



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)

ปริญญญา

วิศวกรรมไฟฟ้า

วิศวกรรมไฟฟ้า

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การวิเคราะห์ผลกระทบการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าแบบรวดเร็วต่อแรงดันไฟฟ้า
ในระบบจำหน่ายโดยการจำลองมอนติคาร์โล

Impact Analysis of PEVs Fast Charging to Voltage Profile in Distribution System
by Monte Carlo Simulation

นามผู้วิจัย นายบัณฑิต เพ็ญดา

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(อาจารย์สัญญาชัย เดชานุภาพพทฐา, D.Eng.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วัชรวิระ จงบุรี, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญจนา วีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

สิงสิงจิ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การวิเคราะห์ผลกระทบการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าแบบรวดเร็วต่อแรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่าย
โดยการจำลองมอนติคาร์โล

Impact Analysis of PEVs Fast Charging to Voltage Profile in Distribution System
by Monte Carlo Simulation

โดย

นายบัณฑิต เพ็ญดา

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)
พ.ศ. 2557

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

บัณฑิต เพ็ญดา 2557: การวิเคราะห์ผลกระทบจากการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าแบบรวดเร็วต่อ
แรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่ายโดยการจำลองมอนติคาร์โล ปรินญาวิศวกรรมศาสตร
มหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า) สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า อาจารย์
ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: อาจารย์สัญญาชัย เชนานุภาพฤทธา, D.Eng. 91 หน้า

งานวิจัยนี้นำเสนอการวิเคราะห์ผลกระทบจากการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าแบบรวดเร็วต่อ
แรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่าย โดยการจำลองโพรไฟล์กำลังไฟฟ้าการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าแบบ
รวดเร็วในสถานีชาร์จ ด้วยวิธีการจำลองมอนติคาร์โล โดยอาศัยข้อมูลทางสถิติของปัจจัยที่ส่งผล
กระทบ ปัจจัยหลักที่พิจารณาประกอบด้วย 5 ปัจจัย คือ จำนวนรถยนต์ไฟฟ้าในพื้นที่ กำลังไฟฟ้า
ของแต่ละหัวชาร์จ จำนวนหัวชาร์จต่อหนึ่งสถานีชาร์จ ระยะทางการขับขี่เพื่อนำมาหาสถานะ
คงเหลือของแบตเตอรี่ และระยะเวลาการชาร์จ รวมถึงเวลาที่ผู้ขับขี่นำรถยนต์ไฟฟ้าเข้าชาร์จ เพื่อ
สร้างโพรไฟล์กำลังไฟฟ้าของสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า และวิเคราะห์ผลกระทบของสถานีชาร์จ
รถยนต์ไฟฟ้าที่มีต่อแรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) ด้วยโปรแกรม
DIgSIENT PowerFactory จากผลการศึกษาเชิงจำลองแสดงให้เห็นว่า ปัจจัยหลัก 5 ปัจจัยดังกล่าว มี
ผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าอย่างมีนัยสำคัญ และเกิดแรงดันตก แรงดันกระเพื่อม
ในระบบจำหน่าย

การศึกษาเชิงจำลองได้ใช้ระบบไฟฟ้าของ กฟภ. ผลปรากฏว่าปัจจัยหลัก 5 ปัจจัยดังกล่าว มี
ผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้า อย่างไรก็ตามยังคงเป็นไปตามมาตรฐานการจ่ายไฟ
ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ทั้งนี้สามารถนำวิธีการวิเคราะห์ที่นำเสนอในงานวิจัยฉบับนี้ไป
ประยุกต์ใช้วิเคราะห์หาจำนวนสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่สามารถติดตั้งได้ในระบบไฟฟ้าโดยไม่มี
ผลกระทบกับความสามารถในการจ่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคได้

Bundit Pea-da 2014: Impact Analysis of PEVs Fast Charging to Voltage Profile in Distribution System by Monte Carlo Simulation. Master of Engineering (Electrical Engineering), Major Field: Electrical Engineering, Department of Electrical Engineering. Thesis Advisor: Mr. Sanchai Dechanupaprittha, D.Eng. 91 pages.

This research presents the method to analyse impact of PEVs fast charging station to voltage profile in the distribution system. This research explains the method for preparing and conducting charging power profile at a charging station by using Monte Carlo simulation. The proposed method exploits the statistical data which are found to be key influential factors. In simulation study, there are 5 factors for generating a charging power profile, i.e. total number of vehicles in the area, charging power per pole, number of chargers in a charging station, daily distance travel for calculating the state of charge of battery and charging duration, and arrival time of vehicles at a charging station. After obtaining a charging power profile, the impact to distribution voltage will be analysed by using DIgSIENT PowerFactory. The simulation study is carried out based on Provincial Electricity Authority (PEA) distribution system. The simulation results reveal the voltage characteristics of distribution system are significantly affected by the PEVs fast charging station.

From simulation results, the key influential factors affect to the voltage characteristics in PEA distribution system, however the voltage drops and fluctuations are not violating operational criteria. In addition, this method can also be employed to find the maximum charging station and/or the impact to voltage profile in other distribution system, too.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์ ดร. ศัญชัย เดชานุกาพฤทธา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ที่ได้แนะนำแนวทางการศึกษา แนวทางแก้ไขปัญหา กระบวนการคิดอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับการทำงานวิจัย รวมถึงการตรวจสอบแก้ไขเล่มวิทยานิพนธ์ให้ถูกต้องและสมบูรณ์ให้กับผู้วิจัย ขอขอบพระคุณ ดร.คมสันต์ หงษ์สมบัติ และ ดร.ประดิษฐ์ เพื่องฟู ที่ให้คำปรึกษา ตลอดจนตรวจรูปเล่มของงานวิจัยจนลุล่วง

ขอกราบขอบพระคุณคุณแม่ ที่ให้กำลังใจลูกในการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ ตลอดจนคณะอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าที่ได้ให้ความรู้และข้อคิดในการเรียน ขอขอบพระคุณท่านผู้อำนวยการกองบำรุงรักษา การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ดร.สมชาย ทรงศิริ ที่ได้ให้ข้อคิดแนวทางการทำมอนิเตอร์โล นื่องธิดา สามศรี นื่องวรวิทย์ บินชาอีด นื่องอารีวรรณ ขจรเดช และพี่น้องโครงการความร่วมมือทางวิชาการระหว่างการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคและมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ที่ให้กำลังใจกันมาตลอดระยะเวลาการศึกษา แม้ว่าจะฝ่าฟันมรสุมมามากก็ตาม

สุดท้ายนี้ด้วยความดีของวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอบมอบให้กับท่านผู้ที่ได้อบรมสั่งสอนผู้วิจัยทุกท่านตั้งแต่ก่อนกำเนิดเกิดมาจนถึงปัจจุบัน จงประสบแต่จตุรพิธพรชัย คือ อายุ วรรณะ สุขะ พละ ด้วยเทอญ

บัณฑิต เพ็ชดา

กันยายน 2557

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(6)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	20
อุปกรณ์	20
วิธีการ	20
ผลและวิจารณ์	34
ผล	34
วิจารณ์	71
สรุปและข้อเสนอแนะ	73
สรุป	73
ข้อเสนอแนะ	74
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	75
ภาคผนวก	77
ภาคผนวก ก ตัวอย่างระยะเวลาการชาร์จ	78
ภาคผนวก ข โหลดของวงจรที่ 6 ถึง 10 สถานีไฟฟ้าบางละมุง	80
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	91

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 ระดับการชาร์จของรถยนต์ไฟฟ้า	6
2 คุณลักษณะเฉพาะของรถยนต์ไฟฟ้า Nissan Leaf	10
3 ตัวอย่างรูปแบบการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า	13
4 ระดับเกณฑ์ด้านแรงดันไฟฟ้า	14
5 ความน่าจะเป็นของการใช้รถยนต์	17
6 ระยะทางที่รถยนต์ไฟฟ้า Nissan Leaf วิ่งได้ในสถานะที่แตกต่างกัน	17
7 พิกัดของเครื่องชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า	26
8 แรงดันตกที่ต่ำที่สุดของระยะทางต่างๆ ในหนึ่งวัน	35
9 โอกาสของแรงดันที่เปลี่ยนแปลง กรณีมีรถในพื้นที่ 500 คัน	43
10 โอกาสของแรงดันที่เปลี่ยนแปลง กรณีมีรถในพื้นที่ 1,250 คัน	49
11 โอกาสของแรงดันที่เปลี่ยนแปลง กรณีมีรถในพื้นที่ 2,500 คัน	54
12 โอกาสของแรงดันที่เปลี่ยนแปลง กรณีมีรถในพื้นที่ 3,750 คัน	60
13 โอกาสของแรงดันที่เปลี่ยนแปลง กรณีมีรถในพื้นที่ 5,000 คัน	69
ตารางผนวกที่	
ข1 กำลังไฟฟ้าของสถานีไฟฟ้าบางละมุง วงจรที่ 6	81
ข2 กำลังไฟฟ้าของสถานีไฟฟ้าบางละมุง วงจรที่ 7	83
ข3 กำลังไฟฟ้าของสถานีไฟฟ้าบางละมุง วงจรที่ 8	85
ข4 กำลังไฟฟ้าของสถานีไฟฟ้าบางละมุง วงจรที่ 9	87
ข5 กำลังไฟฟ้าของสถานีไฟฟ้าบางละมุง วงจรที่ 10	89

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 เวลาการเข้าชาร์จที่สถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าแบบรวดเร็วในแต่ละวัน	7
2 การเปลี่ยนแปลงกำลังการชาร์จรถยนต์ในหนึ่งวัน	7
3 แรงดันกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า	8
4 การเปลี่ยนแปลงของแรงดันกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า	8
5 การเชื่อมต่อเครื่องชาร์จกับระบบไฟฟ้า	11
6 รูปแบบการจ่ายไฟในระบบจำหน่าย 22 กิโลโวลต์ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค	15
7 แบบจำลองระบบจำหน่ายกรณีจ่ายโหลดปกติ	18
8 แบบจำลองระบบจำหน่ายกรณีจ่ายโหลดและติดตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า	19
9 การจ่ายไฟของสถานีไฟฟ้าบางละมุงวงจรที่ 10	21
10 รูปแบบการจ่ายไฟของสถานีไฟฟ้าบางละมุง	21
11 โหลดของสถานีไฟฟ้าบางละมุงวงจรที่ 6	22
12 โหลดของสถานีไฟฟ้าบางละมุงวงจรที่ 7	22
13 โหลดของสถานีไฟฟ้าบางละมุงวงจรที่ 8	23
14 โหลดของสถานีไฟฟ้าบางละมุงวงจรที่ 9	23
15 โหลดของสถานีไฟฟ้าบางละมุงวงจรที่ 10	24
16 เวลาในการเข้าสถานีชาร์จของรถยนต์ไฟฟ้า	25
17 แผนผังขั้นตอนการสร้างโพรไฟล์กำลังการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าในสถานีชาร์จ	29
18 แผนผังขั้นตอนการสร้างโพรไฟล์กำลังการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าในสถานีชาร์จ (ต่อ)	30
19 ตำแหน่งติดตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าและตำแหน่งวัดแรงดันไฟฟ้า	31
20 แรงดันไฟฟ้าที่ตำแหน่งต่างๆ	34
21 กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของสถานีชาร์จ เมื่อจำลองเทคนิคมอนติคาร์โล 1,000 รอบ	36
22 กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของสถานีชาร์จ เมื่อจำลองเทคนิคมอนติคาร์โล 10,000 รอบ	36
23 กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของสถานีชาร์จ เมื่อจำลองเทคนิคมอนติคาร์โล 50,000 รอบ	37
24 กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของสถานีชาร์จ เมื่อจำลองเทคนิคมอนติคาร์โล 100,000 รอบ	37
25 กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของสถานีชาร์จ เมื่อจำลองเทคนิคมอนติคาร์โล 200,000 รอบ	38
26 จำนวนรถยนต์ที่เข้าสถานีชาร์จในแต่ละรอบ เมื่อมีจำนวนรถในพื้นที่ 500 คัน	39

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
27 ตัวอย่างโพรไฟล์กำลังไฟฟ้าของสถานีชาร์จ กรณีมียอดในพื้นที่ 500 คัน	40
28 ตัวอย่างแรงดันไฟฟ้าที่ปลายสาย กรณีมียอดในพื้นที่ 500 คัน	40
29 ตัวอย่างแรงดันที่เปลี่ยนแปลงที่ปลายสาย กรณีมียอดในพื้นที่ 500 คัน	41
30 กำลังไฟฟ้าสูงสุดแต่ละนาทียของสถานีชาร์จ กรณีสถานียอดในพื้นที่ 500 คัน	42
31 แรงดันไฟฟ้าที่ปลายสายที่ต่ำสุดที่เกิดขึ้นได้ กรณีสถานียอดในพื้นที่ 500 คัน	42
32 การเปลี่ยนแปลงของแรงดันที่เกิดขึ้นได้มากที่สุดในแต่ละนาทีย กรณีสถานียอด 500 คัน	43
33 ความน่าจะเป็นของแรงดันที่เปลี่ยนแปลงที่ปลายสาย จำนวนรถในพื้นที่ 500 คัน	44
34 จำนวนรถยนต์ที่เข้าสถานีชาร์จในแต่ละรอบ เมื่อมีจำนวนรถในพื้นที่ 1,250 คัน	45
35 ตัวอย่างโพรไฟล์กำลังไฟฟ้าของสถานีชาร์จ กรณีสถานียอดในพื้นที่ 1,250 คัน	45
36 ตัวอย่างแรงดันไฟฟ้าที่ปลายสาย กรณีสถานียอดในพื้นที่ 1,250 คัน	46
37 ตัวอย่างแรงดันที่เปลี่ยนแปลงที่ปลายสาย กรณีสถานียอดในพื้นที่ 1,250 คัน	47
38 กำลังไฟฟ้าสูงสุดแต่ละนาทียของสถานีชาร์จ กรณีสถานียอดในพื้นที่ 1,250 คัน	48
39 แรงดันไฟฟ้าที่ปลายสายที่ต่ำสุดที่เกิดขึ้นได้ กรณีสถานียอดในพื้นที่ 1,250 คัน	48
40 การเปลี่ยนแปลงของแรงดันที่เกิดขึ้นได้มากที่สุดในแต่ละนาทีย กรณีสถานียอด 1,250 คัน	49
41 ความน่าจะเป็นของแรงดันที่เปลี่ยนแปลงที่ปลายสาย จำนวนรถในพื้นที่ 1,250 คัน	50
42 จำนวนรถยนต์ที่เข้าสถานีชาร์จในแต่ละรอบ เมื่อมีจำนวนรถในพื้นที่ 2,500 คัน	51
43 ตัวอย่างโพรไฟล์กำลังไฟฟ้าของสถานีชาร์จ กรณีสถานียอดในพื้นที่ 2,500 คัน	52
44 ตัวอย่างแรงดันไฟฟ้าที่ปลายสาย กรณีสถานียอดในพื้นที่ 2,500 คัน	52
45 ตัวอย่างแรงดันที่เปลี่ยนแปลงที่ปลายสาย กรณีสถานียอดในพื้นที่ 2,500 คัน	53
46 กำลังไฟฟ้าสูงสุดแต่ละนาทียของสถานีชาร์จ กรณีสถานียอดในพื้นที่ 2,500 คัน	54
47 แรงดันไฟฟ้าที่ปลายสายที่ต่ำสุดที่เกิดขึ้นได้ กรณีสถานียอดในพื้นที่ 2,500 คัน	55
48 การเปลี่ยนแปลงของแรงดันที่เกิดขึ้นได้มากที่สุดในแต่ละนาทีย กรณีสถานียอด 2,500 คัน	55
49 ความน่าจะเป็นของแรงดันที่เปลี่ยนแปลงที่ปลายสาย จำนวนรถในพื้นที่ 2,500 คัน	56
50 จำนวนรถยนต์ที่เข้าสถานีชาร์จในรอบที่ 7,263 เมื่อมีจำนวนรถในพื้นที่ 3,750 คัน	57
51 จำนวนรถยนต์ที่เข้าสถานีชาร์จในรอบที่ 72,084 เมื่อมีจำนวนรถในพื้นที่ 3,750 คัน	57
52 ตัวอย่างโพรไฟล์กำลังไฟฟ้าของสถานีชาร์จ กรณีสถานียอดในพื้นที่ 3,750 คัน	58

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
53 ตัวอย่างแรงดันไฟฟ้าที่ปลายสาย กรณีมีรถในพื้นที่ 3,750 คัน	59
54 ตัวอย่างแรงดันที่เปลี่ยนแปลงที่ปลายสาย กรณีมีรถในพื้นที่ 3,750 คัน	59
55 กำลังไฟฟ้าสูงสุดแต่ละนาทิจของสถานีชาร์จ กรณีจำนวนรถในพื้นที่ 3,750 คัน	61
56 แรงดันไฟฟ้าที่ปลายสายที่ต่ำสุดที่เกิดขึ้นได้ กรณีมีจำนวนรถในพื้นที่ 3,750 คัน	61
57 การเปลี่ยนแปลงของแรงดันที่เกิดขึ้นได้มากที่สุดในแต่ละนาทิจ กรณีมีรถ 3,750 คัน	62
58 ความน่าจะเป็นของแรงดันที่เปลี่ยนแปลงที่ปลายสาย จำนวนรถในพื้นที่ 3,750 คัน	62
59 จำนวนรถยนต์ที่เข้าสถานีชาร์จในแต่ละรอบ เมื่อมีจำนวนรถในพื้นที่ 5,000 คัน	64
60 ตัวอย่างโพรไฟล์กำลังไฟฟ้าของสถานีชาร์จ กรณีมีรถในพื้นที่ 5,000 คัน	64
61 ตัวอย่างแรงดันไฟฟ้าที่ปลายสาย กรณีมีรถในพื้นที่ 5,000 คัน	65
62 ตัวอย่างแรงดันที่เปลี่ยนแปลงที่ปลายสาย กรณีมีรถในพื้นที่ 5,000 คัน	65
63 กำลังไฟฟ้าสูงสุดแต่ละนาทิจของสถานีชาร์จ กรณีจำนวนรถในพื้นที่ 5,000 คัน	67
64 แรงดันไฟฟ้าที่ปลายสายที่ต่ำสุดที่เกิดขึ้นได้ กรณีมีจำนวนรถในพื้นที่ 5,000 คัน	67
65 การเปลี่ยนแปลงของแรงดันที่เกิดขึ้นได้มากที่สุดในแต่ละนาทิจ กรณีมีรถ 5,000 คัน	68
66 ความน่าจะเป็นของแรงดันที่เปลี่ยนแปลงที่ปลายสาย จำนวนรถในพื้นที่ 5,000 คัน	68
67 แรงดันปลายสายกรณีติดตั้งสถานีชาร์จ 3 สถานี	70
68 แรงดันปลายสายกรณีติดตั้งสถานีชาร์จ 4 สถานี	70
 ภาพผนวกที่	
ก1 ตัวอย่างระยะเวลาในการชาร์จ	79

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

กฟภ.	=	การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค
AC	=	Alternating Current
BEV	=	Battery Electric Vehicle
°C	=	degree Celsius
DC	=	Direct Current
EGAT	=	Electricity Generating Authority of Thailand
EREV	=	Extended Range Electric Vehicle
EVSE	=	Electric Vehicle Supply Equipment
EV	=	Electric Vehicle
HEV	=	Hybrid Electric Vehicle
Hz	=	Hertz
IEC	=	International Electrotechnique Commission
km	=	kilo meter
kW	=	kilo Watt
kWh	=	kilo Watt hour
min	=	minute
MW	=	Mega Watt
MVAR	=	Mega Var
OLTC	=	On Load Tap Changer
PHEV	=	Plug-In Hybrid Electric Vehicle
PEA	=	Provincial Electricity Authority
PEV	=	Plug-In Electric Vehicle
SOC	=	State of Charge

การวิเคราะห์ผลกระทบการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าแบบรวดเร็วต่อแรงดันไฟฟ้า
ในระบบจำหน่ายโดยการจำลองมอนติคาร์โล

Impact Analysis of PEVs Fast Charging to Voltage Profile in Distribution System
by Monte Carlo Simulation

คำนำ

จากวิกฤตพลังงานที่มีแนวโน้มของพลังงานที่จะหมดสิ้นไปในอนาคตอันใกล้ รวมถึงข้อเสียของรถยนต์สันดาปภายในที่ใช้เครื่องยนต์ในการขับเคลื่อนที่มีผลกระทบกับสิ่งแวดล้อม ทำให้สภาพอากาศร้อนมากขึ้น และเกิดสภาวะเรือนกระจก ก่อปรกับข้อเสียด้านประสิทธิภาพของรถยนต์ต่ำ มีผลทำให้ใช้พลังงานฟอสซิลสิ้นเปลือง อีกทั้งราคาของเชื้อเพลิงจากฟอสซิล มีราคาเพิ่มสูงขึ้นหลายเท่าตัว รถยนต์ไฟฟ้าจึงได้ถูกพัฒนาและผลิตขึ้นมาอย่างรวดเร็ว เพื่อที่จะเป็นส่วนหนึ่งในการช่วยแก้ไขปัญหาดังกล่าวข้างต้น ซึ่งรถยนต์ไฟฟ้าเป็นหนึ่งในองค์ประกอบของระบบไฟฟ้าอัจฉริยะ (Smart Grid) ที่จะเป็นกลไกสำคัญในการช่วยให้การใช้พลังงานไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด รวมถึงการส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่น้อยที่สุด

ประเทศไทยได้ตระหนักถึงพลังงานที่กำลังจะหมดสิ้นไปในอนาคต ดังพิจารณาได้จากแผนพัฒนา เศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 11 ในด้านนโยบายทางด้านความยั่งยืนของพลังงาน การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) ในฐานะที่เป็นหน่วยงานจำหน่ายพลังงานไฟฟ้าจะต้องตอบสนองต่อนโยบายของรัฐบาลและเพื่อตอบสนองวิกฤตด้านพลังงาน จึงได้มีแผนพัฒนาโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะ ระยะที่ 1 เพื่อมุ่งเน้นการใช้พลังงานอย่างเต็มประสิทธิภาพ ซึ่งรถยนต์ไฟฟ้าเป็นหนึ่งในกลไกในการพัฒนาการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพดังกล่าวด้วย และสิ่งที่ขาดไม่ได้สำหรับรถยนต์ไฟฟ้า นั่นคือ เครื่องชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าสาธารณะที่จะต้องติดตั้งเพื่อบริการประชาชน จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้น กฟภ. จึงได้กำหนดให้ติดตั้งสถานีชาร์จรถยนต์สาธารณะจำนวน 4 เมืองใหญ่ คือ เมืองพัทยา จ.ชลบุรี อ.เมืองเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่ อ.เมืองนครราชสีมา จ.นครราชสีมา และ อ.เมืองภูเก็ต จ.ภูเก็ต

รถยนต์ไฟฟ้ามีแบตเตอรี่เป็นส่วนประกอบสำคัญในการกักเก็บพลังงานเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในการขับเคลื่อน การชาร์จแบตเตอรี่รถยนต์จึงเป็นสิ่งที่ผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้าจะต้องคำนึงถึง และโดยเฉพาะอย่างยิ่งหน่วยงานการไฟฟ้าที่ทำหน้าที่ส่งและจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับประชาชน จะต้องมีการวางแผนและมีมาตรการรองรับผลกระทบที่จะเกิดขึ้นเนื่องจากสถานีชาร์จดังกล่าว การชาร์จพลังงานให้กับรถยนต์ไฟฟ้าหากแบ่งตามมาตรฐาน IEC 61651-1 นั้น แบ่งออกได้เป็น 4 ระดับ คือ ระดับที่ 1 เป็นการชาร์จของเครื่องชาร์จกระแสสลับภายในบ้าน พิกัดกระแสไม่เกิน 16 แอมแปร์ ระดับแรงดันไม่เกิน 250 โวลต์สำหรับระบบไฟฟ้า 1 เฟส หรือ 480 โวลต์สำหรับระบบไฟฟ้า 3 เฟส , ระดับที่ 2 เป็นการชาร์จของเครื่องชาร์จกระแสสลับ พิกัดกระแสไม่เกิน 32 แอมแปร์ ระดับแรงดันไม่เกิน 250 โวลต์ สำหรับระบบไฟฟ้า 1 เฟส หรือ 480 โวลต์สำหรับระบบไฟฟ้า 3 เฟส, ระดับที่ 3 เป็นการชาร์จในสถานีชาร์จกระแสสลับระบบไฟฟ้า 3 เฟส หรือกระแสตรงแบบมีหัวชาร์จ (EVSE) และระดับที่ 4 เป็นการชาร์จในสถานีชาร์จกระแสสลับระบบไฟฟ้า 3 เฟส หรือกระแสตรงแบบชาร์จโดยตรงกับแบตเตอรี่ (off-board charger)

จำนวนรถยนต์ไฟฟ้าที่จะเพิ่มจำนวนมากขึ้นในอนาคต การเตรียมความพร้อมขององค์ความรู้และระบบจำหน่ายรองรับการชาร์จแบตเตอรี่ของรถยนต์ไฟฟ้าในอนาคตเป็นสิ่งจำเป็น เนื่องจากรถยนต์ไฟฟ้าใช้พลังงานจากแบตเตอรี่เป็นหลักในการขับเคลื่อน จึงจำเป็นต้องมีการติดตั้งสถานีบริการการชาร์จแบตเตอรี่รถยนต์ไฟฟ้าเข้าไปในระบบไฟฟ้า ซึ่งการติดตั้งสถานีบริการดังกล่าวจะก่อให้เกิดปัญหาทำให้เกิดปัญหาแรงดันไฟฟ้ากระแสเพิ่มขึ้นในระบบจำหน่ายของ กฟภ. เนื่องจากการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าแบบรวดเร็วใช้ระดับกำลังที่สูงและในเวลาอันรวดเร็ว

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอการจำลองมอนติคาร์โล เพื่อหาโพรไฟล์การชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าและนำไปวิเคราะห์ผลกระทบต่อระดับแรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่ายของ กฟภ. รวมถึงวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า เพื่อเป็นแนวทางในการหาผลกระทบของสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าแบบรวดเร็วต่อระดับแรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่ายของ กฟภ.

วัตถุประสงค์

1. วิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบกับระบบจำหน่าย
2. วิเคราะห์ผลกระทบของสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าแบบรวดเร็วต่อระดับแรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่ายของ กฟภ.
3. ศึกษาโดยใช้การจำลองมอนติคาร์โล เพื่อหาโพรไฟล์การชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าและนำไปวิเคราะห์ผลกระทบต่อระดับแรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่ายของ กฟภ.

การตรวจเอกสาร

ปัญหาที่จะเกิดขึ้นในระบบจำหน่ายเมื่อมีรถยนต์ไฟฟ้าเข้ามาใช้งานมากขึ้นในพื้นที่การให้บริการโดยจำลองใช้โปรแกรม PSCADTM/EMTDCM ศึกษาใน 2 กรณี (Papadopoulos *et al.*, 2009) คือ กรณีที่ 1 จำลองผู้ใช้ไฟ 24 ราย ในระดับแรงดันต่ำ และ กรณีที่ 2 จำลองการติดตั้งแหล่งจ่ายไฟฟ้าขนาดเล็กพร้อมด้วยโดยมีการจำลองผู้ใช้ไฟฟ้า 96 ราย ผลการจำลองปรากฏว่า กรณีที่ 1 จะมีแรงดันตกต่ำกว่าค่ามาตรฐาน คือ 0.95 เปรี่ยูนิต เมื่อมีการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าตั้งแต่ร้อยละ 50 ถึงร้อยละ 100 ในสภาวะโหลดเบาบาง ส่วนในช่วงการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุดการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าจะทำให้แรงดันต่ำกว่ามาตรฐานทุกกรณี ในกรณีที่รถยนต์ไฟฟ้าจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับระบบ จะทำให้แรงดันไฟฟ้าเกินค่ามาตรฐาน คือ มากกว่า 1.1 เปรี่ยูนิต ส่วนในกรณีที่ 2 เมื่อมีการติดตั้งแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าขนาดเล็กพร้อมด้วย ผลปรากฏว่า แรงดันไฟฟ้าทั้งในสภาวะโหลดเบาบาง และในสภาวะการใช้โหลดสูงสุด ทั้งการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าและจ่ายพลังงานไฟฟ้ากลับแรงดันไฟฟ้ายังอยู่ในค่ามาตรฐาน

ผลกระทบเมื่อมีรถยนต์ไฟฟ้าเข้ามาในระบบ คือ แรงดันต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน และปัญหาการจ่ายไฟฟ้าเกินกำลังของหม้อแปลง (Au, 2012) โดยได้จำลองศึกษาผลกระทบในระบบ 26 บัส 21 โหลด จำลองโดยใช้เทคนิคมอนติคาร์โลโดยมีระดับการชาร์จ 3 ระดับ คือ ระดับที่ 1 กำลังไฟฟ้า 1.3 kW ระดับที่ 2 กำลังไฟฟ้า 3.3 kW ระดับที่ 3 กำลังไฟฟ้า 50 kW จำลองการรันโหลดโพล์ เพื่อศึกษาผลกระทบต่อแรงดันไฟฟ้า และการจ่ายกำลังไฟฟ้าของหม้อแปลง ผลปรากฏว่า แรงดันไฟฟ้าที่ปลายสายตกต่ำกว่าค่ามาตรฐาน กล่าวคือ ต่ำกว่า 0.95 เปรี่ยูนิต การจำลองผลกระทบต่อการจ่ายโหลดเกินของหม้อแปลงไฟฟ้านั้น ได้จำลองพิกัดหม้อแปลง 2.5 MVA จำลองโดยไม่มีรถยนต์ไฟฟ้าผลปรากฏว่า กำลังไฟฟ้ามีค่าเปลี่ยนไปตามการใช้ไฟฟ้า โดยอยู่ในช่วง 1 MVA ถึง 3 MVA เมื่อมีรถยนต์ไฟฟ้าเข้ามาในระบบร้อยละ 30 ผลปรากฏว่า ทำให้หม้อแปลงไฟฟ้าจ่ายโหลดเกินร้อยละ 9.1 และเมื่อมีรถยนต์ไฟฟ้าเข้ามาในระบบร้อยละ 50 และเต็มจำนวน ผลปรากฏว่า ทำให้หม้อแปลงไฟฟ้าจ่ายโหลดเกินร้อยละ 21 และ 60 ตามลำดับ ซึ่งจากปัญหาดังกล่าวจะต้องมีการจัดการการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าเพื่อมิให้กระทบกับระบบไฟฟ้าของหน่วยงานการไฟฟ้า

จากข้อเสียของการสันดาปภายในของรถยนต์ที่ใช้เครื่องยนต์ในการขับเคลื่อนที่มีผลกระทบกับสิ่งแวดล้อม (Vlilet *et al.*, 2011) และข้อเสียด้านประสิทธิภาพของรถยนต์ต่ำ อีกทั้งราคาของเชื้อเพลิงจากฟอสซิลมีราคาเพิ่มสูงขึ้น รถยนต์ไฟฟ้าจึงได้ถูกพัฒนาและผลิตขึ้นมาอย่างรวดเร็ว

รถยนต์ไฟฟ้าที่มีแบตเตอรี่เป็นส่วนประกอบสำคัญในการกักเก็บพลังงานเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในการขับเคลื่อน การชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าเพื่อสามารถวิ่งได้ในระยะทางตามที่ต้องการจึงเป็นสิ่งที่ผู้ใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าจะต้องคำนึงถึง โดยเฉพาะอย่างยิ่งหน่วยงานการไฟฟ้าที่ทำหน้าที่ส่งและจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับประชาชน จะต้องมีการวางแผนและมีมาตรการรองรับผลกระทบที่จะเกิดขึ้นเนื่องจากสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าดังกล่าว (Shadidinejad *et al.*, 2012)

รายละเอียดรูปแบบการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า (Veneri *et al.*, 2012) แบ่งเป็น 4 รูปแบบ คือ Mode 1 เป็นการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าผ่านระบบไฟฟ้ากระแสสลับ 50-60 Hz ที่แรงดันไม่เกิน 250 โวลต์ กระแสสลับ สำหรับระบบ 1 เฟส และแรงดันไม่เกิน 480 โวลต์ กระแสสลับ สำหรับระบบ 3 เฟส โดยใช้ปลั๊กขนาดไม่เกิน 16 แอมแปร์ พร้อมระบบป้องกันตามมาตรฐานกำหนด เป็นแบบชาร์จช้า (Slow charging) เหมาะกับการชาร์จที่บ้านพักอาศัย Mode 2 เป็นการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าผ่านระบบไฟฟ้ากระแสสลับที่มีค่าแรงดันแบบเดียวกับ Mode 1 โดยใช้ปลั๊กขนาดไม่เกิน 32 แอมแปร์ พร้อมระบบป้องกันตามมาตรฐานกำหนด และมีฟังก์ชันควบคุมที่ใช้ติดต่อกับระบบจำหน่ายได้ ต้องการ เป็นแบบชาร์จช้า (Slow charging) เหมาะกับการชาร์จที่บ้านพักอาศัย Mode 3 เป็นการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าผ่านระบบไฟฟ้ากระแสสลับที่มีแหล่งจ่ายและลักษณะการชาร์จเฉพาะ และมีขนาดกระแสไม่เกิน 63 แอมแปร์ พร้อมระบบป้องกันตามมาตรฐานกำหนด และฟังก์ชันควบคุมที่ใช้ติดต่อกับระบบจำหน่ายต่อกับระบบอย่างถาวรได้ โดยรูปแบบการชาร์จเป็นแบบ Semi-fast เหมาะกับการชาร์จเป็นกลุ่ม หรือที่สถานีชาร์จ และ Mode 4 เป็นการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าผ่านคอนเวอร์เตอร์เพื่อเปลี่ยนระบบไฟกระแสสลับเป็นกระแสตรง ก่อนชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าเป็นการชาร์จแบบเร็ว (Fast Charging) ใช้เวลาประมาณ 20-30 นาที สำหรับอุปกรณ์คอนเวอร์เตอร์ ที่ชาร์จแบตเตอรี่ จากร้อยละ 0 ถึง 80 ภายในเวลาไม่เกิน 5 นาที จะเรียกว่า Ultra-Fast Charging สำหรับตัวอย่าง Fast charging เช่น คอนเวอร์เตอร์สำหรับชาร์จของ CHAdeMO กำหนดกระแสชาร์จไม่เกิน 125แอมแปร์ ที่แรงดัน 500 โวลต์

การชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าตามมาตรฐาน SAE J1772 (Liu *et al.*, 2011) แบ่งระดับการชาร์จของรถยนต์ไฟฟ้าซึ่งแบ่งตามระดับแรงดันและกำลังไว้ตามตารางที่ 1

