่แตกต่างกัน

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

โดยที่ %SOC คือระดับค่าพลังงานสะสมคงเหลือ

$D_{\max}$ คือระยะทางมากที่สุดที่รถยนต์ไฟฟ้าเดินทางได้โดยใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างเดียว (ประจุเต็ม 100%)

D_{drive} คือระยะทางที่รถยนต์ไฟฟ้าเดินทางในแต่ละวัน โดยใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างเดียว

3. วิธีจัดการการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่นำเสนอ

ในการวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีจัดการการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่ตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้ไฟ โดยสามารถจัดการการชาร์จรถไฟฟ้าที่เข้ามาเชื่อมต่อให้ได้รับการชาร์จมากที่สุด โดยไม่ทำให้เกิดปัญหาแรงดันไฟฟ้าตก/เกิน ในระบบจำหน่าย และยังสามารถจำกัดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบไม่ให้เกินกว่าค่า

กำลังไฟฟ้าสูงสุดซึ่งเป็นการหลีกเลี่ยงการทำให้ระบบประสบปัญหาในช่วงที่มีความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ วิธีการที่นำเสนอแนะสามารถนำไปปรับปรุงการใช้พลังงานของระบบไฟฟ้าที่มีพลังงานในระบบจำกัดได้อย่างมีประสิทธิภาพอีกด้วย

3.1 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (objective function)

เพื่อให้สามารถรองรับจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าที่เข้าเชื่อมต่อได้มากที่สุด และ %SOC เน้นสูงสุด ดังนั้นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่นำเสนอ จะมีตัวแปรที่ใช้ในการตัดสินใจเลือกรถยนต์ไฟฟ้าที่เข้าชาร์จ 3 ตัวแปร คือเวลาที่รถยนต์ไฟฟ้ารอเข้าชาร์จ เวลาที่รถยนต์ไฟฟ้าจะปลดการเชื่อมต่อจากระบบและตัวแปรค่าถ่วงน้ำหนักซึ่งสอดคล้องกับ %SOC ของรถยนต์ไฟฟ้าคันดังกล่าว โดยฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่นำเสนอ แสดงได้ดังสมการ (2)

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

โดยที่ n คือ จำนวนรถยนต์ไฟฟ้าที่เชื่อมต่ออยู่ในระบบ

W_i คือ เวลาที่รถยนต์ไฟฟ้าคันที่ i รอเข้าชาร์จ

D_i คือ ขีดกำหนดเวลา (deadline) ที่รถยนต์ไฟฟ้าคันที่ i จะออกเดินทางจากบ้านในวันถัดไป

$D_{\max}$ คือ ค่า D_i ที่มากที่สุด (ของกลุ่มรถยนต์ไฟฟ้าที่อยู่ในสถานะเตรียมพร้อมรอเลือกเข้าชาร์จ)

x_i คือ ค่าไบนารี (0,1) ที่ใช้ระบุารรถยนต์ไฟฟ้าคันที่ i จะได้รับเลือกให้ชาร์จในชั่วโมงที่พิจารณาหรือไม่ โดยที่ 0 คือไม่ได้ชาร์จ, 1 คือได้รับเลือกเข้าชาร์จในชั่วโมงนั้นๆ

α_i คือ ค่าถ่วงน้ำหนักสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าคันที่ i โดยจะมีค่าแตกต่างกันตามกลุ่ม HRTS และ STRS ซึ่งแบ่งโดยใช้ระดับของ %SOC

3.2 เงื่อนไขบังคับ (constraint)

วิธีการที่นำเสนอ สามารถกำหนดค่าขีดจำกัดความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดของระบบภายหลังที่มีการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าได้ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ระบบยังมีกำลังไฟฟ้าสำรองอยู่ในระดับที่สามารถรองรับเหตุการณ์ฉุกเฉินของระบบได้ เช่น การเพิ่มขึ้นของโหลดอย่างทันทีทันใด โดยไม่ทำให้ระบบเกิดปัญหาด้านเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลังรุนแรงถึงขั้นไฟดับ เนื่องจากการผลิตไฟฟ้าไม่เพียงพอต่อความต้องการ หรือระบบต้องรองรับการถ่ายโอนโหลดจากวงจรข้างเคียงในกรณี

ฉุกเฉิน ดังนั้นที่เวลาใดๆ พลังงานที่ใช้ในระบบเมื่อรวมโหลดพื้นฐานและโหลดประเภทรถยนต์ไฟฟ้าแล้ว จะต้องไม่เกินขีดจำกัดพลังงานสูงสุดดังสมการ (3) และ (4)

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

โดยที่ $P_{Quota}^{(k)}$ คือพลังงานที่ระบบจำหน่ายสามารถรองรับรถยนต์ไฟฟ้าเข้ามาชาร์จเพิ่มในชั่วโมงที่ k

γ คือ แพลตฟอร์มปรับขีดจำกัดพลังงานสูงสุด

(maximum power limitation)

$P_{\max}$ คือค่าความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดของระบบ

$P_{baseload}^{(k)}$ คือโหลดพื้นฐานของระบบในชั่วโมงที่ k

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

โดยที่ P_i คือพลังงานที่รถยนต์ไฟฟ้าคันที่ i ต้องการในชั่วโมงที่ k โดยเป็นกำลังไฟฟ้ารวมทั้งฟักัดการชาร์จและค่าความสูญเสียที่รถยนต์ไฟฟ้าคันที่ i ทำให้เกิดขึ้นต่อระบบ

3.3 กำหนดการจำนวนเต็มแบบทวิภาค (binary programming) [14]

กำหนดการจำนวนเต็มแบบทวิภาค คือกระบวนการเชิงเส้น (Linear Programming, LP) ที่ใช้วิธีการหาคำตอบด้วยวิธีแตกกิ่งและกำหนดขอบเขต (branch and bound algorithm) ในการแก้ปัญหาไบนารี โดยคำตอบที่ได้เป็นคำตอบที่ดีที่สุด (optimum) โดยมีรูปแบบ (general form) ของฟังก์ชันจุดประสงค์และข้อจำกัดดังแสดงใน (5) และ (6) ตามลำดับ

$$\min_y f^T y \quad (5)$$

โดยที่ f คือเวกเตอร์ที่เก็บค่าของฟังก์ชันวัตถุประสงค์

y เป็นผลลัพธ์ที่ต้องการคำนวณหา มีค่าเป็นไบนารี (0,1)

$$\text{const.} \begin{cases} A \cdot y \leq b, \\ Aeq \cdot y = beq, \\ y, \text{binary} \end{cases} \quad (6)$$

โดยที่ A คือค่าเมทริกซ์ที่เก็บสัมประสิทธิ์ข้อจำกัดแบบอสมการ (linear inequality constraints)

b คือเวกเตอร์ที่เป็นข้อจำกัดแบบอสมการ

Aeq คือค่าเมทริกซ์ที่เก็บสัมประสิทธิ์ของสมการ (Linear Equality Constraints)

beq คือเวกเตอร์ที่เป็นข้อจำกัดของสมการ

ซึ่งวิธีการจัดการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่นำเสนอ เป็น

การหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดโดยใช้วิธีแก้ปัญหาคำนวณเต็มแบบทวีภาค ซึ่งเป็นการหาค่าที่ต่ำที่สุด (minimize) แต่เนื่องจากวิธีการที่นำเสนอเป็นปัญหาที่ต้องการหาค่าของชั่วโมงที่ใช้พิจารณามากที่สุด จึงนำค่า (-1) ไปคูณกับฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ใช้สำหรับหาค่าต่ำสุด เพื่อให้ผลลัพธ์ที่ได้เป็นการหาค่าสูงที่สุด (maximize) ซึ่งตรงตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ

4. วิธีการทดลองและผลที่ได้จากการทดลอง

งานวิจัยนี้ กำหนดให้รถยนต์ไฟฟ้ามีการกระจายตัวเชื่อมต่อ巴士ต่างๆ แบบการแจกแจงเอกรูป (uniform distribution) ดังนั้นทุก巴士จะมีความน่าจะเป็นที่จะมีรถยนต์ไฟฟ้าเชื่อมต่อเท่าๆ กัน โดยมีรายละเอียดของระบบที่นำมาใช้ในการทดลองดังนี้

4.1 ลักษณะระบบจำลอง (system description)

การศึกษาพฤติกรรมของระบบไฟฟ้าที่มีและไม่มีวิธีจัดการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าในงานวิจัยนี้ ใช้แบบจำลองระบบไฟฟ้า 2 แบบ โดยแบบแรกคือระบบทดสอบ IEEE 69 บัส [15] พิจารณาร่วมกับข้อมูลลักษณะการใช้ไฟฟ้าจาก Southern California Edison [16]

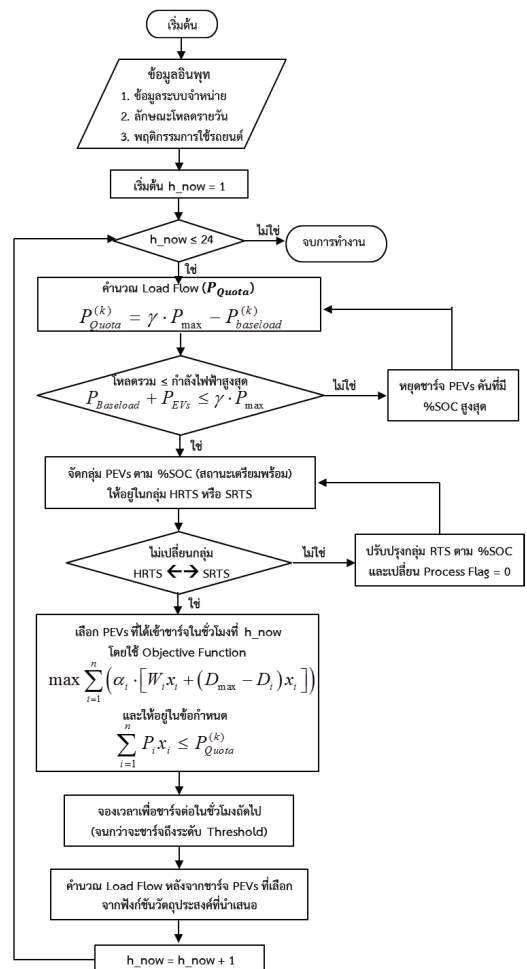
รูปแบบการกลับบ้านที่ได้จากข้อมูล NHTS แสดงให้เห็นพฤติกรรมการเดินทางในวันทำงานและวันหยุดที่มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน ดังนั้นลักษณะโหลดรายวันที่จะใช้ในการทดสอบจะพิจารณาแยกแยะระหว่างโหลดวันทำงานและวันหยุดด้วย ซึ่งลักษณะการใช้ไฟในวันทำงานของพื้นที่ให้บริการของ Southern California Edison มีความต้องการใช้ไฟฟ้าที่สูงกว่าในวันหยุด โดยมีค่าความต้องการใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุดอยู่ในช่วงเวลาประมาณ 14.00 – 18.00 น. ที่ประมาณ 1.8 เมกะวัตต์

ส่วนแบบจำลองที่ 2 เป็นการจำลองระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่มีการใช้งานจริงของ กฟภ. โดยข้อมูลระบบและลักษณะการใช้ไฟฟ้า เป็นของสถานีไฟฟ้าหัวหิน 3 (สฟพ. หัวหิน 3) วงจรที่ 5 ซึ่งเป็นระบบจำหน่ายที่มีการจ่ายไฟแบบเรเดียล (Radial) รองรับการถ่ายโอนโหลดจากสายป้อนใกล้เคียงได้ โหลดส่วนใหญ่เป็นโหลดประเภทที่อยู่อาศัย และมีจำนวนผู้ใช้ไฟสูงสุด (7,166 ราย : ข้อมูลจำนวนผู้ใช้ไฟของ กฟภ. ประจำปี ค.ศ. 2557) ซึ่งสอดคล้องกับสมมติฐานที่ว่ารถยนต์ไฟฟ้าส่วนใหญ่จะถูกใช้งานในพื้นที่เขตชุมชนเมือง เพื่อให้ง่ายต่อการนำระบบ

จริงที่มีความซับซ้อนมาใช้งาน งานวิจัยนี้จึงยุบรวมโหลดย่อยของวงจรที่ 5 เป็น 18 กลุ่มโหลดใหญ่ โดยพฤติกรรมการใช้ไฟในวันธรรมดามีความต้องการใช้ไฟฟ้าที่ไม่สูงมากนัก แต่จะพบว่าปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าในวันหยุดสูงกว่าวันธรรมดามาก โดยโหลดสูงสุดอยู่ที่ 7 เมกะวัตต์ ซึ่งเป็นสาเหตุมาจากวงจรนี้จ่ายไฟให้พื้นที่ท่องเที่ยวที่สำคัญ ลักษณะการใช้ไฟฟ้าจึงแตกต่างจากที่อยู่อาศัยในระบบอื่น

4.2 ขั้นตอนการทดลอง

งานวิจัยนี้มีการนำเสนอฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่มีการคำนึงถึงพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจัดการตารางงานตามเวลาจริง โดยมีวิธีการทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 1 มีรายละเอียดดังนี้

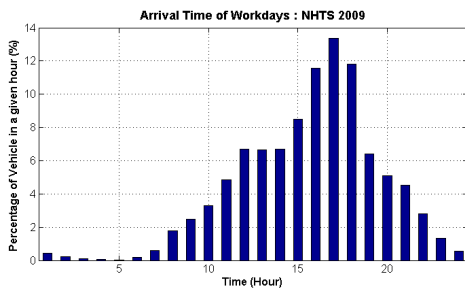


รูปที่ 1 แสดงแผนผังการจัดการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่นำเสนอ

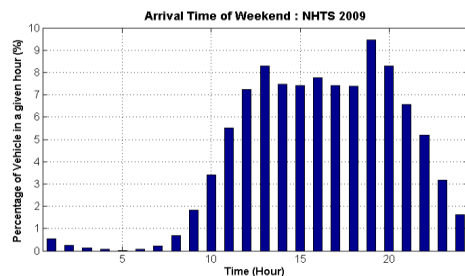
1) การสร้างรูปแบบการเข้าชาร์จของรถยนต์ไฟฟ้าในที่อยู่อาศัย โดยใช้ข้อมูลเชิงสถิติของ NHTS 2009 ร่วมกับข้อมูลการซื้อรถยนต์ไฟฟ้าของประเทศสหรัฐอเมริกา

2) เลือกระบบที่จะนำมาใช้ในการทดสอบ ซึ่งในงานวิจัยนี้ทดสอบบนระบบ IEEE 69 บัส และระบบจำหน่ายของ กฟภ. คือ สฟฟ.หัวหิน 3 วงจรที่ 5

3) ทดสอบการจัดการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่นำเสนอ โดยกำหนดจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าที่มาเชื่อมต่อ 3 กรณี คือ 100, 300 และ 500 คันตามลำดับ โดยมีรูปแบบการเข้าชาร์จตามเวลาการกลับบ้านที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูล NHTS 2009 ซึ่งแบ่งออกเป็นวันทำงานและวันหยุด ดังแสดงในรูปที่ 2 และ 3 ตามลำดับ



