

การวิเคราะห์พฤติกรรมการอัดประจุรถยนต์ไฟฟ้าและผลกระทบต่อการจัดการโหลด : กรณีศึกษาแพลตฟอร์ม PEA Volta EV Charging Behavior and Distribution Load Management : A Case Study from the PEA Volta Platform

สุรพงษ์ แก่นมณี¹, นรินทร์ กุลนาคดล², ชัชวาล นิมโรธธรรม² และ อภิชาติ สังข์ทอง^{3*}
Surapong Keanmanee¹, Narin Koolnapadol², Chatchawal Nimrotham²
and Apichart Sungthong^{3*}

¹สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและพลังงาน คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏราชชนครินทร์

²สาขาวิชาวิศวกรรมยานยนต์สมัยใหม่ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏราชชนครินทร์

³สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏราชชนครินทร์

¹Department of Electrical and Energy Engineering, Faculty of Industrial Technology, Rajabhat Rajanagarindra University

²Department of Modern Automotive Engineering, Faculty of Industrial Technology, Rajabhat Rajanagarindra University

³Department of Applied Physics, Faculty of Science and Technology, Rajabhat Rajanagarindra University

*Email: apichart.sun@rru.ac.th

Received: April 11, 2026; Revised: June 8, 2026; Accepted: June 11, 2026

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์พฤติกรรมการอัดประจุรถยนต์ไฟฟ้า (Electric Vehicle: EV) ของลูกค้าการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) จากข้อมูลจริงจำนวน 48,752 ครั้งการอัดประจุ จากสถานี DC Fast Charger จำนวน 124 สถานีที่ติดตั้งโดยบริษัท พีจี อีเล็คทริก กรุ๊ป จำกัด และเชื่อมต่อกับระบบ PEA Volta ระหว่างเดือนมกราคม พ.ศ. 2567 – กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2568 (14 เดือน) ผลการวิเคราะห์พบว่า ผู้ใช้บริการเลือกช่วง Off-Peak (22:00–09:00 น.) สูงถึง 62.2% (เทียบกับ Peak 37.8%) โดยมีอัตราส่วน Off-Peak:Peak $\approx 1.65:1$ พลังงานเฉลี่ยต่อครั้งในช่วง Off-Peak สูงกว่าช่วง Peak 57.2% (29.4 kWh เทียบกับ 18.7 kWh) การอัดประจุเต็ม 100% SoC เกิดขึ้น 41.7% ใน Off-Peak เทียบกับเพียง 12.3% ใน Peak การใช้บริการกระจุกตัวในภาคกลางและภาคตะวันออกถึง 81.5% และ หัวยาร์จ CCS Combo II ได้รับความนิยมสูงสุด (64.1%) โดยพบว่าโครงสร้างอัตราค่าไฟฟ้าแบบ Time-of-Use (TOU) ช่วยกระจายโหลดการอัดประจุและลด Peak Charging Demand ได้ประมาณ 24–28% ผลการวิจัยนี้สามารถนำไปใช้ในการวางแผนการติดตั้งสถานี การกำหนดอัตราค่าบริการแบบไดนามิก และการพัฒนาระบบ Smart Charging เพื่อรองรับการเติบโตของ EV ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า ทั้งนี้ ข้อมูลจำนวน 48,752 ครั้งการอัดประจุถูกใช้สำหรับการวิเคราะห์สถิติระดับระบบและการกำหนดบริบทการวิจัย ขณะที่กลุ่มตัวอย่างตัวแทนจำนวน 86 ครั้งจาก 12 จังหวัดถูกใช้สำหรับการวิเคราะห์รูปแบบพฤติกรรมที่นำเสนอในส่วนผลการวิจัย

คำสำคัญ : รถยนต์ไฟฟ้า, การอัดประจุแบบเร็วด้วยไฟตรง, พฤติกรรมผู้ใช้, อัตราค่าไฟฟ้าตามการใช้งาน, การจัดการโหลด, PEA Volta, ระบบจำหน่ายไฟฟ้า

Abstract

This study aims to analyze the Electric Vehicle (EV) charging behavior of Provincial Electricity Authority (PEA) customers based on real-world data comprising 48,752 charging sessions collected from 124 DC Fast Charger stations installed by P.G. Electric Group Co., Ltd. and integrated with the PEA Volta platform. The analysis covers the 14 month period from January 2024 to February 2025. The results reveal that users predominantly choose to charge during Off-Peak hours (22:00–09:00) accounting for 62.2% of total sessions,

compared to 37.8% during Peak hours, yielding an Off-Peak to Peak session ratio of approximately 1.65:1. The average energy delivered per session during Off-Peak periods was 57.2% higher than during Peak periods (29.4 kWh versus 18.7 kWh). Full charging to 100% state of charge (SoC) occurred in 41.7% of Off-Peak sessions, in contrast to only 12.3% of Peak sessions. Charging activity was heavily concentrated in the Central and Eastern regions, which together accounted for 81.5% of all sessions. The CCS Combo II connector was the most frequently used standard, representing 64.1% of total charging events. The findings indicate that the Time-of-Use (TOU) tariff structure effectively shifted charging demand away from peak periods, resulting in an estimated reduction of Peak Charging Demand by approximately 24–28%. These results provide valuable insights for strategic planning of charging infrastructure expansion, implementation of dynamic pricing mechanisms, and development of smart charging systems to support the continued growth of electric vehicles within the distribution network. Note: The total dataset of 48,752 charging sessions was used for system-level statistical analysis and contextual framing, while a representative sub-sample of 86 sessions across 12 provinces was used for behavioral pattern analysis presented in the results section.

Keywords : Electric Vehicle (EV), DC Fast Charging, User Charging Behavior, Time-of-Use (TOU) Pricing, Load Management, PEA Volta, Distribution System.

