

การพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค
เขต 1 (ภาคใต้) ด้วยการเรียนรู้เชิงลึก
LOAD DEMAND FORECASTING FOR THE PROVINCIAL
ELECTRICITY AUTHORITY AREA 1 (SOUTH)
UTILIZING DEEP LEARNING METHODS

สันติพงษ์ คงแก้ว

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและการควบคุม

อัตโนมัติ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2567

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเขต 1
(ภาคใต้) ด้วยการเรียนรู้เชิงลึก
LOAD DEMAND FORECASTING FOR THE PROVINCIAL ELECTRIC
ITY AUTHORITY AREA 1 (SOUTH) UTILIZING DEEP LEARNING
METHODS

ชื่อ - นามสกุล

นายสันติพงษ์ คงแก้ว

สาขาวิชา

วิศวกรรมไฟฟ้าและการควบคุมอัตโนมัติ

อาจารย์ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ ดร. บุญยัง ปลั่งกลาง

ปีการศึกษา

2567

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. อนุวัตร พันธคง)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มณฑล นาวงษ์)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. บุญยัง ปลั่งกลาง)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. บุญยัง ปลั่งกลาง)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับ
นี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร. สรพงษ์ ภาสุปรีดิ์)

...../...../.....

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เขต 1 (ภาคใต้) ด้วยการเรียนรู้เชิงลึก
ชื่อ - นามสกุล	นายสันติพงษ์ คงแก้ว
สาขาวิชา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.บุญยัง ปลั่งกลาง Dr.-Ing.
ปีการศึกษา	2567

บทคัดย่อ

ในระบบไฟฟ้านั้นเสถียรภาพของระบบไฟฟ้าเป็นสิ่งสำคัญเพื่อเป็นการเพิ่มความมั่นคงของพลังงานไฟฟ้าจึงจำเป็นต้องพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าล่วงหน้าซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการวางแผนผลิตไฟฟ้าให้มีไฟฟ้าเพียงพอต่อผู้ใช้ไฟฟ้า ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์ศึกษาและสร้างการเรียนรู้เชิงลึกสำหรับการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการศึกษาวิธีการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าด้วยการเรียนรู้เชิงลึก รูปแบบการพยากรณ์รายเดือน โดยใช้ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเขต 1 (ภาคใต้) เปรียบเทียบประสิทธิภาพวิธีการพยากรณ์ของโมเดลการเรียนรู้เชิงลึก ทั้ง 3 โมเดล คือ LSTM, GRU และ BiLSTM ด้วยการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าคลาดเคลื่อน ทั้ง 3 ค่า คือ ค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAE) ค่าเปอร์เซ็นต์ค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE) และค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองของค่าคลาดเคลื่อน (RMSE)

ผลการศึกษาพบว่าการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าด้วยการเรียนรู้เชิงลึก ที่มีการเปรียบเทียบประสิทธิภาพและความคลาดเคลื่อน ของโมเดลการเรียนรู้เชิงลึก ทั้ง 3 โมเดล พบว่า โมเดลการเรียนรู้เชิงลึก LSTM มีประสิทธิภาพและความผิดพลาดในการพยากรณ์ต่ำที่สุด โดยมีค่า MAE เท่ากับ 457.46 ล้านหน่วย ค่า MAPE เท่ากับ 3.46% และค่า RMSE เท่ากับ 531.33 ล้านหน่วย ดังนั้นจากการวิเคราะห์ข้อมูลของโมเดลการเรียนรู้เชิงลึก LSTM แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าได้อย่างแม่นยำและมีประสิทธิภาพมากที่สุด

คำสำคัญ : การเรียนรู้เชิงลึก, โครงข่ายประสาทเทียม, การพยากรณ์ระยะสั้น, การพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้า

Thesis Title	LOAD DEMAND FORECASTING FOR THE PROVINCIAL ELECTRICITY AUTHORITY AREA 1 (SOUTH) UTILIZING DEEP LEARNING METHODS
Name - Surname	Mr. SANTIPHONG KHONGKAE0
Major Subject	Electrical Engineering and Automation Control
Thesis Advisor	Associate Professor Boonyang Plangklang , Dr.-Ing.
Academic Year	2024

ABSTRACT

The stability of power systems is a critical factor in ensuring reliable electricity supply. Accurate load demand forecasting plays an important role in enhancing system stability and this is very essential for effective power generation planning, ensuring that sufficient electricity is available to meet consumer needs. This study focused on the development and application of deep learning models for load demand forecasting using a computer program.

This thesis investigated the application of deep learning methodologies to forecast monthly electricity demand, utilizing historical demand data from the Provincial Electricity Authority Area 1 (South). Three deep learning models, Long Short-Term Memory (LSTM), Gated Recurrent Unit (GRU) and Bidirectional Long Short-Term Memory (BiLSTM) were evaluated and compared. The performances of these models were assessed using three error methods: Mean Absolute Error (MAE), Mean Absolute Percentage Error (MAPE) and Root Mean Square Error (RMSE).

The findings indicated that the LSTM model was the best among three models, having achieved the highest forecasting accuracy and the lowest error rates. Specifically, the LSTM model achieved the MAE of 457.46 million units, MAPE of 3.46% and RMSE of 531.33 million units. This study highlights the potential of deep learning methods, particularly LSTM, in improving the accuracy of load demand forecasting.

keywords : deep learning, neural network, short-term forecasting, load demand forecasting



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ไปได้ด้วยดี เพราะได้รับความอนุเคราะห์ความช่วยเหลือและให้คำปรึกษาจาก รองศาสตราจารย์ ดร.บุญยัง ปลั่งกลาง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้ความรู้ที่คอยเป็นห่วงเอาใจใส่ ให้คำแนะนำและให้ความรู้ทั้งทางด้านทฤษฎีและปฏิบัติ ในการทำวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จไปได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์เป็นอย่างสูงและกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.ณฐภัทร พันธุ์คง และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนทล นาวงษ์ กรรมการสอบ ที่กรุณาให้คำแนะนำและแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์

ขอขอบพระคุณการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เขต 1 (ภาคใต้) สำหรับข้อมูลทำวิจัยและวิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย สำหรับอุปกรณ์เครื่องมือทดลองวิจัย เพื่อให้เกิดผลการทดลองและนำมาจัดทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ครูบาอาจารย์ และครอบครัวที่รักของผู้ทำวิจัยที่ให้การสนับสนุนมาโดยตลอดจนสำเร็จการศึกษา ตลอดจนเพื่อน ๆ พี่ๆ น้อง ๆ ที่ให้กำลังใจเสมอมา

สันติพงษ์ คงแก้ว



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ณ
คำอธิบายสัญลักษณ์และตัวย่อ	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย.....	2
1.3 สมมุติฐานการวิจัย	2
1.4 ขอบเขตการวิจัย.....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 บทนำ.....	4
2.2 การพยากรณ์.....	4
2.3 การเรียนรู้เชิงลึก	6
2.4 ความต้องการไฟฟ้า.....	16
2.5 โปรแกรม MATLAB	18
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	20
2.7 บทสรุป	21

บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	22
3.1 บทนำ.....	22
3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	22
3.3 ข้อมูลหน่วยการใช้ไฟฟ้า ที่ใช้ในการวิจัย.....	23
3.4 การสร้างแบบจำลองการเรียนรู้เชิงลึก	27
3.5 การสร้างและจำลองการเรียนรู้เชิงลึก.....	28
3.6 วิธีการเรียนรู้ของแบบจำลองเรียนรู้เชิงลึก.....	31
3.7 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการพยากรณ์.....	34
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	36
4.1 บทนำ.....	36
4.2 การทดลองพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้า.....	36
4.3 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพ.....	40
4.4 สรุปผล.....	52
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	53
5.1 บทนำ.....	53
5.2 สรุปผลการวิจัย.....	53
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	54
บรรณานุกรม.....	55
ภาคผนวก ก ข้อมูลหน่วยผู้ใช้ไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเขต 1 (ภาคใต้).....	57
ภาคผนวก ข ผลงานตีพิมพ์.....	76
ประวัติผู้เขียน.....	82

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 ผู้ใช้ไฟฟ้าที่จำแนกตามบริบทองค์กร	23
ตารางที่ 3.2 ค่าตัวแปรของแบบจำลอง LSTM	31
ตารางที่ 3.3 ค่าตัวแปรของแบบจำลอง GRU	32
ตารางที่ 3.4 ค่าตัวแปรของแบบจำลอง BiLSTM	33
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองค่าคลาดเคลื่อนของแบบจำลอง LSTM	40
ตารางที่ 4.2 การคำนวณค่าคลาดเคลื่อนของแบบจำลอง LSTM การทดลองครั้งที่ 1	42
ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองค่าคลาดเคลื่อนของแบบจำลอง GRU	43
ตารางที่ 4.4 การคำนวณค่าคลาดเคลื่อนของแบบจำลอง GRU การทดลองครั้งที่ 1	45
ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองค่าคลาดเคลื่อนของแบบจำลอง BiLSTM	46
ตารางที่ 4.6 การคำนวณค่าคลาดเคลื่อนของแบบจำลอง BiLSTM การทดลองครั้งที่ 1	48
ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองจับเวลาประมวลผลพยากรณ์ของแบบจำลอง	49
ตารางที่ 4.8 ผลการทดลองค่าคลาดเคลื่อนของแบบจำลอง	50
ตารางที่ 4.9 ผลการทดลองค่าเวลาในการประมวลผลของแบบจำลอง	51

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 วิธีการพยากรณ์ [9].....	4
รูปที่ 2.2 โครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียม [11].....	6
รูปที่ 2.3 ภาพรวมของการเรียนรู้เชิงลึก [13].....	7
รูปที่ 2.4 โครงสร้างของ Deep Neural Network [14].....	8
รูปที่ 2.5 โครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมคอนโวลูชัน [15].....	9
รูปที่ 2.6 การทำคอนโวลูชัน [16].....	9
รูปที่ 2.7 การทำคอนโวลูชันแบบกว้าง (Wide Convolution).....	10
รูปที่ 2.8 การทำคอนโวลูชันขนาด 5 x 5 ตัวกรองขนาด 3 x 3 และข้ามเป็น 2.....	10
รูปที่ 2.9 ตัวอย่างขั้นตอนการเลือกค่าที่มากที่สุด [17].....	11
รูปที่ 2.10 โครงสร้างขั้นตอนการเชื่อมโยงเต็มรูปแบบ [18].....	11
รูปที่ 2.11 โครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมวงกลับ [19].....	12
รูปที่ 2.12 โครงสร้างของหน่วยความจำระยะสั้นแบบยาว [19].....	13
รูปที่ 2.13 โครงสร้างของหน่วยเวียนกลับแบบมีประตู [12].....	14
รูปที่ 2.14 โครงสร้างของหน่วยความจำระยะสั้นแบบยาวแบบสองทิศทาง [20].....	16
รูปที่ 2.15 การใช้ไฟฟ้ารายเขตพื้นที่ [2].....	17
รูปที่ 2.16 ความต้องการไฟฟ้าของ กฟภ. [21].....	17
รูปที่ 2.17 โปรแกรม MATLAB R2020a และหน้าต่างทำงานหลัก.....	18
รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	23
รูปที่ 3.2 ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้า ปี พ.ศ. 2561.....	24
รูปที่ 3.3 ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้า ปี พ.ศ. 2562.....	24
รูปที่ 3.4 ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้า ปี พ.ศ. 2563.....	25

รูปที่ 3.5 ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้า ปี พ.ศ. 2564	25
รูปที่ 3.6 ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้า ปี พ.ศ. 2565	26
รูปที่ 3.7 ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้า ปี พ.ศ. 2566	26
รูปที่ 3.8 กระบวนการทำงานของเทคนิคการพยากรณ์ [24].....	27
รูปที่ 3.9 ตัวอย่างโปรแกรมที่ใช้สร้างสำหรับจำลองในแบบจำลอง LSTM	28
รูปที่ 3.10 ตัวอย่างข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้า ปี พ.ศ. 2566 (ม.ค. - ต.ค.).....	30
รูปที่ 3.11 การจัดเรียงข้อมูลในแถวของข้อมูลในแนวนอน	30
รูปที่ 4.1 ข้อมูลผู้ใช้ไฟฟ้าทั้งหมดของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเขต 1 (ภาคใต้).....	36
รูปที่ 4.2 ผลลัพธ์การฝึกเรียนรู้และทดสอบของแบบจำลอง LSTM.....	37
รูปที่ 4.3 ผลลัพธ์การเปรียบเทียบค่า ของแบบจำลอง LSTM.....	37
รูปที่ 4.4 ผลลัพธ์การฝึกเรียนรู้และทดสอบของแบบจำลอง GRU.....	38
รูปที่ 4.5 ผลลัพธ์การเปรียบเทียบค่า ของแบบจำลอง GRU	38
รูปที่ 4.6 ผลลัพธ์การฝึกเรียนรู้และทดสอบของแบบจำลอง BiLSTM	39
รูปที่ 4.7 ผลลัพธ์การเปรียบเทียบค่า ของแบบจำลอง BiLSTM.....	39
รูปที่ 4.8 ผลลัพธ์การทดลองพยากรณ์ส่วนของการทดลองครั้งที่ 1 ของแบบจำลอง LSTM.....	41
รูปที่ 4.9 ผลลัพธ์ค่าคลาดเคลื่อนส่วนของการทดลองครั้งที่ 1 ของแบบจำลอง LSTM.....	41
รูปที่ 4.10 ผลลัพธ์การทดลองพยากรณ์ส่วนของการทดลองครั้งที่ 1 ของแบบจำลอง GRU.....	44
รูปที่ 4.11 ผลลัพธ์ค่าคลาดเคลื่อนส่วนของการทดลองครั้งที่ 1 ของแบบจำลอง GRU.....	44
รูปที่ 4.12 ผลลัพธ์การทดลองพยากรณ์ส่วนของการทดลองครั้งที่ 1 ของแบบจำลอง BiLSTM	47
รูปที่ 4.13 ผลลัพธ์ค่าคลาดเคลื่อนส่วนของการทดลองครั้งที่ 1 ของแบบจำลอง BiLSTM	47
รูปที่ 4.14 การเปรียบเทียบค่าคลาดเคลื่อน MAE RMSE	50
รูปที่ 4.15 การเปรียบเทียบค่าคลาดเคลื่อน MAPE	51
รูปที่ 4.16 การเปรียบเทียบค่าเวลาในการประมวลผลของแบบจำลอง	52

คำอธิบายสัญลักษณ์และตัวย่อ

<i>DL</i>	การเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning)
<i>LSTM</i>	หน่วยความจำระยะสั้นแบบยาว (Long Short-Term Memory)
<i>GRU</i>	หน่วยเวียนกลับแบบมีประตู (Gated Recurrent Units)
<i>BiLSTM</i>	หน่วยความจำระยะสั้นแบบยาวแบบสองทิศทาง (Bi-directional Long Short-Term Memory)
<i>CNN</i>	เครือข่ายประสาทเทียมคอนโวลูชัน (Convolutional Neural Networks)
<i>RNN</i>	เครือข่ายประสาทเทียมแบบวนกลับ (Recurrent Neural Network)
<i>AI</i>	ปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence)
<i>Neural Network(m,n)</i>	ผลลัพธ์ของแบบจำลองโครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียม
<i>activation</i>	ฟังก์ชันที่ใช้ในการแปลงค่าที่ได้จากการคำนวณค่าน้ำหนักของโครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียม
<i>MAE</i>	ค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย
<i>MAPE</i>	ค่าเปอร์เซ็นต์ค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย
<i>RMSE</i>	ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองของค่าคลาดเคลื่อน
W_{mm}	ค่าน้ำหนักของ Node ในโครงข่ายประสาทเทียม
i_n	ค่า Input ของโครงข่ายประสาทเทียม
b_m	ค่า bias ของโครงข่ายประสาทเทียม
s_t	ค่าของชั้นซ่อนที่ช่วงเวลา t
σ	ฟังก์ชันกระตุ้นซิกมอยด์
W	ค่าน้ำหนักที่ใช้คูณกับข้อมูลชั้นซ่อนที่ช่วงเวลา $t-1$
U	ค่าน้ำหนักที่ใช้คูณกับข้อมูลนำเข้าที่ช่วงเวลา t
x_t	ค่าข้อมูลนำเข้าที่ช่วงเวลา t
b	ค่าไบแอส
i_t	ผลลัพธ์ที่ได้จาก Input Gate
W_i	ค่าถ่วงน้ำหนักสำหรับคำนวณในอินพุตเกต
h_{t-1}	ค่า Hidden State จากการคำนวณในหน่วยเวลาก่อนหน้า
b_i	ค่าไบแอสที่ใช้ในการคำนวณในอินพุตเกต
f_t	ผลลัพธ์จากฟังก์ชันที่ได้จากฟอร์เกตเกต
$\tanh$	ฟังก์ชัน Hyperbolic tangent
W_c	ค่าถ่วงน้ำหนักสำหรับคำนวณใน Memory Network
W_f	ค่าถ่วงน้ำหนักสำหรับคำนวณใน Forget Gate
c_t	ค่า Memory Network ในช่วงหน่วยเวลา
b_f	ค่าไบแอสที่ใช้ในการคำนวณในฟอร์เกตเกต

b_o	ค่าไบแอสที่ใช้ในการคำนวณในเอาต์พุตเกต
c_{t-1}	ค่า Memory Network ที่ได้จากการคำนวณในหน่วยเวลาก่อนหน้า
o_t	ผลลัพธ์ที่ได้จากเอาต์พุตเกต
z_t	ข้อมูลที่ได้จากฮัพเตตเกต
h_t	ค่า Hidden State จากการคำนวณ
b_z	ค่าไบแอสที่ใช้ในการคำนวณในฮัพเตตเกต
$\bar{h}_t$	ค่าลำดับข้อมูลไปข้างหน้า
$\bar{h}_t$	ค่าลำดับข้อมูลไปข้างหลัง
y_t	ผลลัพธ์ที่ได้จาก Output Gate
y_i	ค่าที่แท้จริง ณ เวลาที่ i
$\hat{y}_i$	ค่าพยากรณ์จากแบบจำลอง ณ เวลาที่ i
n	จำนวนเวลาที่ใช้ในการพยากรณ์แบบจำลอง



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในยุคปัจจุบันพลังงานไฟฟ้ามีบทบาทสำคัญในทุกกิจกรรมประจำวันของคนไทย จึงเป็นสิ่งที่ไม่ได้เป็นสังคมและเป็นฐานรากที่ขับเคลื่อนเศรษฐกิจในหลายภาคส่วน เช่น การศึกษา วิทยาศาสตร์ โทรคมนาคม ธุรกิจ และสาธารณสุข แต่เนื่องจากพลังงานไฟฟ้าไม่สามารถสำรองไว้ได้ ผู้ผลิตไฟฟ้าจำเป็นต้องรับประกันว่าการจัดหาพลังงานจะเพียงพอและต่อเนื่องเพื่อรองรับความต้องการของประชาชนตลอดเวลา ประกอบกับระบบไฟฟ้าของประเทศไทยมีการเชื่อมโยงกับประเทศเพื่อนบ้านเพียงเล็กน้อย หากเกิดปัญหาการขาดแคลนไฟฟ้าภายในประเทศก็ไม่สามารถนำเข้าไฟฟ้าจากต่างประเทศได้อย่างเพียงพอ และการก่อสร้างโรงไฟฟ้า ระบบสายส่งไฟฟ้าจากแหล่งผลิตไฟฟ้าจนถึงสถานีไฟฟ้าของระบบจำหน่ายไฟฟ้า ต้องใช้เวลานานหลายปี นับตั้งแต่ขั้นตอนของการสำรวจ การวางแผน การออกแบบ การก่อสร้าง ต้องใช้ระยะเวลาประมาณ 5-7 ปี โดยในปี 2566 [1] ประเทศไทยมีกำลังผลิตตามสัญญาในระบบไฟฟ้ารวมทั้งสิ้น 53,852 เมกะวัตต์ แยกเป็นการผลิตไฟฟ้าของ กฟผ. ร้อยละ 30, IPP (Independent Power Producer หรือภาคเอกชนรายใหญ่ที่ผลิตไฟฟ้า มีกำลังผลิตมากกว่า 90 เมกะวัตต์) ร้อยละ 33, SPP (Small Power Producer หรือภาคเอกชนรายเล็กที่ผลิตไฟฟ้า มีขนาดกำลังการผลิต 10-90 เมกะวัตต์) ร้อยละ 18, นำเข้าจากประเทศลาวและทำการแลกเปลี่ยนกับประเทศรัฐมาเลเซีย ร้อยละ 11 และ VSPP (Very Small Power Producer หรือผู้ผลิตไฟฟ้าเอกชนรายเล็กมาก) ร้อยละ 8 การผลิตไฟฟ้าส่วนใหญ่ ร้อยละ 58 ใช้ก๊าซธรรมชาติ เพิ่มขึ้นร้อยละ 12.9 เนื่องจากราคา LNG มีแนวโน้มลดลงจึงมีการนำเข้า LNG จากตลาดจอร์มาใช้ในการผลิตไฟฟ้าเพิ่มขึ้น รองลงมาใช้ถ่านหิน/ลิกไนต์ ลดลงร้อยละ 14.3 เนื่องจากโรงไฟฟ้ากลุ่มนี้มีต้นทุนการผลิตที่สูงกว่าจึงได้ลดกำลังการผลิตลงเพื่อไม่ให้กระทบต่อค่าไฟฟ้าของประชาชน และการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน เพิ่มขึ้นร้อยละ 5.9 เนื่องจากนโยบายของรัฐสำหรับการส่งเสริมพลังงานทดแทน ส่วนความต้องการด้านพลังงานกระแสไฟฟ้าสูงสุดทั้ง 3 ระบบการไฟฟ้า (รวม VSPP) เกิดขึ้นเมื่อวันเสาร์ที่ 6 พฤษภาคม 2566 เวลา 21:41 น. อยู่ที่ 34,827 เมกะวัตต์ ทำให้การใช้พลังงานเติบโตขึ้นร้อยละ 5 เมื่อเทียบกับปีที่ผ่านมา [2]

จากเศรษฐกิจเริ่มฟื้นตัวหลังจากสถานการณ์การแพร่ระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (COVID-19) ลดลงและสถานการณ์กลับสู่สภาวะปกติมากขึ้น หลายธุรกิจที่เคยหยุดดำเนินการหรือปิดตัวไป สามารถกลับมาเปิดใหม่ได้อีกครั้ง เช่น โรงงานอุตสาหกรรม ห้างสรรพสินค้า โรงแรม ร้านอาหาร และสถานบันเทิงต่าง ๆ นอกจากนี้ การเดินทางและท่องเที่ยวก็เริ่มกลับมาคึกคักมากขึ้น ทำให้เศรษฐกิจฟื้นตัว ส่งผลให้การใช้งานไฟฟ้าที่มากขึ้นในหลายๆ ภาคส่วน ซึ่งการเพิ่มขึ้นของการใช้ไฟฟ้าในทุกสาขาเศรษฐกิจนี้เป็นสัญญาณที่ดีของการฟื้นตัวทางเศรษฐกิจ [3]

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคในปี พ.ศ. 2503 มีภารกิจหลักในการเร่งดำเนินการสร้างระบบไฟฟ้าเพื่อกระจายกระแสไฟฟ้าออกไปให้ครอบคลุมทุกพื้นที่ ตั้งแต่ระดับจังหวัด อำเภอ จนถึงชุมชนชนบททั่วประเทศ ดังนั้นช่วงเริ่มต้นการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจึงต้องเร่งดำเนินงานด้วยความพยายามและตั้งใจอย่างเต็มที่ เพื่อต่อสู้กับอุปสรรคและความยากลำบาก โดยใช้เครื่องมือติดตั้ง เป็นเทคโนโลยีที่ทันสมัย

ในช่วงเวลาขณะนั้น โดยโรงไฟฟ้าได้ดำเนินการผลิตไฟฟ้าด้วยเครื่องยนต์ดีเซล และโรงไฟฟ้าหลายแห่ง จึงถูกสร้างขึ้นมาเพิ่มเพื่อใช้ผลิตไฟฟ้า สำหรับให้บริการประชาชนในแต่ละพื้นที่ โดยในด้านระบบจำหน่ายและระบบสายส่งได้มีการพัฒนาระบบไฟฟ้าเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพความมั่นคงของระบบจ่ายกระแสไฟฟ้าให้สามารถรองรับการขยายตัวด้านเศรษฐกิจ โรงงานอุตสาหกรรม ร้านค้าปลีก เป็นต้น ซึ่งกระจายตัวออกไปสู่ภูมิภาคมากขึ้น นำไปสู่โครงการก่อสร้างเชื่อมโยง ยุบโรงจักรดีเซลในระบบเดิม ที่ต้นทุนสูง ประสิทธิภาพต่ำเปลี่ยนมารับกระแสไฟฟ้าจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย [4]

สำหรับการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้ามีความสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากเป็นฐานข้อมูลหลักสำหรับการประเมินและวางแผนขยายกำลังการผลิตไฟฟ้า ระบบสายส่ง และระบบจำหน่าย เพื่อให้รองรับความต้องการไฟฟ้าในอนาคตได้อย่างเพียงพอ

โดยผู้วิจัยได้ทำการศึกษาจากงานวิจัยของ Taehyung Kang [5] ได้ทำการศึกษาการพยากรณ์ความต้องการพลังงานโดยใช้การเรียนรู้เชิงลึก ซึ่งแบบจำลองจะเป็นการพยากรณ์ความต้องการพลังงานในระยะสั้น โดยการเปรียบเทียบเพื่อหาประสิทธิภาพของแบบจำลอง CNN SVM และ ANN ผลลัพธ์ของแบบจำลองแสดงให้เห็นว่าแบบจำลอง CNN ทำงานได้ดีที่สุด

จากงานวิจัยของ Vasileios Zelios [6] ได้ทำการศึกษาการพยากรณ์โหลดไฟฟ้าแบบการเรียนรู้เชิงลึกสำหรับระบบไฟฟ้ากรีก พบว่าแบบจำลองจะเป็นการพยากรณ์ความต้องการของโหลดระยะสั้น โดยแบบจำลอง LSTM และ GRU ทั้งสองแบบจำลองทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมาก

จากงานวิจัยของ Abeysingha A.A.K.U [7] ได้ทำการศึกษาการพยากรณ์โหลด/ความต้องการไฟฟ้าในศรีลังกาโดยใช้เทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก ซึ่งได้ใช้แบบจำลอง RNN LSTM และ CNN ในการพยากรณ์ พบว่าแบบจำลอง LSTM ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพกว่า RNN และ CNN

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้มุ่งศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าโดยใช้เทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก เช่น โครงข่ายประสาทเทียมแบบวนกลับ (RNN) เพื่อให้ระบบสามารถทำนายปริมาณการใช้ไฟฟ้าในอนาคตและนำผลการพยากรณ์ไปใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาการออกแบบและการสร้างการเรียนรู้เชิงลึกสำหรับใช้ในการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้า

1.2.2 เพื่อประยุกต์ใช้การเรียนรู้เชิงลึกไปใช้เขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ในการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้า

1.2.3 เพื่อวิเคราะห์ผลการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึก

1.3 สมมุติฐานการวิจัย

1.3.1 งานวิจัยนี้จะศึกษาการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้า โดยการใช้ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเขต 1 (ภาคใต้)

1.3.2 นำข้อมูลมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้ากับความต้องการใช้ไฟฟ้า

1.4 ขอบเขตการวิจัย

1.4.1 ศึกษาและออกแบบการเรียนรู้เชิงลึกเพื่อการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้า โดยใช้ข้อมูลของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเขต 1 (ภาคใต้) เป็นกรณีศึกษา

1.4.2 เขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้า โดยใช้การเรียนรู้เชิงลึกและทดสอบการทำงานของโปรแกรม

1.4.3 ประสิทธิภาพของแบบจำลองโดยการประเมินค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยที่เกิดจากการพยากรณ์ในแต่ละช่วงเวลาล่วงหน้า

1.4.4 วิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกของหน่วยความจำระยะสั้นแบบยาว (Long Short-Term Memory: LSTM) หน่วยเวียนกลับแบบมีประตู (Gated Recurrent Units: GRU) และหน่วยความจำระยะสั้นแบบยาวแบบสองทิศทาง (Bi-directional Long Short-Term Memory: BiLSTM) โดยใช้ข้อมูลชุดเดียวกันในการเปรียบเทียบ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 สามารถปรับปรุงประสิทธิภาพในการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเขต 1 (ภาคใต้) ได้

1.5.2 สามารถช่วยในการบริหารจัดการระบบไฟฟ้าได้

1.5.3 สามารถลดโอกาสที่ไฟฟ้าจะดับได้

1.5.4 สามารถนำแนวคิงานวิทยานิพนธ์นี้ไปประยุกต์ใช้กับข้อมูลอื่น ๆ ในลักษณะเดียวกัน



บทที่ 2

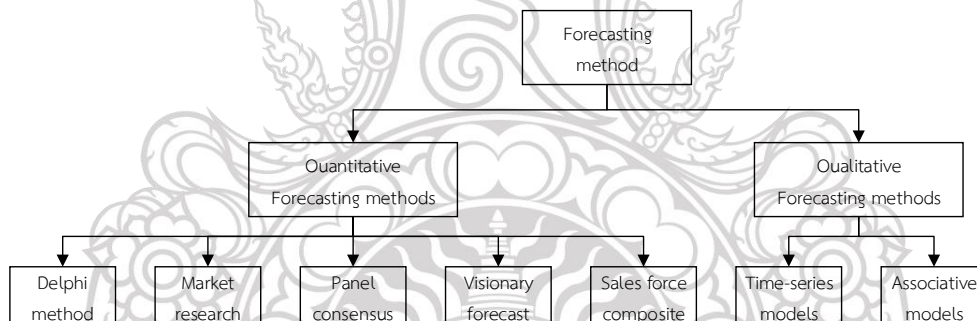
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

บทนี้จะนำเสนอการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ในการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าด้วยการเรียนรู้เชิงลึก โดยการใช้ฟังก์ชันของปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence: AI) ที่เลียนแบบการประมวลผลข้อมูลตามแบบสมองมนุษย์และสร้างรูปแบบการพยากรณ์ การประเมินเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกสำหรับพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าเพื่อให้มีประสิทธิภาพด้านความแม่นยำมากที่สุด

2.2 การพยากรณ์

การพยากรณ์ (Forecasting) คือการคาดการณ์หรือแนวโน้มของเหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้นได้ในภายภาคหน้า ใช้เป็นข้อมูลที่ผ่านขั้นตอนการประมวลผลเพื่อใช้ประกอบในการตัดสินใจ ซึ่งการพยากรณ์จะต้องดำเนินการเป็นขั้นตอนแรก ก่อนจะมีการวางแผนหรือการเตรียมการที่จะเริ่มขั้นตอนต่อไป เพื่อความถูกต้องและแม่นยำในการตัดสินใจ ดังนั้นการพยากรณ์ต่าง ๆ อาจจะนำหลายวิธีมาใช้งานขึ้นอยู่กับสถานการณ์นั้น [8] แสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 วิธีการพยากรณ์ [9]

2.2.1 ช่วงเวลาของการพยากรณ์

ช่วงเวลาของการพยากรณ์สามารถจำแนกได้ 3 ช่วง ได้แก่ ช่วงเวลาระยะสั้น ระยะกลาง และระยะยาว โดยการแบ่งจำแนกประเภทขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่ใช้ในการพยากรณ์เป็นหลัก [10]

2.2.1.1 การพยากรณ์ระยะสั้น คือการพยากรณ์เหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้นข้างหน้าไม่เกิน 1 ปี ซึ่งโดยปกตินั้นจะอยู่ในช่วงไม่เกิน 3 เดือน เช่น การพยากรณ์การวางแผนการจัดซื้อ การจัดทำตารางการทำงานและการพยากรณ์การผลิต

2.2.1.2 การพยากรณ์ระยะกลาง คือการพยากรณ์เหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้นข้างหน้าจะอยู่ในช่วง 3 เดือน ถึง 3 ปี เช่น การพยากรณ์วางแผนการขาย การพยากรณ์การวางแผนด้านงบประมาณ และการวางแผนวิเคราะห์แผนการดำเนินงาน

2.2.1.3 การพยากรณ์ระยะยาว คือการพยากรณ์เหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้นข้างหน้ามากกว่า 3 ปี โดยส่วนใหญ่จะใช้สำหรับการวางแผนการผลิตภัณฑ์ใหม่ การวางแผนลงทุนวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์

2.2.2 ประเภทของการพยากรณ์

การพยากรณ์ แบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่ การพยากรณ์เชิงคุณภาพ (Qualitative Forecasting) และการพยากรณ์เชิงปริมาณ (Quantitative Forecasting)

2.2.2.1 การพยากรณ์เชิงคุณภาพ เป็นการพยากรณ์โดยใช้วิจารณ์ญาณและประสบการณ์ของผู้เชี่ยวชาญในการทำนาย โดยไม่ต้องใช้การประมวลผลด้านคณิตศาสตร์มากนัก ทำให้เป็นที่นิยมมากกว่าแบบเชิงปริมาณ วิธีการพยากรณ์เชิงคุณภาพสามารถแบ่งออกได้ 4 วิธี ดังนี้

- 1) การสำรวจความคิดเห็นของกลุ่มผู้บริหาร เป็นเทคนิคการพยากรณ์ที่ใช้มุมมองจากผู้บริหารระดับสูงของกลุ่มเฉพาะเพื่อประมวลผลค่าพยากรณ์ในอนาคต
- 2) วิธีเดลฟาย เป็นกระบวนการรับฟังความคิดเห็นจากผู้เชี่ยวชาญอย่างซ้ำ ๆ จนได้ข้อสรุปที่เหมาะสมที่สุดจากการตรวจสอบและปรับปรุงสมมติฐานและแนวความคิดต่าง ๆ
- 3) การพยากรณ์จากพนักงานขาย เป็นวิธีการประเมินยอดขายจากพนักงานขายที่มีความใกล้ชิดกับลูกค้า ซึ่งถือเป็นแหล่งข้อมูลสำคัญในการพยากรณ์
- 4) การสำรวจตลาด เป็นวิธีพยากรณ์ที่ใช้ข้อมูลจากลูกค้าหรือกลุ่มตัวอย่างผ่านการสัมภาษณ์ เพื่อวิเคราะห์และเตรียมข้อมูลสำหรับการพยากรณ์

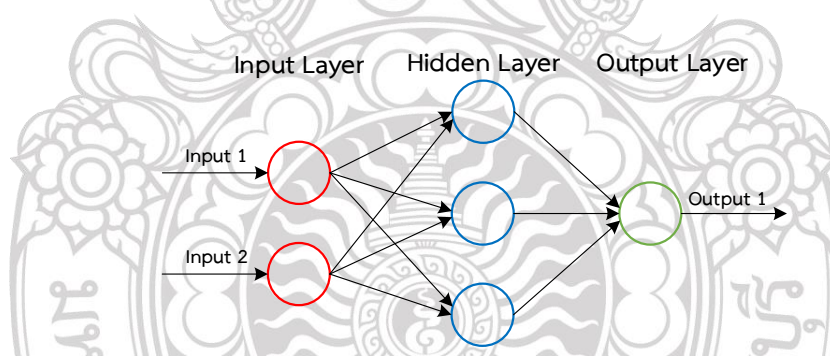
2.2.2.2. การพยากรณ์เชิงปริมาณ เป็นการพยากรณ์ที่ใช้รูปแบบทางคณิตศาสตร์เข้ามาช่วย มีการใช้ข้อมูลในอดีตมาใช้ในการพยากรณ์ วิธีการพยากรณ์เชิงปริมาณแบ่งได้ 5 วิธีดังต่อไปนี้

- 1) การพยากรณ์แบบง่าย เป็นวิธีที่ใช้หลักการที่ความต้องการสินค้าในอนาคตเท่ากับความต้องการสินค้าปัจจุบัน โดยพยากรณ์ยอดขายความต้องการในเดือนถัดไปจากยอดที่แท้จริงของเดือนก่อนหน้า
- 2) การพยากรณ์วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ เป็นวิธีใช้ข้อมูลในอดีตมาถ่วงน้ำหนักเท่า ๆ กัน เพื่อพยากรณ์ในอนาคต โดยเหมาะสำหรับข้อมูลที่มีลักษณะคงที่
- 3) การพยากรณ์วิธีการปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล เป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับข้อมูลที่ไม่เปลี่ยนแปลงมาก โดยใช้ข้อมูลในอดีตเพียงเล็กน้อยในการคำนวณพยากรณ์
- 4) การพยากรณ์วิธีการปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบซ้ำสองครั้ง เป็นการปรับวิธีเอ็กซ์โพเนนเชียลให้สามารถใช้กับข้อมูลที่มีแนวโน้ม โดยใช้ค่าคงที่ 2 ค่า ได้แก่ ค่าตัวแปรสำหรับการปรับเรียบและค่าตัวแปรสำหรับแนวโน้ม
- 5) การพยากรณ์แบบฤดูกาลของวินเทอร์ เป็นวิธีที่ใช้กับข้อมูลที่มีทั้งแนวโน้มและฤดูกาล โดยต้องใช้ข้อมูลอย่างน้อย 2 ฤดูกาล และประกอบด้วย 3 ส่วน ได้แก่ การปรับเรียบ การทำให้เป็นแนวโน้ม และการทำให้เป็นฤดูกาล

2.3 การเรียนรู้เชิงลึก

การเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning: DL) คือการเรียนรู้ที่เป็นองค์ประกอบหนึ่งของการเรียนรู้ในระบบคอมพิวเตอร์ที่สามารถเรียนรู้ได้โดยอัตโนมัติ ซึ่งผ่านอัลกอริทึมที่สามารถทำให้เครื่องจักรสามารถเรียนรู้ตัดสินใจได้ เหมือนกับการตัดสินใจของมนุษย์ โดยการเรียนรู้ของเครื่องจักรจะเป็นการประยุกต์ใช้ความรู้ด้านสถิติ มาทำการวิเคราะห์ข้อมูลและสร้างแบบจำลองสำหรับพยากรณ์ผลลัพธ์จากข้อมูล

การเรียนรู้เชิงลึกเป็นอัลกอริทึมของโครงข่ายประสาทเทียม (Neural Network) ที่ถูกพัฒนาคิดค้นมาจากการอ้างอิงกระบวนการทำงานของสมองมนุษย์ ให้ทำหน้าที่เรียนรู้ จัดจำข้อมูล และจำแนกข้อมูล ในด้านต่าง ๆ โดยที่สมองของมนุษย์มีความสามารถในการทำงานที่ซับซ้อน สามารถวิเคราะห์สิ่งต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยโครงข่ายประสาทเทียมนั้นได้ทำการจำลองการทำงานของเซลล์ประสาทขึ้นมา ซึ่งแต่ละเซลล์ประสาทได้มีเซลล์แต่ละเซลล์มีการเชื่อมต่อกันเพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการตัดสินใจ โดยจุดเด่นของสมองมนุษย์คือความสามารถของเซลล์ประสาทแต่ละเซลล์ที่สามารถเชื่อมโยงเส้นประสาทต่อกันได้อย่างครอบคลุมและกระจายตัวในการวิเคราะห์ข้อมูลให้แต่ละเซลล์ได้อย่างเป็นระบบที่ชัดเจน ซึ่งโครงข่ายประสาทเทียมนั้นถูกออกแบบมาให้ทำงานในรูปแบบที่เลียนแบบสมองมนุษย์ โดยโครงข่ายประสาทเทียมนั้นได้มีกระบวนการทำงานเบื้องหลัง โดย Node เป็นหน่วยย่อยที่มีการทำงานในลักษณะใกล้เคียงกับเซลล์ประสาทของมนุษย์ ซึ่งตัว Node มีความสามารถรวมตัวกันเป็นกลุ่มที่จัดเรียงตัวเป็นชั้น ๆ ที่เรียกว่า Layer และแต่ละตัว Node มีขั้นตอนของการทำงานที่แบ่งหน้าที่ตามลำดับ Layer ตัวอย่างเช่น Input Layer, Hidden Layer และ Output Layer ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 โครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียม [11]

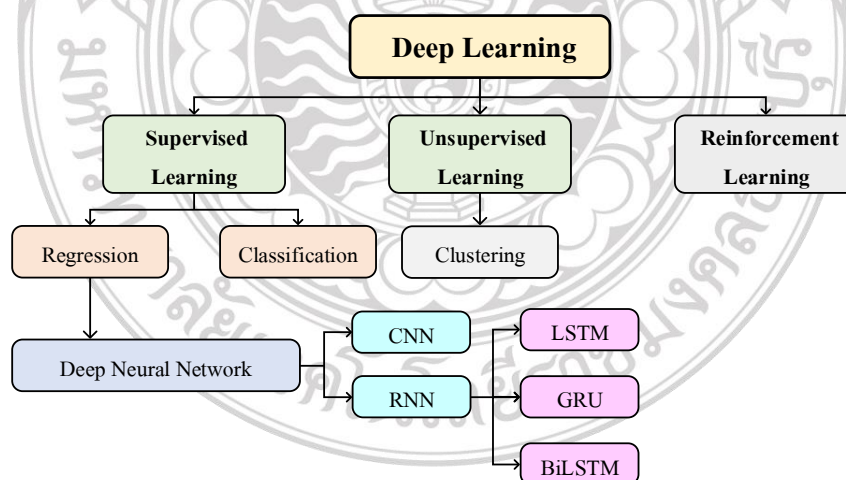
จากรูปที่ 2.2 โครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียม การทำงานของ Node นั้นมีพื้นฐานการทำงานจากทั้งในส่วนของการถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression) โดยสามารถแทนค่าได้ ในสมการที่ 2.4 โดย Node นั้นจะมีส่วนประกอบย่อยเรียกว่า Weight ซึ่งสามารถเปรียบเทียบกับค่า Intercept ในการถดถอยเชิงเส้น ที่นำมาใช้สำหรับค่าน้ำหนักที่กำหนดให้กับตัวแปรแต่ละตัว ของค่าตัวแปรแต่ละตัวที่ใช้ในการวิเคราะห์ และไบอัส ซึ่งเปรียบได้กับค่า Coefficient ในการถดถอยเชิงเส้น ซึ่งเปรียบ Node ได้เหมือนกับการทำงานของการถดถอยเชิงเส้น โดยในขั้นตอนของการฝึกสอนนั้น จะทำการฝึกสอนเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับข้อมูลที่ได้ทำการนำมาใช้ฝึกสอน จากนั้น

