การวิเคราะห์ข้อมูลโดยวิธีใช้ฟังก์ชันทางสถิติและวิธีโครงข่ายประสาทเทียม เพื่อช่วยบริหารจัดการความต้องการใช้พลังงาน

DATA ANALYSIS FOR DEMAND SIDE MANAGEMENT SYSTEM USING STATISTIC FUNCTION AND NEURON NETWORK

สามารถ กันทาเขียว
SAMART GUNTHAKIEW

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2559

KMITL-2016-EN-M-020-138

การวิเคราะห์ข้อมูลโดยวิธีใช้ฟังก์ชันทางสถิติและวิธีโครงข่ายประสาทเทียม เพื่อช่วยบริหารจัดการความต้องการใช้พลังงาน

DATA ANALYSIS FOR DEMAND SIDE MANAGEMENT SYSTEM USING STATISTIC FUNCTION AND NEURON NETWORK

สามารถ กันทาเขียว

SAMART GUNTHAKIEW

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2559

KMITL-2016-EN-M-020-138

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DATA ANALYSIS FOR DEMAND SIDE MANAGEMENT SYSTEM USING STATISTIC FUNCTION AND NEURON NETWORK

SAMART GUNTHAKIEW

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2016

KMITL-2016-EN-M-020-138

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2016
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้วิธีฟังก์ชันทางสถิติและวิธีโครงข่ายประสาทเทียม เพื่อช่วยบริหารจัดการความต้องการใช้พลังงาน

Thesis Title Data Analysis for Demand Side Management System using Statistic Function and Neuron Network

นักศึกษา นายสามารถ กันทาเขียว

รหัสประจำตัว 55610705

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.สุรินทร์ คำฝอย

หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2016-EN-M-020-138

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.ดร.สมยศ	เกียรตวินิชวิไล	
ดร.เปี่ยมภูมิ	สฤกพฤกษ์	
รศ.ดร.ไพบูลย์	นาคมหาชลาสินธุ์	
ผศ.ดร.วรชาติ	สุวรรณงาม	
รศ.ดร.สุรินทร์	คำฝอย	

วัน / เดือน/ ปี ที่สอบ วันอังคารที่ 12 กรกฎาคม พ.ศ. 2559 เวลา 14.00-16.00 น.
สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 5 ห้องประชุม 1

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)
คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่ 12 กรกฎาคม พ.ศ. 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้วิธีฟังก์ชันทางสถิติและวิธีโครงข่ายประสาทเทียม เพื่อช่วยบริหารจัดการความต้องการใช้พลังงาน
นักศึกษา	นายสามารถ กันทาเขียว
รหัสประจำตัว	55610705
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2559
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.สุรินทร์ คำฝอย

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ นำเสนอการวิเคราะห์ข้อมูลโดยวิธีใช้ฟังก์ชั่นทางสถิติเพื่อช่วยบริหารจัดการความต้องการใช้พลังงาน โดยใช้ข้อมูลที่ได้รับจากสมาร์ทมิเตอร์จำนวน 60 ตัวเพื่อนำมาวิเคราะห์การใช้พลังงานใน 3 กลุ่มตัวอย่าง คือ บ้านพักอาศัย อาคารพาณิชย์ และโรงงานอุตสาหกรรม โดยการใช้ฟังก์ชันเชิงสถิติและวิธีโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อทำนายแนวโน้มการใช้พลังงาน ซึ่งจะช่วยในการวางแผนสำหรับศูนย์บริหารจัดการความต้องการใช้พลังงาน (DSM center) ได้อย่างเหมาะสม และยังได้นำเสนอฟังก์ชันที่ใช้ระบุดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพใช้พลังงานขั้นพื้นฐาน (KPI) ในแต่ละกลุ่ม โดยผล KPI ที่ได้จะเป็นดัชนีที่ช่วยส่งเสริมให้ประหยัดพลังงานและปรับเปลี่ยนพฤติกรรมในการใช้พลังงานได้ โครงการวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการสนับสนุนแผนการพัฒนาประสิทธิภาพการใช้พลังงานของสำนักนโยบายและแผนพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Data Analysis for Demand Side Management System using. Statistic Function and Neuron Network
Student	Mr.Samart Gunthakiew
Student ID.	55610705
Degree	Master of Engineering
Program	Electrical Engineering
Year	2016
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr.Surin Khomfoi

ABSTRACT

This thesis proposes a data analysis function for demand side management system using statistic function and Neuron network. The data from 60 smart meters are used to analyze for three categories: residents, high rise buildings and industries. The proposed statistic function and Neuron network can predict the trend of consumed energy, so the planning for demand side management center can be performed suitably. Also, the proposed function can be used as a basic key performance index (KPI) for user behavior in each studied category. The results in each KPI would encourage users to save energy and adjusting energy consumed behavior. The proposed function can also support the energy efficiency development plan from Energy Policy and Planning Office (EPPO).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.สุรินทร์ คำฝอย ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะช่วยแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้และประการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า รวมถึงการเสียสละเวลาอันมีค่าของท่านอาจารย์ จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ณ ที่นี้ด้วย

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกๆ ท่าน ที่ได้มอบความรู้ทางวิชาการให้กับข้าพเจ้า

ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการวิจัยประยุกต์ใช้พลังงานทดแทน (REAL LAB) ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์เครื่องมือต่างๆ ในระหว่างการจัดทำวิจัย และขอขอบคุณเพื่อนๆ น้องๆ ทุกๆ คน ที่คอยให้ความช่วยเหลือในทุกๆ ด้าน

ขอขอบคุณ สำนักนโยบายและแผนการใช้พลังงาน กระทรวงพลังงาน ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยนี้

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่านทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

สามารถ กันทาเขียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II

กิตติกรรมประกาศ.....III

สารบัญ.....IV

สารบัญตาราง.....VI

สารบัญรูป.....VII

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ความเป็นมาของปัญหา.....1

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์.....3

1.3 ขอบเขตของการศึกษา.....4

1.4 ขอบเขตของการศึกษา.....4

1.5 ข้อจำกัดของการศึกษา.....5

1.6 คำจำกัดความที่ใช้ในการศึกษา.....5

บทที่ 2 วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....6

2.1 การจัดการด้านอุปสงค์.....6

2.2 ขั้นตอนในการออกแบบและประยุกต์ใช้โปรแกรมการจัดการด้านอุปสงค์.....6

2.2.1 ทำการวิจัยเกี่ยวกับโหลดหรือการใช้พลังงาน.....6

2.2.2 กำหนดวัตถุประสงค์ในการเปลี่ยนแปลงการใช้พลังงาน.....6

2.2.3 ประเมินกลยุทธ์ในการประยุกต์ใช้โปรแกรม.....9

2.2.4 การทดลองใช้งาน.....9

2.2.5 ตรวจสอบและประเมินผล.....9

2.3 เทคโนโลยีทางเลือกของการจัดการด้านอุปสงค์.....9

2.3.1 มาตรการลดพลังงาน.....9

2.3.2 มาตรการจัดการโหลด.....9

2.3.3 การอนุรักษ์พลังงานและการปรับปรุงโหลด.....10

2.4 กลยุทธ์ในการประยุกต์ใช้การจัดการด้านอุปสงค์.....12

2.4.1 ประเภทของโปรแกรมการจัดการด้านอุปสงค์ และการวางแผนกลยุทธ์.....12

2.4.2 ทรัพยากรในการจัดการด้านอุปสงค์.....13

2.5 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้การจัดการด้านอุปสงค์.....14