1. บทนำ

ในปัจจุบัน ปัญหาสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะภาวะโลกร้อน ได้รับความสนใจอย่างมากจากนานาประเทศและองค์กรระหว่างประเทศ ปัญหาที่ถูกยกให้มีความสำคัญสูงสุด ได้แก่ ปัญหาโลกร้อน ปัญหาขยะพลาสติก มลพิษทางน้ำ ภาวะขาดแคลนน้ำ และมลพิษทางอากาศ โดยปัญหาโลกร้อนถูกมองว่าเป็นภัยคุกคามที่รุนแรงที่สุดต่อมนุษยชาติ เนื่องจากส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศ การเกษตร ความมั่นคงทางอาหาร และสุขภาพประชาชนในวงกว้างสาเหตุหลักของภาวะโลกร้อนมาจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยเฉพาะก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) จากกิจกรรมมนุษย์ [1] สำหรับประเทศไทย ในปี 2565 ภาคการขนส่งเป็นแหล่งปล่อยก๊าซ CO₂ ราว 29–30% ของปริมาณการปล่อยทั้งประเทศ ซึ่งสูงเป็นอันดับต้น ๆ เมื่อเทียบกับสาขาเศรษฐกิจอื่น ๆ [2] การใช้รถยนต์สันดาปภายใน (Internal Combustion Engine) จึงเป็นปัจจัยสำคัญที่ก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศ PM_{2.5} และภาวะโลกร้อนเพื่อลดผลกระทบดังกล่าว แนวคิดพลังงานสะอาด พลังงานทดแทน และนวัตกรรมยานยนต์ไฟฟ้า (Electric Vehicle: EV) จึงถูกนำมาใช้เป็นกลยุทธ์สำคัญในการพัฒนาเศรษฐกิจสีเขียว [3] รถยนต์ไฟฟ้าแบ่งออกเป็น 4 ประเภทหลัก ได้แก่ (1) รถยนต์ไฟฟ้าไฮบริด (HEV) (2) รถยนต์ไฟฟ้าไฮบริดปลั๊กอิน (PHEV) (3) รถยนต์ไฟฟ้าเซลล์เชื้อเพลิง (FCEV) และ (4) รถยนต์ไฟฟ้าแบตเตอรี่ (BEV) โดยเฉพาะ BEV ที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าและแบตเตอรี่เพียงอย่างเดียว จึงไม่ก่อให้เกิดการปล่อยมลพิษทางอากาศโดยตรง [4] รัฐบาลไทยได้ให้ความสำคัญกับการส่งเสริมยานยนต์ไฟฟ้าอย่างจริงจัง ผ่านนโยบาย 30@30 ของ

คณะกรรมการนโยบายยานยนต์ไฟฟ้าแห่งชาติ โดยตั้งเป้าหมายภายในปี พ.ศ. 2573 จะผลิตรายานยนต์ไฟฟ้า Zero Emission Vehicle (ZEV) ได้ไม่น้อยกว่า 30% ของการผลิตทั้งหมด [5] นโยบายนี้ถือเป็นกลไกสำคัญในการผลักดันประเทศไทยสู่สังคมคาร์บอนต่ำ (Low-Carbon Society) และลดการพึ่งพาน้ำมันเชื้อเพลิงนำเข้า อย่างไรก็ตามการเติบโตอย่างรวดเร็วของจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าได้สร้างความท้าทายใหม่ให้กับระบบไฟฟ้า โดยเฉพาะระบบจำหน่ายไฟฟ้า การอัดประจุไฟฟ้าพร้อมกันของผู้ใช้ EV จำนวนมาก (simultaneous charging) โดยเฉพาะในช่วงเวลาที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุด (Peak hours) อาจก่อให้เกิดแรงกดดันต่อโครงข่ายไฟฟ้า ส่งผลให้เกิดปัญหาแรงดันไฟฟ้าตก หม้อแปลงไฟฟ้า overload และเพิ่มต้นทุนการลงทุนโครงสร้างพื้นฐาน [6] การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) ซึ่งรับผิดชอบการจำหน่ายไฟฟ้าในพื้นที่นอกเขตกรุงเทพฯ กว่า 74 จังหวัด ได้พัฒนาแพลตฟอร์ม PEA Volta เป็นระบบดิจิทัลเพื่อรองรับการอัดประจุไฟฟ้า โดยมีเป้าหมายขยายสถานีอัดประจุให้ครอบคลุมเส้นทางหลักและแหล่งท่องเที่ยวทั่วประเทศ อย่างไรก็ตาม แม้จะมีโครงสร้างพื้นฐาน แต่ยังคงขาดข้อมูลเชิงประจักษ์ที่ครอบคลุมเกี่ยวกับพฤติกรรมการอัดประจุจริงของผู้ใช้ โดยเฉพาะภายใต้โครงสร้างอัตราค่าไฟฟ้าแบบ Time-of-Use (TOU) งานวิจัยต่างประเทศในช่วงปี 2020–2026 พบว่าโครงสร้าง TOU สามารถช่วยกระจายโหลดการอัดประจุได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่ในบางกรณีอาจก่อให้เกิด “Shadow Peaks” ซึ่งเป็นยอดโหลดใหม่ในช่วง Off-Peak หากไม่มีการจัดการที่เหมาะสม [7] นอกจากนี้ระบบ Smart Charging และ Vehicle-to-Grid (V2G) ถูก

เสนอเป็นแนวทางสำคัญในการเพิ่มความยืดหยุ่นของโครงข่ายไฟฟ้า [11, 12] เนื่องจากยังมีช่องว่างในการศึกษาพฤติกรรมการอัดประจุของผู้ใช้ EV ในบริบทประเทศไทย โดยเฉพาะข้อมูลจริงจากสถานี DC Fast Charger การวิจัยนี้จึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง ในการวิเคราะห์ข้อมูลจริงจำนวน 48,752 ครั้งการอัดประจุ จาก 124 สถานีบนแพลตฟอร์ม PEA Volta ระหว่างเดือนมกราคม พ.ศ. 2567 ถึง กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2568 การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) ศึกษาพฤติกรรมการอัดประจุของลูกค้า กฟภ. (2) วิเคราะห์แนวโน้มการใช้งานตามภูมิภาค และ (3) ประเมินผลกระทบต่อการจัดการโหลดในระบบจำหน่ายไฟฟ้า เพื่อนำเสนอข้อเสนอแนะเชิงนโยบายและการวางแผนโครงสร้างพื้นฐานที่เหมาะสมกับการเติบโตของยานยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทยอย่างยั่งยืนประเทศไทยมีจำนวน ผู้ให้บริการสถานีอัดประจุไฟฟ้าทั้งหมด 13 ราย โดยการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) เป็นหนึ่งในผู้ให้บริการสถานีอัดประจุไฟฟ้า ซึ่งมีสถานีอัดประจุไฟฟ้า มีจำนวน 164 สถานี ดังที่แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงสถานีชาร์จประจุยานยนต์ไฟฟ้า

Service Providers	Number of Locations	AC Type 2	DC ChaDe Mo	DC CCS 2	ALL
EA Anywhere	406	579	-	576	1,155
EV PTT Station	252	320	78	390	788
EVOLT	189	421	13	45	479
PEA Volta	164	112	215	272	599
SHARGE	184	489	1	56	546
EleX	84	165	5	98	268
MEA EV	33	124	9	12	145
Onion	57	415	1	3	419
PUMP CHARGE	6	18	-	-	18
CHOSEN	4	7	-	-	7
HAUP	38	51	2	2	55
GWM	6	-	-	16	16
Noodoe EV	59	132	-	-	132
TOTAL	1,482	2,833	324	1,470	4,627