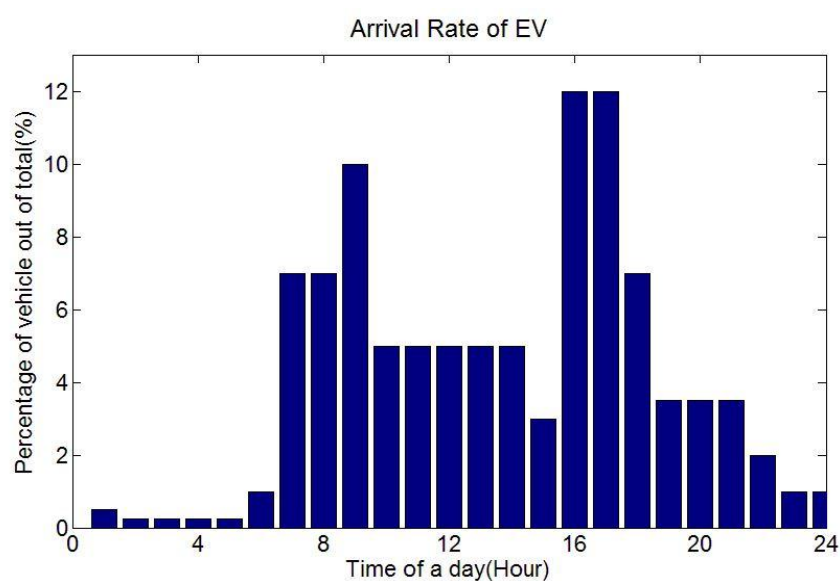
ตารางที่ 1 ระดับการชาร์จของรถยนต์ไฟฟ้า

Type	Power Level (kW)
Level 1 120 V AC	1.2-2.0
Level 2(low) 208-240 V AC	2.8-3.8
Level 2(high)208-240 V AC	6-15
Level 3 208-240 V AC	> 15 – 96
Level 3 DC charging 600 V DC	> 15 – 240

ที่มา: Liu *et al.* (2011)

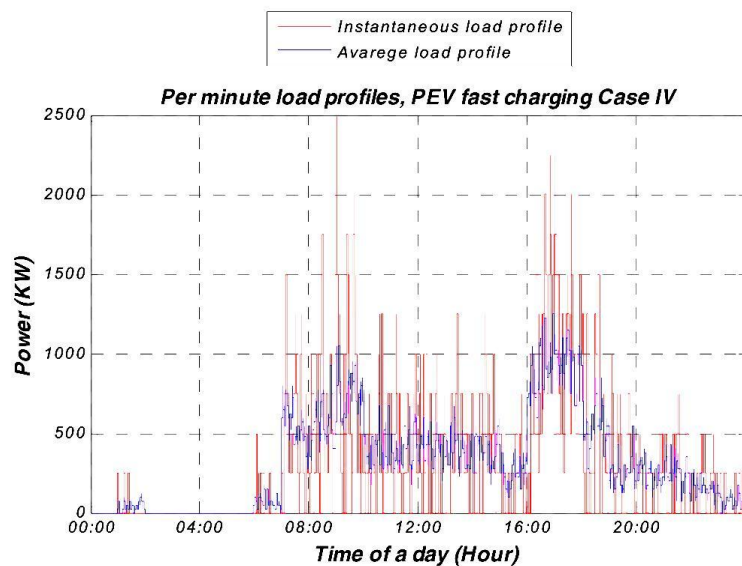
พฤติกรรมการใช้รถยนต์ไฟฟ้าของผู้ขับขี่ที่จะมาใช้บริการสถานีชาร์จรถไฟฟ้าแบบรวดเร็วขึ้นกับเวลาในแต่ละวัน (Yunus *et al.*, 2011) โดยศึกษาผลกระทบกับระดับแรงดันไฟฟ้า ทั้งระบบแรงดันปานกลาง และแรงดันต่ำ โดยอาศัยข้อมูลจากการสำรวจผู้เข้าใช้บริการสถานีบริการน้ำมันตามภาพที่ 1 โดยเวลาช่วงเช้า หรือช่วงเลิกงาน จะมีการเข้ามาใช้บริการสถานีชาร์จเป็นจำนวนมาก ซึ่งจะเป็นช่วงเวลาที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของโหลดสูงสุด หรืออาจกล่าวได้ว่าช่วงเวลาดังกล่าวทำให้เกิดแรงดันกระแสเฟืองสูงที่สุด เมื่อได้โพรไฟล์การชาร์จที่จำลองขึ้นแล้ว จึงนำมาเป็นแนวทางในการจำลองเพื่อสร้างโหลดของระบบไฟฟ้า และนำไปวิเคราะห์ถึงผลกระทบต่อแรงดันไฟฟ้าในโปรแกรม DIgSILENT PowerFactory

โดยการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าในแต่ละวันนั้นเป็นไปตามภาพที่ 2 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่รวดเร็ว จะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้ากระแสเฟืองตามภาพที่ 3 และภาพที่ 4 ซึ่งการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าดังกล่าว จะส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์ไฟฟ้า เช่น การใช้กำลังไฟฟ้าเกินกำลังของหม้อแปลงไฟฟ้า ซึ่งหน่วยงานการไฟฟ้าจะต้องหาแนวทางแก้ไขปัญหาดังกล่าว เช่น คัดตั้งอุปกรณ์รักษาระดับแรงดันให้มีความเหมาะสมต่อการใช้งาน เป็นต้น



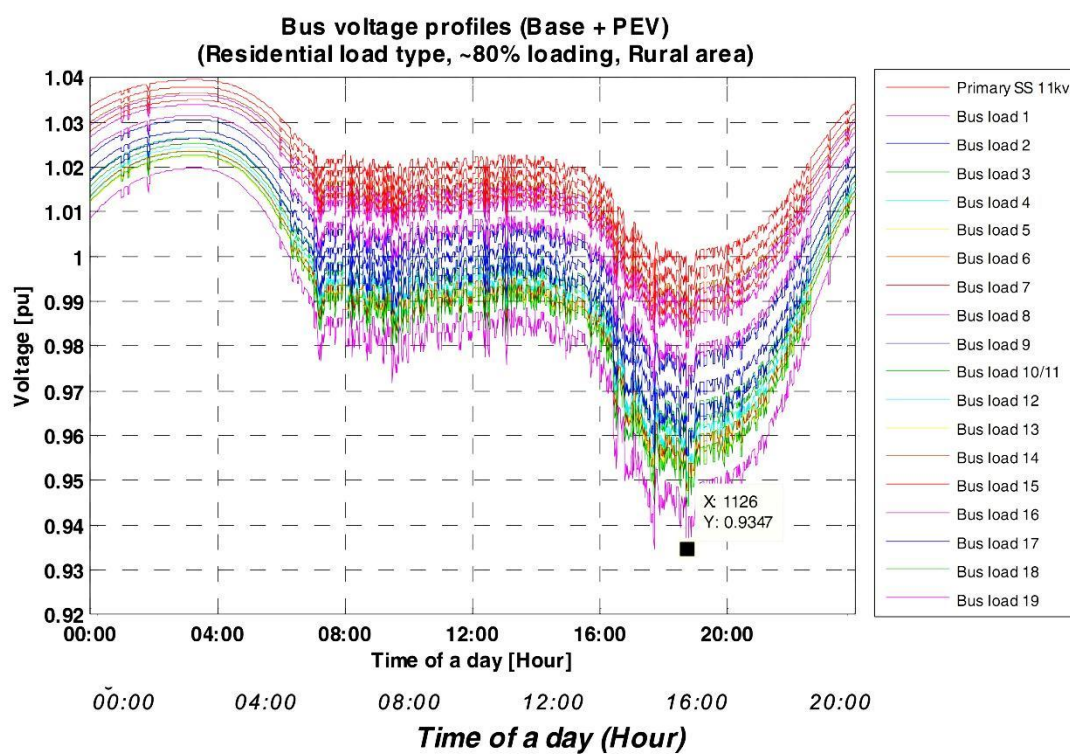
ภาพที่ 1 เวลาการเข้าชาร์จที่สถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าแบบรวดเร็วในแต่ละวัน

ที่มา: Yunus *et al.* (2011)



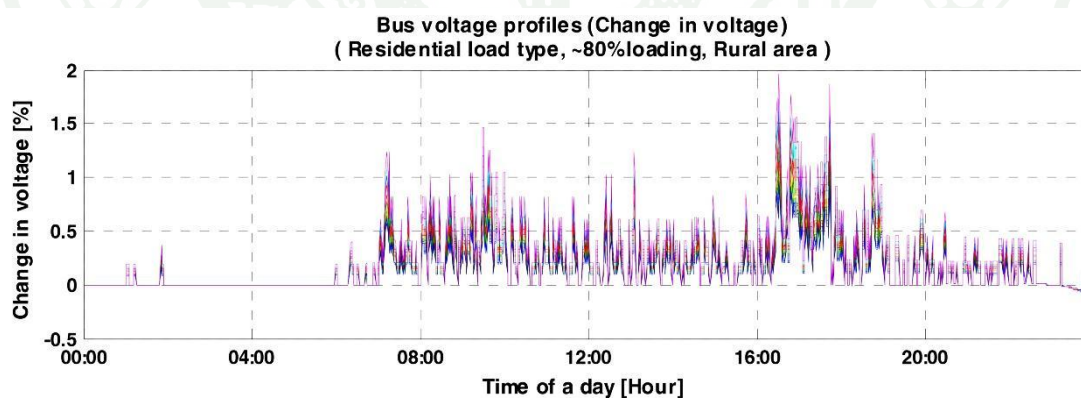
ภาพที่ 2 การเปลี่ยนแปลงกำลังการชาร์จรถยนต์ในหนึ่งวัน

ที่มา: Yunus *et al.* (2011)



ภาพที่ 3 แรงดันกระเพื่อมที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า

ที่มา: Yunus *et al.* (2011)



ภาพที่ 4 การเปลี่ยนแปลงของแรงดันกระเพื่อมที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า

ที่มา: Yunus *et al.* (2011)

ปัญหาของรถยนต์ไฟฟ้าเมื่อเข้ามาในระบบไฟฟ้า

ปัญหาที่จะเกิดขึ้นในระบบจำหน่าย เมื่อมีการนำรถยนต์ไฟฟ้าเข้ามาใช้งาน (Papadopoulos *et al.*, 2009) สรุปได้ดังนี้

1. ปัญหาแรงดันตก

เนื่องจากการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าเปรียบเสมือนการเพิ่มโหลดของระบบไฟฟ้าให้มากขึ้น จึงทำให้เกิดปัญหาแรงดันตกในระบบไฟฟ้าขึ้นได้

2. ปัญหาการใช้หม้อแปลงไฟฟ้าเกินพิกัดกำลัง

เนื่องจากการออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าในปัจจุบันเป็นการออกแบบพิกัดกำลังของหม้อแปลงไฟฟ้าตามโหลดติดตั้ง ในอนาคตเมื่อมีการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าจะต้องมีการปรับปรุงถึงแม้ว่าหม้อแปลงในระบบจำหน่ายจะสามารถจ่ายโหลดเกินได้ร้อยละ 160 ก็ตาม

3. ปัญหาการจ่ายโหลดเกินของสายไฟแรงต่ำ

เมื่อมีการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้ามากขึ้นจะทำให้มีกำลังไฟฟ้าที่จะต้องจ่ายมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งช่วงเวลาที่มีการใช้โหลดสูงสุดและอาจจะเป็นช่วงเวลาเดียวกันที่มีการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า

4. ปัญหาความสูญเสียที่เพิ่มขึ้น

การชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าจะทำให้ความสูญเสียในระบบจำหน่ายเพิ่มสูงขึ้น โดยตำแหน่งการชาร์จ ระยะเวลาการชาร์จ และจำนวนรถยนต์ไฟฟ้า จะเป็นปัจจัยหลักในการทำให้เกิดความสูญเสียที่เพิ่มมากขึ้น

5. ปัญหาความถี่ตก

การชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าคือการเพิ่มโหลด ดังนั้นจึงมีผลต่อความถี่ของระบบไฟฟ้าด้วย ปัญหาจะชัดเจนและรุนแรงมากขึ้นเมื่อระบบอยู่ในสภาวะ Islanding Mode

6. ปัญหาแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล

เนื่องจากรถยนต์ไฟฟ้าที่ชาร์จในระดับที่อยู่อาศัยนั้น โดยส่วนใหญ่เป็นการชาร์จในระบบ 1 เฟส ดังนั้นจึงจะมีโอกาส ทำให้เกิดแรงดันไม่สมดุลขึ้น

7. ปัญหาฮาร์มอนิกส์ของกระแสไฟฟ้า

เนื่องจากหัวชาร์จเบตเตอรี่ของรถยนต์ เป็นอุปกรณ์ที่อาจก่อให้เกิดปัญหา ปัญหาฮาร์มอนิกส์ ของกระแสไฟฟ้าได้

จากการรวบรวมข้อมูล เรื่องผลกระทบจากรถยนต์ไฟฟ้าดังกล่าวข้างต้น จึงต้องศึกษาและรวบรวมทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเพิ่มเติมดังนี้

คุณลักษณะเฉพาะของรถยนต์ไฟฟ้า Nissan Leaf

คุณลักษณะเฉพาะของรถยนต์ไฟฟ้า Nissan Leaf (การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค [กฟภ.], 2555) เป็นไปตามตารางที่ 2

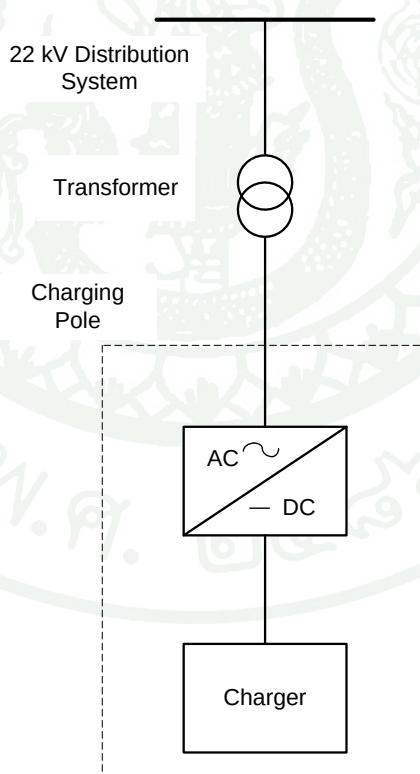
ตารางที่ 2 คุณลักษณะเฉพาะของรถยนต์ไฟฟ้า Nissan Leaf

คุณลักษณะเฉพาะ	รายละเอียด
พิสัยการเดินทาง	ประมาณ 160 km
มอเตอร์ไฟฟ้า	มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 80 kW
แบตเตอรี่	Laminated Lithium-ion จำนวน 48 ชุด ความจุ 24 kWh
การประจุแบตเตอรี่	การประจุแบบเร็ว ไฟฟ้ากระแสตรง 50 kW (0-80%) ใช้เวลาน้อยกว่า 30 นาที การประจุจากบ้านเรือน ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 kW ใช้เวลาประมาณ 8 ชั่วโมง

ที่มา: กฟภ. (2555)

รูปแบบการเชื่อมต่อและติดตั้งของสถานีชาร์จ

รูปแบบการเชื่อมต่อสถานีชาร์จกับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้านั้น แสดงไว้ในภาพที่ 5 โดยหัวชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าแบบรวดเร็ว นั้น จะเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้า ผ่านหม้อแปลงไฟฟ้า เพื่อเปลี่ยนระดับแรงดัน ให้เหมาะสมกับหัวชาร์จ ซึ่งจะมีชุดอินเวอร์เตอร์ทำหน้าที่ปรับเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรง จากภาพที่ 5 เป็นการแสดงการเชื่อมต่ออย่างง่าย เพียงหนึ่งหัวชาร์จ แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อมีการติดตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าในพื้นที่ การติดตั้งในรูปแบบหนึ่งหัวชาร์จอาจจะไม่ได้เกิดขึ้นจริงตามภาพดังกล่าว แต่อาจจะมีการติดตั้งหัวชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า มากกว่าหนึ่งหัวชาร์จ เพื่อให้รองรับจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าที่จะเพิ่มขึ้นในอนาคตผ่านหม้อแปลงไฟฟ้าหนึ่งเครื่อง จะเห็นได้ว่า การติดตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้านั้นมีผลโดยตรงกับการเพิ่มโหลดซึ่งโหลดของสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าเป็นโหลดที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่ายในบริเวณที่สถานีชาร์จติดตั้งและพื้นที่ข้างเคียง



ภาพที่ 5 การเชื่อมต่อหัวชาร์จกับระบบไฟฟ้า

ประเภทรถยนต์ไฟฟ้า

รถยนต์ที่ใช้แบตเตอรี่เป็นส่วนหนึ่งในการขับเคลื่อน สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภท ดังนี้

1. Hybrid electric vehicle (HEV)

Hybrid electric vehicle (HEV) คือ รถยนต์ที่ใช้ทั้งเครื่องยนต์และมอเตอร์ไฟฟ้า โดยจะนำพลังงานสูญเสียของเครื่องยนต์ เช่น การเบรกเพื่อชะลอความเร็ว มาผลิตไฟฟ้าเพื่อเก็บไว้ในแบตเตอรี่ และนำพลังงานที่เก็บไว้มาช่วยในการขับเคลื่อนรถยนต์เพื่อลดการใช้น้ำมัน ซึ่งรถยนต์ HEV จะประหยัดพลังงานได้ระหว่างร้อยละ 10-50 ขึ้นอยู่กับการขับขี่และเส้นทางในการขับขี่รถยนต์ไฟฟ้า

2. Plug-in hybrid electric vehicle (PHEV)

Plug-in hybrid electric vehicle (PHEV) คือ รถยนต์ไฮบริดที่เก็บพลังงานไฟฟ้าในแบตเตอรี่ได้เพิ่มมากขึ้น โดยสามารถขับเคลื่อนโดยพลังงานไฟฟ้าอย่างเดียวเป็นระยะทางมากขึ้นถึง 20-80 km เพื่อใช้น้ำมันลดลง โดยรถยนต์ PHEV จะสามารถลดการใช้น้ำมันลงถึงร้อยละ 70

3. Extended-range electric vehicle (EREV)

Extended-range electric vehicle (EREV) คือ รถยนต์ PHEV ที่เพิ่มระยะทางในการวิ่งด้วยพลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ให้ได้เพิ่มมากขึ้นกว่า PHEV

4. Plug-in electric vehicle (PEV)

Plug-in electric vehicle (PEV) คือ รถยนต์ไฟฟ้าที่มีเฉพาะมอเตอร์ไฟฟ้าเป็นต้นกำลังให้รถยนต์เคลื่อนที่ และใช้พลังงานไฟฟ้าที่อยู่ในแบตเตอรี่เท่านั้น ไม่มีเครื่องยนต์อื่นในรถยนต์ ดังนั้นระยะทางการวิ่งของรถยนต์จึงขึ้นอยู่กับวิธีการออกแบบขนาดและชนิดของแบตเตอรี่ รวมทั้งน้ำหนักบรรทุก และอาศัยการชาร์จแบตเตอรี่เพื่อประจุพลังงานไฟฟ้า

ตัวอย่างรูปแบบการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า

การชาร์จรถยนต์ไฟฟ้ามีหลายระดับ ซึ่งส่งผลต่อระยะเวลาการชาร์จและกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในระบบไฟฟ้า ในส่วนนี้ขอยกตัวอย่างการชาร์จ รถยนต์ไฟฟ้า Mitsubishi i-MiEV ที่ระดับการชาร์จที่แตกต่างกัน (Yunus, 2010) โดยมีความสัมพันธ์ ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ตัวอย่างรูปแบบการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า

โหมดการ ชาร์จ	ประเภท แรงดันไฟฟ้า	แรงดัน เฟส (V)	กระแสไฟฟ้า ที่ประจุ (A)	อัตราส่วน กระแสต่อ กระแสฟลักซ์	กำลังไฟฟ้า (kW)	เวลาใน การชาร์จ (min)
Slow	AC 1 เฟส	230	6	0.1	1.4	558
charging	AC 1 เฟส	230	10	0.2	2.3	336
Quick	AC 1 เฟส	230	15	0.3	3.5	222
charging	AC 3 เฟส	230	16	0.3	11.0	70
	AC 3 เฟส	230	32	0.7	22.1	35
AC Fast	AC 3 เฟส	230	63	1.3	43.5	18
charging						
DC Fast	DC	330	151.5	3.1	50	15
charging						
DC Fast	DC	330	303	6.3	100	8
charging	DC	330	606.1	12.5	200.0	4
	DC	330	1212.1	25.0	400.0	2

ที่มา: Yunus (2010)

มาตรฐานและหลักเกณฑ์การวางแผนระบบไฟฟ้าของ กฟภ.

ในงานวิจัยนี้ได้วิเคราะห์ผลกระทบต่อการติดตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าต่อแรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่ายของ กฟภ. ดังนั้นจึงได้ทำการศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับมาตรฐานและหลักเกณฑ์ที่เกี่ยวข้องโดยการวางแผนระบบไฟฟ้าของ กฟภ. มีเกณฑ์ด้านแรงดันแสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ระดับเกณฑ์ด้านแรงดันไฟฟ้า

แรงดันพิกัด (V)	กรณีปกติ		กรณีฉุกเฉิน	
	ต่ำสุด (V)	สูงสุด (V)	ต่ำสุด (V)	สูงสุด (V)
230,000 ⁽¹⁾	218,500	241,500	207,000	253,000
115,000 ⁽¹⁾	109,200	120,700	103,500	126,500
33,000 ⁽¹⁾	31,300	34,700	29,700	36,300
22,000 ⁽¹⁾	20,900	23,100	19,800	24,200
380 ⁽²⁾	342	418	342	418
220 ⁽²⁾	200	240	200	240

หมายเหตุ ⁽¹⁾ มีค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดและต่ำสุดร้อยละ 5

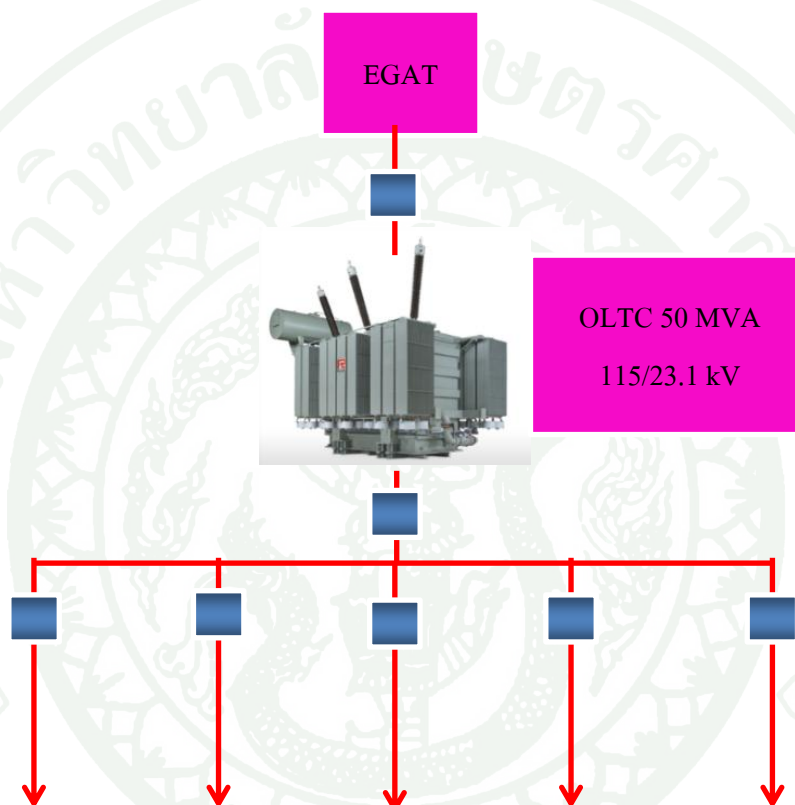
⁽²⁾ มีค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดและต่ำสุดร้อยละ 10

ที่มา: กฟภ. (2551)

โดยตามหลักเกณฑ์การวางแผนระบบไฟฟ้าในแต่ละพื้นที่ว่าด้วยการรองรับการเชื่อมโยงของแหล่งผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กกับระบบจำหน่าย 22 และ 33 กิโลโวลต์ ของ กฟภ. การรักษาระดับแรงดันให้อยู่ในเกณฑ์ด้านแรงดันของระบบไฟฟ้าของ กฟภ. ไม่มีผลกระทบต่อความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าอย่างรุนแรง ไม่ทำให้ความมั่นคงของระบบไฟฟ้าลดลงจนวิกฤต ระบบไฟฟ้ายังมีเสถียรภาพกำหนดให้ค่าของแรงดันต้องเปลี่ยนแปลงไม่เกินร้อยละ ± 5 ของแรงดันพิกัด

ระบบจำหน่ายของ กฟภ.

ระบบจำหน่ายของ กฟภ. โดยทั่วไปจะจ่ายไฟแบบเบรเคิล ในหนึ่งสถานีโดยส่วนใหญ่จะประกอบด้วยหม้อแปลงไฟฟ้าระบบ 115/23.1 กิโลโวลต์ สำหรับระบบไฟฟ้า 22 กิโลโวลต์ จำนวน 2 เครื่อง สำหรับหม้อแปลงไฟฟ้าหนึ่งเครื่องจะจ่ายไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ไฟฟ้าจำนวน 5 วงจร ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 รูปแบบการจ่ายไฟในระบบจำหน่าย 22 กิโลโวลต์ของ กฟภ.

พฤติกรรมการใช้รถและสถานะคงเหลือของแบตเตอรี่

สถานะคงเหลือของแบตเตอรี่ (State of Charge, SOC) เป็นหนึ่งในส่วนประกอบที่สำคัญของการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า และมีส่วนสำคัญของการสร้างโพรไฟล์การชาร์จ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับการใช้รถยนต์ มีค่าผกผันกับระยะทางที่ใช้รถยนต์ไฟฟ้า ซึ่งขึ้นอยู่กับพฤติกรรมการใช้รถยนต์ไฟฟ้า สภาพการจราจร และปัจจัยอื่นๆ

การจำลองการคงเหลือของแบตเตอรี่จะสัมพันธ์กับข้อมูลการใช้รถยนต์ โดยในวิทยานิพนธ์นี้ได้นำข้อมูลของการใช้รถยนต์ของเมืองซีแอตเติล รัฐวอชิงตัน ประเทศสหรัฐอเมริกา (Clark *et al.*, 2003) ดังตารางที่ 5 จะเห็นได้ว่าผู้ขับรถยนต์จะขับในช่วงระยะทาง 4.1-8.0 ไมล์มากที่สุด ส่วนช่วงระยะทางที่มีผู้ขับน้อยที่สุดคือ 28.1-32 ไมล์

จากข้อมูลดังกล่าวสามารถนำมาหาค่า cumulative probability density function เพื่อประกอบการหาค่าระยะทางที่รถแต่ละคันวิ่งในหนึ่งวัน และนำค่าระยะทางดังกล่าวไปแปลงกลับเพื่อหาสถานะของแบตเตอรี่คงเหลือ โดยงานวิจัยนี้ได้ตั้งสมมติฐานของการคงเหลือของแบตเตอรี่ ดังนี้

1. การใช้พลังงานไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าแปรผันตรงกับระยะทางในการเดินทาง

งานวิจัยนี้ได้กำหนดให้รถยนต์ไฟฟ้าขนาด 24 kWh สามารถวิ่งได้เป็นระยะทางมากที่สุด 47 ไมล์ (80 km) ในลักษณะการจราจรที่หนาแน่น และมีการใช้สิ่งอำนวยความสะดวกในรถยนต์เต็มรูปแบบ โดยอ้างอิงตามตารางที่ 6

2. การหาค่าแบตเตอรี่คงเหลือ (SOC)

การหาค่าแบตเตอรี่คงเหลือ จะมีค่าเป็นไปตามสมการ (1)

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

กำหนดให้

SOC คือ สถานะคงเหลือของแบตเตอรี่ (ร้อยละ)

$D_{\max}$ คือ ระยะทางที่รถยนต์ไฟฟ้าสามารถวิ่งได้

D_{drive} คือ ระยะที่รถยนต์ไฟฟ้าวิ่งในระยะเวลาหนึ่งวัน

ตารางที่ 5 ความน่าจะเป็นของการใช้รถยนต์

ระยะทางในการเดินทาง (Miles)	ความถี่ของผู้ขับขี่ (ร้อยละ)
0 - 4.0	19.19
4.1 - 8.0	22.95
8.1 - 12.0	16.67
12.1 - 16.0	13.77
16.1 - 20.0	9.37
20.1 - 24.0	6.07
24.1 - 28.0	4.59
28.1 - 32.0	2.69
มากกว่า 32.1	4.70

ที่มา: Clark *et al.* (2003)

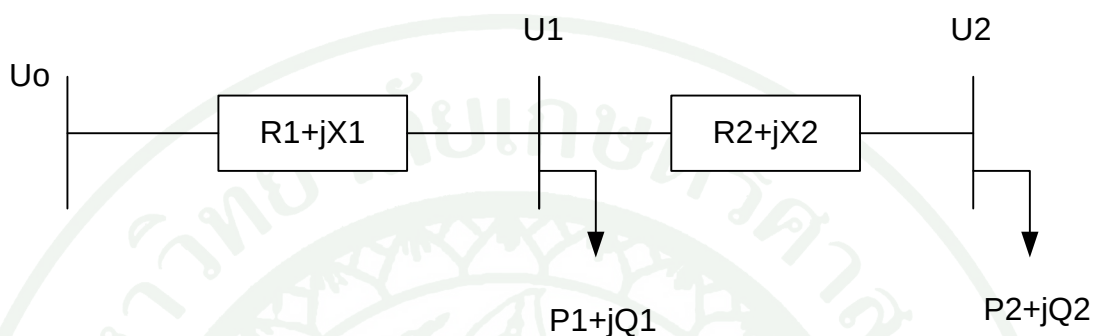
ตารางที่ 6 ระยะทางที่รถยนต์ไฟฟ้า Nissan Leaf วิ่งได้ในสถานะที่แตกต่างกัน

สถานะการขับขี่	ความเร็ว (km/hr)	อุณหภูมิ (°C)	ระยะทาง (Miles)	Air conditioner
ในอุดมคติ	61	20	138	Off
การขับขี่ในเมือง	39	25	105	Off
การขับขี่ในทางด่วน	89	35	70	In use
การขับขี่ในสภาวะรถติด (ฤดูหนาว)	24	-10	62	Heater on
การขับขี่ในสภาวะรถติด	10	30	47	In use

ที่มา: Loveday (2010)

แบบจำลองระบบจำหน่ายอย่างง่าย

ระบบจำหน่ายไฟฟ้า สามารถจำลองได้ตามภาพที่ 7 การหาค่าแรงดันไฟฟ้าตกหาได้ตามสมการที่ (2)



ภาพที่ 7 แบบจำลองระบบจำหน่ายกรณีจ่ายโหลดปกติ

$$\Delta U_i = \frac{P_i R_i + Q_i X_i}{U_N} \quad (2)$$

กำหนดให้

ΔU คือ แรงดันตกเนื่องมาจากโหลดที่บัส i

P_i คือ โหลดกำลังไฟฟ้าจริงที่บัส i

R_i คือ ความต้านทานของสายระหว่างบัส i และ $i-1$

Q_i คือ โหลดกำลังไฟฟ้าเสมือนที่บัส i

X_i คือ รีแอกแตนซ์ของสายระหว่างบัส i และ $i-1$

U_N คือ แรงดันพิกัด (Nominal System Voltage)

จากความสัมพันธ์ตามสมการที่ (2) เมื่อพิจารณาแรงดันที่บัส 2 จะได้แรงดันที่บัส ตามสมการที่ (3)

$$U_2 = U_0 - (\Delta U_1 + \Delta U_2) = U_0 - \left[\left(\frac{P_1 R_1 + Q_1 X_1}{U_N} \right) + \left(\frac{P_2 R_2 + Q_2 X_2}{U_N} \right) \right] \quad (3)$$

เมื่อมีโหลดไฟฟ้าเพิ่มเข้าไปในระบบไฟฟ้า ตามภาพที่ 8 จะได้แรงดันที่บัส 2 ตามสมการที่ (4)

$$U_2 = U_0 - (\Delta U_1 + \Delta U_2) = U_0 - \left[\left(\frac{(P_1 + P_{charger})R_1 + Q_1X_1}{U_N} \right) + \left(\frac{P_2R_2 + Q_2X_2}{U_N} \right) \right] \quad (4)$$

กำหนดให้

ΔU คือ แรงดันตกเนื่องมาจากโหลดที่บัส i

P_i คือ โหลดกำลังไฟฟ้าจริงที่บัส i

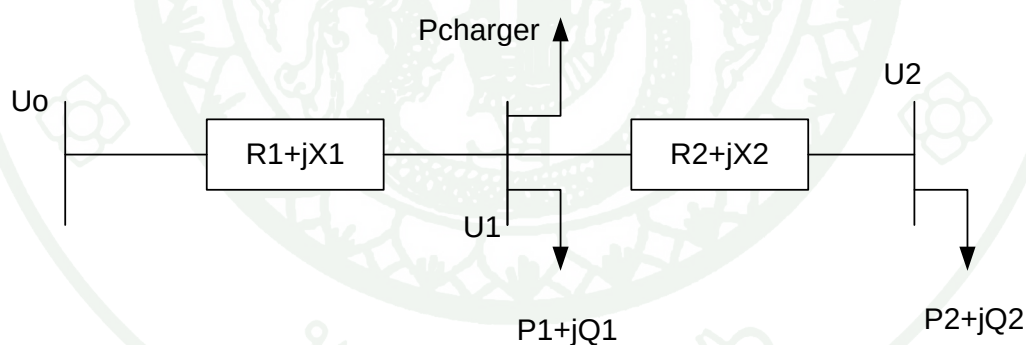
R_i คือ ความต้านทานของสายระหว่างบัส i และ $i-1$

Q_i คือ โหลดกำลังไฟฟ้าเสมือนที่บัส i

X_i คือ รีแอกแตนซ์ของสายระหว่างบัส i และ $i-1$

$P_{charger}$ คือ กำลังไฟฟ้าในการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า

U_N คือ แรงดันพิกัด (Nominal System Voltage)



ภาพที่ 8 แบบจำลองระบบจำหน่ายกรณีจ่ายโหลดและติดตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล
2. ระบบปฏิบัติการ Window XP
3. โปรแกรม Microsoft Office
4. โปรแกรม MATLAB
5. โปรแกรม DIgSIENT Power Factory 14.0.523

วิธีการ

1. ศึกษาบทความทางวิชาการที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์

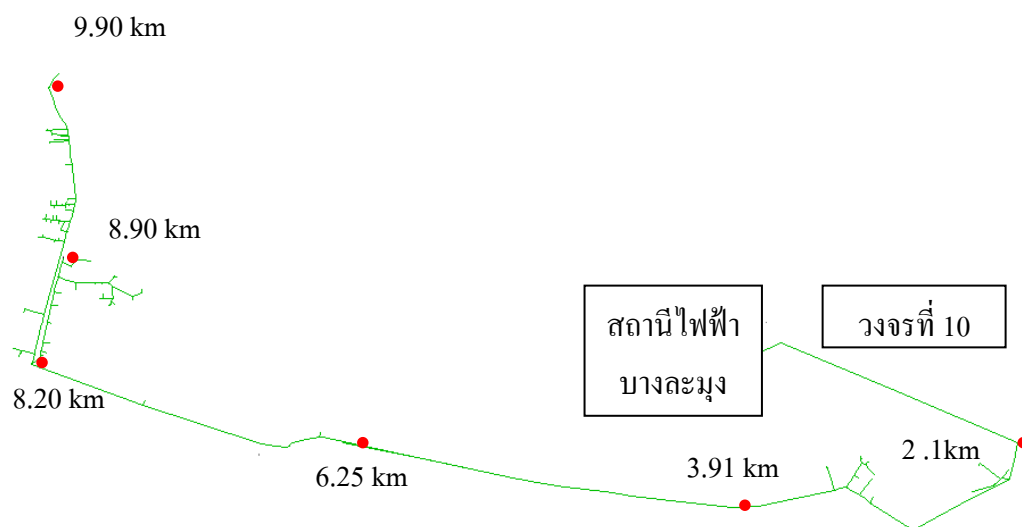
1.1 ศึกษาบทความที่เกี่ยวข้องกับผลกระทบแรงดันไฟฟ้าในการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าในระดับแรงดันปานกลาง

1.2 ศึกษามาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับแรงดันไฟฟ้าตก และข้อกำหนดการจ่ายไฟของ กฟภ.