2.5.1 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้การจัดการด้านอุปสงค์ในบ้านพักอาศัย.....14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 มิเตอร์อัจฉริยะ (Smart Meter).....24
2.7 ประโยชน์ของมิเตอร์อัจฉริยะ.....25
2.8 ความก้าวหน้าในเทคโนโลยีและระบบมิเตอร์อัจฉริยะ.....28
2.8.1 การพัฒนาเทคโนโลยีในมิเตอร์อัจฉริยะ (Smart meter).....28
2.8.2 การพัฒนาระบบสื่อสารในมิเตอร์.....29
2.8.3 ความก้าวหน้าของเทคโนโลยีการประมวลผลข้อมูล.....30
2.9 ตัวอย่างและแผนการใช้งานมิเตอร์อัจฉริยะในประเทศต่างๆ 42
2.10 บทสรุปและปัญหาอุปสรรคในใช้งานระบบมิเตอร์อัจฉริยะ.....45
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....47
3.1 มิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะ.....47
3.2 การติดตั้งสำหรับมิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะ.....50
3.2.1 แบบติดตั้งตู้ไฟฟ้าสำหรับบ้านพักอาศัย.....50
3.3.2 แบบติดตั้งตู้ไฟฟ้าและมิเตอร์ไฟฟ้าสำหรับอาคารพาณิชย์และ
โรงงานอุตสาหกรรม.....51
3.3 ชุดอุปกรณ์สื่อสารสำหรับมิเตอร์อัจฉริยะ.....55
บทที่ 4 ฟังก์ชันทางสถิติและดัชนีชี้วัดพฤติกรรมผู้ใช้ไฟ.....59
4.1 ฟังก์ชันทาสถิติ.....59
4.1.1 เทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม.....61
4.1.2 เทคนิคสมการถดถอย.....66
4.2 ดัชนีชี้วัดพฤติกรรมผู้ใช้ไฟฟ้า.....69
บทที่ 5 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลและอภิปรายผล.....70
5.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากมิเตอร์อัจฉริยะ.....70
5.2 การวิจารณ์หรืออภิปรายผล.....70
บทที่ 6 บทสรุป.....72
บรรณานุกรม
ภาคผนวก 1
การแสดงผลที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูล
ภาคผนวก 2
ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์
ประวัติผู้เขียน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1.1 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากแผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี(พ.ศ. 2554 ถึง พ.ศ. 2573).....2

2.1 แสดงผลสรุปโปรแกรมการประยุกต์ใช้การจัดการด้านอุปสงค์ในบ้านพักอาศัย.....14-15

2.2 แสดงคุณลักษณะของผู้จัดจำหน่ายไฟฟ้าการประยุกต์ใช้การจัดการด้านอุปสงค์ในบ้านพักอาศัย.....15

2.3 แสดงการออกแบบโปรแกรมการประยุกต์ใช้การจัดการด้านอุปสงค์ในบ้านพักอาศัย.....16-17

2.4 แสดงการดำเนินการของโปรแกรมการประยุกต์ใช้การจัดการด้านอุปสงค์ในบ้านพักอาศัย.....17

2.5 แสดงการแสดงผลและการประเมินของโปรแกรมการประยุกต์ใช้การจัดการด้านอุปสงค์ในบ้านพักอาศัย.....18

2.6แสดงผลลัพธ์ของโปรแกรมการประยุกต์ใช้การจัดการด้านอุปสงค์ในบ้านพักอาศัย.....18

2.7แสดงประโยชน์ที่ได้จากโปรแกรม.....19

2.8 แสดงผลสรุปโปรแกรมการประยุกต์ใช้การจัดการด้านอุปสงค์ในภาคอาคารธุรกิจ.....19

2.9 แสดงคุณลักษณะของผู้จ่ายพลังงานการประยุกต์ใช้การจัดการด้านอุปสงค์ในภาคอาคารธุรกิจ..19

2.10 แสดงการออกแบบโปรแกรมการประยุกต์ใช้การจัดการด้านอุปสงค์ในภาคอาคารธุรกิจ.....20

2.11 แสดงผลสรุปโปรแกรมการประยุกต์ใช้การจัดการด้านอุปสงค์ในภาคอุตสาหกรรม.....21

2.12 แสดงคุณลักษณะของผู้จ่ายพลังงานการประยุกต์ใช้การจัดการด้านอุปสงค์ในภาคอุตสาหกรรม.....22

2.13 แสดงการออกแบบโปรแกรมการประยุกต์ใช้การจัดการด้านอุปสงค์ในภาคอุตสาหกรรม....22-23

2.14 มิเตอร์อัจฉริยะ อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องและรายละเอียด.....37-41

4.1 ฟังก์ชันกระตุ้น.....64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

1.1 เป้าหมายการอนุรักษ์พลังงานรายภาคเศรษฐกิจตามแผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี (พ.ศ. 2554 ถึง พ.ศ. 2573).....1

2.1 ลักษณะการลดความต้องการการใช้พลังงานสูงสุด.....7

2.2 ลักษณะการทำการเลื่อนการใช้โหลด.....7

2.3 ลักษณะการทำ load valley.....7

2.4 ลักษณะการดำเนินการอนุรักษ์พลังงาน.....8

2.5 ลักษณะการดำเนินการแบบ flexible load shape.....8

2.6 ลักษณะการดำเนินการแบบ การเพิ่มการใช้พลังงาน.....8

2.7 ไดอะแกรมการประยุกต์ใช้การจัดการด้านอุปสงค์.....11

2.8 การเพิ่มขึ้นของความยากในการดำเนินการในแต่ละโปรแกรม.....13

2.9 วัตถุประสงค์และความต้องการของผู้ใช้พลังงานและผู้จำหน่าย.....13

2.10 ตัวอย่างการเชื่อมต่อระบบมิเตอร์อัจฉริยะ.....24

2.11 EcoMeter.....32

2.12 PowerPlayer.....33

2.13 Control4.....33

2.14 Tendri Insight.....34

2.15 Google PowerMeter.....34

2.16 Microsoft Home.....34

2.17 Navetas Smart Hub.....35

2.18 Onzo Smart Energy Kit.....36

2.19 Green Energy Options.....36

3.1 มิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะ Itron ACE6000.....47

3.2 แบบติดตั้ง Single Line Diagram สำหรับบ้านพักอาศัย.....50

3.3 แบบติดตั้งและเดินสายไฟฟ้าสำหรับบ้านพักอาศัย.....51

3.4 แบบเชื่อมต่อกับมิเตอร์ไฟฟ้าแบบ 1P2W Direct Connection.....51

3.5 แบบติดตั้ง Single Line Diagram สำหรับติดตั้งภายในตู้ MDB ของโรงงานหรืออาคารพาณิชย์.....52

3.6 แบบติดตั้ง Single Line Diagram สำหรับติดตั้งภายนอกตู้ MDB ของโรงงานหรืออาคารพาณิชย์.....53

3.7 แบบติดตั้งมิเตอร์ไฟฟ้าบนตู้ MDB.....54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