นำค่าพารามิเตอร์ที่นำไปใช้ในการสร้างแบบจำลองเพื่อทำการพยากรณ์ผลลัพธ์ โดยการเรียนรู้ Neural Network นั้นจะต้องทำการฝึกสอนเป็นรอบ โดย 1 รอบนั้นจะต้องทำการฝึกสอนกับข้อมูลทั้งหมดที่ใช้ในการฝึกสอน ซึ่งเรียกจำนวนรอบในการฝึกสอนว่า Epoch ดังสมการที่ 2.1

$$Neural\ Network(m,n)=activation(W_{mm}i_n+b_m) \quad (2.1)$$

เมื่อ $Neural\ Network(m,n)$	คือ ผลลัพธ์ของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม
$activation$	คือ ฟังก์ชันที่ใช้แปลงค่าที่ได้จากการคำนวณค่าน้ำหนักของโครงข่ายประสาทเทียม
W_{mm}	คือ ค่าน้ำหนักของ Node ในโครงข่ายประสาทเทียม
i_n	คือ ค่า Input ของโครงข่ายประสาทเทียม
b_m	คือ ค่า bias ของโครงข่ายประสาทเทียม

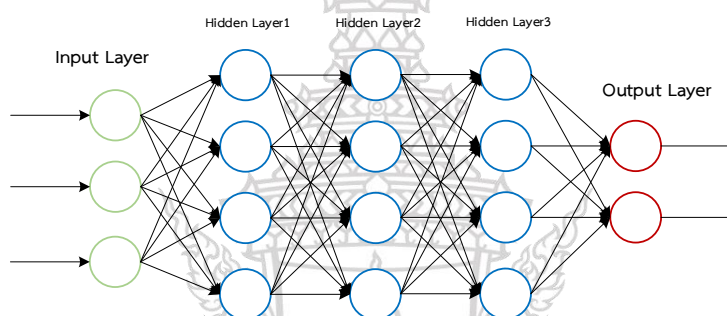
การเรียนรู้เชิงลึก เป็นการเรียนรู้ที่ใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการเรียนรู้ ซึ่งระดับการเรียนรู้สามารถจำแนกออกได้ 3 ระดับ คือ 1) การเรียนรู้แบบมีผู้สอน (Supervised Learning) หมายถึงกระบวนการที่นักพัฒนาป้อนข้อมูลและควบคุมการเรียนรู้ของปัญญาประดิษฐ์ (AI) ซึ่งข้อมูลและผลลัพธ์ที่นักวิจัยต้องการจะถูกเรียนรู้ด้วยปัญญาประดิษฐ์ที่พัฒนาขึ้นโดยนักวิจัย ผลลัพธ์คือสร้างกฎเกณฑ์ที่สามารถใช้เชื่อมโยงระหว่างข้อมูลอินพุตกับเอาต์พุต 2) การเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอน (Unsupervised Learning) หมายถึงรูปแบบการเรียนรู้ที่ไม่มีการกำหนดเอาต์พุตของข้อมูลไว้ล่วงหน้า แต่จะกำหนดโครงสร้างรูปแบบของข้อมูลที่ป้อนให้กับ AI และระบุสิ่งที่ต้องการค้นหาผลลัพธ์แทน 3) การเรียนรู้แบบเสริมกำลัง (Reinforcement Learning) หมายถึงกระบวนการเรียนรู้ที่มุ่งเน้นพัฒนาการรับรู้และการกระตุ้นให้เกิดการเรียนรู้แบบต่อเนื่องตลอดกระบวนการ [12] ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ภาพรวมของการเรียนรู้เชิงลึก [13]

จากรูปที่ 2.3 การเรียนรู้เชิงลึกแบบมีผู้สอน (Supervised Learning) สามารถแบ่งตามผลลัพธ์หรือ Output ที่ต้องการ ออกได้เป็น 2 ประเภท คือ 1) การถดถอย (Regression) และ 2) การแยกประเภท (Classification)

1) การถดถอย (Regression) เป็นการหาความสัมพันธ์เชิงสถิติระหว่างตัวแปร โมเดลหลายประเภทที่ใช้สำหรับค้นหาความสัมพันธ์ของข้อมูล แต่ที่ได้รับความนิยมคือโครงข่ายประสาทเชิงลึก (Deep Neural Network) เป็นวิธีการที่ง่ายที่สุดในการนำเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกไปใช้งาน โดยพัฒนาการนี้เป็นการต่อยอดจากโครงข่ายประสาทเทียมโดยการเพิ่มจำนวนชั้น ทำให้มีตัวแปรสำหรับแยกสิ่งที่มีคุณลักษณะได้มากขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการพยากรณ์เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งการทำงานแสดงดังรูปที่ 2.4

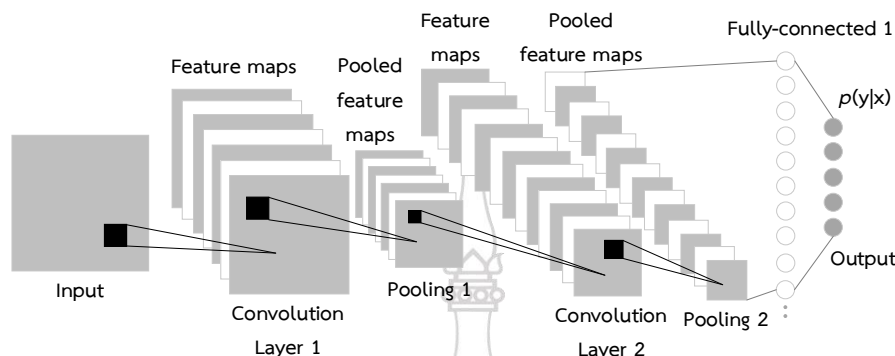


รูปที่ 2.4 โครงสร้างของ Deep Neural Network [14]

2) การแยกประเภท (Classification) เป็นเทคนิคการจำแนกที่ช่วยในการทำเหมืองข้อมูลอยู่ในกลุ่มของ Supervised Learning โดยจำเป็นต้องกำหนดวัตถุประสงค์ เพื่อให้โมเดลได้เรียนรู้จากข้อมูลที่น่าป้อนเข้ามาและสร้างผลลัพธ์ที่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ โดยผลลัพธ์ที่ได้จะอยู่ในรูปแบบของค่าที่ไม่ต่อเนื่อง (Discrete Value) สามารถทำให้ตอบคำถามที่มีการกำหนดคำตอบไว้ก่อนหน้าได้ เช่น ใช่หรือไม่ใช่ ถูกหรือไม่ถูก

2.3.1 เครือข่ายประสาทเทียมคอนโวลูชัน (Convolutional Neural Networks: CNN)

เครือข่ายประสาทเทียมเชิงลึกรูปแบบหนึ่งโดยเริ่มต้นจากการศึกษาวิจัยด้านการจดจำและวิเคราะห์ภาพ ซึ่งนิยมนำเข้าข้อมูลเป็นรูปแบบของเมทริกซ์ที่ได้จากการแปลงรูปภาพ โครงสร้างของเครือข่ายประสาทเทียมคอนโวลูชันเกิดจากการนำชั้นของเน็ตเวิร์กทั้งหมด มาประกอบเข้าด้วยกัน โครงสร้างของเครือข่ายประสาทเทียมคอนโวลูชัน ดังรูปที่ 2.5

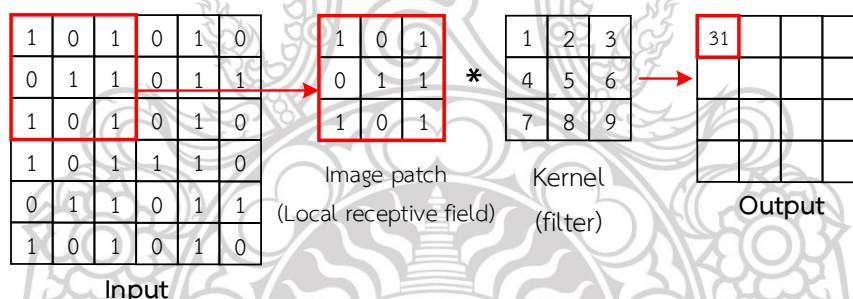


รูปที่ 2.5 โครงสร้างเครือข่ายประสาทเทียมคอนโวลูชัน [15]

โดยข้อมูลรายละเอียดของชั้นต่าง ๆ ในเครือข่ายประสาทเทียมคอนโวลูชัน

2.3.1.1 ชั้นคอนโวลูชัน (Convolutional Layer)

เป็นชั้นที่ทำหน้าที่สกัดคุณลักษณะสำคัญจากข้อมูลอินพุต โดยใช้วิธีดอทเมทริกซ์ร่วมกับตัวกรอง ซึ่งน้ำหนักของตัวกรอง จะนำมาใช้ร่วมกันในทุก ๆ การทำคอนโวลูชันของข้อมูลที่นำเข้าไป ซึ่งจะถูกกำหนดให้ข้อมูลนำเข้าแทนค่าตัวแปรลงในเมทริกซ์อินพุตและตัวกรอง แทนค่าเมทริกซ์ Kernel ซึ่งมีขนาด ความสูง (H) ความกว้าง (W) ผลลัพธ์ของการทำคอนโวลูชัน ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 การทำคอนโวลูชัน [16]

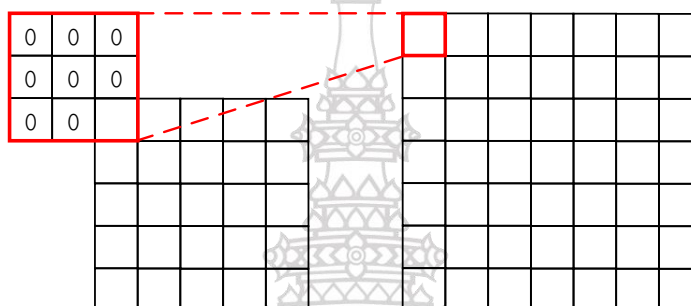
ซึ่งในการทำคอนโวลูชัน มีองค์ประกอบที่ต้องพิจารณาต่าง ๆ ดังนี้

1) ขนาดของตัวกรอง (Filter size) หมายถึง ความสูงและความกว้างของตัวกรอง ที่ใช้ในการทำคอนโวลูชัน โดยมีค่าความสูงและความกว้าง ซึ่งจากรูปที่ 2.6 ใช้ตัวกรอง ที่มีขนาด 3×3

2) ชนิดของการทำคอนโวลูชัน (Convolution Type)

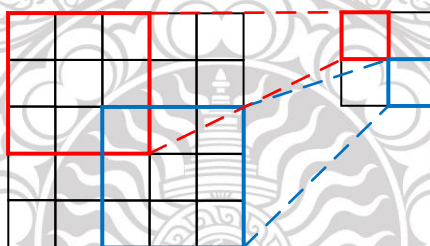
- คอนโวลูชันแบบแคบ (Narrow Convolution) โดยทั่วไปการทำคอนโวลูชันมักจะเป็นแบบแคบ ระหว่างกระบวนการคอนโวลูชัน ตัวกรองจะถูกนำมาใช้ในการดำเนินการดอทเมทริกซ์ จะไม่มีการกระโดดของเมทริกซ์ข้อมูลนำเข้า ทำให้ผลลัพธ์ที่ได้จากการทำคอนโวลูชันของข้อมูลนำเข้าที่มีขนาด $N \times N$ กับตัวกรองที่มีขนาด $M \times M$ จะได้เมทริกซ์ขนาด $(N-M+1) \times (N-M+1)$ ดัง รูปที่ 2.6

- คอนโวลูชันแบบกว้าง (Wide Convolution) เป็นการกระทำเลยขอบของเมทริกซ์ข้อมูลรับเข้าออกไป โดยพื้นที่ส่วนที่เกินออกไปนั้นจะมีการแทนค่าของข้อมูลของช่องนั้น ๆ ด้วย 0 ซึ่งเรียกว่า การเสริมผลลัพธ์ที่ได้จากการทำคอนโวลูชันของข้อมูลรับเข้าที่มีขนาด $N \times N$ กับตัวกรองที่มีขนาด $M \times M$ จะได้เมทริกซ์ขนาด $(N+M-1) \times (N+M-1)$ ทั้งนี้การทำคอนโวลูชันแบบกว้างมีขึ้นเพื่อป้องกันการสูญเสียของข้อมูลตรงบริเวณขอบของข้อมูลนำเข้า ตัวอย่างการทำคอนโวลูชันแบบกว้าง ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 การทำคอนโวลูชันแบบกว้าง (Wide Convolution)

3) ขนาดของการก้าวข้าม (Stride Size) คือข้อมูลนำเข้าที่มีจำนวนช่องของข้อมูลที่จะทำการเลื่อนไป เมื่อคำนวณผลลัพธ์จากการคอนโวลูชันในแต่ละตำแหน่ง โดยปกตินิยมใช้ขนาดของการเลื่อนข้ามเป็น 1 หรือ 2 ดังแสดงลักษณะของการทำคอนโวลูชัน ดังรูปที่ 2.8



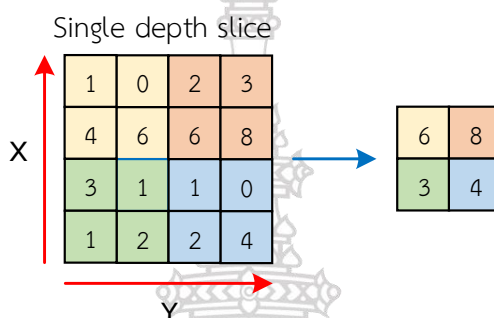
รูปที่ 2.8 การทำคอนโวลูชันขนาด 5×5 ตัวกรองขนาด 3×3 และข้ามเป็น 2

4) จำนวนตัวกรอง (Number of filter) คือ จำนวนตัวกรองที่ใช้ในแต่ละชั้นของการทำคอนโวลูชัน ซึ่งสามารถมีมากกว่าหนึ่งตัวและแต่ละตัวอาจมีน้ำหนักที่แตกต่างกัน ซึ่งการกำหนดจำนวนตัวกรองในชั้นปัจจุบัน จะเป็นการกำหนดจำนวนช่องสัญญาณในชั้นถัดไป

5) จำนวนช่องสัญญาณ (Number of channel) คือ จำนวนช่องสัญญาณหรือความลึกของข้อมูลรับเข้า

2.3.1.2 ขั้นการรวม (Pooling Layer)

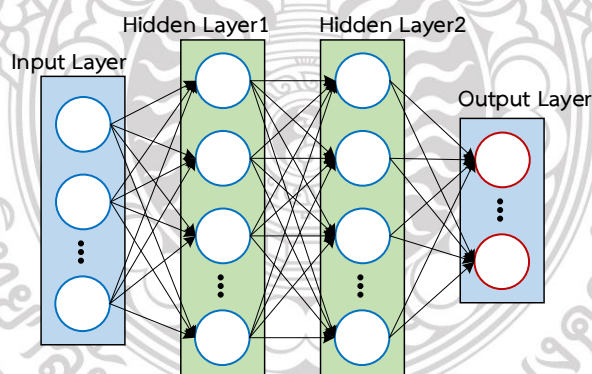
ทำหน้าที่ย่อขนาดข้อมูลเพื่อเก็บเฉพาะข้อมูลที่มีความสำคัญ ๆ ซึ่งปกติจะนิยมนำเข้าข้อมูลมาต่อกับชั้นคอนโวลชัน โดยทั่วไปนิยมใช้การเลือกข้อมูลที่มีค่ามากที่สุด (Max Pooling) หรือค่าเฉลี่ย (Average Pooling) มาจากแต่ละช่วงของเมตริกซ์ เพื่อสร้างเป็นเมตริกซ์ที่มีขนาดเล็ก แสดงดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ตัวอย่างขั้นการเลือกค่าที่มากที่สุด [17]

2.3.1.3 ขั้นการเชื่อมโยงเต็มรูปแบบ (Fully Connected Layer)

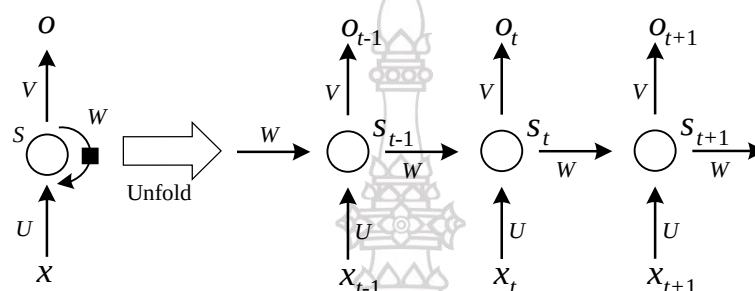
เมื่อชั้นคอนโวลชันและขั้นการรวมถูกจัดเรียงต่อเนื่องกันในจำนวนที่เหมาะสม และชั้นสุดท้ายของเครือข่ายประสาทเทียมคอนโวลชันจะเชื่อมโยงกันเต็มรูปแบบ ซึ่งในชั้นนี้จะมีเพอร์เซปตรอนประกอบด้วยชั้นย่อย ๆ หลายตัว โดยที่เพอร์เซปตรอนจะมีช่องทางพาสกับเพอร์เซปตรอนทุกตัวในชั้นและเพอร์เซปตรอนในชั้นถัดไป ทำให้สามารถคำนวณค่าการส่งต่อไปข้างหน้าและแพร่กระจายย้อนกลับได้ตามวิธีปกติในชั้นที่มีการเชื่อมต่อแบบเต็มรูปแบบ ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 โครงสร้างขั้นการเชื่อมโยงเต็มรูปแบบ [18]

2.3.1 เครือข่ายประสาทเทียมแบบวนกลับ (Recurrent Neural Network: RNN)

เป็นเครือข่ายประสาทเทียมที่ถูกออกแบบให้ประมวลผลข้อมูลที่มีตามลำดับ ทำให้เหมาะสมกับข้อมูลที่เป็นลำดับต่อเนื่อง (Sequential) ซึ่งกระบวนการเรียนรู้จะส่งข้อมูลผลลัพธ์จากช่วงก่อนหน้าไปยังช่วงถัดไปดังแสดงโครงสร้างเครือข่ายประสาทเทียม ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 โครงสร้างเครือข่ายประสาทเทียมวนกลับ [19]

เครือข่ายประสาทเทียมวนกลับ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.2 ดังนี้

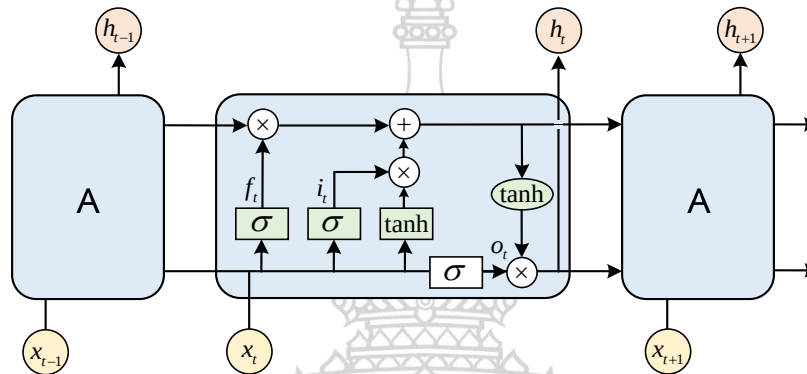
$$s_t = \sigma(Ws_{t-1} + Ux_t + b) \quad (2.2)$$

- ค่า s_t คือ ค่าของชั้นซ่อนที่ช่วงเวลา t
 σ คือ ฟังก์ชันกระตุ้น
 W คือ ค่าของน้ำหนักที่ใช้คูณกับข้อมูลชั้นซ่อนที่ช่วงเวลา $t-1$
 U คือ ค่าของน้ำหนักที่ใช้คูณกับข้อมูลนำเข้าที่ช่วงเวลา t
 x_t คือ ค่าข้อมูลนำเข้าที่ช่วงเวลา t
 b คือ ค่าไบแอส

ในการฝึกสอนเครือข่ายประสาทเทียมวนกลับ ใช้วิธีการแพร่กระจายย้อนกลับตามเวลา (Back Propagation Through Time: BPTT) ถูกนำมาใช้ในการปรับค่าของน้ำหนัก อย่างไรก็ตามวิธีนี้อาจทำให้เกิดปัญหาได้เมื่อข้อมูลนำเข้ามีความยาวของมากเกินไป เนื่องจากเกรเดียนของน้ำหนักวนกลับซึ่งแทนค่าน้ำหนักจะถูกส่งไปยังชั้นซ่อนที่อยู่ถัดไป เพื่อให้การปรับน้ำหนักเกิดข้อผิดพลาดได้ เนื่องมาจากเกรเดียนที่เกิดจากการคำนวณของลำดับก่อนหน้านี้ จะส่งผลให้มีปรับเปลี่ยนค่าเกรเดียนเลือนหาย (Vanishing Gradient) หรือเพิ่มมากเกินไปของเกรเดียนได้

2.3.2 หน่วยความจำระยะสั้นแบบยาว (Long Short-Term Memory: LSTM)

เครือข่ายประสาทเทียมที่มีการพัฒนามาเพื่อใช้แก้ปัญหาเลือนหายหรือเพิ่มมากขึ้นของเกรเดียน หากความยาวของข้อมูลนำเข้ามีเยอะเกินไป โดยใช้หน่วยความจำ (Memory) สำหรับเก็บข้อมูลและคำสั่ง เพื่อให้เครือข่ายประสาทเทียมเลือกจำข้อมูลบางชุดเท่านั้น มีโครงสร้างหน่วยความจำแสดงดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 โครงสร้างของหน่วยความจำระยะสั้นแบบยาว [19]

จากรูปที่ 2.12 สัญลักษณ์กรอบสี่เหลี่ยมตำแหน่งตรงกลางคือหน่วยความจำระยะสั้นแบบยาว (LSTM) ประกอบด้วยอินพุตเกตแทนด้วย i_t เป็นหน่วยย่อย Cell ที่กำหนดช่องทางสำหรับรับสัญญาณเข้าวิเคราะห์ โดยรับเข้าข้อมูลเพื่อทำบันทึกค่าไปยัง Cell สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.3, ฟอเกตเกต แทนด้วย f_t เป็นหน่วยย่อย Cell ที่กำหนดช่องทางสัญญาณสำหรับนำเข้าข้อมูลมาวิเคราะห์ใน Cell โดยทำการกำหนดข้อมูลนั้นควรที่จะบันทึกหรือลืมค่าข้อมูล ซึ่งสามารถกำหนดได้ ดังสมการที่ 2.4, Memory Network แทนด้วย c_t เป็นหน่วยย่อย Cell ที่กำหนดช่องทางสัญญาณสำหรับนำเข้าข้อมูลมาวิเคราะห์ใน Cell เพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับการประมวลผลในรอบถัดไป ซึ่งสามารถกำหนดได้ ดังสมการที่ 2.6 และเอาต์พุตเกต แทนด้วย o_t เป็นหน่วยย่อย Cell ที่กำหนดช่องทางสำหรับการคำนวณผลลัพธ์สัญญาณเอาต์พุต ที่มาจาก Cell จะมี 2 ช่องทาง คือเอาต์พุตและ Hidden State สำหรับประมวลผลในครั้งถัดไป ดังสมการที่ 2.7 และ 2.8

$$i_t = \sigma(W_i \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_i) \quad (2.3)$$

$$f_t = \sigma(W_f \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_f) \quad (2.4)$$

$$\tilde{c}_t = \tanh(W_c \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_c) \quad (2.5)$$

$$c_t = f_t * c_{t-1} + i_t * \tilde{c}_t \quad (2.6)$$

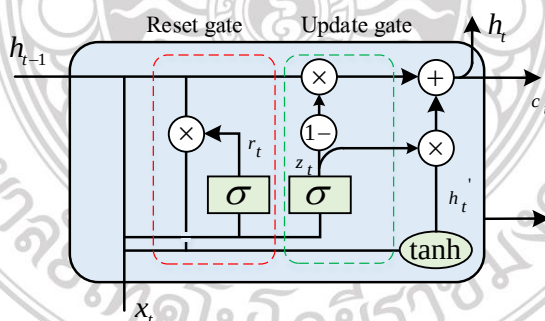
$$o_t = \sigma(W_o \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_o) \quad (2.7)$$

$$h_t = o_t * \tanh(c_t) \quad (2.8)$$

เมื่อค่า	i_t	คือ ผลลัพธ์ที่ได้จากอินพุตเกต
	σ	คือ ฟังก์ชันกระตุ้นซิกมอยด์
	W_i	คือ ค่าถ่วงน้ำหนักสำหรับคำนวณในอินพุตเกต
	h_{t-1}	คือ ค่า Hidden State จากการคำนวณในหน่วยเวลาก่อนหน้า
	x_t	คือ ค่านำเข้าข้อมูลมาคำนวณ
	b_i	คือ ค่าไบแอสที่ใช้ในการคำนวณในอินพุตเกต
	f_t	คือ ผลลัพธ์จากฟังก์ชันที่ได้จากฟอร์เกทเกต
	$\tanh$	คือ ฟังก์ชัน Hyperbolic tangent
	W_c	คือ ค่าถ่วงน้ำหนักสำหรับคำนวณใน Memory Network
	W_f	คือ ค่าถ่วงน้ำหนักสำหรับคำนวณในฟอร์เกทเกต
	c_t	คือ ค่า Memory Network ในช่วงหน่วยเวลา
	b_f	คือ ค่าไบแอสที่ใช้ในการคำนวณในฟอร์เกทเกต
	b_o	คือ ค่าไบแอสที่ใช้ในการคำนวณในเอาต์พุตเกต
	c_{t-1}	คือ ค่า Memory Network ที่ได้จากการคำนวณในหน่วยเวลาก่อนหน้า
	o_t	คือ ผลลัพธ์ที่ได้จากเอาต์พุตเกต

2.3.3 หน่วยเวียนกลับแบบมีประตู (Gated Recurrent Units: GRU)

เครือข่ายประสาทเทียมที่พัฒนามาต่อยอดมาจาก LSTM ซึ่งได้รับการพัฒนาเพื่อช่วยลดความซับซ้อนในการดำเนินงานของ LSTM เนื่องจากจำนวนหน่วยย่อยใน Cell จำนวนมาก จะมีผลต่อประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ข้อมูล โดยได้ทำการลดจำนวนด้านล่าง โดยการปรับลดองค์ประกอบย่อยภายใน Cell ให้เหลือเพียงสองส่วน แล้วสร้างส่วนใหม่ ได้แก่ ส่วนอัปเดตเกต ทำหน้าที่รวมหน่วยความจำและสถานะที่ซ่อนอยู่ของ LSTM เข้าด้วยกัน ดังรูปที่ 2.13 โดยสามารถเขียนเป็นสมการเครือข่ายประสาทเทียมด้านวกกลับ ดังนี้



รูปที่ 2.13 โครงสร้างของหน่วยเวียนกลับแบบมีประตู [12]

จากรูปที่ 2.13 ส่วนของอัปเดตเกต เป็นหน่วยย่อยของ Cell ที่ทำหน้าที่นำเข้าข้อมูลไปคำนวณเพื่อใช้กำหนดสถานะของ Cell สำหรับใช้ในการคำนวณในขั้นตอนถัดไป ซึ่งทำการคำนวณในทุกๆรอบของข้อมูลที่ได้รับเข้ามา ดังสมการที่ 2.9 และส่วนของรีเซ็ตเกต เป็นหน่วยย่อย Cell ที่หน้าที่ในการกำหนดสถานะของการเก็บข้อมูลที่ได้จากการคำนวณในครั้งที่ผ่านมาแล้วว่าควรเก็บข้อมูลมากน้อยเพียงใด ดังสมการที่ 2.10 ส่วนการคำนวณสำหรับหาค่าเอาต์พุตและ Hidden Layer ของ GRU หน่วยย่อย Cell ที่ใช้คำนวณที่แน่นอน โดยนำค่าผลลัพธ์ที่ได้จาก 2 เกต มาทำการคำนวณด้วยฟังก์ชัน tanh จากนั้นค่าที่ได้จากรีเซ็ตเกต สำหรับกำหนดค่าเดิมหรือการล้างค่าเดิมและควบคุมปริมาณของข้อมูลด้วยค่าอัปเดตเกต ดังสมการที่ 2.12

$$z_t = \sigma(W_z \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_z) \quad (2.9)$$

$$r_t = \sigma(W_r \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_r) \quad (2.10)$$

$$h'_t = \tanh(W_h \cdot [r_t * h_{t-1}, x_t] + b_h) \quad (2.11)$$

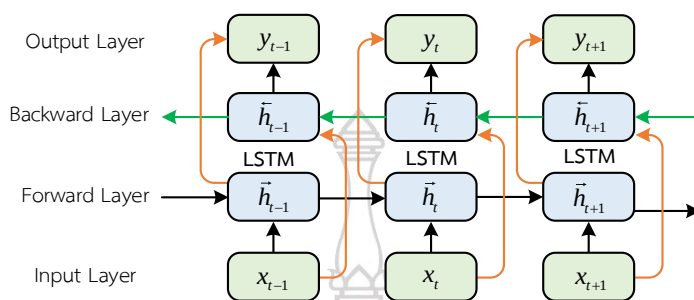
$$h_t = z_t * h_{t-1} + (1 - z_t) * h'_t \quad (2.12)$$

เมื่อค่า	z_t	คือ ข้อมูลที่ได้จากอัปเดตเกต
	σ	คือ ฟังก์ชันกระตุ้นซิกมอยด์
	f_t	คือ ผลลัพธ์จากฟังก์ชันที่ได้จากฟอร์เกตเกต
	h_t	คือ ค่า Hidden State จากการคำนวณ
	*	คือ ผลคูณแบบอาตามาร์
	b_f	คือ ค่าไบแอสที่ใช้ในการคำนวณในฟอร์เกตเกต
	b_z	คือ ค่าไบแอสที่ใช้ในการคำนวณในอัปเดตเกต

ในการทำงานของเครือข่ายประสาทเทียม GRU นั้นมีความแตกต่างจากเครือข่ายประสาทเทียม LSTM ในส่วนของการที่ Cell ของเครือข่ายประสาทเทียมแบบ GRU นั้นจะไม่ทำการเก็บค่าสถานะจากการคำนวณในครั้งก่อนหน้ามาใช้ในการวิเคราะห์

2.3.4 หน่วยความจำระยะสั้นแบบยาวแบบสองทิศทาง (Bi-directional Long Short-Term Memory: BiLSTM)

เครือข่ายประสาทเทียมที่พัฒนาสำหรับประมวลผลข้อมูลลำดับในทิศทางเดียว โดยถูกประมวลผลด้วยวิธีการแบบอนุกรม โดยใช้สองแบบจำลอง LSTM ได้แก่ แบบแรกที่นำเข้าข้อมูลอินพุตที่ไหลไปในทิศทางข้างหน้าจะถูกส่งเข้าสู่แบบจำลองแรกในขณะที่แบบจำลองที่สองรับอินพุตที่ไหลไปในทิศทางย้อนกลับ [12] ดัง รูปที่ 2.14 เพื่อแก้ไขปัญหาข้อมูลที่เลือนหายหรือมีปริมาณที่เพิ่มขึ้นของจำนวนข้อมูลนำเข้ามามากเกินไป โดยการวนซ้ำ ดังสมการต่อไปนี้



รูปที่ 2.14 โครงสร้างของหน่วยความจำระยะสั้นแบบยาวแบบสองทิศทาง [20]

จากรูปที่ 2.14 หน่วยความจำระยะสั้นแบบยาวแบบสองทิศทาง (BiLSTM) ข้อมูลนำเข้า (Input Layer) จะไหลในทิศทางทั้งสอง (forward และ backward) มีการคำนวณของข้อมูลแบบลำดับในทิศทางข้างหน้า (Forward Layer) และลำดับข้อมูลย้อนกลับไปในทิศทางข้างหลัง (Backward Layer) ส่วนลำดับการคำนวณหาค่า Output สำหรับการคำนวณผลลัพธ์สัญญาณ Output ที่มาจาก Cell สำหรับใช้ในการคำนวณครั้งถัดไป ดังสมการที่ 2.13 - 2.15

$$\bar{h}_t = \sigma(W_{\bar{h}}x_t + W_{\bar{h}}h_{t-1} + b_{\bar{h}}) \quad (2.13)$$

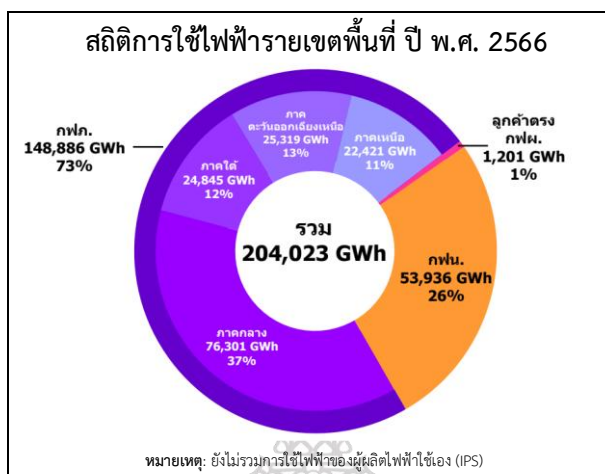
$$\bar{h}_t = \sigma(W_{\bar{h}}x_t + W_{\bar{h}}h_{t-1} + b_{\bar{h}}) \quad (2.14)$$

$$y_t = W_y \bar{h}_t + W_y \bar{h}_t + b_y \quad (2.15)$$

โดยที่ $\bar{h}_t$ คือ ค่าลำดับข้อมูลไปข้างหน้า
 $\bar{h}_t$ คือ ค่าลำดับข้อมูลไปข้างหลัง
 y_t คือ ผลลัพธ์ที่ได้จาก Output Gate

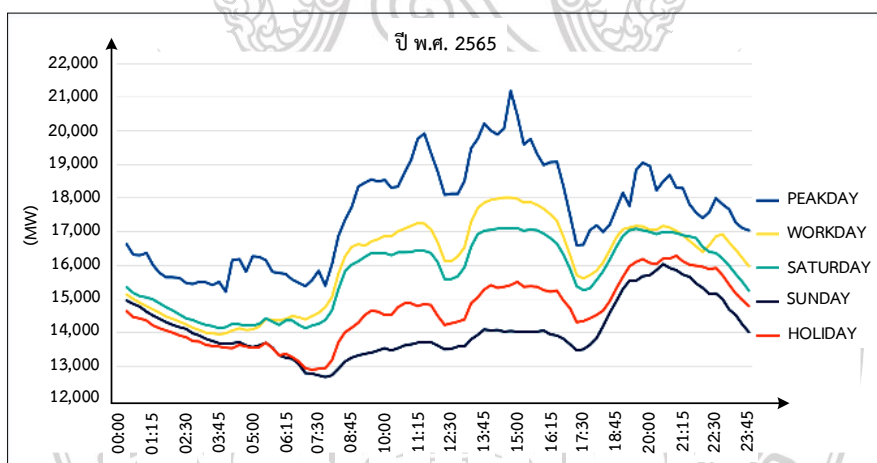
2.4 ความต้องการไฟฟ้า

ปัจจุบันการใช้ไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมมากเนื่องจากเทคโนโลยีทันสมัยใหม่ขึ้นเข้ามากระตุ้นให้มีการใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นทำให้ปริมาณใช้ไฟฟ้าของไทยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามไปด้วย โดยการใช้ในปี 2566 มีปริมาณ 204,023 GWh ซึ่งเพิ่มขึ้นร้อยละ 3.4 เมื่อเปรียบเทียบกับปีก่อน จากเศรษฐกิจที่ฟื้นตัวภายหลังเหตุการณ์โรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (covid-19) เริ่มสงบลง การใช้ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นในเกือบทุกสาขาเศรษฐกิจ ยกเว้น ภาคครัวเรือนและภาคเกษตรกรรม (สูบน้ำเพื่อการเกษตร) ทั้งนี้การใช้ไฟฟ้าในภาคอุตสาหกรรมมีสัดส่วนคิดเป็นร้อยละ 42



รูปที่ 2.15 การใช้ไฟฟ้ารายเขตพื้นที่ [2]

จากรูปที่ 2.15 การใช้ไฟฟ้าของประเทศ ปี 2566 ส่วนใหญ่เป็นการใช้ในเขตของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) ร้อยละ 73 สำหรับการไฟฟ้าในเขตของการไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) ร้อยละ 26 และการใช้ของลูกค่าตรงของ กฟผ. ร้อยละ 1 ทั้งนี้ ภูมิภาคที่มีการใช้ไฟฟ้าสูงที่สุด คือ ภาคกลาง ร้อยละ 37 รองลงมาคือภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ร้อยละ 13 ภาคใต้ ร้อยละ 12 และภาคเหนือ ร้อยละ 11 ในการใช้พลังงานไฟฟ้าทั่วประเทศ [2]



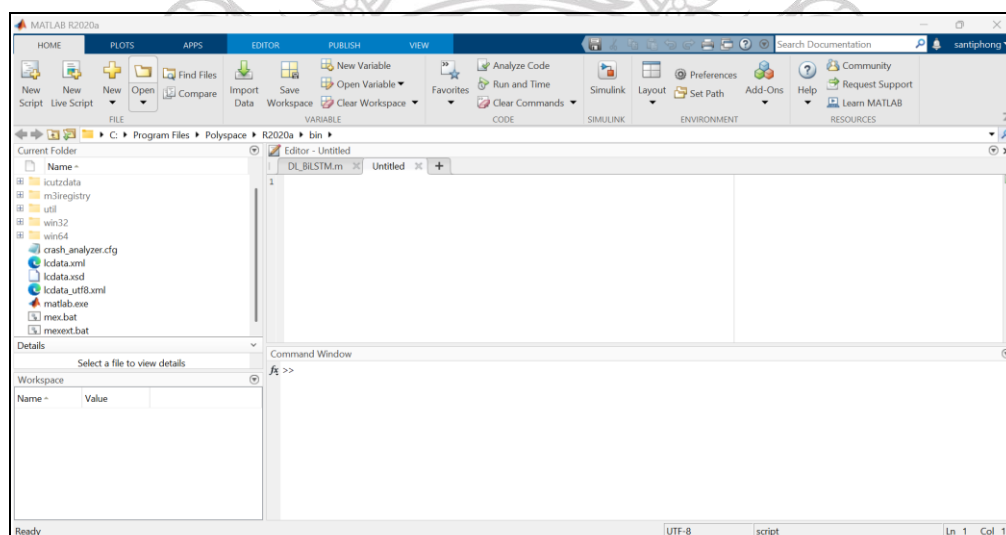
รูปที่ 2.16 ความต้องการไฟฟ้าของ กฟภ. [21]

จากรูปที่ 2.16 ความต้องการพลังงานไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) โดยภาพรวมการใช้ไฟฟ้าในปี 2565 มีปริมาณการใช้ไฟฟ้าอยู่ที่ 137,177.07 ล้านหน่วย เพิ่มขึ้นจากปีก่อนหน้าร้อยละ 2.84 แบ่งเป็นการใช้ไฟฟ้าในช่วง Peak เท่ากับ 53,673.73 ล้านหน่วย และช่วง Off Peak เท่ากับ 83,503.34 ล้านหน่วย คิดเป็นสัดส่วน Peak ต่อ Off Peak เท่ากับ 39.13 : 60.87 ซึ่งลักษณะการใช้ไฟฟ้าในรอบวันของวันทำการและวันเสาร์มีลักษณะคล้ายคลึงกัน โดยมีความต้องการ

พลังไฟฟ้ามากใน 2 ช่วงเวลา คือ เวลา 09.00 – 17.00 น. และ 19.00 – 22.00 น. โดยในเวลา 13.00 – 17.00 น. ของวันทำการมีความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดในรอบวัน ประมาณ 17,500 – 18,000 เมกะวัตต์ ในขณะที่วันอื่น ๆ ความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดในรอบวันอยู่ในช่วง 19.00 – 22.00 น. ประมาณ 15,500 – 17,000 เมกะวัตต์ โดยค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดเกิดขึ้นในวันพุธ ที่ 24 ส.ค. 2565 เวลา 14.45 น. ซึ่งเป็นวันทำการเท่ากับ 21,199.14 เมกะวัตต์ ลดลงจากปีก่อนหน้าร้อยละ 0.20 [21]

2.5 โปรแกรม MATLAB

MATLAB R2020a (Matrix Laboratory) เป็นโปรแกรมที่มีประสิทธิภาพสูงสำหรับการคำนวณเชิงตัวเลขและการสร้างภาพข้อมูล (Visualization) โดยชื่อ MATLAB ย่อมาจาก Matrix Laboratory และพัฒนาโดยบริษัท MathWorks โปรแกรมนี้เน้นการทำงานบนพื้นฐานของการคำนวณทางเมทริกซ์เป็นหลัก MATLAB รองรับทั้งโหมดการทำงานแบบโต้ตอบ ซึ่งคล้ายกับภาษา Basic ใน QBasic และโหมดคอมไพล์ (compiled mode) ที่มีลักษณะคล้ายกับภาษา C และ Pascal โปรแกรมถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้งานคำนวณด้านวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์ ที่มีประสิทธิภาพด้านการประมวลผลที่มีสมรรถนะสูง ได้รวมคำสั่งในการคำนวณตั้งแต่ระดับพื้นฐานจนถึงระดับขั้นสูงทางด้านวิศวกรรมศาสตร์ ด้านวิทยาศาสตร์ ดังนั้นผู้ใช้งานสามารถพัฒนาโปรแกรมและพัฒนาขั้นตอนวิธีได้อย่างง่าย รวดเร็ว และมีประสิทธิภาพสูง หน้าต่างของโปรแกรม แสดงดังในรูปที่ 2.17 MATLAB R2020a มีรูปแบบคำสั่ง และการใช้งานแบบเรียบง่าย ทำให้โปรแกรมได้รับความนิยมและถูกนำไปใช้งานกันหลากหลายด้าน เช่น ด้านการศึกษา วิจัย และภาคอุตสาหกรรม เป็นต้น



รูปที่ 2.17 โปรแกรม MATLAB R2020a และหน้าต่างทำงานหลัก

2.5.1 คุณลักษณะของโปรแกรม MATLAB

เป็นโปรแกรมภาษาขั้นสูงสำหรับคำนวณเชิงตัวเลข ถูกสร้างขึ้นเพื่อช่วยในการคำนวณด้านวิศวกรรมศาสตร์และวิทยาศาสตร์ ถูกนำไปประยุกต์ใช้งานในหลายๆ กลุ่มงาน คุณลักษณะพิเศษของโปรแกรม MATLAB มีรายละเอียดแสดงพอสังเขปดังนี้