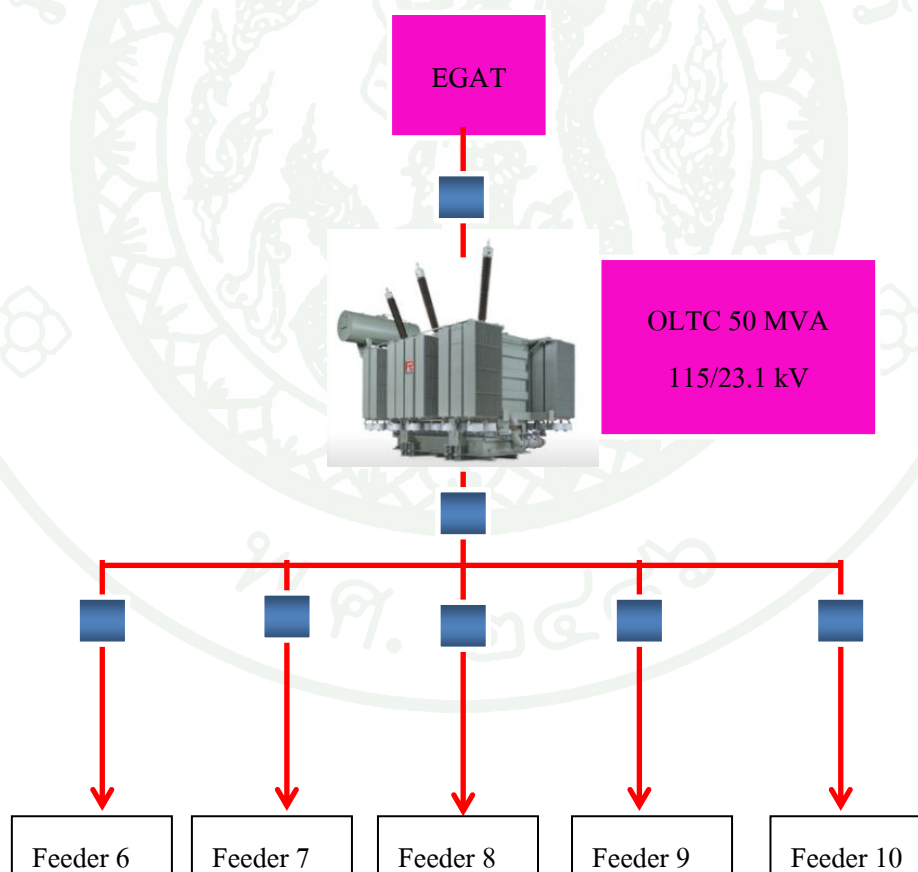
2. ศึกษาแบบจำลองของ กฟภ.

2.1 ศึกษาการจ่ายไฟฟ้าของเมืองพัทยา จังหวัดชลบุรี

ระบบจำหน่ายในเมืองพัทยา ประกอบด้วยสถานไฟฟ้า 5 สถานีไฟฟ้า คือ สถานีไฟฟ้าพัทยาใต้ สถานีไฟฟ้าพัทยาใต้(ชั่วคราว) สถานีไฟฟ้าพัทยาเหนือ สถานีไฟฟ้าจอมเทียน และ สถานีไฟฟ้าบางละมุง งานวิจัยฉบับนี้ได้จำลองการจ่ายไฟของสถานีไฟฟ้าบางละมุง วงจรที่ 10 โดยมีพื้นที่การจ่ายไฟฟ้าในถนนพัทยากลาง มีลักษณะการจ่ายไฟฟ้าตามภาพที่ 9 และภาพที่ 10



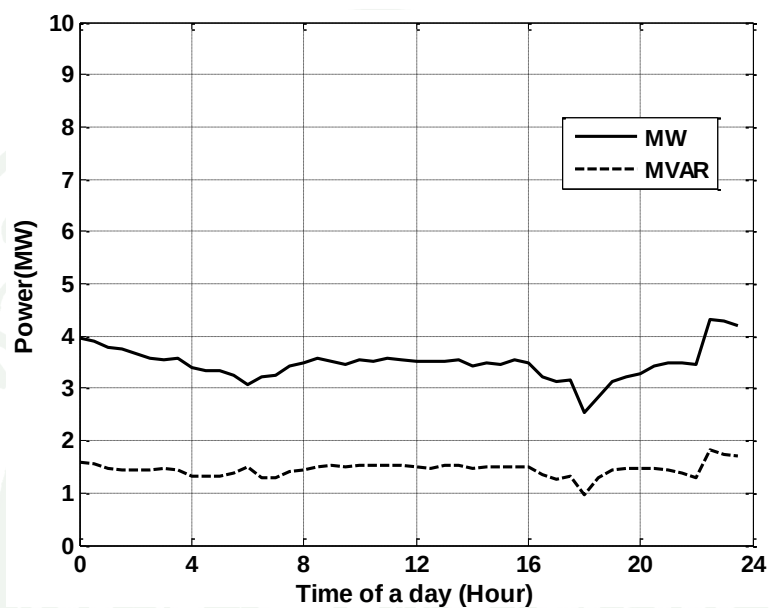
ภาพที่ 9 การจ่ายไฟของสถานีไฟฟ้าบางละมุงวงจรที่ 10



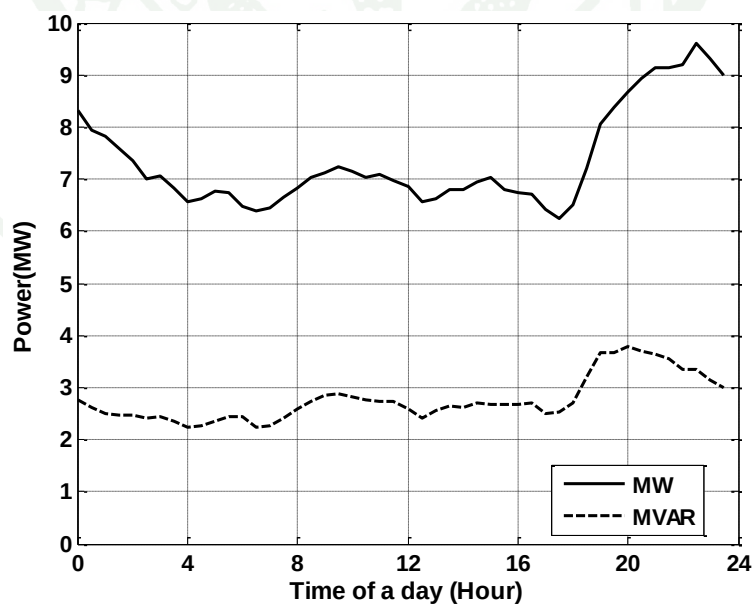
ภาพที่ 10 รูปแบบการจ่ายไฟของสถานีไฟฟ้าบางละมุง

2.2 ลักษณะโหลดของแต่ละวงจรในสถานีไฟฟ้า

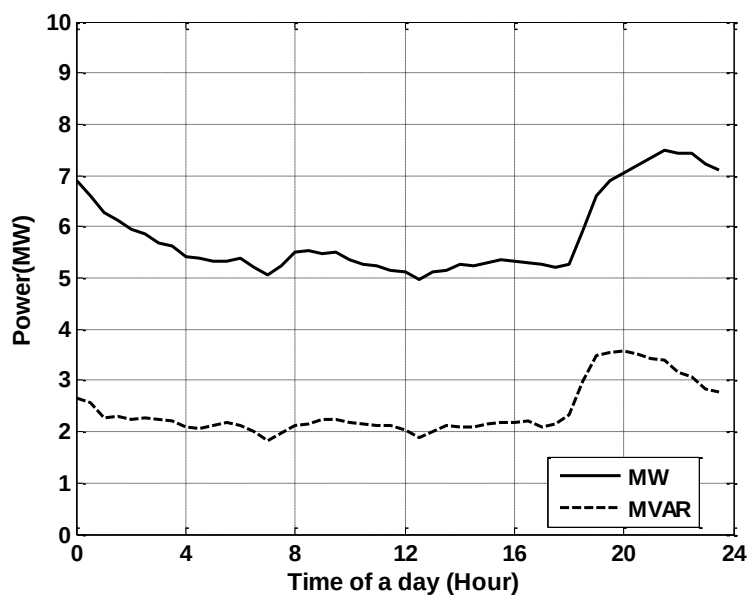
โหลดส่วนใหญ่ในเมืองพัทยา จะมีลักษณะโหลดลักษณะของสถานประกอบการที่มีการใช้โหลดสูงสุดในช่วงเวลากลางคืน แสดงดังภาพที่ 11 ถึง ภาพที่ 15



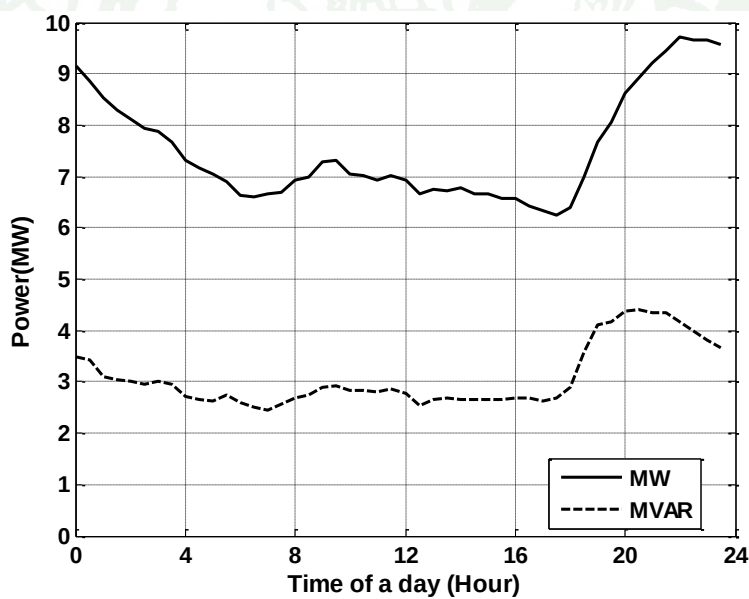
ภาพที่ 11 โหลดของสถานีไฟฟ้าบางละมุงวงจรที่ 6



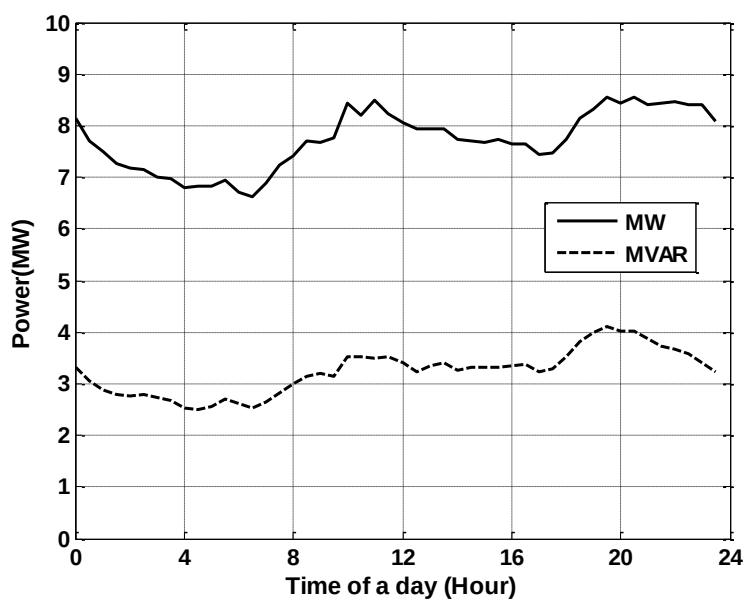
ภาพที่ 12 โหลดของสถานีไฟฟ้าบางละมุงวงจรที่ 7



ภาพที่ 13 โหลดของสถานีไฟฟ้าบางละมุงวงจรที่ 8



ภาพที่ 14 โหลดของสถานีไฟฟ้าบางละมุงวงจรที่ 9



ภาพที่ 15 โหลดของสถานีไฟฟ้าบางละมุงวงจรที่ 10

3. จำลองการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า

การชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าในสถานีชาร์จ จะขึ้นอยู่กับสถานะคงเหลือของแบตเตอรี่ และเวลาการเข้าถึงสถานีชาร์จ รวมถึงจำนวนหัวชาร์จในหนึ่งสถานีชาร์จ ตัวอย่างการชาร์จ ส่วนกำลังไฟฟ้าต้องการจากระบบไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับตัวแปรดังกล่าวข้างต้น

3.1 สมมุติฐาน

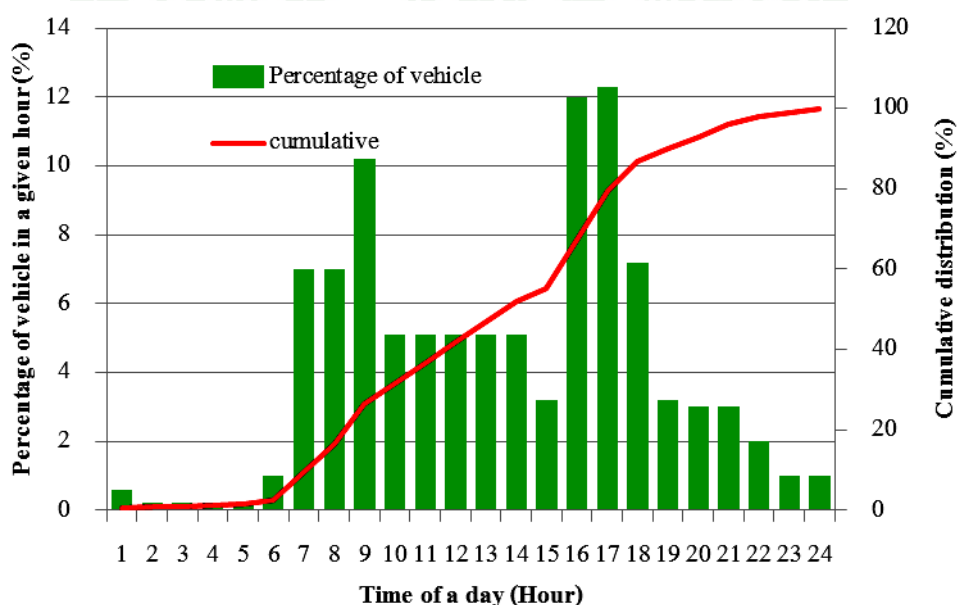
ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้จำลองการติดตั้งสถานีชาร์จ และจำลองการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า ด้วยสมมุติฐาน คือ จำลองติดตั้งสถานีชาร์จทั้งหมด 8 หัวชาร์จ กำลังหัวชาร์จเท่ากันทุกหัวชาร์จ ขนาดกำลังไฟฟ้าของหัวชาร์จมีค่า 110.85 kW และชาร์จแบตเตอรี่รถยนต์ไฟฟ้าขนาด 24 kWh จำนวนรถยนต์ทั้งหมด 5,000 คัน สถานะคงเหลือของแบตเตอรี่เป็นไปตามการใช้รถยนต์ไฟฟ้า โดยกำหนดให้ระยะทางที่วิ่งได้สูงที่สุด คือ 80 km และเวลาที่รถยนต์ไฟฟ้าเข้าชาร์จเป็นไปตามเวลาที่เข้าในสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า

3.2 สถานะของแบตเตอรี่คงเหลือและระยะเวลาในการประจุ

สถานะของแบตเตอรี่คงเหลือและระยะเวลาในการประจุ เป็นหนึ่งในส่วนประกอบที่สำคัญของการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า และมีส่วนสำคัญของการสร้างโปรไฟล์การชาร์จ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับการใช้รถยนต์ มีค่าผกผันกับระยะทางที่ใช้รถยนต์ไฟฟ้า ซึ่งขึ้นอยู่กับพฤติกรรมการใช้รถยนต์ไฟฟ้า สภาพการจราจร และปัจจัยอื่นๆ ตามที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น

3.3 เวลาในการเข้าชาร์จในสถานีชาร์จของรถยนต์

เวลาเข้าชาร์จของรถยนต์ไฟฟ้าอ้างอิงจากการเข้าเติมน้ำมันของรถยนต์ในสถานีบริการน้ำมัน (Yunus, 2010) ดังภาพที่ 16 ซึ่ง จะเห็นได้ว่ามีความน่าจะเป็นในการเติมน้ำมันที่เวลา 8.00 น. และเวลา 15.00 น. ถึง 16.00 น. เนื่องจากเป็นเวลาที่ผู้ใช้รถยนต์เข้าทำงาน และผู้ใช้รถยนต์เลิกงาน โดยวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะใช้ข้อมูลดังกล่าวเพื่อสร้าง Cumulative probability density function ของเวลาการเข้าชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า



ภาพที่ 16 เวลาในการเข้าสถานีชาร์จของรถยนต์ไฟฟ้า

ที่มา: Yunus (2010)

3.4 กำลังไฟฟ้าของหัวขารจ์

จากการศึกษากำลังไฟฟ้าของเครื่องขารจ์รถยนต์ไฟฟ้าแบบรวดเร็ว นั้น พบว่า โดยทั่วไปประสิทธิภาพของเครื่องขารจ์จะมีค่าอยู่ประมาณร้อยละ 80-90 (Andersson and Carlsson, 2012) ในงานวิจัยนี้จะใช้พิกัดกำลังของเครื่องขารจ์รถยนต์ไฟฟ้าขนาด 100 kW ดังตารางที่ 7 เพื่อจำลองการสร้างโพรไฟล์การขารจ์ของรถยนต์ไฟฟ้า จากตารางที่ 7 จะเห็นได้ว่า กำลังไฟฟ้าด้านเข้า หรือกำลังไฟฟ้าที่หัวขารจ์ต้องการจากระบบจำหน่ายนั้นเป็นกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ สามเฟส ต้องการระดับแรงดันไฟฟ้า 380-400 โวลต์ ซึ่งกำลังไฟฟ้ามีค่า 110.85 kW จะเห็นได้ว่ามีค่าสูงกว่า กำลังไฟฟ้าด้านขาออกที่เป็นกระแสตรง หากพิจารณาทั้งสามขนาดแล้วจะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพของหัวขารจ์มีค่าใกล้เคียงกันคือประมาณ ร้อยละ 90 นั้นหมายถึงมีความสูญเสียในหัวขารจ์ที่ทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับร้อยละ 10

ตารางที่ 7 พิกัดของเครื่องขารจ์รถยนต์ไฟฟ้า

คุณลักษณะ	ขนาดของเครื่องขารจ์		
	50 kW	100 kW	200 kW
กำลังไฟฟ้าที่ต้องการจากระบบจำหน่าย	กระแสสลับ 3 เฟส 380-480 โวลต์ พิกัดกระแสประมาณ 80 แอมแปร์ต่อเฟส ที่ระดับแรงดัน 400 โวลต์	กระแสสลับ 3 เฟส 380-480 โวลต์ พิกัดกระแสประมาณ 160 แอมแปร์ต่อเฟส ที่ระดับแรงดัน 400 โวลต์	กระแสสลับ 3 เฟส 380-480 โวลต์ พิกัดกระแสประมาณ 320 แอมแปร์ต่อเฟส ที่ระดับแรงดัน 400 โวลต์
พิกัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง	50- 600 โวลต์	50- 600 โวลต์	50- 600 โวลต์
พิกัดกระแสตรง	ประมาณ 125 แอมแปร์	ประมาณ 250 แอมแปร์	ประมาณ 500 แอมแปร์

ที่มา: ABB (2011)

3.5 ขั้นตอนและแนวคิดในการสร้างโพรไฟล์การชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า

การสร้างโพรไฟล์การชาร์จรถยนต์ไฟฟ้านั้น ใช้เทคนิคมอนติคาร์โล (Monte Carlo) ในการสร้างโพรไฟล์กำลังไฟฟ้าของสถานีชาร์จ ด้วยโปรแกรม MATLAB ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้

3.5.1 รับค่าจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าทั้งหมดในพื้นที่

รับค่าจำนวนรถยนต์ในพื้นที่ทั้งหมด เพื่อนำมาประมวลผลในโปรแกรม เนื่องจากรถยนต์บางคัน ก็ไม่ได้เข้าในสถานีชาร์จ

3.5.2 รับจำนวนหัวชาร์จในหนึ่งสถานีชาร์จ และกำลังไฟฟ้าในการชาร์จ

รับจำนวนหัวชาร์จในหนึ่งสถานีชาร์จ และกำลังไฟฟ้าในการชาร์จ โดยในงานวิจัยนี้กำหนดให้มีในหนึ่งสถานีชาร์จมี 8 หัวชาร์จ และกำลังไฟฟ้าในการชาร์จแต่ละหัวชาร์จเท่ากันหมด โดยจำลองขนาด 100 kW

3.5.3. สุ่มหาค่าสถานะของแบตเตอรี่คงเหลือของรถยนต์ไฟฟ้าแต่ละคัน

สุ่มหาค่าสถานะคงเหลือของแบตเตอรี่หลังจากการวิ่งในหนึ่งวัน ที่เป็นไปตามพฤติกรรมการใช้รถยนต์ไฟฟ้า

3.5.4 ตรวจสอบค่าสถานะคงเหลือของแบตเตอรี่

ตรวจสอบค่าสถานะคงเหลือของแบตเตอรี่ หากต่ำกว่าร้อยละ 50 ให้เข้าสถานีชาร์จ ส่วนระยะเวลาในการชาร์จนั้นขึ้นอยู่กับสถานะของแบตเตอรี่คงเหลือ

3.5.5 หาเวลาการเข้าชาร์จของรถยนต์แต่ละคันในรอบเวลาหนึ่งวัน

เมื่อได้รถยนต์ไฟฟ้าที่จะเข้าชาร์จในแต่ละสถานีสถานีบริการแล้ว หาเวลาการเข้าชาร์จของรถยนต์แต่ละคันในรอบเวลาหนึ่งวัน โดยในงานวิจัยนี้ได้แบ่งระยะเวลาในหนึ่งวันนั้นออกเป็น 1,440 นาที

3.5.6 จัดรถยนต์ไฟฟ้าเข้าห้วชาร์จตามเวลา

จัดรถยนต์ไฟฟ้าเข้าห้วชาร์จและระยะเวลาการชาร์จตามสถานะของแบตเตอรี่คงเหลือ ในทุกๆนาที เพื่อให้ได้โพรไฟล์การชาร์จรถยนต์ในแต่ละนาที

3.5.7 จัดเก็บโพรไฟล์การชาร์จรถยนต์ในหนึ่งวัน

จัดเก็บโพรไฟล์การชาร์จในรอบ 1,440 นาที หรือรอบเวลาหนึ่งวัน เพื่อนำไปเป็นโหลดการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าในโปรแกรม DIgSILENT PowerFactory

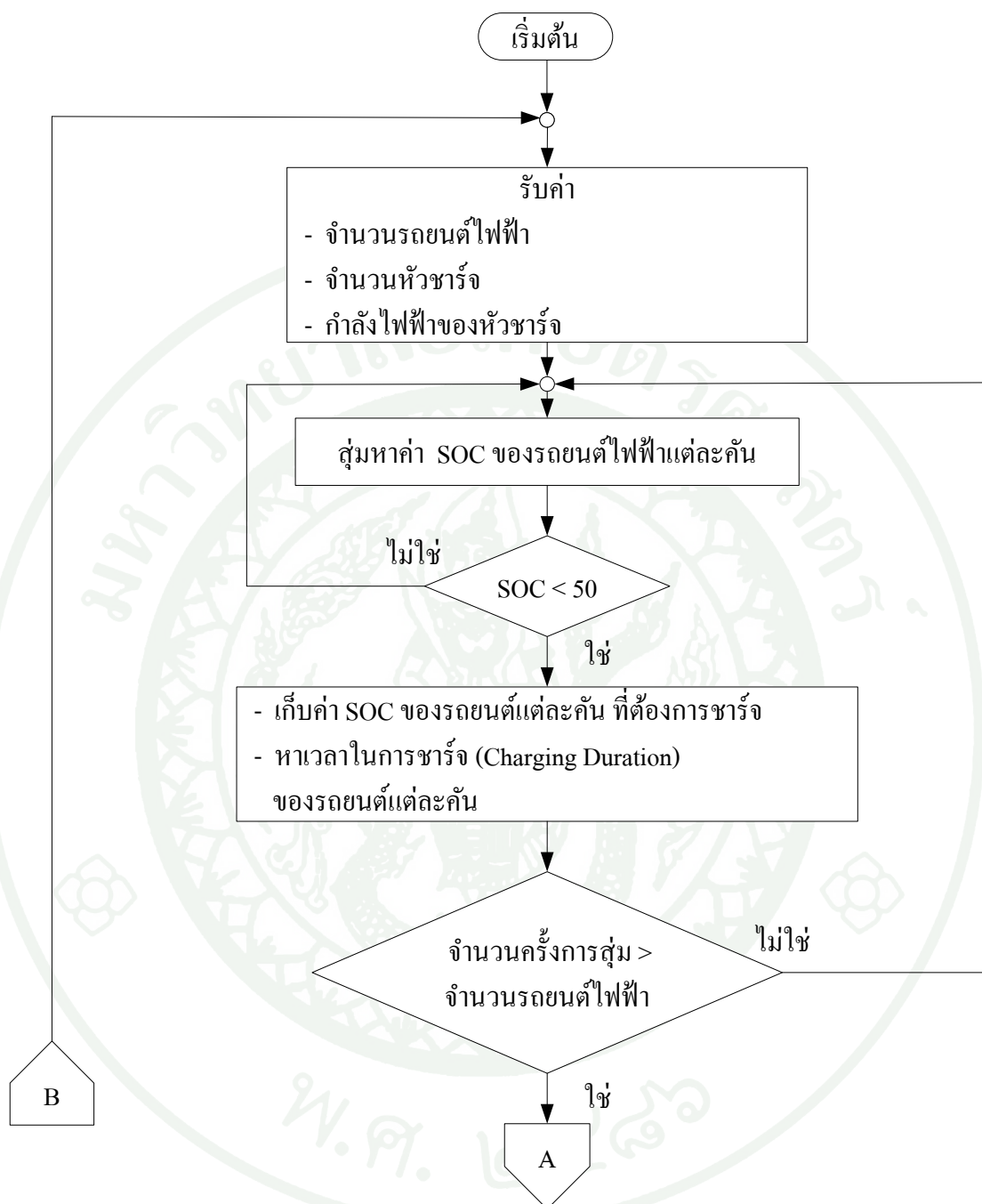
3.5.8 ทำซ้ำตั้งแต่ 3.5.1 ถึง 3.5.7 จำนวน 100,000 รอบ

จัดเก็บโพรไฟล์การชาร์จใน 100,000 รอบ รอบละ 1,440 นาที เพื่อนำไปวิเคราะห์ค่าสูงสุดที่เกิดขึ้นได้ เพื่อนำเป็นโหลดการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าในโปรแกรม DIgSILENT PowerFactory วิเคราะห์แรงดัน กรณีที่เลวร้ายที่สุด

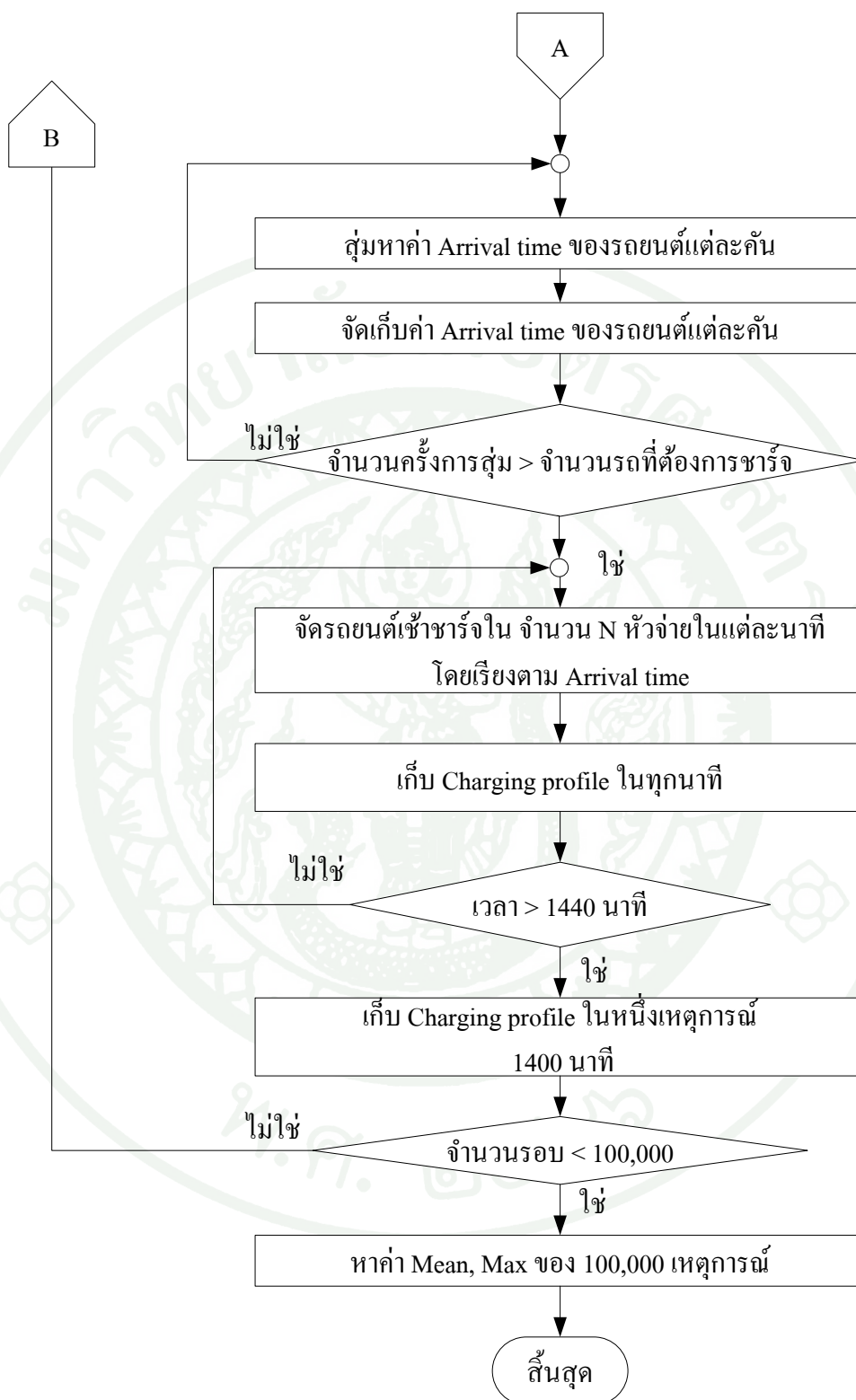
โดยรายละเอียดแสดงไว้ในภาพที่ 17 และ ภาพที่ 18 ซึ่งเป็นการใช้เทคนิคมอนิเตอร์โล เพื่อหาโพรไฟล์กำลังไฟฟ้าของสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าแบบรวดเร็ว

3.6 การจำลองการรันโหลดโพล์ในโปรแกรม DIgSILENT PowerFactory

หลังจากที่ได้โพรไฟล์การชาร์จมาเรียบร้อยแล้ว จึงนำโหลดทั้ง 5 วงจรของสถานีไฟฟ้าบางละมุง วงจรที่ 6-10 และ โหลดสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าแบบรวดเร็ว จำลองการรันโหลดโพล์ เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบด้านแรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่าย 22 กิโลโวลต์ต่อไป



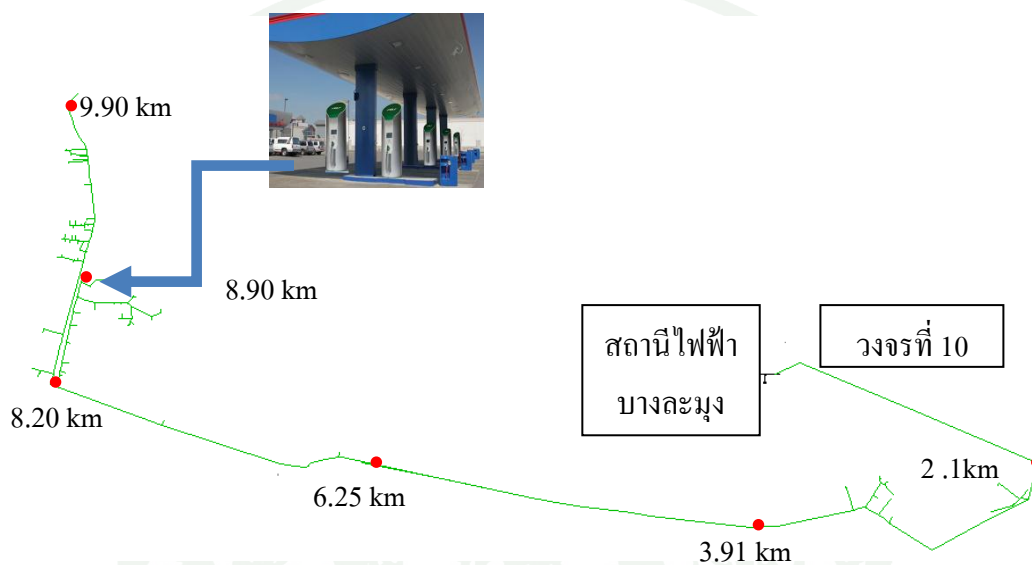
ภาพที่ 17 แผนผังขั้นตอนการสร้างโพรไฟล์กำลังการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าในสถานีชาร์จ



ภาพที่ 18 แผนผังขั้นตอนการสร้างโปรไฟล์กำลังการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าในสถานีชาร์จ (ต่อ)

4. การติดตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าแบบรวดเร็ว และตำแหน่งติดตั้ง

จำลองการติดตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า ณ บริเวณปลายสาย ห่างจากสถานีไฟฟ้า 8.9 km ตามภาพที่ 19 และจำลองการคำนวณเพาเวอร์โพล์ทุก ด้วยโปรแกรม DIgSILENT PowerFactory เพื่อวิเคราะห์หาแรงดันไฟฟ้า ณ เวลาต่างๆในรอบหนึ่งวัน



ภาพที่ 19 ตำแหน่งติดตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าและตำแหน่งวัดแรงดันไฟฟ้า

การจำลองหนึ่งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าประกอบด้วย 8 หัวชาร์จ โดยแต่ละหัวชาร์จมีกำลังไฟฟ้า มีกำลังไฟฟ้าด้านขาเข้า 110.85 kW โดยใช้โพรไฟล์กำลังไฟฟ้าการชาร์จของสถานีชาร์จที่ได้จากการจำลองด้วยเทคนิคมอนติคาร์โล เพื่อหาผลกระทบของสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าต่อแรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่ายของ กฟภ. ผลกระทบการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่าย 22 กิโลโวลต์ ของเมืองพัทยา จังหวัดชลบุรี เนื่องจากเป็นเมืองท่องเที่ยว และมีการใช้ไฟฟ้าอย่างหนาแน่น อีกทั้งเป็นเมืองที่มีความเจริญและคาดว่าจะมีการใช้ไฟฟ้ามากกว่าในปัจจุบันหลายเท่าตัว เมืองพัทยา จึงเป็นเมืองที่น่าสนใจ สำหรับศึกษาผลกระทบดังกล่าว