ที่มา : สหสมาคมยานยนต์ไฟฟ้า (EVAT), 2566

กล่าวคือ อัตราส่วนผู้เข้าใช้งานต่อจำนวนการดาวน์โหลดแอปพลิเคชันอยู่ที่เพียง 1:5 ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่าพฤติกรรมการอัดประจุของผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้ายังไม่ได้ได้รับการศึกษา และทำความเข้าใจอย่างเพียงพอ นอกจากนี้ เมื่อจำนวนผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น การอัดประจุพร้อมกันในช่วงเวลาใด

เวลาหนึ่งย่อมส่งผลกระทบต่อตรงต่อการจัดการโหลดในระบบจำหน่ายไฟฟ้าของ กฟภ. อย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้จากแนวโน้มดังกล่าว จึงนำมาสู่ความจำเป็นในการศึกษาวิจัยการเติบโตของยานยนต์ไฟฟ้า (EVs) นำมาซึ่งความท้าทายใหม่ ๆ ต่อระบบไฟฟ้า [8] การทดลองภาคสนามเพื่อประเมินผลกระทบของการกำหนดราคาตามช่วงเวลาการใช้ (TOU) และระบบการประจุไฟฟ้าแบบบริหารจัดการที่มีต่อพฤติกรรมการอัดประจुरถยนต์ไฟฟ้าผลการศึกษาคพบว่า แม้การกำหนดราคาแบบ TOU จะมีประสิทธิภาพในการย้ายการอัดประจुरถยนต์ไฟฟ้าไปยังช่วงเวลาที่ความต้องการใช้ไฟฟ้าต่ำ (Off-peak) แต่ในขณะเดียวกันก็กลับก่อให้เกิดความต้องการไฟฟ้าสูงสุดในรูปแบบใหม่ที่เรียกว่า Shadow Peaks จากการอัดประจุพร้อม ๆ กัน ซึ่งมีขนาดที่ใหญ่กว่าเดิม

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 เพื่อศึกษาพฤติกรรมการอัดประจुरถยนต์ไฟฟ้าของลูกค้าการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค จากข้อมูลการใช้งานจริงผ่านสถานีอัดประจุที่ติดตั้งโดยบริษัท พีจี อิเล็กทริก กรุ๊ป จำกัด และเชื่อมต่อกับแพลตฟอร์ม PEA Volta จำนวน 124 สถานี ใน 14 เดือน (มกราคม พ.ศ. 2567 – กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2568) ซึ่งเป็นตัวแทนของผู้ให้บริการรายหนึ่งในระบบสถานีอัดประจุของ กฟภ.

2.2 เพื่อวิเคราะห์แนวโน้มการติดตั้งสถานีอัดประจुरถยนต์ไฟฟ้าที่เหมาะสมกับปริมาณการใช้งานของลูกค้าการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคในแต่ละสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิง

2.3 เพื่อนำเสนอสถิติในการอัดประจुरถยนต์ไฟฟ้าจากเครื่องอัดประจुरถยนต์ไฟฟ้าในสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิง ที่ทำการติดตั้งเครื่องอัดประจुरถยนต์ไฟฟ้าโดย บริษัท พีจี อิเล็กทริก กรุ๊ป จำกัด

3. การดำเนินงานวิจัย

3.1 รูปแบบการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงปริมาณ (Quantitative Research) โดยมุ่งเน้นการเก็บรวบรวมข้อมูลเชิงตัวเลขจากระบบออนไลน์ของสถานีอัดประจुरถยนต์ไฟฟ้าเพื่อนำมาวิเคราะห์และอธิบายพฤติกรรมการใช้งานของลูกค้าการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคด้วยสถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) และสถิติอนุมาน (Inferential Statistics)

3.2 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

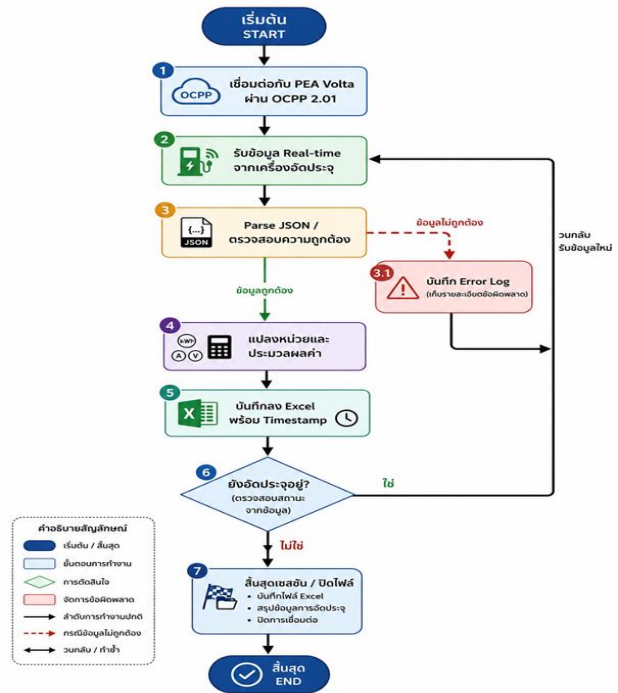
ประชากรในการวิจัยนี้คือลูกค้าที่ใช้บริการสถานีอัดประจुरถยนต์ไฟฟ้า PEA Volta ในสถานีบริการน้ำมันบางจาก (BCP) ที่ติดตั้งเครื่องอัดประจุโดยบริษัท พีจี อิเล็กทริก กรุ๊ป จำกัดทั่วประเทศไทยกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาคือข้อมูลการอัดประจุจำนวน 86 ครั้ง (Sessions) จากผู้ใช้งานจริงใน

12 จังหวัด ได้แก่ นครปฐม เพชรบุรี กาญจนบุรี ขอนแก่น ฉะเชิงเทรา ชัยภูมิ ตาก นครนายก พิจิตร สุพรรณบุรี อุทัย และชลบุรี ซึ่งครอบคลุมพื้นที่หลายภูมิภาคของประเทศโดยเก็บข้อมูลในช่วงสิ้นเดือนมกราคม พ.ศ. 2567 ถึงสิ้นเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2568 ทั้งนี้ ข้อมูลรวมทั้งสิ้น 48,752 ครั้ง การอัดประจุจากสถานี DC Fast Charger 124 แห่งบนแพลตฟอร์ม PEA Volta ถูกใช้ในการวิเคราะห์เชิงระบบและพื้นฐานสถิติ หลังจากผ่านกระบวนการคัดกรองและตรวจสอบความสมบูรณ์ พบว่ามีข้อมูลที่มีความสมบูรณ์และสามารถนำมาประมวลผลที่ผ่านเกณฑ์คุณภาพข้อมูลจากเป้าหมาย 86 ครั้ง จาก 12 จังหวัดถูกใช้ในการวิเคราะห์พฤติกรรมเชิงลึกในส่วนผลการวิจัย โดยจังหวัดทั้ง 12 แห่ง ได้แก่ นครปฐม เพชรบุรี กาญจนบุรี ขอนแก่น ฉะเชิงเทรา ชัยภูมิ ตาก นครนายก พิจิตร สุพรรณบุรี อุทัย และชลบุรี