สรุปคุณสมบัติพื้นฐานของโปรแกรม MATLAB ได้ดังนี้

2.5.1.1 MATLAB เป็นโปรแกรมสำหรับการคำนวณและแสดงผลได้ทั้งตัวเลขและกราฟฟิกที่มีประสิทธิภาพสูง สามารถสร้างกราฟในรูปแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ

2.5.1.2 สามารถสั่งควบคุมการทำงานของโปรแกรม MATLAB ผ่านชุดคำสั่ง Command Line และยังสามารถรวมชุดคำสั่งเป็น Script File ได้

2.5.1.3 การเขียนโปรแกรมใน MATLAB มีลักษณะคล้ายกับการเขียนสมการทางคณิตศาสตร์ จึงทำให้ใช้งานได้ง่ายกว่าการเขียนโปรแกรมด้วยภาษาขั้นสูง เช่น ภาษา C, Pascal, Fortran และภาษาอื่น ๆ

2.5.1.4 Matlab มีฟังก์ชันสำเร็จรูป สำหรับใช้งานเฉพาะทางที่หลากหลาย ผู้ใช้สามารถสร้างฟังก์ชันใหม่ได้โดยใช้อาศัยฟังก์ชันเดิมที่มีอยู่ เพื่อให้ใช้งานเหมาะสมกับงานของแต่ละกลุ่ม โดยเฉพาะผู้ใช้ที่ต้องการใช้งานฟังก์ชันขั้นสูง เช่น งานด้าน Artificial Neural Network, Control System, Image Processing, และอื่น ๆ

2.5.1.5 Matlab มีฟังก์ชันพิเศษ (function toolbox) ซึ่งเป็นชุดฟังก์ชันพิเศษที่ช่วยให้การทำงานเฉพาะทางได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.5.1.6 Matlab สามารถเชื่อมโยงหรือส่งข้อมูลแบบ Dynamic Link กับโปรแกรมอื่น ๆ ได้ เช่น โปรแกรม Excel หรือโปรแกรมที่เขียนขึ้นเองจากภาษา C หรือ Visual Basic ที่ร่วมทำงานอยู่บนระบบปฏิบัติการ Windows

2.5.1.7 โปรแกรม MATLAB ถูกพัฒนามาให้สามารถทำงานบนระบบปฏิบัติการที่หลากหลาย ได้แก่ Windows (8.1, 10 และ 11), Linux, Unix และ Mac OS โดยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นด้วย MATLAB ที่สร้างบนระบบปฏิบัติการใดก็สามารถนำไปรันบนระบบปฏิบัติการอื่นได้

2.5.1.8 โปรแกรม MATLAB ฟังก์ชันพิเศษให้เลือกใช้งานที่หลากหลาย ช่วยให้การเขียนโปรแกรมเป็นไปอย่างง่ายและสะดวกยิ่งขึ้น เช่น ผู้ใช้โปรแกรมต้องการเขียนโปรแกรมที่คำนวณทางสถิติ MATLAB จะมีฟังก์ชันเฉพาะทางหลากหลายฟังก์ชันให้ผู้พัฒนาสามารถเลือกใช้งานได้อย่างเหมาะสมตามที่ต้องการ

2.5.1.9 การแสดงผลข้อมูล MATLAB สามารถแสดงผลข้อมูลได้หลายรูปแบบ ได้แก่ แบบตัวเลข แบบรูปภาพ และแบบกราฟทั้ง 2 มิติ และ 3 มิติ ทำให้ผู้เขียนโปรแกรมสามารถแสดงผลข้อมูลที่มีความหลากหลาย และเลือกได้ตรงความต้องการของผู้ใช้งาน

จากข้อสรุปที่กล่าวมาข้างต้นเป็นเหตุผลที่ทำให้ผู้วิจัยเลือกใช้โปรแกรม MATLAB R2020a ในการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับจำลองการพยากรณ์

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่สามารถนำความรู้และสาระสำคัญมาประยุกต์ใช้กับงานวิจัย ดังแสดงการทบทวนวรรณกรรมดังนี้

จากงานวิจัยของ Taehyung Kang [5] และคณะ ได้ทำการศึกษาการพยากรณ์ความต้องการพลังงานโดยใช้การเรียนรู้เชิงลึก ซึ่งแบบจำลองจะเป็นการพยากรณ์ความต้องการพลังงานในระยะสั้นที่สามารถคาดการณ์ได้ล่วงหน้าหนึ่งวัน โดยการเปรียบเทียบเพื่อหาประสิทธิภาพของแบบจำลองด้วยกัน 2 แบบ แบบที่หนึ่ง แบบจำลอง CNN, RNN และไฮบริดที่รวมแบบจำลอง CNN กับ RNN ผลลัพธ์ของแบบจำลองแสดงให้เห็นว่าแบบจำลอง CNN มีประสิทธิภาพที่ดีกว่า และแบบที่สอง แบบจำลอง CNN, SVM และ ANN ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าแบบจำลอง CNN ทำงานได้ดีกว่า และแสดงให้เห็นว่าแบบจำลอง CNN สามารถการพยากรณ์ความต้องการพลังงานได้ดีที่สุด

จากงานวิจัยของ Vasileios Zelios [6] และคณะ ได้ทำการศึกษาการพยากรณ์โหลดไฟฟ้าแบบการเรียนรู้เชิงลึกสำหรับระบบไฟฟ้าของประเทศกรีซ พบว่าแบบจำลองของงานวิจัยจะเป็นการพยากรณ์ความต้องการของโหลดระยะสั้น ที่มีการพยากรณ์โหลดในช่วงไม่กี่ชั่วโมงไปตลอดทั้งปี โดยแบบจำลอง LSTM และ GRU ผลลัพธ์ของแบบจำลองทั้งสองแบบจำลองทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกันมาก แสดงให้เห็นว่างานวิจัยนี้ แบบจำลอง LSTM และ GRU สามารถพยากรณ์โหลดได้ดีทั้งสองแบบ

จากงานวิจัยของ Abeysingha A.A.K.U [7] และคณะ ได้ทำการศึกษาการพยากรณ์โหลด/ความต้องการไฟฟ้าในประเทศศรีลังกาใช้เทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก ซึ่งได้ใช้แบบจำลอง RNN, LSTM, CNN Linear Regression, Lasso Regression, Light GBM และ Random Forest Regression สำหรับพยากรณ์ จากการศึกษานี้พบว่าแบบจำลอง LSTM ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพกว่าแบบอื่น

จากงานวิจัยของ N. Khotsriwong [22] และคณะ ได้ทำการศึกษาการพยากรณ์ความต้องการโหลดระยะสั้นด้วยเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกแบบมีผู้สอน กรณีศึกษามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี งานวิจัยในบทความที่นำเสนอการหาประสิทธิภาพและความแม่นยำของการเรียนรู้เชิงลึกแบบมีนักพัฒนาคอยกำกับกับการเรียนรู้สำหรับการพยากรณ์ความต้องการระยะสั้น ได้ใช้ข้อมูลความต้องการโหลดไฟฟ้ารายวันและอุณหภูมิเฉลี่ยรายวัน นำมาใช้ฝึกการเรียนรู้เชิงลึก 5 แบบ เช่น CNN, GRU, BiGRU, CNN-GRU และ CNN-BiGRU เปรียบเทียบประสิทธิภาพกันแต่ละแบบจำลอง ผลการศึกษาพบว่าแบบจำลอง BiGRU ให้ความแม่นยำสูงสุด

จากงานวิจัยของ A. Muhammad [7] และคณะ ได้ทำการศึกษาการประยุกต์ใช้การเรียนรู้เชิงลึกในระบบไฟฟ้า กรณีศึกษาการพยากรณ์การแผ่รังสีจากแสงอาทิตย์ งานวิจัยนี้จะแนะนำการประยุกต์ใช้การเรียนรู้เชิงลึกที่ทันสมัยในระบบไฟฟ้าและนำเสนอกรณีศึกษาที่แปลกใหม่เกี่ยวกับการพยากรณ์รังสีจากแสงอาทิตย์ที่จำเป็นสำหรับการสร้าง PV ซึ่งในการพยากรณ์การแผ่รังสีแสงอาทิตย์รายชั่วโมง รายวัน และรายหนึ่งปี โดยใช้ LSTM สำหรับพยากรณ์ซึ่งมีความสำคัญในการวางแผนการติดตั้งระบบโซลาร์เซลล์

จากงานวิจัยของ Wangwang Yang [23] และคณะ ได้ทำการศึกษาการพยากรณ์ปริมาณไฟฟ้าระยะสั้นโดยใช้การเรียนรู้เชิงลึก: กรณีประยุกต์ใช้งานจริง งานวิจัยนี้จะนำเสนอรูปแบบการพยากรณ์โหลดไฟฟ้าระยะสั้น ซึ่งจะใช้แบบจำลอง CNN เปรียบเทียบกับแบบจำลอง LSTM และ GRU ผลลัพธ์การวิเคราะห์เปรียบเทียบพบว่าแบบจำลอง CNN มีประสิทธิภาพดีที่สุด

จากงานวิจัยของ Waranyu Sarapan [12] และคณะ ได้ทำการศึกษาการพยากรณ์ความต้องการโหลดรายสัปดาห์โดยใช้เทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกรูปแบบมีผู้สอน กรณีศึกษามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยงานวิจัยนี้จะนำเสนอการพยากรณ์ระยะสั้นรายสัปดาห์ ใช้แบบจำลอง 6 แบบ ได้แก่ CNN, RNN, LSTM, BiLSTM, GRU และ BiGRU ทำการฝึกอบรมด้วยข้อมูลความต้องการโหลด ก่อนที่จะพยากรณ์ความต้องการโหลดรายสัปดาห์ ผลลัพธ์การพยากรณ์แสดงให้เห็นว่าแบบจำลอง LSTM และ GRU มีข้อผิดพลาดเล็กน้อย ส่วนแบบจำลอง BiLSTM ให้การพยากรณ์ที่แม่นยำที่สุด.

2.7 บทสรุป

จากงานวิจัยทั้งหมดที่กล่าวมาข้างต้น มีการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าโดยในเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกรูปแบบมีนักพัฒนาค่อยๆกำกับการเรียนรู้ข้อมูล จะเป็นการพยากรณ์ระยะสั้นแบบหนึ่งวันและแบบรายสัปดาห์ โดยจะใช้ข้อมูลชุดเดียวกันในการฝึกอบรมก่อนที่จะพยากรณ์ของแต่ละแบบจำลอง จากนั้นก็ทำการเปรียบเทียบแบบจำลองของเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกแต่ละแบบ เพื่อหาประสิทธิภาพการพยากรณ์ที่แม่นยำที่สุด



บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 บทนำ

บทนี้จะนำเสนอภาพรวมของขั้นตอนและวิธีดำเนินงานวิจัย รวบรวมถึงข้อมูลที่เกี่ยวข้องต่าง ๆ เพื่อนำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์และสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการเรียนรู้เชิงลึกเพื่อใช้พยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าในลำดับต่อไป

3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.2.1 ศึกษาทฤษฎี ทบทวนวรรณกรรม งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ศึกษารูปแบบพยากรณ์ของเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกแบบจำลองต่าง ๆ รูปแบบการพยากรณ์ระยะยาว ระยะกลาง ระยะสั้น การเขียนโปรแกรมพยากรณ์

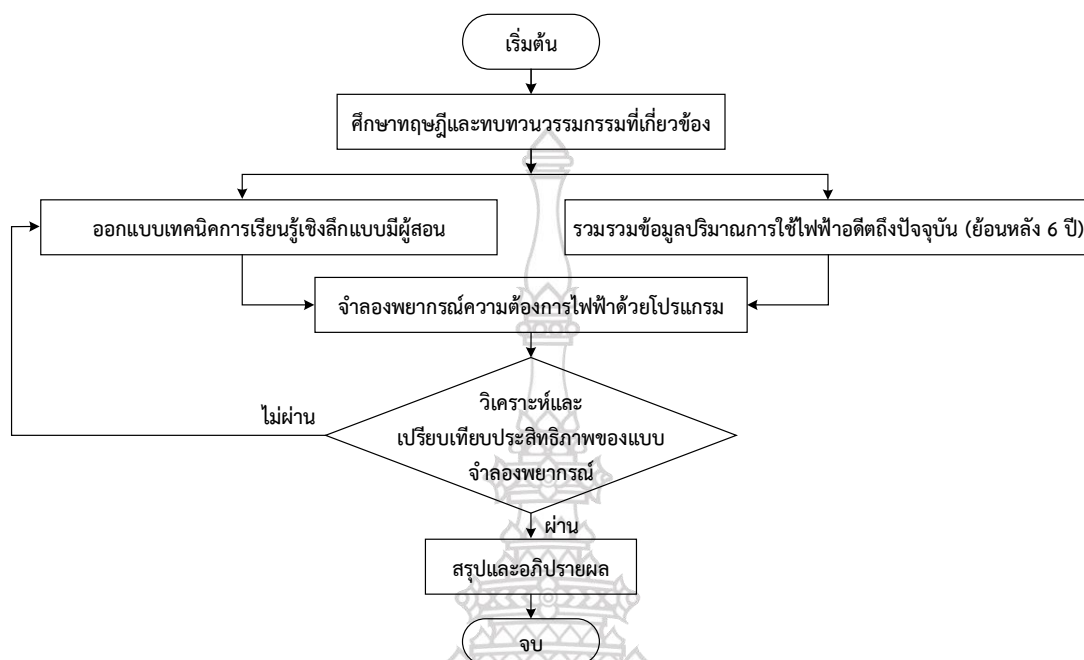
3.2.2 รวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้ารูปแบบข้อมูลพลังงานไฟฟ้าของพื้นที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเขต 1 (ภาคใต้) ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน จัดเตรียมข้อมูลมาเรียนรู้แบบจำลอง ย้อนหลัง 5 ปี เพื่อใช้ในการพยากรณ์ความต้องการใช้ไฟฟ้า

3.2.3 ออกแบบวิธีพยากรณ์ความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าด้วยเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก รูปแบบมีผู้สอนและทดสอบความสัมพันธ์ของข้อมูลต่าง ๆ เพื่อที่จะเลือกใช้เปรียบเทียบแบบจำลองพยากรณ์

3.2.4 เขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับจำลองการพยากรณ์ความต้องการใช้ไฟฟ้าของการเรียนรู้เชิงลึกแบบมีผู้สอน แต่ละแบบจำลองการเรียนรู้ โดยใช้ข้อมูลชุดเดียวกันในการพยากรณ์

3.2.5 วิเคราะห์และเปรียบเทียบสมรรถนะของแบบจำลองการเรียนรู้เชิงลึกแบบมีผู้สอน แต่ละรูปแบบที่สามารถให้ผลลัพธ์พยากรณ์ที่แม่นยำใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด

3.2.6 สรุปและอภิปรายผล จากขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยของหัวข้อ 3.2.1 – 3.2.5 สามารถแสดงเป็นแผนผังการดำเนินงานวิจัย ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

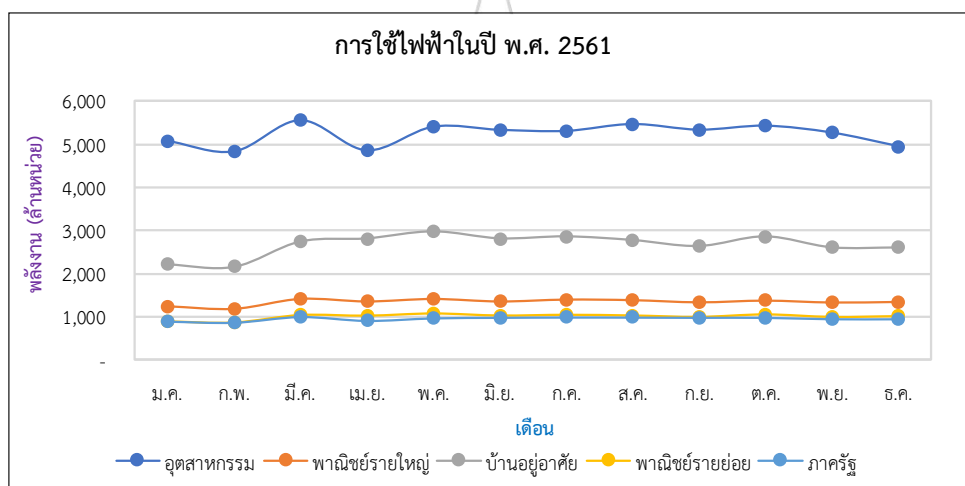
3.3 ข้อมูลหน่วยการใช้ไฟฟ้า ที่ใช้ในการวิจัย

งานวิจัยนี้ใช้ข้อมูล Load Profile ของผู้ใช้พลังงานไฟฟ้าที่ได้ข้อมูลจากระบบหน่วยจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเขต 1 (ภาคใต้) ซึ่งระบบนี้ได้บันทึกข้อมูลปริมาณการบริโภคพลังงานไฟฟ้า ในพื้นที่ให้บริการของ 6 จังหวัด ได้แก่ เพชรบุรี ประจวบคีรีขันธ์ ชุมพร ระนอง สมุทรสงคราม และราชบุรี (ยกเว้นอำเภอบ้านโป่ง) โดยกลุ่มของผู้ใช้ไฟฟ้าที่ได้จำแนกตามบริบทองค์กรประกอบด้วย 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้ารายใหญ่ กลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้ารายย่อย กลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้าภาครัฐ แสดงดังตารางที่ 3.1

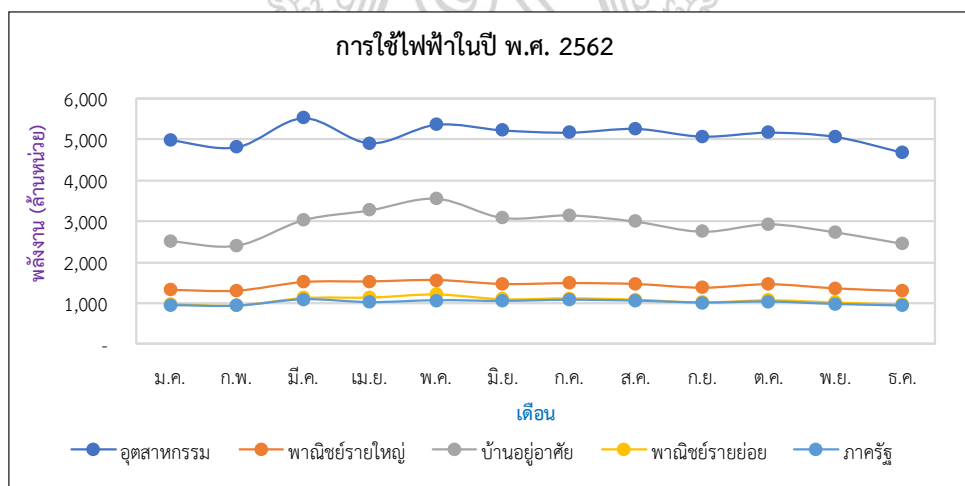
ตารางที่ 3.1 ผู้ใช้ไฟฟ้าที่จำแนกตามบริบทองค์กร

กลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้า	
รายใหญ่	1. อุตสาหกรรม
	2. พาณิชย์รายใหญ่
รายย่อย	3. บ้านอยู่อาศัย
	4. พาณิชย์รายย่อย
ภาครัฐ	5. ภาครัฐ

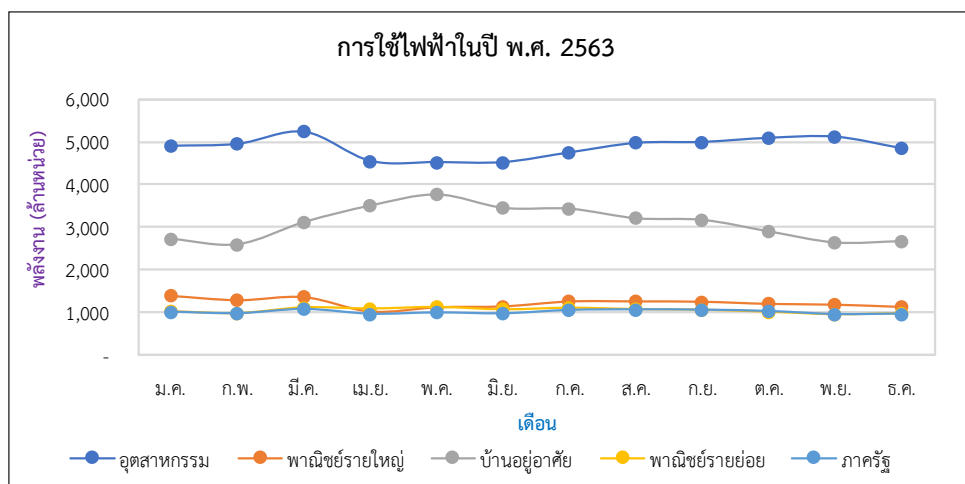
ข้อมูลผู้ใช้ไฟฟ้า ทั้ง 5 กลุ่ม ซึ่งข้อมูลที่แสดงเป็นปริมาณของการใช้ไฟฟ้า ตั้งแต่เดือน มกราคม พ.ศ. 2561 ถึง ธันวาคม พ.ศ. 2566 จำนวนของข้อมูลทั้งหมด 6 ปีย้อนหลัง สำหรับจำลอง พยากรณ์ความต้องการไฟฟ้า ดังรูปที่ 3.2 -รูปที่ 3.7 ดังนี้ (รายละเอียดของข้อมูลแสดงในภาคผนวก ก)



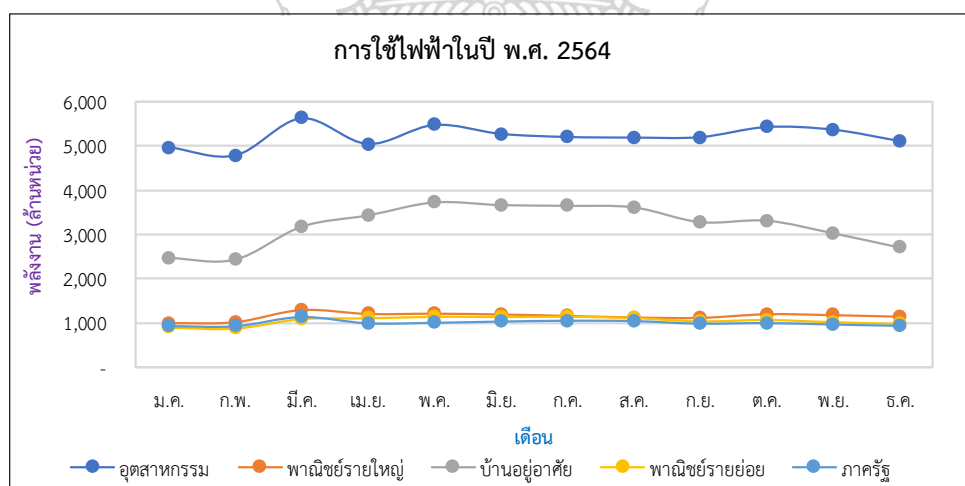
รูปที่ 3.2 ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้า ปี พ.ศ. 2561



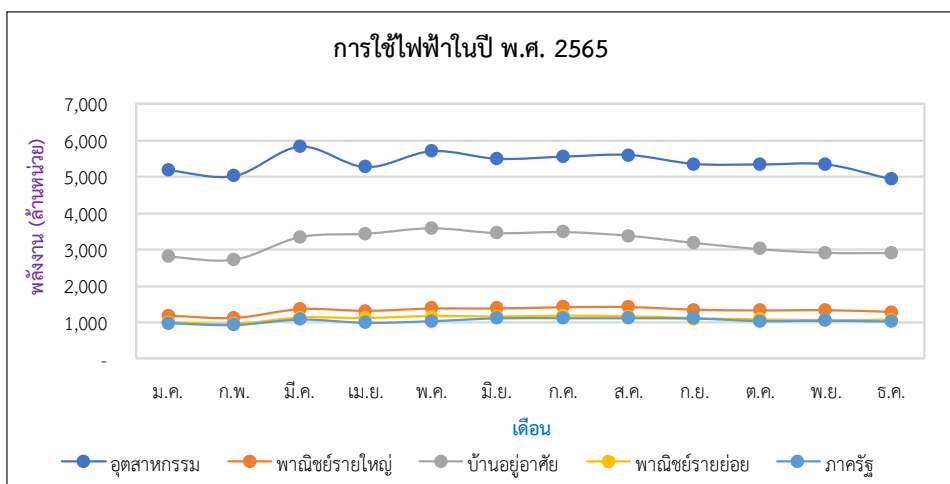
รูปที่ 3.3 ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้า ปี พ.ศ. 2562



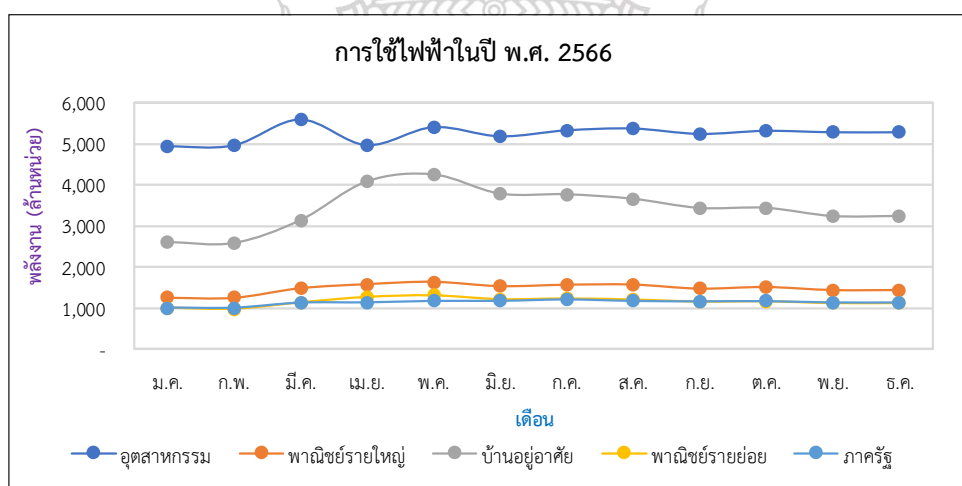
รูปที่ 3.4 ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้า ปี พ.ศ. 2563



รูปที่ 3.5 ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้า ปี พ.ศ. 2564



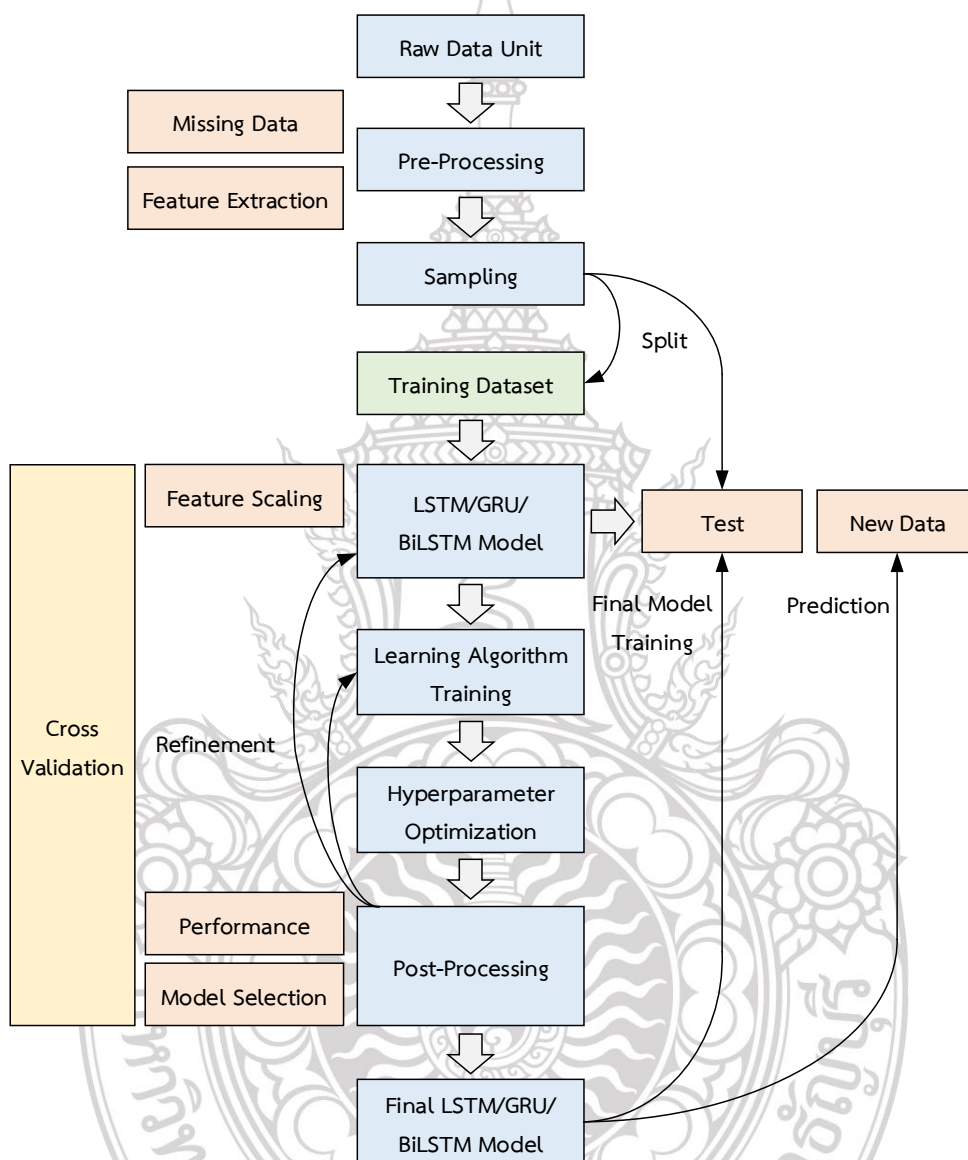
รูปที่ 3.6 ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้า ปี พ.ศ. 2565



รูปที่ 3.7 ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้า ปี พ.ศ. 2566

3.4 การสร้างแบบจำลองการเรียนรู้เชิงลึก

ในงานวิจัยนี้ได้เปรียบเทียบหาประสิทธิภาพความแม่นยำของแบบจำลอง ทั้ง 3 แบบ คือ LSTM GRU และ BiLSTM สำหรับพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้า โดยมีกระบวนการทำงานของแบบจำลอง แสดงรูปผังงานดังต่อไปนี้



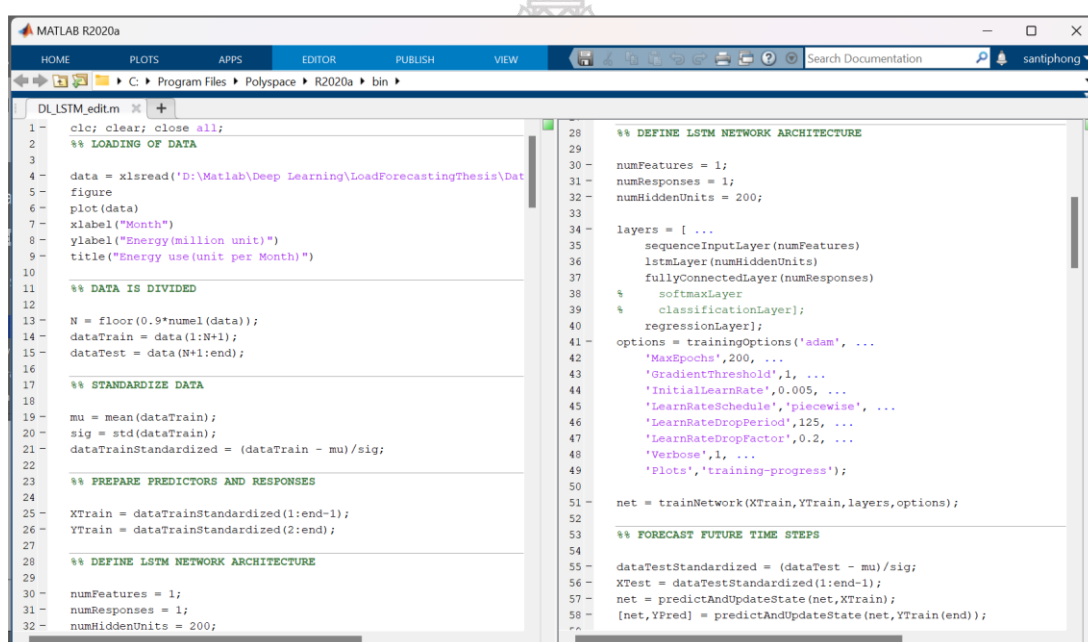
รูปที่ 3.8 กระบวนการทำงานของเทคนิคการพยากรณ์ [24]

จากรูปที่ 3.8 ที่แสดงขั้นตอนกระบวนการทำงานของแบบจำลอง LSTM, GRU และ BiLSTM สำหรับพยากรณ์ โดยเริ่มต้นขั้นตอนแรกก็นำเข้าข้อมูล ทำความสะอาดข้อมูลแบ่งข้อมูลสำหรับเรียนรู้และทดสอบแล้วจึงนำข้อมูลเรียนรู้ใส่เข้าไปในแบบจำลองพยากรณ์ เพื่อให้ระบบพยากรณ์ทำการเรียนรู้ข้อมูล จากนั้นก็ทำการเลือกค่าพารามิเตอร์ให้เหมาะสมเพื่อให้แบบจำลองพยากรณ์ ทำ

การพยากรณ์ที่แม่นยำที่สุด และสุดท้ายก็นำข้อมูลที่ได้จากการพยากรณ์มาเทียบกับข้อมูลทดสอบ เพื่อประเมินประสิทธิภาพความแม่นยำของแบบจำลองการเรียนรู้เชิงลึก

3.5 การสร้างและจำลองการเรียนรู้เชิงลึก

การวิจัยส่วนนี้นำเสนอการพัฒนาโปรแกรมด้วยโค้ดคำสั่งสคริปต์ (Script M-files) สำหรับสร้างและจำลองโครงข่ายประสาทเทียมของการเรียนรู้เชิงลึก บนโปรแกรม MATLAB R2020a ส่วนของแบบจำลองทั้ง 3 แบบ ซึ่งตัวอย่างการเขียนโปรแกรม ดังรูปที่ 3.9 เป็นโปรแกรมที่ใช้สำหรับพัฒนาแบบจำลองการเรียนรู้เชิงลึก LSTM



รูปที่ 3.9 ตัวอย่างโปรแกรมที่ใช้สร้างสำหรับจำลองในแบบจำลอง LSTM

จากรูปที่ 3.9 สามารถอธิบายการทำงานของโปรแกรมได้ดังนี้

- บรรทัดที่ 1 เป็นการเคลียร์หน้าจอ command window คำสั่ง clc เคลียร์ข้อมูลตัวแปรใน workspace คำสั่ง clear และการปิดหน้าต่างทั้งหมดที่เปิดอยู่ คำสั่ง close all
- บรรทัดที่ 4 เป็นการโหลดข้อมูลในรูปแบบไฟล์ Excel ของหน่วยผู้ใช้ไฟฟ้า ได้อธิบายเพิ่มในหัวข้อ 3.5.1
- บรรทัดที่ 5-6 เป็นการเปิดหน้าต่าง figure และสร้างกราฟจากข้อมูล ได้อธิบายเพิ่มในหัวข้อ 3.5.1
- บรรทัดที่ 7-9 เป็นการใส่ข้อความในกราฟ ตำแหน่งแกน X แกน Y และหัวด้านบนของกราฟ
- บรรทัดที่ 11-15 เป็นการแบ่งข้อมูล 2 ชุด สำหรับใช้เป็นข้อมูลเรียนรู้ ร้อยละ 90 และข้อมูลทดสอบ ร้อยละ 10

- 6) บรรทัดที่ 17 เป็นการสร้างตัวแปรจากข้อมูลมาตรฐาน
- 7) บรรทัดที่ 19 เป็นการคำนวณค่าเฉลี่ยจากชุดข้อมูลเรียนรู้และแทนค่าในตัวแปร μ
- 8) บรรทัดที่ 20 เป็นการคำนวณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากชุดข้อมูลเรียนรู้และแทนค่าในตัวแปร σ
- 9) บรรทัดที่ 21 เป็นการคำนวณค่าคะแนนมาตรฐานจากชุดข้อมูลเรียนรู้และแทนค่าในตัวแปร `dataTrainStandardized` เพื่อพิจารณาว่าค่านี้เป็นปกติหรือไม่ปกติเมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ยของชุดข้อมูลเรียนรู้
- 10) บรรทัดที่ 23-26 เป็นการเตรียมข้อมูลเรียนรู้สำหรับการพยากรณ์
- 11) บรรทัดที่ 28-32 เป็นการเริ่มขั้นตอนพยากรณ์ในแบบจำลอง LSTM โดยกำหนดค่าได้อธิบายเพิ่มในหัวข้อ 3.5.2
- 12) บรรทัดที่ 34-37 เป็นการคำนวณในแบบจำลอง LSTM และชั้นของข้อมูล
- 13) บรรทัดที่ 40-49 เป็นการคำนวณชั้นของข้อมูลในสมการถดถอย
- 14) บรรทัดที่ 42-49 เป็นการกำหนดค่าตัวเลือกสำหรับการเรียนรู้ในเครือข่ายประสาทเทียมการเรียนรู้เชิงลึก
- 15) บรรทัดที่ 51 เป็นการคำนวณค่าเรียนรู้ในเครือข่ายประสาทเทียมการเรียนรู้เชิงลึกและแทนค่าในตัวแปร `net`
- 16) บรรทัดที่ 53-58 เป็นการคำนวณเพื่อพยากรณ์โดยใช้ข้อมูลทดสอบ

3.5.1 การนำเข้าข้อมูลอินพุต

ในหัวข้อนี้เป็นการนำเข้าข้อมูลหน่วยผู้ใช้ไฟฟ้าทั้งหมดที่ใช้สำหรับการพยากรณ์ โดยข้อมูลจะบันทึกในรูปแบบตาราง ดังรูปที่ 3.10 และทำการจัดเรียงข้อมูลใหม่ เป็นรูปแบบแถวของข้อมูลในแนวนอน ดังรูปที่ 3.11 ซึ่งที่มาของข้อมูลผู้ใช้ไฟฟ้าได้อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 3.3 ก่อนหน้านี้นี้ และนำข้อมูลดังกล่าวมาสร้างกราฟสำหรับใช้เปรียบเทียบกับผลลัพธ์จากการพยากรณ์ ส่วนข้อมูลทั้งหมดสามารถดูได้ใน ภาคผนวก ก1 – ก6

สรุปข้อมูลผู้ใช้ไฟฟ้า ปี 2566 (ม.ค. - ต.ค.)											
เขต	กลุ่มลูกค้า (5 กลุ่มใหม่)	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.
A	อุตสาหกรรม	126,810,846	125,192,222	144,202,869	140,821,417	156,278,486	149,516,222	153,151,340	155,124,072	144,321,465	148,082,379
	พาณิชย์รายใหญ่	85,575,418	84,165,504	100,818,807	112,545,598	121,088,610	116,401,304	120,938,248	115,471,549	111,826,854	111,813,718
	บ้านอยู่อาศัย	195,556,210	183,108,020	226,342,758	301,418,597	333,642,495	314,690,174	301,908,239	282,579,496	271,924,409	268,084,216
	พาณิชย์รายย่อย	93,391,146	88,381,682	103,780,586	116,904,644	124,698,370	120,344,589	120,237,911	114,732,716	111,820,227	110,901,309
	ภาครัฐ	75,447,570	74,462,015	86,991,262	89,556,356	94,389,398	95,983,556	100,321,724	93,524,264	95,249,954	91,492,428
รวมกลุ่มลูกค้า		576,781,190	555,309,443	662,136,282	761,246,612	830,097,358	796,935,845	796,557,462	761,432,096	735,142,909	730,374,050
B	อุตสาหกรรม	71,176,495	68,144,071	90,062,707	94,043,703	96,344,517	82,068,972	84,043,517	88,719,445	91,127,995	87,546,276
	พาณิชย์รายใหญ่	48,396,466	50,680,259	61,062,677	69,821,840	72,294,231	57,837,526	57,195,958	54,740,886	54,395,142	54,934,019
	บ้านอยู่อาศัย	170,137,218	165,534,922	204,834,066	290,659,738	297,843,487	274,090,714	260,819,875	248,417,453	233,148,960	228,418,145
	พาณิชย์รายย่อย	67,546,894	65,383,349	77,142,381	91,810,086	92,526,458	87,707,670	87,123,869	83,604,573	79,621,887	78,803,774
	ภาครัฐ	94,508,699	94,735,692	105,849,678	107,791,393	105,432,576	108,633,113	114,684,246	107,277,259	98,243,480	91,188,072
รวมกลุ่มลูกค้า		451,765,772	444,478,293	538,951,509	654,126,760	664,441,269	610,337,996	603,867,465	582,759,616	556,537,464	540,890,285
C	อุตสาหกรรม	191,557,368	201,629,760	234,237,166	230,305,947	244,248,434	218,696,695	233,273,797	227,982,544	221,138,604	227,219,619
	พาณิชย์รายใหญ่	36,735,190	36,329,567	45,149,100	49,852,260	50,498,954	47,648,751	47,900,813	47,724,302	44,849,481	45,396,860
	บ้านอยู่อาศัย	149,290,755	147,709,523	186,362,633	256,219,110	259,749,903	231,889,575	225,617,820	219,028,744	202,824,974	200,997,047
	พาณิชย์รายย่อย	50,592,632	48,586,400	57,562,935	67,375,103	67,897,934	63,241,080	62,885,770	61,911,957	58,151,526	57,624,221
	ภาครัฐ	60,555,645	59,109,579	67,213,456	69,378,293	73,023,083	74,143,767	75,678,699	70,635,584	68,432,249	66,299,090
รวมกลุ่มลูกค้า		488,731,589	493,364,828	590,525,290	673,130,713	695,418,308	635,619,868	645,356,899	627,283,131	595,396,835	597,536,838
D	อุตสาหกรรม	98,142,136	92,933,731	106,895,124	104,410,627	108,533,806	100,074,503	101,086,317	97,856,331	103,934,145	100,792,832
	พาณิชย์รายใหญ่	56,939,807	60,435,845	72,718,735	84,547,326	86,842,742	81,602,513	83,457,545	80,291,686	76,483,264	77,334,809
	บ้านอยู่อาศัย	218,245,681	217,394,412	259,947,993	378,675,594	389,626,096	345,953,044	338,255,250	325,647,308	306,268,795	310,566,201
	พาณิชย์รายย่อย	71,263,775	69,746,649	80,242,093	97,772,000	98,824,647	92,107,026	91,916,707	88,534,374	84,977,199	85,540,340
	ภาครัฐ	99,458,272	100,935,592	116,231,217	121,889,768	124,261,406	125,002,925	128,014,571	125,037,999	126,067,960	119,455,329
รวมกลุ่มลูกค้า		544,049,671	541,446,229	636,035,162	787,295,315	808,088,697	744,740,011	742,730,390	717,367,698	697,731,363	693,689,512

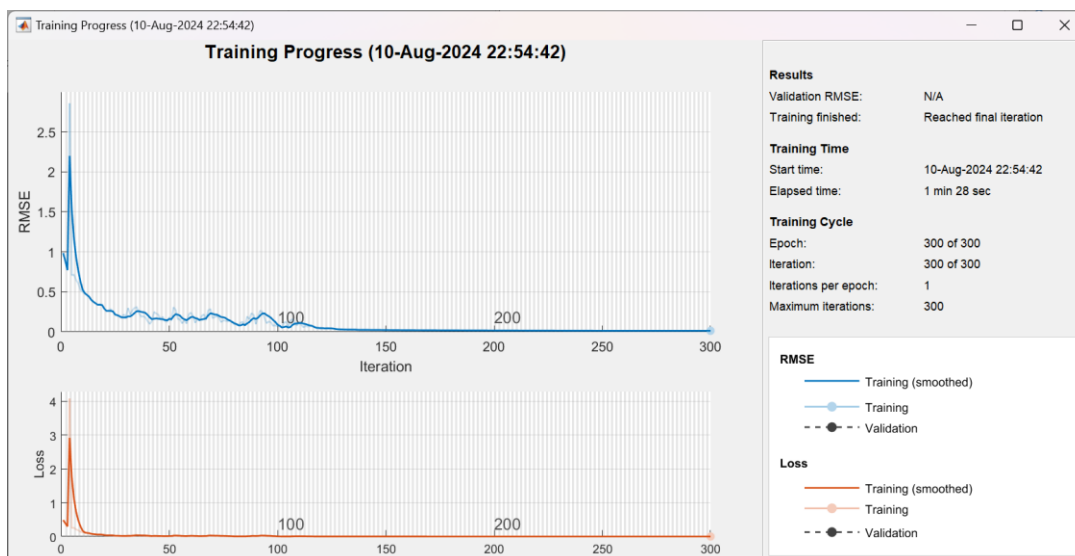
รูปที่ 3.10 ตัวอย่างข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้า ปี พ.ศ. 2566 (ม.ค. - ต.ค.)