5. กรณีศึกษา

การจำลองแบ่งกรณีศึกษาออกเป็น 7 กรณี คือ

5.1 จำลองกรณีที่ไม่มีการติดตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า

การจำลองกรณีนี้จะเป็นการจำลองรันโหลดโพล์ของสถานีไฟฟ้าบางละมุง วงจรที่ 10 เพื่อวิเคราะห์แรงดันไฟฟ้าในเวลาต่างๆ ขณะที่ยังไม่ได้ติดตั้งสถานีชาร์จ เพื่อนำแรงดันกรณีนี้ไปเปรียบเทียบกับแรงดันไฟฟ้ากรณีที่ติดตั้งสถานีชาร์จ

5.2 จำลองการติดตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า กรณีมีรถในพื้นที่ 500 คัน

การจำลองกรณีนี้จะเป็นการจำลองรันโหลดโพล์ของสถานีไฟฟ้าบางละมุง วงจรที่ 10 กรณีที่ติดตั้งสถานีชาร์จ 8 หัวชาร์จ และมีรถยนต์ในพื้นที่ร้อยละ 10 ของรถยนต์ทั้งหมดที่พิจารณา หรือ 500 คัน เพื่อวิเคราะห์แรงดันไฟฟ้าในเวลาต่างๆ

5.3 จำลองการติดตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า กรณีมีรถในพื้นที่ 1,250 คัน

การจำลองกรณีนี้จะเป็นการจำลองรันโหลดโพล์ของสถานีไฟฟ้าบางละมุง วงจรที่ 10 กรณีที่ติดตั้งสถานีชาร์จ 8 หัวชาร์จ และมีรถยนต์ในพื้นที่ร้อยละ 25 ของรถยนต์ทั้งหมดที่พิจารณา หรือ 1,250 คัน เพื่อวิเคราะห์แรงดันไฟฟ้าในเวลาต่างๆ

5.4 จำลองการติดตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า กรณีมีรถในพื้นที่ 2,500 คัน

การจำลองกรณีนี้จะเป็นการจำลองรันโหลดโพล์ของสถานีไฟฟ้าบางละมุง วงจรที่ 10 กรณีที่ติดตั้งสถานีชาร์จ 8 หัวชาร์จ และมีรถยนต์ในพื้นที่ร้อยละ 50 ของรถยนต์ทั้งหมดที่พิจารณา หรือ 2,500 คัน เพื่อวิเคราะห์แรงดันไฟฟ้าในเวลาต่างๆ

5.5 จำลองการติดตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า กรณีมีรถในพื้นที่ 3,750 คัน

การจำลองกรณีนี้จะเป็นการจำลองรันโหลดโพล์ของสถานีไฟฟ้าบางละมุง วงจรที่ 10 กรณีที่ติดตั้งสถานีชาร์จ 8 หัวชาร์จ และมีรถยนต์ในพื้นที่ร้อยละ 75 ของรถยนต์ทั้งหมดที่พิจารณา หรือ 3,750 คัน เพื่อวิเคราะห์แรงดันไฟฟ้าในเวลาต่างๆ

5.6 จำลองการติดตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า กรณีมีรถในพื้นที่ 5,000 คัน

การจำลองกรณีนี้จะเป็นการจำลองรันโหลดโพล์ของสถานีไฟฟ้าบางละมุง วงจรที่ 10 กรณีที่ติดตั้งสถานีชาร์จ 8 หัวชาร์จ และมีรถยนต์ในพื้นที่ร้อยละ 100 ของรถยนต์ทั้งหมดที่พิจารณา หรือ 5,000 คัน เพื่อวิเคราะห์แรงดันไฟฟ้าในเวลาต่างๆ

5.7 จำลองหาจำนวนสถานีชาร์จมากที่สุดที่ไม่ทำให้แรงดันไฟฟ้าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน

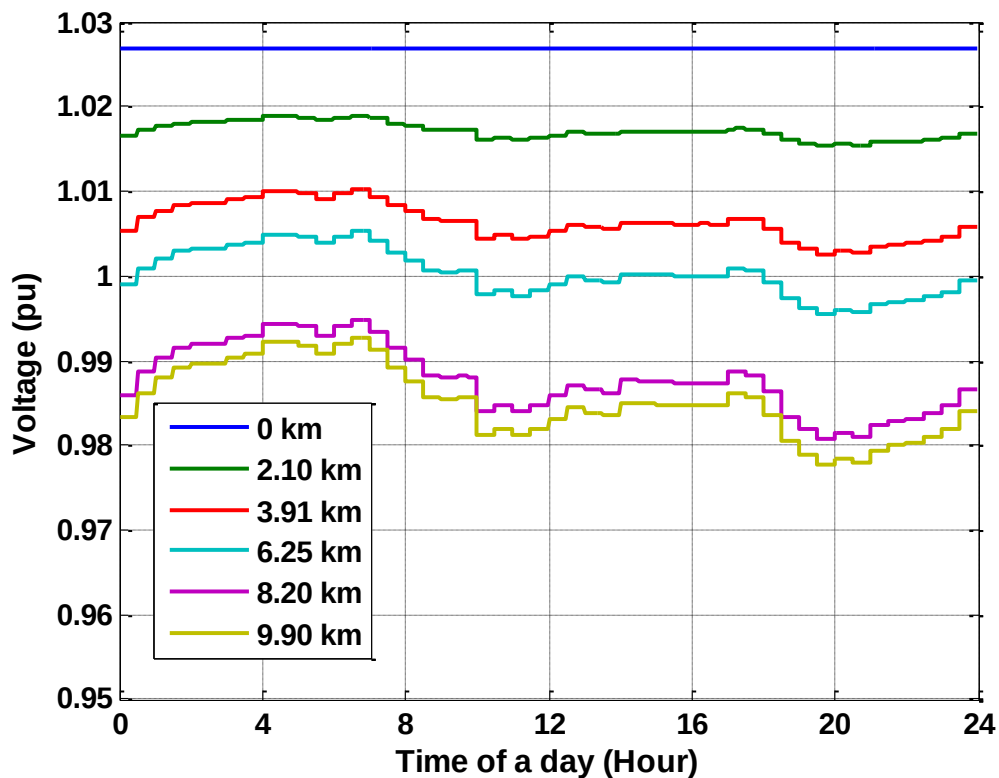
การจำลองกรณีนี้จะเป็นการจำลองรันโหลดโพล์ของสถานีไฟฟ้าบางละมุง วงจรที่ 10 เพื่อหาจำนวนสถานีชาร์จที่สามารถติดตั้งได้มากที่สุดที่ไม่ทำให้แรงดันไฟฟ้าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานการจ่ายไฟ

ผลและวิจารณ์

ผล

1. ผลการจำลองกรณีที่ยังไม่ได้ติดตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า

จากการจำลองหาค่าแรงดันกรณีที่ยังไม่ได้ติดตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า จะเห็นได้ว่าแรงดันที่สถานีไฟฟ้า และระยะทางต่าง ๆ นั้น มีค่าแรงดันไฟฟ้าอยู่ในเกณฑ์การจ่ายไฟ กล่าวคือ มีแรงดันไฟฟ้าตกไม่ต่ำกว่า 0.95 เปอรืยูนิต โดยจะมีแรงดันตกต่ำที่สุดช่วงเวลา 19.30 น. สรุปได้ตามตารางที่ 8 และภาพที่ 20 โดยที่สถานีไฟฟ้ามีแรงดันไฟฟ้า 1.027 เปอรืยูนิต ซึ่งเป็นแรงดัน 22.6 กิโลโวลต์ สอดคล้องกับข้อมูลที่มีการวัดจริงที่สถานีไฟฟ้า ส่วนระยะห่างที่ไกลออกมานั้นจะมีแรงดันไฟฟ้าตกตามระยะทางที่ไกล โดยที่ปลายสายยังคงมีแรงดันไฟฟ้าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานการจำหน่าย ในภาพที่ 20 จะเห็นได้ว่า แรงดันไฟฟ้าทุกระยะทางจะตกที่เวลา 19.30 น. ถึง 20.00 น. ซึ่งช่วงดังกล่าวเป็นช่วงที่มีการใช้โหลดสูงสุด



ภาพที่ 20 แรงดันไฟฟ้าที่ตำแหน่งต่างๆ

ตารางที่ 8 แรงดันตกที่ต่ำที่สุดของระยะทางต่างๆ ในหนึ่งวัน

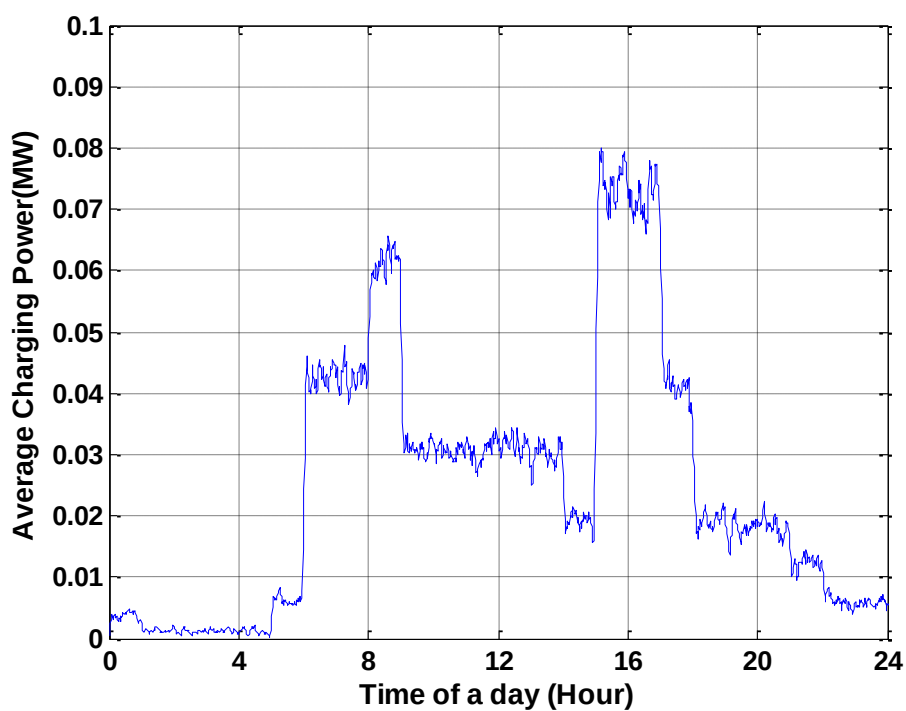
ระยะทาง (km)	แรงดัน (เปอร์เซ็นต์)
0 (สถานีไฟฟ้า)	1.027
2.1	1.015
3.91	1.002
6.25	0.995
8.20	0.981
9.9	0.978

2. จำลองการติดตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า กรณีมีรถในพื้นที่ 500 คัน

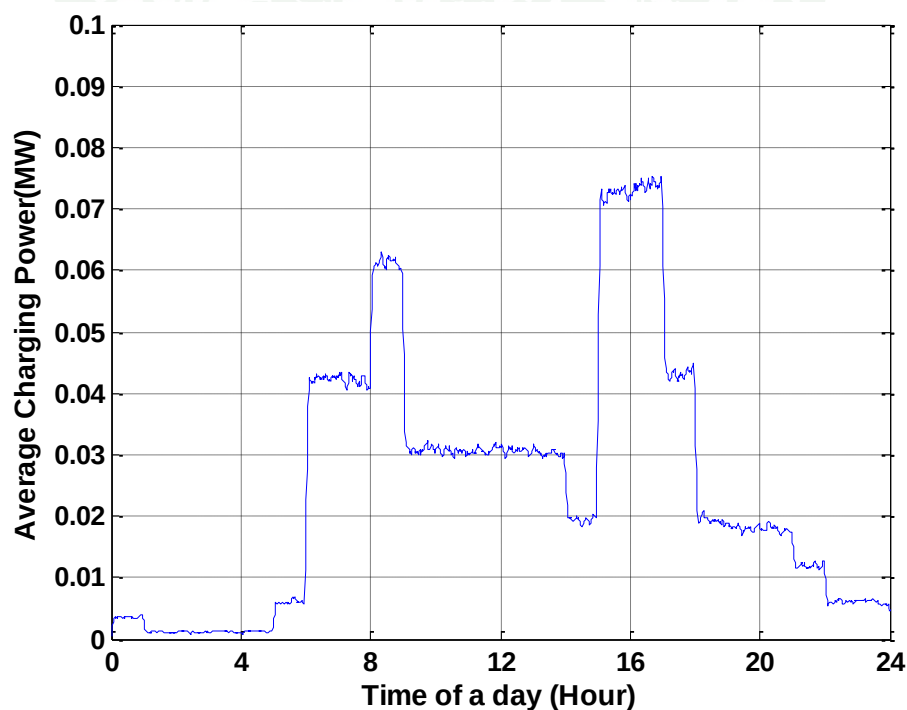
การจำลองติดตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่ตำแหน่ง 8.90 km ห่างจากสถานีไฟฟ้า จำนวน 8 หัวชาร์จ แต่ละหัวชาร์จมีกำลังไฟฟ้าด้านขาเข้า 110.85 kW และมีกำลังไฟฟ้าด้านขาออก 100 kW โดยจำนวนรถในพื้นที่แต่ละรอบการคำนวณให้มีค่า 500 คัน

2.1 จำนวนรอบที่เหมาะสมในการสร้างโพรไฟล์การชาร์จของสถานีชาร์จรถยนต์

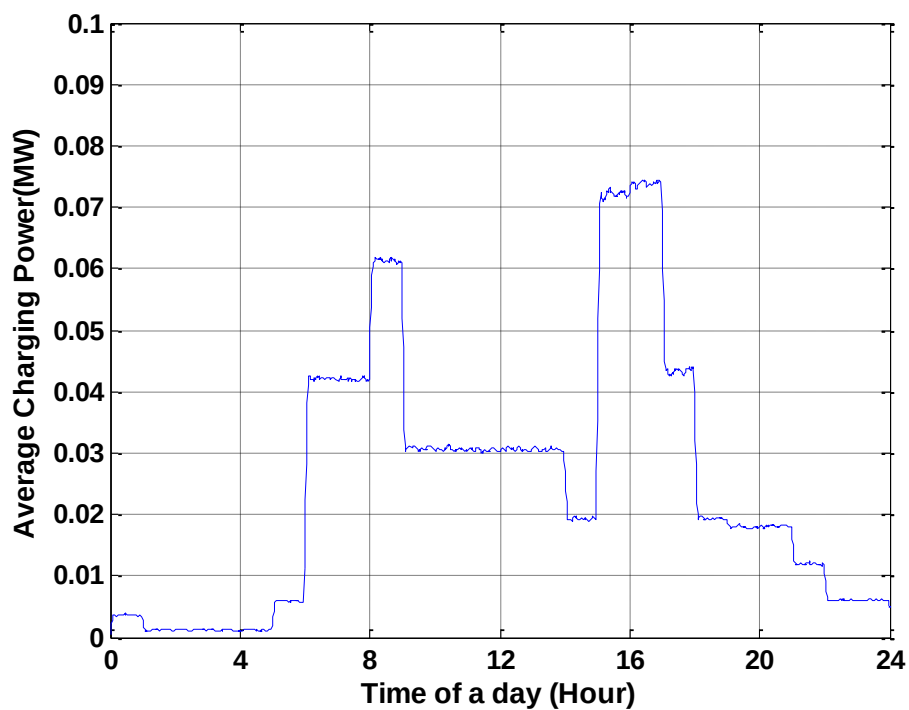
การหาจำนวนรอบที่เหมาะสมของการจำลองการสร้างโพรไฟล์การชาร์จของสถานีชาร์จรถยนต์ด้วยเทคนิคมอนติคาร์โล นั้น ได้ทดลองสร้างโพรไฟล์จาก 1,000 รอบ 10,000 รอบ 50,000 รอบ 100,000 รอบ และ 200,000 รอบ เพื่อหาค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้าในแต่ละนาทียเพื่อให้มีค่าสอดคล้องกับจำนวนรถยนต์ที่เข้าสถานีชาร์จตามค่า Arrival time ผลการหาค่าเฉลี่ยเป็นไปตามจะเห็นได้ว่า หากมีการจำลองด้วยเทคนิคมอนติคาร์โล 1,000 รอบ ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยยังไม่คงที่ตาม ภาพที่ 21 เมื่อจำลองการหาค่าโพรไฟล์การชาร์จของสถานีชาร์จด้วยเทคนิคมอนติคาร์โล 10,000 รอบตามภาพที่ 22 ซึ่งค่าเฉลี่ยของโพรไฟล์การชาร์จยังไม่คงที่เช่นเดิม เมื่อจำลองการหาค่าโพรไฟล์การชาร์จของสถานีชาร์จด้วยเทคนิคมอนติคาร์โล 50,000 รอบ ตามภาพที่ 23 ได้ค่าเฉลี่ยของโพรไฟล์การชาร์จยังไม่คงที่เช่นเดิม เมื่อจำลองการหาค่าโพรไฟล์การชาร์จของสถานีชาร์จด้วยเทคนิคมอนติคาร์โล 100,000 รอบ และ 200,000 รอบ พบว่าค่าเฉลี่ยของโพรไฟล์มีค่าไม่แตกต่างกันตามภาพที่ 24 และภาพที่ 25 จึงเลือกใช้รอบการคำนวณที่ 100,000 รอบ



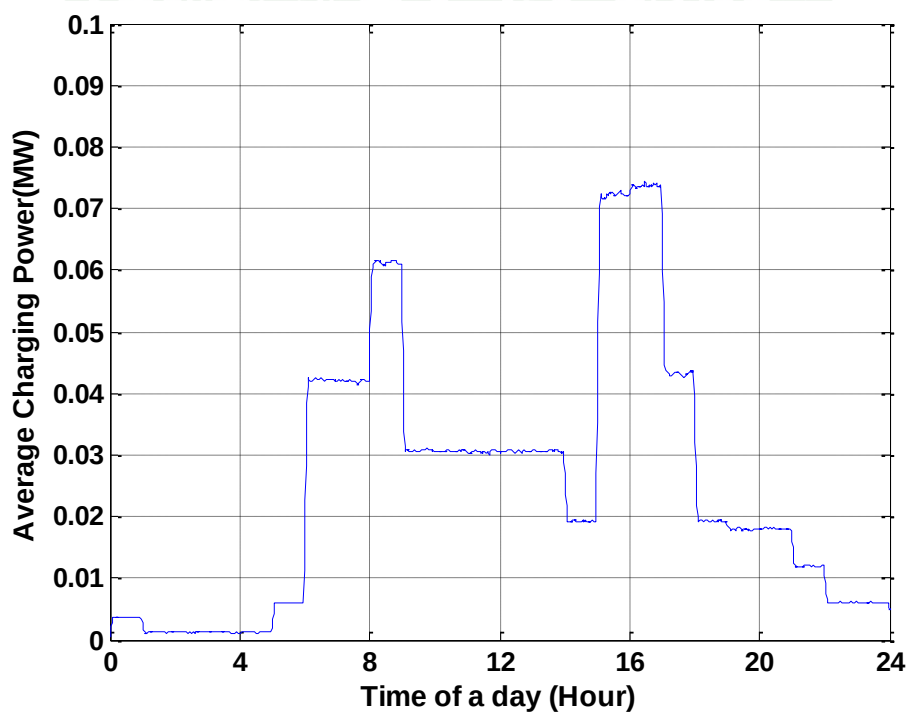
ภาพที่ 21 กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของสถานีชาร์จ เมื่อจำลองเทคนิคมอนติคาร์โล 1,000 รอบ



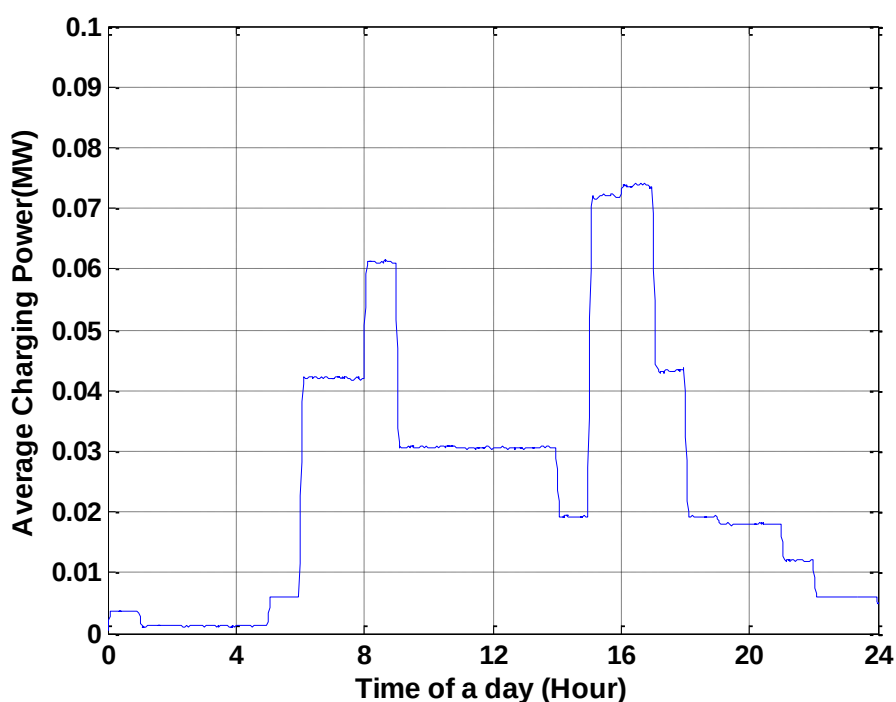
ภาพที่ 22 กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของสถานีชาร์จ เมื่อจำลองเทคนิคมอนติคาร์โล 10,000 รอบ



ภาพที่ 23 กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของสถานีชาร์จ เมื่อจำลองเทคนิคมอนติคาร์โล 50,000 รอบ



ภาพที่ 24 กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของสถานีชาร์จ เมื่อจำลองเทคนิคมอนติคาร์โล 100,000 รอบ



ภาพที่ 25 กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของสถานีชาร์จ เมื่อจำลองเทคนิคมอนติคาร์โล 200,000 รอบ

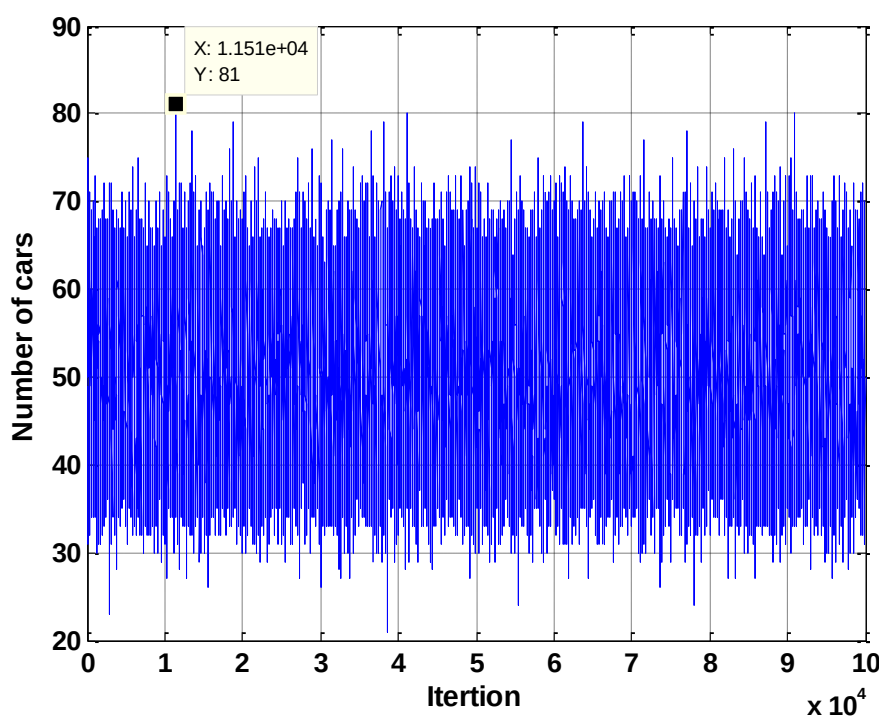
2.1 ผลการจำลองจำนวนรถที่เข้าสถานีชาร์จแต่ละรอบ

จากภาพที่ 26 จำลองรถเข้าสถานีชาร์จจำนวน 100,000 รอบ จะเห็นได้ว่ารอบที่ 11,507 มีรถยนต์ไฟฟ้าเข้าสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าไฟฟ้ามากที่สุด คือ จำนวน 81 คัน และจากการจำลองทั้ง 100,000 รอบ มีค่าเฉลี่ยจำนวนรถยนต์ที่เข้าสถานีชาร์จ จำนวน 50.00 คัน ดังนั้นจะทราบว่า เมื่อมีจำนวนรถยนต์ไฟฟ้า 500 คันในพื้นที่ จะมีค่าเฉลี่ยของรถยนต์ไฟฟ้าที่มีค่าสถานะคงเหลือของแบตเตอรี่น้อยกว่าร้อยละ 50 คิดเป็น ร้อยละ 10 ของรถยนต์ทั้งหมด

2.2 ผลการจำลองการสร้างโปรไฟล์กำลังการชาร์จของสถานีชาร์จในรอบ

จากภาพที่ 26 สนใจรอบที่จำนวนรถยนต์มากที่สุด คือรอบที่ 11,507 ซึ่งมีโปรไฟล์การชาร์จเป็นไปตามภาพที่ 27 จะเห็นว่ามีการชาร์จมากที่สุดสองเวลา คือ เวลา 10.10 น. (10.17 ชั่วโมง) และเวลา 15.44 น. (15.73 ชั่วโมง) โดยชาร์จด้วยหัวชาร์จจำนวน 4 เครื่อง รวม 443.4 kW ซึ่งจะเห็นได้ว่า การชาร์จจำนวนดังกล่าว ไม่ได้ใช้หัวชาร์จครบทั้งจำนวน 8 หัวชาร์จ เมื่อนำโปรไฟล์ตาม

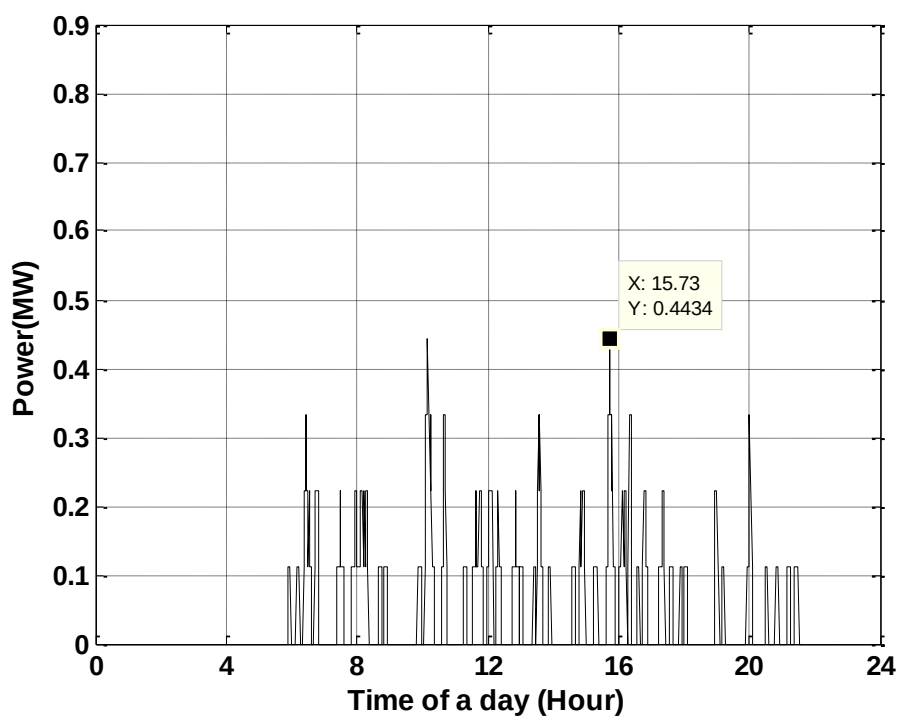
ภาพที่ 27 เป็นโหลดของสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าแบบรวดเร็ว เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบกับแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆ



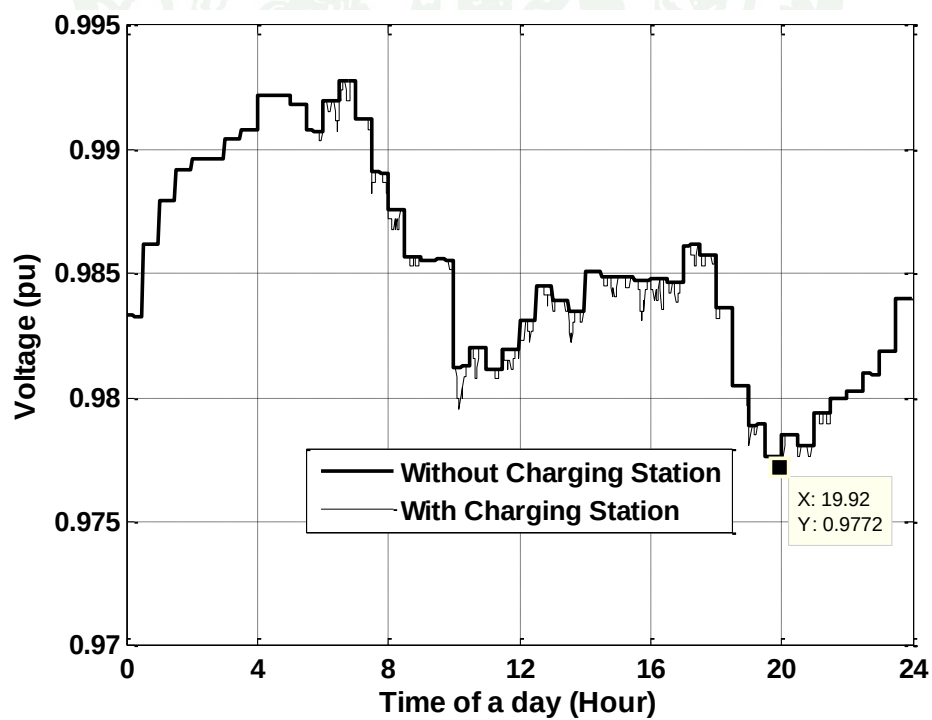
ภาพที่ 26 จำนวนรถยนต์ที่เข้าสถานีชาร์จในแต่ละรอบ เมื่อมีจำนวนรถในพื้นที่ 500 คัน

2.3 ผลการรันโหลดโพล์ของโปรไฟล์กำลังไฟฟ้าของสถานีชาร์จในหนึ่งรอบ

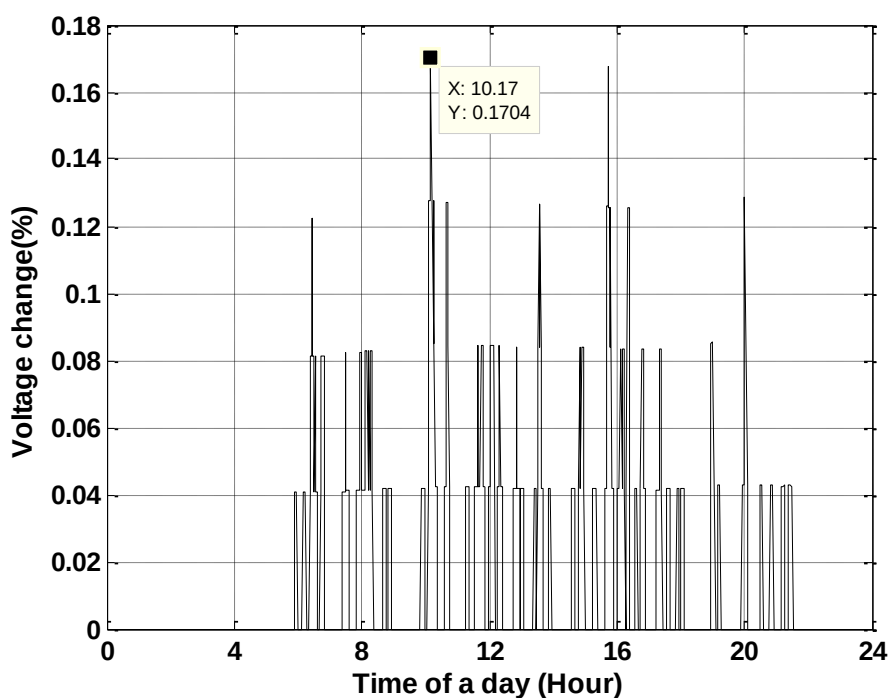
เมื่อได้โปรไฟล์กำลังไฟฟ้าของสถานีชาร์จมาแล้ว มีโปรไฟล์การชาร์จเป็นไปตามภาพที่ 27 จะเห็นว่าการชาร์จมากที่สุดสองเวลาคือ เวลา 10.10 น. (10.17 ชั่วโมง) และเวลา 15.44 น. (15.73 ชั่วโมง) โดยชาร์จด้วยหัวชาร์จจำนวน 4 เครื่อง รวม 443.4 kW ซึ่งจะเห็นได้ว่า แรงดันไฟฟ้าที่ปลายสายได้สามารถแสดงได้ตามภาพที่ 28 โดยค่าต่ำสุดของแรงดันไฟฟ้ายังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ส่วนภาพที่ 29 แสดงการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าที่ปลายสายเมื่อเทียบกับกรณีที่ยังไม่ติดตั้งสถานีชาร์จ มีค่ามากที่สุดคือร้อยละ 0.17 ณ เวลา เวลา 10.10 น. (10.17 ชั่วโมง) และเวลา 15.44 น. (15.73 ชั่วโมง) ซึ่งเป็นเวลาที่มีโหลดการชาร์จสูงสุด แต่อย่างไรก็ตามจะยังไม่สามารถทราบได้ว่า แรงดันในแต่ละนาทียังมีโอกาสเกิดแรงดันตกมากที่สุดมีค่าเท่าไร จึงจะต้องนำโปรไฟล์การชาร์จในแต่ละนาทียของ 100,000 เหตุการณ์ที่จำลองมาหาค่าโหลดการชาร์จสูงสุด ซึ่งโปรไฟล์ดังกล่าวเป็นผลลัพธ์จากการจำลองด้วยเทคนิคมอนติคาร์โล



ภาพที่ 27 ตัวอย่างโพรไฟล์กำลังไฟฟ้าของสถานีชาร์จ กรณีมีรถในพื้นที่ 500 คัน



ภาพที่ 28 ตัวอย่างแรงดันไฟฟ้าที่ปลายสาย กรณีมีรถในพื้นที่ 500 คัน



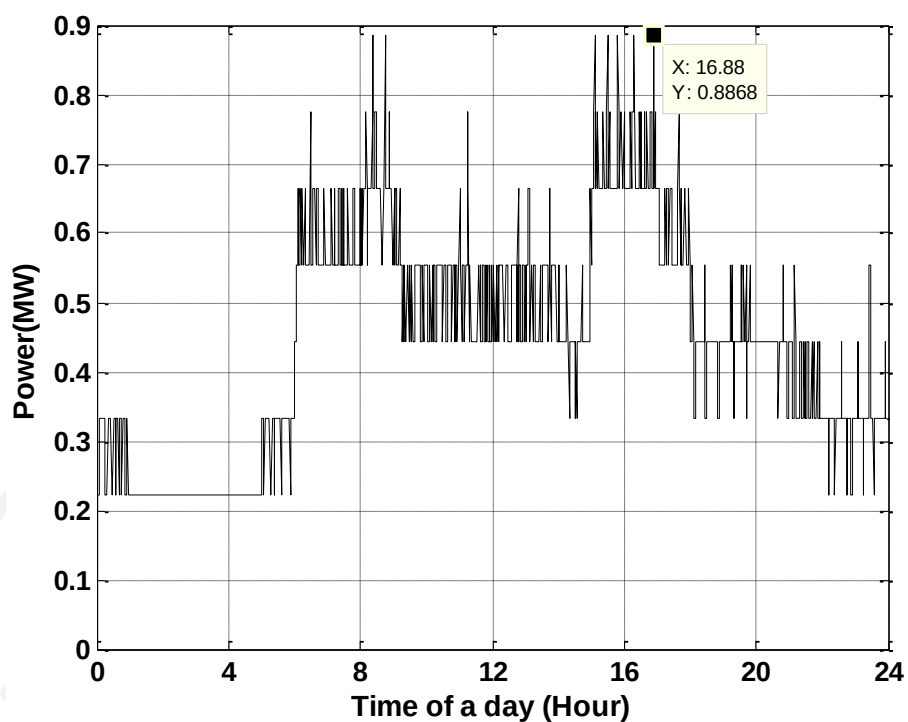
ภาพที่ 29 ตัวอย่างแรงดันที่เปลี่ยนแปลงที่ปลายสาย กรณีสถานีในพื้นที่ 500 คัน

2.4 ผลการหาค่าสูงสุดของกำลังการชาร์จในแต่ละนาทิต

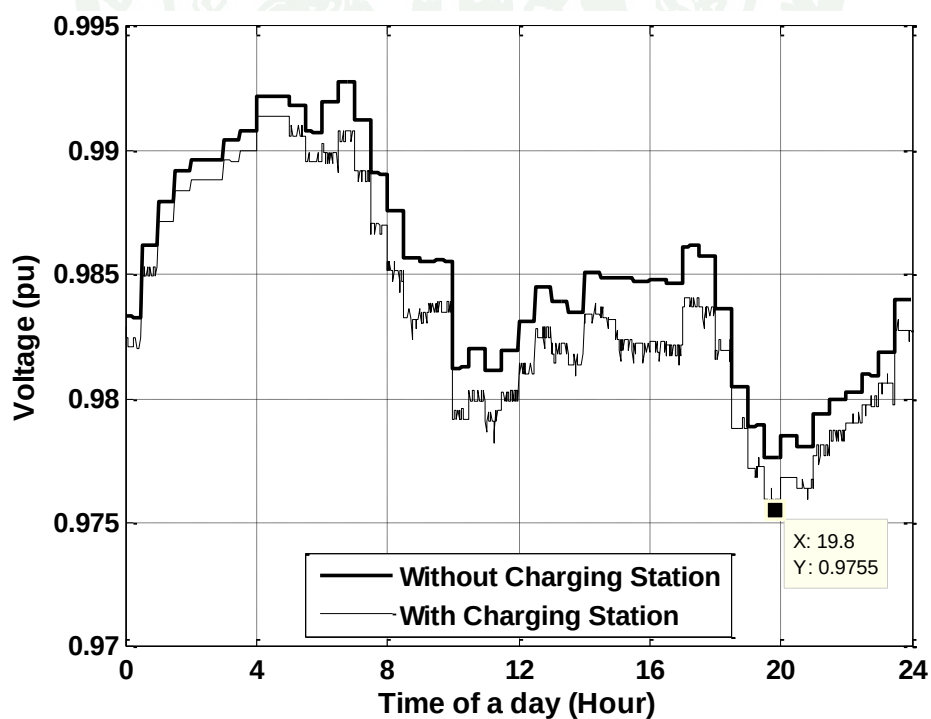
จากการจำลองด้วยเทคนิคมอนติคาร์โล ด้วยจำนวนเหตุการณ์หรือจำนวนรอบ 100,000 เหตุการณ์ จะสามารถหาค่ากำลังการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าในสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่มีกำลังสูงสุดในแต่ละนาทิต ทั้งหมด 1,440 นาทิต ในรอบหนึ่งวันได้ ตามภาพที่ 30 โดยช่วงที่มีรถยนต์ไฟฟ้าเข้าชาร์จหนาแน่นคือช่วงเวลาประมาณ 15.00 น. ถึง 17.00 น.