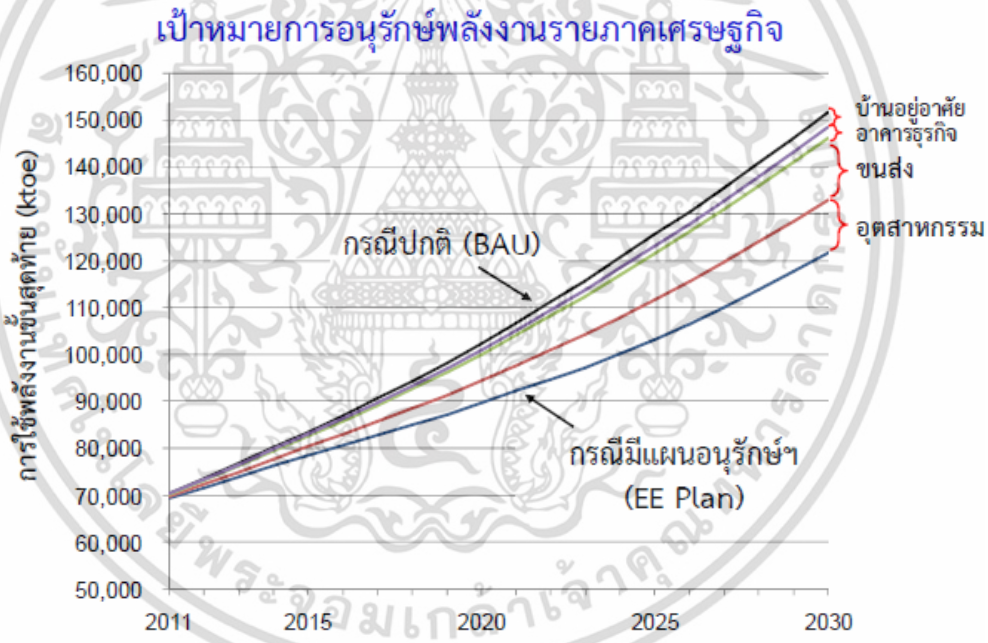
3.8 แบบติดตั้งมิเตอร์ไฟฟ้าบนตู้สำหรับมิเตอร์ไฟฟ้าโดยเฉพาะ....54
3.9 แบบเชื่อมต่อกับมิเตอร์ไฟฟ้าแบบ 3P4W with CT connection....55
3.10 โมเด็มสำหรับเชื่อมต่อระบบ GSM และ GPRS สองระบบที่ใช้ในโครงการ....58
3.11 อุปกรณ์ติดตั้งและ Server....58
4.1 การสร้างแบบจำลองทำนาย (predictive model)....59
4.2 การทำนาย load profile....60
4.3 โครงสร้างของเซลล์ประสาท....62
4.4 แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมหลายชั้น....63
4.5 แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่กลับ....65
4.6 ผลการจำลองด้วยการถดถอยไม่เป็นเชิงเส้นของ load profile โดยป้อนข้อมูลรายวัน....65
4.7 กราฟการใช้พลังงานของโรงแรม ในหนึ่งวันในช่วงวันทำงาน (กราฟสีแดง) วันเสาร์ (กราฟสีเขียว) และวันอาทิตย์ (กราฟสีน้ำเงิน)....68
4.8 กราฟการทำนายการใช้พลังงานของโรงแรมในหนึ่งวันทำงานเปรียบเทียบกับ กราฟ load profile จริง....68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาของปัญหา

จากแผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี(พ.ศ. 2554 ถึง พ.ศ. 2573) ของกระทรวงพลังงานได้กำหนดเป้าหมายในการลดความเข้มการใช้พลังงานลง 25% ในปี 2573 เทียบกับปี 2548 หรือเทียบเท่าและลดการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายลง 20% หรือประมาณ 30,000 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ (ktoes) รูปที่ 1.1 แสดงตัวอย่างเป้าหมายของแผนการอนุรักษ์พลังงานซึ่งระบุว่า หากการดำเนินการมาตรการอนุรักษ์พลังงานเป็นไปตามเป้าหมายที่ตั้งไว้แล้ว การใช้พลังงานจะเพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 3.0 ต่อปีจนถึงปี 2573 ซึ่งเป็นอัตราที่ต่ำกว่าอัตราการขยายตัวทางเศรษฐกิจหรือคิดเป็นค่า energy elasticity เฉลี่ย 20 ปีข้างหน้าได้เท่ากับ 0.71 เมื่อเทียบกับ ค่าเฉลี่ยย้อนหลัง 20 ปีซึ่งอยู่ที่ 0.98



รูปที่ 1.1 เป้าหมายการอนุรักษ์พลังงานรายภาคเศรษฐกิจตามแผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี (พ.ศ. 2554 ถึง พ.ศ. 2573)

ตารางที่ 1.1 เป็นข้อสรุปและประโยชน์โดยรวมที่จะได้จากการดำเนินการตามแผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปีนี้ โดยคิดเป็นพลังงานที่ประหยัดได้เฉลี่ยต่อปี ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่หลีกเลี่ยงได้เฉลี่ยต่อปีและมูลค่าพลังงานที่ประหยัดได้เฉลี่ยต่อปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.1 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากแผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี(พ.ศ. 2554 ถึง พ.ศ. 2573)

ภาคเศรษฐกิจ	พลังงานที่ประหยัดได้โดยเฉลี่ยต่อปี (ktoe)	ปริมาณ CO_2 ที่หลีกเลี่ยงได้โดยเฉลี่ยต่อปี (ล้านตัน)	มูลค่าพลังงานที่ประหยัดได้โดยเฉลี่ยต่อปี (ล้านบาท)
ขนส่ง	6,400	20	141,000
อุตสาหกรรม	5,500	17	87,000
อาคารธุรกิจและบ้านอยู่อาศัย			
- อาคารธุรกิจขนาดใหญ่	1,100	6	20,000
- อาคารธุรกิจขนาดเล็กและบ้านอยู่อาศัย	1,500	6	24,000
รวม	14,500	49	272,000

ในแผนการดำเนินการนี้ได้กำหนดมาตรการไว้หลายด้านอาทิเช่น มาตรการภาคบังคับเช่น การบังคับใช้พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 และฉบับปรับปรุง 2550 และการกำหนดมาตรฐานขั้นต่ำและฉลากประสิทธิภาพเป็นต้น ส่วนภาคการสนับสนุนและส่งเสริมที่สำคัญคือ การให้เงินอุดหนุนเพื่อชดเชยผลประหยัดพลังงานที่ตรวจประเมินได้ (Standard Offer Program หรือ SOP) นอกจากนี้ยังจะมีการเน้นมาตรการที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทิศทางตลาดและพฤติกรรมของผู้ใช้พลังงานโดยการบังคับให้ติดฉลากแสดงประสิทธิภาพ และยังมีมาตรการกับธุรกิจพลังงานขนาดใหญ่ที่ต้องดำเนินการประหยัดพลังงานให้กับผู้ใช้พลังงานตามมาตรฐานขั้นต่ำหรือ (Energy Efficiency Resource Standard, EERS) อีกด้วย

ในด้านการใช้ยานยนต์ แผนฯนี้มีมาตรการส่งเสริมการใช้ยานยนต์ที่มีประสิทธิภาพสูงเช่น การบังคับการติดฉลากแสดงประสิทธิภาพพลังงาน การบังคับเกณฑ์มาตรฐานขั้นต่ำและมาตรการทางภาษีเป็นต้น

ในการดำเนินการตามแผนฯจะมีการกระจายความรับผิดชอบการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานสู่ภาคต่างๆของสังคมโดยเน้นภาคเอกชนเป็นหุ้นส่วนสำคัญและเพิ่มบทบาทในองค์กรบริหารส่วนท้องถิ่นรวมทั้งให้หน่วยงานภาครัฐแสดงบทบาทเป็นแบบอย่างที่ดีในการอนุรักษ์พลังงาน

เป็นที่ทราบกันดีว่า ในปัจจุบันวิธีการและ/หรือเครื่องมือสำคัญหลายประการที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อให้เกิดการประหยัดพลังงานและการอนุรักษ์พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืนได้ อาทิเช่น การดำเนินการจัดการด้านอุปสงค์ (Demand side management), ระบบกริดอัจฉริยะและระบบมิเตอร์อัจฉริยะ เป็นต้น การดำเนินการในเรื่องดังกล่าวข้างต้นจะช่วยส่งเสริมให้มาตรการในแผนอนุรักษ์พลังงานมีประสิทธิผลมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นที่ทราบกันดีว่าการจัดการด้านอุปสงค์ (Demand side management)เป็นวิธีการจัดการที่ทำให้เกิดประโยชน์ในการอนุรักษ์พลังงานอย่างมีแบบแผนและมีประสิทธิผล ตัวอย่างของประโยชน์ของการจัดการด้านอุปสงค์เช่น การปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบพลังงาน การปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตและการปรับปรุงตัวประกอบโหลด (system load factor) ของระบบ ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ลดค่าใช้จ่ายในการจำหน่ายพลังงานไปยังผู้ใช้พลังงาน เพิ่มความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าและคุณภาพของระบบแหล่งจ่ายไฟฟ้า ฯลฯ ในส่วนของมิเตอร์อัจฉริยะจะเป็นเครื่องมือที่ทันสมัยและช่วยส่งเสริมการวางแผน การดำเนินการและการประเมินผลในการอนุรักษ์พลังงานได้ ตัวอย่างประโยชน์ของการติดตั้งมิเตอร์อัจฉริยะและระบบ เช่น ผู้ใช้พลังงานเกิดความตระหนักในการใช้พลังงานและสามารถปรับเปลี่ยนพฤติกรรมเพื่อลดการใช้พลังงานและลดค่าใช้จ่ายทางพลังงานลง ลดต้นทุนลงในการจดและเก็บเงินจากมิเตอร์ ผู้ให้บริการด้านพลังงานไฟฟ้าจะสามารถรู้ข้อมูลที่สมบูรณ์มากขึ้นในส่วนของผู้ใช้พลังงานเพื่อนำมาวางแผนการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิผลมากขึ้น ลดค่าใช้จ่ายในด้านศูนย์ติดต่อให้ความช่วยเหลือทางโทรศัพท์และรัฐบาลสามารถดำเนินการให้บรรลุเป้าหมายด้านการประหยัดพลังงานและการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิผลมากขึ้น ข้อมูลที่ได้จากมิเตอร์อัจฉริยะเป็นสิ่งที่สามารถนำมาพัฒนาเพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการกระตุ้นเตือน อำนวยความสะดวกในการติดต่อสื่อสาร และช่วยบริหารจัดการทั้งทางด้านอุปาทานและอุปสงค์ งานวิจัยฉบับนี้จึงได้นำเสนอรูปแบบการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากมิเตอร์อัจฉริยะโดยใช้วิธีฟังก์ชั่นทางสถิติและวิธีโครงข่ายประสาทเทียม เพื่อช่วยบริหารจัดการความต้องการพลังงาน