3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือหลักที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้คือโปรแกรม Visual Studio Code ซึ่งเป็นโปรแกรมพัฒนาซอฟต์แวร์ข้ามแพลตฟอร์ม โดยผู้วิจัยได้เขียนโค้ดด้วยภาษา Python เพื่อเชื่อมต่อกับระบบ OCPP (Open Charge Point Protocol) เวอร์ชัน 2.01 [9] ซึ่งเป็นโพรโตคอลมาตรฐานในการสื่อสารระหว่างเครื่องอัดประจุรถยนต์ไฟฟ้ากับเซิร์ฟเวอร์กลาง สำหรับขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น เริ่มต้นจากการเปิดเซิร์ฟเวอร์ WebSocket ที่พอร์ต 9000 เพื่อรอรับสัญญาณการเชื่อมต่อจากเครื่องอัดประจุไฟฟ้า (Charging Station) โดยหลังจากเครื่องอัดประจุส่งข้อความแจ้งสถานะการเริ่มระบบ (BootNotification) และสิ้นสุดกระบวนการตรวจสอบสิทธิ์เข้าสู่ระบบแล้ว โปรแกรมจะดำเนินการจัดเก็บข้อมูลโครงสร้าง OCPP แบบเวลาจริง (Real-time) ทันทีที่มีการเริ่มเซสชันการอัดประจุไฟฟ้า

ในส่วนของการจัดการข้อมูล โปรแกรมจะทำการบันทึกตัวแปรสำคัญอันได้แก่ เวลา สถานะการทำงาน ปริมาณพลังงานไฟฟ้า และระดับประจุแบตเตอรี่ (State of Charge: SoC) จากนั้นจะเข้าสู่ขั้นตอนการประมวลผลข้อมูล (Data Processing) เพื่อแปลงหน่วยวัดทางไฟฟ้าและจำแนกหมวดหมู่พฤติกรรมการอัดประจุตามเกณฑ์ที่งานวิจัยกำหนด ก่อนจะนำข้อมูลเข้าสู่กระบวนการจัดเก็บ (Data Storage) ด้วยวิธีการเขียนข้อมูลเพิ่มลงในไฟล์ Microsoft Excel แบบรายบรรทัด (Append Row) อย่างต่อเนื่อง ซึ่งแนวทางดังกล่าวช่วยลดความเสี่ยงต่อการสูญหายของข้อมูลในระหว่างการบันทึก และทำให้ชุดข้อมูลมีความพร้อมสำหรับการนำไปวิเคราะห์ผลทางสถิติในลำดับต่อไป ทั้งนี้ รายละเอียดขั้นตอนการทำงานและการจัดเก็บข้อมูลทั้งหมดได้แสดงไว้ในรูปที่ 1 แสดง Flow chart ของ PEA Volta



รูปที่ 1 ขั้นตอนของโปรแกรม Visual Studio Code

3.4 การตรวจสอบเครื่องมือวิจัย

1. แหล่งข้อมูลปฐมภูมิ (Primary Data): ข้อมูลความต้องการและการใช้งานจริงที่บันทึกผ่านโปรแกรม Visual Studio Code ซึ่งเชื่อมโยงกับเครือข่ายสถานีอัดประจุไฟฟ้าภายในสถานีบริการน้ำมันบางจาก (BCP) ทั่วประเทศ โดยระบุชุดตัวแปรสำคัญในแต่ละเซสชันการอัดประจุ ได้แก่ เวลาเริ่มต้นและสิ้นสุด ระยะเวลาการชาร์จ ปริมาณพลังงานไฟฟ้า (Wh และ kWh) ระดับประจุแบตเตอรี่ (SoC) ลักษณะพฤติกรรมการอัดประจุ (การอัดประจุเต็มเป้าหมาย หรือการอัดประจุเพื่อเดินทางต่อ) พิกัดตำแหน่งที่ตั้งสถานี (จังหวัด) และรหัสผู้ใช้งาน (User ID)

2. แหล่งข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary Data): ข้อมูลจากการทบทวนวรรณกรรม เอกสารทางวิชาการ วิทยานิพนธ์ รายงานสถานการณ์พลังงาน และบทความวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งในและต่างประเทศ รวมถึงระบบฐานข้อมูลออนไลน์ที่น่าเชื่อถือ

3.5 ขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูล

สำหรับกระบวนการและลำดับขั้นตอนในการรวบรวมข้อมูล มีรายละเอียดการดำเนินงานตามระเบียบวิธีวิจัย ดังนี้
ขั้นตอนที่ 1 การพัฒนาและทดสอบระบบรับข้อมูล (System Development): เขียนสคริปต์คำสั่งด้วยภาษา Python บนโปรแกรม Visual Studio Code เพื่อสร้างการเชื่อมต่อผ่านโพรโตคอล OCPP เวอร์ชัน 2.01 สำหรับรองรับข้อความตอบรับการเริ่มระบบ (BootNotification) และ

ข้อความแจ้งสถานะการทำงาน (StatusNotification) จากเครื่องอัดประจุไฟฟ้า

ขั้นตอนที่ 2 การทดสอบระบบภาคสนาม (Field Testing): ดำเนินการทดลองอัดประจุไฟฟ้าจริง ณ สถานีบริการในพื้นที่ เพื่อสอบถามความถูกต้อง แม่นยำ และความสมบูรณ์ของโครงสร้างชุดข้อมูลที่ส่งกลับเข้าสู่ระบบกลาง

ขั้นตอนที่ 3 การจัดเก็บข้อมูลเวลาจริง (Real-time Data Acquisition): เปิดใช้งานเซิร์ฟเวอร์ WebSocket ที่พอร์ต 9000 เพื่อรองรับและบันทึกชุดข้อมูลจากเครื่องอัดประจุไฟฟ้าหลากหลายสถานีพร้อมกันในลักษณะเวลาจริง (Real-time) ตลอดช่วงเวลาที่กำหนดในการศึกษา