2.5 ผลกระทบต่อแรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่าย

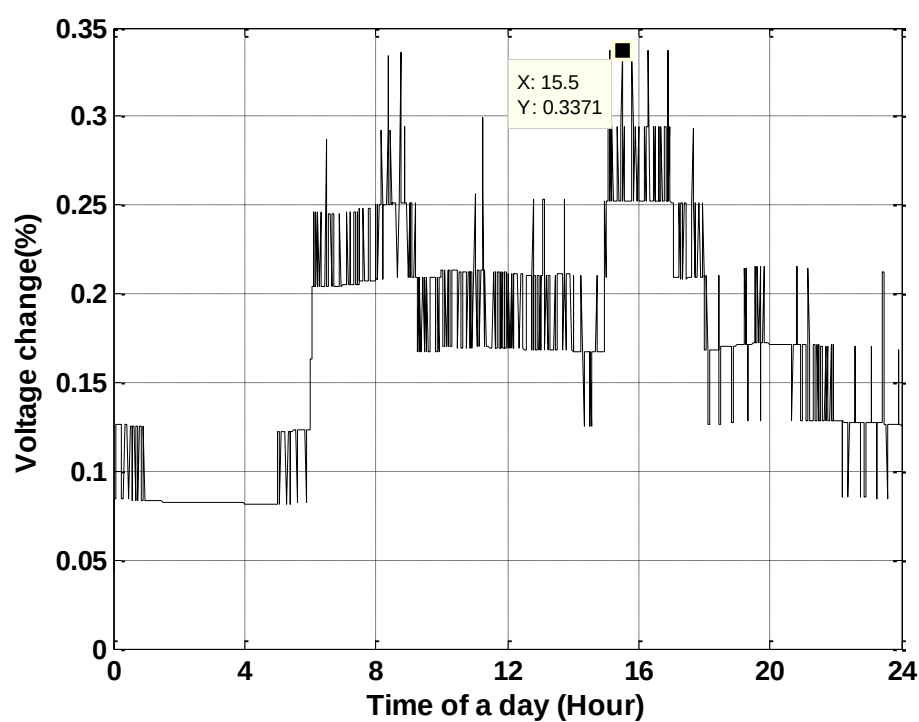
จากภาพที่ 31 จะเห็นได้ว่าช่วงเวลาที่แรงดันตกมากที่สุดเป็นช่วงเวลาที่มีการใช้ไฟฟ้ามากที่สุด คือ ช่วงเวลา 19.48 น.(19.8 ชั่วโมง) ซึ่งเกิดจากการใช้ไฟของผู้ใช้ไฟรวมกับการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าในสถานีชาร์จด้วย จากภาพที่ 32 แสดงถึงแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่ได้ติดตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า จะเห็นได้ว่า ค่าแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปมีค่ามากที่สุดร้อยละ 0.3371 ช่วงของความน่าจะเป็นสรุปได้ตามตารางที่ 9 และภาพที่ 33 จะเห็นได้ว่า ช่วงแรงดันที่เปลี่ยนแปลงระหว่างร้อยละ 0.3000-0.3371 คิดเป็นร้อยละ 0.6250



ภาพที่ 30 กำลังไฟฟ้าสูงสุดแต่ละนาทียของสถานีชาร์จ กรณีจำนวนรถในพื้นที่ 500 คัน



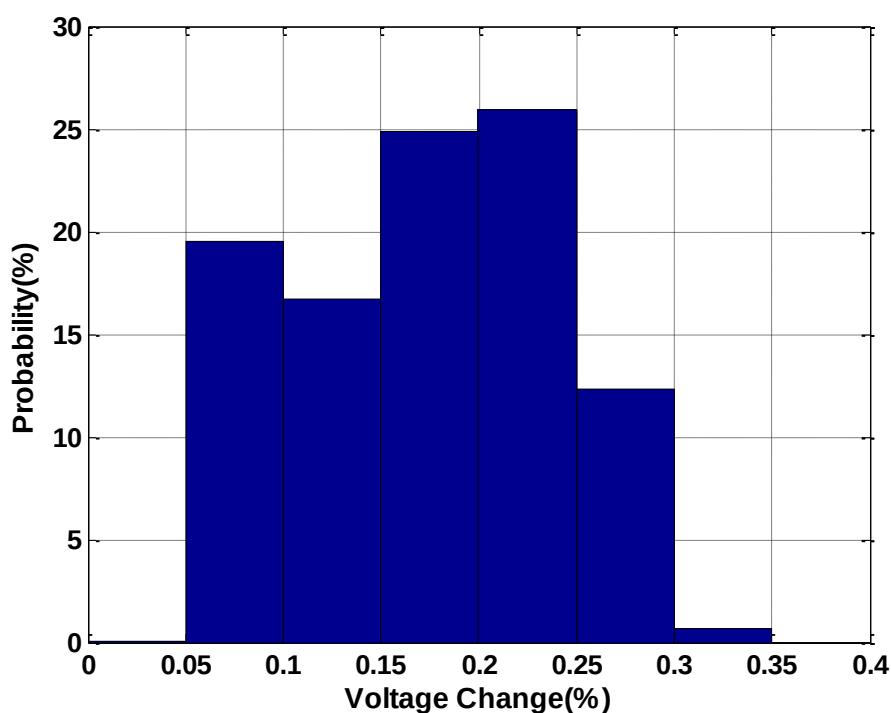
ภาพที่ 31 แรงดันไฟฟ้าที่ปลายสายที่ต่ำสุดที่เกิดขึ้นได้ กรณีมีจำนวนรถในพื้นที่ 500 คัน



ภาพที่ 32 การเปลี่ยนแปลงของแรงดันที่เกิดขึ้นได้มากที่สุดในแต่ละนาทีกกรณีมีรถ 500 คัน

ตารางที่ 9 โอกาสของแรงดันที่เปลี่ยนแปลง กรณีมีรถในพื้นที่ 500 คัน

ช่วงแรงดันที่เปลี่ยนแปลง (ร้อยละ)	โอกาสเกิดขึ้น (ร้อยละ)
0.0000-0.0500	0.0694
0.0501-0.1000	19.5139
0.1001-0.1500	16.7361
0.1501-0.2000	24.8611
0.2001-0.2500	25.9028
0.2501-0.3000	12.2917
0.3000-0.3771	0.6250



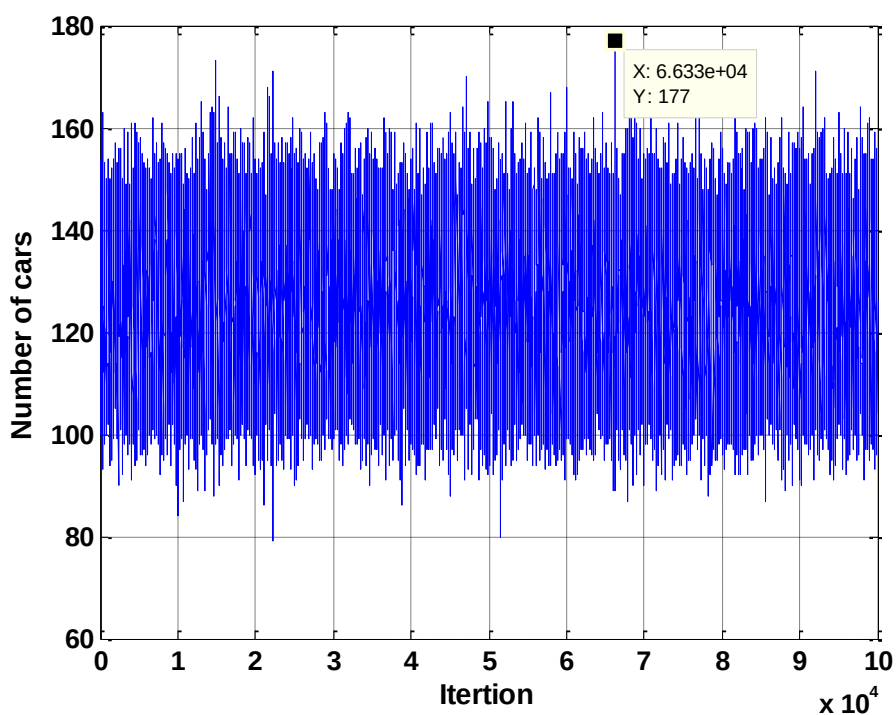
ภาพที่ 33 ความน่าจะเป็นของแรงดันที่เปลี่ยนแปลงที่ปลายสาย จำนวนรถในพื้นที่ 500 คัน

3. จำลองการติดตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า กรณีมีรถในพื้นที่ 1,250 คัน

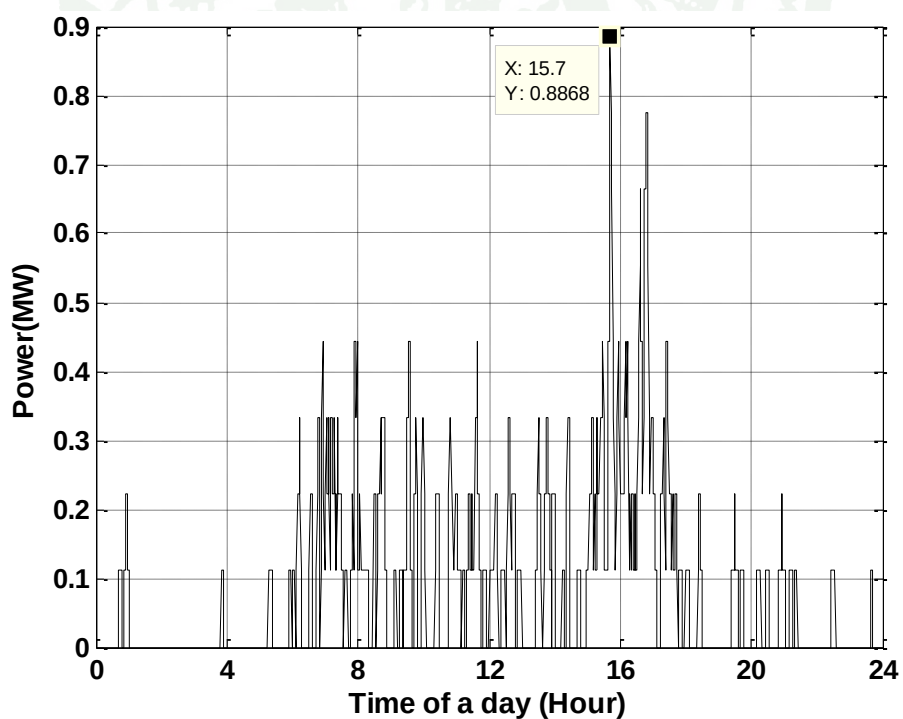
การจำลองติดตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่ตำแหน่ง 8.90 km ห่างจากสถานีไฟฟ้า จำนวน 8 หัวชาร์จ แต่ละหัวชาร์จมีกำลังไฟฟ้าด้านขาเข้า 110.85 kW และมีกำลังไฟฟ้าด้านขาออก 100 kW โดยจำนวนรถในพื้นที่แต่ละรอบการคำนวณให้มีค่า 1,250 คัน

3.1 ผลการจำลองจำนวนรถที่เข้าสถานีชาร์จแต่ละรอบ

จำลองรถเข้าสถานีชาร์จจำนวน 100,000 รอบ จากภาพที่ 34 จะเห็นได้ว่ารอบที่ 66,328 จะสนใจรอบที่จำนวนรถยนต์มากที่สุด มีจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าเข้าชาร์จ 177 คัน และจากการจำลองทั้ง 100,000 รอบ มีค่าเฉลี่ยจำนวนรถยนต์ที่เข้าสถานีชาร์จ จำนวน 124.98 คัน ดังนั้นจะทราบว่าเมื่อมีจำนวนรถยนต์ไฟฟ้า 1,250 คันในพื้นที่ จะมีค่าเฉลี่ยของรถยนต์ไฟฟ้าที่มีค่าสถานะคงเหลือของแบตเตอรี่น้อยกว่าร้อยละ 50 คิดเป็น ร้อยละ 10 ของรถยนต์ทั้งหมด



ภาพที่ 34 จำนวนรถยนต์ที่เข้าสถานีชาร์จในแต่ละรอบ เมื่อมีจำนวนรถในพื้นที่ 1,250 คัน



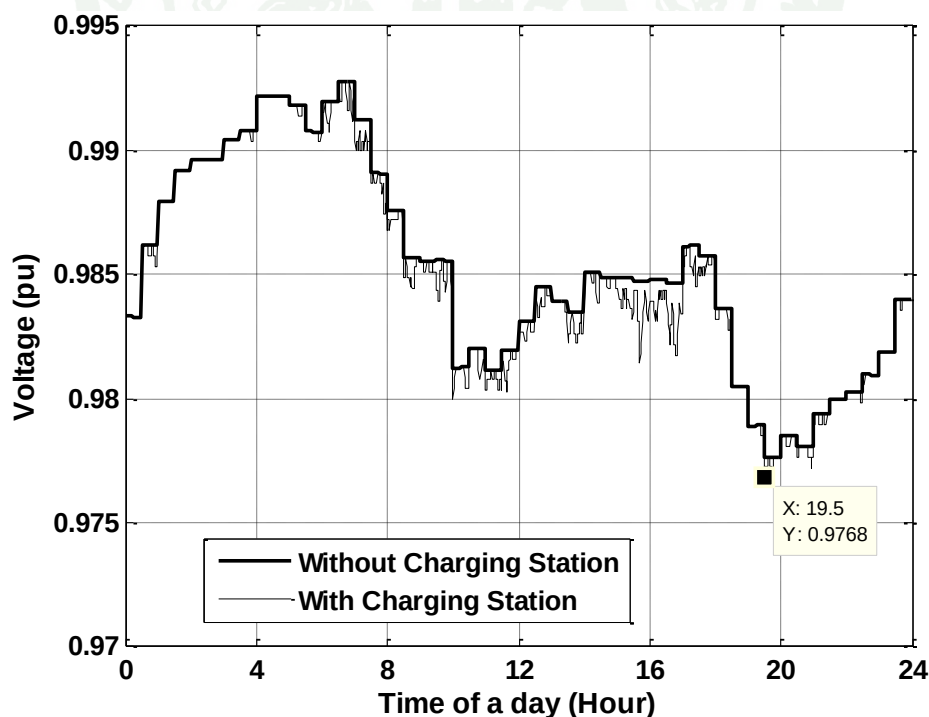
ภาพที่ 35 ตัวอย่างโพรไฟล์กำลังไฟฟ้าของสถานีชาร์จ กรณีมีรถในพื้นที่ 1,250 คัน

3.2 ผลการจำลองการสร้างโพรไฟล์กำลังการชาร์จของสถานีชาร์จในหนึ่งรอบ

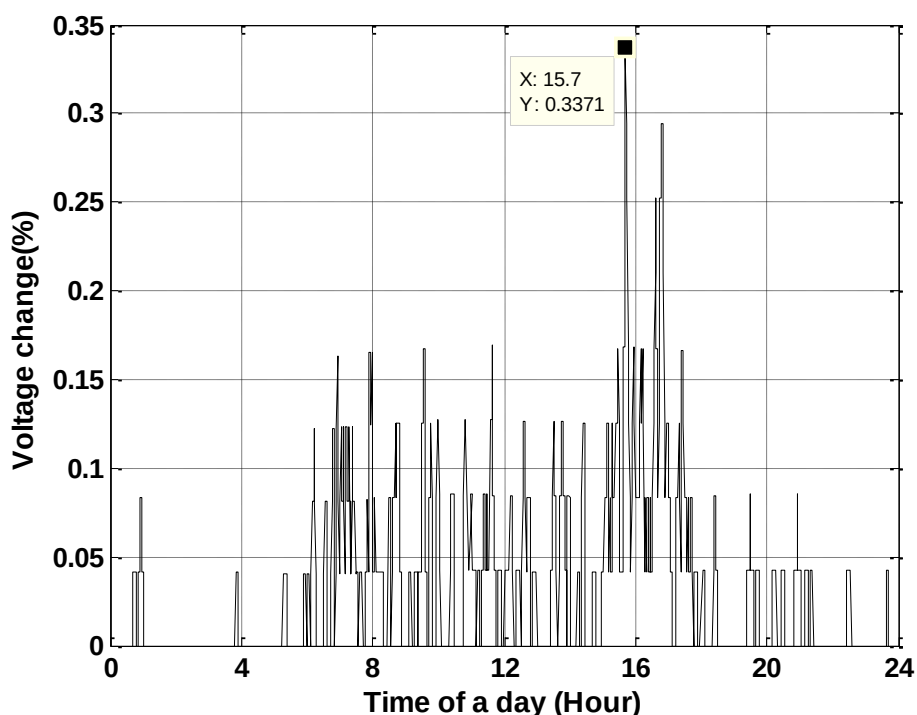
จากภาพที่ 34 สนใจรอบที่จำนวนรอบยนต์มากที่สุด คือรอบที่ 66,328 ซึ่งมีโพรไฟล์การชาร์จเป็นไปตามภาพที่ 35 จะเห็นว่า มีการชาร์จสูงสุดช่วงเวลา 15.42 น. (15.7 ชั่วโมง) ชาร์จด้วยหัวชาร์จจำนวน 8 เครื่อง รวม 886.8 kW และจะสังเกตเห็นได้ว่าช่วงเวลาประมาณ 15.00 น. ถึง 17.00 น. เป็นช่วงเวลาที่มีการชาร์จรถยนต์ในสถานีชาร์จหนาแน่นที่สุด

3.3 ผลการรันโหลดโพล์ของโพรไฟล์กำลังไฟฟ้าของสถานีชาร์จในหนึ่งรอบ

เมื่อได้โพรไฟล์กำลังไฟฟ้าของสถานีชาร์จ ตามภาพที่ 35 ที่มีการชาร์จสูงสุดช่วงเวลา 15.42 น. (15.7 ชั่วโมง) ชาร์จด้วยหัวชาร์จจำนวน 8 เครื่อง รวม 886.8 kW ซึ่งจะเห็นได้ว่าแรงดันไฟฟ้าที่ปลายสายได้สามารถแสดงได้ตามภาพที่ 36 ซึ่งแรงดันตกต่ำสุดในเวลา 19.30 น. (19.5 ชั่วโมง) ส่วนภาพที่ 37 แสดงถึงแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่ได้ติดตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า จะเห็นได้ว่า ค่าแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปมีค่ามากที่สุดร้อยละ 0.3371 ที่เวลา 15.42 น. (15.7 ชั่วโมง)



ภาพที่ 36 ตัวอย่างแรงดันไฟฟ้าที่ปลายสาย กรณีมีรถในพื้นที่ 1,250 คัน



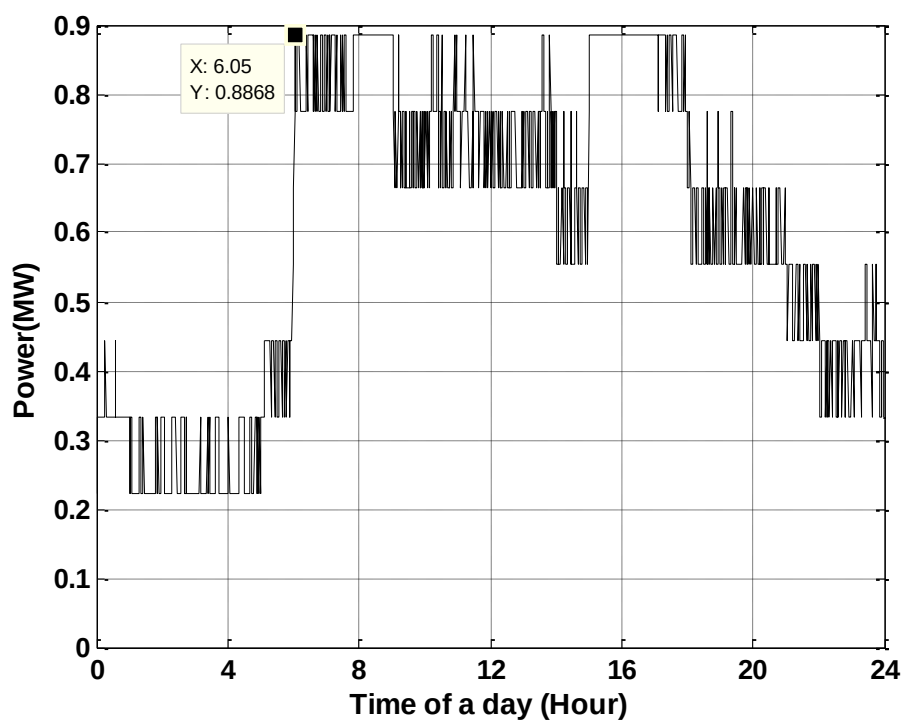
ภาพที่ 37 ตัวอย่างแรงดันที่เปลี่ยนแปลงที่ปลายสาย กรณีสวิตช์ในพื้นที่ 1,250 คัน

3.4 ผลการหาค่าสูงสุดของกำลังการชาร์จในแต่ละนาทีก

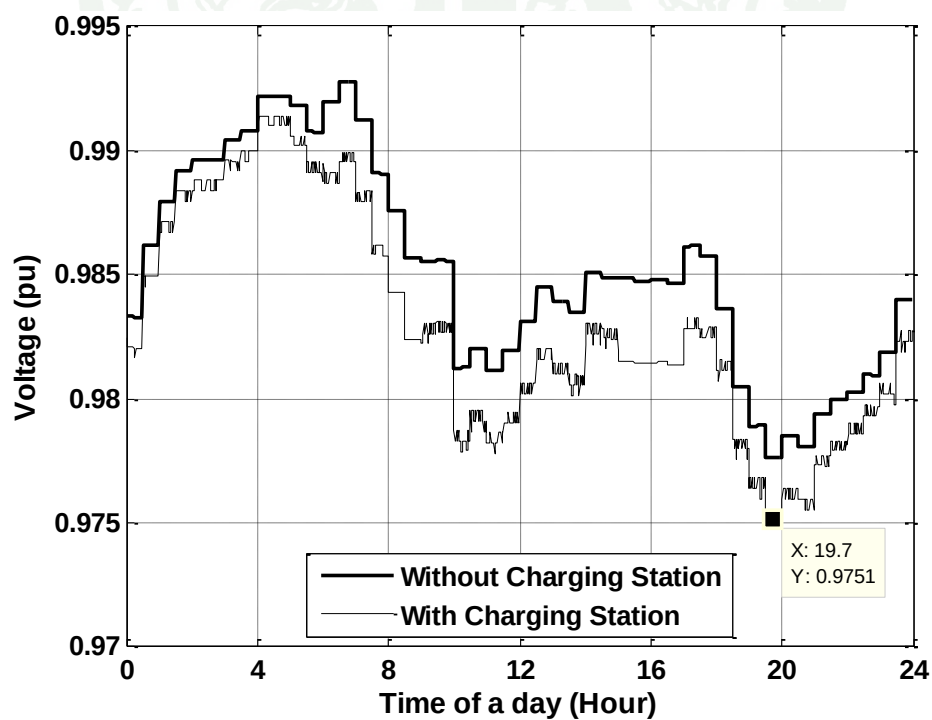
จากการจำลองด้วยเทคนิคมอนติคาร์โล ด้วยจำนวนเหตุการณ์หรือจำนวนรอบ 100,000 เหตุการณ์ จะสามารถหาค่ากำลังการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าในสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่มีกำลังสูงสุดในแต่ละนาทีก ทั้งหมด 1,440 นาทีก ในรอบหนึ่งวันได้ ตามภาพที่ 38 ซึ่งจะมีการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าในสถานีชาร์จด้วยกำลังไฟฟ้าสูงสุด 886.8 kW ช่วงเวลาที่มีการชาร์จหนาแน่นที่สุดคือ ช่วงเวลาประมาณ 6.00 น. ถึง 9.00 น. และ 15.00 น. ถึง 18.30 น.

3.5 ผลกระทบต่อแรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่าย

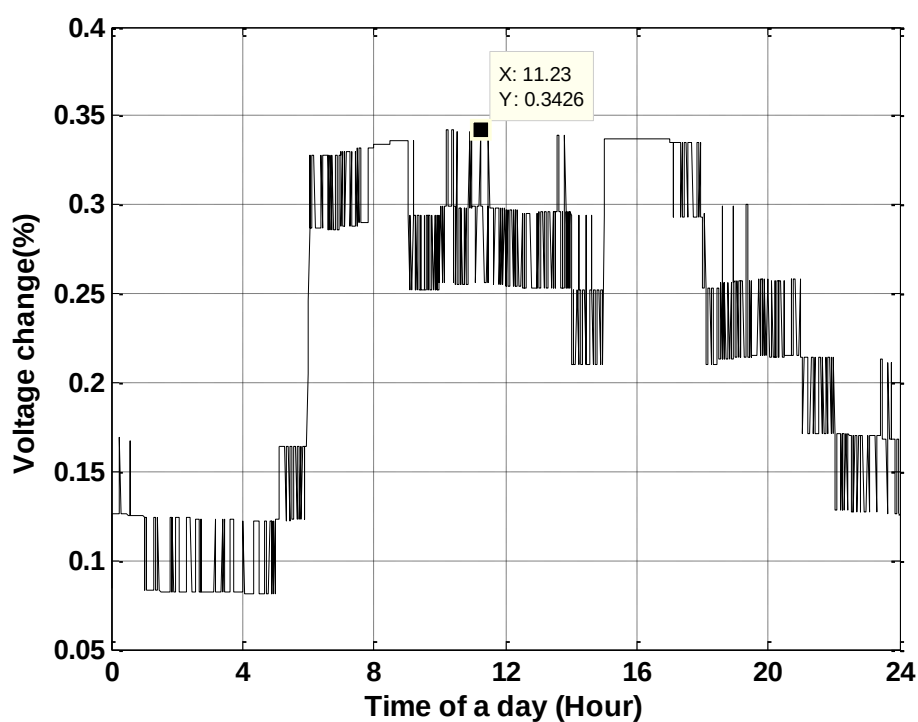
จากภาพที่ 39 จะเห็นได้ว่า มีค่าแรงดันตกต่ำที่สุด 0.9751 เฟอร์ยูนิต ที่เวลา 19.42 น. และภาพที่ 40 ค่าแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปจะมีค่ามากที่สุดร้อยละ 0.3426 โดยช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงแรงดันสูงสุดร้อยละ 0.2501 ถึง 0.3000 มีความน่าจะเป็นที่แรงดันจะเกินสูงสุดดังกล่าว ร้อยละ 32.6389 ส่วนช่วงแรงดันการเปลี่ยนแปลงแรงดันที่ไม่เกิดขึ้นเลยคือ ช่วงร้อยละ 0 ถึง 0.005 รายละเอียดแสดงไว้ในตารางที่ 10 และภาพที่ 41



ภาพที่ 38 กำลังไฟฟ้าสูงสุดแต่ละนาทีกของสถานีชาร์จ กรณีจำนวนรถในพื้นที่ 1,250 คัน



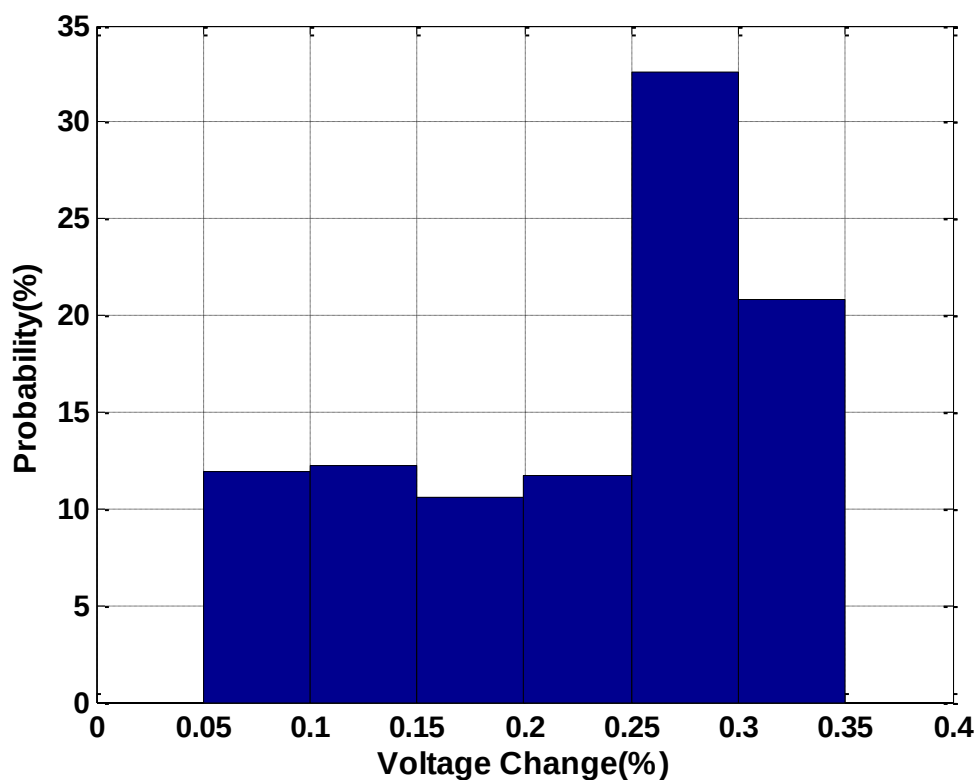
ภาพที่ 39 แรงดันไฟฟ้าที่ปลายสายที่ต่ำสุดที่เกิดขึ้นได้ กรณีมีจำนวนรถในพื้นที่ 1,250 คัน



ภาพที่ 40 การเปลี่ยนแปลงของแรงดันที่เกิดขึ้นได้มากที่สุดในแต่ละนาที่ กรณีมีรถ 1,250 คัน

ตารางที่ 10 โอกาสของแรงดันที่เปลี่ยนแปลง กรณีมีรถในพื้นที่ 1,250 คัน

ช่วงแรงดันที่เปลี่ยนแปลง (ร้อยละ)	โอกาสเกิดขึ้น (ร้อยละ)
0.0000-0.0500	0
0.0501-0.1000	11.9444
0.1001-0.1500	12.2222
0.1501-0.2000	10.6250
0.2001-0.2500	11.7361
0.2501-0.3000	32.6389
0.3000-0.3426	20.8333



ภาพที่ 41 ความน่าจะเป็นของแรงดันที่เปลี่ยนแปลงที่ปลายสาย จำนวนรถในพื้นที่ 1,250 คัน

4. จำลองการติดตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า กรณีมีรถในพื้นที่ 2,500 คัน

การจำลองติดตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่ตำแหน่ง 8.90 km ห่างจากสถานีไฟฟ้า จำนวน 8 หัวชาร์จ แต่ละหัวชาร์จมีกำลังไฟฟ้าด้านขาเข้า 110.85 kW และมีกำลังไฟฟ้าด้านขาออก 100 kW โดยจำนวนรถในพื้นที่แต่ละรอบการคำนวณให้มีค่า 2,500 คัน