รูปที่ 2 พฤติกรรมการกลับบ้านในวันทำงาน



รูปที่ 3 พฤติกรรมการกลับบ้านในวันหยุด

4) เริ่มทดสอบจนครบ 24 ชั่วโมง

4.1) หากมีรถยนต์ไฟฟ้าที่จองช่องเวลา (timeslot) เพื่อชาร์จต่อจากชั่วโมงก่อนหน้านี้ ให้ได้รับการชาร์จก่อน

4.2) คำนวณค่าการไหลของกำลังไฟฟ้า (power flow) และเปรียบเทียบกับพิกัดกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่กำหนดไว้ จะทำให้ทราบค่ากำลังไฟฟ้าส่วนที่เหลือ (quota power) ที่รองรับการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าเพิ่มได้

4.3) การพิจารณากำลังไฟฟ้าส่วนที่เหลือ

(ก) กรณีที่ Quota Power มากกว่า 0 kW ระบบจะเลือกรถยนต์ไฟฟ้าที่อยู่ในสถานะเตรียมพร้อมเข้าชาร์จเพิ่มตามปริมาณกำลังไฟฟ้าส่วนที่เหลือที่รองรับได้

(ข) กรณี Quota Power มีค่าเท่ากับ 0 kW ระบบจะไม่เพิ่มจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าเข้ามาชาร์จในชั่วโมงนี้

(ค) กรณี Quota Power มีค่าน้อยกว่า 0 kW ระบบจะหยุดการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าบางคัน โดยเลือกหยุดคันที่มี %SOC มากที่สุด จนกว่าพลังงานที่หยุดทั้งหมดจะทำให้ Quota Power มีค่าเท่ากับ 0 kW

4.4) เลือกรถยนต์ไฟฟ้าเข้าชาร์จ โดยมีจุดประสงค์เพื่อให้ได้จำนวนรถยนต์ไฟฟ้าเข้าชาร์จในแต่ละชั่วโมงมากที่สุด และไม่ก่อให้เกิดปัญหาทักบระบบจำหน่าย โดยพิจารณาจากเวลาในการเข้าชาร์จ เวลาในการรอคอยการเข้าชาร์จพิจารณาจากเวลาในการเข้าเวลาสิ้นสุดการชาร์จ รวมไปถึง %SOC ของรถยนต์ไฟฟ้าแต่ละคัน โดยในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการกำหนดค่าความสำคัญโดยการแบ่งกลุ่มของรถยนต์ไฟฟ้าตาม %SOC ซึ่งหากมีค่าน้อยกว่า 90% จะถูกจัดให้อยู่ในกลุ่ม Hard Real-Time System (HRTS) ซึ่งมีการกำหนดค่าลำดับความสำคัญสูง ทำให้มีโอกาสได้รับเลือกให้เข้าชาร์จมากกว่า และรถยนต์ไฟฟ้าที่มี %SOC มากกว่า 90% จะถูกจัดให้อยู่ในกลุ่ม Soft Real-Time System (SRTS) ซึ่งเป็นกลุ่มที่มีโอกาสถูกเลือกเข้าชาร์จน้อยเนื่องจากมี %SOC เพียงพอที่จะใช้งานได้ในวันถัดไป [17] ทั้งนี้ผลลัพธ์ที่ได้จากกระบวนการนี้คือรถยนต์ไฟฟ้าที่ได้รับเลือกให้เริ่มเข้าชาร์จที่เวลาที่พิจารณาจะส่งค่าผลลัพธ์ x เป็น 1 แต่หากไม่ได้รับเลือกเข้าชาร์จ ค่า x ที่ได้จะเป็น 0

4.5) คำนวณค่า Power Flow ในระบบ เพื่อหาค่ากำลังไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมถึงค่าแรงดันไฟฟ้าเมื่อมีรถยนต์ไฟฟ้าเข้าชาร์จตามรูปแบบที่เลือกมา

4.6) คำนวณที่ชั่วโมงถัดไป และดำเนินการตั้งแต่ข้อ 4.1 อีกครั้งจนกว่าจะครบ 24 ชั่วโมง

5) วิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีจัดการชาร์จที่นำเสนอเปรียบเทียบกับวิธีการอื่น ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงฟังก์ชันวัตถุประสงค์ทั้งหมดที่ใช้ในการจำลองนี้ ซึ่งมีทั้งหมด 5 ฟังก์ชัน โดยฟังก์ชันที่ 1 มีจุดประสงค์เพื่อเลือกรถยนต์ไฟฟ้าคันที่เข้ามาก่อนให้ได้ รับการชาร์จก่อน (First Come, First-Served, FCFS)

ตารางที่ 1 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่นำเสนอและใช้อย่างยิ่งเพื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบในงานวิจัยนี้

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

ซึ่งเปรียบเสมือนกรณีชาร์จแบบไม่มีการจัดการ ดังนั้นผลที่ได้จะแสดงให้เห็นถึงปัญหาที่อาจเกิดขึ้นหากไม่ควบคุม โดยที่ W_i เป็นเวลาที่รถยนต์ไฟฟ้าคันที่ i รอเข้าชาร์จ

ฟังก์ชันที่ 2 และ 3 เป็นการเปรียบเทียบกับวิธีการที่ เคยมีการนำเสนอก่อนหน้านี้ โดยฟังก์ชันที่ 2 เป็นฟังก์ชัน วัตถุประสงค์ที่ [3] นำเสนอ มีจุดมุ่งหมายเพื่อให้พลังงาน ที่ใช้ในการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าในแต่ละชั่วโมงมีค่าน้อย ที่สุด โดยที่ P_i คือพิกัดการชาร์จของรถยนต์ไฟฟ้าคันที่ i โดยมีข้อจำกัดว่าพิกัดการชาร์จต้องอยู่ในช่วง 0 - 3 กิโลวัตต์ ($0 \leq P_i \leq 3$) แต่เนื่องจากวิธีการที่นำเสนอใช้ พิกัดการชาร์จตามผลการทดสอบของ กฟภ. ดังนั้นจึงใช้ พิกัดการชาร์จ 3.4 กิโลวัตต์เท่ากันทุกคน และฟังก์ชันที่ 3 เป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ [4] นำเสนอ มีจุดมุ่งหมายเพื่อ จัดการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าให้ได้รับเลือกมากที่สุด โดยที่ EV_i คือรถยนต์ไฟฟ้าคันที่ i โดยมีข้อจำกัดด้านพลังงาน ในระบบต้องไม่เกินพิกัดสาย และสามารถจ่ายพลังงานได้ เพียงพอกับความต้องการทุกคน

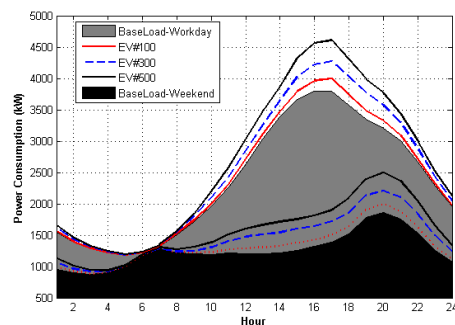
ฟังก์ชันที่ 4 เป็นฟังก์ชันที่งานวิจัยนี้นำเสนอ มี จุดประสงค์เพื่อจัดรถยนต์ไฟฟ้าให้เข้าชาร์จมากที่สุด ใช้ การกำหนดความสำคัญจากตัวแปร 2 ตัว คือ T_i ซึ่งเป็น เวลาที่ต้องใช้เพื่อชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าคันที่ i จนเต็ม W_i คือเวลารอเข้าชาร์จ และฟังก์ชันที่ 5 เป็นฟังก์ชันที่ได้นำเสนอวิธีที่สอง โดยกำหนดความสำคัญจากตัวแปร 2