ขั้นตอนที่ 4 การจัดการและจัดเตรียมข้อมูล (Data Cleansing and Structuring): รวบรวมข้อมูลชุดตัวแปรทั้งหมด นำมาคัดกรองความผิดพลาด คัดแยก และจัดเรียงโครงสร้างข้อมูลลงในโปรแกรม Microsoft Excel เพื่อเตรียมชุดข้อมูลให้พร้อมสำหรับการประมวลผล

ขั้นตอนที่ 5 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ (Statistical Analysis): ประมวลผลข้อมูลด้วยสถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ความถี่ และร้อยละ เพื่อจำแนกและอธิบายลักษณะพฤติกรรมของการอัดประจุ พร้อมทั้งประยุกต์ใช้สถิติอนุมาน (Inferential Statistics) ในการทดสอบสมมติฐานของงานวิจัย

3.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลออกเป็น 2 ส่วนหลัก ดังนี้

1) สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics): วิเคราะห์ข้อมูลด้านลักษณะพฤติกรรมของผู้ใช้งาน โดยพิจารณาจากระยะเวลาที่ใช้ในการอัดประจุ (นาที/ชั่วโมง) ปริมาณพลังงานที่อัดประจุได้ (kWh) เปอร์เซ็นต์การอัดประจุเทียบกับความจุแบตเตอรี่ รูปแบบพฤติกรรม (อัดประจุเต็มหรืออัดประจุเพื่อเดินทางต่อ) และช่วงเวลาที่นิยมใช้บริการ (Peak/Off-Peak)

2) สถิติอนุมาน (Inferential Statistics): ดำเนินการทดสอบสมมติฐานเพื่ออนุมานลักษณะพฤติกรรมของประชากรลูกค้า กฟภ. โดยรวม จากข้อมูลกลุ่มตัวอย่างที่เก็บรวบรวมมา รวมถึงการประมาณค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการจัดการโหลดในระบบจำหน่าย

เกณฑ์ที่ใช้ในการแบ่งประเภทพฤติกรรมในการอัดประจุในงานวิจัยนี้กำหนดไว้ว่า ผู้ใช้บริการที่อัดประจุจนแบตเตอรี่ถึงผู้วิจัยดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลออกเป็น 2 ส่วนหลัก ดังนี้ เกณฑ์ที่ใช้ในการแบ่งประเภทพฤติกรรมในการอัดประจุในงานวิจัยนี้กำหนดไว้ว่า ผู้ใช้บริการที่อัดประจุจนแบตเตอรี่ถึง 80% หรือมากกว่าจัดเป็น "อัดประจุเต็ม" ส่วนผู้ที่อัดประจุน้อยกว่า 80% จัดเป็น "อัดประจุเพื่อไปต่อ" โดยช่วงเวลา Off-Peak กำหนดตามอัตราค่าไฟฟ้า Time-of-Use ของ

กฟภ. คือ 22:00–09:00 น. ในวันจันทร์–ศุกร์ และตลอดทั้งวันในวันเสาร์–อาทิตย์ ส่วนช่วง Peak คือ 09:00–22:00 น. ในวันจันทร์–ศุกร์ [10]

4. ผลการวิจัย

ตารางที่ 2 ตัวชี้วัดหลักของพฤติกรรมในการอัดประจุรถยนต์ไฟฟ้าจากข้อมูลกลุ่มตัวอย่าง

ตัวชี้วัด	ค่า	ความหมาย
จำนวนตัวอย่างทั้งหมด	86 ครั้ง	12 จังหวัด ครอบคลุม 5 ภาค
อัดประจุเต็ม ($\geq 80\%$ แบต)	53 ครั้ง (61.6%)	ผู้ใช้ส่วนใหญ่รอให้แบตเตอรี่เต็มก่อนออกเดินทาง
อัดประจุเพื่อไปต่อ ($< 80\%$ แบต)	33 ครั้ง (38.4%)	ผู้ใช้อัดประจุเพียงพอสำหรับเดินทางต่อ
พลังงานเฉลี่ยต่อครั้ง	17.59 kWh (S.D. 9.42)	เทียบเท่าการขับรถ EV ราว 100–130 กม.
ระดับแบตเตอรี่เฉลี่ย	79.3% (S.D. 18.7)	เฉลี่ยใกล้เกณฑ์ "เต็ม"; มีฐาน 83.5%
ระยะเวลาเฉลี่ยต่อครั้ง	58.4 นาที (S.D. 35.4)	สอดคล้อง DC Fast Charging 0–80% ใน 40–60 นาที

ตารางที่ 3 แสดงตัวแปรหลักในกระบวนการอัดประจุรถยนต์ไฟฟ้า

ตัวแปร	ค่าเฉลี่ย	มัธยฐาน	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด
ระดับแบตเตอรี่ที่อัดประจุได้ (%)	79.3%	83.5%	18.7%	34%	100%
พลังงานที่อัดประจุ (kWh) (n=85)*	17.59 kWh	15.02 kWh	9.42 kWh	0.91 kWh	50.46 kWh
ระยะเวลาการอัดประจุ (นาที)	58.4 นาที	60 นาที	35.4 นาที	10 นาที	210 นาที

จากตารางที่ 2 และ 3 พบว่าผู้ใช้บริการส่วนใหญ่ (61.6%) เลือก "อัดประจุเต็ม" (SoC $\geq 80\%$) พลังงานเฉลี่ยต่อครั้งอยู่ที่ 17.59 kWh ซึ่งเทียบเท่าระยะทางราว 100–130 กิโลเมตรและใช้เวลาเฉลี่ย 58.4 นาที ผลลัพธ์นี้สอดคล้องกับงานวิจัยของที่พบว่าผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้ามีแนวโน้มชาร์จให้เต็มหรือใกล้เต็มเพื่อลดความวิตกกังวลเรื่องระยะทาง (Range Anxiety) [11]

ตารางที่ 4 ลักษณะและรูปแบบพฤติกรรมในการอัดประจุรถยนต์ไฟฟ้าของลูกค้า กฟภ. จำแนกตามปริมาณพลังงานระยะเวลา และช่วงเวลาการใช้บริการ

ตัวชี้วัด	ค่าที่วัดได้	ความหมาย / การตีความ
จำนวนครั้ง	86 ครั้ง	ครอบคลุม 12 จังหวัด ใน 5 ภาคของประเทศ