File	Home	Insert	Draw	Page Layout	Formulas	Data	Re
W28							
	A	B	C	D	E	F	G
1	Week1	Week2	Week3	Week4	Week5	Week6	Week7
2	10325.9	9909.21	11769	10965.3	11850.3	11525.9	11612.5
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							

รูปที่ 3.11 การจัดเรียงข้อมูลในแถวของข้อมูลในแนวนอน

3.5.2 การจำลองพยากรณ์ในแบบจำลองเรียนรู้เชิงลึก

ในหัวข้อนี้เป็นการจำลองโครงข่ายประสาทเทียมการเรียนรู้เชิงลึกบนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ กำลังรันโปรแกรมสำหรับเรียนรู้ข้อมูลย้อนหลัง เพื่อใช้ในขั้นตอนต่อไปสำหรับพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าแบบรายเดือน ซึ่งจะแสดงผลความคืบหน้าของการจำลอง ส่วนผลลัพธ์จากการทดลองพยากรณ์ได้นำเสนอในบทที่ 4



รูปที่ 3.12 จำลองเรียนรู้ซึ่งจะแสดงผลความคืบหน้าของการจำลอง

3.6 วิธีการเรียนรู้ของแบบจำลองเรียนรู้เชิงลึก

ในหัวข้อนี้เป็นวิธีการเรียนรู้ของแบบจำลองและขั้นตอนในการปรับแต่งค่าตัวแปร ที่ใช้การเขียนสคริปต์ (Script M-files) รวมถึงจำนวนชั้น hidden layer และ hidden unit ในโปรแกรม MATLAB ในการพัฒนาแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมของการเรียนรู้เชิงลึก ทั้ง 3 แบบ ได้แก่ แบบจำลอง LSTM, GRU และ BiLSTM

3.6.1 การตั้งค่าตัวแปรของแบบจำลอง LSTM

การเรียนรู้เชิงลึกของแบบจำลอง LSTM โดยจะมีการปรับตั้งค่าในแบบจำลอง LSTM ดังตารางที่ 3.2 เพื่อกำหนดค่าตัวแปรต่าง ๆ ส่วนของสคริปต์ (Script M-files) ซึ่งเป็นการปรับจำนวนลำดับแบบจำลองชั้นเดียว มากกว่า 1 จำนวน hidden unit มากกว่า 1 ชั้น รอบการคำนวณ เท่ากับ 300 รอบ และตัวเลือกสำหรับฝึกสอนของการเรียนรู้เชิงลึก เลือก adam สำหรับเรียนรู้ของแบบจำลองเรียนรู้เชิงลึก LSTM ก่อนที่จะเริ่มทดลองด้วยข้อมูลทดสอบต่อไป

ตารางที่ 3.2 ค่าตัวแปรของแบบจำลอง LSTM

Order	Parameter	Value
1	sequenceInputLayer	1
2	lstmLayer	100
3	fullyConnectedLaye	1
4	trainingOptions	adam

ตารางที่ 3.2 ค่าตัวแปรของแบบจำลอง LSTM (ต่อ)

Order	Parameter	Value
5	MaxEpochs	300
6	GradientThreshold	1
7	InitialLearnRate	0.005
8	LearnRateSchedule	piecewise
9	LearnRateDropPeriod	125
10	LearnRateDropFactor	0.2
11	Verbose	1

3.6.2 การตั้งค่า ค่าตัวแปรของแบบจำลอง GRU

การเรียนรู้เชิงลึกของแบบจำลอง GRU โดยจะมีการปรับตั้งค่าในแบบจำลอง GRU ดังตารางที่ 3.3 เพื่อกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ส่วนของสคริปต์ (Script M-files) ซึ่งเป็นการปรับจำนวนลำดับแบบจำลองชั้นเดียว มากกว่า 1 จำนวน hidden unit มากกว่า 1 ชั้น และรอบการคำนวณ เท่ากับ 300 รอบ และตัวเลือกสำหรับฝึกสอนของการเรียนรู้เชิงลึก เลือก adam สำหรับการเรียนรู้ของแบบจำลอง GRU ก่อนที่จะเริ่มทดลองด้วยข้อมูลทดสอบต่อไป

ตารางที่ 3.3 ค่าตัวแปรของแบบจำลอง GRU

Order	Parameter	Value
1	sequenceInputLayer	1
2	gruLayer	100
3	fullyConnectedLaye	1
4	trainingOptions	adam
5	MaxEpochs	300
6	GradientThreshold	1
7	InitialLearnRate	0.005
8	LearnRateSchedule	piecewise
9	LearnRateDropPeriod	125
10	LearnRateDropFactor	0.2
11	Verbose	1

3.6.3 การตั้งค่า ค่าตัวแปรของแบบจำลอง BiLSTM

การเรียนรู้เชิงลึกของแบบจำลอง BiLSTM โดยจะมีการปรับตั้งค่าในแบบจำลอง BiLSTM ดังตารางที่ 3.4 เพื่อกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ส่วนของสคริปต์ (Script M-files) ซึ่งเป็นการปรับจำนวนลำดับโมเดลชั้นเดียว มากกว่า 1 จำนวน hidden unit มากกว่า 1 ชั้น และรอบการคำนวณ เท่ากับ 300 รอบ และตัวเลือกสำหรับฝึกสอนของการเรียนรู้เชิงลึก เลือก adam สำหรับการเรียนรู้ของแบบจำลอง BiLSTM ก่อนที่จะเริ่มทดลองด้วยข้อมูลทดสอบต่อไป

ตารางที่ 3.4 ค่าตัวแปรของแบบจำลอง BiLSTM

Order	Parameter	Value
1	sequenceInputLayer	1
2	bilstmLayer	100
3	fullyConnectedLaye	1
4	trainingOptions	adam
5	MaxEpochs	300
6	GradientThreshold	1
7	InitialLearnRate	0.005
8	LearnRateSchedule	piecewise
9	LearnRateDropPeriod	125
10	LearnRateDropFactor	0.2
11	Verbose	1

3.7 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการพยากรณ์

การพยากรณ์ที่มีความแม่นยำคือการคาดการณ์เหตุการณ์ได้ใกล้เคียงและสะท้อนค่าความเป็นจริงมากที่สุด ซึ่งการวิเคราะห์ความแม่นยำของการพยากรณ์มีหลากหลายวิธี ซึ่งการเลือกวิธีพยากรณ์ให้ผลลัพธ์เข้าใกล้ค่าความเป็นจริงของข้อมูล จำเป็นต้องมีเครื่องมือบ่งชี้ค่าที่แสดงให้เห็นว่าวิธีไหนให้ผลลัพธ์พยากรณ์แม่นยำมากที่สุด ซึ่งงานวิจัยนี้สามารถใช้เป็นเกณฑ์สำหรับเลือกวิธีที่เหมาะสมในการตัดสินใจ โดยมีการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีพยากรณ์จากเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก ทั้ง 3 แบบ ได้แก่ LSTM, GRU และ BiLSTM ด้วยการเปรียบเทียบผลลัพธ์จากการพยากรณ์กับข้อมูลจริง นำมาคำนวณหาค่าคลาดเคลื่อน ทั้ง 3 ค่า จากสมการ 3 สมการ ดังนี้ [12]

3.7.1 วิธีค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAE)

คือวิธีวัดการกระจายของข้อมูลด้วยการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าการพยากรณ์ข้อมูลกับค่าจริงเฉลี่ยกำลังสอง โดยสามารถคำนวณค่า MAE ได้จากสมการที่ 3.1

$$MAE = \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i| \right) \quad (3.1)$$

เมื่อ y_i คือ ค่าที่แท้จริง ณ เวลาที่ i

$\hat{y}_i$ คือ ค่าพยากรณ์จากแบบจำลอง ณ เวลาที่ i

n คือ จำนวนเวลาที่ใช้ในการพยากรณ์แบบจำลอง

3.7.2 วิธีค่าเปอร์เซ็นต์ค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE)

คือวิธีการวัดความแม่นยำที่ต้องการคำนวณเปอร์เซ็นต์ของความผิดพลาดในการพยากรณ์ข้อมูลโดยไม่คำนึงเครื่องหมาย โดยสามารถคำนวณค่า MAPE ได้จากสมการที่ 3.2

$$MAPE = \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n \left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{\hat{y}_i} \right| \right) \times 100\% \quad (3.2)$$

เมื่อ y_i คือ ค่าที่แท้จริง ณ เวลาที่ i

$\hat{y}_i$ คือ ค่าพยากรณ์จากแบบจำลอง ณ เวลาที่ i

n คือ จำนวนเวลาที่ใช้ในการพยากรณ์แบบจำลอง

3.7.3 วิธีคำนวณที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองของค่าคลาดเคลื่อน (RMSE)

คือวิธีการวัดค่าประเมินค่าเบี่ยงเบนของความผิดพลาดระหว่างค่าจริงกับค่าการพยากรณ์ข้อมูล ที่มีความแตกต่างกัน ซึ่งถ้าค่า RMSE มีค่าเท่ากับศูนย์ หมายถึง แบบจำลองการพยากรณ์ข้อมูลมีค่าเท่ากับค่าจริงพอดี โดยสามารถคำนวณค่า RMSE ได้จากสมการที่ 3.3

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \right)} \quad (3.3)$$

เมื่อ y_i คือ ค่าที่แท้จริง ณ เวลาที่ i

$\hat{y}_i$ คือ ค่าพยากรณ์จากแบบจำลอง ณ เวลาที่ i

n คือ จำนวนเวลาที่ใช้ในการพยากรณ์แบบจำลอง

3.8 สรุป

วิธีดำเนินงานวิจัยเริ่มต้นจากการรวมข้อมูลพลังงานไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้า ในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเขต 1 (ภาคใต้) วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูล โดยการแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุด ใช้เป็นชุดข้อมูลสำหรับเรียนรู้ ร้อยละ 90 และข้อมูลสำหรับทดสอบ ร้อยละ 10 เพื่อนำไปใช้เป็นอินพุตของโครงข่ายประสาทเทียมการเรียนรู้เชิงลึก ขั้นตอนต่อไปจำลองในโครงข่ายประสาทเทียมการเรียนรู้เชิงลึกในส่วนของการเรียนรู้เพื่อให้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เกิดการเรียนรู้จากข้อมูลในอดีต และใส่ข้อมูลทดสอบเพื่อให้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ทดลองพยากรณ์ ซึ่งผลลัพธ์การทดสอบได้จากบทที่ 4

บทที่ 4

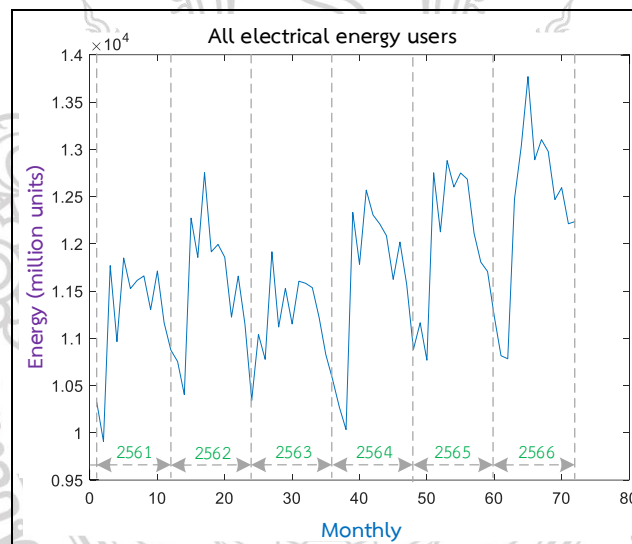
ผลการทดลอง

4.1 บทนำ

บทนี้นำเสนอการทดสอบหาค่าประสิทธิภาพของการพยากรณ์ด้วยเทคนิคเรียนรู้เชิงลึก ผ่านการทดลองพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าด้วยแบบจำลอง ทั้ง 3 แบบ คือ LSTM, GRU และ BiLSTM พร้อมทั้งประเมินความแม่นยำโดยการทดลองหาค่าคลาดเคลื่อน ด้วยการคำนวณความแม่นยำ ทั้ง 3 ค่า คือ MAE, MAPE และ RMSE นอกจากนี้ยังมีการเปรียบเทียบจำแนกแบบจำลอง ตามคุณลักษณะในรูปแบบต่าง ๆ

4.2 การทดลองพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้า

การทดสอบประสิทธิภาพของเทคนิคเรียนรู้เชิงลึก โดยการทดลองพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าแบบรายเดือนของเทคนิคเรียนรู้เชิงลึก ทั้ง 3 แบบ ผู้วิจัยได้ใช้ข้อมูลชุดเดียวกันในการเรียนรู้ของแบบจำลอง และให้แบบจำลองเรียนรู้เชิงลึกทดสอบพยากรณ์ โดยเปรียบเทียบกับข้อมูลหน่วยผู้ใช้ไฟฟ้าทั้งหมด ดังรูปที่ 4.1 และผลลัพธ์การทดลองพยากรณ์ด้วยเทคนิคเรียนรู้เชิงลึก แสดงรายละเอียดตามหัวข้อต่อไปนี้



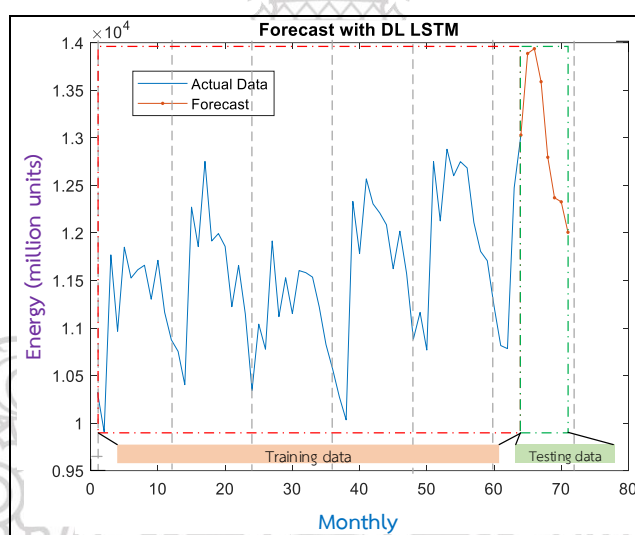
รูปที่ 4.1 ข้อมูลผู้ใช้ไฟฟ้าทั้งหมดของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเขต 1 (ภาคใต้)

จากรูปที่ 4.1 แสดงข้อมูลของการไฟฟ้าทั้งหมด ซึ่งข้อมูลส่วนนี้เป็นข้อมูลการบริโภคพลังงานไฟฟ้าทั้งหมดของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเขต 1 (ภาคใต้) แสดงค่าแบบรายเดือน เริ่มตั้งแต่เดือน มกราคม พ.ศ. 2561 ถึง เดือน ธันวาคม พ.ศ. 2566 ทั้งหมด 72 เดือน สำหรับนำมาใช้ในการทำวิจัย ทั้งใช้ในการเรียนรู้และทดสอบแบบจำลอง ทั้ง 3 แบบ

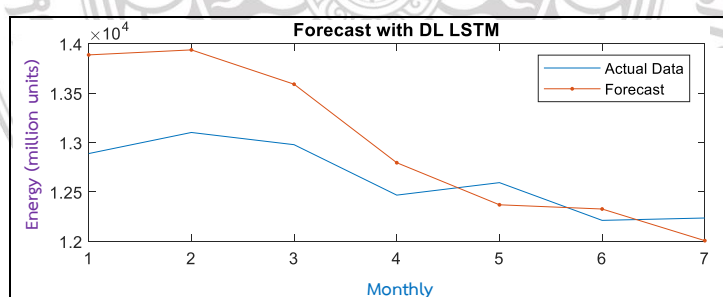
สำหรับการทดสอบพยากรณ์ เริ่มจากสร้างแบบจำลองพยากรณ์ของ LSTM, GRU และ BiLSTM บนโปรแกรม MATLAB และทดลองพยากรณ์โดยใช้ข้อมูลหน่วยผู้ใช้ไฟฟ้าในการพยากรณ์ ทั้งหมด 72 เดือน ซึ่งจะคิดเป็นสัดส่วนหรือร้อยละของข้อมูลทั้งหมด โดยข้อมูลแบ่งออกเป็น 2 ชุด ได้แก่ ชุดที่ 1 คือข้อมูลร้อยละ 90 หรือ 65 เดือน (เดือนที่ 1 ถึงเดือนที่ 65) สำหรับเรียนรู้ของ แบบจำลอง และชุดที่ 2 คือข้อมูลร้อยละ 10 หรือ 7 เดือน (เดือนที่ 66 ถึงเดือนที่ 72) สำหรับ ทดสอบแบบจำลอง ซึ่งผลลัพธ์การทดลอง แบ่งออกเป็น 3 ผลการทดลอง ตามแบบจำลองการเรียนรู้ แสดงในรูปดังต่อไปนี้

4.2.1 ผลลัพธ์การทดลองพยากรณ์ของแบบจำลอง LSTM

การพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าของเทคนิคเรียนรู้เชิงลึกบนโปรแกรมของ คอมพิวเตอร์ ที่แสดงค่าผลลัพธ์จากการพยากรณ์ของแบบจำลอง LSTM รูปแบบการพยากรณ์แบบ รายเดือน แสดงดังรูปที่ 4.2 และรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.2 ผลลัพธ์การฝึกเรียนรู้และทดสอบของแบบจำลอง LSTM

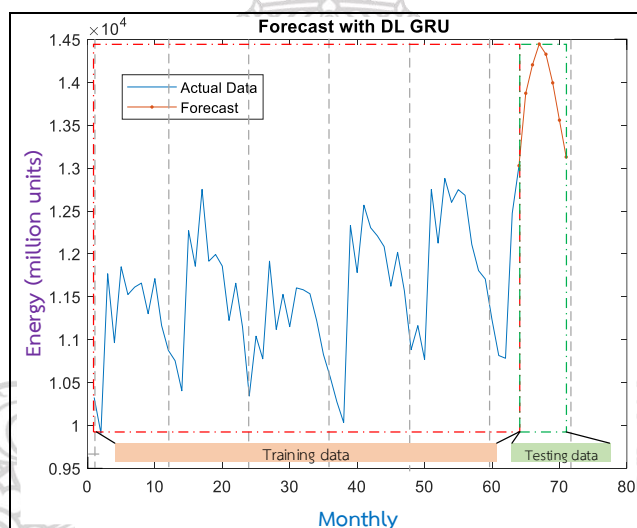


รูปที่ 4.3 ผลลัพธ์การเปรียบเทียบค่า ของแบบจำลอง LSTM

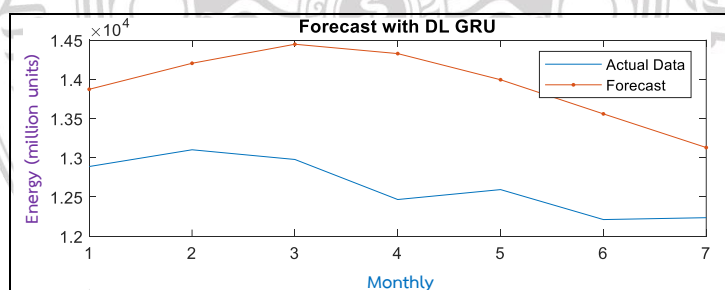
จากรูปที่ 4.2 แสดงผลลัพธ์การพยากรณ์ด้วยเทคนิคเรียนรู้เชิงลึก จากภาพจะเห็นเส้นกราฟหน่วยผู้ใช้ไฟฟ้า โดยกราฟเส้นสีน้ำเงินเป็นข้อมูลสำหรับฝึกเรียนรู้และกราฟเส้นสีแดงเป็นผลลัพธ์จากการพยากรณ์ของแบบจำลอง LSTM ที่แสดงผลภาพรวมแบบรายเดือน และจากรูปที่ 4.3 แสดงผลลัพธ์เฉพาะส่วนของผลการพยากรณ์ที่ได้เปรียบเทียบกับข้อมูลหน่วยผู้ใช้ไฟฟ้าจริง พบว่าแบบจำลอง LSTM มีแนวโน้มการพยากรณ์หน่วยผู้ใช้ไฟฟ้าช่วงทดสอบได้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับข้อมูลจริงมาก และค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นได้อธิบายไว้ในหัวข้อถัดไป

4.2.2 ผลการทดลองพยากรณ์ของแบบจำลอง GRU

การพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าของเทคนิคเรียนรู้เชิงลึกบนโปรแกรมของคอมพิวเตอร์ ที่แสดงค่าผลลัพธ์จากการพยากรณ์ของแบบจำลอง GRU รูปแบบการพยากรณ์แบบรายเดือน แสดงดังรูปที่ 4.4 และรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.4 ผลลัพธ์การฝึกเรียนรู้และทดสอบของแบบจำลอง GRU

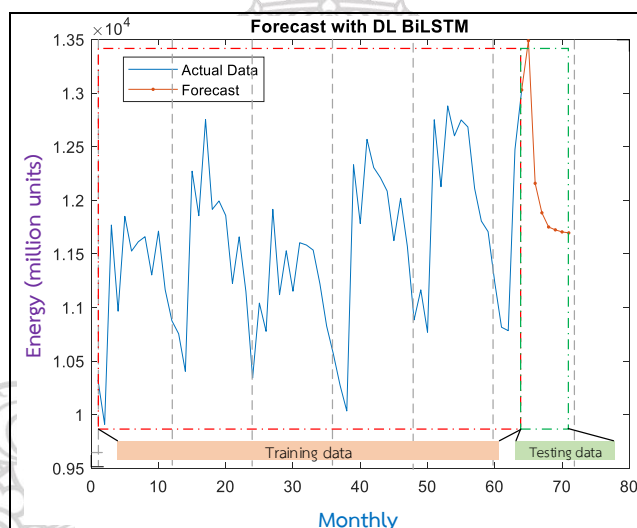


รูปที่ 4.5 ผลลัพธ์การเปรียบเทียบค่า ของแบบจำลอง GRU

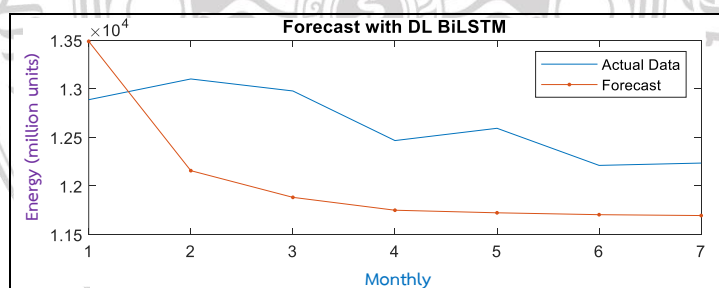
จากรูปที่ 4.4 แสดงผลลัพธ์การพยากรณ์ของเทคนิคเรียนรู้เชิงลึก จากภาพจะเห็นเส้นกราฟข้อมูลเส้นสีน้ำเงินเป็นข้อมูลสำหรับฝึกเรียนรู้และเส้นกราฟสีแดงเป็นผลลัพธ์จากการพยากรณ์ของแบบจำลอง GRU การแสดงผลเป็นรูปแบบรายเดือน และจากรูปที่ 4.5 แสดงผลลัพธ์เฉพาะส่วนของการพยากรณ์ของเทคนิคเรียนรู้เชิงลึกเปรียบเทียบกับข้อมูลหน่วยผู้ใช้ไฟฟ้าจริงพบว่าแบบจำลอง GRU มีแนวโน้มการพยากรณ์หน่วยผู้ใช้ไฟฟ้าช่วงทดสอบได้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับข้อมูลจริงน้อยหรือความแม่นยำน้อย และค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นได้อธิบายไว้ในหัวข้อถัดไป

4.2.3 ผลการทดลองพยากรณ์ของแบบจำลอง BiLSTM

การพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าของเทคนิคเรียนรู้เชิงลึกบนโปรแกรมของคอมพิวเตอร์ ที่แสดงค่าผลลัพธ์จากการพยากรณ์ของแบบจำลอง BiLSTM รูปแบบการพยากรณ์แบบรายเดือน แสดงดังรูปที่ 4.6 และ รูปที่ 4.7



รูปที่ 4.6 ผลลัพธ์การฝึกเรียนรู้และทดสอบของแบบจำลอง BiLSTM



รูปที่ 4.7 ผลลัพธ์การเปรียบเทียบค่า ของแบบจำลอง BiLSTM

จากรูปที่ 4.6 แสดงผลลัพธ์การพยากรณ์ของเทคนิคเรียนรู้เชิงลึก จากรูปจะเห็นเส้นกราฟ ข้อมูลเส้นสีน้ำเงินเป็นข้อมูลสำหรับฝึกเรียนรู้และเส้นกราฟสีแดงเป็นผลลัพธ์จากการพยากรณ์ของแบบจำลอง BiLSTM การแสดงผลเป็นรูปแบบรายเดือน และจากรูปที่ 4.7 แสดงผลลัพธ์เฉพาะส่วนของการพยากรณ์ของเทคนิคเรียนรู้เชิงลึกเปรียบเทียบกับข้อมูลหน่วยผู้ใช้ไฟฟ้าจริง พบว่าแบบจำลอง BiLSTM มีแนวโน้มการพยากรณ์หน่วยผู้ใช้ไฟฟ้าช่วงทดสอบได้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับข้อมูลจริงปานกลางและค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นได้อธิบายไว้ในหัวข้อถัดไป

4.3 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพ

การประเมินประสิทธิภาพและความแม่นยำของเทคนิคเรียนรู้เชิงลึก โดยการทดลองหาค่าคลาดเคลื่อน MAE MAPE และ RMSE ของแบบจำลอง โดยผู้วิจัยได้ทำการทดลองใช้ข้อมูลชุดเดียวกันในการเรียนรู้ของแบบจำลองและให้แบบจำลองทั้ง 3 แบบ ทดสอบพยากรณ์ ผลจากการพยากรณ์จะเกิดผลลัพธ์ที่ได้จากการเปรียบเทียบกับข้อมูลหน่วยผู้ใช้ไฟฟ้าและแสดงผลการทดลองค่าคลาดเคลื่อน ดังนี้

4.3.1 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลอง LSTM

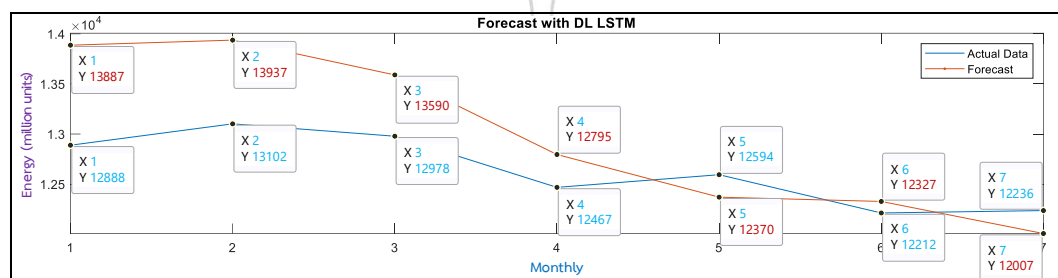
การประเมินประสิทธิภาพและความแม่นยำของแบบจำลอง LSTM ส่วนการทดสอบแบบจำลองโดยใช้ข้อมูลทดสอบและเปรียบเทียบค่าคลาดเคลื่อนกับผลลัพธ์ที่ได้จากการพยากรณ์ โดยใช้ข้อมูลตั้งแต่เดือนที่ 66 ถึงเดือนที่ 72 พร้อมทั้งวิเคราะห์ค่าคลาดเคลื่อน ได้แก่ MAE MAPE และ RMSE ผ่านการทดลองทั้งหมด 5 ครั้ง คำนวณหาค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน แสดงดังในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองค่าคลาดเคลื่อนของแบบจำลอง LSTM

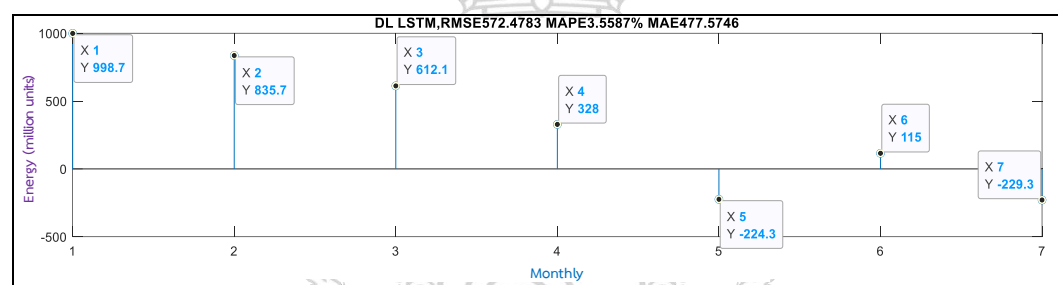
การทดลอง (ครั้งที่)	MAE (Million units)	MAPE (%)	RMSE (Million units)
1	477.5746	3.5587	572.4783
2	417.2518	3.2186	482.2645
3	359.4833	2.7989	421.2851
4	489.2859	3.6584	562.9473
5	543.7174	4.0674	617.6990
ค่าเฉลี่ยเลขคณิต	457.4626	3.4604	531.3348
ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	70.8413	0.4779	78.5330

จากตารางที่ 4.1 ผลลัพธ์พยากรณ์ มีค่าคลาดเคลื่อนสมบูรณ์เฉลี่ย (MAE) เท่ากับ 457.46 ล้านหน่วย ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 70.84 เมื่อพิจารณาค่าเปอร์เซ็นต์ค่าคลาดเคลื่อนสมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE) เท่ากับ 3.46% ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.48 และ ค่ารากที่สองของ

ค่าเฉลี่ยกำลังสองของค่าคลาดเคลื่อน (RMSE) เท่ากับ 531.33 ล้านบาท ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 78.53 โดยตัวอย่างของค่าผลลัพธ์คลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ของ การทดลองครั้งที่ 1 ดัง รูปที่ 4.8 และ รูปที่ 4.9



รูปที่ 4.8 ผลลัพธ์การทดลองพยากรณ์ส่วนของการทดลองครั้งที่ 1 ของแบบจำลอง LSTM



รูปที่ 4.9 ผลลัพธ์ค่าคลาดเคลื่อนส่วนของการทดลองครั้งที่ 1 ของแบบจำลอง LSTM

จากรูปที่ 4.8 แสดงข้อมูลผลลัพธ์การทดลองพยากรณ์ การทดลองครั้งที่ 1 ของแบบจำลอง LSTM ที่ได้จากการทดลองเปรียบเทียบค่ากันระหว่างข้อมูลทดสอบกับผลลัพธ์การพยากรณ์ และรูปที่ 4.9 แสดงข้อมูลผลลัพธ์ค่าคลาดเคลื่อนการทดลองครั้งที่ 1 ที่ได้จากผลต่างระหว่างข้อมูลผลลัพธ์จากการพยากรณ์เปรียบเทียบกับข้อมูลทดสอบ ซึ่งข้อมูลการทดลองนี้ได้จากการพยากรณ์ด้วยโปรแกรมของคอมพิวเตอร์ มีทั้งหมด 7 ค่า ดังแสดงค่าในตารางที่ 4.2 สามารถนำข้อมูลมาคำนวณหาค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAE) จากสมการที่ 3.1 ค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE) จากสมการที่ 3.2 และ ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองของค่าคลาดเคลื่อน (RMSE) จากสมการที่ 3.3 ได้ดังนี้

ตารางที่ 4.2 การคำนวณค่าคลาดเคลื่อนของแบบจำลอง LSTM การทดลองครั้งที่ 1

ข้อมูล ล n	ค่าที่ แท้จริง y_i (ล้าน หน่วย)	ค่า พยากรณ์ $\hat{y}_i$ (ล้าน หน่วย)	$(y_i - \hat{y}_i)$ (ล้านหน่วย)	$ y_i - \hat{y}_i $ (ล้าน หน่วย)	$(y_i - \hat{y}_i)^2$ (ล้านหน่วย)	$\left \frac{y_i - \hat{y}_i}{\hat{y}_i} \right $ (ล้านหน่วย)
1	12,889	13,887	-999	999	998,001	0.071938
2	13,102	13,937	-835	835	697,225	0.059912
3	12,978	13,590	-612	612	374,544	0.045033
4	12,468	12,795	-328	328	107,584	0.025635
5	12,594	12,370	224	224	50,176	0.018108
6	12,212	12,327	-115	115	13,225	0.009329
7	12,236	12,007	229	229	52,441	0.019072
$\sum_{i=1}^n y_i - \hat{y}_i $				3,342		
$\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$					2,293,196	
$\sum_{i=1}^n \left \frac{y_i - \hat{y}_i}{\hat{y}_i} \right $						0.249028

- 1) คำนวณค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAE)

$$\begin{aligned}
 MAE &= \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i| \right) \\
 &= \frac{(3,342)}{7} \\
 &= 477.4286
 \end{aligned}$$

ดังนั้น MAE เท่ากับ 477.4286 ล้านบาท

- 2) คำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE)

$$\begin{aligned}
 MAPE &= \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n \left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{\hat{y}_i} \right| \right) \times 100\% \\
 &= \frac{(0.249028)}{7} \times 100\% \\
 &= 3.5575\%
 \end{aligned}$$

ดังนั้น MAPE เท่ากับ 3.5575%

- 3) คำนวณค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองของค่าคลาดเคลื่อน (RMSE)

$$\begin{aligned}
 RMSE &= \sqrt{\frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \right)} \\
 &= \sqrt{\frac{(2,293,196)}{7}} \\
 &= 572.3630
 \end{aligned}$$

ดังนั้น RMSE เท่ากับ 572.3630 ล้านหน่วย

ดังนั้นประสิทธิภาพของแบบจำลอง LSTM สามารถประเมินได้จากผลลัพธ์ของค่าคลาดเคลื่อนที่ได้จากการทดลองพยากรณ์ด้วยโปรแกรมของคอมพิวเตอร์ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าจากการคำนวณจากสมการ พบว่าผลลัพธ์ที่ได้มีค่าใกล้เคียงกันมาก ซึ่งแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพและความแม่นยำของแบบจำลอง LSTM ในการพยากรณ์

4.3.2 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลอง GRU

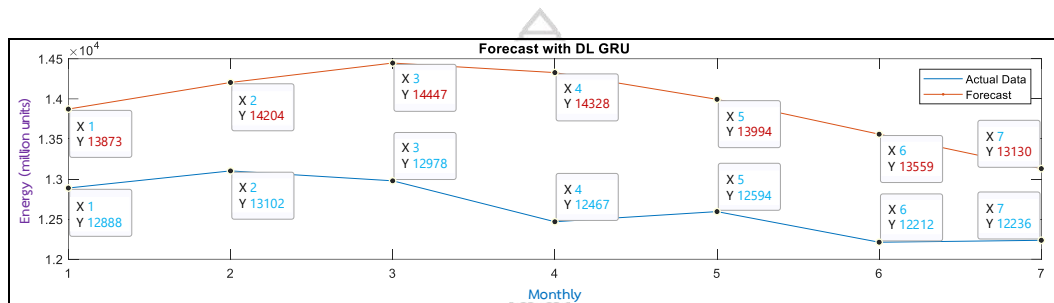
การประเมินประสิทธิภาพและความแม่นยำของแบบจำลอง GRU ส่วนการทดสอบแบบจำลองโดยใช้ข้อมูลทดสอบและเปรียบเทียบคลาดเคลื่อนกับผลลัพธ์ที่ได้จากการพยากรณ์ โดยใช้ข้อมูลตั้งแต่เดือนที่ 66 ถึงเดือนที่ 72 พร้อมทั้งวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อน ได้แก่ MAE MAPE และ RMSE ผ่านการทดลองทั้งหมด 5 ครั้ง คำนวณค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ดังในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองค่าคลาดเคลื่อนของแบบจำลอง GRU

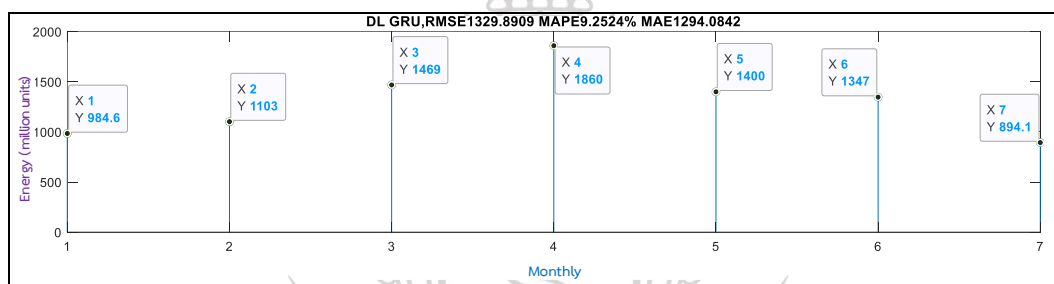
การทดลอง (ครั้งที่)	MAE (Million units)	MAPE (%)	RMSE (Million units)
1	1,294.0842	9.2524	1,329.8909
2	1,179.4846	8.4239	1,258.4851
3	1,236.4188	8.9018	1,259.2811
4	1,328.6364	9.4746	1,365.0516
5	1,369.7373	9.7569	1,394.7958
ค่าเฉลี่ยเลขคณิต	1,281.6723	9.1619	1,321.5009
ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	75.1753	0.5178	61.6066

จากตารางที่ 4.3 ผลลัพธ์พยากรณ์ มีค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAE) เท่ากับ 1,281.67 ล้านหน่วย ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 75.18 เมื่อพิจารณาค่าเปอร์เซ็นต์ค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE) เท่ากับ 9.16% ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.52 และค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองของค่าคลาดเคลื่อน (RMSE) เท่ากับ 1,321.50 ล้านหน่วย ค่าส่วน

เบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 61.61 โดยตัวอย่างของค่าผลลัพธ์คลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ของการทดลองครั้งที่ 1 ดังรูปที่ 4.10 และรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.10 ผลลัพธ์การทดลองพยากรณ์ส่วนของการทดลองครั้งที่ 1 ของแบบจำลอง GRU



รูปที่ 4.11 ผลลัพธ์ค่าคลาดเคลื่อนส่วนของการทดลองครั้งที่ 1 ของแบบจำลอง GRU

จากรูปที่ 4.10 แสดงข้อมูลผลลัพธ์การทดลองพยากรณ์ การทดลองครั้งที่ 1 ของแบบจำลอง GRU ที่ได้จากการทดลองเปรียบเทียบค่ากันระหว่างข้อมูลทดสอบกับผลลัพธ์การพยากรณ์ และรูปที่ 4.11 แสดงข้อมูลผลลัพธ์ค่าคลาดเคลื่อนการทดลองครั้งที่ 1 ที่ได้จากผลต่างระหว่างข้อมูลผลลัพธ์จากการพยากรณ์เปรียบเทียบกับข้อมูลทดสอบ ซึ่งข้อมูลการทดลองนี้ได้จากการพยากรณ์ด้วยโปรแกรมของคอมพิวเตอร์ มีทั้งหมด 7 ค่า ดังแสดงค่าในตารางที่ 4.4 สามารถนำข้อมูลมาคำนวณหาค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAE) จากสมการที่ 3.1 ค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE) จากสมการที่ 3.2 และ ค่าคลาดเคลื่อนของค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองของค่าคลาดเคลื่อน (RMSE) จากสมการที่ 3.3 ได้ดังนี้

ตารางที่ 4.4 การคำนวณค่าคลาดเคลื่อนของแบบจำลอง GRU การทดลองครั้งที่ 1

ข้อมูล ล n	ค่าที่ แท้จริง y_i (ล้าน หน่วย)	ค่า พยากรณ์ $\hat{y}_i$ (ล้าน หน่วย)	$(y_i - \hat{y}_i)$ (ล้าน หน่วย)	$ y_i - \hat{y}_i $ (ล้านหน่วย)	$(y_i - \hat{y}_i)^2$ (ล้านหน่วย)	$\left \frac{y_i - \hat{y}_i}{\hat{y}_i} \right $ (ล้านหน่วย)
1	12,889	13,873	-985	985	970,225	0.071001
2	13,102	14,204	-1,102	1,102	1,214,404	0.077584
3	12,978	14,447	-1,469	1,469	2,157,961	0.101682
4	12,468	14,328	-1,861	1,861	3,463,321	0.129886
5	12,594	13,994	-1,400	1,400	1,960,000	0.100043
6	12,212	13,559	-1,347	1,347	1,814,409	0.099344
7	12,236	13,130	-894	894	799,236	0.068088
$\sum_{i=1}^n y_i - \hat{y}_i $				9,058		
$\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$					12,379,556	
$\sum_{i=1}^n \left \frac{y_i - \hat{y}_i}{\hat{y}_i} \right $						0.647627