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์

1. สนับสนุนแผนการพัฒนาประสิทธิภาพการใช้พลังงานของสำนักนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน

2. เพื่อช่วยในการวางแผนสำหรับศูนย์บริหารจัดการความต้องการใช้พลังงาน (DSM center) ได้อย่างเหมาะสม

3. เพื่อให้ผู้ใช้ไฟได้ทราบถึงพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของตัวเองล่วงหน้า และสามารถที่จะปรับเปลี่ยนพฤติกรรมเพื่อลดการใช้พลังงานในช่วงต่างๆ ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

โครงการวิจัยนี้งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัยและพัฒนาระบบไฟฟ้าที่ชาญฉลาดเพื่อพัฒนาประสิทธิภาพการใช้พลังงาน และการจัดการความต้องการไฟฟ้า (Research and Development of Smart Grid for Energy Efficiency and Demand-Side Management) โดยนำเสนอการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้รับจากมิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะเพื่อช่วยบริหารจัดการความต้องการใช้พลังงาน ด้วยวิธีฟังก์ชันทางสถิติและโครงข่ายประสาทเทียม จากกลุ่มตัวอย่างที่มีการใช้พลังงานมาก 3 กลุ่ม คือ กลุ่มโรงงานอุตสาหกรรม กลุ่มอาคารธุรกิจ และกลุ่มบ้านพักอาศัย โดยใช้การวัดพลังงานไฟฟ้าและส่งข้อมูลแบบสองทิศทางระหว่างมิเตอร์ไฟฟ้าและศูนย์การจัดการความต้องการพลังงานไฟฟ้าหรือ ซึ่งจะเป็นการสื่อสารแบบ สำหรับโครงข่ายการสื่อสารระยะไกลสำหรับมิเตอร์อัจฉริยะโดยได้มีการติดตั้งมิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะและสื่อสารข้อมูลผ่านโครงข่าย GSM/GPRS สำหรับส่งข้อมูลจากมิเตอร์ไฟฟ้าไปยังซอฟต์แวร์การคำนวณค่าการใช้พลังงานไฟฟ้า ซึ่งข้อมูลที่ได้จะถูกนำมาวิเคราะห์ทางสถิติในลักษณะกราฟของโหลด หรือ Load profile เพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลในการวิเคราะห์พฤติกรรมการใช้พลังงานในช่วงเวลาต่างๆ และเพื่อช่วยในการทำนายโหลด (Load Prediction) เพื่อแสดงถึงปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่จะใช้ล่วงหน้าเพื่อการวางแผน และได้นำเสนอฟังก์ชันที่ใช้ระบุดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพใช้พลังงานขั้นพื้นฐาน (KPI) ในแต่ละกลุ่ม โดยผล KPI ที่ได้จะเป็นดัชนีที่ช่วยส่งเสริมให้ประหยัดพลังงานและปรับเปลี่ยนพฤติกรรมในการใช้พลังงานได้ ซึ่งการวิเคราะห์ดังกล่าวจะเป็นประโยชน์ต่อการให้คำแนะนำในโปรแกรมการจัดการด้านความต้องการใช้พลังงานเป็นอย่างมาก เนื่องจากสามารถที่จะสร้างหรือออกแบบคำแนะนำได้อย่างปัจจุบันมากขึ้น สำหรับแนวโน้มการใช้พลังงานและข้อแนะนำที่เป็นประโยชน์ในเชิงการจัดการพลังงานเพื่อพัฒนาประสิทธิภาพการใช้พลังงานและจัดการความต้องการไฟฟ้าได้

1.4 ขั้นตอนของการศึกษา

1. ศึกษาค้นคว้าข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย โดยงานวิจัยนี้จะศึกษาแบบจำลองของฟังก์ชันทางสถิติ และแบบจำลองของโครงข่ายที่เหมาะสมมาเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

2. ดำเนินการทดลองติดตั้งมิเตอร์อัจฉริยะ (Smart Meter: SM) จำนวน 60 ตัว ใน 3 ชนิดของผู้ใช้งาน ได้แก่ อาคารธุรกิจ ที่อยู่อาศัย และโรงงานอุตสาหกรรม เพื่อรองรับการประยุกต์ในงานของผู้ใช้ไฟฟ้าได้หลายรูปแบบ โดยข้อมูลทางไฟฟ้า (V, I, PF, Wh) จะถูกส่งผ่านระบบโครงข่ายอินเตอร์เน็ต เพื่อประมวลผล การใช้พลังงานของผู้ใช้ไฟฟ้า

3. นำข้อมูลมาใช้เพื่อจำลองฟังก์ชันเชิงสถิติเพื่อใช้ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ของสมาร์ทกริด (Smart Grid) เพื่อใช้ในการออกแบบและทดสอบอัลกอริทึ่ม

4. นำข้อมูลที่ได้จาก Smart meter ไปประมวลผลกับโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับ DSM Center พร้อมแสดงดัชนีชี้วัดพฤติกรรมผู้ใช้ไฟฟ้า เพื่อประโยชน์ในเชิงของการวางแผนใช้พลังงานสำหรับ DSM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ข้อจำกัดของการศึกษา

สำหรับโครงการวิจัยนี้จะนำเสนอการใช้ข้อมูลมาวิเคราะห์ทางสถิติของลักษณะกราฟของโหลด หรือ Load Profile ซึ่งจะทำนายโดยการใช้ปัจจัยทางสถิติเพื่อทำนายแนวโน้มในของการใช้พลังงาน โดยการประยุกต์ใช้สมการการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นกับข้อมูลของ Load Profile ในรูปแบบข้อมูลอนุกรมเวลา (Time Series Data) และนำเสนอการหาค่าดัชนีชี้วัดพฤติกรรมผู้ใช้ไฟฟ้าเพื่อใช้เป็นตัวช่วยส่งเสริมใน DSM ให้ปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการใช้พลังงานและวางแผนจัดการพลังงานในกลุ่มตัวอย่าง 3 กลุ่มได้

1.6 คำจำกัดความที่ใช้ในการศึกษา

สำหรับการระบุดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพใช้พลังงานขั้นพื้นฐาน (KPI) ในแต่ละกลุ่มนั้น ผลของ KPI ที่ได้จะเป็นดัชนีที่ช่วยส่งเสริมให้ประหยัดพลังงานและปรับเปลี่ยนพฤติกรรมในการใช้พลังงาน โดยจะแสดงผลการวิเคราะห์ ดังนี้