4.1 ผลการจำลองจำนวนรถที่เข้าสถานีชาร์จแต่ละรอบ

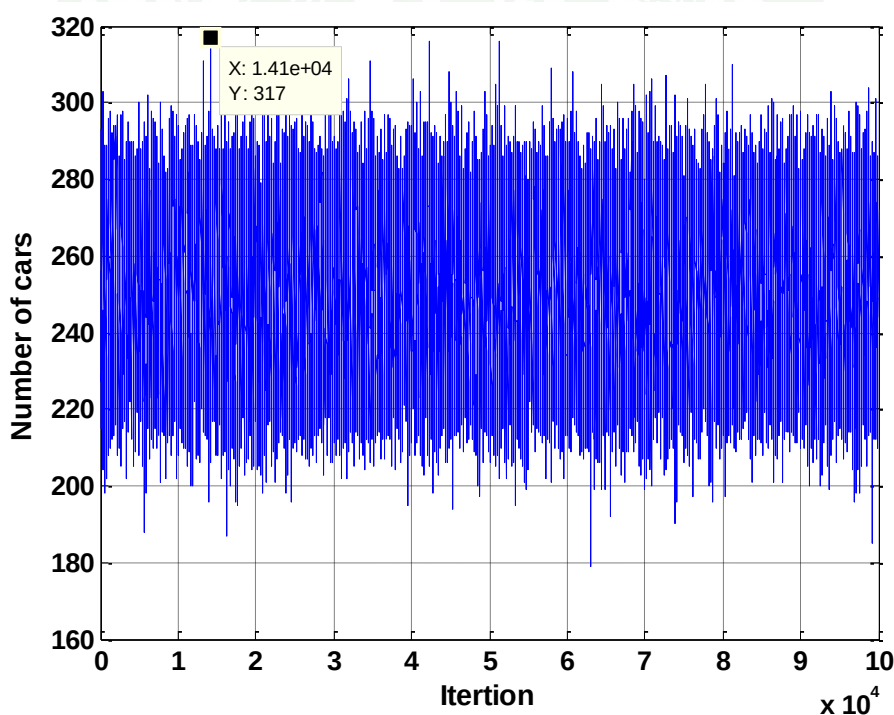
จากภาพที่ 42 จำลองรถเข้าสถานีชาร์จจำนวน 100,000 รอบ จะเห็นได้ว่ารอบที่ 14,097 มีรถยนต์ไฟฟ้าเข้าสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าไฟฟ้ามากที่สุด คือ จำนวน 317 คัน และจากการจำลองทั้ง 10,000 รอบ มีค่าเฉลี่ยจำนวนรถยนต์ที่เข้าสถานีชาร์จ จำนวน 249.91 คัน ดังนั้นจะทราบว่า เมื่อมีจำนวนรถยนต์ไฟฟ้า 2,500 คันในพื้นที่ จะมีค่าเฉลี่ยของรถยนต์ไฟฟ้าที่มีค่าสถานะคงเหลือของแบตเตอรี่น้อยกว่าร้อยละ 50 คิดเป็น ร้อยละ 10 ของรถยนต์ทั้งหมด

4.2 ผลการจำลองการสร้างโพรไฟล์กำลังการชาร์จของสถานีชาร์จในหนึ่งรอบ

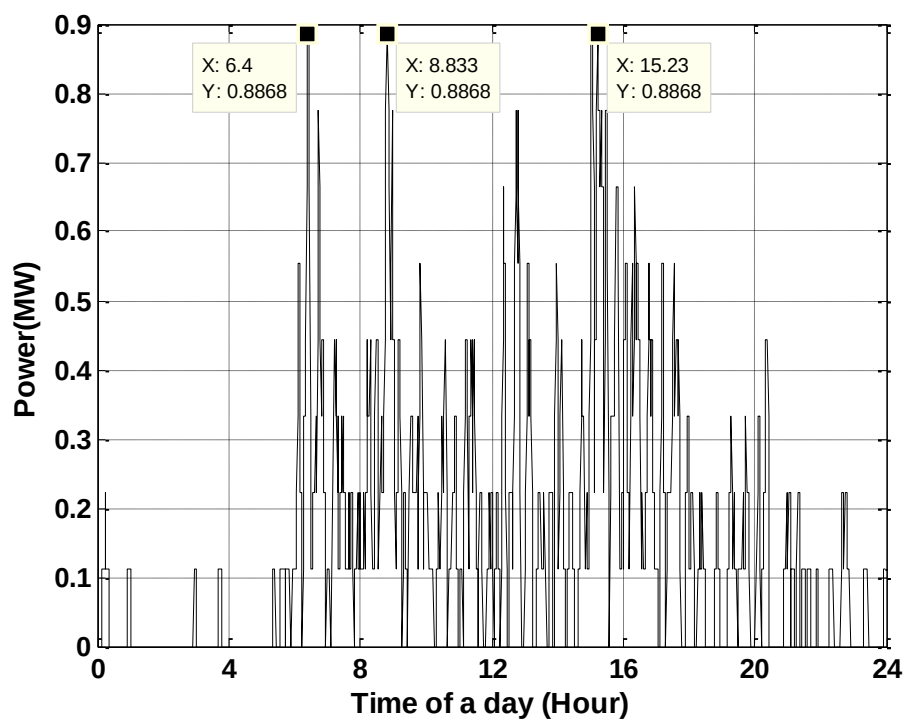
จากภาพที่ 42 สนใจรอบที่จำนวนรถยนต์มากที่สุด คือรอบที่ 14,097 ซึ่งมีโพรไฟล์การชาร์จเป็นไปตามภาพที่ 43 จะเห็นว่าจะเห็นว่าการชาร์จมากที่สุด 3 เวลาคือ เวลา 06.24 น. (6.4 ชั่วโมง) เวลา 8.50 น. (8.83 ชั่วโมง) และเวลา 15.14 น. (15.23 ชั่วโมง) โดยชาร์จด้วยหัวชาร์จจำนวน 8 เครื่อง รวม 886.8 kW โพรไฟล์การชาร์จตามภาพที่ 43 ซึ่งจะเป็นโหลดของสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าแบบรวดเร็ว เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบกับแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆต่อไป

4.3 ผลการรันโหลดโพล์ของโพรไฟล์กำลังไฟฟ้าของสถานีชาร์จในหนึ่งรอบ

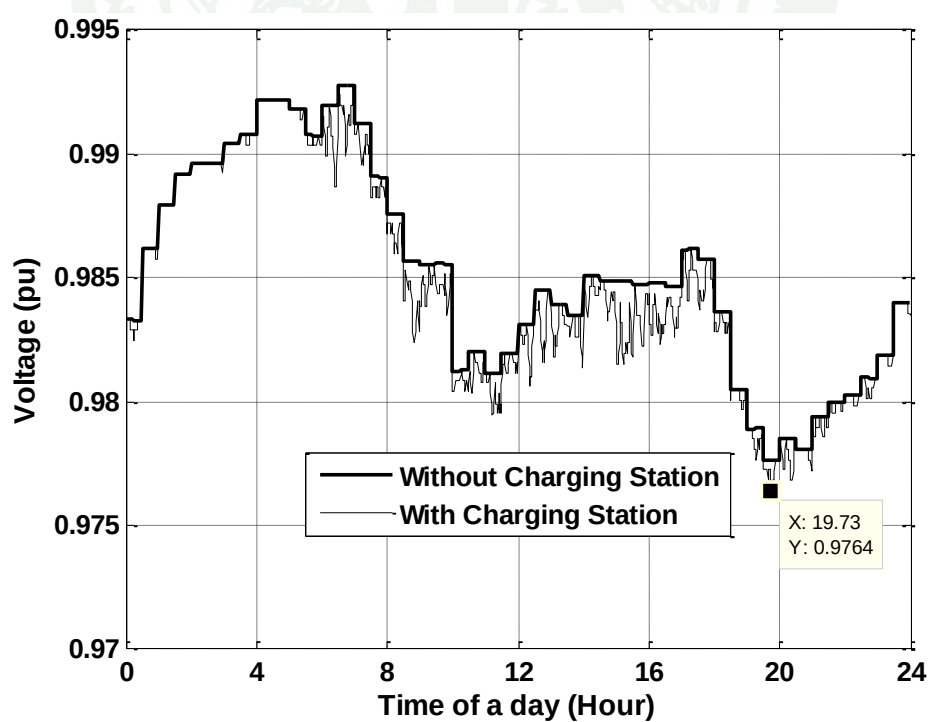
เมื่อได้โพรไฟล์กำลังไฟฟ้าของสถานีชาร์จมาแล้ว ตามภาพที่ 43 ที่มีการชาร์จสูงสุด มีการชาร์จมากที่สุด 3 เวลาคือ เวลา 06.24 น. (6.4 ชั่วโมง) เวลา 8.50 น. (8.83 ชั่วโมง) และเวลา 15.14 น. (15.23 ชั่วโมง) ด้วยกำลังไฟรวมที่เกิดขึ้นสูงสุด 886.8 kW ซึ่งจะเห็นได้ว่าแรงดันไฟฟ้าที่ปลายสายได้สามารถแสดงได้ตามภาพที่ 44 ส่วนในภาพที่ 45 แสดงการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าที่ปลายสายเมื่อเทียบกับกรณีที่ยังไม่ติดตั้งสถานีชาร์จ ค่ามากที่สุดคือ ร้อยละ 0.337



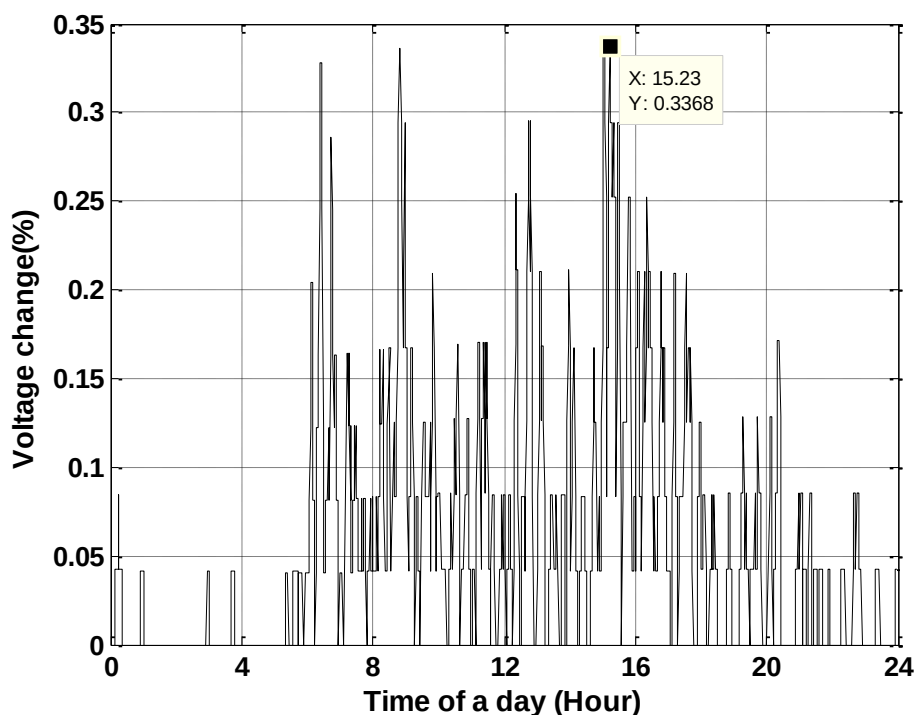
ภาพที่ 42 จำนวนรถยนต์ที่เข้าสถานีชาร์จในแต่ละรอบ เมื่อมีจำนวนรถในพื้นที่ 2,500 คัน



ภาพที่ 43 ตัวอย่างโพรไฟล์กำลังไฟฟ้าของสถานีชาร์จ กรณีมีรถในพื้นที่ 2,500 คัน



ภาพที่ 44 ตัวอย่างแรงดันไฟฟ้าที่ปลายสาย กรณีมีรถในพื้นที่ 2,500 คัน



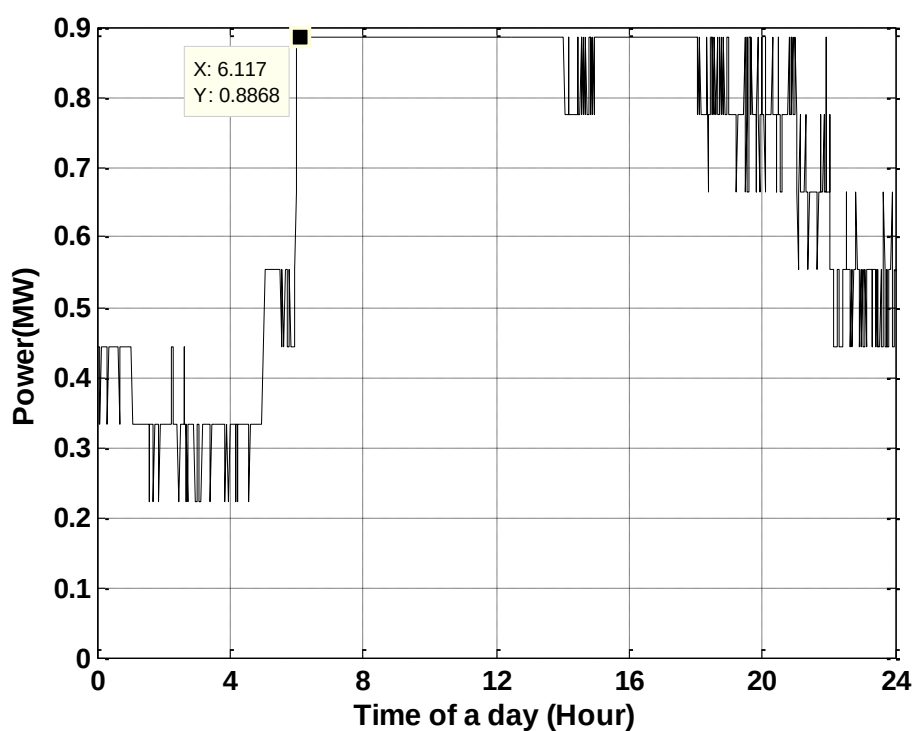
ภาพที่ 45 ตัวอย่างแรงดันที่เปลี่ยนแปลงที่ปลายสาย กรณีมีรณในพื้นที่ 2,500 คัน

4.4 ผลการหาค่าสูงสุดของกำลังการชาร์จในแต่ละนาทิต

จากการจำลองด้วยเทคนิคมอนติคาร์โล ด้วยจำนวนเหตุการณ์ 100,000 เหตุการณ์ จะสามารถหาค่ากำลังการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าในสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่มีกำลังสูงสุดในแต่ละนาทิตทั้งหมด 1,440 นาทิต ในรอบหนึ่งวันได้ ตามภาพที่ 46 ซึ่งจะมีโอกาสในการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าในสถานีชาร์จด้วยกำลังไฟฟ้าสูงสุด 886.8 kW เริ่มต้นตั้งแต่เวลาประมาณ 6.00 น. เกิดขึ้นไปจนถึง 21.00 น.

4.5 ผลกระทบต่อแรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่าย

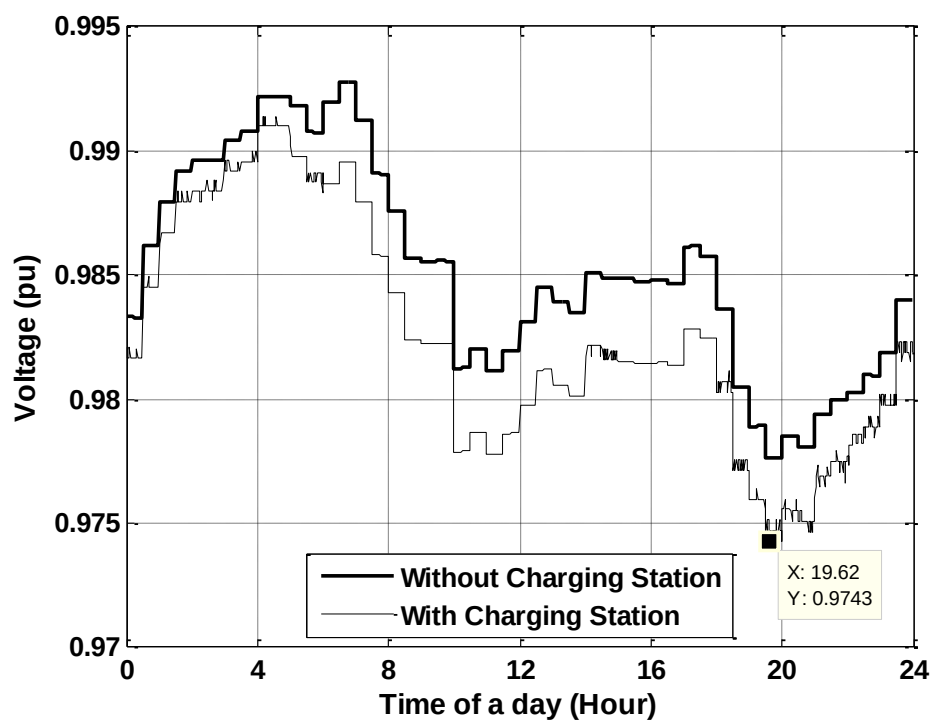
จากภาพที่ 47 จะเห็นได้ว่า มีค่าแรงดันตกต่ำที่สุด 0.9743 เปรอ์ยูนิต และภาพที่ 48 ค่าแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปจะมีค่ามากที่สุดร้อยละ 0.3454 และจากภาพที่ 49 แสดงความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลงแรงดัน โดยช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงแรงดันสูงสุดคือช่วงร้อยละ 0.3001 ถึง 0.3454 มีความน่าจะเป็นที่แรงดันจะเกินสูงสุดร้อยละ 56.25 ส่วนช่วงแรงดันการเปลี่ยนแปลงแรงดันที่ไม่เกิดขึ้นเลยคือ ช่วงร้อยละ 0 ถึง 0.005 รายละเอียดแสดงไว้ในตารางที่ 11



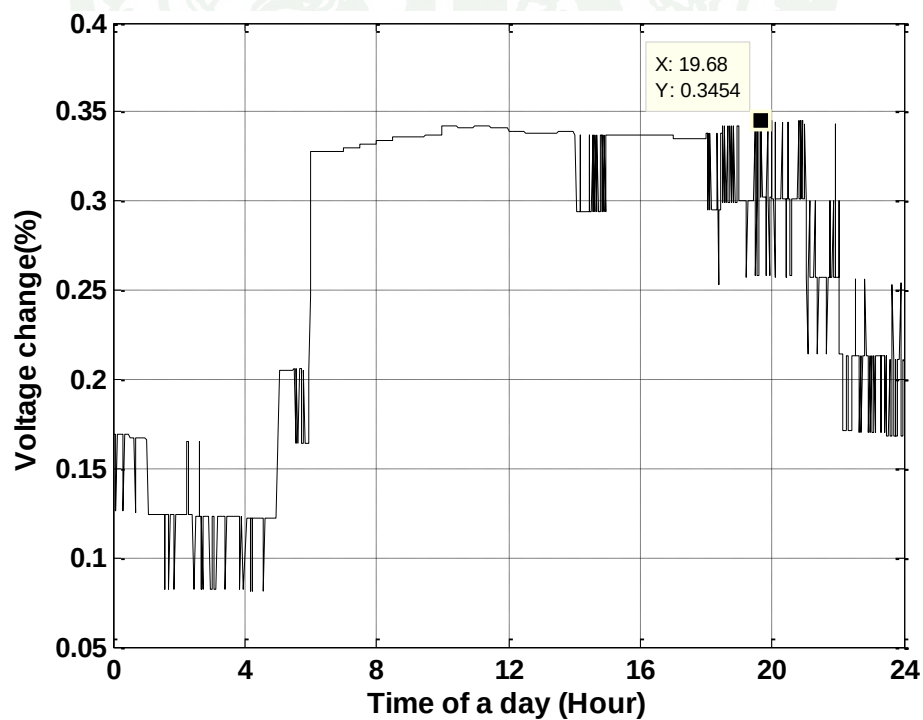
ภาพที่ 46 กำลังไฟฟ้าสูงสุดแต่ละนาทียของสถานีชาร์จ กรณีจำนวนรถในพื้นที่ 2,500 คัน

ตารางที่ 11 โอกาสของแรงดันที่เปลี่ยนแปลง กรณีมีรถในพื้นที่ 2,500 คัน

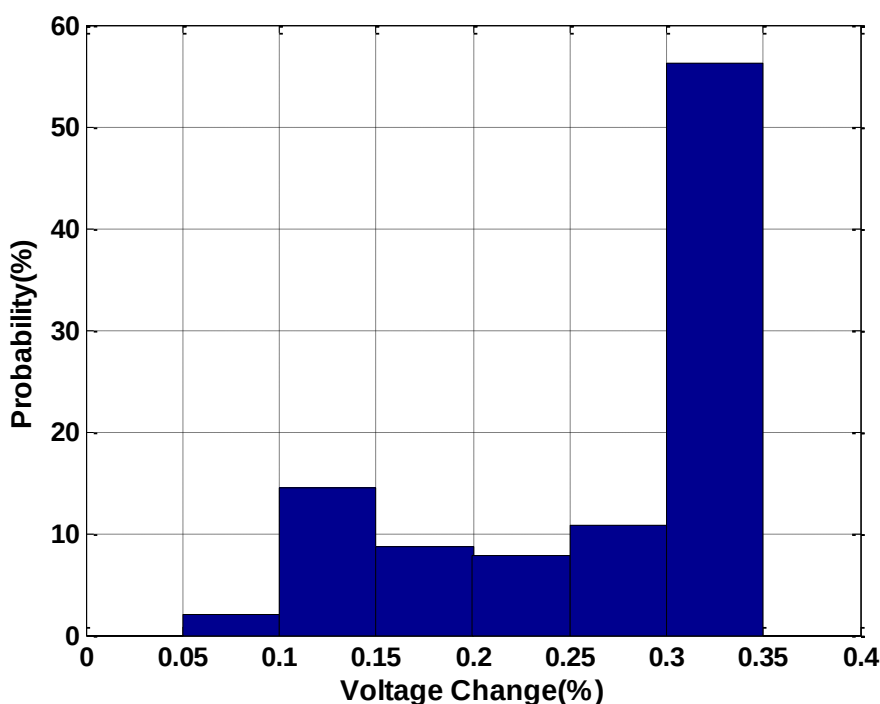
ช่วงแรงดันที่เปลี่ยนแปลง (ร้อยละ)	โอกาสเกิดขึ้น (ร้อยละ)
0.0000-0.0500	0
0.0501-0.1000	2.0139
0.1001-0.1500	14.5139
0.1501-0.2000	8.6806
0.2001-0.2500	7.7778
0.2501-0.3000	10.7639
0.3001-0.3454	56.2500



ภาพที่ 47 แรงดันไฟฟ้าที่ปลายสายที่ต่ำสุดที่เกิดขึ้นได้ กรณีมีจำนวนรถในพื้นที่ 2,500 คัน



ภาพที่ 48 การเปลี่ยนแปลงของแรงดันที่เกิดขึ้นได้มากที่สุดในแต่ละนาที่ กรณีมีรถ 2,500 คัน



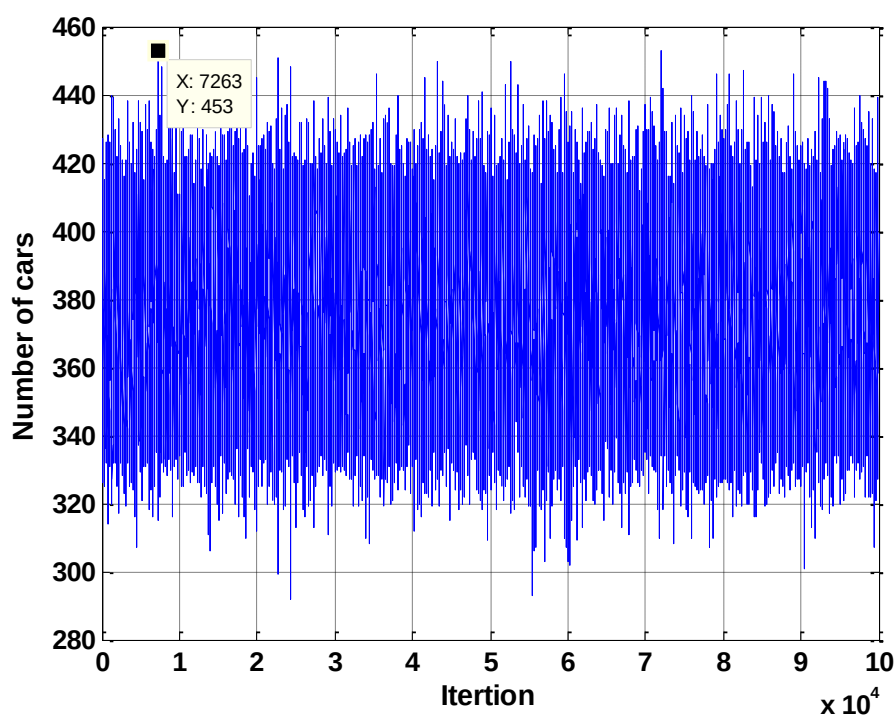
ภาพที่ 49 ความน่าจะเป็นของแรงดันที่เปลี่ยนแปลงที่ปลายสาย จำนวนรถในพื้นที่ 2,500 คัน

5. จำลองการติดตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า กรณีมีรถในพื้นที่ 3,750 คัน

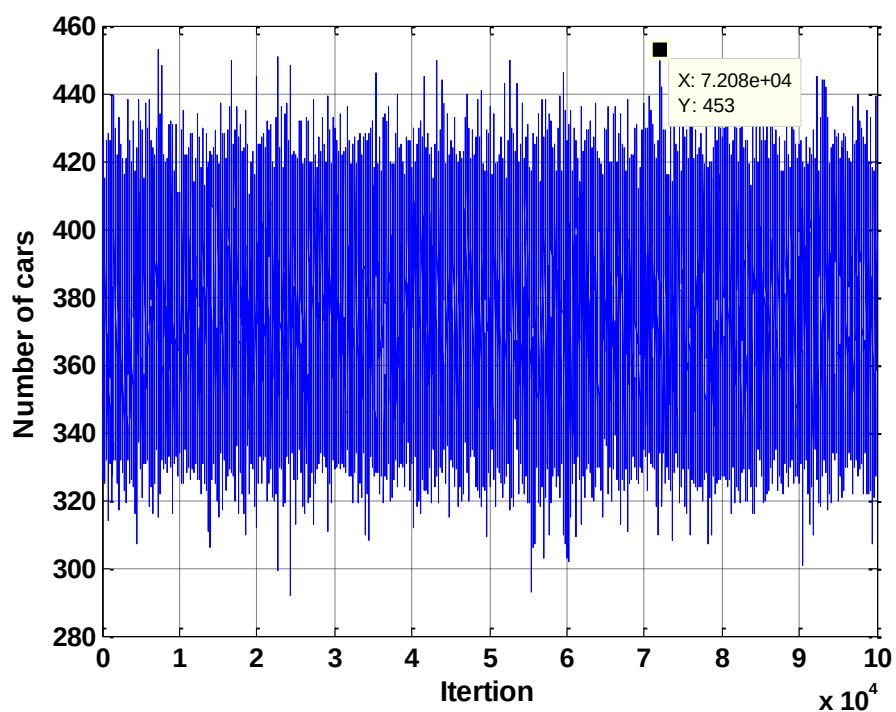
การจำลองติดตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่ตำแหน่ง 8.90 km ห่างจากสถานีไฟฟ้า จำนวน 8 หัวชาร์จ แต่ละหัวชาร์จมีกำลังไฟฟ้าด้านขาเข้า 110.85 kW และมีกำลังไฟฟ้าด้านขาออก 100 kW โดยจำนวนรถในพื้นที่แต่ละรอบการคำนวณให้มีค่า 3,750 คัน

5.1 ผลการจำลองจำนวนรถที่เข้าสถานีชาร์จแต่ละรอบ

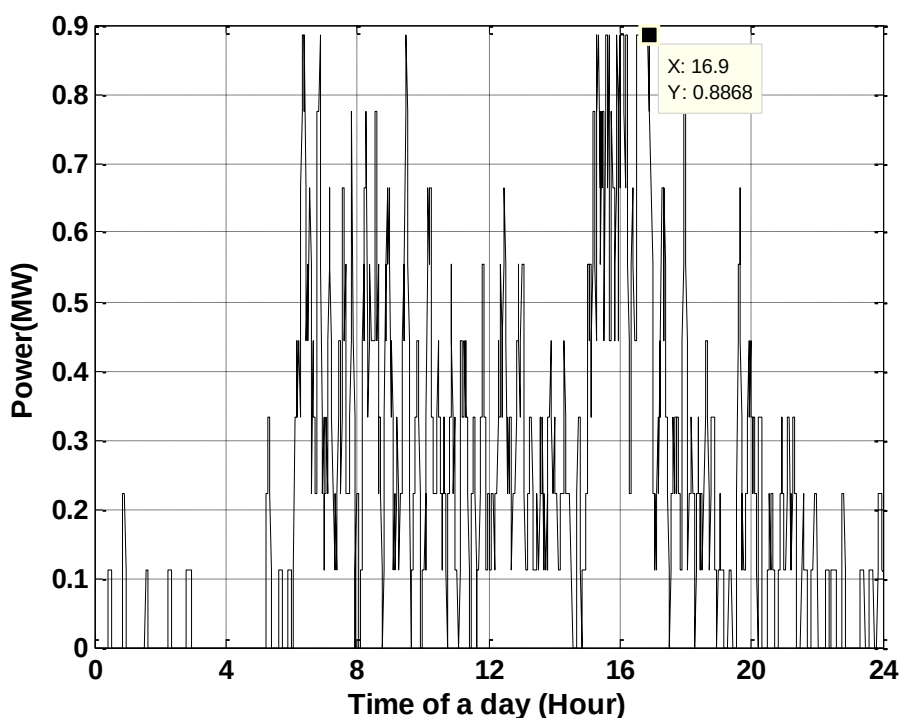
จากภาพที่ 50 และภาพที่ 51 จำลองรถเข้าสถานีชาร์จจำนวน 100,000 รอบ จะเห็นได้ว่ารอบที่ 7,263 และ 72,084 มีรถยนต์ไฟฟ้าเข้าสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าไฟฟ้ามากที่สุด คือ จำนวน 453 คัน และจากการจำลองทั้ง 10,000 รอบ มีค่าเฉลี่ยจำนวนรถยนต์ที่เข้าสถานีชาร์จ จำนวน 374.91 คัน ดังนั้นจะทราบว่า เมื่อมีจำนวนรถยนต์ไฟฟ้า 3,750 คันในพื้นที่ จะมีค่าเฉลี่ยของรถยนต์ไฟฟ้าที่มีค่าสถานะคงเหลือของแบตเตอรี่น้อยกว่าร้อยละ 50 คิดเป็น ร้อยละ 10 ของรถยนต์ทั้งหมด



ภาพที่ 50 จำนวนรถยนต์ที่เข้าสถานีชาร์จในรอบที่ 7,263 เมื่อมีจำนวนรถในพื้นที่ 3,750 คัน



ภาพที่ 51 จำนวนรถยนต์ที่เข้าสถานีชาร์จในรอบที่ 72,084 เมื่อมีจำนวนรถในพื้นที่ 3,750 คัน



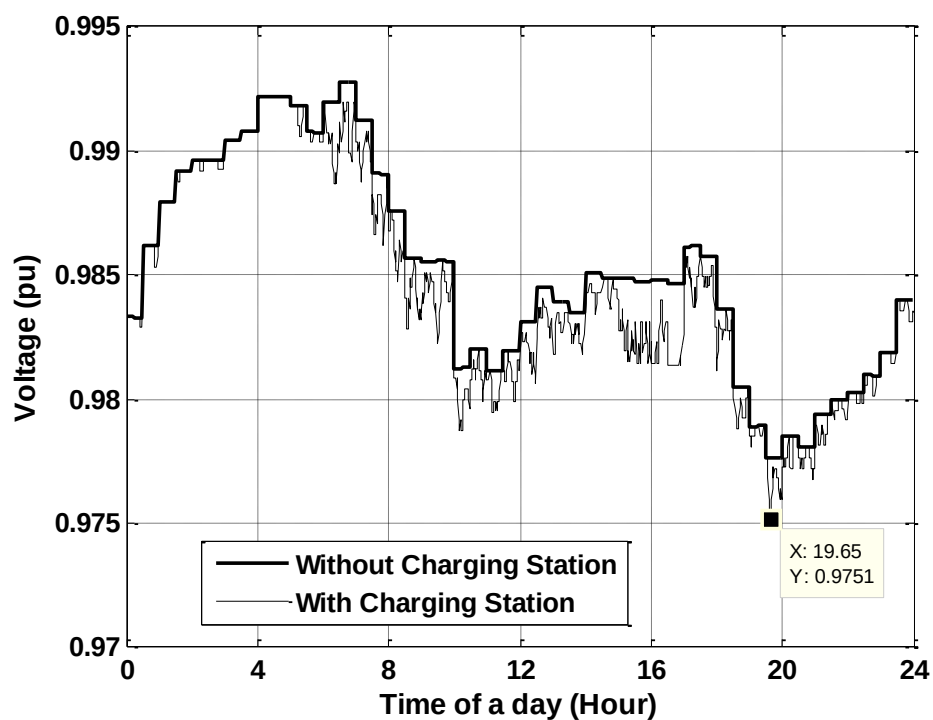
ภาพที่ 52 ตัวอย่างโพรไฟล์กำลังไฟฟ้าของสถานีชาร์จ กรณีสถานที่ 3,750 คัน

5.2 ผลการจำลองการสร้างโพรไฟล์กำลังการชาร์จของสถานีชาร์จในหนึ่งรอบ

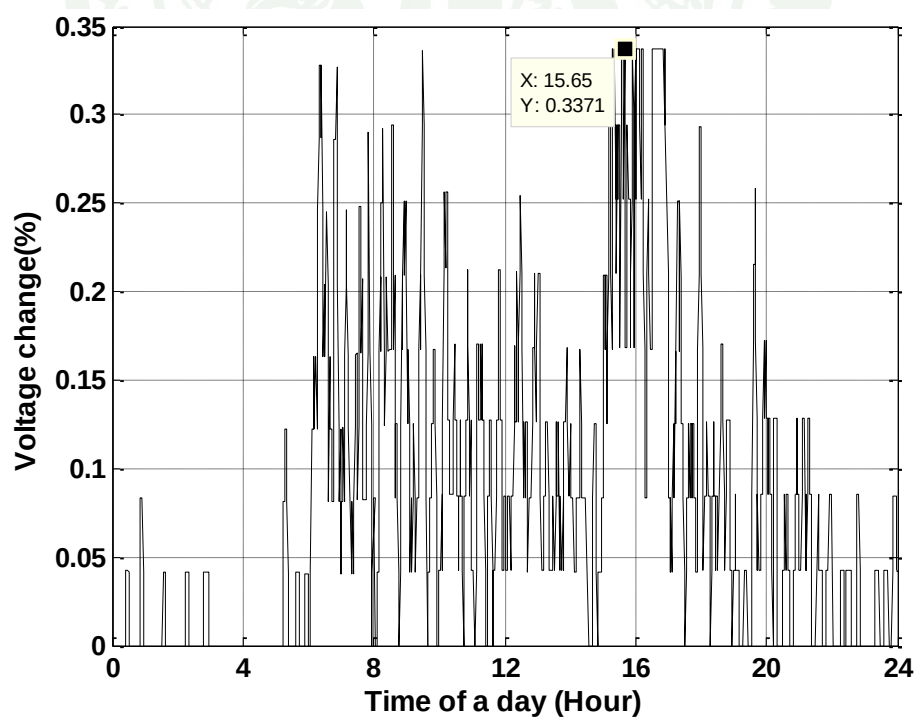
จากภาพที่ 50 สนใจรอบที่จำนวนรถยนต์มากที่สุดจึงเลือกรอบที่ 7,263 เพื่อดูตัวอย่างโพรไฟล์ของสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า ซึ่งมีโพรไฟล์การชาร์จเป็นไปตามภาพที่ 52 จะเห็นว่า มีการชาร์จหนาแน่น 2 ช่วงเวลา คือช่วงประมาณ 6.20 น. ถึง 10.15 น. และเวลา 15.00 น. ถึง 18.00 น. ซึ่งจะเป็นช่วงเวลาที่รถเข้าชาร์จหนาแน่น ด้วยจำนวนหัวชาร์จ 8 เครื่อง กำลังไฟฟ้า รวมที่เกิดขึ้นสูงสุด 886.8 kW

5.3 ผลการรันโหลดโพล์ของโพรไฟล์กำลังไฟฟ้าของสถานีชาร์จในหนึ่งรอบ

จากผลการรันโหลดโพล์แรงดันไฟฟ้าที่ปลายสายได้สามารถแสดงได้ตามภาพที่ 53 โดยมีแรงดันที่ต่ำที่สุด 0.9751 เปรอ์ยูนิต ที่เวลา 19.39 น. (19.65 ชั่วโมง) ส่วนในภาพที่ 54 แสดงการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าที่ปลายสายเมื่อเทียบกับกรณีที่ยังไม่ติดตั้งสถานีชาร์จ ค่ามากที่สุดคือ ร้อยละ 0.3371 ที่เวลา 15.39 น. (15.65 ชั่วโมง)



ภาพที่ 53 ตัวอย่างแรงดันไฟฟ้าที่ปลายสาย กรณีมีรถในพื้นที่ 3,750 คัน



ภาพที่ 54 ตัวอย่างแรงดันที่เปลี่ยนแปลงที่ปลายสาย กรณีมีรถในพื้นที่ 3,750 คัน

5.4 ผลการหาค่าสูงสุดของกำลังการชาร์จในแต่ละนาทีก

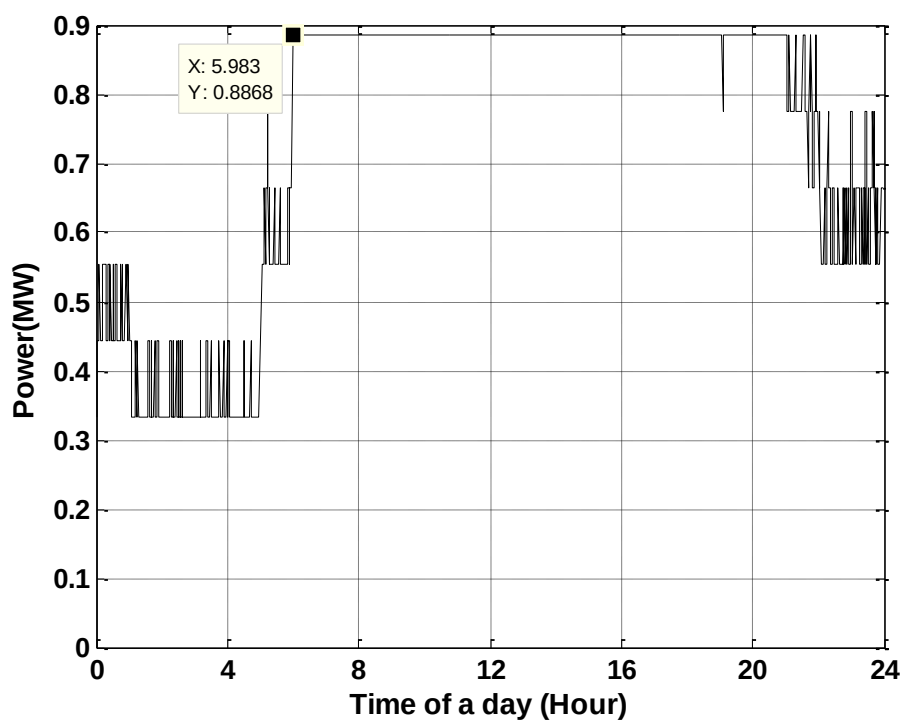
จากการจำลองด้วยเทคนิคมอนติคาร์โล ด้วยจำนวนเหตุการณ์ 100,000 เหตุการณ์ จะสามารถหาค่ากำลังการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าในสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่มีกำลังสูงสุดในแต่ละนาทีกทั้งหมด 1,440 นาที ในรอบหนึ่งวันได้ ตามภาพที่ 55 ซึ่งจะมีโอกาสในการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าในสถานีชาร์จด้วยกำลังไฟฟ้าสูงสุด 886.8 kW เริ่มต้นตั้งแต่เวลาประมาณ 6.00 น. เกิดขึ้นไปจนถึง 22.00 น.