- 1) คำนวณค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAE)

$$MAE = \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i| \right)$$

$$= \frac{(9,058)}{7}$$

$$= 1,294.00$$

ดังนั้น MAE เท่ากับ 1,294.00 ล้านบาท

- 2) คำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE)

$$MAPE = \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n \left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{\hat{y}_i} \right| \right) \times 100\%$$

$$= \frac{(0.647627)}{7} \times 100\%$$

$$= 9.2518\%$$

ดังนั้น MAPE เท่ากับ 9.2518%

- 3) คำนวณค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองของค่าคลาดเคลื่อน (RMSE)

$$\begin{aligned} RMSE &= \sqrt{\frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \right)} \\ &= \sqrt{\frac{(12,379,556)}{7}} \\ &= 1,329.8526 \end{aligned}$$

ดังนั้น RMSE เท่ากับ 1,329.8526 ล้านหน่วย

ดังนั้นประสิทธิภาพของแบบจำลอง GRU สามารถประเมินได้จากผลลัพธ์ของค่าคลาดเคลื่อนที่ได้จากการทดลองพยากรณ์ด้วยโปรแกรมของคอมพิวเตอร์ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าจากการคำนวณจากสมการ พบว่าผลลัพธ์ที่ได้มีค่าใกล้เคียงกันมาก ซึ่งแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพและความแม่นยำของแบบจำลอง GRU ในการพยากรณ์

4.3.3 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลอง BiLSTM

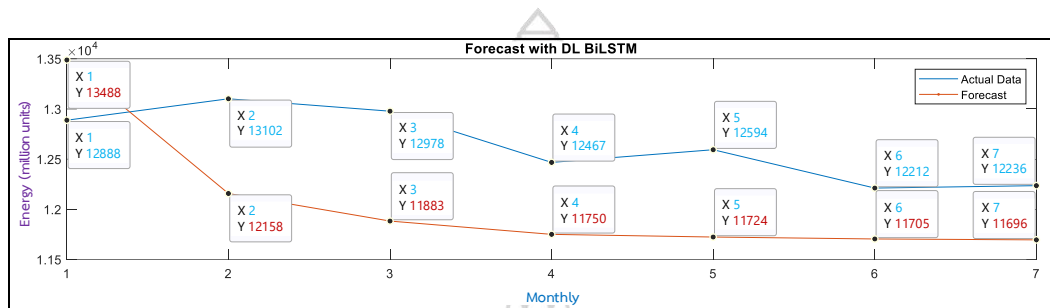
การทดสอบประสิทธิภาพและความแม่นยำของแบบจำลอง BiLSTM ส่วนการทดสอบแบบจำลอง โดยใช้ข้อมูลทดสอบและเปรียบเทียบค่าคลาดเคลื่อนกับผลลัพธ์จากการพยากรณ์ โดยใช้ข้อมูลตั้งแต่เดือนที่ 66 ถึงเดือนที่ 72 พร้อมทั้งวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อน ได้แก่ MAE MAPE และ RMSE ผ่านการทดลองทั้งหมด 5 ครั้ง คำนวณหาค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ดังในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองค่าคลาดเคลื่อนของแบบจำลอง BiLSTM

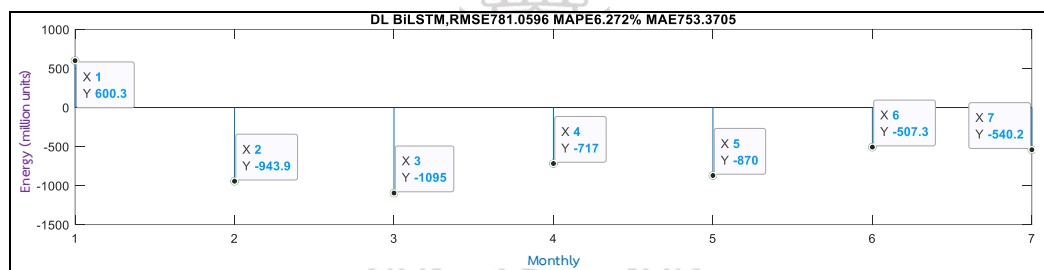
การทดลอง (ครั้งที่)	MAE (Million units)	MAPE (%)	RMSE (Million units)
1	753.3705	6.2720	781.0596
2	870.1631	6.7386	1,063.6215
3	755.4879	6.2262	853.7192
4	999.9935	7.1628	1,115.2582
5	948.6646	6.9216	1,212.2960
ค่าเฉลี่ยเลขคณิต	865.5359	6.6642	1,005.1909
ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	111.4700	0.4081	181.3836

จากตารางที่ 4.5 ผลลัพธ์พยากรณ์ มีค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAE) เท่ากับ 865.54 ล้านหน่วย ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 111.47 เมื่อพิจารณาค่าเปอร์เซ็นต์ค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE) เท่ากับ 6.66% ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.41 และค่ารากที่สองของ

ค่าเฉลี่ยกำลังสองของค่าคลาดเคลื่อน (RMSE) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,005.19 ล้านหน่วย ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 181.38



รูปที่ 4.12 ผลลัพธ์การทดลองพยากรณ์ส่วนของการทดลองครั้งที่ 1 ของแบบจำลอง BiLSTM



รูปที่ 4.13 ผลลัพธ์ค่าคลาดเคลื่อนส่วนของการทดลองครั้งที่ 1 ของแบบจำลอง BiLSTM

จากรูปที่ 4.12 แสดงข้อมูลผลลัพธ์การทดลองพยากรณ์ การทดลองครั้งที่ 1 ของแบบจำลอง BiLSTM ที่ได้จากการทดลองเปรียบเทียบค่ากันระหว่างข้อมูลทดสอบกับผลลัพธ์การพยากรณ์ และรูปที่ 4.13 แสดงข้อมูลผลลัพธ์ค่าคลาดเคลื่อนการทดลองครั้งที่ 1 ที่ได้จากผลต่างระหว่างข้อมูลผลลัพธ์จากการพยากรณ์เปรียบเทียบกับข้อมูลทดสอบ ซึ่งข้อมูลการทดลองนี้ได้จากการพยากรณ์ด้วยโปรแกรมของคอมพิวเตอร์ มีทั้งหมด 7 ค่า ดังแสดงค่าในตารางที่ 4.6 สามารถนำข้อมูลมาคำนวณหาค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAE) จากสมการที่ 3.1 ค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE) จากสมการที่ 3.2 และ ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองของค่าคลาดเคลื่อน (RMSE) จากสมการที่ 3.3 ได้ดังนี้

ตารางที่ 4.6 การคำนวณค่าคลาดเคลื่อนของแบบจำลอง BiLSTM การทดลองครั้งที่ 1

ข้อมูล ล n	ค่าที่ แท้จริง y_i (ล้าน หน่วย)	ค่า พยากรณ์ $\hat{y}_i$ (ล้าน หน่วย)	$(y_i - \hat{y}_i)$ (ล้าน หน่วย)	$ y_i - \hat{y}_i $ (ล้านหน่วย)	$(y_i - \hat{y}_i)^2$ (ล้านหน่วย)	$\left \frac{y_i - \hat{y}_i}{\hat{y}_i} \right $ (ล้านหน่วย)
1	12,888	13,488	-600	600	360,000	0.044484
2	13,102	12,158	944	944	891,136	0.077644
3	12,978	11,883	1,095	1,095	1,199,025	0.092148
4	12,467	11,750	717	717	514,089	0.061021
5	12,594	11,724	870	870	756,900	0.074207
6	12,212	11,705	507	507	257,049	0.043315
7	12,236	11,696	540	540	291,600	0.046170
$\sum_{i=1}^n y_i - \hat{y}_i $				5,273		
$\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$					4,269,799	
$\sum_{i=1}^n \left \frac{y_i - \hat{y}_i}{\hat{y}_i} \right $						0.438989

- 1) คำนวณค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAE)

$$MAE = \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i| \right)$$

$$= \frac{(5,273)}{7}$$

$$= 753.2857$$

ดังนั้น MAE เท่ากับ 753.2857 ล้านบาท

- 2) คำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE)

$$MAPE = \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n \left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{\hat{y}_i} \right| \right) \times 100\%$$

$$= \frac{(0.438989)}{7} \times 100\%$$

$$= 6.2713\%$$

ดังนั้น MAPE เท่ากับ 6.2713%

- 3) คำนวณค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองของค่าคลาดเคลื่อน (RMSE)

$$\begin{aligned}
 RMSE &= \sqrt{\frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \right)} \\
 &= \sqrt{\frac{(4,269,799)}{7}} \\
 &= 781.0066
 \end{aligned}$$

ดังนั้น RMSE เท่ากับ 781.0066 ล้านหน่วย

ดังนั้นประสิทธิภาพของแบบจำลอง BiLSTM สามารถประเมินได้จากผลลัพธ์ของค่าคลาดเคลื่อนที่ได้จากการทดลองพยากรณ์ด้วยโปรแกรมของคอมพิวเตอร์ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าจากการคำนวณจากสมการ พบว่าผลลัพธ์ที่ได้มีค่าใกล้เคียงกันมาก ซึ่งแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพและความแม่นยำของแบบจำลอง BiLSTM ในการพยากรณ์

4.3.4 ผลการประมวลของเทคนิคเรียนรู้เชิงลึก

การทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลอง LSTM GRU และ BiLSTM ด้วยการจับเวลาในขั้นตอนของการประมวลผลพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าบนโปรแกรมของคอมพิวเตอร์เปรียบเทียบช่วงเวลาทั้ง 3 แบบ ดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองจับเวลาประมวลผลพยากรณ์ของแบบจำลอง

การทดลอง (ครั้งที่)	LSTM (sec)	GRU (sec)	BiLSTM (sec)
1	11	6	16
2	11	7	16
3	11	6	15
4	11	6	16
5	11	7	15
ค่าเฉลี่ยเลขคณิต	11.0	6.4	15.6
ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.00	0.55	0.55

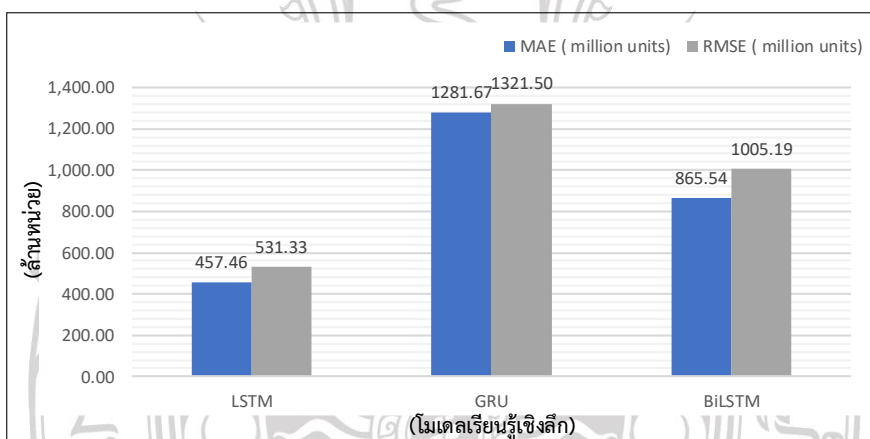
จากตารางที่ 4.7 ผลการทดลองจับเวลาประมวลผลพยากรณ์ของเทคนิคเรียนรู้เชิงลึกพบว่าแบบจำลอง LSTM มีค่าเฉลี่ยทางเวลา เท่ากับ 11 วินาที ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.00 ส่วนของแบบจำลอง GRU มีค่าเฉลี่ยทางเวลา เท่ากับ 6.4 วินาที ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.55 และแบบจำลอง BiLSTM มีค่าเฉลี่ยทางเวลา เท่ากับ 15.6 วินาที ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.55

4.3.5 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลอง ทั้ง 3 แบบ

ผลจากการทดสอบประสิทธิภาพแบบจำลองจากการทดลองพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าแบบรายเดือนด้วยเทคนิคเรียนรู้เชิงลึกทั้ง 3 แบบจำลอง โดยใช้ข้อมูลชุดเดียวกันในการเรียนรู้ของแบบจำลอง เมื่อนำมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลองการพยากรณ์ด้วยค่าคลาดเคลื่อน 3 ตัวแปร ได้แก่ MAE MAPE และ RMSE ได้ผลลัพธ์การเปรียบเทียบ แสดงค่าในตารางที่ 4.8 รูปที่ 4.14 และรูปที่ 4.15 ส่วนของการจับเวลาเปรียบเทียบในขั้นตอนการประมวลผลพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าบนโปรแกรมของคอมพิวเตอร์ ผลลัพธ์การเปรียบเทียบ แสดงค่าในตารางที่ 4.9 และรูปที่ 4.16

ตารางที่ 4.8 ผลการทดลองค่าคลาดเคลื่อนของแบบจำลอง

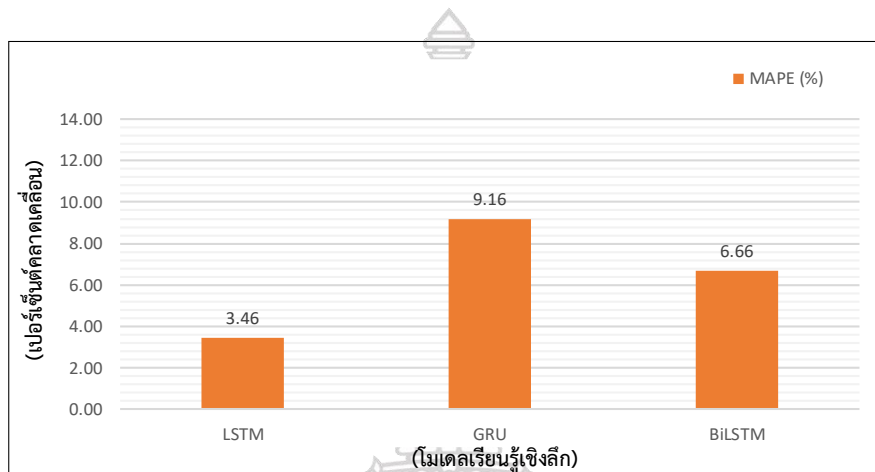
DL. Model	MAE (Million units)	MAPE (%)	RMSE (Million units)
LSTM	457.46	3.46	531.34
GRU	1281.67	9.16	1321.50
BiLSTM	865.54	6.66	1005.19



รูปที่ 4.14 การเปรียบเทียบค่าคลาดเคลื่อน MAE RMSE

จากรูปที่ 4.14 ที่แสดงผลจากการเปรียบเทียบค่าคลาดเคลื่อน MAE RMSE จากการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าด้วยเทคนิคเรียนรู้เชิงลึก ทั้ง 3 แบบ โดยแบบจำลอง LSTM มีค่าคลาดเคลื่อน MAE เท่ากับ 457.46 ล้านหน่วย และค่าคลาดเคลื่อน RMSE เท่ากับ 531.33 ล้านหน่วย ส่วนของแบบจำลอง GRU มีค่าคลาดเคลื่อน MAE เท่ากับ 1281.67 ล้านหน่วย และค่าคลาดเคลื่อน RMSE เท่ากับ 1321.50 ล้านหน่วย และแบบจำลอง BiLSTM มีค่าคลาดเคลื่อน MAE เท่ากับ 865.54 ล้านหน่วย และค่าคลาดเคลื่อน RMSE เท่ากับ 1005.19 ล้านหน่วย จากผลการ

เปรียบเทียบดังรูปที่ 4.14 แสดงให้เห็นว่าแบบจำลอง LSTM ให้ผลลัพธ์การพยากรณ์ที่มีประสิทธิภาพและความแม่นยำใกล้เคียงข้อมูลจริงหรือข้อมูลทดสอบมากที่สุด

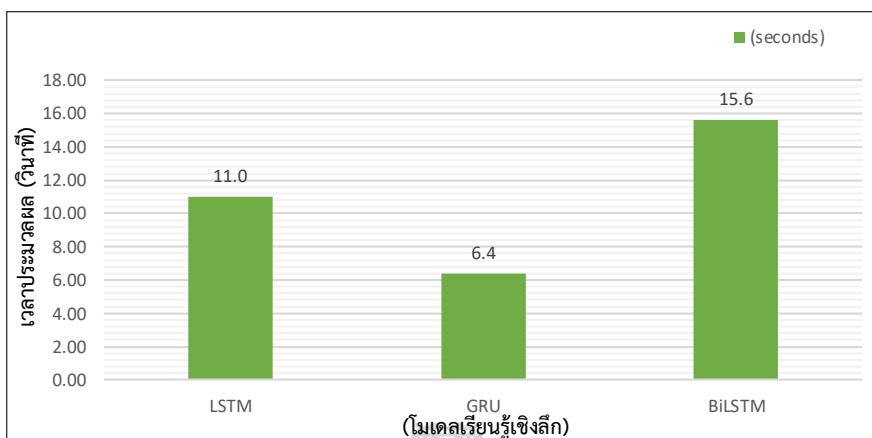


รูปที่ 4.15 การเปรียบเทียบค่าคลาดเคลื่อน MAPE

จากรูปที่ 4.15 ที่แสดงผลการเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์ค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ MAPE โดยแบบจำลอง LSTM มีค่าเปอร์เซ็นต์คลาดเคลื่อน เท่ากับ 3.46% ส่วนของแบบจำลอง GRU มีค่าเปอร์เซ็นต์คลาดเคลื่อน เท่ากับ 9.16% และแบบจำลอง BiLSTM มีค่าเปอร์เซ็นต์คลาดเคลื่อน เท่ากับ 6.66% จากผลการเปรียบเทียบดังรูปที่ 4.15 พบว่าแบบจำลอง LSTM มีค่าผลลัพธ์การพยากรณ์ที่มีค่าเปอร์เซ็นต์คลาดเคลื่อนน้อยกว่าแบบจำลองอื่นมากที่มีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 4.9 ผลการทดลองค่าเวลาในการประมวลผลของแบบจำลอง

DL. Models	Processing time (sec)
LSTM	11.0
GRU	6.4
BiLSTM	15.6



รูปที่ 4.16 การเปรียบเทียบค่าเวลาในการประมวลผลของแบบจำลอง

จากรูปที่ 4.16 ที่แสดงผลจากการเปรียบเทียบค่าเวลาในการประมวลผลของเทคนิคเรียนรู้เชิงลึก โดยแบบจำลอง LSTM มีค่าเวลาประมวลผลเท่ากับ 11 วินาที ส่วนของแบบจำลอง GRU มีค่าเวลาประมวลผลเท่ากับ 6.4 วินาที และแบบจำลอง BiLSTM มีค่าเวลาประมวลผลเท่ากับ 15.6 วินาที จากผลการเปรียบเทียบดังรูปที่ 4.16 พบว่าแบบจำลอง GRU มีค่าเวลาประมวลผลเวลาที่สั้นที่สุด รองลงมาคือ แบบจำลอง LSTM และแบบจำลอง BiLSTM มีค่าเวลาประมวลผลช้าที่สุด

4.4 สรุปผล

จากผลการทดสอบประสิทธิภาพการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าด้วยเทคนิคเรียนรู้เชิงลึกที่นำเสนอในบทที่ 4 แสดงให้เห็นว่าแบบจำลอง LSTM GRU และ BiLSTM ทั้ง 3 แบบ สามารถพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้ารูปแบบรายเดือนได้ แต่แบบจำลอง LSTM มีประสิทธิภาพมากที่สุด ซึ่งวิธีการทดลองพยากรณ์พบว่าแบบจำลอง LSTM มีแนวโน้มการพยากรณ์หน่วยการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับข้อมูลจริงมากที่สุด ส่วนวิธีวัดค่าคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ ก็พบว่าแบบจำลอง LSTM มีค่าคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด และวิธีการเปรียบเทียบค่าเวลาประมวลผล พบว่าแบบจำลอง GRU มีค่าเวลาประมวลผลเร็วที่สุดแต่เมื่อเทียบผลต่างทางเวลาประมวลผลระหว่างแบบจำลอง GRU กับแบบจำลอง LSTM ซึ่งมีผลต่างอยู่ที่ 4.6 วินาที โดยที่แบบจำลอง GRU มีการลดค่าตัวแปรที่น้อยกว่า LSTM ทำให้ประมวลผลได้เร็วกว่า แบบจำลอง LSTM แต่ความแม่นยำและประสิทธิภาพ แบบจำลอง LSTM ยังคงดีกว่า ดังนั้นโดยภาพรวมของการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าด้วยเทคนิคเรียนรู้เชิงลึก ทั้ง 3 แบบ ยังคงแสดงให้เห็นว่าแบบจำลอง LSTM มีประสิทธิภาพและความแม่นยำมากที่สุด

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 บทนำ

วิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอเกี่ยวกับวิธีการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้า โดยวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับประมวลผล การพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าด้วยเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกและใช้ข้อมูลในพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเขต 1 (ภาคใต้) โดยการสร้างแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมด้วยการเรียนรู้เชิงลึก ทั้ง 3 แบบ คือ LSTM, GRU และ BiLSTM สำหรับใช้ในทดลองพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้ารูปแบบรายเดือน

5.2 สรุปผลการวิจัย

การพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าที่นำเสนอได้นำมาเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก ทั้ง 3 แบบจำลอง คือ LSTM GRU และ BiLSTM มาทำการทดสอบพยากรณ์ รูปแบบการพยากรณ์รายเดือน โดยแบบจำลองที่นำเสนอได้นำมาใช้ข้อมูลหน่วยผู้ใช้ไฟฟ้า ที่ประกอบด้วยกลุ่มต่าง ๆ คือ กลุ่มอุตสาหกรรม กลุ่มพาณิชย์รายใหญ่ กลุ่มบ้านอยู่อาศัย กลุ่มพาณิชย์รายย่อย และกลุ่มภาครัฐ โดยข้อมูลหน่วยผู้ใช้ไฟฟ้าแบบรายเดือนจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเขต 1 (ภาคใต้) เริ่มตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2561 ถึง เดือน ธันวาคม พ.ศ. 2566 เป็นข้อมูลรูปแบบรายเดือน ทั้งหมด 72 เดือน สำหรับใช้ทดสอบพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าบนโปรแกรมของคอมพิวเตอร์

การพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าจะใช้วิธีการเปรียบเทียบประสิทธิภาพวิธีพยากรณ์ของแบบจำลอง ด้วยค่าคลาดเคลื่อน ทั้ง 3 ค่า คือ ค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAE) ค่าเปอร์เซ็นต์ค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE) และค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองของค่าคลาดเคลื่อน (RMSE) ผลลัพธ์จากการพยากรณ์ แบบจำลอง LSTM มีประสิทธิภาพมากที่สุดและคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด โดยมีค่า MAE เท่ากับ 457.46 ล้านหน่วย ค่า MAPE เท่ากับ 3.46% และ ค่า RMSE เท่ากับ 531.33 ล้านหน่วย และเมื่อเปรียบเทียบค่าเวลาประมวลผล พบว่าแบบจำลอง GRU มีค่าเวลาประมวลผลเร็วที่สุด เนื่องจากแบบจำลอง GRU มีการลดค่า Parameter ที่น้อยกว่า LSTM ทำให้ประมวลผลได้เร็วกว่า แบบจำลอง LSTM แต่เมื่อเทียบผลต่างทางเวลาประมวลผลระหว่างแบบจำลอง GRU กับแบบจำลอง LSTM ซึ่งมีผลต่างอยู่ที่ 4.6 วินาที ซึ่งผลต่างทางเวลาค่อนข้างน้อยมากจึงทำให้ไม่นำผลลัพธ์ค่าเวลาประมวลผลมาพิจารณาเลือกประสิทธิภาพของแบบจำลอง ดังนั้นการหาประสิทธิภาพของการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้ายังคงเลือกใช้วิธีการเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้วยค่าคลาดเคลื่อน ซึ่งแบบจำลอง LSTM มีประสิทธิภาพดีกว่า

วิทยานิพนธ์นี้อาจจะเป็นข้อมูลสารสนเทศที่สามารถนำไปใช้ในการวางแผนระบบสายส่งไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ ช่วยให้ใช้การจ่ายกระแสไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อให้ผู้ใช้ไฟฟ้ามีกระแสไฟฟ้าเพียงพอต่อการใช้งาน ช่วยในการจัดการทรัพยากร เช่น การวางแผนโครงสร้างพื้นฐาน ช่วยสนับสนุนการวางแผนการสร้างโรงไฟฟ้าใหม่หรือการขยายโรงไฟฟ้าที่มีอยู่ รวมถึงการพัฒนาโครงข่ายไฟฟ้าให้สอดคล้องกับความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าในอนาคตได้

5.3 ข้อเสนอแนะ

วิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้า โดยใช้ข้อมูลตัวเลขเพียงอย่างเดียว สำหรับพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้า แนวทางพัฒนาที่น่าสนใจเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพความแม่นยำ คือ การใช้ข้อมูลอุณหภูมิ วันหยุดราชการ ภาพถ่ายดาวเทียม ฯลฯ ร่วมด้วยสำหรับพยากรณ์ จะช่วยลดคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ได้ การเพิ่มตัวบ่งชี้ (Indicator) ในวิทยานิพนธ์นี้ได้ใช้ตัวบ่งชี้วัดค่าคลาดเคลื่อน เพียง 3 ตัว คือ ค่า MAE MAPE และ RMSE ซึ่งอาจจะเพิ่มตัวบ่งชี้อื่นที่เกี่ยวข้องเพื่อให้สามารถช่วยลดความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ได้ และในปัจจุบันนี้เริ่มมีการใช้ยานยนต์ไฟฟ้าที่เพิ่มมากขึ้นและความต้องการไฟฟ้าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ซึ่งแบบพยากรณ์นี้ยังไม่สามารถรองรับในส่วนนี้ได้



บรรณานุกรม

- [1] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.), ก., Load Forecast ต้นทาง การสร้างโรงไฟฟ้า. 2567.
- [2] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, รายงานสถิติพลังงานของประเทศไทย. 2567. p. 95-120.
- [3] ธนาคารแห่งประเทศไทย, ผลกระทบวิกฤติโควิด 19 กับเศรษฐกิจโลก, in BOT พระสยาม MAGAZINE. 2563.
- [4] การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. ประวัติความเป็นมา. 2023.
- [5] Kang, T., et al. Forecasting of Power Demands Using Deep Learning. Applied Sciences, 2020. 10, DOI: 10.3390/app10207241.
- [6] Zelios, V., et al. Deep Learning Electric Load Forecasting for the Greek Power System. in 2023 27th International Conference on Circuits, Systems, Communications and Computers (CSCC). 2023.
- [7] Abeysingha, A.A.K.U., et al., Electricity Load/demand Forecasting in Sri Lanka using Deep Learning Techniques, in 2021 10th International Conference on Information and Automation for Sustainability (ICIAfS). 2021. p. 293-298.
- [8] จิตตานนท์, ส., การพยากรณ์การใช้พลังงานภายในอาคาร SGtech อย่างชาญฉลาดด้วยการเรียนรู้เชิงลึก. 2566, มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- [9] Nelson, C., et al., Foresight in Synthetic Biology and Biotechnology Threats. 2021. p. 177-194.
- [10] University, C.M. การพยากรณ์. 2566; Available from: https://archive.lib.cmu.ac.th/full/T/2559/inma90659tepsr_ch2.pdf.
- [11] Mandal, P. and S. Mondal, An application of artificial neural network and particle swarm optimisation technique for modelling and optimisation of centreless grinding process. International Journal of Productivity and Quality Management, 2017. 20: p. 344.
- [12] Sarapan, W., et al. Weekly Load Demand Forecasting using Supervised Deep Learning Techniques: A Case Study of Suranaree University of Technology. in 2023 International Electrical Engineering Congress (iEECON). 2023.
- [13] Sarker, I.H., Deep Learning: A Comprehensive Overview on Techniques, Taxonomy, Applications and Research Directions. SN Computer Science, 2021. 2(6): p. 420.
- [14] Pannakkong, W., et al. Forecasting medium-term electricity demand in Thailand: comparison of ANN, SVM, DBN, and their ensembles. in 2019 17th International Conference on ICT and Knowledge Engineering (ICT&KE). 2019.

- [15] Albelwi, S. and A. Mahmood A Framework for Designing the Architectures of Deep Convolutional Neural Networks. *Entropy*, 2017. 19, DOI: 10.3390/e19060242.
- [16] Reynolds, A.H. Convolutional Neural Networks (CNNs). 2019; Available from: <https://anhreynolds.com/blogs/cnn.html>.
- [17] Ingargiola, A. Deep-dive into Convolutional Networks. 2019 7-2-2024; Available from: <https://towardsdatascience.com/deep-dive-into-convolutional-networks-48db75969fdf>.
- [18] Berre, C., et al., Application of Artificial Intelligence to Gastroenterology and Hepatology. *Gastroenterology*, 2019. 158.
- [19] Nguyen, V.B., M.T. Duong, and M.H. Le. Electricity Demand Forecasting for Smart Grid Based on Deep Learning Approach. in 2020 5th International Conference on Green Technology and Sustainable Development (GTSD). 2020.
- [20] Mustaqeem, M. Ishaq, and S. Kwon, Short-Term Energy Forecasting Framework Using an Ensemble Deep Learning Approach. *IEEE Access*, 2021. 9: p. 94262-94271.
- [21] กองเศรษฐกิจพลังงาน, ก., Load Profile report. 2023.
- [22] Khotsriwong, N., et al., Short-term Load Demand Forecasting using Supervised Deep Learning Techniques: A Case Study of Suranaree University of Technology, in 2023 International Electrical Engineering Congress (IEEECON). 2023. p. 417-420.
- [23] Yazici, I., O.F. Beyca, and D. Delen, Deep-learning-based short-term electricity load forecasting: A real case application. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 2022. 109: p. 104645.
- [24] Raschka, S. Predictive modeling, supervised machine learning, and pattern classification. 2014 25 Aug. 2014; Available from: https://sebastianraschka.com/Articles/2014_intro_supervised_learning.html#workflow-diagram.

ภาคผนวก ก

ข้อมูลหน่วยผู้ใช้ไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเขต 1 (ภาคใต้)
สำหรับวิจัย



ตารางที่ ก1 ข้อมูลหน่วยผู้ใช้ไฟฟ้าของปี พ.ศ. 2561

สรุปข้อมูลผู้ใช้ไฟฟ้า ปี 2561

เขต	กลุ่มลูกค้า (5 กลุ่มใหม่)	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	Grand Total
A	อุตสาหกรรม	130,660,452	127,915,647	147,777,006	132,431,198	153,485,751	148,885,343	155,464,575	165,892,300	151,737,708	150,192,225	148,699,234	137,152,933	1,749,994,771
	พาณิชย์ใหญ่	93,607,262	87,926,929	105,270,597	107,883,269	117,511,940	111,265,093	115,987,847	116,536,024	112,947,275	112,372,923	105,074,553	102,359,213	1,288,742,925
	บ้านอยู่อาศัย	170,250,083	157,164,052	196,656,590	215,990,434	230,905,011	216,254,976	223,510,658	211,029,524	210,456,172	220,830,623	190,801,460	186,883,926	2,430,733,509
	พาณิชย์ย่อย	82,147,373	77,903,790	94,134,159	95,716,206	101,756,683	97,217,004	100,087,683	97,206,386	96,202,186	100,245,493	91,084,372	91,752,961	1,125,494,356
	ภาครัฐ	70,673,315	69,038,396	81,457,655	77,235,136	81,984,175	80,869,545	84,824,216	83,083,043	84,871,815	82,584,985	76,244,063	75,249,937	948,116,281
รวมกลุ่มลูกค้า		547,338,485	519,948,814	625,296,406	629,236,243	685,643,561	654,192,021	679,874,979	673,747,277	656,255,156	666,226,230	611,903,681	593,398,969	7,543,081,842
B	อุตสาหกรรม	84,427,683	75,550,769	97,642,735	87,138,838	80,884,300	72,605,280	76,995,654	84,356,808	85,315,197	89,662,412	88,883,727	86,227,381	1,009,670,785
	พาณิชย์ใหญ่	41,003,542	38,444,730	46,820,339	48,392,957	50,787,941	47,461,925	47,076,075	46,885,324	47,679,071	48,983,147	45,934,652	45,243,472	554,713,174
	บ้านอยู่อาศัย	144,136,203	137,960,681	176,469,482	192,096,742	204,731,873	190,126,247	187,035,165	179,187,931	173,155,133	195,108,597	172,610,941	168,565,467	2,121,184,462
	พาณิชย์ย่อย	59,725,022	57,804,785	71,780,318	73,534,346	77,201,393	72,211,083	71,539,339	69,506,819	67,709,465	74,543,033	68,403,706	68,271,725	832,231,034
	ภาครัฐ	77,921,788	76,792,707	87,204,822	76,950,983	80,796,718	80,322,522	80,781,186	78,312,157	80,297,013	81,283,289	77,029,189	80,367,370	958,059,744
รวมกลุ่มลูกค้า		407,214,238	386,553,671	479,917,696	478,113,867	494,402,226	462,727,057	463,427,419	458,249,040	454,155,879	489,580,477	452,842,215	448,675,414	5,475,859,199
C	อุตสาหกรรม	201,228,054	179,965,377	226,422,575	206,455,760	218,924,533	212,805,751	207,824,195	234,596,028	232,969,801	230,650,567	227,719,360	220,487,474	2,600,049,475
	พาณิชย์ใหญ่	41,936,363	39,344,343	48,258,511	45,140,564	47,550,308	45,624,110	46,419,881	47,857,610	46,397,139	48,076,132	45,970,087	45,443,780	548,018,828
	บ้านอยู่อาศัย	126,527,763	127,129,594	164,152,474	172,403,746	179,852,283	168,236,193	168,001,210	164,021,300	153,082,052	174,898,844	153,738,013	154,051,716	1,906,095,188
	พาณิชย์ย่อย	45,623,773	44,334,677	54,784,832	55,175,309	57,805,125	54,717,936	54,731,529	53,556,266	50,864,976	56,521,272	51,856,366	53,052,395	633,004,457
	ภาครัฐ	52,572,072	51,554,017	60,028,532	55,758,539	60,458,560	62,316,922	60,031,427	59,925,934	57,973,599	59,245,781	58,222,958	59,540,414	697,628,755
รวมกลุ่มลูกค้า		467,888,025	442,328,008	553,646,924	534,933,917	564,590,809	543,700,912	537,008,242	559,957,138	541,287,567	569,392,596	537,486,784	532,575,780	6,384,796,702
D	อุตสาหกรรม	84,935,307	87,932,104	94,764,372	92,370,840	93,625,914	87,799,108	87,324,750	88,298,005	91,309,057	99,261,347	92,948,316	88,797,461	1,089,366,581
	พาณิชย์ใหญ่	58,919,363	54,134,229	68,668,361	70,214,639	74,680,907	73,026,192	73,131,380	73,105,551	73,101,641	73,810,173	68,011,316	66,174,483	826,978,237
	บ้านอยู่อาศัย	184,826,821	169,709,007	223,917,873	233,030,662	258,528,425	250,216,331	253,972,006	242,319,508	235,729,804	255,681,089	223,767,033	212,295,267	2,743,993,826
	พาณิชย์ย่อย	61,723,575	57,445,129	71,747,910	71,964,991	77,283,425	75,170,313	76,200,424	73,259,653	72,050,424	78,038,140	72,063,026	71,723,151	858,670,160
	ภาครัฐ	87,026,338	83,006,496	99,725,900	91,833,293	97,778,020	102,397,184	103,652,196	107,016,235	106,068,911	102,736,362	96,181,595	95,526,943	1,172,949,473
รวมกลุ่มลูกค้า		477,431,404	452,226,965	558,824,417	559,414,425	601,896,691	588,609,128	594,280,756	583,998,932	578,259,837	609,527,111	552,971,286	534,517,305	6,691,958,277
E	อุตสาหกรรม	80,671,098	76,603,528	79,855,527	63,206,536	70,918,725	66,032,818	61,841,543	67,192,811	69,164,903	84,514,301	92,529,783	83,006,740	895,538,313
	พาณิชย์ใหญ่	40,672,325	36,685,968	46,419,980	47,985,120	51,908,706	49,688,381	48,696,497	48,700,191	48,995,729	49,031,062	46,318,911	45,248,326	560,351,195
	บ้านอยู่อาศัย	174,288,355	159,286,566	208,778,831	211,443,826	234,007,616	220,172,346	224,695,180	212,148,332	208,785,904	225,585,360	205,185,601	197,505,389	2,481,883,306
	พาณิชย์ย่อย	64,734,746	59,202,681	74,016,217	72,475,041	79,847,815	75,657,571	76,773,827	73,734,743	72,903,351	77,884,608	72,811,559	72,802,138	872,844,522
	ภาครัฐ	76,969,412	74,188,425	86,728,416	75,581,916	81,730,948	85,146,581	85,266,050	79,689,993	81,467,735	85,923,090	78,545,478	78,993,104	970,231,148
รวมกลุ่มลูกค้า		437,335,935	405,967,169	495,798,971	470,692,439	518,413,810	496,697,923	497,273,098	481,466,069	481,317,622	522,938,420	495,391,351	477,555,697	5,780,848,484

ตารางที่ ก1 ข้อมูลหน่วยผู้ใช้ไฟฟ้าของปี พ.ศ. 2561 (ต่อ)

สรุปข้อมูลผู้ใช้ไฟฟ้า ปี 2561 (ต่อ)														
เขต	กลุ่มลูกค้า (5 กลุ่มใหม่)	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	Grand Total
F	อุตสาหกรรม	323,574,388	306,030,213	345,665,617	284,785,142	314,197,372	314,197,372	320,392,006	331,336,836	330,758,198	346,014,766	341,329,502	314,958,396	3,870,604,550
	พาณิชย์ใหญ่	63,773,414	59,312,361	73,211,545	71,841,232	76,457,908	74,754,312	75,037,262	73,817,824	72,466,716	75,246,344	69,988,670	71,678,643	857,586,232
	บ้านอยู่อาศัย	184,362,308	172,400,203	225,371,221	228,568,322	243,105,466	233,098,752	241,372,329	231,652,719	220,548,786	239,236,471	215,665,952	211,579,480	2,646,962,009
	พาณิชย์ย่อย	63,385,840	59,474,914	74,107,193	72,468,842	76,628,736	73,884,970	76,125,384	73,407,397	70,335,631	75,492,387	70,620,931	71,494,833	857,427,057
	ภาครัฐ	66,244,165	63,684,355	75,595,422	67,858,578	74,217,132	78,500,015	80,115,609	78,291,214	78,221,444	79,284,619	72,441,741	72,060,152	886,514,447
G	รวมกลุ่มลูกค้า	701,340,115	660,902,045	793,950,999	725,522,116	784,606,615	771,800,164	793,042,590	788,505,989	772,330,775	815,274,587	770,046,795	741,771,504	9,119,094,294
	อุตสาหกรรม	1,202,899,599	1,144,834,718	1,326,267,595	1,193,957,742	1,292,146,910	1,283,767,083	1,238,138,290	1,282,020,595	1,230,832,414	1,271,268,952	1,200,801,782	1,131,965,179	14,798,900,859
	พาณิชย์ใหญ่	195,922,241	183,408,272	219,496,748	204,564,083	218,948,507	213,591,405	214,461,448	214,557,576	211,891,826	223,477,282	213,661,516	208,849,884	2,552,830,786
	บ้านอยู่อาศัย	240,408,932	249,999,279	320,953,111	327,507,352	347,656,600	331,424,733	330,448,686	322,001,011	302,232,298	343,428,632	311,081,323	309,968,324	3,737,110,163
	พาณิชย์ย่อย	92,151,153	93,255,478	112,135,691	108,961,296	116,594,961	113,147,410	113,917,484	111,957,452	108,452,186	117,833,241	110,681,323	114,047,085	1,313,134,760
H	ภาครัฐ	95,914,066	94,214,535	108,184,199	96,862,638	106,178,976	105,613,068	107,213,244	106,859,942	108,669,915	107,675,998	105,309,316	104,168,470	1,246,864,368
	รวมกลุ่มลูกค้า	1,827,295,991	1,765,712,282	2,087,037,344	1,931,853,110	2,081,525,954	2,047,543,698	2,004,179,152	2,037,396,576	1,962,078,640	2,063,684,105	1,941,535,142	1,868,998,942	23,618,840,936
	อุตสาหกรรม	1,554,411,291	1,490,398,688	1,686,544,094	1,417,977,845	1,638,655,504	1,642,967,186	1,648,258,289	1,679,403,123	1,639,975,414	1,654,977,094	1,625,821,695	1,521,387,791	19,200,778,015
	พาณิชย์ใหญ่	276,780,327	263,326,976	312,973,615	293,404,699	311,224,069	303,795,399	317,748,394	304,245,778	290,792,488	300,441,962	296,823,016	302,268,038	3,573,824,760
	บ้านอยู่อาศัย	290,181,986	291,932,388	362,963,870	362,653,930	378,885,455	364,057,268	379,563,637	362,783,783	339,732,942	362,252,982	349,132,225	360,716,204	4,204,856,670
I	พาณิชย์ย่อย	130,853,105	128,732,949	153,328,768	149,379,494	156,422,202	151,223,712	155,750,661	152,118,998	146,165,155	154,499,203	149,945,494	155,640,208	1,784,059,949
	ภาครัฐ	105,370,454	99,929,030	112,328,707	102,573,068	106,791,986	111,461,408	107,631,762	109,307,524	104,823,231	107,333,682	108,726,397	107,559,641	1,283,836,890
	รวมกลุ่มลูกค้า	2,357,597,164	2,274,320,031	2,628,139,055	2,325,989,036	2,591,979,216	2,573,504,973	2,608,952,742	2,607,859,205	2,521,489,229	2,579,504,923	2,530,448,827	2,447,571,882	30,047,356,283
	อุตสาหกรรม	851,004,192	802,793,650	940,299,136	799,650,047	936,903,955	919,985,399	914,779,854	936,910,102	909,339,914	918,126,528	904,256,902	838,383,671	10,672,433,352
	พาณิชย์ใหญ่	101,749,180	98,655,729	118,347,823	109,605,439	120,103,887	116,149,200	116,485,301	117,289,443	114,555,992	116,524,365	113,410,570	111,326,500	1,354,203,430
J	บ้านอยู่อาศัย	176,356,276	187,144,838	238,379,876	242,586,309	256,883,614	240,842,045	244,132,649	241,642,206	223,789,132	243,024,702	220,478,178	222,885,233	2,738,145,058
	พาณิชย์ย่อย	87,165,505	89,056,643	106,618,811	103,298,448	110,156,535	106,020,712	107,226,940	106,270,063	101,721,017	106,882,640	101,020,666	102,690,702	1,228,128,683
	ภาครัฐ	66,527,318	66,023,946	77,858,167	68,837,090	74,845,306	74,135,314	73,418,039	75,071,268	75,896,376	75,128,412	73,784,611	70,826,865	872,352,712
	รวมกลุ่มลูกค้า	1,282,802,471	1,243,674,807	1,481,503,814	1,323,977,333	1,498,893,296	1,457,132,670	1,456,042,783	1,477,183,083	1,425,302,432	1,459,686,647	1,412,950,928	1,346,112,971	16,865,263,235
	อุตสาหกรรม	240,674,150	234,518,790	266,393,110	250,337,478	266,436,418	261,738,892	260,821,513	254,666,091	257,652,469	253,491,635	234,934,850	224,053,568	3,005,718,963
	พาณิชย์ใหญ่	65,824,006	62,930,581	75,518,781	72,307,025	74,781,055	69,914,069	73,800,756	71,113,003	69,259,044	73,139,164	67,968,286	70,604,699	847,160,469
	บ้านอยู่อาศัย	135,104,232	133,728,206	165,730,792	169,411,879	174,428,318	161,726,847	164,119,186	160,403,468	154,220,410	167,191,121	152,970,783	155,410,115	1,894,445,357
	พาณิชย์ย่อย	49,164,636	48,121,144	57,490,442	57,313,901	58,855,635	55,149,493	55,895,683	55,695,209	53,900,995	56,929,477	53,460,778	54,591,362	656,568,756
	ภาครัฐ	52,606,392	51,101,630	58,609,183	54,241,352	58,019,297	57,165,233	56,672,015	57,154,208	56,475,713	56,663,803	57,288,925	57,140,741	673,138,493
	รวมกลุ่มลูกค้า	543,373,416	530,400,351	623,742,308	603,611,635	632,520,724	605,694,534	611,309,153	599,031,979	591,508,630	607,415,201	566,623,622	561,800,484	7,077,032,037