ค่าดัชนีพลังงาน ค่าการใช้พลังงานต่อหน่วยการผลิต (Specific Energy Consumption, SEC) ค่านี้ในส่วนของโรงงานจะแสดงเป็นหน่วย MJ/หน่วยการผลิต ในส่วนของอาคารธุรกิจและบ้านพักอาศัยจะแสดงเป็นหน่วย MJ/m2

ค่าตัวประกอบโหลด (Load Factor, LF) ซึ่งค่านี้จะวัดอัตราส่วนของโหลดเฉลี่ยต่อโหลดสูงสุดของผู้ใช้ไฟฟ้า หากค่านี้มีค่าสูงจะหมายถึงการใช้โหลดสม่ำเสมอ และมีผลต่อค่าไฟฟ้าต่อหน่วยสำหรับกลุ่มผู้ใช้กลุ่มอาคารและโรงงาน

ค่าตัวประกอบกำลัง (Power Factor, PF) เป็นอัตราส่วนของกำลังไฟฟ้าจริงต่อกำลังไฟฟ้าปรากฏ ค่านี้เป็นดัชนีการใช้ไฟฟ้าในรูปแบบหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การจัดการด้านอุปสงค์ (Demand Side Management)

การจัดการด้านอุปสงค์เป็นวิธีการสำคัญวิธีการหนึ่งในการแก้ปัญหาโลกร้อนและความต้องการพลังงานที่ยั่งยืนรวมถึงการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานซึ่งทำให้เกิดความเหมาะสมทำให้สามารถลดปัญหาข้างต้นได้ การจัดการด้านอุปสงค์จะเกี่ยวข้องกับผู้จัดจำหน่ายพลังงานและผู้ใช้เพื่อเสนอทางเลือกสำหรับการเพิ่มประสิทธิภาพของการใช้พลังงานซึ่งจะมีประโยชน์ต่อผู้ใช้ ผู้ผลิตและจำหน่ายรวมถึงสังคมโดยรวมด้วย การประยุกต์ใช้โปรแกรมการจัดการด้านอุปสงค์ มีวัตถุประสงค์ดังต่อไปนี้

1. เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบพลังงานผ่านการปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตและการปรับปรุงตัวประกอบโหลด (system load factor) ของระบบ
2. ลดค่าใช้จ่ายในความจำเป็นต้องสร้างระบบผลิตพลังงานแหล่งใหม่ผ่านทางการลดความต้องการพลังงานสูงสุดด้วยการจัดการด้านอุปสงค์
3. ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยทำการลดการปล่อย GHG (Green House Gas) ผ่านทางการผลิตพลังงานที่มีประสิทธิภาพและการลดการเกิดความร้อน
4. ลดค่าใช้จ่ายในการจำหน่ายพลังงานไปยังลูกค้าหรือผู้ใช้พลังงาน
5. เพิ่มความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าและคุณภาพของระบบแหล่งจ่ายไฟฟ้าผ่านทางการลดความต้องการพลังงานสูงสุด (demand)
6. สร้างการพัฒนาทางเศรษฐกิจให้กับชุมชน

2.2 ขั้นตอนในการออกแบบและประยุกต์ใช้โปรแกรมการจัดการด้านอุปสงค์

2.2.1 ทำการวิจัยเกี่ยวกับโหลดหรือการใช้พลังงาน

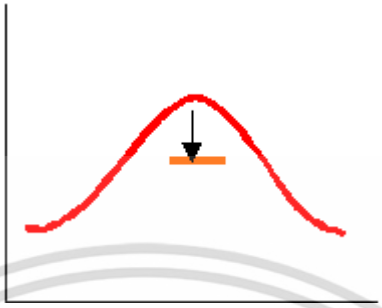
สำหรับการวิจัยเกี่ยวกับโหลดหรือการใช้พลังงานเช่น สำรวจตลาด สำรวจประวัติและพฤติกรรมการใช้โหลดสำรวจผู้ใช้พลังงาน ค่าใช้จ่ายทางพลังงาน ฯลฯ

2.2.2 กำหนดวัตถุประสงค์ในการเปลี่ยนแปลงการใช้พลังงาน

ตัวอย่างการกำหนดวัตถุประสงค์ในการเปลี่ยนแปลงการใช้พลังงาน หรือ load-shape objectives เช่น

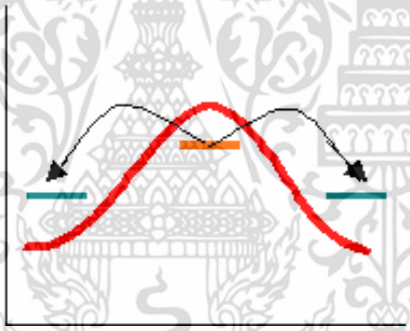
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การลดความต้องการการใช้พลังงานสูงสุด (peak clipping) เป็นการควบคุมช่วงเวลาและปริมาณการใช้พลังงานที่โหลดเพื่อลดค่าความต้องการการใช้ไฟฟ้าสูงสุด ดังแสดงในรูปที่ 2.1 จากรูปจะเห็นได้ว่าลักษณะการจัดการแบบนี้จะต้องการลดการใช้โหลดในช่วงยอดของรูปร่างการใช้พลังงาน



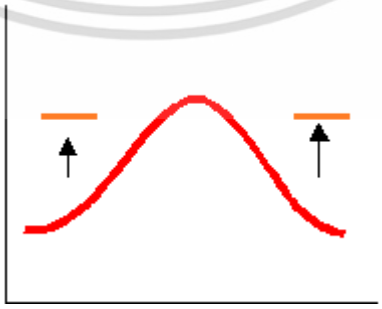
รูปที่ 2.1 ลักษณะการลดความต้องการการใช้พลังงานสูงสุด

2. Load shifting เช่นการปรับปรุงตัวประกอบโหลด (Load Factor) โดยการลดการใช้โหลดในช่วงพีคและในเวลาเดียวกันทำการเพิ่มการใช้โหลดในช่วง off peak ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ลักษณะการทำการเลื่อนการใช้โหลด

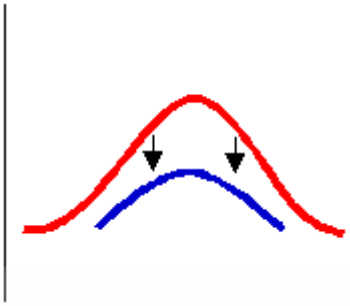
3. Load valley เป็นการปรับปรุงตัวประกอบโหลด โดยการเพิ่มการใช้โหลดในช่วงoff-peak



รูปที่ 2.3 ลักษณะการทำ load valley

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การอนุรักษ์พลังงาน (Conservation) วิธีนี้จะทำให้พลังงานโดยรวมลดลงทั้งในส่วนของความต้องการพลังงานสูงสุดและพลังงานโดยรวม

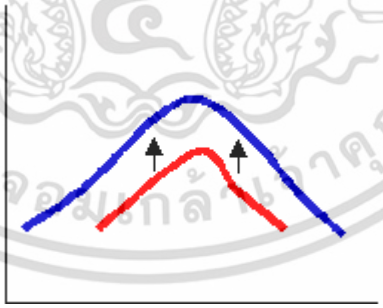


รูปที่ 2.4 ลักษณะการดำเนินการอนุรักษ์พลังงาน

5. การปรับรูปร่างการใช้พลังงานไปตามความต้องการ (flexible load shape)

รูปที่ 2.5 ลักษณะการดำเนินการแบบ flexible load shape

6. การเพิ่มการใช้พลังงาน (load building)



รูปที่ 2.6 ลักษณะการดำเนินการแบบ การเพิ่มการใช้พลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 ประเมินกลยุทธ์ในการประยุกต์ใช้โปรแกรม

ขั้นตอนนี้จะกำหนดเพื่อหาผู้ใช้หรือโหลดที่มีศักยภาพในการจัดการด้านพลังงาน ในขั้นตอนนี้ต้องดำเนินการอย่างระมัดระวังโดยต้องทำการวิเคราะห์ทั้งในแง่ประสิทธิภาพการใช้พลังงานและการวิเคราะห์ผลตอบแทนในแง่กำไร-ขาดทุนทั้งสำหรับผู้ผลิตจำหน่ายพลังงานและผู้ใช้งาน รวมถึงต้องวิเคราะห์ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมด้วย