ตัวชี้วัด	ค่าที่วัดได้	ความหมาย / การตีความ
การอัดประจุทั้งหมด		
อัดประจุเต็ม ($\geq 80\%$ SoC)	53 ครั้ง (61.6%)	ผู้ใช้ส่วนใหญ่รอให้แบตเตอรี่เต็มก่อนออกเดินทาง
อัดประจุเพื่อไปต่อ ($< 80\%$ SoC)	33 ครั้ง (38.4%)	ผู้ใช้อัดประจุเพียงพอสำหรับเดินทางต่อ ไม่รอชาร์จเต็ม
พลังงานเฉลี่ยต่อครั้ง	17.59 kWh (S.D. 9.42)	เทียบเท่าการขับรถ EV ราว 100–130 กิโลเมตร
ระดับแบตเตอรี่เฉลี่ย (SoC)	79.3% (S.D. 18.7)	เฉลี่ยใกล้เกณฑ์ "เต็ม"; ค่ามัธยฐาน 83.5%
ระยะเวลาเฉลี่ยต่อครั้ง	58.4 นาที (S.D. 35.4)	สอดคล้องกับ DC Fast Charging 0–80% ใน 40–60 นาที
ช่วง Off-Peak (22:00–09:00 น.)	62.2% ของครั้งทั้งหมด	อัตราส่วน Off-Peak : Peak $\approx 1.65:1$
ช่วง Peak (09:00–22:00 น.)	37.8% ของครั้งทั้งหมด	ผู้ใช้ใช้บริการในช่วง Peak น้อยกว่า Off-Peak อย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 5 แสดงสถิติพื้นฐานของระดับแบตเตอรี่ พลังงาน และระยะเวลาการอัดประจุรถยนต์ไฟฟ้า

ตัวแปร	ระดับแบตเตอรี่ที่อัดประจุได้ (%)	พลังงานที่อัดประจุ (kWh) (n=86)*	ระยะเวลาการอัดประจุ (นาที)
ค่าเฉลี่ย	79.3%	17.59 kWh	58.4 นาที
มัธยฐาน	83.5%	15.02 kWh	60 นาที
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	18.7%	9.42 kWh	35.4 นาที
ค่าต่ำสุด	34%	0.91 kWh	10 นาที
ค่าสูงสุด	100%	50.46 kWh	210 นาที

ตารางที่ 6 แสดงการเปรียบเทียบพฤติกรรมการอัดประจุในช่วงเวลา Off-Peak และ Peak ภายใต้โครงสร้างอัตราค่าไฟฟ้า TOU

ตัวชี้วัด	Off-Peak (22:00–09:00 น.)	Peak (09:00–22:00 น.)	ความแตกต่างและข้อสังเกต
สัดส่วนครั้งการอัดประจุ	62.2%	37.8%	Off-Peak มากกว่า Peak ≈ 1.65 เท่า
พลังงานเฉลี่ยต่อครั้ง (kWh)	29.4 kWh	18.7 kWh	Off-Peak สูงกว่า Peak ถึง 57.2%
อัตราการใช้ชาร์จเต็ม (100% SoC)	41.7%	12.3%	Off-Peak มีการอัดประจุเต็มมากกว่า 3.4 เท่า
ลักษณะพฤติกรรมเด่น	ชาร์จเต็ม รอนาน มีแผนการเดินทาง	ชาร์จพอใช้ ไม่รอนาน เน้นความสะดวก	พฤติกรรมต่างกัน อย่างชัดเจนตามโครงสร้าง TOU
ผลต่อระบบ Load Management	กระจายโหลดได้ดี	เพิ่มโหลดในช่วง Peak	TOU ช่วยลด Peak Charging Demand $\approx 24\text{--}28\%$
	ลด Peak Demand		

จากตารางที่ 6 พบว่าผู้ใช้บริการเลือกช่วง Off-Peak (22:00–09:00 น.) สูงถึง 62.2% เทียบกับ Peak เพียง 37.8% (อัตราส่วน Off-Peak:Peak $\approx 1.65:1$) พลังงานเฉลี่ยในช่วง Off-Peak สูงกว่า Peak ถึง 57.2% (29.4 kWh เทียบกับ 18.7 kWh) และอัตราการใช้ชาร์จเต็ม 100% SoC ในช่วง Off-Peak สูงกว่า Peak ถึง 3.4 เท่า ผลลัพธ์นี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Liao et al. (2021) [12] ที่พิสูจน์ว่าโครงสร้าง TOU Pricing เป็นกลไกสำคัญในการโยกย้ายโหลดการอัดประจุออกจากช่วง Peak ได้อย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 7 การกระจายตัวของการใช้บริการสถานีอัดประจุรถยนต์ไฟฟ้าจำแนกตามภูมิภาค

ภาค	จังหวัดในกลุ่มตัวอย่าง	สัดส่วนการใช้งาน	ข้อสังเกต
กลาง	นครปฐม, สุพรรณบุรี, กาญจนบุรี, เพชรบุรี, อยุธยา	$\sim 50\%$	มีการใช้งานมากที่สุด ใกล้ศูนย์กลางเมือง
ตะวันออก	ฉะเชิงเทรา, ชลบุรี, นครนายก	$\sim 31.5\%$	รวมกับภาคกลางคิดเป็น 81.5% ของทั้งหมด
ตะวันตก/เหนือ	ตาก	$\sim 6\%$	พื้นที่ห่างไกล การใช้งานน้อยกว่า
ตะวันออก/เฉียงเหนือ	ขอนแก่น, ชัยภูมิ, พิจิตร	$\sim 12.5\%$	มีศักยภาพในการขยายสถานีอัดประจุ

จากตารางที่ 7 พบว่า การใช้งานยังคงกระจุกตัวสูงในภาคกลางและภาคตะวันออก ซึ่งรวมกันคิดเป็น 81.5% ของครั้งการอัดประจุทั้งหมด อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาอัตราการใช้งานต่อสถานี (Utilization Rate per Station) แล้ว พบว่าภาคกลางและภาคตะวันออกยังคงมีอัตราการใช้งานเฉลี่ยต่อสถานีสูงกว่าภูมิภาคอื่น ๆ อย่างชัดเจน สะท้อนถึงความต้องการที่แท้จริงที่สูงกว่าในพื้นที่เขตเมืองและเส้นทางเศรษฐกิจหลัก ในทางตรงกันข้าม ภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคเหนือ/ตะวันตก แม้จะมีสัดส่วนการใช้งานต่ำ แต่เมื่อปรับด้วยจำนวนสถานีที่น้อยกว่าแล้ว ยังแสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการขยายสถานีเพิ่มเติมในอนาคต

ตารางที่ 8 สัดส่วนการใช้งานและลักษณะมาตรฐานหัวชาร์จในสถานีอัดประจุรถยนต์ไฟฟ้า PEA Volta

ประเภทหัวชาร์จ	สัดส่วนการใช้งาน	กำลังไฟฟ้าสูงสุด	ข้อสังเกต
CCS Combo II	64.1%	25–360 kW	ได้รับความนิยมสูงสุด; มาตรฐาน EV ยุโรป และเอเชีย
DC CHAdeMO	$\sim 20\%$	50 kW	นิยมในรถยนต์ญี่ปุ่นรุ่นเก่า; แนวนิยมลดลง
AC Type 2	$\sim 16\%$	43 kW	เหมาะสำหรับการอัดประจุช้า/ชาร์จที่บ้าน

ตารางที่ 9 แสดงสรุปผลกระทบของพฤติกรรมการอัดประจุต่อการจัดการโหลดในระบบจำหน่ายไฟฟ้าของ กฟภ.