เทอม คือ $W_i x_i$ ซึ่งเป็นการถ่วงน้ำหนักรถยนต์ไฟฟ้าคัน ที่ i ที่เชื่อมต่อมานานที่สุดให้มีโอกาสถูกเลือกเข้าชาร์จ ก่อนและ $(D_{\max} - D_i) x_i$ คือการเลือกคันที่ใกล้จะถึง กำหนดเวลาออกจากบ้านมากที่สุด วิธีการนี้มีการ ประยุกต์ใช้การแบ่งกลุ่มรถยนต์ไฟฟ้าตาม %SOC ร่วม ด้วย โดยใช้ค่าถ่วงน้ำหนัก (α) ที่ต่างกันตามกลุ่มของ HRTS และ SRTS ทั้งนี้ในการทดลอง กำหนดให้ใช้ค่า ถ่วงน้ำหนักเท่ากับ 0.8 สำหรับกลุ่ม HRTS และเท่ากับ 0.2 สำหรับกลุ่ม SRTS

4.3 ผลที่ได้จากการทดลอง

4.3.1 ระบบทดสอบ IEEE 69 บัส

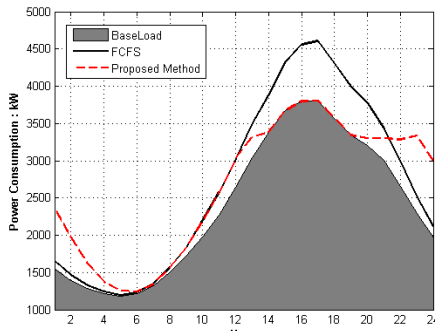
ในงานวิจัยนี้ได้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 กรณีศึกษาตามแบบจำลองระบบ โดยผลการจำลอง กรณีศึกษาแรกในระบบ IEEE 69 บัส โดยปรับเปลี่ยน จำนวนของรถยนต์ไฟฟ้าที่เชื่อมต่อเข้ากับระบบ เพื่อ เปรียบเทียบผลระหว่างระบบที่มีและไม่มีการจัดการ ชาร์จ จากการทดลอง เมื่อไม่มีการจัดการชาร์จรถยนต์ ไฟฟ้าจะเริ่มชาร์จทันทีเมื่อกลับถึงบ้าน พบว่าเมื่อเพิ่ม จำนวน PEVs มากขึ้น ดังรูปที่ 4 จะเห็นได้ว่าการเข้ามา ของรถยนต์ไฟฟ้าจะใกล้เคียงกับช่วงเวลาที่มีความต้องการ ใช้กำลังไฟฟ้าของระบบสูงอยู่แล้ว ทำให้ค่าความต้องการ ใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุดของระบบเพิ่มสูงขึ้นกว่าเดิมอีก



รูปที่ 4 ลักษณะการใช้ไฟฟ้าของ IEEE 69 bus วันทำงานและวันหยุด เมื่อมีโหนดรถยนต์ไฟฟ้าเชื่อมต่อ และไม่มีการจัดการ

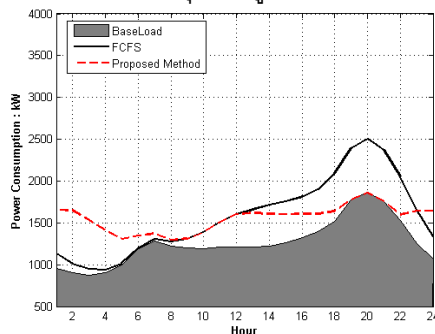
และเมื่อนำวิธีจัดการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่นำเสนอ ในงานวิจัยนี้มาช่วยในการจัดการชาร์จ พบว่าสามารถ ควบคุมค่าความต้องการใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุดของระบบให้ เท่ากับค่าความต้องการใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุดเดิมก่อนที่จะ มีการเข้ามาของรถยนต์ไฟฟ้าได้ โดยวิธีการที่นำเสนอจะ มีการจัดลำดับและจังหวะการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่ เหมาะสม อีกทั้งยังสามารถควบคุมค่าความต้องการใช้

กำลังไฟฟ้าสูงสุดของระบบได้ตามที่ต้องการ ทั้งนี้ลักษณะการใช้ไฟฟ้าเมื่อมีวิธีจัดการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าจำนวน 500 คัน ในวันทำงานและวันหยุด แสดงได้ดังรูปที่ 5 และ 6



รูปที่ 5 ลักษณะการใช้ไฟฟ้าของ IEEE 69 บัส เมื่อมีและไม่มีวิธีจัดการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าจำนวน 500 คันในวันทำงาน

จากรูปที่ 5 และรูปที่ 6 แสดงให้เห็นถึงลักษณะการใช้ไฟฟ้าเมื่อมีวิธีจัดการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า (ฟังก์ชันที่ 5) ทั้งในวันทำงานและวันหยุด จากรูปทั้งสองเส้นประแทนค่า

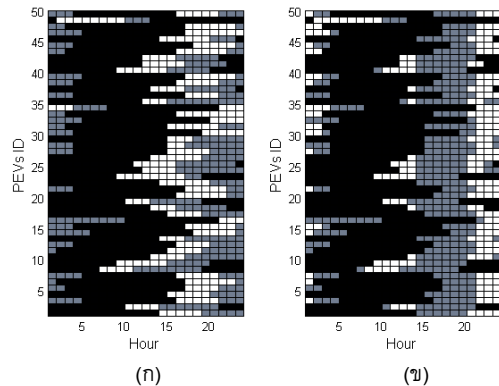


รูปที่ 6 ลักษณะการใช้ไฟฟ้าของ IEEE 69 บัส เมื่อมีและไม่มีวิธีจัดการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า จำนวน 500 คัน ในวันหยุด

ความต้องการใช้กำลังไฟฟ้าที่เกิดจากวิธีจัดการชาร์จ จะพบได้ว่าค่าความต้องการใช้กำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นจากการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าไม่เกินค่าความต้องการใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุดเดิมของระบบ โดยค่าความต้องการใช้กำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าจะมีลักษณะกระจายออกไปในช่วงเวลาที่ไม่ตรงกับค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดของระบบ ดังนั้นจึงสะท้อนให้เห็นถึงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของระบบที่ถูกปรับปรุงให้ดีขึ้นด้วย โดยรูปแบบการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 7

รูปที่ 7 แสดงรูปแบบการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า จำนวน 500 คัน (เลือกแสดงผล 50 คัน) เปรียบเทียบกรณีที่มีและ

ไม่มีการจัดการชาร์จ โดยแกนแนวดิ่งแสดงเวลา และแกนแนวนอนแสดงหมายเลขของรถยนต์ไฟฟ้า ซึ่งช่วงเวลาที่รถยนต์ไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบ (plug-in) แทนด้วย timeslot สีเทา ส่วนเวลาที่ไม่มีการเชื่อมต่อ แทนด้วย timeslot สีดำ ทั้งนี้ หากรถยนต์ไฟฟ้าได้เข้า



รูปที่ 7 รูปแบบการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า จำนวน 500 คัน (เลือกแสดงผล 50 คัน) โดยเปรียบเทียบระหว่าง (ก) ไม่มีการจัดการชาร์จ และ (ข) มีการจัดการชาร์จ (ฟังก์ชันที่ 5)