2.2.4 การทดลองใช้งาน

ดำเนินการออกแบบโปรแกรมสำหรับผู้ใช้แต่ละรายและดำเนินการประชาสัมพันธ์วิธีดำเนินการผ่านทางการโฆษณา กรณีส่วนของภาคอุตสาหกรรมอาจใช้การประชุม เป็นต้น

2.2.5 ตรวจสอบและประเมินผล

ขั้นตอนนี้จะทำการติดตามการดำเนินการที่ออกแบบและประยุกต์ใช้เพื่อที่จะเปรียบเทียบกับเป้าหมายของการจัดการด้านอุปสงค์ที่วางไว้ในตอนต้น ในขั้นตอนนี้จะต้องมีการวิเคราะห์โดยละเอียดโดยรวมถึงการวิเคราะห์ด้านค่าใช้จ่ายต่างๆที่อาจเกิดขึ้นได้ทั้งในฝั่งผู้ผลิตจำหน่ายพลังงานและผู้ใช้พลังงาน

2.3 เทคโนโลยีทางเลือกของการจัดการด้านอุปสงค์

โดยทั่วไปมาตรการในการจัดการด้านอุปสงค์อาจแบ่งได้สามโปรแกรมคือ

2.3.1 มาตรการลดพลังงาน (Energy Reduction Measures)

มาตรการลดพลังงานเป็นการลดการใช้พลังงานจากการปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการ ตัวอาคาร อุปกรณ์ต่างๆ และการประยุกต์ใช้เทคนิคการประหยัดพลังงานอื่นๆ อาทิเช่น การปรับปรุงประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ การปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคาร การใช้พลังงานทางเลือก การจัดการด้านพลังงาน การตรวจสอบพลังงาน การบำรุงรักษา เป็นต้น

2.3.2 มาตรการจัดการโหลด (Load Management Measures)

มาตรการจัดการโหลดเป็นการเปลี่ยนแปลงรูปร่างการใช้โหลดของผู้ใช้ โดยอาจได้จากวิธีการต่อไปนี้

1. การจัดการโหลด เช่นทำการลดความต้องการการใช้พลังงานสูงสุด (peak clipping) การทำ load shifting การทำ load valley เป็นต้น

2. การทำการควบคุมโหลดเช่นการเปิดปิดตามการใช้งาน การเปิดปิดโหลดอัตโนมัติ

3. การสร้างแรงจูงใจหรือมาตรการลงโทษ เช่น การปรับค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า การกำหนดค่าไฟฟ้าแบบอัตราจากช่วงเวลาของการใช้ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 การอนุรักษ์พลังงานและการปรับปรุงโหลด เช่น การหาแหล่งพลังงานอื่นที่มีประสิทธิภาพดีกว่าพลังงานไฟฟ้า เป็นต้น

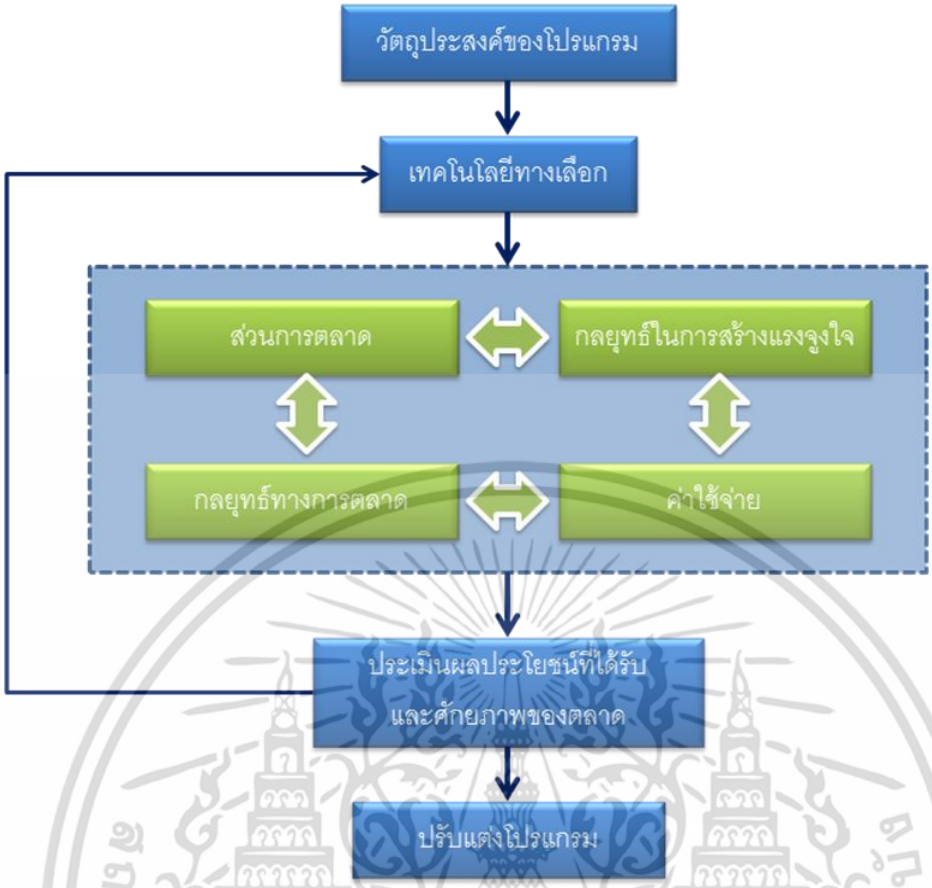
ในด้านเทคโนโลยี การกำหนดเทคโนโลยีที่จะใช้ในโปรแกรมเป็นกุญแจสำคัญสำหรับการจัดการด้านอุปสงค์ ความเข้าใจและศึกษาพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าจะทำให้สามารถกำหนดทางเลือกที่เหมาะสมที่จะทำให้เกิดศักยภาพของการประยุกต์ใช้การจัดการด้านอุปสงค์ได้สูงสุด ในบางครั้งอาจจำเป็นต้องทำรายการของทางเลือกทั้งหมดของเทคโนโลยีที่สามารถทำให้เป้าหมายของการใช้การจัดการด้านอุปสงค์สำเร็จได้

ตัวอย่างของเทคโนโลยีทางเลือกแยกตามประเภทของผู้ใช้ไฟฟ้า เช่น

1. กลุ่มที่พักอาศัย
   - การใช้หลอดคอมแพคประหยัดไฟฟ้า หลอดฟลูออเรสเซนต์ประสิทธิภาพสูง
   - การใช้แสงจากภายนอก
   - การใช้บัลลาสต์ความสูญเสียต่ำ
   - การใช้ตู้เย็น หม้อหุงข้าว พัดลมที่มีประสิทธิภาพสูง
   - ฯลฯ
2. อาคารสำนักงาน
   - การใช้หลอดคอมแพคประหยัดไฟฟ้า หลอดฟลูออเรสเซนต์ประสิทธิภาพสูง
   - การใช้แสงจากภายนอก
   - การใช้ระบบการทำน้ำอุ่นด้วยแสงอาทิตย์
   - การจัดการพลังงาน
   - การบำรุงรักษาและการตั้งเวลาการใช้เครื่องปรับอากาศ
   - การใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง
   - การปรับแต่งอุปกรณ์และโหลดทางไฟฟ้า
   - ฯลฯ
3. กลุ่มอุตสาหกรรม
   - การใช้ตัวควบคุมความเร็วรอบในปั๊มน้ำ AHU ฯลฯ
   - การจัดการพลังงาน
   - การปรับค่าตัวประกอบกำลัง
   - การใช้แหล่งกำเนิดพลังงานหมุนเวียนและการใช้แหล่งผลิตพลังงานร่วม
   - ฯลฯ

ขั้นตอนตามหลักการของโปรแกรมการจัดการด้านอุปสงค์อาจเขียนได้เป็นไดอะแกรมข้างล่างนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 ไดอะแกรมการประยุกต์ใช้การจัดการด้านอุปสงค์