ตารางที่ ก1 ข้อมูลหน่วยผู้ใช้ไฟฟ้าของปี พ.ศ. 2561 (ต่อ)

สรุปข้อมูลผู้ใช้ไฟฟ้า ปี 2561 (ต่อ)														
เขต	กลุ่มลูกค้า (5 กลุ่มใหม่)	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	Grand Total
K	อุตสาหกรรม	165,086,157	156,533,190	182,893,498	171,031,436	177,437,735	167,862,969	172,723,632	178,346,742	175,101,494	167,276,593	155,481,341	155,715,606	2,025,490,394
	พาณิชย์รายใหญ่	223,855,147	221,607,936	257,021,414	242,823,063	226,975,328	208,714,565	227,147,145	227,514,417	205,222,375	212,089,868	216,943,566	232,230,769	2,702,145,593
	บ้านอยู่อาศัย	251,391,954	243,376,958	295,486,189	291,883,926	290,876,272	270,451,882	275,246,982	279,448,167	262,458,276	269,023,972	261,536,833	269,467,090	3,260,648,501
	พาณิชย์รายย่อย	98,818,386	96,253,861	113,052,033	108,346,860	107,255,046	99,244,439	101,402,023	104,505,342	99,389,334	100,623,434	99,449,939	103,433,014	1,231,773,731
	ภาครัฐ	73,256,845	71,160,318	80,420,216	74,186,581	77,090,748	76,752,879	78,670,935	80,160,317	79,209,556	75,982,883	77,316,552	78,499,046	922,706,877
L	รวมกลุ่มลูกค้า	812,408,489	788,932,264	928,873,350	888,271,866	879,635,129	823,026,754	855,190,717	869,974,985	821,381,036	824,996,750	810,728,231	839,345,525	10,142,765,096
	อุตสาหกรรม	154,586,613	143,958,937	165,494,545	153,661,539	163,753,682	158,109,742	164,009,250	166,566,143	163,360,951	165,340,699	156,988,376	150,702,921	1,906,533,398
	พาณิชย์รายใหญ่	43,887,823	41,983,287	49,131,503	47,390,351	48,705,825	47,202,472	49,148,168	50,279,130	47,725,859	47,264,931	46,309,031	48,192,370	567,220,750
	บ้านอยู่อาศัย	145,513,383	136,792,149	162,891,111	164,867,480	171,195,037	167,132,255	165,981,914	169,233,360	156,543,221	161,887,002	153,043,514	157,200,941	1,912,281,367
	พาณิชย์รายย่อย	51,208,586	49,247,196	58,322,196	57,736,620	59,901,045	56,794,429	58,048,035	60,010,150	56,802,017	57,621,596	54,358,676	55,304,496	675,354,996
Total	ภาครัฐ	68,705,716	66,266,221	76,478,124	69,963,431	72,653,403	72,042,840	74,771,585	76,548,595	72,965,201	72,102,176	71,182,407	71,921,103	865,600,803
	รวมกลุ่มลูกค้า	463,902,121	438,247,791	512,317,479	493,619,421	516,208,992	501,281,739	511,958,952	522,637,377	497,397,250	504,216,404	481,882,005	483,321,783	5,926,991,314
	อุตสาหกรรม	5,074,158,984	4,827,035,612	5,560,020,211	4,853,004,401	5,407,370,798	5,333,821,687	5,308,573,551	5,469,585,584	5,337,517,520	5,430,777,121	5,270,374,868	4,952,839,120	62,825,079,456
	พาณิชย์รายใหญ่	1,247,930,994	1,187,761,342	1,421,139,217	1,361,552,441	1,419,636,381	1,361,187,121	1,405,140,155	1,391,901,871	1,341,035,155	1,380,457,354	1,336,414,173	1,349,620,176	16,203,776,379
	บ้านอยู่อาศัย	2,223,348,296	2,166,623,921	2,741,751,420	2,812,444,608	2,971,055,970	2,813,739,875	2,858,079,602	2,775,871,309	2,640,734,130	2,858,149,395	2,610,011,738	2,606,529,152	32,078,339,416
	พาณิชย์รายย่อย	886,701,699	860,833,248	1,041,518,569	1,026,371,353	1,079,708,603	1,030,439,378	1,047,699,012	1,031,228,478	996,536,738	1,057,114,522	995,736,836	1,014,804,023	12,068,692,459
	ภาครัฐ	893,787,881	866,960,076	1,004,619,345	911,882,605	972,545,270	986,723,513	993,048,264	991,420,429	986,940,510	985,945,079	952,273,232	951,853,786	11,497,999,989
	รวมกลุ่มลูกค้า	10,325,927,854	9,909,214,198	11,769,048,763	10,965,255,408	11,850,317,023	11,525,911,573	11,612,540,583	11,660,007,670	11,302,764,053	11,712,443,471	11,164,810,847	10,875,646,256	134,673,887,699

ตารางที่ ก2 ข้อมูลหน่วยผู้ใช้ไฟฟ้าของปี พ.ศ. 2562

สรุปข้อมูลผู้ใช้ไฟฟ้า ปี 2562														
เขต	กลุ่มลูกค้า (5 กลุ่มใหญ่)	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	Grand Total
A	อุตสาหกรรม	135,377,295	128,940,611	147,770,133	134,672,304	162,024,991	151,302,084	154,823,127	160,675,917	149,456,584	151,657,043	142,265,016	124,948,412	1,743,913,518
	พาณิชย์รายใหญ่	97,418,349	89,999,062	106,453,094	115,918,899	134,541,970	123,636,701	122,884,386	118,966,547	114,172,572	117,462,235	108,590,429	93,536,157	1,343,580,401
	บ้านอยู่อาศัย	176,804,514	162,344,096	205,959,611	249,122,392	303,660,829	249,663,492	260,902,622	226,082,881	222,590,252	223,981,601	209,270,543	179,164,346	2,669,547,179
	พาณิชย์รายย่อย	86,248,854	80,543,692	98,334,593	105,570,982	121,143,447	106,359,299	109,277,320	100,602,677	98,524,756	100,421,618	95,592,878	87,072,204	1,189,692,321
	ภาครัฐ	72,188,949	69,950,471	85,365,265	86,064,505	94,254,956	89,245,474	93,143,508	87,901,086	87,748,183	87,811,271	81,547,954	73,931,147	1,009,152,768
B	รวมกลุ่มลูกค้า	568,037,961	531,777,932	643,882,696	691,349,082	815,626,193	720,207,050	741,030,963	694,229,107	672,492,347	681,333,769	637,266,820	558,652,267	7,955,886,187
	อุตสาหกรรม	81,893,785	69,749,851	94,853,407	86,694,660	82,982,612	71,843,761	73,107,657	73,089,596	79,864,252	86,157,863	84,579,447	76,506,305	961,323,197
	พาณิชย์รายใหญ่	42,944,465	41,253,889	50,396,051	54,383,384	57,452,538	52,825,014	51,745,737	49,229,298	49,349,802	53,064,701	47,981,201	42,374,911	593,000,991
	บ้านอยู่อาศัย	158,890,688	146,093,500	189,471,373	229,169,541	257,677,380	210,614,618	210,474,073	192,494,862	181,224,347	198,809,468	183,962,214	155,276,513	2,314,158,577
	พาณิชย์รายย่อย	64,670,234	60,517,069	75,256,048	82,426,506	89,842,251	76,888,360	76,888,151	71,820,866	68,785,859	74,713,966	69,951,046	63,212,304	874,972,659
C	ภาครัฐ	83,258,671	80,150,526	94,883,270	89,831,725	91,312,297	87,528,218	92,931,637	88,426,131	83,673,246	88,237,711	80,033,712	76,490,344	1,036,757,489
	รวมกลุ่มลูกค้า	431,657,843	397,764,835	504,860,150	542,505,815	579,267,078	499,699,971	505,147,256	475,060,753	462,897,506	500,983,709	466,507,620	413,860,377	5,780,212,913
	อุตสาหกรรม	206,003,139	197,327,652	234,331,985	211,988,118	223,671,513	216,044,275	217,402,055	223,983,311	221,817,828	213,944,132	219,529,433	202,903,499	2,588,946,941
	พาณิชย์รายใหญ่	43,041,641	43,124,497	50,785,754	50,737,129	51,275,366	48,775,408	46,731,366	46,673,730	46,730,836	47,753,855	43,358,379	40,340,611	559,328,572
	บ้านอยู่อาศัย	148,591,263	142,126,458	183,568,230	205,214,448	216,883,092	185,847,814	187,964,890	176,849,226	160,859,763	175,873,492	166,439,702	142,054,202	2,092,272,580
D	พาณิชย์รายย่อย	51,495,579	48,741,864	59,369,829	61,728,881	64,584,002	57,808,553	58,288,323	55,919,324	51,634,399	55,433,584	53,788,551	49,425,991	668,219,480
	ภาครัฐ	58,047,953	57,078,380	66,767,926	62,813,181	66,227,959	65,016,723	65,880,473	65,026,623	63,382,561	67,636,185	63,998,815	59,547,991	761,424,771
	รวมกลุ่มลูกค้า	507,179,575	488,398,851	594,823,724	592,481,757	622,642,533	573,492,773	576,267,107	568,452,214	544,425,387	560,641,248	547,114,881	494,272,294	6,670,192,344
	อุตสาหกรรม	92,059,972	87,138,196	116,074,440	97,228,475	103,387,569	90,736,575	93,416,228	89,293,798	89,832,438	97,837,771	87,792,190	82,789,085	1,127,586,736
	พาณิชย์รายใหญ่	62,776,917	64,205,194	77,805,383	82,630,588	82,072,899	80,333,048	80,254,271	77,595,572	73,007,722	76,282,999	65,829,039	60,176,798	882,970,429
E	บ้านอยู่อาศัย	205,705,007	192,823,403	255,733,226	285,295,608	304,935,277	272,016,865	293,248,221	270,085,446	246,141,530	265,353,587	229,006,050	197,416,761	3,017,764,981
	พาณิชย์รายย่อย	69,110,448	66,097,748	81,574,217	84,578,247	88,870,899	81,088,055	85,569,747	80,572,932	74,309,503	80,280,839	72,997,771	67,948,492	932,998,899
	ภาครัฐ	91,857,207	90,594,005	106,512,264	101,917,162	109,409,740	109,556,923	112,735,603	108,609,848	102,042,302	109,590,124	93,486,103	90,151,610	1,226,462,890
	รวมกลุ่มลูกค้า	521,509,550	500,858,545	637,699,529	651,654,080	688,676,383	633,731,467	665,224,071	626,157,596	585,333,495	629,345,320	549,111,153	498,482,746	7,187,783,935
	อุตสาหกรรม	78,636,605	79,864,842	91,590,639	76,357,186	75,469,685	68,163,716	70,547,481	69,839,078	69,896,198	71,999,417	88,860,847	84,943,412	926,169,107
	พาณิชย์รายใหญ่	42,255,213	44,149,055	53,386,599	55,437,572	55,519,742	53,904,789	53,238,699	50,887,592	47,243,341	51,852,249	45,320,593	42,254,895	595,470,340
	บ้านอยู่อาศัย	194,570,973	186,997,985	246,628,610	260,264,781	268,326,704	246,015,956	260,371,306	233,216,112	210,922,621	231,334,091	201,428,164	183,669,069	2,723,746,372
	พาณิชย์รายย่อย	70,877,792	67,940,481	85,294,533	86,275,811	89,126,078	82,934,142	86,560,298	79,955,282	72,628,856	79,328,163	72,007,652	69,608,865	942,537,953
	ภาครัฐ	82,890,437	85,129,035	98,153,463	84,851,052	86,219,071	92,471,874	97,829,698	89,052,705	80,179,632	85,494,180	76,104,900	77,151,725	1,035,527,771
	รวมกลุ่มลูกค้า	469,231,020	464,081,398	575,053,845	563,186,402	574,661,280	543,490,477	568,567,482	522,950,768	480,870,648	520,008,100	483,722,157	457,627,966	6,223,451,543

ตารางที่ ก2 ข้อมูลหน่วยผู้ใช้ไฟฟ้าของปี พ.ศ. 2562 (ต่อ)

สรุปข้อมูลผู้ใช้ไฟฟ้า ปี 2562 (ต่อ)														
เขต	กลุ่มลูกค้า (5 กลุ่มใหม่)	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	Grand Total
F	อุตสาหกรรม	327,965,199	323,274,537	354,908,898	311,929,786	310,839,641	292,893,615	303,869,333	308,416,560	303,959,174	318,669,431	308,177,425	294,823,220	3,759,726,820
	พาณิชย์ขนาดใหญ่	66,956,239	70,116,633	81,279,864	79,531,476	82,434,391	79,104,911	79,291,387	77,878,160	72,001,759	76,725,064	69,648,058	65,649,568	900,617,712
	บ้านอยู่อาศัย	207,302,184	198,102,162	260,930,947	270,122,863	282,254,091	256,932,388	268,214,261	258,768,099	228,781,820	240,451,927	218,759,749	196,594,983	2,887,235,474
	พาณิชย์รายย่อย	69,675,458	66,970,382	82,843,450	81,669,071	85,329,255	78,941,862	82,206,172	80,436,645	71,291,098	75,146,618	70,711,325	67,924,716	913,146,053
	ภาครัฐ	71,184,774	73,275,283	84,880,290	76,028,616	80,349,740	83,284,446	84,111,115	82,300,428	78,264,134	81,152,673	72,249,052	68,925,017	936,005,567
	รวมกลุ่มลูกค้า	743,083,854	731,738,998	864,843,449	819,281,812	841,207,118	791,177,221	817,692,469	807,799,892	754,297,985	739,545,610	693,917,505	693,917,505	9,396,731,626
F	อุตสาหกรรม	1,125,126,433	1,114,201,638	1,240,421,058	1,103,091,535	1,192,501,094	1,221,828,938	1,151,794,481	1,178,020,379	1,147,458,853	1,153,502,613	1,135,064,857	1,052,632,659	13,815,644,557
	พาณิชย์ขนาดใหญ่	205,559,789	206,427,415	234,886,505	229,774,055	241,362,350	227,397,896	230,681,773	230,681,773	227,005,911	241,208,828	219,283,568	204,628,387	2,699,094,426
	บ้านอยู่อาศัย	290,110,201	289,804,142	365,766,515	388,106,265	435,520,644	367,923,279	361,907,608	354,207,529	321,405,996	348,232,269	334,505,572	285,318,597	4,142,808,617
	พาณิชย์รายย่อย	105,730,818	104,716,713	124,136,197	122,133,149	133,556,436	120,777,951	120,318,133	119,583,636	111,985,002	118,904,841	114,363,751	105,618,877	1,401,825,504
	ภาครัฐ	103,235,894	103,441,858	118,174,590	109,942,746	115,563,984	111,603,177	110,417,461	113,360,975	110,392,056	112,736,603	110,270,586	104,247,846	1,323,387,778
	รวมกลุ่มลูกค้า	1,829,763,135	1,818,591,766	2,083,384,865	1,953,047,751	2,118,504,509	2,049,531,261	1,975,315,633	1,995,854,292	1,918,247,818	1,913,488,334	1,752,446,365	23,382,760,882	
G	อุตสาหกรรม	1,125,126,433	1,114,201,638	1,240,421,058	1,103,091,535	1,192,501,094	1,221,828,938	1,151,794,481	1,178,020,379	1,147,458,853	1,153,502,613	1,135,064,857	1,052,632,659	13,815,644,557
	พาณิชย์ขนาดใหญ่	205,559,789	206,427,415	234,886,505	229,774,055	241,362,350	227,397,896	230,681,773	230,681,773	227,005,911	241,208,828	219,283,568	204,628,387	2,699,094,426
	บ้านอยู่อาศัย	290,110,201	289,804,142	365,766,515	388,106,265	435,520,644	367,923,279	361,907,608	354,207,529	321,405,996	348,232,269	334,505,572	285,318,597	4,142,808,617
	พาณิชย์รายย่อย	105,730,818	104,716,713	124,136,197	122,133,149	133,556,436	120,777,951	120,318,133	119,583,636	111,985,002	118,904,841	114,363,751	105,618,877	1,401,825,504
	ภาครัฐ	103,235,894	103,441,858	118,174,590	109,942,746	115,563,984	111,603,177	110,417,461	113,360,975	110,392,056	112,736,603	110,270,586	104,247,846	1,323,387,778
	รวมกลุ่มลูกค้า	1,829,763,135	1,818,591,766	2,083,384,865	1,953,047,751	2,118,504,509	2,049,531,261	1,975,315,633	1,995,854,292	1,918,247,818	1,913,488,334	1,752,446,365	23,382,760,882	
H	อุตสาหกรรม	1,551,857,575	1,472,262,078	1,704,455,248	1,509,894,505	1,712,887,875	1,649,714,596	1,634,889,945	1,678,741,691	1,591,324,746	1,633,649,968	1,569,585,822	1,434,808,032	19,144,072,102
	พาณิชย์ขนาดใหญ่	301,107,296	290,008,439	334,778,365	336,233,748	356,094,748	329,730,898	331,627,694	326,726,218	304,607,299	323,184,382	306,945,511	292,298,874	3,833,343,473
	บ้านอยู่อาศัย	350,506,114	339,009,585	409,082,655	418,194,870	473,209,394	401,291,597	404,318,620	397,697,878	363,710,265	383,696,745	370,349,810	344,990,356	4,656,057,889
	พาณิชย์รายย่อย	150,816,294	144,892,387	168,548,546	165,390,317	180,378,060	161,138,988	163,363,277	161,970,280	152,156,839	158,982,684	153,704,419	149,473,078	1,910,815,170
	ภาครัฐ	109,514,317	107,623,551	121,522,846	117,907,058	117,645,521	114,720,785	115,855,092	115,413,245	112,993,656	112,623,959	112,513,736	1,369,189,602	
	รวมกลุ่มลูกค้า	2,463,801,596	2,353,796,040	2,738,387,660	2,547,620,499	2,840,215,598	2,656,596,865	2,650,054,627	2,680,549,312	2,524,752,805	2,513,209,522	2,334,084,096	30,913,478,235	
I	อุตสาหกรรม	851,326,213	818,392,305	954,576,567	821,767,041	925,103,253	903,458,290	898,567,332	919,642,763	884,228,216	897,792,583	892,821,354	811,506,641	10,579,182,559
	พาณิชย์ขนาดใหญ่	108,399,708	108,797,345	125,090,615	123,204,466	129,052,519	121,937,781	121,700,716	120,870,190	115,856,172	123,787,812	115,154,219	108,576,325	1,422,407,868
	บ้านอยู่อาศัย	209,889,936	208,726,035	262,313,997	286,512,813	310,407,889	264,019,027	260,175,229	256,528,057	235,933,874	253,974,567	240,250,126	205,993,103	2,994,724,653
	พาณิชย์รายย่อย	97,165,791	95,769,905	113,047,127	113,858,203	122,787,014	111,144,005	110,771,564	110,010,618	104,109,268	109,725,759	104,336,448	96,677,675	1,289,403,378
	ภาครัฐ	69,617,790	71,321,367	80,629,747	76,632,018	80,248,904	76,756,300	77,690,340	78,304,673	76,112,979	76,023,038	73,488,672	68,939,584	905,765,411
	รวมกลุ่มลูกค้า	1,336,399,438	1,303,006,957	1,535,658,054	1,421,974,541	1,567,599,579	1,477,315,403	1,468,905,181	1,485,356,301	1,416,220,509	1,461,303,759	1,420,950,819	1,291,693,329	17,191,483,870

ตารางที่ ก2 ข้อมูลหน่วยผู้ใช้ไฟฟ้าของปี พ.ศ. 2562 (ต่อ)

สรุปข้อมูลผู้ใช้ไฟฟ้า ปี 2562 (ต่อ)														
เขต	กลุ่มลูกค้า (5 กลุ่มใหม่)	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	Grand Total
J	อุตสาหกรรม	216,164,916	216,583,923	247,113,904	238,789,713	245,863,954	238,869,823	237,471,098	235,901,123	227,135,546	233,513,235	225,609,885	204,742,978	2,768,360,097
	พาณิชย์รายใหญ่	68,369,611	68,902,771	76,991,826	81,066,598	79,763,398	73,220,598	76,502,180	75,241,092	68,574,904	74,637,937	68,533,258	66,584,706	878,388,878
	บ้านอยู่อาศัย	152,173,350	143,988,048	175,684,208	189,870,224	203,391,689	174,771,535	174,345,284	168,730,633	157,024,489	171,462,306	160,494,792	148,043,251	2,019,979,809
	พาณิชย์รายย่อย	53,667,063	50,820,657	59,758,182	61,423,565	64,512,204	57,751,480	58,273,100	57,923,688	54,412,186	57,712,347	54,485,946	52,001,454	682,741,871
	ภาครัฐ	55,772,581	53,995,578	60,669,263	58,788,773	61,496,137	58,738,788	59,152,377	59,136,662	57,455,425	58,024,696	57,079,429	55,496,002	695,825,711
K	รวมกลุ่มลูกค้า	546,747,521	534,290,977	620,217,383	629,938,873	655,027,383	603,372,224	605,744,040	596,933,197	564,602,549	595,350,520	566,203,309	526,868,390	7,045,296,366
	อุตสาหกรรม	160,889,704	156,819,362	183,662,920	169,824,304	180,654,005	175,039,267	180,868,684	174,837,974	161,873,236	160,761,594	162,621,375	164,401,845	2,032,254,270
	พาณิชย์รายใหญ่	240,109,877	235,967,605	263,439,740	260,475,871	232,977,519	219,931,690	236,645,430	236,125,343	208,604,410	221,956,520	222,329,623	235,115,002	2,813,678,629
	บ้านอยู่อาศัย	270,136,771	258,239,757	307,358,735	313,514,118	314,258,773	285,791,267	295,978,884	290,519,951	263,260,006	274,844,107	263,407,678	266,325,955	3,403,636,002
	พาณิชย์รายย่อย	104,575,302	100,737,006	116,450,215	113,115,064	112,447,347	102,956,658	107,768,819	107,256,229	99,115,122	101,865,154	98,919,081	101,879,733	1,267,085,730
L	ภาครัฐ	77,871,092	74,851,332	84,836,932	78,277,072	81,720,951	81,759,486	84,081,321	84,440,313	80,466,867	78,834,479	80,027,236	79,439,406	966,606,487
	รวมกลุ่มลูกค้า	853,582,747	826,615,063	955,748,542	935,206,428	922,058,595	865,478,367	905,343,138	893,179,810	813,319,641	838,261,854	827,304,993	847,161,941	10,483,261,119
	อุตสาหกรรม	154,849,745	145,605,536	157,926,813	146,647,405	152,577,697	147,482,046	154,829,862	152,354,173	146,966,938	152,299,355	148,077,520	146,142,874	1,805,759,963
	พาณิชย์รายใหญ่	45,932,703	43,789,734	50,101,698	50,335,012	50,146,628	49,342,362	49,736,047	49,874,673	47,873,694	46,654,637	45,940,960	47,007,411	576,735,558
	บ้านอยู่อาศัย	156,014,878	143,377,754	169,832,308	176,996,865	186,113,029	172,180,780	172,503,197	171,230,911	159,564,919	164,422,878	156,608,389	154,764,087	1,983,611,995
Total	พาณิชย์รายย่อย	54,168,734	51,164,996	59,781,615	59,735,527	61,595,781	57,713,527	59,751,589	59,495,667	56,862,368	57,562,266	54,482,559	54,144,777	686,459,407
	ภาครัฐ	72,415,013	68,940,295	79,250,772	73,893,886	76,536,798	74,271,173	77,247,216	78,479,253	75,264,800	73,349,881	73,253,902	72,116,070	895,019,060
	รวมกลุ่มลูกค้า	483,381,073	452,878,316	516,893,206	507,608,696	526,969,932	500,989,888	514,069,912	511,434,677	486,532,718	494,289,017	478,363,330	474,175,219	5,947,585,984
	อุตสาหกรรม	4,982,750,580	4,810,160,531	5,527,686,013	4,908,885,032	5,367,963,890	5,227,377,007	5,171,587,285	5,264,796,363	5,073,814,009	5,171,785,005	5,064,985,172	4,681,148,982	61,252,939,867
	พาณิชย์รายใหญ่	1,324,871,809	1,306,741,639	1,505,395,095	1,519,728,798	1,552,694,069	1,460,141,095	1,481,256,063	1,460,750,187	1,375,008,420	1,454,571,218	1,358,914,839	1,298,543,645	17,098,617,276
	บ้านอยู่อาศัย	2,520,695,879	2,411,632,925	3,032,330,415	3,272,388,788	3,556,638,791	3,087,088,618	3,150,406,195	2,996,411,585	2,751,419,882	2,932,437,038	2,734,482,789	2,469,611,223	34,905,544,128
	พาณิชย์รายย่อย	978,202,367	938,912,901	1,124,394,551	1,137,905,324	1,214,173,376	1,095,502,880	1,119,036,495	1,085,547,843	1,015,815,256	1,070,077,838	1,015,341,428	964,988,168	12,759,898,426
	ภาครัฐ	947,854,678	936,351,683	1,081,646,629	1,016,947,795	1,060,986,056	1,044,973,367	1,071,073,841	1,050,451,941	1,007,935,841	1,029,786,678	974,164,320	938,950,478	12,161,125,307
	รวมกลุ่มลูกค้า	10,754,375,313	10,403,799,678	12,271,453,103	11,855,855,736	12,752,456,181	11,915,082,967	11,993,361,879	11,857,957,919	11,223,993,408	11,658,657,777	11,147,888,548	10,343,242,495	138,178,125,004

ตารางที่ ก3 ข้อมูลหน่วยผู้ใช้ไฟฟ้าของปี พ.ศ. 2563

สรุปข้อมูลผู้ใช้ไฟฟ้า ปี 2563														
เขต	กลุ่มลูกค้า (5 กลุ่มใหม่)	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	Grand Total
A	อุตสาหกรรม	132,247,508	131,194,842	148,663,588	134,172,119	144,825,027	138,331,224	151,243,868	156,876,032	146,658,608	147,979,186	145,020,075	128,688,778	1,705,900,855
	พาณิชย์รายใหญ่	96,820,192	91,332,266	98,608,949	77,356,663	91,256,752	95,585,982	108,145,370	104,718,875	100,780,095	96,643,708	92,575,347	81,555,988	1,135,380,186
	บ้านอยู่อาศัย	183,899,132	175,279,939	225,068,372	275,596,971	291,929,595	298,794,199	276,317,189	255,880,383	244,399,912	236,403,663	203,286,719	193,722,954	2,860,579,028
	พาณิชย์รายย่อย	87,125,368	83,512,146	100,354,660	101,104,978	102,947,270	105,107,400	105,865,881	102,992,889	99,827,530	99,415,993	90,554,940	89,404,109	1,168,213,163
	ภาครัฐ	75,738,413	74,318,461	86,082,420	79,748,543	82,304,466	82,675,681	88,884,026	87,416,492	87,206,823	86,970,541	77,032,742	77,286,251	985,664,858
B	รวมกลุ่มลูกค้า	575,830,612	555,637,654	658,777,989	667,979,273	713,263,109	720,494,486	730,456,333	707,884,671	678,872,969	667,413,092	608,469,822	570,658,080	7,855,738,090
	อุตสาหกรรม	74,618,918	66,345,141	87,342,499	74,004,632	73,214,919	68,089,343	73,665,835	79,698,820	75,177,979	83,273,323	88,540,941	81,370,090	925,342,442
	พาณิชย์รายใหญ่	45,285,198	42,973,747	51,246,277	43,308,560	49,294,355	49,169,809	52,693,874	48,974,947	49,687,009	47,485,410	45,111,856	40,302,764	565,533,805
	บ้านอยู่อาศัย	171,569,364	159,839,745	205,087,037	245,504,168	270,324,810	257,717,029	244,631,706	223,030,515	216,410,615	200,634,147	178,321,764	174,817,342	2,548,088,242
	พาณิชย์รายย่อย	67,630,552	64,134,720	78,035,074	80,545,256	83,863,502	80,266,782	80,858,495	76,495,658	74,460,533	71,745,265	66,377,071	67,116,741	891,527,649
C	ภาครัฐ	83,901,903	78,623,659	93,120,232	84,475,502	86,415,462	84,595,245	93,682,173	89,016,513	93,094,372	83,381,485	74,888,147	81,609,261	1,026,803,954
	รวมกลุ่มลูกค้า	443,005,935	411,917,012	514,831,118	527,838,118	563,113,049	539,838,207	545,532,083	517,214,454	508,830,507	486,519,631	453,439,779	445,216,199	5,957,296,092
	อุตสาหกรรม	198,443,729	202,792,905	234,874,133	213,292,459	206,810,194	184,031,195	200,806,780	218,015,923	209,751,116	206,041,366	224,322,554	200,134,491	2,499,316,845
	พาณิชย์รายใหญ่	44,029,779	41,111,943	46,283,863	39,088,499	43,506,355	42,515,193	45,771,367	44,984,651	44,825,359	42,439,814	42,197,343	39,778,023	516,532,190
	บ้านอยู่อาศัย	162,387,176	154,780,664	190,683,677	222,651,498	238,302,163	213,719,200	214,636,050	192,805,978	193,292,754	171,410,858	153,386,549	158,914,666	2,266,971,233
D	พาณิชย์รายย่อย	53,793,790	51,114,528	59,191,882	61,099,382	63,169,465	58,149,998	60,116,765	56,170,411	55,716,135	52,095,528	48,489,474	51,543,377	670,650,733
	ภาครัฐ	60,371,162	58,072,855	64,407,810	59,988,240	62,807,069	60,877,340	64,067,378	64,580,072	65,236,694	61,366,142	57,378,107	58,701,041	737,853,909
	รวมกลุ่มลูกค้า	519,025,636	507,872,895	595,441,364	596,120,078	614,595,246	559,292,926	585,398,340	576,557,035	568,822,059	533,353,707	525,774,026	509,071,598	6,691,324,910
	อุตสาหกรรม	86,588,204	89,231,958	99,764,246	86,340,253	92,604,725	97,963,116	93,706,496	96,319,058	96,863,654	96,342,110	91,897,003	89,549,840	1,117,170,665
	พาณิชย์รายใหญ่	64,443,086	60,430,056	68,814,937	52,498,467	65,461,511	67,256,993	75,203,005	72,670,769	73,870,094	67,476,306	63,394,390	57,808,139	789,327,753
E	บ้านอยู่อาศัย	217,802,564	204,028,045	248,613,444	288,641,889	335,823,420	311,024,679	321,008,244	293,215,967	288,036,981	265,627,418	221,461,476	218,035,394	3,213,319,521
	พาณิชย์รายย่อย	71,226,065	66,936,548	76,929,347	77,722,988	85,533,999	81,345,352	86,244,205	82,624,287	81,131,972	78,107,607	69,953,906	71,738,272	929,494,550
	ภาครัฐ	97,723,774	92,558,263	102,504,370	91,466,074	100,481,137	96,677,197	112,340,519	111,144,224	111,129,876	100,736,379	90,916,693	92,637,764	1,203,316,270
	รวมกลุ่มลูกค้า	537,783,694	513,184,870	596,626,344	596,669,671	679,904,792	657,267,337	688,502,470	655,974,305	651,032,577	608,289,821	537,623,469	529,769,409	7,252,628,759
	อุตสาหกรรม	80,573,745	80,737,821	90,330,200	75,396,325	77,578,945	69,299,055	71,144,919	75,025,965	76,110,933	71,814,259	90,342,394	90,423,629	948,778,188
	พาณิชย์รายใหญ่	44,056,564	40,543,513	49,568,732	38,244,903	45,587,831	47,374,960	51,902,485	48,955,010	49,152,921	43,770,845	42,162,003	39,753,565	541,073,332
	บ้านอยู่อาศัย	204,350,692	190,153,446	239,296,462	271,993,244	307,976,840	282,597,703	293,745,448	263,344,606	260,568,644	234,920,791	196,874,674	204,694,056	2,950,516,606
	พาณิชย์รายย่อย	73,428,709	68,148,607	81,757,247	82,346,422	89,305,073	83,681,654	89,317,895	83,530,855	81,984,057	77,032,708	68,612,795	72,849,053	951,995,076
	ภาครัฐ	88,651,854	85,691,165	95,301,672	81,127,371	86,845,717	87,607,597	98,856,140	92,770,122	91,696,373	82,099,707	72,986,874	76,000,631	1,039,635,223
	รวมกลุ่มลูกค้า	491,061,564	465,274,553	556,254,313	549,108,264	607,294,405	570,560,969	604,966,887	563,626,559	559,512,928	509,638,310	470,978,759	483,720,934	6,431,998,425

ตารางที่ ก3 ข้อมูลหน่วยผู้ใช้ไฟฟ้าของปี พ.ศ. 2563 (ต่อ)

สรุปข้อมูลผู้ใช้ไฟฟ้า ปี 2563 (ต่อ)														
เขต	กลุ่มลูกค้า (5 กลุ่มใหม่)	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	Grand Total
F	อุตสาหกรรม	306,414,278	307,379,956	328,713,593	289,815,889	284,402,110	264,292,858	289,017,348	290,665,541	301,269,139	301,243,493	315,573,704	304,402,988	3,583,190,897
	พาณิชย์ขนาดใหญ่	72,574,269	67,600,457	75,312,829	66,975,876	64,962,677	69,056,182	75,601,141	73,080,757	72,233,339	65,508,237	66,872,055	64,037,658	823,200,476
	บ้านอยู่อาศัย	218,717,692	209,508,328	254,673,804	286,975,861	310,686,636	286,837,359	293,436,182	272,444,826	267,339,043	240,201,669	208,535,369	217,193,828	3,066,550,597
	พาณิชย์รายย่อย	72,274,400	68,341,771	79,273,686	79,194,328	83,251,280	78,612,797	82,310,657	78,904,174	77,537,991	71,581,414	66,087,660	70,710,334	908,080,533
	ภาครัฐ	76,318,998	71,980,907	81,180,585	71,935,846	76,362,264	76,733,234	83,833,451	85,236,785	83,867,268	76,425,673	68,890,957	69,281,432	922,047,399
G	รวมกลุ่มลูกค้า	746,299,677	724,811,419	819,154,497	784,282,800	819,664,967	775,532,430	824,198,779	800,332,083	802,246,779	754,960,486	725,959,745	725,626,240	9,303,069,902
	อุตสาหกรรม	1,136,103,877	1,146,690,185	1,179,723,454	1,074,295,893	1,057,572,271	1,043,966,570	1,088,820,831	1,098,602,859	1,093,293,261	1,111,049,779	1,093,126,964	1,041,861,984	13,165,107,926
	พาณิชย์ขนาดใหญ่	212,052,951	198,973,444	217,611,521	182,917,046	195,536,081	193,812,986	209,676,494	213,849,428	213,178,559	201,651,288	201,483,496	193,728,745	2,434,472,039
	บ้านอยู่อาศัย	326,712,504	312,741,446	380,557,397	432,417,163	467,587,372	412,543,105	411,841,191	381,355,758	382,557,525	337,188,510	309,226,888	322,149,377	4,476,878,236
	พาณิชย์รายย่อย	113,273,115	109,573,572	125,766,572	124,306,455	129,881,075	121,608,201	125,052,296	120,411,053	120,193,605	112,863,022	107,106,260	111,246,508	1,421,221,735
H	ภาครัฐ	113,301,683	111,932,131	118,266,072	104,111,175	109,098,563	105,873,173	112,343,261	123,444,230	120,831,309	120,213,415	111,650,757	112,399,033	1,363,464,803
	รวมกลุ่มลูกค้า	1,901,444,130	1,879,910,777	2,021,925,016	1,918,047,732	1,959,675,363	1,877,804,036	1,947,734,073	1,937,663,328	1,929,994,259	1,882,966,014	1,822,594,364	1,781,385,647	22,861,144,739
	อุตสาหกรรม	1,524,015,702	1,533,235,366	1,597,150,191	1,284,693,664	1,253,405,932	1,331,113,505	1,421,701,143	1,533,990,028	1,582,859,499	1,632,976,293	1,646,339,092	1,547,065,436	17,908,545,850
	พาณิชย์ขนาดใหญ่	316,931,725	291,407,812	300,109,102	227,145,355	243,494,051	244,748,741	269,045,289	275,577,360	276,288,680	273,369,877	273,116,010	261,725,983	3,252,959,984
	บ้านอยู่อาศัย	381,509,637	372,017,593	431,190,654	464,930,023	486,456,944	432,095,705	420,119,460	404,706,132	401,390,623	363,656,911	349,834,801	363,523,828	4,871,432,311
I	พาณิชย์รายย่อย	158,977,181	153,514,299	170,274,035	159,131,212	160,606,059	149,077,423	153,058,408	152,550,246	150,810,879	143,814,172	139,665,692	144,665,369	1,836,144,975
	ภาครัฐ	117,137,467	114,533,469	130,624,759	111,431,055	107,742,052	101,853,763	110,903,750	114,668,485	113,996,632	120,848,109	119,581,191	118,142,636	1,381,463,370
	รวมกลุ่มลูกค้า	2,498,571,712	2,484,708,539	2,629,348,741	2,247,331,309	2,251,705,038	2,258,889,137	2,374,828,050	2,481,492,251	2,525,346,313	2,534,665,362	2,528,536,786	2,435,123,252	29,250,546,490
	อุตสาหกรรม	840,957,855	846,189,148	916,997,643	798,660,456	802,952,673	801,559,642	822,450,805	879,926,084	871,018,848	877,996,829	874,923,818	838,162,635	10,171,796,436
	พาณิชย์ขนาดใหญ่	116,979,441	112,684,331	121,964,012	102,852,415	113,923,000	113,834,218	120,453,192	121,585,542	121,062,533	115,511,997	112,017,677	106,145,668	1,379,014,027
J	บ้านอยู่อาศัย	234,929,247	225,894,064	271,098,919	305,622,661	335,607,359	296,392,307	298,720,609	275,756,013	279,847,406	242,889,515	220,130,541	226,597,843	3,213,486,484
	พาณิชย์รายย่อย	102,972,483	99,677,614	112,947,621	112,951,502	119,163,750	111,332,853	114,830,210	111,100,620	111,633,306	103,817,329	97,795,009	101,013,069	1,299,235,365
	ภาครัฐ	76,791,925	74,102,469	80,261,690	71,547,724	74,381,965	71,580,816	77,462,131	78,549,696	77,168,469	75,902,327	68,530,828	66,422,030	892,702,071
	รวมกลุ่มลูกค้า	1,372,630,952	1,358,547,627	1,503,269,885	1,391,634,758	1,446,028,747	1,394,699,836	1,433,916,947	1,466,917,955	1,460,730,562	1,416,117,996	1,373,397,873	1,338,341,245	16,956,234,383
	อุตสาหกรรม	210,712,595	208,834,072	218,145,393	202,028,258	208,048,372	200,177,026	208,304,929	212,254,283	219,315,920	227,840,616	221,439,002	203,974,318	2,541,074,784
	พาณิชย์ขนาดใหญ่	71,276,914	66,758,500	69,377,134	49,152,077	54,367,019	62,408,277	70,888,103	68,510,171	68,495,749	63,088,078	62,909,764	60,701,697	767,933,483
	บ้านอยู่อาศัย	164,925,784	155,592,059	182,728,511	197,612,427	211,163,938	189,999,425	193,586,195	181,790,132	184,907,519	167,018,612	158,936,016	162,603,318	2,150,863,936
	พาณิชย์รายย่อย	55,918,366	53,140,112	59,758,910	58,150,225	60,350,282	56,650,865	60,072,852	57,703,300	58,139,775	54,032,715	52,010,339	53,602,437	679,530,177
	ภาครัฐ	58,520,099	56,198,401	61,250,384	56,306,391	58,134,615	55,159,200	58,873,566	60,756,768	60,474,848	58,517,881	55,661,189	56,400,765	696,254,108
	รวมกลุ่มลูกค้า	561,353,758	540,523,144	591,260,332	563,249,378	592,064,227	564,394,794	591,725,645	581,014,654	591,333,810	570,497,901	550,956,310	537,282,535	6,835,656,488

ตารางที่ ก3 ข้อมูลหน่วยผู้ใช้ไฟฟ้าของปี พ.ศ. 2563 (ต่อ)