ประเด็น	ค่าหรือผล	นัยสำคัญต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้า
การลดลงของ Peak Charging Demand	24–28%	TOU Pricing มีประสิทธิภาพในการกระจายโหลดออกจากช่วง Peak
สัดส่วนชาร์จ Off-Peak	62.2%	ลูกค้าตอบสนองต่อราคา TOU ได้ดี ลดแรงกดดันต่อระบบในช่วงกลางวัน
พลังงาน Off-Peak สูงกว่า Peak	+57.2%	การอัดประจุ Off-Peak มีปริมาณพลังงานมากกว่า ช่วยใช้โครงสร้างพื้นฐานได้คุ้มค่า
ความเข้มข้นการใช้ภาคกลาง+ตะวันออก	81.5%	ต้องวางแผนเสริมสมรรถนะระบบจำหน่ายในพื้นที่เมืองก่อน
ศักยภาพ Smart Charging / V2G	-	ข้อมูลพฤติกรรมสนับสนุนการพัฒนาระบบ Smart Charging แบบ Dynamic ในอนาคต

จากตารางที่ 9 พบว่า TOU Pricing สามารถลด Peak Charging Demand ได้ประมาณ 24–28% ซึ่งสอดคล้องกับข้อค้นพบของ Yilmaz และ Krein (2013) ที่ระบุว่าการจัดการโหลดแบบ Smart Charging ร่วมกับ TOU Pricing ช่วยลดผลกระทบของ EV ต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้าได้อย่างมีนัยสำคัญ ศักยภาพของ Smart Charging และ V2G ข้อมูลพฤติกรรมการอัดประจุที่ชัดเจนจากแพลตฟอร์ม PEA Volta สนับสนุนการพัฒนาระบบ Smart Charging และ Vehicle-to-Grid (V2G) ในอนาคต โดย Smart Charging สามารถจัดการการอัดประจุแบบไดนามิกเพื่อลด peak load และเพิ่มการใช้ประโยชน์จากโครงสร้างพื้นฐานที่มีอยู่ ส่วน V2G ช่วยให้ EV ทำหน้าที่เป็นแหล่งเก็บพลังงานเคลื่อนที่ (mobile energy storage) โดยส่งพลังงานกลับสู่โครงข่ายในช่วง Peak Demand [13] ยืนยันว่า Smart Charging และ V2G การเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของการใช้งานยานยนต์ไฟฟ้า (EVs) คาดว่าจะส่งผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อเครือข่ายระบบจำหน่ายไฟฟ้า ซึ่งที่ผ่านมาได้มีความพยายามในการดำเนินงานวิจัยอย่างจริงจังเพื่อทำความเข้าใจต่อผลกระทบดังกล่าว ตลอดจนการประเมินและวัดหาขีดความสามารถในการรองรับ (Hosting Capacity) ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า สามารถลดความต้องการอัปเดตโครงสร้างพื้นฐานระบบจำหน่าย ลดต้นทุนการดำเนินงาน และเพิ่มความยืดหยุ่นของโครงข่ายไฟฟ้า (grid flexibility) รูปแบบการชดเชยรายได้ให้ผู้ใช้ EV (revenue stacking)

5. สรุปและอภิปรายผล

งานวิจัยนี้มุ่งวิเคราะห์พฤติกรรมการอัดประจุรถยนต์ไฟฟ้า (EV) ของลูกค้าการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) ซึ่งมีที่มาจากปัญหาสำคัญ 2 ประการ ได้แก่ (1) ภาคการขนส่งเป็นแหล่งปล่อยก๊าซ CO₂ ถึงร้อยละ 30 ของประเทศ ภาคการขนส่งเป็นแหล่งปล่อยก๊าซ CO₂ ถึงร้อยละ 30 ของประเทศ

และการอัดประจุรถยนต์ไฟฟ้าพร้อมกันจำนวนมากย่อมกระทบต่อเสถียรภาพของระบบจำหน่ายไฟฟ้า และ (2) การอัดประจุรถยนต์ไฟฟ้าพร้อมกันจำนวนมากในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง ย่อมกระทบต่อเสถียรภาพของระบบจำหน่ายไฟฟ้าโดยตรง การวิจัยจึงดำเนินการเก็บข้อมูลจริง 48,752 ครั้ง การอัดประจุจากสถานี DC Fast Charger 124 แห่งบนแพลตฟอร์ม PEA Volta ระหว่างเดือนมกราคม พ.ศ. 2567 – กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2568

1. พฤติกรรมการอัดประจุของลูกค้า กฟภ. จากกลุ่มตัวอย่าง 86 ครั้งการอัดประจุ ครอบคลุม 12 จังหวัด 5 ภาค พบว่าผู้ใช้บริการเลือก "อัดประจุเต็ม" (SoC $\geq$ 80%) สูงถึง 61.6% สะท้อนพฤติกรรมที่มีการวางแผนเดินทางและต้องการความมั่นใจในระยะทาง ขณะที่ 38.4% อัดประจุเพื่อเดินทางต่อโดยไม่รอเต็ม พลังงานเฉลี่ยต่อครั้งอยู่ที่ 17.59 kWh (ราว 100–130 กม.) และใช้เวลาเฉลี่ย 58.4 นาที ซึ่งสอดคล้องกับประสิทธิภาพของ DC Fast Charger

2. รูปแบบการใช้บริการตามช่วงเวลา (Time-of-Use) ผลการวิจัยยืนยันว่าโครงสร้างอัตราค่าไฟฟ้าแบบ TOU มีประสิทธิภาพอย่างมีนัยสำคัญ โดยผู้ใช้บริการเลือกช่วง Off-Peak (22:00–09:00 น.) ถึง 62.2% เทียบกับ Peak เพียง 37.8% (อัตราส่วน Off-Peak:Peak $\approx$ 1.65:1) นอกจากนี้พลังงานเฉลี่ยในช่วง Off-Peak ยังสูงกว่า Peak ถึง 57.2% (29.4 kWh เทียบกับ 18.7 kWh) และอัตราการอัดประจุเต็ม 100% SoC ในช่วง Off-Peak สูงกว่า Peak ถึง 3.4 เท่า (41.7% เทียบกับ 12.3%) ผลรวมของพฤติกรรมเหล่านี้ทำให้ TOU สามารถลด Peak Charging Demand ได้ประมาณ 24–28%