5.5 ผลกระทบต่อแรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่าย

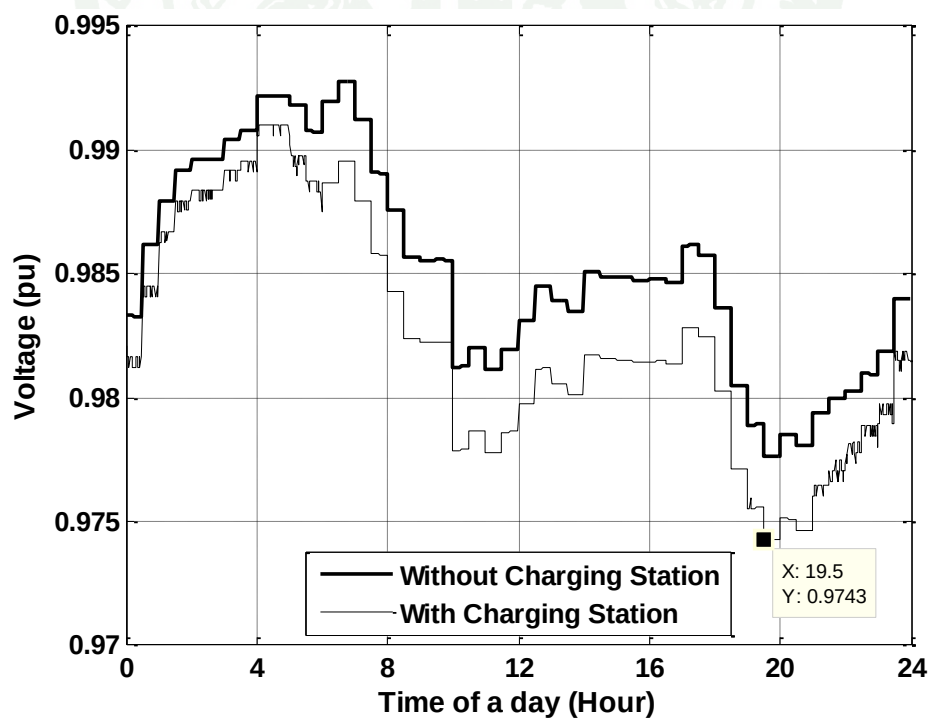
จากภาพที่ 56 และภาพที่ 57 จะเห็นได้ว่า มีค่าแรงดันตกต่ำที่สุด 0.9743 เปรอ์ยูนิต ที่เวลา 19.30 น. (19.5 ชั่วโมง) ถึงเวลา 20.00 น. โดยค่าแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปจะมีค่ามากที่สุดร้อยละ 0.3454 แต่อย่างไรก็ตามค่าแรงดันไฟฟ้ายังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานการจ่ายไฟ และจากภาพที่ 58 มีการเปลี่ยนแปลงแรงดันสูงสุด ร้อยละ 0.3001 ถึง 0.3454 มีความน่าจะเป็นที่แรงดันจะเกินสูงสุดดังกล่าวเป็นร้อยละ 66.0417 แสดงให้เห็นถึงจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าที่มีจำนวนเพิ่มมากขึ้นยังมีโอกาสทำให้ดึงกำลังการชาร์จจากสถานีชาร์จมากยิ่งขึ้นตาม ซึ่งมีการชาร์จทุกหัวชาร์จตลอดทั้งวัน จึงทำให้เกิดแรงดันตกต่อเนื่องตลอดทั้งวัน รายละเอียดของโอกาสที่เกิดการเปลี่ยนแปลงของแรงดันแสดงไว้ตามตารางที่ 12

ตารางที่ 12 โอกาสของแรงดันที่เปลี่ยนแปลง กรณีมีรถในพื้นที่ 3,750 คัน

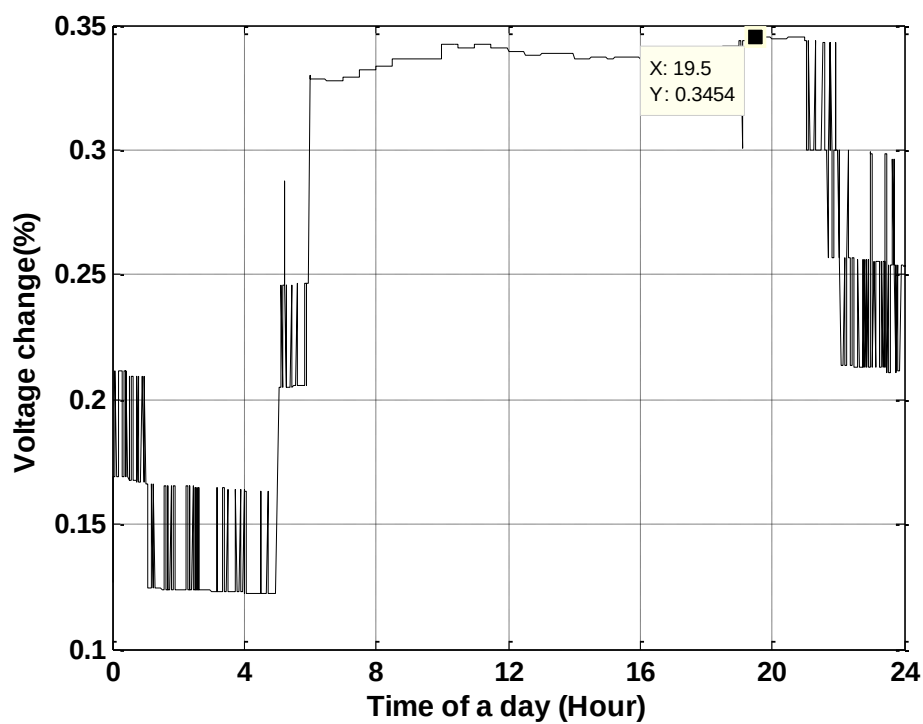
ช่วงแรงดันที่เปลี่ยนแปลง (ร้อยละ)	โอกาสเกิดขึ้น (ร้อยละ)
0.0000-0.0500	0
0.0501-0.1000	0
0.1001-0.1500	14.1667
0.1501-0.2000	5.4861
0.2001-0.2500	9.2361
0.2501-0.3000	5.0694
0.3001-0.3454	66.0417



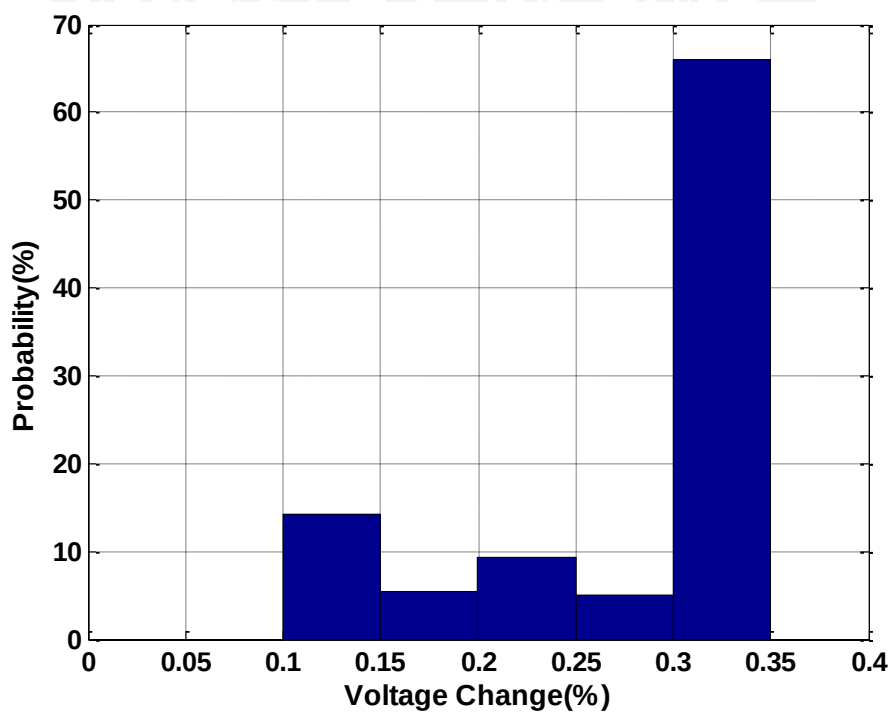
ภาพที่ 55 กำลังไฟฟ้าสูงสุดแต่ละนาทียของสถานีชาร์จ กรณีจำนวนรถในพื้นที่ 3,750 คัน



ภาพที่ 56 แรงดันไฟฟ้าที่ปลายสายที่ต่ำสุดที่เกิดขึ้นได้ กรณีมีจำนวนรถในพื้นที่ 3,750 คัน



ภาพที่ 57 การเปลี่ยนแปลงของแรงดันที่เกิดขึ้นได้มากที่สุดในแต่ละนาที่ กรณีมีรถ 3,750 คัน



ภาพที่ 58 ความน่าจะเป็นของแรงดันที่เปลี่ยนแปลงที่ปลายสาย จำนวนรถในพื้นที่ 3,750 คัน

6. จำลองการติดตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า กรณีมีรถในพื้นที่ 5,000 คัน

การจำลองติดตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่ตำแหน่ง 8.90 km ห่างจากสถานีไฟฟ้า จำนวน 8 หัวชาร์จ แต่ละหัวชาร์จมีกำลังไฟฟ้าด้านขาเข้า 110.85 kW และมีกำลังไฟฟ้าด้านขาออก 100 kW โดยจำนวนรถในพื้นที่แต่ละรอบการคำนวณให้มีค่า 5,000 คัน

6.1 ผลการจำลองจำนวนรถที่เข้าสถานีชาร์จแต่ละรอบ

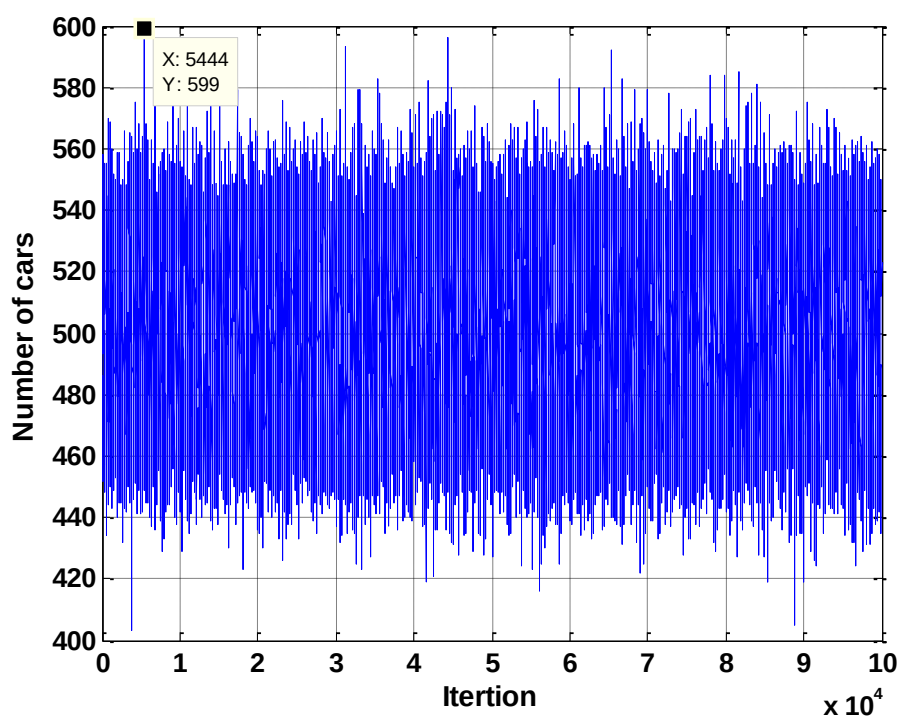
จากภาพที่ 59 จำลองรถเข้าสถานีชาร์จจำนวน 100,000 รอบ จะเห็นได้ว่ารอบที่ 5,444 มีรถยนต์ไฟฟ้าเข้าสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าไฟฟ้ามากที่สุด คือ จำนวน 599 คัน และจากการจำลอง ทั้ง 100,000 รอบ มีค่าเฉลี่ยจำนวนรถยนต์ที่เข้าสถานีชาร์จ จำนวน 499.85 คัน ดังนั้นจะทราบว่า เมื่อมีจำนวนรถยนต์ไฟฟ้า 5,000 คันในพื้นที่ จะมีค่าเฉลี่ยของรถยนต์ไฟฟ้าที่มีค่า สถานะคงเหลือของแบตเตอรี่น้อยกว่าร้อยละ 50 คิดเป็น ร้อยละ 10 ของรถยนต์ทั้งหมด

6.2 ผลการจำลองการสร้างโปรไฟล์กำลังการชาร์จของสถานีชาร์จในหนึ่งรอบ

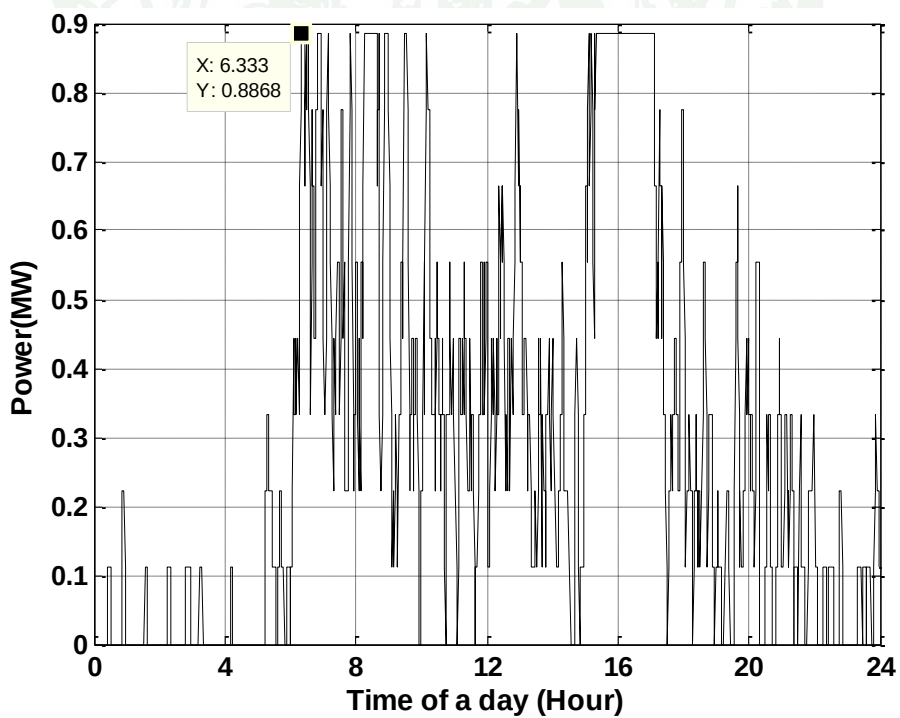
จากภาพที่ 59 สนใจรอบที่จำนวนรถยนต์มากที่สุด คือรอบที่ 5,444 ซึ่งมีโปรไฟล์การชาร์จเป็นไปตามภาพที่ 60 จะเห็นว่า มีการชาร์จสูงสุดในช่วงกลางวัน คือช่วงประมาณ 6.20 น. ถึง 17.00 น. ซึ่งจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่ามีรถเข้าชาร์จหนาแน่น ด้วยจำนวนหัวชาร์จ 8 เครื่อง กำลังไฟฟ้า รวมที่เกิดขึ้นสูงสุด 886.8 kW โปรไฟล์การชาร์จตามภาพที่ 60 ซึ่งจะเป็นโหลดของสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าแบบรวดเร็ว เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบกับแรงดันไฟฟ้าต่อไป

6.3 ผลการการรันโหลดโพล์ของโปรไฟล์กำลังไฟฟ้าของสถานีชาร์จในหนึ่งรอบ

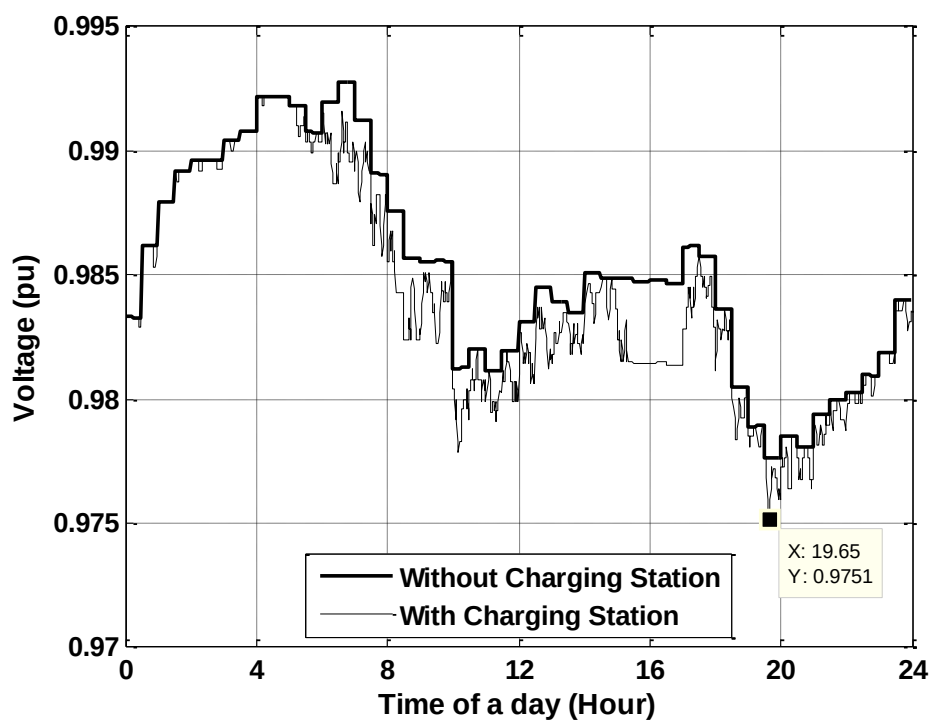
ผลจากการรันโหลดโพล์จะเห็นว่า แรงดันไฟฟ้าที่ปลายสายได้สามารถแสดงได้ตามภาพที่ 61 โดยมีแรงดันต่ำสุด 0.9751 เปอรฺยูนิต ที่เวลา 19.39 น. (19.65 ชั่วโมง) ส่วนภาพที่ 62 แสดงการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าที่ปลายสายเมื่อเทียบกับกรณีที่ยังไม่ติดตั้งสถานีชาร์จ ซึ่งค่ามากที่สุดคือร้อยละ 0.3422 ในช่วงเวลา 10.10 น. (10.17 ชั่วโมง)



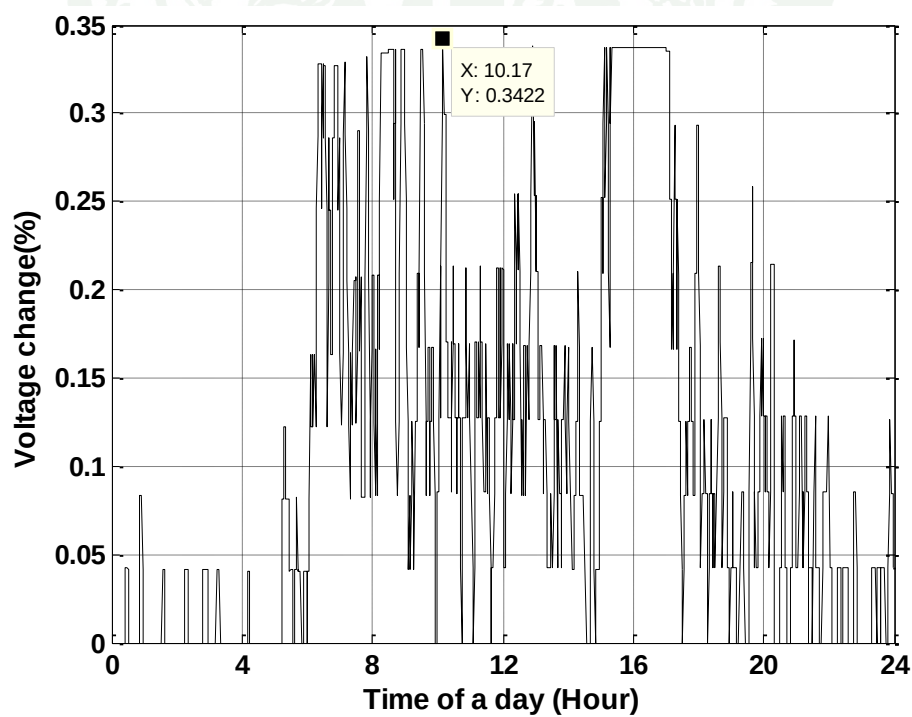
ภาพที่ 59 จำนวนรถยนต์ที่เข้าสถานีชาร์จในแต่ละรอบ เมื่อมีจำนวนรถในพื้นที่ 5,000 คัน



ภาพที่ 60 ตัวอย่างโพรไฟล์กำลังไฟฟ้าของสถานีชาร์จ กรณีมีรถในพื้นที่ 5,000 คัน



ภาพที่ 61 ตัวอย่างแรงดันไฟฟ้าที่ปลายสาย กรณีมีรถในพื้นที่ 5,000 คัน



ภาพที่ 62 ตัวอย่างแรงดันที่เปลี่ยนแปลงที่ปลายสาย กรณีมีรถในพื้นที่ 5,000 คัน

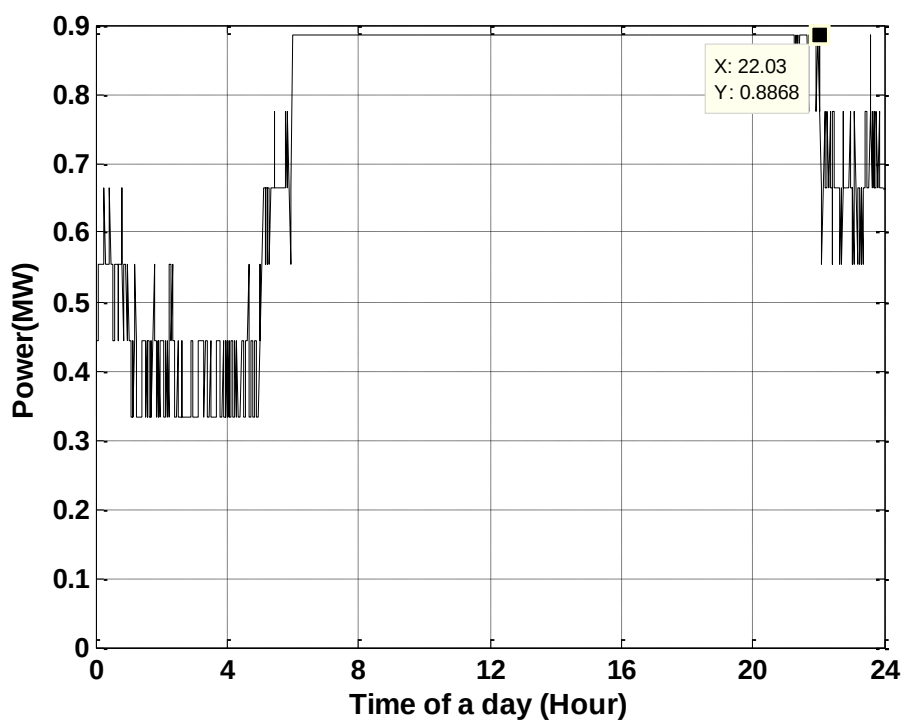
6.4 ผลการหาค่าสูงสุดของกำลังการชาร์จในแต่ละนาทิต

จากการจำลองด้วยเทคนิคมอนติคาร์โล ด้วยจำนวนเหตุการณ์ 100,000 เหตุการณ์ จะสามารถหาค่ากำลังการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าในสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่มีกำลังสูงสุดในแต่ละนาทิต ทั้งหมด 1,440 นาทิต ในรอบหนึ่งวันได้ ตามภาพที่ 63 ซึ่งจะมีโอกาสในการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าในสถานีชาร์จด้วยกำลังไฟฟ้าสูงสุด 886.8 kW เริ่มต้นตั้งแต่เวลาประมาณ 6.00 น. เกิดขึ้นไปจนถึง 22.00 น.

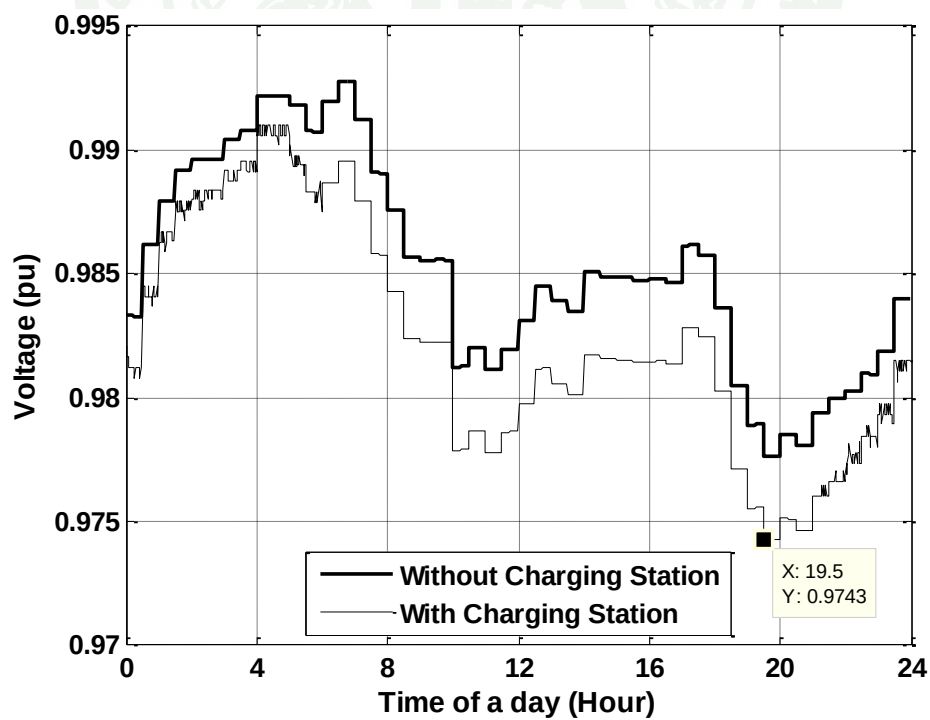
6.5 ผลกระทบต่อแรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่าย

จากภาพที่ 64 จะเห็นได้ว่า มีค่าแรงดันตกต่ำที่สุด 0.9743 เปรอร์ยูนิต ที่เวลา 19.30 น. ถึง 20.00 น. โดยค่าแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปจะมีค่ามากที่สุดร้อยละ 0.3454 แต่อย่างไรก็ตาม ค่าแรงดันไฟฟ้ายังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานการจ่ายไฟ และจากภาพที่ 65 มีการเปลี่ยนแปลงแรงดันสูงสุด ร้อยละ 0.3001 ถึงร้อยละ 0.3454 มีความน่าจะเป็นที่แรงดันจะเกินสูงสุดดังกล่าวเป็นร้อยละ 66.875 รายละเอียดโอกาสของการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นแสดงไว้ในตารางที่ 13

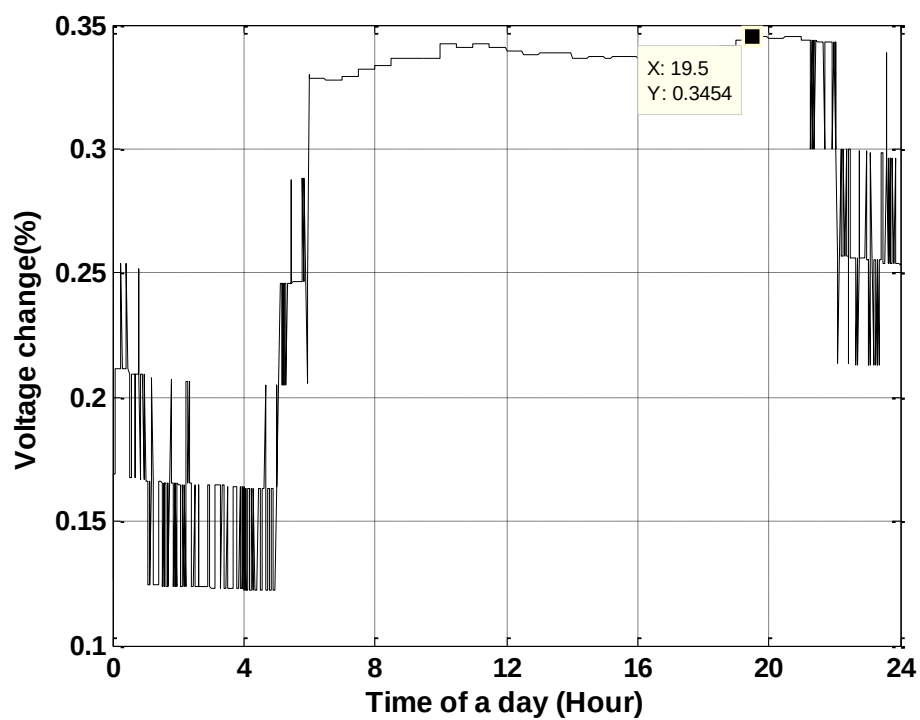
จากการจำลองทั้ง 6 กรณีศึกษาพบว่า กำลังไฟฟ้าของสถานีชาร์จนั้นมีค่าเพิ่มสูงขึ้น เมื่อมีจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าเข้าสถานีชาร์จมากขึ้น จากการจำลองข้างต้น พบว่าทุกกรณีจะมีรถยนต์ที่มีสถานะของแบตเตอรี่คงเหลือน้อยกว่าร้อยละ 50 ซึ่งจะเข้าชาร์จที่สถานีชาร์จ มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 10 ของจำนวนรถยนต์ทั้งหมดในพื้นที่ พฤติกรรมการเข้าชาร์จที่สถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้านั้นจะมีความหนาแน่นในช่วงเวลาที่ผู้ใช้รถเดินทางออกจากบ้านไปทำงาน หรือออกจากที่ทำงานกลับบ้าน ซึ่งจะเป็นตัวแปรที่บ่งบอกกำลังไฟฟ้าของสถานีชาร์จรถยนต์ นั้นหมายความว่า หากมีการเข้าชาร์จหนาแน่น หัวชาร์จทุกหัวชาร์จจะถูกใช้งาน กำลังไฟฟ้าของสถานีชาร์จรถยนต์จะมีค่าสูงสุดหากมีการชาร์จครบทุกหัวชาร์จ ส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าตก หรือแรงดันไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงมากขึ้น