จากรูปไดอะแกรมที่ 2.7 การประยุกต์ใช้การจัดการด้านอุปสงค์ จะเริ่มจากการกำหนดวัตถุประสงค์ที่ต้องการจากโปรแกรมการจัดการด้านอุปสงค์ที่จะนำไปใช้ วัตถุประสงค์จะบอกรายละเอียดถึงเป้าหมายที่ต้องการให้เกิดขึ้นอย่างชัดเจน จากนั้นดำเนินการหาเทคโนโลยีทางเลือกที่เป็นไปได้ทั้งหมดและหาว่าเทคโนโลยีใดมีศักยภาพและเป็นเทคโนโลยีที่เหมาะสมทั้งกับผู้ใช้และผู้ผลิตหรือจำหน่ายพลังงาน (ไฟฟ้า) เมื่อทำการวิเคราะห์เรียบร้อยแล้วจะต้องทำการวางแผนการประชาสัมพันธ์ทางการตลาดรวมถึงอาจกำหนดเป็นมาตรการจูงใจหรือลงโทษเพื่อให้โปรแกรมนี้สามารถบรรลุวัตถุประสงค์ได้ เมื่อดำเนินการแล้วจากนั้นทำการประเมินผลและประเมินศักยภาพทางการตลาดของโปรแกรมที่ได้ดำเนินการไปแล้ว หากต้องมีการปรับแก้ให้ดำเนินการปรับเทคโนโลยีและดำเนินการตามขั้นตอนเดิมอีกครั้ง หากผลที่ได้เป็นที่น่าพอใจ จะดำเนินการในขั้นตอนสุดท้ายคือการปรับแต่งโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 กลยุทธ์ในการประยุกต์ใช้การจัดการด้านอุปสงค์

เมื่อได้ทำการวิเคราะห์ เก็บข้อมูล เลือกเทคโนโลยีที่ใช้และออกแบบโปรแกรมการจัดการด้านอุปสงค์ ที่จะใช้แล้ว จากข้อมูลการดำเนินการการจัดการด้านอุปสงค์ที่ผ่านมาพบว่า กุญแจสำคัญที่จะทำให้การประยุกต์ใช้การจัดการด้านอุปสงค์ประสบความสำเร็จประการหนึ่งคือ ความสามารถในการถ่ายทอดโปรแกรมไปยังลูกค้าหรือผู้ใช้และความสามารถในการชักชวนผู้ใช้ให้เข้าร่วมโปรแกรมได้มากน้อยเพียงใด อย่างไรก็ตามโปรแกรมการจัดการด้านอุปสงค์ที่ดีเมื่อผ่านการใช้และวิเคราะห์ในขั้นตอนสุดท้ายแล้วโดยมากมักจะต้องมีการปรับแต่งเสมอเนื่องจากเป็นไปไม่ได้ที่จะสามารถคิดถึงปัจจัยต่างๆได้ครบตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบโปรแกรมครั้งแรก กุญแจสำคัญอีกประการหนึ่งในการประสบความสำเร็จคือ การเรียนรู้จากประสบการณ์ของระบบไฟฟ้าอื่นๆโดยเฉพาะอย่างยิ่งในภูมิภาคที่ใกล้เคียงกัน

2.4.1 ประเภทของโปรแกรมการจัดการด้านอุปสงค์ และการวางแผนกลยุทธ์

การแบ่งประเภทของโปรแกรมจะสามารถทำให้วางแผนกลยุทธ์ได้ถูกต้องมากขึ้น โปรแกรมการจัดการด้านอุปสงค์ อาจแบ่งได้เป็น 4 กลุ่มใหญ่คือ

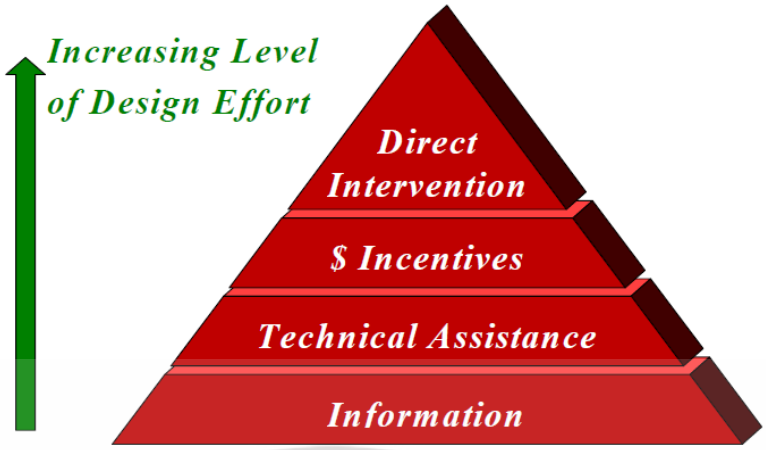
1. โปรแกรมทางข้อมูล (information Programs) เป็นโปรแกรมที่มีวัตถุประสงค์เพื่อแก้ปัญหาการขาดข้อมูลของผู้ใช้พลังงานในแง่ของประสิทธิภาพการใช้พลังงาน เครื่องมือหรือกลยุทธ์สำคัญที่ใช้ในโปรแกรมนี้คือ แผ่นพับประชาสัมพันธ์ คู่มือ การสัมมนา การใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ

2. โปรแกรมการให้ความช่วยเหลือทางเทคนิค (Technical Assistance Programs) เช่นการไปตรวจสอบและให้คำแนะนำทางด้านพลังงานแก่ลูกค้า โปรแกรมนี้เหมาะกับลูกค้าที่เห็นความสำคัญและเข้าใจประโยชน์จากการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพแต่ขาดความรู้และความเข้าใจในเชิงเทคนิค

3. โปรแกรมการให้ความช่วยเหลือทางด้านการเงิน (Financial Assistance Program) เป็นโปรแกรมที่มีวัตถุประสงค์เพื่อลดค่าใช้จ่ายทางพลังงานกับลูกค้าที่มีการดำเนินการมาตรการทางการปรับปรุงประสิทธิภาพทางพลังงาน การปรับปรุงประสิทธิภาพทางพลังงานส่วนใหญ่จำเป็นต้องใช้การลงทุนซึ่งอาจจะทำให้ลูกค้าจำนวนมากที่ไม่มีเงินลงทุนไม่สนใจที่จะดำเนินการ ดังนั้นการให้แรงจูงใจเช่น เงินกู้ยืมดอกเบี้ยต่ำ หรือเงินสดหรือเงินตอบแทนเมื่อมีการดำเนินการมาตรการที่เหมาะสมจะเป็นเครื่องมือสำคัญอย่างหนึ่งของโปรแกรมนี้

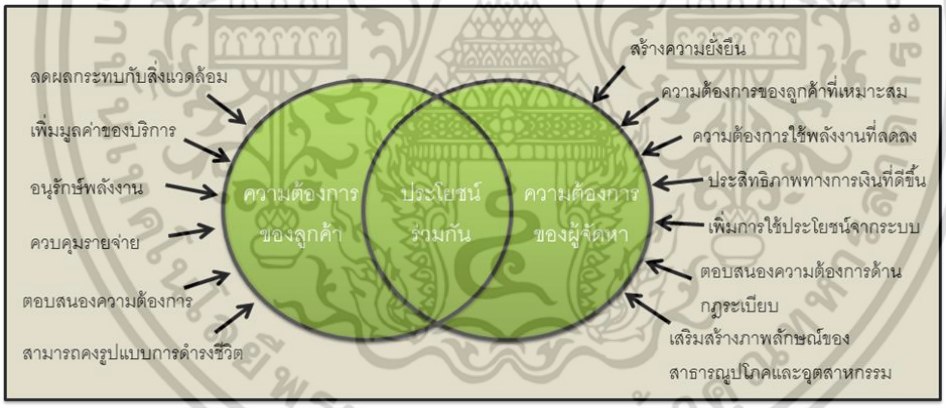
4. วิธีการการแทรกแซงโดยตรง (Direct Invention Programs) คือการเข้าแทรกแซงในตลาดโดยอาจจะทำการกำหนดความต้องการให้ลูกค้าซื้ออุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพทางพลังงานหรืออาจเสนอหรือติดตั้งอุปกรณ์ที่ประหยัดพลังงานให้ฟรีหรือขายในราคาถูกมาก ตัวอย่างของโปรแกรมนี้เช่น การกำหนดข้อกำหนดมาตรฐานในประสิทธิขั้นต่ำของอุปกรณ์บางประเภทจากรัฐบาล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 การเพิ่มขึ้นของความยากในการดำเนินการในแต่ละโปรแกรม