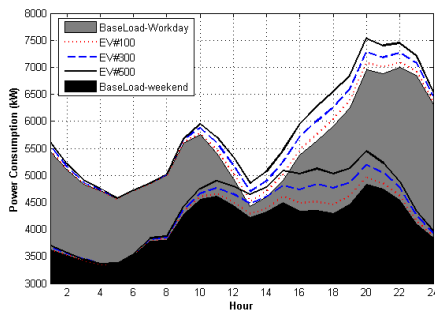
ชาร์จในช่วงเวลาใดๆ จะแทนด้วย timeslot สีขาว จากรูปที่ 7 (ก) แสดงรูปแบบการชาร์จกรณีที่ไม่มีการจัดการชาร์จ เมื่อรถยนต์ไฟฟ้าเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบจะเริ่มชาร์จทันทีโดยไม่คำนึงถึงผลกระทบหรือข้อจำกัดของระบบ และรูปที่ 7 (ข) แสดงให้เห็นว่าเมื่อมีพลังงานเพียงพอรถยนต์ไฟฟ้าจะได้รับเลือกเข้าชาร์จ แต่หากมีพลังงานไม่เพียงพอระบบอาจหยุดชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าบางคัน ซึ่งผลการทดลองเมื่อพิจารณา %SOC เฉลี่ย จะมีค่าไม่ต่ำกว่าที่รับประกันไว้ที่ (การทดสอบนี้ กำหนด %SOC ไว้ที่ 90%) ยกเว้นบางกรณี เช่น รถยนต์ไฟฟ้าที่เชื่อมต่อเข้ามาในขณะที่ระบบมีค่าความต้องการใช้กำลังไฟฟ้าสูงอยู่แล้ว หรือในกรณีที่รถยนต์ไฟฟ้ามี %SOC ที่ต่ำมากและเวลาที่เชื่อมต่อในระบบมีไม่เพียงพอ เป็นต้น

เมื่อพิจารณา %SOC ก่อนและหลังเข้าชาร์จโดยใช้ฟังก์ชันที่ 5 (วิธีการที่นำเสนอ) เมื่อระบบมีพลังงานเพียงพอรถยนต์ไฟฟ้าจะถูกชาร์จจนกว่าจะเต็ม 100% ซึ่งจากผลการทดลอง จำนวนรถยนต์ไฟฟ้าที่ชาร์จได้เต็ม 100% มีจำนวนถึง 80% ของรถยนต์ไฟฟ้าทั้งหมด และมีรถยนต์ไฟฟ้าเพียง 10% เท่านั้นที่มี %SOC เมื่อสิ้นสุดการชาร์จไม่ถึง 90% ซึ่งเมื่อตรวจสอบจะพบว่ารถยนต์ไฟฟ้ากลุ่มนี้มี %SOC เริ่มต้นที่ต่ำมากรวมทั้งเวลาที่

เชื่อมต่อในระบบอยู่ในช่วงที่ระบบมีความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงอีกด้วย

4.3.2 ระบบจำหน่ายไฟฟ้า สฟฟ.หัวหิน 3 วงจรที่ 5

จากการทดลองการเชื่อมต่อของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบที่จำลองจากระบบจำหน่ายไฟฟ้าวงจรที่ 5 สฟฟ.หัวหิน 3 ของ กฟภ. จะพบว่าผลการทดลองใกล้เคียงกับในระบบทดสอบ IEEE 69 บัส กล่าวคือเมื่อไม่มีการจัดการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าจะเริ่มชาร์จทันที และช่วงเวลาดังกล่าวเป็นเวลาเดียวกันกับที่ระบบมีความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงอยู่แล้ว จึงทำให้ยังเป็นการเพิ่มค่าความต้องการไฟฟ้าสูงสุด และเมื่อมีจำนวนมากขึ้น ค่าความต้องการไฟฟ้าสูงสุดก็จะยิ่งเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ดังแสดงในรูปที่ 8

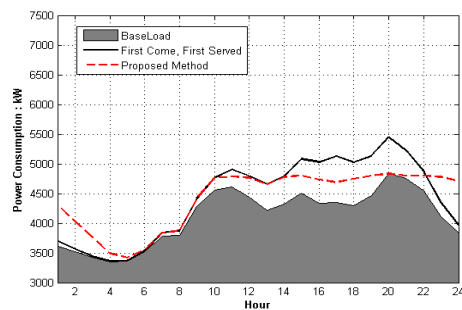


รูปที่ 8 ลักษณะการใช้ไฟฟ้าในโรงงาน สฟฟ.หัวหิน 3 วงจร 5 กรณีที่ไม่มีการจัดการชาร์จ ตามจำนวนการเชื่อมต่อของรถยนต์ไฟฟ้า

รูปที่ 8 แสดงลักษณะการใช้ไฟฟ้าของ สฟฟ.หัวหิน 3 วงจร 5 แบ่งกรณีตามจำนวนของรถยนต์ไฟฟ้าที่เข้าชาร์จในวันทำงานและวันหยุด โดยที่ EV#100, EV#300 และ EV#500 หมายถึงกรณีที่ระบบมีรถยนต์ไฟฟ้าเชื่อมต่อจำนวน 100, 300 และ 500 คันตามลำดับ จะพบว่าเมื่อไม่มีการจัดการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าจะเริ่มชาร์จทันที และเมื่อพิจารณาลักษณะการใช้ไฟฟ้าในวันหยุด ซึ่งมีค่าความต้องการใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุดมากกว่าวันทำงานถึง 2.2 เมกะวัตต์ จะพบว่ากรณการเข้าชาร์จของรถยนต์ไฟฟ้าตั้งแต่ 500 คันขึ้นไป จะทำให้ระบบประสบปัญหาแรงดันตกที่ปลายสาย เกินกว่าเกณฑ์ด้านแรงดัน (Voltage Criteria) ของการวางแผนระบบไฟฟ้าที่ กฟภ. กำหนดไว้คือในกรณีปกติ ระบบจำหน่ายพิกัดแรงดัน 22 กิโลโวลต์ต้องมีระดับแรงดันไม่ต่ำกว่า 0.95 pu [18] แรงดันไฟฟ้าในระบบจะเปลี่ยนแปลงต่ำกว่าค่ามาตรฐานเพิ่มมากขึ้น

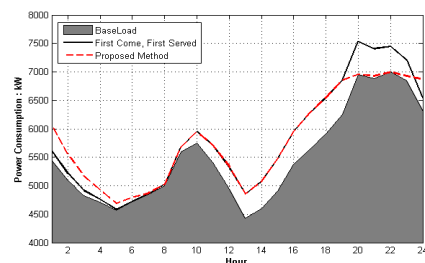
ตามจำนวนการเพิ่มขึ้นของรถยนต์ไฟฟ้าซึ่งระดับแรงดันของบัสที่อยู่ปลายสายของระบบที่ทำการทดลอง กรณีมีรถยนต์ไฟฟ้าเชื่อมต่อจำนวน 500 คัน ค่าระดับแรงดันจะอยู่ที่ 0.9402 pu ซึ่งต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่ กฟภ. กำหนด ดังนั้นการเข้าชาร์จของรถยนต์ไฟฟ้าโดยไม่มีการจัดการย่อมก่อให้เกิดปัญหาต่อระบบทั้งด้านการเพิ่มขึ้นของกำลังไฟฟ้าสูญเสีย และปัญหาแรงดันไฟฟ้าตก

ดังนั้น เพื่อป้องกันการเกิดปัญหาต่อระบบจำหน่ายเนื่องจากการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าและชะลอการปรับปรุงระบบจำหน่ายเพื่อรองรับการเข้ามาของรถยนต์ไฟฟ้า จึงจำเป็นต้องมีการจัดการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่เข้ามาเชื่อมต่อในระบบด้วย



รูปที่ 9 Load Profile ในวันทำงาน สฟฟ.หัวหิน 3 วงจร 5 เปรียบเทียบกรณีที่มีและไม่มีการจัดการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า

รูปที่ 9 และรูปที่ 10 แสดงลักษณะการใช้ไฟฟ้าของ สฟฟ.หัวหิน 3 วงจร 5 เปรียบเทียบกรณีที่มีและไม่มีการจัดการชาร์จในวันทำงานและวันหยุด โดยกำหนดจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าที่เข้าชาร์จ 500 คัน พบว่าวิธีจัดการชาร์จที่นำเสนอ (ฟังก์ชันที่ 5) สามารถรักษาระดับพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าให้ไม่เกินระดับกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ตั้งไว้ได้อีกด้วย