สรุปข้อมูลผู้ใช้ไฟฟ้า ปี 2563 (ต่อ)														
เขต	กลุ่มลูกค้า (5 กลุ่มใหม่)	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	พ.ค.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	Grand Total
K	อุตสาหกรรม	161,138,270	172,315,427	180,920,383	167,049,297	168,827,718	174,481,513	178,347,690	177,405,947	171,737,292	180,594,804	174,624,185	172,112,095	2,079,554,622
	พาณิชย์รายใหญ่	258,535,328	230,812,680	217,209,784	114,049,375	115,753,164	116,821,230	136,380,438	142,208,551	138,751,041	141,146,699	138,889,372	140,976,429	1,891,534,094
	บ้านอยู่อาศัย	287,993,551	276,113,235	314,589,104	329,138,674	322,425,865	291,733,465	288,797,492	282,732,507	277,068,032	262,505,765	262,018,139	257,415,260	3,452,531,089
	พาณิชย์รายย่อย	108,046,622	103,580,663	113,001,358	96,377,246	92,674,824	88,549,347	92,258,922	92,237,392	90,109,095	86,763,709	85,331,759	84,438,121	1,133,369,058
	ภาครัฐ	84,417,870	80,744,064	86,384,647	75,107,225	74,032,520	72,439,052	78,587,793	82,055,163	79,485,496	81,244,801	78,195,256	78,632,519	951,326,406
L	รวมกลุ่มลูกค้า	900,131,642	863,566,069	912,105,276	781,721,818	773,714,092	744,024,606	774,372,335	776,639,560	757,150,957	752,255,778	739,058,712	733,574,424	9,508,315,269
	อุตสาหกรรม	154,415,393	149,505,167	158,234,128	143,872,487	147,947,034	144,763,359	151,265,901	157,061,094	154,919,059	160,049,239	156,264,292	148,598,956	1,826,896,110
	พาณิชย์รายใหญ่	47,509,579	43,675,888	44,258,399	32,479,907	35,567,961	37,892,019	42,173,657	44,021,590	42,473,388	41,515,332	40,094,492	39,307,636	490,969,849
	บ้านอยู่อาศัย	160,923,538	152,922,482	176,656,743	193,358,783	198,135,500	183,230,766	179,137,519	180,596,293	172,719,718	169,875,766	166,234,227	161,622,417	2,093,413,752
	พาณิชย์รายย่อย	56,118,436	53,525,000	60,121,794	56,178,205	55,895,369	54,412,798	57,064,734	58,512,162	57,060,080	56,513,953	54,735,914	53,405,243	673,543,688
Total	ภาครัฐ	75,139,093	71,362,377	77,225,316	69,249,647	70,338,190	68,290,291	72,707,702	76,521,137	74,075,862	76,465,302	72,484,155	72,484,937	876,344,010
	รวมกลุ่มลูกค้า	494,106,039	470,990,915	516,496,380	495,139,029	507,884,054	488,589,233	502,349,514	516,712,277	501,248,107	504,419,591	489,813,080	475,419,190	5,963,167,409
	อุตสาหกรรม	4,906,230,074	4,954,451,989	5,240,859,451	4,503,621,731	4,518,189,920	4,518,068,405	4,750,476,545	4,975,841,635	4,998,975,308	5,097,201,298	5,122,414,024	4,846,345,239	58,472,675,619
	พาณิชย์รายใหญ่	1,390,495,026	1,288,304,640	1,360,365,538	1,015,454,143	1,118,710,758	1,140,076,590	1,257,934,415	1,259,137,652	1,250,798,768	1,199,607,589	1,180,823,804	1,125,822,295	14,587,931,217
	บ้านอยู่อาศัย	2,715,720,881	2,588,871,046	3,120,244,124	3,514,443,362	3,776,420,442	3,456,684,942	3,435,977,285	3,207,659,110	3,168,538,772	2,892,333,625	2,628,447,163	2,661,290,283	37,166,631,035
	พาณิชย์รายย่อย	1,020,785,128	975,199,579	1,117,412,184	1,089,108,199	1,126,641,948	1,068,795,472	1,107,051,320	1,073,231,047	1,058,504,958	1,024,171,762	946,720,819	971,732,635	12,563,006,703
	ภาครัฐ	1,008,014,242	970,118,221	1,076,609,958	956,494,793	988,944,021	967,362,588	1,052,541,891	1,066,159,688	1,058,264,022	1,024,171,762	948,196,895	959,998,302	12,076,876,383
	รวมกลุ่มลูกค้า	11,041,245,351	10,776,945,474	11,915,491,255	11,119,122,228	11,528,907,089	11,151,387,997	11,603,981,456	11,582,029,132	11,535,121,827	11,221,097,689	10,826,602,705	10,565,188,753	134,867,120,956

ตารางที่ ก4 ข้อมูลหน่วยผู้ใช้ไฟฟ้าของปี พ.ศ. 2564

สรุปข้อมูลผู้ใช้ไฟฟ้า ปี 2564														
เขต	กลุ่มลูกค้า (5 กลุ่มใหม่)	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	Grand Total
A	อุตสาหกรรม	133,702,701	127,299,900	149,293,760	134,117,580	155,333,462	147,958,428	155,189,918	170,791,853	148,179,825	156,609,029	150,518,082	137,813,435	1,766,807,974
	พาณิชย์ใหญ่	72,365,931	72,531,827	95,590,163	88,276,837	93,079,861	90,900,897	90,269,044	89,753,914	86,556,458	90,927,408	88,578,136	80,363,217	1,039,193,694
	บ้านอยู่อาศัย	188,290,660	175,075,820	228,650,017	263,033,495	299,718,477	291,220,722	282,011,007	281,141,771	266,948,068	257,975,544	236,619,168	203,847,526	2,974,532,275
	พาณิชย์ย่อย	84,243,906	79,385,222	99,438,168	103,050,249	107,846,018	107,355,602	107,934,577	105,994,729	101,820,926	102,795,162	97,887,973	91,927,805	1,189,680,339
	ภาครัฐ	74,563,381	71,788,551	90,041,194	80,692,735	85,524,751	86,390,277	89,516,672	88,341,827	82,858,954	83,707,858	81,791,603	75,767,156	990,984,961
B	รวมกลุ่มลูกค้า	553,166,580	526,081,320	663,013,303	669,170,897	741,502,569	723,825,925	724,921,219	736,024,095	686,364,231	692,015,002	655,394,962	589,719,139	7,961,199,242
	อุตสาหกรรม	73,620,598	68,773,142	87,629,849	79,422,988	83,451,384	72,994,711	77,837,339	85,936,839	82,431,211	78,001,591	91,597,298	82,523,408	964,220,359
	พาณิชย์ใหญ่	35,838,026	36,814,515	51,455,918	47,230,732	50,152,993	46,894,513	45,219,353	45,625,805	43,525,606	47,083,341	45,675,968	39,254,183	534,770,952
	บ้านอยู่อาศัย	166,587,568	159,692,122	219,769,123	240,474,722	268,879,916	264,460,688	252,798,427	243,628,931	225,712,438	224,879,199	206,076,116	179,754,275	2,652,713,525
	พาณิชย์ย่อย	62,845,821	60,552,111	78,989,772	79,567,795	84,010,551	83,166,150	81,930,220	78,925,046	74,136,824	76,015,366	72,775,144	68,362,056	901,276,859
C	ภาครัฐ	85,711,053	82,355,531	99,312,073	80,273,165	85,086,965	89,589,951	89,907,426	90,528,477	77,230,597	79,772,136	77,467,592	80,916,165	1,018,151,127
	รวมกลุ่มลูกค้า	424,603,066	408,187,420	537,156,735	526,969,402	571,581,809	557,106,013	547,692,764	544,645,098	503,036,676	505,751,634	493,592,119	450,810,087	6,071,132,823
	อุตสาหกรรม	197,359,925	189,605,828	233,639,219	202,146,886	226,003,484	220,583,399	209,864,313	232,626,622	232,236,729	229,508,560	234,080,878	208,985,096	2,616,640,940
	พาณิชย์ใหญ่	35,135,536	35,892,407	47,566,613	42,803,295	44,263,667	42,983,575	41,287,812	40,420,386	39,971,921	41,978,792	40,883,521	36,552,773	489,740,299
	บ้านอยู่อาศัย	146,104,057	145,950,222	202,792,987	211,993,747	229,058,078	231,607,880	222,406,317	217,585,884	195,495,384	196,056,249	179,887,404	157,870,609	2,336,808,818
D	พาณิชย์ย่อย	47,239,355	45,914,238	59,181,293	58,902,160	61,234,421	61,583,669	60,426,171	58,413,725	54,256,905	55,385,194	52,679,188	50,872,375	666,088,696
	ภาครัฐ	55,901,541	55,161,676	68,886,639	59,656,435	64,132,444	65,525,721	63,916,752	64,991,351	59,335,196	60,036,610	58,195,238	56,787,813	732,527,417
	รวมกลุ่มลูกค้า	481,740,414	472,524,372	612,066,751	575,502,524	624,692,094	622,284,245	597,901,365	614,037,969	581,296,134	582,965,406	565,726,229	511,068,666	6,841,806,169
	อุตสาหกรรม	84,609,019	81,703,816	108,431,962	110,311,025	107,371,878	95,228,086	94,632,350	99,020,502	92,546,942	100,229,939	100,981,217	94,992,913	1,170,059,649
	พาณิชย์ใหญ่	50,773,766	52,539,011	72,559,644	70,162,613	71,949,121	70,565,597	69,731,407	70,264,283	64,298,909	67,242,220	63,959,140	57,172,284	781,217,995
E	บ้านอยู่อาศัย	202,317,126	193,077,705	265,681,183	311,300,041	342,795,857	327,950,312	338,363,990	339,551,423	308,942,428	306,745,478	268,303,351	226,324,845	3,431,553,739
	พาณิชย์ย่อย	66,539,503	63,896,166	81,403,330	87,236,818	89,742,276	88,343,787	91,422,001	89,736,508	83,165,153	84,080,094	78,556,771	73,217,214	977,339,623
	ภาครัฐ	91,649,282	88,695,605	112,586,042	102,062,195	103,397,739	108,021,866	115,145,272	118,303,086	115,376,882	102,979,903	98,023,655	94,036,590	1,250,278,118
	รวมกลุ่มลูกค้า	496,088,697	479,912,302	640,662,161	681,072,692	715,256,872	690,109,649	709,295,020	716,875,802	664,330,314	661,277,634	609,824,134	545,743,847	7,610,449,124
	อุตสาหกรรม	81,935,016	81,585,905	92,038,437	79,134,711	85,181,406	75,892,267	80,861,881	82,406,981	78,047,318	86,058,351	100,072,893	96,987,839	1,020,203,006
	พาณิชย์ใหญ่	34,366,547	35,152,906	50,250,639	48,733,264	49,172,376	48,784,341	48,074,323	47,485,640	43,527,923	44,770,555	43,220,994	38,912,294	532,451,803
	บ้านอยู่อาศัย	192,570,710	185,838,077	260,689,294	298,644,090	314,670,174	300,686,375	308,428,818	308,454,560	278,429,798	278,887,462	241,367,288	211,897,691	3,180,564,337
	พาณิชย์ย่อย	67,781,946	64,505,507	84,851,298	89,770,624	91,118,115	88,894,998	91,623,858	89,846,979	82,822,584	84,767,292	78,180,498	74,661,792	988,825,491
	ภาครัฐ	81,355,726	81,391,618	106,293,109	93,859,551	86,634,979	92,077,175	96,108,193	93,354,462	84,018,113	85,122,378	81,631,853	76,779,361	1,058,626,518
	รวมกลุ่มลูกค้า	458,009,945	448,474,014	594,122,777	610,142,239	626,777,051	606,335,156	625,097,073	621,548,622	566,845,737	579,606,038	544,473,526	499,238,977	6,780,671,155

ตารางที่ ก4 ข้อมูลหน่วยผู้ใช้ไฟฟ้าของปี พ.ศ. 2564 (ต่อ)

สรุปข้อมูลผู้ใช้ไฟฟ้า ปี 2564 (ต่อ)														
เขต	กลุ่มลูกค้า (5 กลุ่มใหม่)	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	Grand Total
F	อุตสาหกรรม	302,238,839	294,978,096	347,560,286	294,858,388	313,437,948	306,635,714	320,448,933	331,461,978	316,516,069	325,910,330	326,736,585	322,285,693	3,803,068,861
	พาณิชย์ขนาดใหญ่	56,834,442	57,599,289	77,692,171	70,831,803	70,756,501	72,779,277	69,331,979	64,459,014	63,879,083	68,331,127	67,204,857	63,320,846	803,020,387
	บ้านอยู่อาศัย	200,887,597	190,576,840	263,807,851	290,721,657	305,929,701	304,949,068	308,231,927	306,111,024	275,317,376	280,143,617	249,429,424	221,325,580	3,197,429,662
	พาณิชย์รายย่อย	66,357,293	63,429,978	81,997,557	83,981,585	85,196,972	85,485,191	86,788,383	84,696,767	77,542,767	79,357,658	74,634,975	72,683,362	942,152,488
	ภาครัฐ	67,137,792	67,374,114	87,384,442	76,993,380	76,844,806	83,363,747	85,946,132	85,158,174	75,514,498	74,818,302	72,861,893	69,966,916	923,364,196
G	รวมกลุ่มลูกค้า	693,455,963	673,958,317	858,442,307	817,386,813	852,165,928	853,212,997	870,747,354	871,886,957	808,769,793	828,561,034	790,867,734	749,580,397	9,669,035,594
	อุตสาหกรรม	1,115,458,203	1,028,043,917	1,260,792,671	1,144,406,877	1,201,363,830	1,159,520,104	1,136,213,469	1,164,535,033	1,186,462,897	1,220,446,696	1,200,267,732	1,168,218,411	13,985,729,841
	พาณิชย์ขนาดใหญ่	173,457,669	180,244,728	229,283,482	204,794,922	210,972,798	209,623,821	196,485,390	192,968,139	193,866,882	204,918,715	205,862,300	194,188,408	2,396,667,255
	บ้านอยู่อาศัย	279,349,789	291,097,292	390,734,039	414,028,482	448,606,230	459,187,549	445,640,275	432,048,557	386,043,226	392,827,501	367,446,127	314,719,105	4,621,728,572
	พาณิชย์รายย่อย	99,252,659	101,438,079	126,549,275	125,731,531	131,931,339	133,084,907	131,346,556	124,822,919	116,861,898	121,509,479	117,722,592	110,245,207	1,440,496,441
H	ภาครัฐ	100,240,331	103,162,104	127,843,403	113,632,291	114,566,782	115,742,513	112,440,104	111,086,880	110,239,148	115,531,139	110,751,289	104,279,654	1,339,515,638
	รวมกลุ่มลูกค้า	1,767,738,651	1,703,986,121	2,135,203,271	2,002,594,104	2,107,440,979	2,077,158,893	2,022,125,794	2,025,461,527	1,993,474,051	2,055,233,530	2,002,050,041	1,891,650,785	23,784,137,747
	อุตสาหกรรม	1,626,903,938	1,588,991,636	1,806,440,593	1,602,935,238	1,791,301,593	1,739,714,250	1,691,007,258	1,619,915,710	1,626,907,183	1,743,827,120	1,697,681,246	1,560,093,805	20,095,719,590
	พาณิชย์ขนาดใหญ่	225,521,980	236,143,336	293,619,634	274,019,092	285,060,069	281,009,062	268,587,844	254,698,877	259,013,130	283,586,540	280,963,243	272,410,756	3,214,633,563
	บ้านอยู่อาศัย	327,429,273	328,809,931	405,958,552	428,293,757	465,027,953	471,121,478	469,885,231	473,180,379	405,262,338	415,199,399	395,647,044	366,042,340	4,951,857,675
I	พาณิชย์รายย่อย	130,755,983	128,478,363	155,014,999	155,442,176	161,049,770	162,938,727	163,347,139	157,597,690	144,120,684	150,824,472	147,563,710	144,983,058	1,802,116,770
	ภาครัฐ	112,434,621	115,536,725	123,418,285	103,585,073	105,806,418	103,216,158	106,556,955	105,893,336	104,181,549	107,845,737	103,225,239	101,874,945	1,293,575,041
	รวมกลุ่มลูกค้า	2,423,045,815	2,397,959,990	2,784,452,063	2,564,275,336	2,808,245,802	2,757,999,675	2,699,384,427	2,611,285,993	2,539,484,884	2,701,283,268	2,625,080,482	2,445,404,904	31,357,902,639
	อุตสาหกรรม	821,619,310	802,202,549	947,663,035	831,008,349	925,804,962	888,747,138	852,696,157	828,133,792	871,450,552	911,968,344	909,346,076	866,111,358	10,456,751,623
	พาณิชย์ขนาดใหญ่	95,191,797	99,146,389	125,295,318	114,964,223	119,883,927	117,288,243	110,286,196	105,250,979	108,335,123	113,912,600	112,164,870	106,540,275	1,328,259,940
J	บ้านอยู่อาศัย	203,222,786	212,959,897	280,057,895	294,615,958	327,419,936	322,396,582	316,775,579	306,006,752	280,467,970	279,386,492	255,062,440	221,828,716	3,300,205,003
	พาณิชย์รายย่อย	91,059,974	92,584,762	113,813,907	112,519,054	120,635,777	119,620,604	117,877,496	113,034,306	107,014,783	109,607,390	105,172,281	100,206,872	1,303,147,205
	ภาครัฐ	61,578,259	64,402,077	81,306,811	71,075,525	72,577,263	74,435,127	72,630,936	71,708,154	70,347,328	76,501,307	77,400,611	70,383,294	864,346,690
	รวมกลุ่มลูกค้า	1,272,672,126	1,271,295,674	1,548,136,965	1,424,183,110	1,566,321,864	1,522,487,694	1,470,270,364	1,424,133,983	1,437,615,755	1,491,376,133	1,459,146,278	1,365,070,515	17,252,710,461
	อุตสาหกรรม	211,925,126	199,501,573	237,224,550	228,179,633	234,062,761	227,217,662	234,401,608	230,690,168	233,783,949	239,665,674	233,545,317	239,253,257	2,749,451,280
	พาณิชย์ขนาดใหญ่	51,332,387	54,030,795	66,848,763	62,964,424	61,510,027	61,655,342	62,113,663	58,480,407	57,222,208	64,096,812	60,875,260	60,143,284	721,273,373
	บ้านอยู่อาศัย	151,037,489	149,545,177	187,646,213	196,791,256	211,107,503	203,700,306	204,143,104	200,681,559	186,741,735	191,481,027	177,986,436	161,262,259	2,222,124,044
	พาณิชย์รายย่อย	49,704,310	48,410,305	58,701,452	59,603,683	60,786,728	59,599,369	60,713,669	59,160,680	55,765,126	57,858,441	55,667,244	53,668,322	679,639,330
	ภาครัฐ	52,312,247	52,360,279	63,393,802	58,028,486	59,140,018	59,343,311	59,782,686	59,144,716	56,905,297	58,082,371	56,715,813	55,842,716	691,051,743
	รวมกลุ่มลูกค้า	516,311,559	503,848,130	613,814,779	605,567,482	626,607,038	611,515,990	621,154,731	608,157,510	590,418,315	611,184,325	584,790,071	570,169,839	7,063,539,769

ตารางที่ ก4 ข้อมูลหน่วยผู้ใช้ไฟฟ้าของปี พ.ศ. (ต่อ)

สรุปข้อมูลผู้ใช้ไฟฟ้า ปี 2564 (ต่อ)														
เขต	กลุ่มลูกค้า (5 กลุ่มใหม่)	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	Grand Total
K	อุตสาหกรรม	168,996,083	167,486,917	195,433,055	184,906,853	194,180,807	181,330,806	193,690,939	187,940,220	180,645,297	181,076,086	174,840,108	180,539,352	2,191,066,523
	พาณิชย์รายใหญ่	125,303,503	119,180,421	144,259,548	142,972,967	120,241,008	117,199,943	126,384,631	123,480,189	119,993,817	135,073,295	133,458,253	156,849,765	1,564,397,340
	บ้านอยู่อาศัย	258,434,742	250,569,790	293,604,174	298,400,265	312,923,421	297,534,685	303,256,826	305,282,042	286,061,243	295,760,875	273,832,360	270,591,270	3,446,251,693
	พาณิชย์รายย่อย	82,489,596	79,759,760	92,442,459	92,271,959	91,481,144	88,839,153	91,878,346	91,798,604	86,782,910	90,133,518	86,211,606	88,148,623	1,062,237,677
	ภาครัฐ	76,317,476	75,196,873	87,549,917	78,559,464	77,008,170	77,385,053	80,342,399	78,350,379	76,630,265	78,632,773	76,590,340	78,140,475	940,703,586
L	รวมกลุ่มลูกค้า	711,541,401	692,193,761	813,289,152	797,111,508	795,894,549	762,289,640	795,553,141	786,851,434	750,113,533	780,676,548	744,932,667	774,269,485	9,204,656,819
	อุตสาหกรรม	153,214,372	147,324,331	169,438,173	152,946,235	165,628,835	161,067,777	158,210,042	157,818,206	151,751,425	161,530,763	153,931,986	153,629,721	1,886,491,867
	พาณิชย์รายใหญ่	37,787,235	36,325,360	43,092,180	39,184,120	36,234,286	35,837,826	34,479,436	33,144,213	35,616,145	38,589,613	36,568,431	37,498,479	444,357,324
	บ้านอยู่อาศัย	160,174,484	152,581,134	178,689,975	185,809,359	200,490,520	191,353,497	198,559,455	201,008,875	186,827,018	195,697,100	178,727,819	173,303,594	2,203,224,830
	พาณิชย์รายย่อย	52,562,296	50,431,527	59,185,303	58,309,516	58,247,711	57,628,042	59,154,684	59,048,777	56,396,739	59,169,704	54,877,794	54,718,225	679,730,316
Total	ภาครัฐ	71,969,844	68,903,672	80,824,724	72,370,991	71,554,923	74,928,011	75,457,682	73,599,527	70,987,249	73,707,277	70,603,570	71,275,103	876,182,572
	รวมกลุ่มลูกค้า	475,708,231	455,566,023	531,230,355	508,620,221	532,156,274	520,815,152	525,861,300	524,619,599	501,578,576	528,694,458	494,709,599	490,427,122	6,089,986,910
	อุตสาหกรรม	4,971,583,151	4,777,497,611	5,635,585,590	5,044,374,765	5,483,122,349	5,276,890,342	5,205,054,208	5,191,277,906	5,200,999,397	5,434,832,485	5,373,599,420	5,111,434,289	62,706,211,513
	พาณิชย์รายใหญ่	993,908,821	1,015,600,982	1,297,514,072	1,206,938,292	1,213,276,633	1,195,522,438	1,162,251,078	1,126,031,847	1,115,807,206	1,200,511,019	1,179,414,973	1,143,206,563	13,849,983,924
	บ้านอยู่อาศัย	2,476,606,281	2,435,774,007	3,178,081,703	3,434,106,829	3,726,627,766	3,666,169,142	3,650,504,956	3,614,681,737	3,282,249,022	3,315,039,943	3,030,384,977	2,708,767,810	38,518,994,173
	พาณิชย์รายย่อย	900,832,641	878,786,018	1,091,568,814	1,106,387,152	1,143,280,823	1,136,540,198	1,144,443,100	1,113,076,731	1,040,687,298	1,071,503,771	1,021,929,776	983,694,912	12,632,731,235
	ภาครัฐ	931,171,554	926,328,826	1,128,840,440	990,789,291	1,002,275,258	1,030,018,908	1,047,751,210	1,040,460,368	983,625,076	996,737,791	965,258,696	936,050,189	11,979,307,606
	รวมกลุ่มลูกค้า	10,274,102,448	10,033,987,444	12,331,590,619	11,782,596,328	12,568,582,829	12,305,141,029	12,210,004,552	12,085,528,589	11,623,327,999	12,018,625,010	11,570,587,842	10,883,153,763	139,687,228,452

ตารางที่ ก5 ข้อมูลหน่วยผู้ใช้ไฟฟ้าของปี พ.ศ. 2565

สรุปข้อมูลผู้ใช้ไฟฟ้า ปี 2565														
เขต	กลุ่มลูกค้า (5 กลุ่มใหม่)	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	Grand Total
A	อุตสาหกรรม	136,188,126	127,031,468	160,211,000	138,479,993	158,461,438	148,317,650	165,555,099	163,923,819	147,500,073	145,063,969	143,982,316	131,857,589	1,766,572,539
	พาณิชย์ใหญ่	80,721,783	74,925,065	104,042,481	99,880,834	105,621,906	103,913,408	108,168,889	108,258,904	100,882,967	100,708,278	97,659,027	94,636,658	1,179,420,201
	บ้านอยู่อาศัย	201,405,441	180,477,019	260,210,493	268,232,580	289,656,829	271,915,063	279,456,753	269,883,327	251,508,172	242,363,115	219,978,665	221,597,744	2,956,685,201
	พาณิชย์ย่อย	90,596,250	82,772,501	107,991,794	106,091,144	113,477,427	111,292,907	114,782,131	113,067,276	107,206,113	106,039,750	100,797,271	103,021,193	1,257,135,758
	ภาครัฐ	77,877,090	72,967,933	91,182,112	81,537,605	86,855,990	94,885,653	95,453,215	95,318,143	90,694,068	83,087,597	81,256,935	84,485,067	1,035,601,407
B	รวมกลุ่มลูกค้า	586,788,691	538,173,986	723,637,880	694,222,155	754,073,590	730,324,681	763,416,087	750,451,470	697,791,393	677,262,709	643,674,213	635,598,251	8,195,415,106
	อุตสาหกรรม	78,674,852	66,224,651	95,298,729	84,632,952	83,748,098	77,467,391	84,361,129	83,683,072	86,583,532	82,212,380	86,733,495	84,854,523	994,474,354
	พาณิชย์ใหญ่	41,248,898	39,690,186	53,490,031	53,464,197	54,481,047	54,436,022	57,128,152	56,592,472	55,409,356	55,005,130	52,899,423	52,118,336	625,963,249
	บ้านอยู่อาศัย	182,327,838	171,842,438	229,529,225	250,402,329	256,258,103	230,728,644	240,556,228	227,538,367	212,631,403	205,475,119	194,606,713	193,953,979	2,595,850,386
	พาณิชย์ย่อย	68,593,814	64,602,661	80,404,808	82,103,726	84,140,473	79,825,602	83,029,222	80,460,930	76,399,808	75,740,565	73,204,067	73,720,752	922,226,428
C	ภาครัฐ	91,427,954	82,526,277	98,872,828	89,510,993	87,340,283	94,870,381	97,119,654	89,816,648	89,284,171	84,348,843	87,161,471	89,183,783	1,081,463,287
	รวมกลุ่มลูกค้า	462,273,356	424,886,213	557,595,171	560,114,198	565,968,004	537,328,039	562,194,385	538,091,489	520,308,269	502,782,037	494,605,169	493,831,374	6,219,977,704
	อุตสาหกรรม	216,170,290	201,905,805	246,967,777	207,293,489	241,817,458	227,779,944	239,128,636	246,226,232	243,987,611	226,384,427	233,509,983	199,811,527	2,730,983,181
	พาณิชย์ใหญ่	38,197,216	35,683,176	45,591,535	44,354,830	45,605,270	44,048,621	45,083,805	46,379,755	43,675,503	42,195,339	42,044,637	38,800,400	512,060,085
	บ้านอยู่อาศัย	163,961,577	160,127,480	201,406,068	212,187,104	218,308,145	203,606,736	205,819,624	198,165,048	185,212,128	174,876,742	171,765,062	167,597,474	2,263,033,188
D	พาณิชย์ย่อย	52,006,903	49,339,316	58,450,306	58,830,646	61,104,478	58,757,674	59,861,297	58,422,131	55,502,849	53,977,117	54,233,992	54,374,199	674,860,908
	ภาครัฐ	59,621,885	55,724,680	65,470,366	61,729,101	63,842,729	67,735,589	66,662,040	65,280,328	64,210,685	59,939,533	61,436,950	60,730,704	752,384,592
	รวมกลุ่มลูกค้า	529,957,871	502,780,457	617,886,052	584,395,170	630,678,080	602,328,565	616,555,402	614,473,493	592,588,776	557,373,159	562,990,624	521,314,305	6,933,321,954
	อุตสาหกรรม	95,485,314	91,611,885	109,887,584	96,029,968	106,566,969	105,059,660	110,668,414	105,704,648	103,939,536	108,210,119	109,441,887	102,649,920	1,245,255,904
	พาณิชย์ใหญ่	58,657,076	54,837,213	72,065,266	68,213,375	72,025,542	75,784,563	78,271,478	76,036,517	73,164,915	68,137,672	68,091,233	61,112,365	826,397,216
E	บ้านอยู่อาศัย	231,747,388	221,627,586	275,702,419	292,712,523	316,533,135	311,462,636	327,359,625	316,809,073	300,885,854	275,383,029	254,531,889	253,194,547	3,377,949,704
	พาณิชย์ย่อย	73,484,130	68,470,936	80,844,621	81,501,805	86,992,038	87,390,183	91,064,974	89,376,586	85,608,286	81,427,312	79,425,669	79,308,506	984,895,045
	ภาครัฐ	96,860,956	91,579,412	108,564,003	98,905,698	105,526,284	116,472,247	119,988,259	117,936,171	121,909,496	116,161,800	112,947,657	105,180,082	1,312,032,065
	รวมกลุ่มลูกค้า	556,234,864	528,127,033	647,063,892	637,363,369	687,643,969	696,169,288	727,352,750	705,862,995	685,508,087	649,319,933	624,438,335	601,445,419	7,746,529,934
	อุตสาหกรรม	91,067,078	89,172,395	97,599,531	80,997,432	85,406,340	80,312,473	85,366,671	84,617,337	79,700,912	81,971,823	98,076,493	92,777,120	1,047,065,605
	พาณิชย์ใหญ่	39,679,091	37,331,581	48,346,418	44,978,268	47,982,897	51,938,633	52,922,437	50,833,935	48,429,414	42,762,965	46,144,766	40,727,047	552,077,452
	บ้านอยู่อาศัย	222,835,368	220,818,107	266,142,614	266,196,437	285,083,044	287,802,900	295,391,083	279,872,426	267,504,456	240,914,597	231,511,369	233,826,463	3,097,898,864
	พาณิชย์ย่อย	75,799,458	72,691,319	84,908,650	82,252,139	87,185,246	89,300,042	92,055,365	88,683,148	85,436,821	79,588,150	78,775,602	80,875,860	997,551,800
	ภาครัฐ	85,248,889	83,928,993	97,180,456	84,117,423	84,849,585	98,236,119	97,366,218	95,048,688	95,731,700	82,929,824	86,064,587	88,581,057	1,079,283,540
	รวมกลุ่มลูกค้า	514,629,884	503,942,395	594,177,669	558,541,698	590,507,112	607,590,167	623,101,774	599,055,534	576,803,303	528,167,359	540,572,818	536,787,548	6,773,877,261

ตารางที่ ก5 ข้อมูลหน่วยผู้ใช้ไฟฟ้าของปี พ.ศ. 2565 (ต่อ)

สรุปข้อมูลผู้ใช้ไฟฟ้า ปี 2565 (ต่อ)													
เขต	กลุ่มลูกค้า (5 กลุ่มใหม่)	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	Grand Total
F	อุตสาหกรรม	316,455,163	310,078,138	344,590,119	295,130,383	318,233,672	306,727,397	327,465,925	311,467,664	303,962,555	310,179,215	289,932,532	3,763,475,490
	พาณิชย์ใหญ่	64,181,161	61,658,494	78,048,541	72,185,870	76,410,703	81,293,368	83,409,775	77,419,777	73,835,127	76,425,672	69,720,718	895,968,746
	บ้านอยู่อาศัย	227,900,014	226,476,321	273,633,341	277,561,975	292,572,097	292,517,633	296,684,581	269,976,643	247,666,697	236,620,384	239,961,984	3,163,985,118
	พาณิชย์ย่อย	74,511,191	71,797,738	83,329,911	81,089,009	85,215,176	86,501,399	87,913,602	81,396,028	76,823,846	76,693,797	78,293,355	968,581,986
	ภาครัฐ	72,390,980	70,393,957	82,533,085	73,266,014	78,281,686	87,720,948	86,653,943	82,894,996	74,041,056	76,215,572	73,817,381	942,805,920
G	รวมกลุ่มลูกค้า	755,438,509	740,404,648	862,135,597	799,233,250	850,713,334	854,760,744	882,127,826	823,155,108	776,329,281	776,134,639	751,725,970	9,734,817,260
	อุตสาหกรรม	1,174,399,895	1,139,239,158	1,340,503,009	1,285,789,691	1,365,240,276	1,332,958,821	1,359,154,210	1,223,278,151	1,253,522,240	1,246,013,023	1,173,947,606	15,252,125,224
	พาณิชย์ใหญ่	203,373,754	193,071,737	233,605,679	216,017,089	226,668,858	229,456,172	226,613,362	218,950,866	213,859,878	216,754,790	202,278,855	2,611,915,756
	บ้านอยู่อาศัย	331,794,870	331,710,174	411,509,308	416,150,657	430,012,106	424,124,957	414,241,532	376,005,703	354,719,832	356,395,439	347,677,042	4,591,244,717
	พาณิชย์ย่อย	112,877,005	110,791,884	129,666,398	126,286,363	132,096,769	132,642,880	132,136,213	124,850,572	120,936,002	121,115,883	119,644,618	1,492,629,262
H	ภาครัฐ	110,387,206	106,509,401	122,656,441	113,491,200	117,897,934	123,076,854	122,523,992	127,128,368	130,686,682	122,979,334	120,352,651	1,431,556,753
	รวมกลุ่มลูกค้า	1,932,732,729	1,881,322,354	2,237,940,834	2,157,735,000	2,271,915,944	2,242,259,683	2,254,669,309	2,073,771,974	2,066,017,286	2,060,631,786	1,957,414,812	25,379,471,712
	อุตสาหกรรม	1,616,398,741	1,619,413,054	1,852,778,239	1,662,282,955	1,785,848,769	1,714,591,360	1,691,673,025	1,696,401,047	1,702,859,958	1,690,617,307	1,510,798,996	20,276,066,451
	พาณิชย์ใหญ่	279,160,989	265,954,435	318,006,399	305,955,206	334,747,708	331,050,984	334,586,274	317,027,104	316,301,286	318,352,264	303,680,878	3,761,952,894
	บ้านอยู่อาศัย	383,368,382	369,616,764	442,280,634	448,819,233	467,165,083	462,734,292	446,149,299	402,624,137	387,257,671	394,970,602	393,699,986	5,030,722,855
I	พาณิชย์ย่อย	149,234,864	141,509,274	163,815,607	162,208,105	170,734,469	168,994,729	168,081,660	157,531,987	156,953,946	158,116,896	159,913,776	1,923,293,080
	ภาครัฐ	106,846,574	100,665,797	114,436,198	105,599,042	118,600,094	117,776,060	117,268,268	114,381,649	112,194,828	110,368,547	109,962,434	1,345,235,804
	รวมกลุ่มลูกค้า	2,535,009,549	2,497,159,323	2,891,316,987	2,684,864,541	2,877,096,122	2,795,147,425	2,757,758,525	2,687,965,925	2,675,567,689	2,672,425,615	2,478,056,069	32,337,271,084
	อุตสาหกรรม	872,858,335	839,256,276	971,691,249	838,921,498	946,542,076	910,090,660	915,582,406	895,293,879	880,463,061	879,294,642	813,792,630	10,686,524,923
	พาณิชย์ใหญ่	112,910,148	108,523,425	129,028,775	120,813,414	127,524,662	129,147,196	133,118,982	129,979,330	127,402,847	127,245,531	115,635,070	1,494,503,347
J	บ้านอยู่อาศัย	234,163,992	242,103,214	293,346,844	302,807,373	307,066,569	294,786,429	297,349,061	272,827,292	250,957,820	247,687,886	242,606,420	3,272,097,274
	พาณิชย์ย่อย	103,084,385	101,843,474	117,431,970	115,800,527	120,109,483	117,979,535	120,233,504	114,053,833	109,579,560	108,420,209	107,919,308	1,354,665,023
	ภาครัฐ	69,681,892	67,782,814	78,422,342	73,444,570	74,402,198	84,680,700	84,767,091	87,330,444	84,070,162	90,478,317	78,491,801	959,910,996
	รวมกลุ่มลูกค้า	1,392,698,752	1,359,509,202	1,589,921,179	1,451,787,383	1,575,644,988	1,536,684,520	1,551,051,044	1,499,484,778	1,452,473,450	1,453,126,585	1,358,445,229	17,767,701,562
	อุตสาหกรรม	235,740,661	215,537,264	252,327,112	243,524,778	265,406,238	256,772,328	242,820,652	241,461,769	237,299,295	232,621,487	220,675,716	2,882,412,458
	พาณิชย์ใหญ่	59,997,120	56,775,724	67,730,847	69,542,472	69,024,931	70,943,571	72,898,661	65,338,066	64,854,726	63,985,069	64,258,838	795,045,951
	บ้านอยู่อาศัย	171,423,487	167,132,995	196,312,139	202,444,756	204,354,999	194,918,072	195,687,505	185,353,832	178,440,435	171,256,216	172,547,794	2,235,592,428
	พาณิชย์ย่อย	55,946,864	53,726,138	60,725,778	61,297,067	62,519,615	60,905,971	62,759,535	60,117,366	58,894,746	57,459,091	58,695,909	716,015,893
	ภาครัฐ	58,783,487	56,224,376	63,399,699	59,766,744	61,458,625	63,790,308	63,675,660	64,174,308	60,391,803	60,892,233	60,909,053	738,977,793
	รวมกลุ่มลูกค้า	581,891,619	549,596,497	640,495,574	636,575,817	662,764,408	647,330,250	637,842,013	616,445,341	599,881,004	586,214,097	577,087,310	7,368,044,524

ตารางที่ ก5 ข้อมูลหน่วยผู้ใช้ไฟฟ้าของปี พ.ศ. 2565 (ต่อ)

สรุปข้อมูลผู้ใช้ไฟฟ้า ปี 2565 (ต่อ)														
เขต	กลุ่มลูกค้า (5 กลุ่มใหม่)	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	Grand Total
K	อุตสาหกรรม	185,734,008	176,574,124	193,462,230	181,395,579	189,236,937	181,625,335	181,351,808	183,920,853	177,122,870	171,560,402	172,573,341	170,748,144	2,165,305,631
	พาณิชย์รายใหญ่	166,914,864	152,181,887	176,581,316	184,128,143	180,947,354	171,003,927	183,344,011	189,520,113	176,879,206	181,377,219	186,405,872	202,777,645	2,152,061,558
	บ้านอยู่อาศัย	286,928,649	274,960,280	307,181,098	303,917,225	314,978,401	292,368,109	291,302,453	303,674,870	282,853,411	280,564,770	270,084,067	276,360,794	3,485,174,127
	พาณิชย์รายย่อย	93,865,977	88,878,647	98,714,169	96,773,217	100,939,236	96,454,886	98,220,709	102,110,257	97,025,230	96,532,970	93,961,876	98,362,831	1,161,840,005
	ภาครัฐ	80,530,141	75,959,133	82,862,694	78,053,363	83,046,535	86,679,677	86,532,331	89,039,111	87,646,529	83,369,031	84,741,938	85,636,899	1,003,897,381
L	รวมกลุ่มลูกค้า	813,973,639	768,554,071	858,801,507	844,267,527	869,148,463	827,931,934	840,751,312	868,265,204	821,527,246	813,404,392	807,767,094	833,886,313	9,968,278,702
	อุตสาหกรรม	158,455,103	147,509,269	165,981,816	152,851,727	161,664,167	156,531,652	153,628,509	154,718,000	149,567,797	147,889,867	140,659,174	138,691,672	1,828,148,752
	พาณิชย์รายใหญ่	38,311,064	36,280,948	41,384,788	39,315,156	43,269,315	43,013,738	46,386,996	46,782,997	45,155,761	43,771,904	42,299,891	42,544,333	508,516,889
	บ้านอยู่อาศัย	177,052,958	168,542,621	188,768,100	192,652,420	201,455,077	185,241,290	191,186,165	190,849,678	179,831,047	179,277,295	168,983,996	169,685,517	2,193,526,164
	พาณิชย์รายย่อย	55,995,422	53,217,390	58,646,036	58,317,149	62,193,896	60,354,768	62,541,599	63,632,929	60,868,814	59,947,933	56,394,726	56,713,456	708,824,469
Total	ภาครัฐ	72,952,129	68,534,318	75,307,229	73,770,945	75,725,319	78,103,642	78,814,479	81,654,197	79,871,769	76,474,765	76,207,737	77,485,569	914,902,098
	รวมกลุ่มลูกค้า	502,766,676	474,084,546	530,088,369	516,907,396	544,307,724	523,245,091	532,557,747	537,637,801	515,295,187	507,361,764	484,545,524	485,120,547	6,153,918,372
	อุตสาหกรรม	5,177,627,565	5,023,553,485	5,831,298,543	5,267,330,446	5,708,172,438	5,498,234,670	5,556,756,484	5,603,491,610	5,356,304,840	5,341,400,095	5,343,702,362	4,930,337,975	64,638,410,512
	พาณิชย์รายใหญ่	1,183,253,165	1,116,913,871	1,367,921,985	1,318,848,853	1,384,310,193	1,386,430,202	1,421,932,821	1,427,148,299	1,352,312,265	1,330,212,372	1,338,308,175	1,288,291,142	15,915,883,344
	บ้านอยู่อาศัย	2,814,909,964	2,735,434,999	3,346,022,283	3,434,084,612	3,583,443,588	3,452,206,761	3,481,183,909	3,380,260,678	3,187,214,078	3,017,897,122	2,918,392,288	2,912,709,744	38,263,760,026
	พาณิชย์รายย่อย	1,005,596,262	959,641,277	1,124,930,447	1,112,550,895	1,166,708,255	1,150,400,576	1,172,679,811	1,157,729,683	1,105,997,707	1,076,441,898	1,058,599,081	1,070,843,764	13,162,519,658
	ภาครัฐ	982,609,183	932,797,093	1,080,887,453	993,192,698	1,037,827,263	1,113,828,178	1,116,825,149	1,114,824,431	1,108,816,497	1,039,988,576	1,048,124,593	1,028,330,522	12,598,051,635
	รวมกลุ่มลูกค้า	11,164,396,139	10,768,340,725	12,751,060,711	12,126,007,504	12,880,461,738	12,601,100,387	12,749,378,174	12,683,454,701	12,110,645,387	11,805,940,063	11,707,126,499	11,230,713,147	144,578,625,175