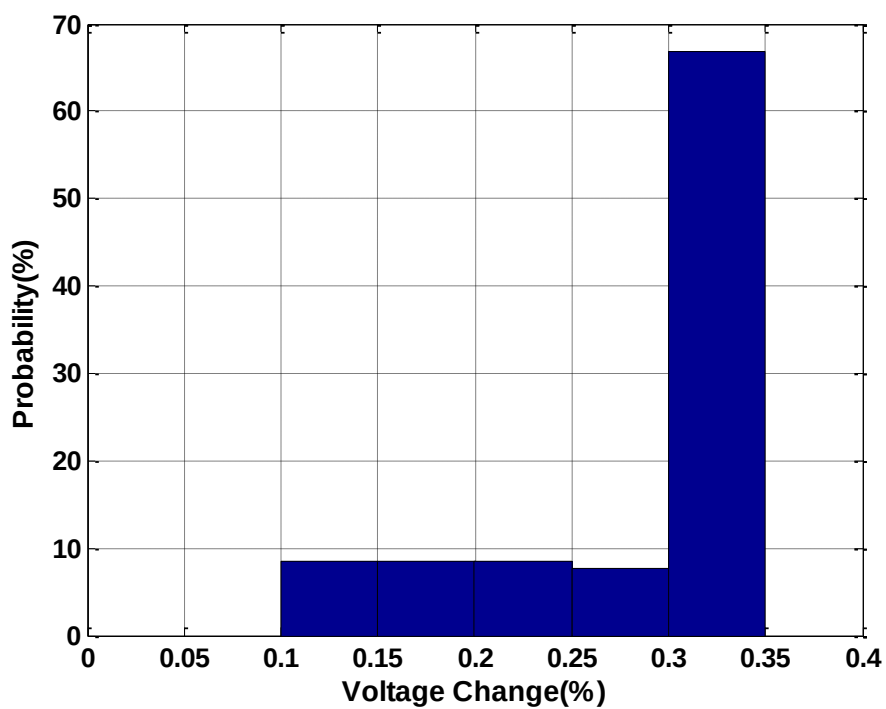
ภาพที่ 63 กำลังไฟฟ้าสูงสุดแต่ละนาทียของสถานีชาร์จ กรณีจำนวนรถในพื้นที่ 5,000 คัน



ภาพที่ 64 แรงดันไฟฟ้าที่ปลายสายที่ต่ำสุดที่เกิดขึ้นได้ กรณีมีจำนวนรถในพื้นที่ 5,000 คัน



ภาพที่ 65 การเปลี่ยนแปลงของแรงดันที่เกิดขึ้นได้มากที่สุดในแต่ละนาที่ กรณีมีรถ 5,000 คัน



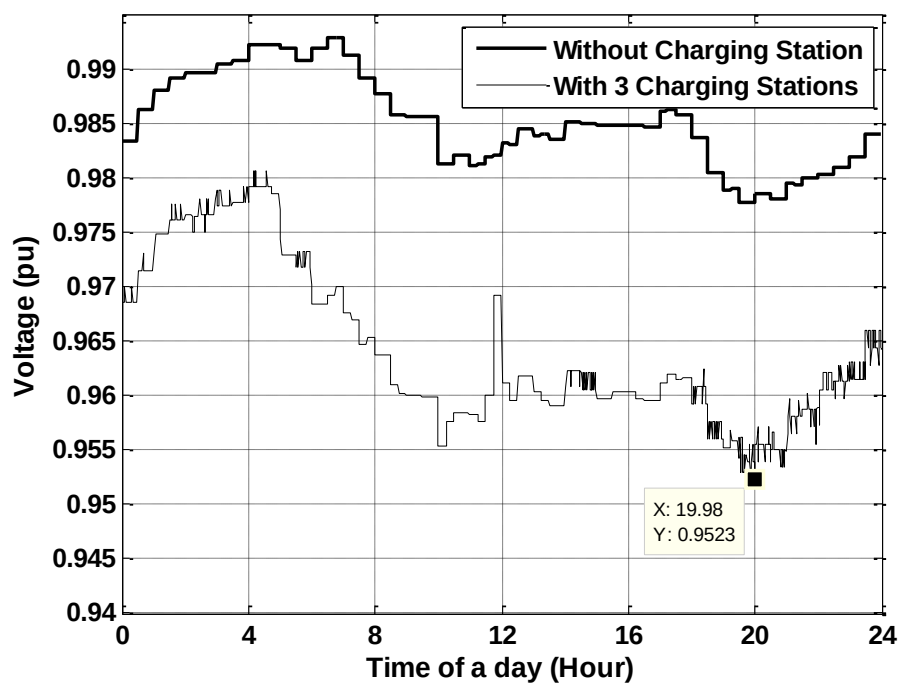
ภาพที่ 66 ความน่าจะเป็นของแรงดันที่เปลี่ยนแปลงที่ปลายสาย จำนวนรถในพื้นที่ 5,000 คัน

ตารางที่ 13 โอกาสของแรงดันที่เปลี่ยนแปลง กรณีมีรถในพื้นที่ 5,000 คัน

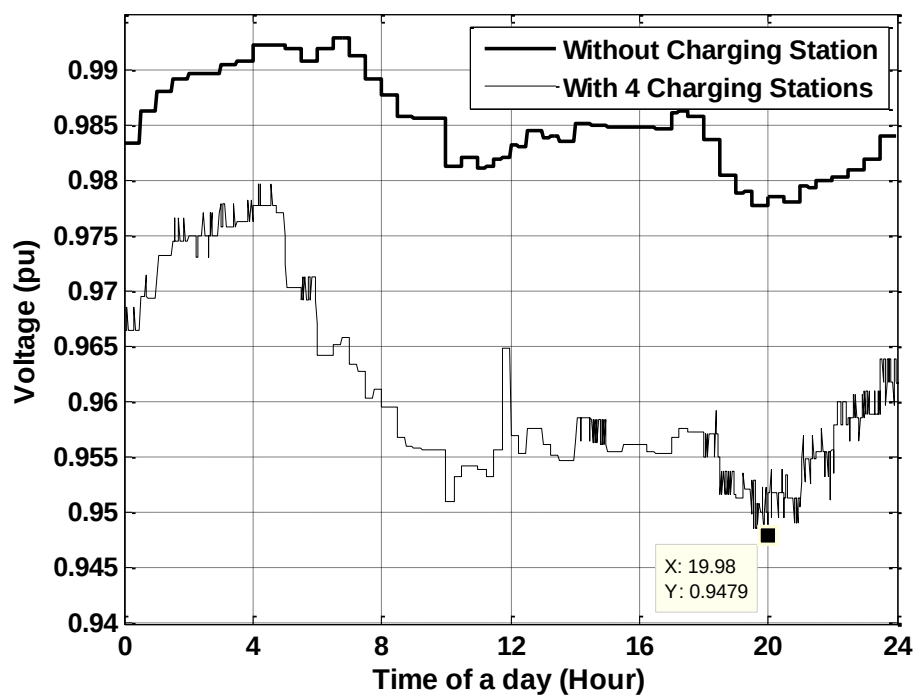
ช่วงแรงดันที่เปลี่ยนแปลง (ร้อยละ)	โอกาสเกิดขึ้น (ร้อยละ)
0.0000-0.0500	0
0.0501-0.1000	0
0.1001-0.1500	8.5417
0.1501-0.2000	8.4722
0.2001-0.2500	8.4028
0.2501-0.3000	7.7083
0.3001-0.3454	66.8750

7. จำลองหาจำนวนสถานีชาร์จที่มากที่สุดที่ติดตั้งในระบบไฟฟ้า

จำลองติดตั้งสถานีชาร์จในวงจรที่ 10 ของสถานไฟฟ้าบางละมุงที่ปลายวงจร ระยะทาง 9.9 km โดยจำลองติดตั้งสถานีชาร์จ ด้วยโพรไฟล์ของรถยนต์ไฟฟ้าจำนวน 2,500 คัน ผลปรากฏว่า จำนวนสถานีชาร์จที่มากที่สุดที่ติดตั้งในวงจรดังกล่าวแล้วไม่เกิดปัญหาแรงดันตกเกินกว่ามาตรฐานการจ่ายไฟ คือ 3 สถานีชาร์จ แรงดันไฟฟ้าที่ปลายสาย แสดงได้ ตามภาพที่ 67 และภาพที่ 68 เป็นตัวอย่างแรงดันไฟฟ้าปลายสายของจำนวนสถานีชาร์จ 4 สถานี



ภาพที่ 67 แรงดันปลายสายกรณีติดตั้งสถานีชาร์จ 3 สถานี



ภาพที่ 68 แรงดันปลายสายกรณีติดตั้งสถานีชาร์จ 4 สถานี

วิจารณ์

จากผลการจำลองพบว่า พฤติกรรมการใช้รถยนต์ที่มีค่าแบตเตอรี่คงเหลือต่ำกว่าร้อยละ 50 คิดเป็นร้อยละ 10 ของจำนวนรถยนต์ในพื้นที่ นั้นหมายความว่า หากทราบจำนวนรถในพื้นที่ จะสามารถกำหนดค่าความต้องการไฟฟ้าของสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าได้ ส่วนปัจจัยที่สำคัญอีกประการหนึ่ง คือเวลาการเข้าชาร์จ ซึ่งจะเป็ปัจจัยที่บ่งบอกถึงการใช้จำนวนหัวชาร์จ หรือการใช้กำลังไฟฟ้า ณ ช่วงเวลาใดๆ ของสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า

จำนวนรถยนต์ในพื้นที่เป็นปัจจัยที่สำคัญสำหรับการประเมินการใช้ไฟฟ้าของสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า เมื่อมีจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าในพื้นที่มาก จะทำให้ความต้องการการใช้ไฟฟ้าของสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้ามากขึ้น

ปัจจัยที่สองที่พิจารณาคือ กำลังไฟฟ้าของหัวชาร์จ ในการจำลองใช้กำลังไฟฟ้า 110.85 kW ส่งผลให้เกิดแรงดันไฟฟ้าตกในระบบไฟฟ้าแต่ยังอยู่ในมาตรฐานการจ่ายไฟของ กฟภ. หากในอนาคตหัวชาร์จมีความต้องการกำลังไฟฟ้ามกขึ้นสูงมากขึ้น จะส่งผลให้คันคกมีโอกาสต่ำกว่าค่ามาตรฐานการจ่ายไฟมากยิ่งขึ้น

ปัจจัยที่สามคือจำนวนหัวชาร์จในหนึ่งสถานีชาร์จ เมื่อจำนวนหัวชาร์จในหนึ่งสถานีชาร์จมากขึ้นส่งผลให้แรงดันตกและการเปลี่ยนแปลงแรงดันมากขึ้น จากการจำลองสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า 8 หัวชาร์จ ในวงจรที่ 10 สถานีไฟฟ้าบางละมุง ส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าที่ปลายสายมีการเปลี่ยนแปลงจากกรณีที่ไม่ได้ติดตั้งมากที่สุดร้อยละ 0.34 ส่วนแรงดันไฟฟ้ายังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของการจ่ายไฟฟ้าของ กฟภ.

ปัจจัยที่สำคัญอีกหนึ่งประการคือพฤติกรรมการใช้รถยนต์ไฟฟ้า หากมีการใช้รถยนต์ไฟฟ้าในระยะทางที่มากจะส่งผลให้ค่าสถานะคงเหลือลดลง และระยะเวลาในการชาร์จมากขึ้น ส่งผลให้มีระยะเวลาแรงดันตกยาวนานมากขึ้น จากการจำลองผลปรากฏว่า จากการใช้รถยนต์โดยส่วนใหญ่ที่ระยะทาง 4.1-8 ไมล์ จะทำให้สถานะคงเหลือของแบตเตอรี่ลดลงน้อยกว่าร้อยละ 50 เพียงร้อยละ 10 พฤติกรรมการใช้รถยนต์ที่มีค่าแบตเตอรี่คงเหลือต่ำกว่าร้อยละ 50 คิดเป็นร้อยละ 10 ของจำนวนรถยนต์ในพื้นที่ นั้นหมายความว่า หากทราบจำนวนรถในพื้นที่ จะสามารถกำหนดค่าความต้องการไฟฟ้าของสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าได้

ปัจจัยสุดท้ายที่พิจารณาคือ เวลาที่ผู้ขั้บขันำรถยนต์ไฟฟ้าเข้าชาร์จ เมื่อมีรถยนต์ไฟฟ้าเข้าสถานีชาร์จในแต่ละชั่วโมงมากขึ้น จะส่งผลให้มีการต้องการพลังงานไฟฟ้ามากขึ้น รวมทั้งส่งผลให้แรงดันตกและการเปลี่ยนแปลงแรงดันมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดจะถูกจำกัดด้วยกำลังไฟฟ้าของจำนวนหัวชาร์จทั้งหมด

จากการจำลองดังกล่าวจึงสามารถใช้เป็นแนวทางในการกำหนดจุดติดตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าในเมืองใหญ่ได้โดยไม่ต้องแยกวงจรแต่อย่างใด แต่อย่างไรก็ตามอาจจะต้องพิจารณาความเหมาะสมอย่างอื่นร่วมด้วย เช่น กำลังไฟฟ้าที่สูงสุดของระบบเกินกว่าพิกัดของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังหรือไม่ การจ่ายกำลังไฟฟ้าเกินพิกัดของสาย เป็นต้น

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการที่สามารถวิเคราะห์ผลกระทบจากการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าแบบรวดเร็วต่อแรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่ายโดยพิจารณาปัจจัยที่มีผลกระทบต่างๆ ได้แก่ จำนวนรถยนต์ไฟฟ้าในพื้นที่ กำลังไฟฟ้าของแต่ละหัวชาร์จ จำนวนหัวชาร์จต่อหนึ่งสถานีชาร์จ ระยะทางการขับขี่เพื่อนำมาหาสถานะคงเหลือของแบตเตอรี่ และระยะเวลาการชาร์จ รวมถึงเวลาที่ผู้ขับขี่นำรถยนต์ไฟฟ้าเข้าชาร์จที่สถานี

จากการศึกษาเชิงจำลองพบว่า จำนวนรถยนต์ไฟฟ้าในพื้นที่มากขึ้นส่งผลให้มีความต้องการพลังงานไฟฟ้ามากขึ้น รวมทั้งส่งผลให้แรงดันตกและการเปลี่ยนแปลงแรงดันมากขึ้น หากในอนาคตหัวชาร์จมีความต้องการกำลังไฟฟ้ามากขึ้นสูงมากขึ้น จะส่งผลให้แรงดันตกมีโอกาสดำกว่าค่ามาตรฐานการจ่ายไฟมากยิ่งขึ้น อีกทั้งเมื่อจำนวนหัวชาร์จในหนึ่งสถานีชาร์จมากขึ้นส่งผลให้แรงดันตกและการเปลี่ยนแปลงแรงดันมากขึ้น ปัจจัยที่สำคัญอีกหนึ่งประการคือพฤติกรรมการใช้รถยนต์ไฟฟ้า หากมีการใช้รถยนต์ไฟฟ้าในระยะทางที่มากจะส่งผลให้ค่าสถานะคงเหลือลดลง และระยะเวลาในการชาร์จมากขึ้น ส่งผลให้มีระยะเวลาแรงดันตกยาวนานมากขึ้น ส่วนปัจจัยสุดท้ายที่พิจารณาคือ เวลาที่ผู้ขับขี่นำรถยนต์ไฟฟ้าเข้าชาร์จ เมื่อมีรถยนต์ไฟฟ้าเข้าสถานีชาร์จในแต่ละชั่วโมงมากขึ้น จะส่งผลให้มีความต้องการพลังงานไฟฟ้ามากขึ้น รวมทั้งส่งผลให้แรงดันตกและการเปลี่ยนแปลงแรงดันมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดจะถูกจำกัดด้วยกำลังไฟฟ้าของจำนวนหัวชาร์จทั้งหมดในสถานี

การวิเคราะห์ผลได้กระทำโดยการประยุกต์ใช้กระบวนการมอนติคาร์โล จำนวน 100,000 เหตุการณ์เพื่อแสดงให้เห็นถึงผลกระทบของปัจจัยที่พิจารณาทั้ง 5 ปัจจัยที่มีผลต่อแรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่าย นอกจากนี้งานวิจัยนี้ยังสามารถประยุกต์ใช้เป็นแนวทางในการศึกษาผลกระทบด้านอื่นๆ ได้

ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ใช้ดัชนีในการวิเคราะห์เพียงดัชนีเดียว คือ แรงดันไฟฟ้า เพื่อให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น อาจต้องวิเคราะห์ดัชนีอื่นร่วมด้วย เช่น การจ่ายกำลังไฟฟ้า ความสูญเสีย และความสามารถในการจ่ายไฟฟ้าของวงจร เป็นต้น หรือหากระบบไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงการจ่ายไฟ ยังคงสามารถนำวิธีการดังกล่าวไปประยุกต์ใช้ได้

ในอนาคตหากมีรูปแบบการจ่ายไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไป เช่น ความยาวสายและลักษณะของโหลดโพรไฟล์ที่แตกต่างจากงานวิจัยนี้ หรือพฤติกรรมการใช้รถที่เปลี่ยนแปลงไป สามารถนำแนวคิด จากงานวิจัยนี้ไปประยุกต์ใช้โดยอาจปรับปรุงเพื่อให้เกิดความเหมาะสมกับสภาพในขณะนั้นๆ อย่างไรก็ดีตามเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้อง ในอนาคตจะต้องมีการสำรวจพฤติกรรมการใช้รถยนต์ไฟฟ้าเพื่อให้ได้ข้อมูลการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่มีความถูกต้อง แม่นยำ มากยิ่งขึ้น เพื่อประโยชน์ในการวิเคราะห์ถึงปัญหาต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นกับระบบจำหน่ายของ กฟภ.

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. 2551. ระเบียบการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคว่าด้วยข้อกำหนดการเชื่อมต่อระบบ
โครงข่ายไฟฟ้า พ.ศ. 2551. การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, กรุงเทพฯ.

_____. 2555. การตรวจวัดรถยนต์ไฟฟ้า. การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, กรุงเทพฯ.

ABB. 2011. **Electric Vehicle Infrastructure DC Fast Charge Station**. Available Source:
[http://www05.abb.com/global/scot/scot232.nsf/veritydisplay/19925263c4f5bee0c12578480048c686/\\$file/dc_fastchargestation_100211.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot232.nsf/veritydisplay/19925263c4f5bee0c12578480048c686/$file/dc_fastchargestation_100211.pdf), June 1, 2013.

Andersson, D. and D. Carlsson. 2012. **Measurements of ABB's Prototype Fast Charging Station for Electric Vehicles**. M.E. Thesis, Chalmers University of Technology Gothenburg.

Au, T.K. 2012. **Assesment of Plug-in Electric Vehicles Charging on Distribution Networks**. M.S. Thesis, University of Washington.

Clark, W., Y. Huang and S. Withers. 2003. Does commuting distance matter? Commuting tolerance and residential change. **Regional Science and Urban Economics** 33: 199-221.

Liu, R., L. Dow and E. Liu. 2011. A survey of PEV impacts on electric utilities, pp. 1-8. *In* **IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference**, 17-19 January 2011, Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) Power & Energy Society (PES), Anaheim, California, United States of America.

Loveday, E. 2010. **Nissan pegs Leaf range between 47 and 138 miles, individual results may vary**. Available Source: <http://green.autoblog.com/2010/06/14/nissan-pegs-leaf-range-between-47-and-138-miles-individual-resu/>, June 14, 2013.

Paradopoulos, P., L.M. Clipcican, N. Jenkins and I. Grau. 2009. Distribution networks with electric vehicles, pp. 1-5. *In Proceedings of the 44th International Universities Power Engineering Conference (UPEC)*, 1-4 September 2009, Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), Glasgow, Scotland, United Kingdom.

Shadidinejad, S., S. Filizadeh, and E. Bibeau. 2012. Profile of charging load on the grid due to plug-in vehicles. *IEEE Transactions on Smart Grid* 3 (1): 135-141.

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, Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), Bologna, Italy.

Vlilet, O., A. S. Brouwer, T. Kuramochi, M. Broek and A. Faaij. 2011. Energy use, cost and CO₂ emissions of electric cars. *Journal of power sources* 196 (4): 2298-2310.

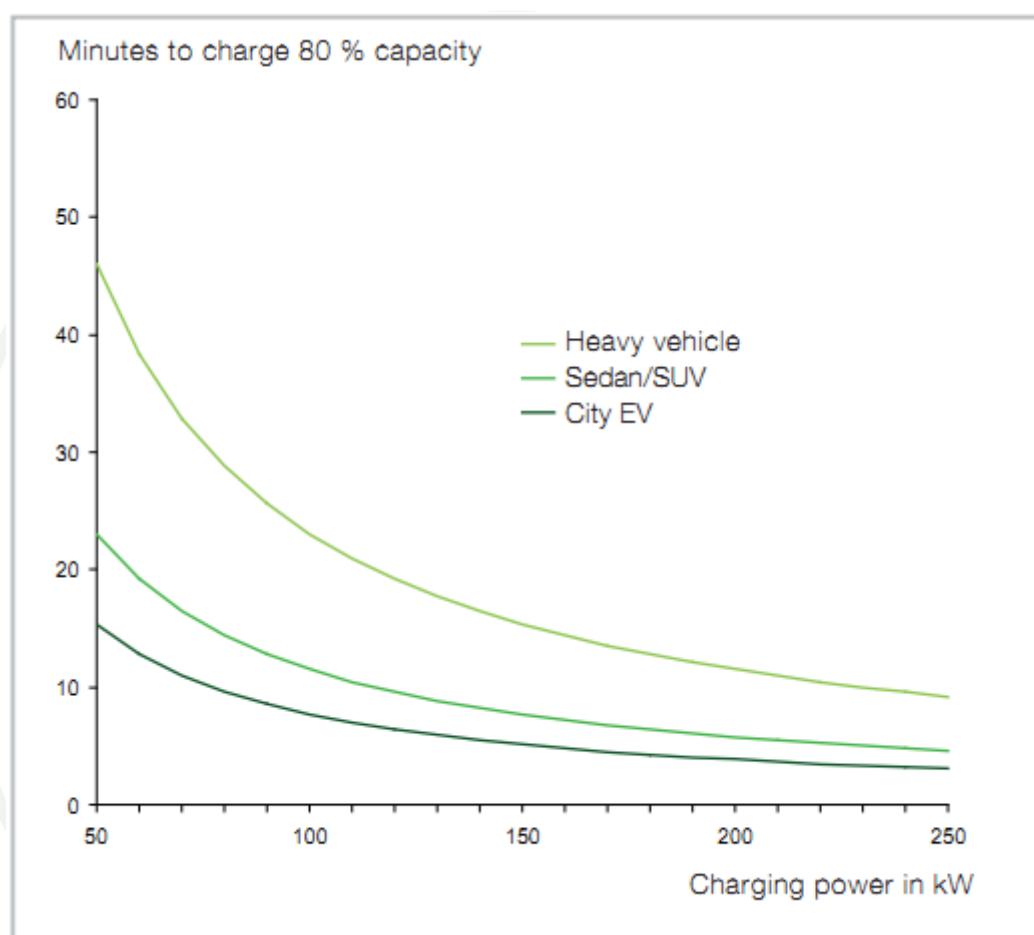
Yunus, K.J. 2010. **Probabilistic Modeling of Plug-In Electric Vehicle Charging Impacts on Power Systems**. M.S. Thesis, Chalmers University of Technology Gothenburg.

_____, H.Z. Parra, and M. Reza. 2011. Distribution Grid Impact of Plug-In Electric Vehicles Charging at Fast Charging Stations Using Stochastic Charging Model, pp.1-11. *In Proceedings of the 2011-14th European Conference* 30 August-1 September 2011, Power Electronics and Applications (EPE 2011). Birmingham, United Kingdom.





ตัวอย่างพิกัดเครื่องชาร์จและเวลาการชาร์จ เนื่องจากค่ากำลังไฟฟ้าของหัวชาร์จ ขนาดของแบตเตอรี่ ค่าสถานะคงเหลือของแบตเตอรี่ มีค่าแตกต่างกัน ระยะเวลาในการชาร์จจะสามารถหาได้จากภาพผนวกที่ ก1 ซึ่งจะเห็นได้ชัดว่า หากกำลังไฟฟ้าของหัวชาร์จยังมีกำลังสูงขึ้น จะยิ่งทำให้ระยะเวลาการชาร์จลดลง



ภาพผนวกที่ ก1 ตัวอย่างระยะเวลาในการชาร์จ

ที่มา: ABB (2010)



กำลังไฟฟ้าของสถานีไฟฟ้าบางละมุง วงจรที่ 6 ในตลอดระยะเวลาหนึ่งวัน ที่นำมาเป็น
โหลดประกอบการรันโหลดโพล์ถูกแสดงไว้ในตารางผนวกที่ ข1

ตารางผนวกที่ ข1 กำลังไฟฟ้าของสถานีไฟฟ้าบางละมุง วงจรที่ 6

เวลา (ชั่วโมง)	กำลังไฟฟ้าจริง (MW)	กำลังไฟฟ้าเสมือน (MVAR)
0:00	3.97	1.60
0:30	3.90	1.57
1:00	3.79	1.48
1:30	3.74	1.44
2:00	3.67	1.44
2:30	3.57	1.45
3:00	3.55	1.46
3:30	3.57	1.45
4:00	3.41	1.32
4:30	3.35	1.32
5:00	3.35	1.32
5:30	3.25	1.38
6:00	3.07	1.49
6:30	3.22	1.29
7:00	3.25	1.29
7:30	3.42	1.42
8:00	3.48	1.44
8:30	3.57	1.49
9:00	3.52	1.54
9:30	3.47	1.49
10:00	3.54	1.52
10:30	3.51	1.52
11:00	3.57	1.54

ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ)

เวลา (ชั่วโมง)	กำลังไฟฟ้าจริง (MW)	กำลังไฟฟ้าเสมือน (MVAR)
11:30	3.55	1.52
12:00	3.52	1.51
12:30	3.52	1.48
13:00	3.52	1.52
13:30	3.54	1.54
14:00	3.44	1.48
14:30	3.48	1.49
15:00	3.47	1.51
15:30	3.54	1.49
16:00	3.48	1.51
16:30	3.21	1.36
17:00	3.13	1.26
17:30	3.15	1.32
18:00	2.55	0.97
18:30	2.84	1.28
19:00	3.12	1.45
19:30	3.21	1.46
20:00	3.29	1.48
20:30	3.42	1.46
21:00	3.48	1.44
21:30	3.50	1.38
22:00	3.45	1.29
22:30	4.32	1.83
23:00	4.28	1.74
23:30	4.19	1.70

กำลังไฟฟ้าของสถานีไฟฟ้าบางละมุง วงจรที่ 7 ในตลอดระยะเวลาหนึ่งวัน ที่นำมาเป็น
โหลดประกอบการรันโหลดโฟลว์ถูกแสดงไว้ในตารางผนวกที่ ข2

ตารางผนวกที่ ข2 กำลังไฟฟ้าของสถานีไฟฟ้าบางละมุง วงจรที่ 7

เวลา (ชั่วโมง)	กำลังไฟฟ้าจริง (MW)	กำลังไฟฟ้าเสมือน (MVAR)
0:00	8.31	2.77
0:30	7.95	2.61
1:00	7.82	2.49
1:30	7.60	2.47
2:00	7.35	2.47
2:30	7.01	2.41
3:00	7.06	2.45
3:30	6.82	2.36
4:00	6.57	2.23
4:30	6.63	2.26
5:00	6.76	2.34
5:30	6.74	2.44
6:00	6.47	2.44
6:30	6.38	2.25
7:00	6.44	2.28
7:30	6.64	2.42
8:00	6.83	2.60
8:30	7.03	2.73
9:00	7.11	2.84
9:30	7.25	2.89
10:00	7.14	2.83
10:30	7.02	2.76
11:00	7.08	2.73

ตารางผนวกที่ ข2 (ต่อ)

เวลา (ชั่วโมง)	กำลังไฟฟ้าจริง (MW)	กำลังไฟฟ้าเสมือน (MVAR)
11:30	6.96	2.74
12:00	6.86	2.60
12:30	6.57	2.41
13:00	6.63	2.55
13:30	6.80	2.64
14:00	6.79	2.61
14:30	6.93	2.70
15:00	7.02	2.68
15:30	6.79	2.67
16:00	6.73	2.67
16:30	6.70	2.70
17:00	6.41	2.49
17:30	6.25	2.52
18:00	6.51	2.70
18:30	7.22	3.19
19:00	8.06	3.68
19:30	8.38	3.67
20:00	8.67	3.79
20:30	8.93	3.71
21:00	9.15	3.63
21:30	9.14	3.55
22:00	9.20	3.35
22:30	9.60	3.35
23:00	9.30	3.13
23:30	8.99	2.99

กำลังไฟฟ้าของสถานีไฟฟ้าบางละมุง วงจรที่ 8 ในตลอดระยะเวลาหนึ่งวัน ที่นำมาเป็น
โหลดประกอบการรันโหลดโพล์ถูกแสดงไว้ในตารางผนวกที่ ข3

ตารางผนวกที่ ข3 กำลังไฟฟ้าของสถานีไฟฟ้าบางละมุง วงจรที่ 8

เวลา (ชั่วโมง)	กำลังไฟฟ้าจริง (MW)	กำลังไฟฟ้าเสมือน (MVAR)
0:00	6.89	2.65
0:30	6.61	2.57
1:00	6.27	2.26
1:30	6.14	2.29
2:00	5.96	2.25
2:30	5.86	2.28
3:00	5.67	2.25
3:30	5.63	2.22
4:00	5.42	2.09
4:30	5.38	2.07
5:00	5.34	2.13
5:30	5.34	2.19
6:00	5.40	2.13
6:30	5.22	1.99
7:00	5.05	1.83
7:30	5.24	1.96
8:00	5.50	2.12
8:30	5.53	2.16
9:00	5.48	2.25
9:30	5.51	2.25
10:00	5.37	2.19
10:30	5.28	2.16
11:00	5.25	2.12

ตารางผนวกที่ ข3 (ต่อ)

เวลา (ชั่วโมง)	กำลังไฟฟ้าจริง (MW)	กำลังไฟฟ้าเสมือน (MVAR)
11:30	5.16	2.13
12:00	5.11	2.02
12:30	4.97	1.89
13:00	5.13	2.00
13:30	5.16	2.12
14:00	5.26	2.09
14:30	5.25	2.10
15:00	5.29	2.16
15:30	5.35	2.19
16:00	5.32	2.18
16:30	5.29	2.20
17:00	5.26	2.10
17:30	5.21	2.16
18:00	5.26	2.34
18:30	5.93	2.99
19:00	6.60	3.48
19:30	6.89	3.54
20:00	7.05	3.58
20:30	7.21	3.52
21:00	7.34	3.42
21:30	7.50	3.39
22:00	7.43	3.15
22:30	7.43	3.06
23:00	7.24	2.83
23:30	7.11	2.76

กำลังไฟฟ้าของสถานีไฟฟ้าบางละมุง วงจรที่ 9 ในตลอดระยะเวลาหนึ่งวัน ที่นำมาเป็น
โหลดประกอบการรันโหลดโพล์ถูกแสดงไว้ในตารางผนวกที่ ข4

ตารางผนวกที่ ข4 กำลังไฟฟ้าของสถานีไฟฟ้าบางละมุง วงจรที่ 9

เวลา (ชั่วโมง)	กำลังไฟฟ้าจริง (MW)	กำลังไฟฟ้าเสมือน (MVAR)
0:00	9.14	3.50
0:30	8.85	3.42
1:00	8.54	3.09
1:30	8.30	3.03
2:00	8.11	3.02
2:30	7.95	2.94
3:00	7.89	3.00
3:30	7.67	2.94
4:00	7.30	2.71
4:30	7.16	2.67
5:00	7.06	2.64
5:30	6.89	2.74
6:00	6.64	2.60
6:30	6.60	2.51
7:00	6.67	2.45
7:30	6.69	2.58
8:00	6.92	2.68
8:30	6.99	2.74
9:00	7.28	2.90
9:30	7.32	2.93
10:00	7.06	2.83
10:30	7.01	2.83
11:00	6.92	2.81

ตารางผนวกที่ ข4 (ต่อ)

เวลา (ชั่วโมง)	กำลังไฟฟ้าจริง (MW)	กำลังไฟฟ้าเสมือน (MVAR)
11:30	7.03	2.86
12:00	6.93	2.77
12:30	6.67	2.54
13:00	6.76	2.67
13:30	6.73	2.68
14:00	6.77	2.67
14:30	6.67	2.65
15:00	6.67	2.67
15:30	6.57	2.65
16:00	6.56	2.68
16:30	6.41	2.68
17:00	6.34	2.63
17:30	6.25	2.70
18:00	6.40	2.90
18:30	6.99	3.58
19:00	7.66	4.10
19:30	8.06	4.18
20:00	8.63	4.39
20:30	8.91	4.41
21:00	9.21	4.35
21:30	9.44	4.34
22:00	9.73	4.16
22:30	9.67	3.99
23:00	9.66	3.81
23:30	9.56	3.66

กำลังไฟฟ้าของสถานีไฟฟ้าบางละมุง วงจรที่ 10 ในตลอดระยะเวลาหนึ่งวัน ที่นำมาเป็น
โหลดประกอบการรันโหลดโพล์ถูกแสดงไว้ในตารางผนวกที่ ข5

ตารางผนวกที่ ข5 กำลังไฟฟ้าของสถานีไฟฟ้าบางละมุง วงจรที่ 10

เวลา (ชั่วโมง)	กำลังไฟฟ้าจริง (MW)	กำลังไฟฟ้าเสมือน (MVAR)
0:00	8.15	3.32
0:30	7.70	3.07
1:00	7.50	2.87
1:30	7.28	2.78
2:00	7.18	2.76
2:30	7.14	2.78
3:00	6.99	2.73
3:30	6.96	2.68
4:00	6.79	2.52
4:30	6.83	2.49
5:00	6.82	2.57
5:30	6.93	2.70
6:00	6.72	2.61
6:30	6.61	2.52
7:00	6.89	2.64
7:30	7.25	2.81
8:00	7.40	2.99
8:30	7.70	3.15
9:00	7.69	3.19
9:30	7.77	3.13
10:00	8.43	3.51
10:30	8.21	3.51
11:00	8.50	3.48

ตารางผนวกที่ ข5 (ต่อ)

เวลา (ชั่วโมง)	กำลังไฟฟ้าจริง (MW)	กำลังไฟฟ้าเสมือน (MVAR)
11:30	8.22	3.51
12:00	8.05	3.41
12:30	7.93	3.23
13:00	7.93	3.35
13:30	7.95	3.42
14:00	7.73	3.26
14:30	7.70	3.31
15:00	7.67	3.32
15:30	7.72	3.31
16:00	7.66	3.34
16:30	7.64	3.38
17:00	7.43	3.23
17:30	7.47	3.28
18:00	7.73	3.52
18:30	8.15	3.83
19:00	8.33	4.00
19:30	8.54	4.10
20:00	8.43	4.02
20:30	8.54	4.03
21:00	8.41	3.86
21:30	8.43	3.74
22:00	8.46	3.67
22:30	8.40	3.58
23:00	8.40	3.42
23:30	8.08	3.23

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ-นามสกุล	นายบัณฑิต เพียดา
วัน เดือน ปี ที่เกิด	26 กรกฎาคม 2524
สถานที่เกิด	จังหวัดขอนแก่น
ประวัติการศึกษา	วศ.บ. (วิศวกรรมไฟฟ้า) จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	ผู้ช่วยหัวหน้าแผนก
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	กองมาตรฐานระบบไฟฟ้า การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ทุนโครงการความร่วมมือทางวิชาการและพัฒนาผู้เชี่ยวชาญระหว่างการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคและมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์