รูปที่ 10 Load Profile ในวันหยุด สฟฟ.หัวหิน 3 วงจร 5 เปรียบเทียบกรณีที่มีและไม่มีการจัดการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า

เมื่อพิจารณาผลของ %SOC ก่อนและหลังเข้าชาร์จ (ฟังก์ชันที่ 5) จะพบว่าระบบจำหน่ายของ กฟภ. ที่นำมาทดสอบมีจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าที่ไม่สามารถชาร์จได้จนเต็ม 100% น้อยกว่ากรณีระบบ IEEE 69 บัส เนื่องจากขีดจำกัดพลังงานสูงสุดที่สูงกว่าถึง 3 เมกะวัตต์ ทำให้มีพลังงานที่ใช้จัดสรรเพื่อชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าได้มากกว่า

เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของผลลัพธ์จากการทดลองระหว่างฟังก์ชันวัตถุประสงค์ตามตารางที่ 1 งานวิจัยนี้ใช้การประเมินผล 4 แบบเพื่อวัดผล คือ

1. ความต้องการพลังงานสูงสุด (peak demand)

$$P_{Peak} = \max_{i=1:24} (P_i) \quad (7)$$

โดยที่ P_i คือพลังงานที่ระบบต้องการในชั่วโมงที่ i

2. อัตราพลังงานสูงสุดต่อพลังงานเฉลี่ย

$$PAR = \frac{Power_{peak}}{Power_{mean}} \quad (8)$$

โดยที่ P_{mean} คือความต้องการพลังงานเฉลี่ยใน 1 วัน

3. ค่าองค์ประกอบการใช้ไฟฟ้า (Load Factor, LF)

$$LF = \frac{Power_{mean}}{Power_{peak}} \quad (9)$$

4. อัตราเฉลี่ยของระดับค่าพลังงานสะสมคงเหลือ

$$SOC_{avg} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N SOC_i \quad (10)$$

โดยที่ SOC_i คือ %SOC ของรถยนต์ไฟฟ้าคันที่ i

N คือ จำนวนรถยนต์ทั้งหมดที่เชื่อมต่อใน 1 วัน

ดังนั้นสามารถสรุปผลการทดลองแยกตามตัวแปรที่ใช้วัดผลและจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าที่เชื่อมต่อได้ดังตารางที่ 2 – ตารางที่ 7

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบผลการทดลอง กรณีรถยนต์ไฟฟ้าเข้าเชื่อมต่อที่ระบบทดสอบ IEEE 69 บัส จำนวน 100 คัน (วันทำงาน)

Objective Function	Peak Demand	PAR	Load Factor	Average Plug-out SOC
Base load	3,972.98	1.623	0.616	-
1	4,173.77	1.682	0.594	100
2	4,173.77	1.682	0.594	100
3	4,173.77	1.682	0.594	100
4	3,972.98	1.602	0.693	99.295
5	3,972.98	1.602	0.693	99.157

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบผลการทดลอง กรณีรถยนต์ไฟฟ้าเข้าเชื่อมต่อที่ระบบทดสอบ IEEE 69 บัส จำนวน 300 คัน (วันทำงาน)

Objective Function	Peak Demand	PAR	Load Factor	Average Plug-out SOC
Base load	3,972.98	1.623	0.616	-
1	4,467.04	1.755	0.570	100
2	4,467.04	1.755	0.570	100
3	4,467.04	1.755	0.570	100
4	3,972.98	1.563	0.705	97.89
5	3,972.98	1.563	0.705	98.04

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบผลการทดลอง กรณีรถยนต์ไฟฟ้าเข้าเชื่อมต่อที่ระบบทดสอบ IEEE 69 บัส จำนวน 500 คัน วันทำงาน

Objective Function	Peak Demand	PAR	Load Factor	Average Plug-out SOC
Base load	3,972.98	1.623	0.616	-
1	4,811.57	1.842	0.543	100
2	4,811.57	1.842	0.543	100
3	4,811.57	1.842	0.543	100
4	3,972.98	1.528	0.711	95.23
5	3,972.98	1.528	0.711	95.73

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบผลการทดลอง กรณีรถยนต์ไฟฟ้าเข้าเชื่อมต่อที่วงจร 5 สฟ.พ.หัวหิน 3 จำนวน 100 คัน ในวันหยุด

Objective Function	Peak Demand	PAR	Load Factor	Average Plug-out SOC
Base load	7,623.21	1.273	0.786	-
1	7,717.30	1.282	0.780	100
2	7,717.30	1.282	0.780	100
3	7,717.30	1.282	0.780	100
4	7,623.21	1.266	0.790	98.74
5	7,623.21	1.266	0.790	98.74

ตารางที่ 6 เปรียบเทียบผลการทดลอง กรณีรถยนต์ไฟฟ้าเข้าเชื่อมต่อที่วงจร 5 สฟ.พ.หัวหิน 3 จำนวน 300 คัน (วันหยุด)

Objective Function	Peak Demand	PAR	Load Factor	Average Plug-out SOC
Base load	7,623.21	1.273	0.786	-
1	7,942.00	1.305	0.766	100
2	7,942.00	1.305	0.766	100
3	7,942.00	1.305	0.766	100
4	7,623.21	1.253	0.798	98.71
5	7,623.21	1.253	0.798	98.71

ตารางที่ 7 เปรียบเทียบผลการทดลอง กรณีรถยนต์ไฟฟ้าเข้าเชื่อมต่อที่ วงจร 5 สฟฟ.หัวหิน 3 จำนวน 500 คัน (วันหยุด)

Objective Function	Peak Demand	PAR	Load Factor	Average Plug-out SOC
Base load	7,623.21	1.273	0.786	-
1	8,172.18	1.330	0.752	100
2	8,172.18	1.330	0.752	100
3	8,172.18	1.330	0.752	100
4	7,623.21	1.241	0.806	98.234
5	7,623.21	1.241	0.806	98.229

จากตารางที่ 2 - 7 แสดงผลเปรียบเทียบกรณีที่มีรถยนต์ไฟฟ้าเข้าเชื่อมต่อบนทดสอบ IEEE 69 บัส (วันทำงาน) และวงจรที่ 5 ของ สฟฟ.หัวหิน 3 (วันหยุด) จำนวน 100, 300 และ 500 คันตามลำดับ ซึ่งผลการทดลองเปรียบเทียบระหว่างตัวแปรที่ใช้วัดผลและฟังก์ชันจุดประสงค์ทั้ง 5 แบบ คอลัมน์ที่ 2 ของทุกตารางแสดงให้เห็นว่าค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดกรณีที่ไม่มีการจัดการชาร์จ (ฟังก์ชันที่ 1) จะมีค่าสูงสุด และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามจำนวนของรถยนต์ไฟฟ้าที่เพิ่มเข้ามาในระบบ เนื่องจากรูปแบบการเข้าชาร์จของรถยนต์ไฟฟ้าอยู่ในช่วงเวลาเดียวกันกับที่ระบบกำลังประสบปัญหาความต้องการพลังงานสูง และเมื่อเปรียบเทียบกับฟังก์ชันที่ 2 และ 3 จะพบว่ามีค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดเพิ่มขึ้นเท่ากับกรณีไม่มีการจัดการชาร์จ เนื่องจากทั้งสองวิธีนี้อนุญาตให้รถยนต์ไฟฟ้าเข้าชาร์จเพิ่มได้ถ้าผลรวมของพลังงานในระบบไม่เกินความสามารถในการจ่ายโหลดของวงจร เมื่อเปรียบเทียบกับฟังก์ชันที่ 4 และ 5 ซึ่งเป็นวิธีการที่นำเสนอ จะพบว่ามี การหยุดชาร์จเมื่อค่าพลังงานรวมในระบบสูงเท่ากับค่าขีดจำกัดพลังงานสูงสุด ซึ่งกรณีนี้กำหนดแพคเตอร์ปรับขีดจำกัดไว้เท่ากับกำลังไฟฟ้าสูงสุดเดิมและเลื่อนเวลาการเข้าชาร์จของรถยนต์ไฟฟ้าเพื่อรักษาระดับค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดไม่ให้มากกว่าเดิมอีกด้วย