ตารางที่ ก6 ข้อมูลหน่วยผู้ใช้ไฟฟ้าของปี พ.ศ. 2566

สรุปข้อมูลผู้ใช้ไฟฟ้า ปี 2566														
เขต	กลุ่มลูกค้า (5 กลุ่มใหม่)	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	Grand Total
A	อุตสาหกรรม	126,810,846	125,192,222	144,202,869	140,821,417	156,278,486	149,516,222	153,151,340	155,124,072	144,321,465	148,082,379	143,676,264	143,676,264	1,730,853,846
	พาณิชย์ขนาดใหญ่	85,575,418	84,165,504	100,818,807	112,545,598	121,088,610	116,401,304	120,938,248	115,471,549	111,826,854	111,813,718	107,778,076	107,778,076	1,296,201,760
	บ้านอยู่อาศัย	195,556,210	183,108,020	226,342,758	301,418,597	333,642,495	314,690,174	301,908,239	282,579,496	271,924,409	268,084,216	248,331,407	248,331,407	3,175,917,428
	พาณิชย์รายย่อย	93,391,146	88,381,682	103,780,586	116,904,644	124,698,370	120,344,589	120,237,911	114,732,716	111,820,227	110,901,309	106,101,180	106,101,180	1,317,395,540
	ภาครัฐ	75,447,570	74,462,015	86,991,262	89,556,356	94,389,398	95,983,556	100,321,724	93,524,264	95,249,954	91,492,428	88,406,733	88,406,733	1,074,231,993
B	รวมกลุ่มลูกค้า	576,781,190	555,309,443	662,136,282	761,246,612	830,097,358	796,935,845	796,557,462	761,432,096	735,142,909	730,374,050	694,293,660	694,293,660	8,594,600,567
	อุตสาหกรรม	71,176,495	68,144,071	90,062,707	94,043,703	96,344,517	82,068,972	84,043,517	88,719,445	91,127,995	87,546,276	93,441,673	93,441,673	1,040,161,044
	พาณิชย์ขนาดใหญ่	48,396,466	50,680,259	61,062,677	69,821,840	72,294,231	57,837,526	57,195,958	54,740,886	54,395,142	54,934,019	51,921,601	51,921,601	685,202,206
	บ้านอยู่อาศัย	170,137,218	165,534,922	204,834,066	290,659,738	297,843,487	274,090,714	260,819,875	248,417,453	233,148,960	228,418,145	217,226,830	217,226,830	2,808,358,238
	พาณิชย์รายย่อย	67,546,894	65,383,349	77,142,381	91,810,086	92,526,458	87,707,670	87,123,869	83,604,573	79,621,887	78,803,774	76,286,116	76,286,116	963,843,173
C	ภาครัฐ	94,508,699	94,735,692	105,849,678	107,791,393	105,432,576	108,633,113	114,684,246	107,277,259	98,243,480	91,188,072	88,628,569	88,628,569	1,205,601,346
	รวมกลุ่มลูกค้า	451,765,772	444,478,293	538,951,509	654,126,760	664,441,269	610,337,996	603,867,465	582,759,616	556,537,464	540,890,285	527,504,789	527,504,789	6,703,166,007
	อุตสาหกรรม	191,557,368	201,629,760	234,237,166	230,305,947	244,248,434	218,696,695	233,273,797	227,982,544	221,138,604	227,219,619	223,480,043	223,480,043	2,677,250,018
	พาณิชย์ขนาดใหญ่	36,735,190	36,329,567	45,149,100	49,852,260	50,498,954	47,648,751	47,900,813	47,724,302	44,849,481	45,396,860	44,652,853	44,652,853	541,390,984
	บ้านอยู่อาศัย	149,290,755	147,709,523	186,362,633	256,219,110	259,749,903	231,889,575	225,617,820	219,028,744	202,824,974	200,997,047	191,392,272	191,392,272	2,462,474,628
D	พาณิชย์รายย่อย	50,592,632	48,586,400	57,562,935	67,375,103	67,897,934	63,241,080	62,885,770	61,911,957	58,151,526	57,624,221	56,499,974	56,499,974	708,829,506
	ภาครัฐ	60,555,645	59,109,579	67,213,456	69,378,293	73,023,083	74,143,767	75,678,699	70,635,584	68,432,249	66,299,090	64,952,454	64,952,454	814,374,354
	รวมกลุ่มลูกค้า	488,731,589	493,564,828	590,525,290	673,130,713	695,418,308	635,619,868	645,356,899	627,283,131	595,396,835	597,536,838	580,977,596	580,977,596	7,204,319,491
	อุตสาหกรรม	98,142,136	92,933,731	106,895,124	104,410,627	108,533,806	100,074,503	101,086,317	97,856,331	103,934,145	100,792,832	99,439,878	99,439,878	1,213,539,307
	พาณิชย์ขนาดใหญ่	56,939,807	60,435,845	72,718,735	84,547,326	86,842,742	81,602,513	83,457,545	80,291,686	76,483,264	77,334,809	71,062,049	71,062,049	902,778,369
E	บ้านอยู่อาศัย	218,245,681	217,594,412	259,947,993	378,675,594	389,626,096	345,953,044	338,255,250	325,647,308	306,268,795	310,566,201	290,414,641	290,414,641	3,671,409,656
	พาณิชย์รายย่อย	71,263,775	69,746,649	80,242,093	97,772,000	98,824,647	92,107,026	91,916,707	88,534,374	84,977,199	85,540,340	83,124,035	83,124,035	1,027,172,881
	ภาครัฐ	99,458,272	100,935,592	116,231,217	121,889,768	124,261,406	125,002,925	128,014,571	125,037,999	126,067,960	119,455,329	113,105,723	113,105,723	1,412,566,487
	รวมกลุ่มลูกค้า	544,049,671	541,446,229	636,035,162	787,295,315	808,088,697	744,740,011	742,730,390	717,367,698	697,731,363	693,689,512	657,146,326	657,146,326	8,227,466,700
	อุตสาหกรรม	82,253,131	85,187,493	87,706,573	84,059,327	86,899,293	79,596,554	86,835,161	88,253,150	80,739,138	84,581,486	101,157,632	101,157,632	1,048,426,570
	พาณิชย์ขนาดใหญ่	37,299,324	40,468,735	48,289,640	56,655,958	57,378,625	53,606,617	55,643,050	54,856,030	50,847,118	52,221,087	49,486,846	49,486,846	606,239,877
	บ้านอยู่อาศัย	204,890,126	211,387,570	245,751,201	350,336,935	346,315,035	299,701,827	308,424,010	296,358,713	270,825,775	273,424,271	258,855,197	258,855,197	3,325,125,857
	พาณิชย์รายย่อย	73,349,325	72,740,681	82,792,484	99,862,748	99,862,748	90,826,802	93,915,084	91,525,939	87,148,035	90,288,221	89,054,904	89,054,904	1,060,704,895
	ภาครัฐ	83,607,402	91,279,864	104,039,925	104,574,195	102,258,753	101,682,743	104,938,625	98,294,245	95,689,594	93,749,953	92,705,723	92,705,723	1,165,526,745
	รวมกลุ่มลูกค้า	481,419,308	501,064,343	568,579,823	695,752,183	692,714,454	625,414,543	649,755,930	629,288,077	585,249,660	594,265,019	591,260,302	591,260,302	7,206,023,944

ตารางที่ 6 ข้อมูลหน่วยผู้ใช้ไฟฟ้าของปี พ.ศ. 2566 (ต่อ)

สรุปข้อมูลผู้ใช้ไฟฟ้า ปี 2566 (ต่อ)													
เขต	กลุ่มลูกค้า (5 กลุ่มใหม่)	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	Grand Total
F	อุตสาหกรรม	281,581,052	290,706,430	311,031,168	278,665,815	303,706,845	295,231,811	307,011,088	320,400,841	308,941,119	302,653,531	302,653,531	3,604,064,273
	พาณิชย์รายใหญ่	65,573,494	66,809,470	80,777,123	86,446,195	88,591,602	84,762,607	87,543,383	87,586,455	83,477,268	77,273,582	77,273,582	967,651,301
	บ้านอยู่อาศัย	211,441,042	214,644,637	250,834,398	352,960,896	349,963,326	308,137,132	315,748,238	309,780,605	286,234,526	266,580,370	266,580,370	3,416,948,402
	พาณิชย์รายย่อย	72,281,064	71,337,229	81,429,174	96,750,662	96,399,993	88,178,502	90,455,203	89,893,374	83,104,993	80,890,747	80,890,747	1,015,270,494
	ภาครัฐ	70,711,562	74,172,850	83,891,851	86,865,983	88,963,538	91,676,197	95,790,885	93,004,081	88,832,318	84,689,424	81,453,904	1,021,506,498
	รวมกลุ่มลูกค้า	701,588,215	717,670,616	807,963,714	901,689,550	927,625,304	867,986,230	896,548,798	900,665,356	838,997,754	847,001,142	808,852,134	10,025,440,967
G	อุตสาหกรรม	1,180,073,632	1,190,098,317	1,306,431,575	1,176,678,682	1,236,713,192	1,194,263,716	1,257,934,132	1,249,945,399	1,201,001,986	1,196,237,164	1,196,237,164	14,571,010,150
	พาณิชย์รายใหญ่	196,392,044	199,242,631	234,783,682	240,796,115	256,579,573	240,562,346	243,008,024	244,349,922	237,027,990	222,319,779	222,319,779	2,771,218,904
	บ้านอยู่อาศัย	292,771,735	304,202,091	380,087,816	490,871,493	514,823,661	459,282,009	457,173,413	443,596,685	417,264,439	397,778,230	397,778,230	4,973,413,514
	พาณิชย์รายย่อย	107,835,420	108,015,281	127,170,853	140,157,435	145,922,956	135,624,853	137,464,907	134,674,674	129,222,819	124,158,876	124,158,876	1,543,788,211
	ภาครัฐ	112,181,949	110,433,982	126,208,900	124,426,551	127,992,065	124,160,735	127,129,224	126,169,167	126,920,661	118,199,470	118,199,470	1,467,068,827
	รวมกลุ่มลูกค้า	1,889,254,780	1,911,992,302	2,174,682,826	2,172,930,275	2,282,031,446	2,153,893,659	2,222,709,699	2,198,735,846	2,092,640,130	2,058,693,520	2,058,693,520	25,326,499,607
H	อุตสาหกรรม	1,551,420,302	1,577,441,428	1,799,572,623	1,504,308,855	1,670,118,422	1,638,740,461	1,668,720,474	1,724,241,453	1,737,142,186	1,718,733,047	1,718,733,047	20,035,402,906
	พาณิชย์รายใหญ่	298,212,423	296,986,099	349,440,918	362,048,903	382,241,737	363,463,049	362,731,567	372,199,368	359,845,380	345,182,112	345,182,112	4,187,413,070
	บ้านอยู่อาศัย	352,128,372	358,054,201	445,282,574	522,899,867	556,346,801	508,581,973	503,224,949	497,281,019	470,749,554	439,399,575	439,399,575	5,549,663,208
	พาณิชย์รายย่อย	150,063,560	147,478,344	175,749,483	186,109,394	193,241,484	179,867,171	181,466,419	180,682,930	173,758,867	167,756,373	167,756,373	2,076,218,912
	ภาครัฐ	109,488,727	104,614,054	120,611,987	118,439,426	123,478,656	121,909,376	125,364,626	124,085,343	124,676,358	117,538,383	117,538,383	1,431,818,583
	รวมกลุ่มลูกค้า	2,461,313,384	2,484,574,126	2,890,657,585	2,693,806,445	2,925,427,101	2,812,562,030	2,841,508,035	2,898,490,113	2,851,134,446	2,788,609,491	2,788,609,491	33,280,516,678
I	อุตสาหกรรม	823,262,129	809,774,697	914,814,478	803,159,042	911,222,336	862,823,417	879,983,087	871,121,453	852,642,302	867,420,843	863,944,611	10,324,113,006
	พาณิชย์รายใหญ่	112,301,628	112,792,811	132,326,133	135,846,255	147,314,794	138,669,446	140,758,932	142,317,637	137,504,110	137,421,700	131,270,881	1,599,795,209
	บ้านอยู่อาศัย	210,630,166	212,077,143	262,578,899	341,229,680	372,987,334	324,417,070	322,441,953	312,863,501	291,801,503	269,007,291	269,007,291	3,485,042,462
	พาณิชย์รายย่อย	98,497,872	96,573,884	112,940,812	124,811,510	133,206,521	122,073,070	123,875,098	121,058,122	115,192,407	108,021,060	108,021,060	1,381,168,008
	ภาครัฐ	73,233,014	74,004,249	83,067,676	82,608,922	89,333,113	89,925,491	90,872,942	90,531,189	93,159,196	132,396,032	131,916,126	1,162,964,078
	รวมกลุ่มลูกค้า	1,317,924,809	1,305,222,784	1,505,727,999	1,487,655,409	1,654,064,099	1,537,908,495	1,557,932,012	1,537,891,902	1,540,232,485	1,504,159,969	1,504,159,969	17,953,082,763
J	อุตสาหกรรม	217,092,304	217,542,577	245,767,929	230,119,859	244,445,756	237,675,241	226,199,875	216,192,816	212,074,684	204,487,508	204,487,508	2,661,797,123
	พาณิชย์รายใหญ่	61,065,751	59,046,803	69,646,235	78,072,182	77,520,444	74,842,079	77,674,508	77,278,464	72,326,257	67,141,771	67,141,771	854,108,455
	บ้านอยู่อาศัย	162,351,270	156,897,561	187,569,322	231,029,470	249,441,888	211,361,820	214,225,413	209,629,197	199,550,247	199,993,604	184,621,412	2,388,292,616
	พาณิชย์รายย่อย	56,084,945	53,585,871	61,820,875	68,736,425	72,242,501	64,332,565	66,616,716	65,202,127	62,203,148	58,801,998	58,801,998	750,942,271
	ภาครัฐ	59,364,305	57,459,342	64,147,015	64,768,676	70,038,712	67,365,612	68,848,770	68,199,202	68,945,908	64,792,902	64,792,902	784,784,985
	รวมกลุ่มลูกค้า	555,958,575	544,532,154	628,951,376	672,726,613	713,689,301	655,575,317	653,565,283	636,501,806	605,762,556	579,845,591	579,845,591	7,439,925,450

ตารางที่ 6 ข้อมูลหน่วยผู้ใช้ไฟฟ้าของปี พ.ศ. 2566 (ต่อ)

สรุปข้อมูลผู้ใช้ไฟฟ้า ปี 2566 (ต่อ)														
เขต	กลุ่มลูกค้า (5 กลุ่มใหม่)	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	Grand Total
K	อุตสาหกรรม	176,609,390	173,540,984	200,751,754	188,778,222	199,496,911	187,556,508	187,658,072	191,485,620	189,751,795	196,510,454	191,952,472	191,952,472	2,276,044,655
	พาณิชย์รายใหญ่	216,204,049	208,818,497	236,541,557	246,342,034	234,212,095	217,336,320	230,044,784	234,648,559	206,840,038	224,923,527	222,013,123	222,013,123	2,699,937,708
	บ้านอยู่อาศัย	280,626,143	264,389,565	310,295,480	355,641,884	362,110,499	310,285,485	319,499,854	315,589,855	300,787,303	311,851,280	295,644,388	295,644,388	3,722,360,124
	พาณิชย์รายย่อย	102,122,421	97,636,644	111,380,665	116,915,993	118,819,644	106,700,373	109,909,473	109,783,907	105,300,855	108,679,985	105,328,263	105,328,263	1,297,906,486
	ภาครัฐ	85,622,648	81,742,285	90,573,635	88,490,135	92,791,647	92,247,259	95,695,694	93,401,732	93,009,775	91,625,150	91,846,298	91,846,298	1,088,892,558
L	รวมกลุ่มลูกค้า	861,184,652	826,127,975	949,543,091	996,168,268	1,007,430,797	914,125,946	942,801,876	944,909,673	895,689,766	933,590,396	906,784,545	906,784,545	11,085,141,530
	อุตสาหกรรม	146,525,324	138,184,274	155,778,909	141,379,992	153,989,862	144,085,883	148,461,922	147,752,565	145,973,166	151,425,068	148,804,805	148,804,805	1,771,166,575
	พาณิชย์รายใหญ่	43,245,921	40,851,952	46,044,479	48,064,144	51,706,875	49,288,359	51,486,166	51,092,520	48,550,926	48,933,390	45,575,023	45,575,023	570,414,778
	บ้านอยู่อาศัย	164,446,866	153,490,120	178,220,438	203,572,845	213,260,004	194,573,656	198,854,086	196,456,837	185,635,354	193,043,987	181,608,877	181,608,877	2,244,771,947
	พาณิชย์รายย่อย	55,554,695	52,312,493	59,788,550	61,933,131	65,640,151	62,016,385	63,166,463	62,805,264	60,259,881	61,713,189	57,728,517	57,728,517	720,647,237
Total	ภาครัฐ	75,823,872	72,828,015	80,444,467	77,581,043	83,204,960	83,069,346	86,370,632	84,548,135	83,856,636	82,862,180	80,053,202	80,053,202	970,695,690
	รวมกลุ่มลูกค้า	485,596,678	457,666,854	520,276,843	532,531,156	567,801,852	533,033,628	548,339,269	542,655,320	524,275,964	537,977,815	513,770,424	513,770,424	6,277,696,227
	อุตสาหกรรม	4,946,504,109	4,970,375,982	5,597,252,875	4,976,731,487	5,411,997,860	5,190,329,983	5,334,358,782	5,379,075,691	5,248,446,515	5,322,738,933	5,288,008,629	5,288,008,629	62,953,829,474
	พาณิชย์รายใหญ่	1,257,941,517	1,256,628,174	1,477,599,088	1,571,038,810	1,626,270,283	1,526,020,918	1,558,382,979	1,562,557,376	1,468,902,080	1,505,656,006	1,435,677,696	1,435,677,696	17,682,352,620
	บ้านอยู่อาศัย	2,612,515,584	2,588,889,765	3,138,107,578	4,075,516,109	4,246,110,529	3,782,964,919	3,766,187,100	3,657,229,413	3,436,023,303	3,438,513,240	3,240,860,490	3,240,860,490	41,223,778,080
	พาณิชย์รายย่อย	998,603,748	971,778,507	1,131,800,890	1,269,402,152	1,309,283,406	1,213,020,087	1,229,033,619	1,204,409,956	1,150,995,675	1,158,055,483	1,113,752,045	1,113,752,045	13,863,887,613
	ภาครัฐ	1,000,003,666	995,777,519	1,129,271,070	1,136,370,741	1,175,167,908	1,175,798,122	1,213,710,637	1,174,708,198	1,163,084,090	1,168,941,218	1,133,599,488	1,133,599,488	13,600,032,144
	รวมกลุ่มลูกค้า	10,815,568,623	10,783,449,947	12,474,031,500	13,029,059,299	13,768,829,986	12,888,133,588	13,101,673,118	12,977,980,634	12,467,451,663	12,593,904,879	12,211,898,347	12,211,898,347	149,323,879,931

ภาคผนวก ข

ผลงานตีพิมพ์

สันติพงษ์ คงแก้ว และบุญยัง ปลั่งกลาง, การพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าระยะสั้น
ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเขต 1 (ภาคใต้) ด้วยการเรียนรู้เชิงลึก



การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 16
The 16th Electrical Engineering Network 2024
 29 – 31 พฤษภาคม 2567 ณ โรงแรมอัครธรณ อ.เมือง จ.หนองคาย

**นวัตกรรมและเทคโนโลยีสมัยใหม่
 สำหรับการพัฒนาอย่างยั่งยืน
 Innovation and Modern Technology
 for Sustainable Development**

Conference Topic

- Electrical Power (PW) ไฟฟ้ากำลัง
- Electronics, Circuit and Communication (EC) อิเล็กทรอนิกส์ วงจรและสื่อสาร
- Power Electronics (PE) อิเล็กทรอนิกส์กำลัง
- Computer and Information Technology (CP) คอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ
- Control Systems and Instrumentation (CT) ระบบควบคุมและการวัด
- Digital Signal Processing (DS) ระบบประมวลผลสัญญาณดิจิทัล
- Energy and Conservation of Energy (ES) พลังงานและการอนุรักษ์พลังงาน
- Innovation and Invention (IN) นวัตกรรมและสิ่งประดิษฐ์
- General Electrical Engineering (GE) งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิศวกรรมไฟฟ้า
- Special Session on Electrical Engineering (SS) หัวข้อพิเศษทางวิศวกรรมไฟฟ้า
 - Innovation and invention for junior research in school and college
 - นวัตกรรมและสิ่งประดิษฐ์ สำหรับนักวิจัยรุ่นเยาว์ ระดับมัธยม ปวช. และ ปวส.
 - Other research related to engineering for junior research in school and college
 - งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิศวกรรม สำหรับนักวิจัยรุ่นเยาว์ ระดับมัธยม ปวช. และ ปวส.

EENET 2024

Logos of sponsors and partners: Energy Management, ALL, dio, iRCT, ISIC, PTS, SIK, EVOLUTION, FES, AppICAD, Edu, and others.

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 16

16th Conference of Electrical Engineering Network 2024 (EENET 2024)



การพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าระยะสั้นของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเขต 1 (ภาคใต้) ด้วยการเรียนรู้เชิงลึก

Short-term Load Demand Forecasting of the Provincial Electricity Authority, District 1 (Southern Region) using Deep Learning

สันติพงษ์ คงแก้ว และ บุญยัง ปลั่งกลาง

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

39 หมู่ที่ 1 ตำบลคลองหก อำเภอลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12110 E-mail: santiphong_k@mail.rmUTT.ac.th

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้เป็นการศึกษาวิธีการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าระยะสั้นของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเขต 1 (ภาคใต้) ด้วยการเรียนรู้เชิงลึก โดยได้นำโครงข่ายประสาทเทียมกกลับ (RNN) โมเดล LSTM, GRU และ BiLSTM มาใช้ในการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้า ซึ่งข้อมูลหน่วยการใช้ไฟฟ้าจริงแบบรายเดือนเป็นตัวแปรสำคัญในการศึกษาในครั้งนี้ ผลลัพธ์ของการพยากรณ์สรุปได้ว่าวิธีการเรียนรู้เชิงลึกในแบบจำลอง LSTM สามารถพยากรณ์ได้มีประสิทธิภาพและความแม่นยำกว่าโมเดลอื่น โดยมีค่าเปอร์เซ็นต์ค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Percentage Error: MAPE) MAPE เท่ากับ 0.574%

สำคัญ: การเรียนรู้เชิงลึก, โครงข่ายประสาทเทียม, การพยากรณ์ระยะสั้น, การพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้า

Abstract

This paper presents a short-term load demand forecasting of the provincial electricity authority, district 1 (southern region) using deep learning. The recurrent neural network (RNN), LSTM, GRU and BiLSTM models were used to forecast electricity demand. The actual monthly electricity usage data was an important variable in this study. The results of the forecast concluded that the deep learning method in the LSTM model could predict more efficiently and accurately than other models. It had a mean absolute percentage error (Mean Absolute Percentage Error: MAPE) of 0.574%.

Keywords: Deep Learning, Neural network, Short-term forecasting, Load Demand Forecasting

1. บทนำ

ปัจจุบันพลังงานไฟฟ้าเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดปัจจัยหนึ่งสำหรับการดำรงชีวิตประจำวันของคนไทย เป็นปัจจัยพื้นฐานในการขับเคลื่อนและเป็นตัวกำหนดทิศทางของเศรษฐกิจ ทั้งในด้านการศึกษาด้านธุรกิจ ด้านการสื่อสาร ด้านวิทยาศาสตร์ และด้านสาธารณสุข แต่เนื่องจากไฟฟ้าเป็นสิ่งที่ไม่สามารถกักเก็บพลังงานได้ และความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าแต่ละช่วงเวลาที่แตกต่างกัน ดังนั้นการจัดการพลังงานไฟฟ้าให้เพียงพอจึงมีความจำเป็นกับความต้องการใช้ไฟฟ้าตลอดเวลา การที่จะทราบความต้องการไฟฟ้าที่ใช้เท่าใดนั้น จำเป็นต้องมีการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้า เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการวางแผนขยายกำลังการผลิตไฟฟ้า ระบบสายส่ง ระบบจำหน่าย เพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการใช้ไฟฟ้าที่คาดว่าจะเกิดขึ้นได้อย่างเพียงพอ [1]

การพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้ามี 3 ระยะ 1) การพยากรณ์ระยะสั้น เหตุการณ์รายชั่วโมงล่วงหน้าถึง 3 เดือน ซึ่งช่วยวางแผนและดำเนินการไฟฟ้า 2) ระยะกลาง เหตุการณ์อยู่ในช่วง 3 เดือน ถึง 3 ปี สามารถใช้เพื่อวางแผนการหยุดดำเนินการและการบำรุงรักษา 3) ระยะยาว เหตุการณ์ที่มากกว่า 3 ปี ขึ้นไป เหมาะสำหรับการวางแผนการผลิตไฟฟ้าและการก่อสร้างระบบส่งจ่ายไฟฟ้า ซึ่งการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึกได้กลายเป็นที่นิยม ก่อนที่ระบบจะสามารถประมวลผลการมอบหมายงานโดยใช้การเรียนรู้เชิงลึกภายใต้การเรียนรู้แบบมีผู้สอน ระบบจะต้องเรียนรู้จากข้อมูลตัวอย่างก่อน [2]

ดังนั้นบทความวิจัยนี้นำเสนอการหาประสิทธิภาพและความแม่นยำของอัลกอริทึมการเรียนรู้เชิงลึก 3 โมเดล ประกอบด้วย LSTM, GRU และ BiLSTM เพื่อการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าล่วงหน้ารายเดือนของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเขต 1 (ภาคใต้) การหาประสิทธิภาพและความแม่นยำ

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 16

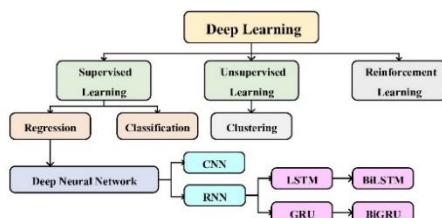
16th Conference of Electrical Engineering Network 2024 (EENET 2024)



2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning)

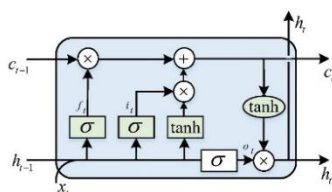
การเรียนรู้เชิงลึก เป็นส่วนหนึ่งของการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) ซึ่งเป็นการประมวลผลเพื่อสอนปัญญาประดิษฐ์ (AI) ให้เรียนรู้จากข้อมูลและจำแนกข้อมูล [2] รูปที่ 1 แสดงการเรียนรู้เชิงลึก 3 ประเภทหลัก คือ 1) การเรียนรู้เชิงลึกแบบมีผู้สอน เป็นการเรียนรู้โดยมีนักวิจัยใส่ข้อมูลและเอาต์พุต เข้าไปเพื่อให้ AI เกิดการเรียนรู้ 2) การเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอน เป็นการเรียนรู้แบบที่ไม่มีการกำหนดเอาต์พุตของข้อมูล แต่กำหนดรูปแบบข้อมูลที่ให้กับ AI และกำหนดว่าเราต้องการจะรู้อะไรจากผลลัพธ์ 3) การเรียนรู้แบบเสริมกำลัง เป็นการเรียนรู้แบบสร้างกระบวนการรับรู้และการกระทำ ให้เกิดการเรียนรู้ขึ้นระหว่างกระบวนการ [3]



รูปที่ 1 ภาพรวมของเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก [3]

2.2 หน่วยความจำระยะสั้นแบบยาว (Long Short-Term Memory: LSTM)

สถาปัตยกรรมของหน่วยความจำระยะยาวถูกพัฒนาเพื่อใช้แก้ปัญหาการเลือกหายหรือการเพิ่มจำนวนข้อมูลรับเข้าที่มากเกินไป จึงใช้หน่วยความจำ (Memory) ในการเก็บข้อมูลและคำสั่ง หลักการทำงานของ LSTM ที่มีความสามารถเก็บข้อมูลและสถานะของแต่ละส่วนไว้ สำหรับใช้ย้อนกลับเพื่อดูที่มาของข้อมูล [3] LSTM มีฟังก์ชันพิเศษที่ทำหน้าที่เหมือนประตู (Gate) ที่คอยควบคุมข้อมูลแต่ละส่วน ดังในรูปที่ 2 และสมการการคำนวณดังนี้ [4]



รูปที่ 2 โครงสร้างของโมเดล LSTM

โดยที่ LSTM ประกอบด้วยหน่วยจำ (cell) แทนด้วย C ช่องสำหรับรับสัญญาณเข้า (Input gate) แทนด้วย i ช่องสัญญาณสำหรับการลืม (Forget gate) แทนด้วย f ช่องสัญญาณสำหรับผลลัพธ์แทนด้วย o และผลการคูณแบบฮาดามาร์ด (Hadamard product) แทนด้วย $*$ สามารถคำนวณจากสมการ ดังนี้

$$i_t = \sigma(W_i \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_i) \quad (1)$$

$$f_t = \sigma(W_f \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_f) \quad (2)$$

$$\tilde{c}_t = \tanh(W_c \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_c) \quad (3)$$

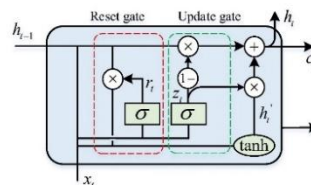
$$c_t = f_t * c_{t-1} + i_t * \tilde{c}_t \quad (4)$$

$$o_t = \sigma(W_o \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_o) \quad (5)$$

$$h_t = o_t * \tanh(c_t) \quad (6)$$

2.3 หน่วยเวียนกลับแบบมีประตู (Gated Recurrent Units: GRU)

หน่วยเวียนกลับแบบมีประตูที่พัฒนาต่อเพื่อลดความซับซ้อนของ LSTM เนื่องจากจำนวนหน่วยย่อยใน Cell มีจำนวนมาก ทำให้มีผลต่อประสิทธิภาพของการพยากรณ์ โดยการลดจำนวนด้านล่างแล้วสร้างด้านใหม่คือด้าน Update Gate และ Reset Gate แล้วรวมหน่วยความจำและสถานะซ่อนของ LSTM เข้าด้วยกัน [5] ดังรูปที่ 3 และสามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้



รูปที่ 3 โครงสร้างของโมเดล GRU

$$z_t = \sigma(W_z \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_z) \quad (7)$$

$$r_t = \sigma(W_r \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_r) \quad (8)$$

$$h'_t = \tanh(W_h \cdot [r_t * h_{t-1}, x_t] + b_h) \quad (9)$$

$$h_t = z_t * h_{t-1} + (1 - z_t) * h'_t \quad (10)$$

โดย z คือ ค่าด้านสำหรับอัปเดต, r คือ ค่าด้านสำหรับการลืม, h คือ สถานะซ่อนและหน่วยความจำ, $*$ คือ ผลคูณแบบฮาดามาร์ด, b คือ ค่าไบแอส

บทความวิจัย

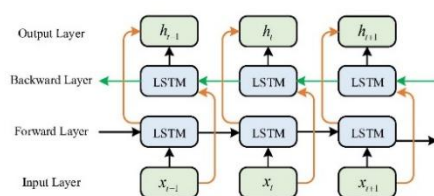
การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 16

16th Conference of Electrical Engineering Network 2024 (EENET 2024)



2.4 หน่วยความจำระยะสั้นแบบยาวแบบสองทิศทาง (Bi-directional Long Short-Term Memory: BiLSTM)

โมเดลที่มีการพัฒนาข้อมูลอนุกรมในทิศทางเดียว โดยการประมวลผลแบบอนุกรมที่ประกอบด้วย LSTM จำนวน 2 โมเดล ได้แก่ โมเดลที่ 1 รับอินพุตในทิศทางไปข้างหน้า และ โมเดลที่ 2 รับอินพุตในทิศทางย้อนกลับ [3] ดังในรูปที่ 4 เพื่อใช้แก้ปัญหาการเลือนหายหรือการเพิ่มจำนวนข้อมูลรับเข้ามาเกินไป โดยการวนซ้ำดังสมการต่อไปนี้



รูปที่ 4 โครงสร้างของโมเดล BiLSTM

$$\tilde{h}_t = \sigma(W_{\tilde{h}}x_t + W_{\tilde{h}}h_{t-1} + b_{\tilde{h}}) \quad (11)$$

$$\tilde{h}_t = \sigma(W_{\tilde{h}}x_t + W_{\tilde{h}}h_{t-1} + b_{\tilde{h}}) \quad (12)$$

$$y_t = W_y\tilde{h}_t + W_y\tilde{h}_t + b_y \quad (13)$$

โดยที่ W คือ ค่าน้ำหนักชั้นนำหนักเข้าที่ชั้นซ่อน, b คือ ค่าเวกเตอร์อคติชั้นซ่อน, W คือ ค่าฟังก์ชันของชั้นซ่อน

3. เปรียบเทียบวิธีวิจัย

3.1 ข้อมูลและการทดลอง

รูปแบบการฝึกการเรียนรู้ของปัญญาประดิษฐ์ใช้ข้อมูลจากหน่วยการใช้ไฟฟ้าของระบบหน่วยจำหน่ายไฟฟ้า ที่ดูแลโดยการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเขต 1 (ภาคใต้) ซึ่งบันทึกข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้าของพื้นที่ให้บริการ จำนวน 6 พื้นที่ ได้แก่ ราชบุรี สมุทรสงคราม เพชรบุรี ประจวบคีรีขันธ์ ชุมพร และระนอง ตั้งแต่เดือน มกราคม พ.ศ. 2561 ถึง ธันวาคม พ.ศ. 2566 ข้อมูลที่ใช้ในการพยากรณ์ ทั้งหมด 72 เดือน โดยข้อมูลจะนำไปใช้สำหรับการพยากรณ์แบบรายเดือนบนโปรแกรม MATLAB ด้วยเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก 3 โมเดล

3.2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการพยากรณ์

การพยากรณ์ที่มีประสิทธิภาพควรให้ค่าที่ใกล้เคียงกับค่าความจริงมากที่สุด การเลือกวิธีการพยากรณ์ที่ใกล้เคียงกับค่าความจริงต้องมีตัวชี้วัดที่สามารถบอกผลลัพธ์ได้ว่าวิธีการพยากรณ์แบบใดมี

ประสิทธิภาพมากที่สุด ซึ่งผู้วิจัยได้ใช้เครื่องมือในการตัดสินใจเพื่อเลือกวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสม ในบทความวิจัยนี้ได้ใช้เกณฑ์เปรียบเทียบประสิทธิภาพการพยากรณ์ของการเรียนรู้เชิงลึก โดยใช้เกณฑ์ในการวัดประสิทธิภาพ 3 วิธี ได้แก่ ค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Error: MAE) ค่าเปอร์เซ็นต์ค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Percentage Error: MAPE) และค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองของค่าคลาดเคลื่อน (Root Mean Squared Error: RMSE) [5] ตามสมการที่ (14) – (16)

$$MAE = \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i| \right) \quad (14)$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n \left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{\hat{y}_i} \right| \right) \times 100\% \quad (15)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \right)} \quad (16)$$

โดยที่ y_i คือ ค่าที่แท้จริง ณ เวลาที่ i , $\hat{y}_i$ คือ ค่าประมาณจากแบบจำลอง ณ เวลาที่ i , n คือ จำนวนเวลาที่ใช้ในการประมาณแบบจำลอง

4. ผลลัพธ์การพยากรณ์และอภิปรายผล

การพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าที่นำเสนอในบทความวิจัยนี้ ใช้การเขียนสคริปต์ (Script M-files) ใน โปรแกรม MATLAB ทำการตั้งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ และฝึกสอนการเรียนรู้ของโมเดลด้วยหน่วยการใช้ไฟฟ้ารายเดือน และพยากรณ์ด้วยโมเดลที่นำเสนอทั้งหมดและเปรียบเทียบข้อมูลหน่วยการใช้ไฟฟ้าจริง และอภิปรายผลในส่วนนี้

ผลลัพธ์การพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้า จากข้อมูลที่ใช้ในการพยากรณ์ ทั้งหมด 72 เดือน โดยแบ่งออกเป็นชุดฝึกเรียนรู้และชุดทดสอบ สำหรับการพยากรณ์ ชุดฝึกเรียนรู้ประกอบด้วยข้อมูลตั้งแต่เดือนที่ 1 ถึง เดือนที่ 64 และชุดทดสอบประกอบด้วยข้อมูลตั้งแต่เดือนที่ 64 ถึง เดือนที่ 71 สำหรับผลลัพธ์ของชุดฝึกเรียนรู้และชุดทดสอบด้วยโมเดล LSTM, GRU และ BiLSTM แสดงในรูปที่ 5

จากตารางที่ 1 การเปรียบเทียบค่าความผิดพลาด จากผลลัพธ์การพยากรณ์ความต้องการโหลดแบบรายเดือน โดยใช้การวัดประสิทธิภาพ 3 วิธี ซึ่งผลลัพธ์ของการเปรียบเทียบการพยากรณ์ทั้ง 3 โมเดล แสดงให้เห็นว่า LSTM, GRU และ BiLSTM ล้วนเป็นวิธีการที่มีข้อผิดพลาดเล็กน้อย โดยโมเดล LSTM ให้การพยากรณ์ที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยมีค่า MAE 65.32 ล้านบาท, MAPE 0.574% และ RMSE 425.983 ล้านบาท ตามลำดับ

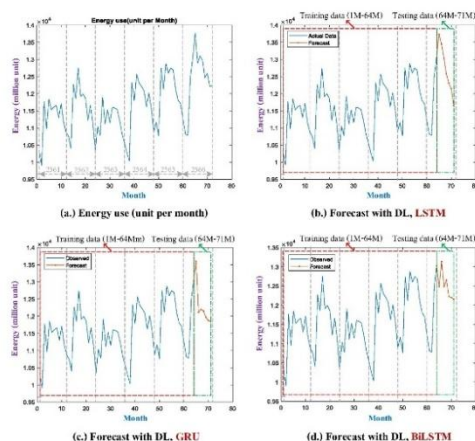
บทความวิจัย

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 16

16th Conference of Electrical Engineering Network 2024 (EENET 2024)



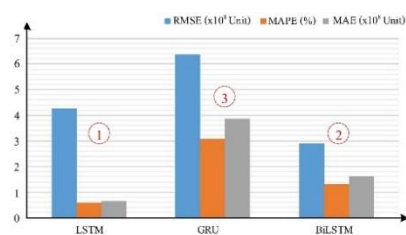
ประสิทธิภาพของแบบจำลองการพยากรณ์ทั้งหมดที่ใช้ในการพยากรณ์สามารถเปรียบเทียบได้โดยใช้ค่าความผิดพลาด 3 ค่า ได้แก่ RMSE MAPE และ MAE ดังแสดงในรูปที่ 6 ซึ่งผลจากแบบจำลองพบว่า โมเดล LSTM ให้ผลการพยากรณ์ที่มีประสิทธิภาพมาก รองลงมาคือ โมเดล BiLSTM และ GRU



รูปที่ 5 หน่วยการใช้ไฟฟ้าจริงสำหรับฝึกเรียนรู้ (a.) ผลลัพธ์การฝึกเรียนรู้ และการทดสอบ ของโมเดล LSTM, GRU และ BiLSTM (b.) - (d.)

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบค่าผิดพลาด 3 ค่าจากผลการพยากรณ์

DL	RMSE (million unit)	MAPE (%)	MAE (million unit)
LSTM	425.983	0.574	65.326
GRU	635.687	3.075	387.177
BiLSTM	289.727	1.295	161.186



รูปที่ 6 การเปรียบเทียบความผิดพลาดของโมเดลที่นำเสนอ

5. สรุป

การพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าในบทความนี้นำเสนอการใช้เทคนิคสำหรับพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าด้วยการเรียนรู้เชิงลึก ที่โมเดล

LSTM, GRU และ BiLSTM ข้อมูลหน่วยการใช้ไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเขต 1 (ภาคใต้) ผลลัพธ์ของการพยากรณ์แสดงให้เห็นประสิทธิภาพของแบบจำลองที่นำเสนอ คือ แบบจำลองการเรียนรู้เชิงลึก โมเดล LSTM มีประสิทธิภาพสูง สำหรับการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าระยะสั้นแบบรายเดือน โดยมีค่า MAE 65.32 ล้านหน่วย, MAPE 0.574% และ RMSE 425.983 ล้านหน่วย ซึ่งบทความดังกล่าวนี้อาจจะเป็นสารสนเทศที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการวางแผนการและการพัฒนา ระบบโครงข่ายไฟฟ้าเพื่อให้เพียงพอกับความต้องการไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเขต 1 (ภาคใต้) ในอนาคตได้

4. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ รศ.ดร.บุญยัง ปลั่งกลางและอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ให้การสนับสนุนการทำบทความวิจัยในครั้งนี้ และขอบคุณการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเขต 1 (ภาคใต้) ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลเพื่อใช้ในบทความวิจัยครั้งนี้

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, รายงานสถิติพลังงานของประเทศไทย, 2566. p. 93-120.
- [2] Plangklang, C.S.B. Forecasting of Residential Electrical Energy Demand Based on Deep Learning. in Conference of Electrical Engineering Network 2023 (EENET). 2023.
- [3] Sarapan, W., et al. Weekly Load Demand Forecasting using Supervised Deep Learning Techniques: A Case Study of Suranaree University of Technology. in 2023 International Electrical Engineering Congress (IEEECON). 2023.
- [4] Zelios, V., et al. Deep Learning Electric Load Forecasting for the Greek Power System. in 2023 27th International Conference on Circuits, Systems, Communications and Computers (CSCC). 2023.
- [5] Khotsriwong, N., et al., Short-term Load Demand Forecasting using Supervised Deep Learning Techniques: A Case Study of Suranaree University of Technology, in 2023 International Electrical Engineering Congress (IEEECON). 2023. p. 417-420.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นายสันติพงษ์ คงแก้ว
วัน เดือน ปี เกิด	16 พฤษภาคม 2526
สถานที่เกิด	จ.นครศรีธรรมราช
วุฒิการศึกษา	ปริญญาตรี ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต (ค.อ.บ.) วิศวกรรมโทรคมนาคม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ที่อยู่ปัจจุบัน	158/119 หมู่ที่13 หมู่บ้านแกรนด์วิลล์ลำท่าศาลา 1 ตำบลท่าศาลา อำเภอท่าศาลา จังหวัดนครศรีธรรมราช 80160
ผลงานตีพิมพ์	สันติพงษ์ คงแก้ว และบุญยัง ปลั่งกลาง, การพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้า ระยะสั้นของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเขต 1 (ภาคใต้) ด้วยการเรียนรู้เชิงลึก, EENET 2024