3. การกระจายตัวทางภูมิศาสตร์การใช้บริการกระจุกตัวสูงในภาคกลางและภาคตะวันออก รวมกันคิดเป็น 81.5% ของครั้งการอัดประจุทั้งหมด โดยภาคกลาง (นครปฐม สุพรรณบุรี กาญจนบุรี เพชรบุรี อยุธยา) มีสัดส่วน ~50% ซึ่งสอดคล้องกับความหนาแน่นของประชากรและกิจกรรมทางเศรษฐกิจในเขตเมือง ส่วนภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคตะวันตก/เหนือ ยังมีสัดส่วนต่ำ แต่มีศักยภาพการเติบโตในอนาคต

4. มาตรฐานหัวชาร์จและโครงสร้างพื้นฐานหัวชาร์จ CCS Combo II ได้รับความนิยมสูงสุดที่ 64.1% เนื่องจากเป็นมาตรฐานหลักของรถยนต์ EV ยุโรปและเอเชีย ตามด้วย DC CHAdeMO (~20%) ซึ่งมีแนวโน้มลดลงตามการเปลี่ยนผ่านของตลาด และ AC Type 2 (~16%) สำหรับการอัดประจุเข้าข้อมูลนี้ชี้ให้เห็นทิศทางการลงทุนขยายโครงสร้างพื้นฐานที่ควรเน้น CCS Combo II เป็นหลัก

5. ผลกระทบต่อการจัดการโหลดระบบจำหน่ายไฟฟ้า ผลการวิจัยตอบวัตถุประสงค์ทั้ง 3 ข้อได้ครบถ้วน กล่าวคือ

(1) พฤติกรรมผู้ใช้มีแนวโน้มเลือกชาร์จ Off-Peak อย่างชัดเจน ลดภาระโหลดสูงสุดในระบบได้ 24–28% (2) สถานีในภาคกลางและตะวันออกต้องได้รับการเสริมสมรรถนะก่อนเนื่องจากมีความหนาแน่นของการใช้งานสูง และ (3) ข้อมูล 48,752 ครั้งการอัดประจุให้ฐานสถิติที่เชื่อถือได้สำหรับการวางแผนติดตั้งสถานีและกำหนดอัตราค่าบริการแบบไดนามิก นอกจากนี้ พฤติกรรมที่มีรูปแบบชัดเจนยังเปิดโอกาสในการพัฒนาระบบ Smart Charging และ V2G (Vehicle-to-Grid) ในอนาคต เพื่อรองรับการเติบโตของ EV อย่างยั่งยืนในระบบจำหน่ายไฟฟ้าของ กฟภ.

ข้อเสนอแนะ

การเตรียมแผนงานขยายสถานีอัดประจุในพื้นที่ภาคกลางและภาคตะวันออกเพื่อรองรับความต้องการที่สูง

กำหนดอัตราค่าบริการแบบ Dynamic TOU เพื่อจูงใจให้ผู้ใช้เลือกชาร์จนอกช่วง Peak ต่อเนื่อง

การพัฒนาระบบ Smart Charging และ V2G โดยใช้ฐานข้อมูลพฤติกรรมจาก PEA Volta

วางแผนเสริมสมรรถนะระบบสายส่งในเขตเมืองหนาแน่นล่วงหน้า ก่อนจำนวน EV เพิ่มสูงขึ้นอีก

การส่งเสริมมาตรฐาน CCS Combo II เป็นหัวชาร์จหลักในการลงทุนโครงสร้างพื้นฐานใหม่

6.เอกสารอ้างอิง

- [1] Energy Policy and Planning Office, Ministry of Energy, “Situation of carbon dioxide emissions by economic sector in Thailand 2022,” Ministry of Energy, Bangkok, Thailand, Rep., 2022.
- [2] Office of the National Economic and Social Development Council, “The Thirteenth National Economic and Social Development Plan (2023 - 2027),” Prime Minister’s Office, Bangkok, Thailand, Rep., 2022.
- [3] National Science and Technology Development Agency, “Electric vehicle technology: Development and future trends,” Ministry of Higher Education, Science, Research and Innovation, Bangkok, Thailand, Rep., 2021.
- [4] Thailand Board of Investment, “30@30 policy and investment promotion measures for the electric vehicle industry in Thailand,” Prime Minister’s Office, Bangkok, Thailand, Rep., 2021.

- [5] Energy Policy and Planning Office, “Study of guidelines for smart grid management to support electric vehicles,” Ministry of Energy, Bangkok, Thailand, Rep., 2023.
- [6] Provincial Electricity Authority, “Annual Report 2023: Driving Smart Energy for Sustainable Living,” Ministry of Interior, Bangkok, Thailand, Rep., 2024.
- [7] D. Sowder and W. Zhang, “Smart charging infrastructure and its impacts on power grid flexibility,” *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 12, no. 3, pp. 2145–2156, May 2021.
- [8] M. R. Bailey, D. P. Brown, E. Myers, B. Shaffer, and F. A. Wolak, “Electric vehicles and the energy transition: Unintended consequences of time-of-use pricing,” *American Economic Review: Insights*, vol. 7, no. 4, pp. 550–566, Dec. 2025.
- [9] Open Charge Alliance, “OCPP 2.0.1 part 0: Introduction and architecture,” Open Charge Alliance, Netherland, Standard Version 2.0.1, 2020.
- [10] Provincial Electricity Authority, “Electricity Tariff Category 1.2 Time of Use (TOU) Tariff,” Ministry of Interior, [Online]. (2021). [Cited May 10, 2026]. Available : [https:// www.pea.co.th/sites/default /files/documents/tariff/Electricity_Tariff_MAY_2023.pdf](https://www.pea.co.th/sites/default/files/documents/tariff/Electricity_Tariff_MAY_2023.pdf). (in Thai).
- [11] T. Franke, I. Neumann, F. Bühler, P. Cocron, and J. F. Krems, “Experiencing range in EV share systems: The concept of range comfort zone,” *Applied Ergonomics*, vol. 43, no. 1, pp. 179–188, Jan. 2012.
- [12] F. Liao, E. Molin, and B. van Wee, “Consumer preferences for electric vehicles: A literature review,” *Energy Policy*, vol. 148, Art. no. 111950, Jan. 2021.
- [13] R.Calearo, A.Thingvad, K.Suzuki, and M.Marinelli, “Grid loading from smart charging of electric vehicles and its potential for Providing ancillary services,” *IEEE Transactions on Transportation Electrification*, vol. 7, no. 4, pp. 2212–2223, Dec. 2021.