ในคอลัมน์ที่ 3 แสดงค่าอัตราพลังงานสูงสุดต่อพลังงานเฉลี่ย (PAR) โดยค่าอัตราพลังงานสูงสุดต่อพลังงานเฉลี่ยของฟังก์ชันที่ 4 และ 5 มีค่าต่ำกว่ากรณีทดลองด้วยฟังก์ชันอื่น เนื่องจากค่าอัตราพลังงานสูงสุดต่อพลังงานเฉลี่ย บ่งบอกถึงความแตกต่างระหว่างกำลังไฟฟ้าสูงสุดและค่าเฉลี่ยของกำลังไฟฟ้าใน 1 วัน

หากค่าอัตราพลังงานสูงสุดต่อพลังงานเฉลี่ยมาก แสดงว่ามีค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่สูงหรือมีประสิทธิภาพในการใช้พลังงานแต่ละวันไม่คุ้มค่า ดังนั้นวิธีการที่นำเสนอสามารถลดค่าอัตราพลังงานสูงสุดต่อพลังงานเฉลี่ยได้อย่างมีนัยสำคัญ

ในคอลัมน์ที่ 4 แสดงค่าองค์ประกอบการใช้ไฟฟ้า (load factor) เปรียบเทียบระหว่างระบบที่มีและไม่มีการจัดการชาร์จ ซึ่งค่านี้จะบ่งบอกถึงประสิทธิภาพการถูกใช้งาน (utilized) ของระบบจากมุมมองของผู้ให้บริการไฟฟ้า ใช้อธิบายประสิทธิภาพการใช้งานของโหลดตามพฤติกรรมของผู้ใช้ไฟ โดยคำนวณจากสัดส่วนของพลังงานเฉลี่ยเทียบกับค่าพลังงานสูงสุด โดยค่าในอุดมคติคือมีค่าใกล้เคียง 1 มากที่สุด จากผลการทดลองพบว่าระบบที่ไม่มีจัดการและระบบที่จัดการชาร์จโดยใช้ฟังก์ชันที่ 2 และ 3 มีค่าองค์ประกอบการใช้ไฟฟ้าลดลงเป็นสัดส่วนตามจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าที่เข้าชาร์จ แสดงว่าระบบมีประสิทธิภาพการใช้พลังงานลดลง เนื่องจากโหลดสูงสุดเทียบกับโหลดเฉลี่ยแตกต่างกันมากขึ้นอย่างชัดเจน ซึ่งต่างกับระบบที่จัดการโดยฟังก์ชันที่ 4 และ 5 จะพบว่ามีค่าองค์ประกอบการใช้ไฟฟ้าสูงขึ้นเรื่อยๆ ตามจำนวนรถยนต์ไฟฟ้า เพราะระบบมีการจัดสรรพลังงานที่มีอยู่อย่างจำกัดเพื่อใช้ในการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าอย่างเต็มประสิทธิภาพ

ในคอลัมน์สุดท้าย แสดงอัตราเฉลี่ยของระดับค่าพลังงานสะสมคงเหลือ (%SOC) ที่พร้อมใช้งานในวันถัดไป จะพบว่ากรณีที่จำนวนรถยนต์ไฟฟ้าเข้าชาร์จไม่เกินความสามารถการจ่ายพลังงานของระบบ เมื่อปลดการเชื่อมต่อ อัตราเฉลี่ยของระดับค่าพลังงานสะสมคงเหลือจะเต็ม 100% แต่เมื่อจำนวนรถยนต์ไฟฟ้ามีมากเกินความสามารถที่ระบบจะรองรับได้ ซึ่งจากการทดลองนี้จะพบว่า ยิ่งรถยนต์ไฟฟ้าในระบบเพิ่มจำนวนขึ้นโอกาสที่ค่าเฉลี่ย %SOC ของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจะลดลงก็จะยิ่งสูงขึ้นตามไปด้วย แต่เมื่อพิจารณาระดับอัตราเฉลี่ยของระดับค่าพลังงานสะสมคงเหลือ เมื่อปลดการเชื่อมต่อที่ลดลง จะเห็นว่ามีเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ทั้งนี้อัตราเฉลี่ยของระดับค่าพลังงานสะสมคงเหลือพร้อมใช้งานก็ยังอยู่ในระดับที่สามารถใช้เดินทางได้อย่างพอเพียงในวันถัดไป

ตารางที่ 8 เปรียบเทียบผลการทดลอง กรณีรถยนต์ไฟฟ้าเข้าเชื่อมต่อกับระบบทดสอบ IEEE 69 บัส จำนวน 300 คัน วันทำงาน

Objective Function	Average Plug-out SOC	Guarantee Ratio			
		80%	85%	90%	100%
4	97.89	98.5	97.93	97.3	96.8
5	98.04	93.3	92.67	90.0	87.3

ตารางที่ 9 เปรียบเทียบผลการทดลอง กรณีรถยนต์ไฟฟ้าเข้าเชื่อมต่อกับ วงจร 5 สฟฟ.หัวหิน 3 จำนวน 300 คัน (วันหยุด)

Objective Function	Average Plug-out SOC	Guarantee Ratio			
		80%	85%	90%	100%
4	98.71	95.8	94.67	92.9	91.3
5	98.71	96.5	95.07	93.9	91.4

ตารางที่ 8 และตารางที่ 9 แสดงผลการทดสอบกรณีรถยนต์ไฟฟ้า จำนวน 300 คันเข้าเชื่อมต่อกับระบบทดสอบ IEEE 69 บัส และวงจรที่ 5 สฟฟ.หัวหิน 3 ตามลำดับ จะพบว่าฟังก์ชันที่ 5 จากทั้งสองตารางมีอัตราเฉลี่ยของระดับค่าพลังงานสะสมคงเหลือมากกว่าเล็กน้อย และจากตารางที่ 8 ซึ่งเป็นระบบ IEEE 69 บัส เมื่อพิจารณาถึงอัตราการรับประกันระดับค่าพลังงานสะสมคงเหลือก่อนใช้งานในวันถัดไป (guarantee ratio) พบว่าฟังก์ชันที่ 4 มี guarantee ratio ที่ 90% และ 100% สูงกว่าฟังก์ชันที่ 5 เนื่องจากฟังก์ชันที่ 4 จะชาร์จแบตเตอรี่อย่างต่อเนื่องจนกว่าจะเต็ม 100% แม้จะต้องรองรับรถยนต์ไฟฟ้าถึง 300 คันก็ตาม กล่าวคือ ฟังก์ชันที่ 4 จะให้ความสำคัญต่อรถยนต์ไฟฟ้าคันที่เข้ามาก่อนจะได้รับการชาร์จจนเต็ม 100% ก่อนโดยไม่พิจารณา %SOC ของรถยนต์ไฟฟ้าคันที่เข้ามาทีหลัง แต่จากตารางที่ 9 ซึ่งเป็นการทดลองของวงจรที่ 5 สฟฟ.หัวหิน 3 จะพบว่า guarantee ratio ของทั้งสองฟังก์ชันให้ผลที่ใกล้เคียงกันมาก เนื่องจากวงจรนี้มีขีดจำกัดกับพลังงานสูงสุดที่ประมาณ 7 เมกะวัตต์ ทำให้สามารถรองรับรถยนต์ไฟฟ้าจำนวน 300 คันได้โดยฟังก์ชันที่ 5 ไม่จำเป็นต้องหยุดการชาร์จเมื่อถึงระดับขีดแบ่ง HRTS และ SRTS ดังนั้น เมื่อพิจารณาจากระดับพลังงานในระบบที่สามารถใช้งานได้มีไม่เพียงพอต่อการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าได้เต็มทุกคันที่เข้าเชื่อมต่อ หากผู้ให้บริการพลังงานไฟฟ้ามีมุมมองที่ให้ความสำคัญต่อ guarantee ratio มากกว่าอัตราเฉลี่ยของระดับค่าพลังงาน

สะสมคงเหลือ ฟังก์ชันที่ 4 จะเป็นอีกทางเลือกที่เหมาะสม

5. สรุปผลและวิจารณ์

งานวิจัยนี้มีการนำเสนอการจัดการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่สามารถปรับปรุงรูปแบบการใช้พลังงานของระบบ ทั้งยังสามารถรับประกันระดับพลังงานสะสมคงเหลือเฉลี่ยของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบได้ด้วย โดยมีการคำนึงถึงพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจัดตารางงานตามเวลา รวมทั้งใช้ฐานข้อมูลการสำรวจการเดินทางภาคครัวเรือนทั้งประเทศ กระทรวงคมนาคม สหรัฐอเมริกา เพื่อจำลองพฤติกรรมการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้า โดยการทดลองจะพิจารณาจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าที่แตกต่างกัน กระบวนการแก้ปัญหาที่ใช้คือ binary programming และทำการทดสอบโดยใช้ระบบทดสอบ 2 ระบบ คือ IEEE 69 bus และระบบจำหน่ายของ กฟภ. ที่ สฟฟ.หัวหิน 3 วงจรที่ 5

จากผลการทดสอบ จะพบว่าวิธีการที่นำเสนอสามารถรักษาระดับความต้องการพลังงานสูงสุด (peak demand) เดิมของระบบได้ เมื่อเปรียบเทียบกับ [3] และ [5] จะพบว่าระดับค่าพลังงานสะสมคงเหลือ (%SOC) ก่อนใช้งานในวันถัดไปต่างกันเล็กน้อย แต่ผลของวิธีการที่นำเสนอ สามารถทำให้ค่าอัตราพลังงานสูงสุดต่อพลังงานเฉลี่ย (PAR) ลดลง และปรับปรุงค่าองค์ประกอบการใช้ไฟฟ้า (load factor) ได้อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งหมายถึงระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่มีการนำวิธีการที่นำเสนอไปใช้จัดการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้านั้น มีการใช้งานพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังสามารถควบคุมการใช้งานช่วงที่ระบบมีความต้องการใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุด ไม่ให้ทวีความรุนแรงเพิ่มขึ้นอันเนื่องมาจากพฤติกรรมและจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าที่เชื่อมต่อเข้ามา ซึ่งส่งผลให้สามารถขยายระยะเวลาในการจัดหาแหล่งผลิตไฟฟ้าเพิ่ม อีกทั้งยังคงรักษาระดับกำลังไฟฟ้าสำรองให้อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดไว้ได้อีกด้วย

ทั้งนี้เนื่องจากวิธีการที่นำเสนอ สามารถรักษาระดับพลังงานให้ไม่เกินขอบเขตที่กำหนด ดังนั้นระดับแรงดันไฟฟ้าภายหลังชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าจะเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย เนื่องจากรูปแบบการใช้พลังงานเฉลี่ยมีความใกล้เคียงกัน และจากความสามารถในการรักษาระดับ

กำลังไฟฟ้าสูงสุดได้นั้น ทำให้ผู้ให้บริการพลังงานไฟฟ้าไม่จำเป็นต้องมีการปรับปรุงระบบจำหน่ายเพื่อรองรับการเพิ่มขึ้นของรถยนต์ไฟฟ้าโดยที่ยังใช้งานระบบเดิมได้ไม่เต็มประสิทธิภาพ รวมถึงสามารถจัดสรรเพื่อให้งจรที่มีการจัดการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าสามารถรองรับการถ่ายโอนโหลดจากวงจรข้างเคียงได้ จากข้อดีที่กล่าวมาข้างต้น ทำให้วิธีการนี้สามารถยืดอายุการใช้งานของอุปกรณ์ในระบบจำหน่าย เช่น สายไฟฟ้า หรือหม้อแปลงไฟฟ้าได้อีกด้วย

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ที่ให้การสนับสนุนด้านค่าใช้จ่ายทำให้ผู้วิจัยได้มีโอกาสได้รับทุนเพื่อศึกษาต่อระดับปริญญาโท

เอกสารอ้างอิง

- [1] นักสิทธิ์ คุ้มพัฒนาชัย. 2551. รถไฮบริดและรถยนต์ไฟฟ้า. ประชาคมวิจัย. 14(12).
- [2] Papadopoulos, P., Cipcigan, L.M., Jenkins, N. and Grau, I. 2009. Distribution networks with electric vehicles. Universities Power Engineering Conference (UPEC), Proceedings of the 44th International, Sept. 1-4, 2009: 1-5.
- [3] Soares, F.J., Rocha Almeida, P.M. and Pecas Lopes, J.A. 2004. Quasi-real-time management of electric vehicles charging. Electric Power Systems Research. vol. 108(2014), pp. 293-303.
- [4] Richardson, P.; Flynn, D.; Keane, A. 2012. Optimal charging of electric vehicles in low-voltage distribution systems. IEEE Trans. Power Syst. vol. 27, pp. 268-279.
- [5] 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. Proceedings of EVS-24, Stavanger, Norway, May. 13-16, 2009: 2680-2690.
- [6] Monica, A., Hortensia, A., Jean, G.G. and Juan M.G. 2014. Optimal charging scheduling of electric vehicles in smart grids by heuristic algorithms. Energies. vol. 7: 2449-2475.
- [7] Ma, Z. Callaway, D. and Hiskens, I. 2010. Decentralized charging control for large populations of plug-in electric vehicles. 49th IEEE Conference on Decision and Control (CDC), pp. 206-212.
- [8] Laplante, P.A. 2004. Real-time systems design and analysis, John Wiley & Sons, 3rd ed.
- [9] National Household Travel Survey. [Internet] 2014. [cited: 2014 Aug 15]. <http://nhts.ornl.gov>.
- [10] IEC 61851-1 Standard for electric vehicle conductive charging system part 1 : general requirements.
- [11] กองแผนงานระบบไฟฟ้า กองวิจัย กองพัฒนาระบบไฟฟ้า การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, รายงานผลการตรวจวัดรถยนต์ไฟฟ้า สิงหาคม 2555.
- [12] BU-1203: Electric Vehicle. [Internet] 2014. [cited: 2014 Sep 10]. http://batteryuniversity.com/learn/article/electric_vehicle.
- [13] 2009 National Household Travel Survey User's Guide. 2011, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration.
- [14] Optimization Toolbox User's Guide for MATLAB. 2009. Version 1, Mathworks.
- [15] Park, J.Y., Sohan, J.M. and Park, J.K. 2009. Optimal capacitor allocation in a distribution system considering operation costs. IEEE Transactions on Power Systems, Vol.24, No.1, pp.462-468.
- [16] Southern California Edison Regulatory Information (2014). [Internet] 2014. [cited: 2014 Sep 14]. http://www.sce.com/005_regul_info/eca/DOMSM14.DLP.
- [17] Shiyao ,C., Yuting , J. and Lang T. 2012. Deadline scheduling for large scale charging of electric vehicles with renewable energy. Sensor Array and Multichannel Signal Processing Workshop (SAM), IEEE 2012, 7th. pp. 13-16.

- [18] การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค กระทรวงมหาดไทย. 2555.
แผนพัฒนาระบบไฟฟ้า ในช่วงแผนพัฒนาเศรษฐกิจ
และสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 11 ปี พ.ศ. 2555-2559.