การวางแผนหรือการโปรแกรมระบบควรจะต้องสอดคล้องกันในแง่ความต้องการทางฝั่งผู้ใช้ไฟฟ้าและฝั่งผู้จ่ายไฟฟ้า ซึ่งบทสรุปของความต้องการและผลประโยชน์ที่สามารถมีร่วมกันได้แสดงในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 วัตถุประสงค์และความต้องการของผู้ใช้พลังงานและผู้จำหน่าย

2.4.2 ทรัพยากรในการจัดการด้านอุปสงค์

เพื่อให้มั่นใจว่าโปรแกรมการจัดการด้านอุปสงค์สามารถดำเนินการได้อย่างสำเร็จจำเป็นจะต้องมีการพิจารณาในเรื่องการลงทุน ทีมงาน ความต้องการอุปกรณ์และเครื่องมือในโครงการความรับผิดชอบและขั้นตอนของโปรแกรม ในอุดมคติโปรแกรมการจัดการด้านอุปสงค์จะถูกออกแบบได้ดีหากทีมงานในโปรแกรมสามารถมีความเข้าใจอย่างชัดเจนในเรื่องต่อไปนี้

1. คุณลักษณะของระบบจ่ายไฟฟ้า ความต้องการและวัตถุประสงค์
2. คุณลักษณะและความต้องการของลูกค้า
3. เทคโนโลยีที่สามารถใช้ได้และข้อจำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เทคนิคทางการตลาดที่สามารถใช้ได้และข้อจำกัด

5. การวิเคราะห์ที่เป็นไปได้ในการประเมินประสิทธิผลทางด้านต้นทุนของโปรแกรมที่นำเสนอ (อาจมากกว่าหนึ่งโปรแกรม)

2.5 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้การจัดการด้านอุปสงค์

2.5.1 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้การจัดการด้านอุปสงค์ในบ้านพักอาศัย

ชื่อโปรแกรม การใช้อุปกรณ์ส่องแสงสว่างที่มีประสิทธิภาพ BESCOM (BELP: BESCOM Efficient Lighting Programmer)

ตารางที่ 2.1 แสดงผลสรุปโปรแกรมการประยุกต์ใช้การจัดการด้านอุปสงค์ในบ้านพักอาศัย

ผลสรุปโปรแกรม	
ภาพรวมของโปรแกรม	-โปรแกรมนำร่องเพื่อสนับสนุนการใช้อุปกรณ์ส่องสว่างที่มีประสิทธิภาพสูงกับผู้ใช้ไฟฟ้าภาคที่อยู่อาศัยในประเทศอินเดีย
วัตถุประสงค์/เป้าหมายของโปรแกรม	-เพื่อส่งเสริมการใช้อุปกรณ์ในระบบแสงสว่างที่มีประสิทธิภาพสูงในหมู่ผู้บริโภคภาคบ้านเรือนที่พักอาศัยในประเทศอินเดียโดยกำจัดอุปสรรคในเรื่องราคาและด้านเทคนิค -สาธิตและดำเนินการเกี่ยวกับการทำเครื่องหมายเกี่ยวกับประสิทธิภาพครั้งแรกในประเทศอินเดีย
การออกแบบโปรแกรมและการดำเนินกลยุทธ์	-เตรียมการขั้นตอนวิธีการการดำเนินการที่โปร่งใส -BESCOM ดำเนินการกำหนดรายชื่อของผู้ผลิต/จำหน่ายอุปกรณ์โดยพิจารณาจากพื้นฐานของราคา จำนวนปีที่ทำธุรกิจในประเทศอินเดีย ความสามารถในการให้การรับประกันกับผู้บริโภคเป็นเวลา 12 เดือน ความยินดีที่จะเข้าร่วมแคมเปญทางการตลาดนี้ -การออกแบบโปรแกรมโดยมีเป้าหมายในประเทศอินเดียซึ่งมีศักยภาพในการดำเนินการ
ผลลัพธ์ของโปรแกรม (2005)	พลังงานที่ประหยัดได้ 24.3 ล้านหน่วย ความต้องการไฟฟ้าสูงสุดที่ประหยัดได้ 13.5 เมกะวัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1(ต่อ) แสดงผลสรุปโปรแกรมการประยุกต์ใช้การจัดการด้านอุปสงค์ในบ้านพักอาศัย

ผลสรุปโปรแกรม	
บทเรียนที่ได้เรียนรู้	-การดำเนินการของผู้จำหน่ายไฟฟ้าช่วยลดอุปสรรคด้านราคาของการสนับสนุนการใช้หลอดประหยัดแบบหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ -การรับประกันสินค้าในโปรแกรมนี้ช่วยทำให้ลูกค้าไว้วางใจในเทคโนโลยี

ตารางที่ 2.2 แสดงคุณลักษณะของผู้จัดจำหน่ายไฟฟ้าการประยุกต์ใช้การจัดการด้านอุปสงค์ในบ้านพักอาศัย

คุณลักษณะของผู้จัดจำหน่ายไฟฟ้า	
ชื่อ	Bangalore Electricity Supply Company (BESCOM)
คุณลักษณะของสาธารณูปโภค	-เป็นระบบจำหน่ายไฟฟ้าภายใต้การดูแลของรัฐบาล -มีพื้นที่ให้บริการรวม 4 เขตและลูกค้าจำนวน 1.3 ล้านราย โปรแกรมนำร่องนี้ถูกออกแบบมาเฉพาะสำหรับในเขตเมือง -กำลังผลิตประมาณ 3000 เมกะวัตต์
การเริ่มต้นของระบบจัดการพลังงาน (ค.ศ. 1993)	- BESCOM ได้กำลังดำเนินการริเริ่มการจัดการด้านอุปสงค์หลายโครงการ เช่น ระบบการบริหารจัดการโหลดในชนบท อัตราค่าไฟฟ้าแบบ TOD และ TOU รวมถึงกำลังอยู่ในขั้นตอนการดำเนินการจัดการด้านพลังงานในภาคการเกษตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 แสดงการออกแบบโปรแกรมการประยุกต์ใช้การจัดการด้านอุปสงค์ในบ้านพักอาศัย

การออกแบบโปรแกรม	
คำอธิบายโปรแกรม	BESCOM ดำเนินการหลายขั้นตอนดังต่อไปนี้ก่อนการเริ่มใช้งานโปรแกรม : •กำหนดและคัดเลือกชื่อผู้ผลิตและจำหน่ายหลอดไฟประหยัดพลังงานที่เข้าร่วมโครงการ •ออกแบบแคมเปญทางการตลาดและฝึกอบรมของเจ้าหน้าที่ของ BESCOM เกี่ยวกับโปรแกรม •ออกแบบภาพสามมิติโฮโลแกรมสำหรับติดบนหลอดประหยัดพลังงาน (CFLs) หลังจากที่ BESCOM เริ่มโปรแกรมได้ดำเนินการสิ่งต่อไปนี้ : •แคมเปญการตลาดโดยมุ่งเน้นในเขตพื้นที่เป้าหมาย •การประชุมเชิงปฏิบัติการสำหรับองค์กร Residents' Welfare Association (RWA) ในอินเดีย •การฝึกอบรมให้กับผู้บริโภคจากเจ้าหน้าที่ศูนย์ BESCOM ในเรื่องการรับประกันและติดตามผลสำเร็จของโปรแกรม
เป้าหมายของโปรแกรม	-เพื่อขจัดอุปสรรคในการใช้หลอดประหยัดพลังงานของผู้บริโภค เช่น ราคาสูงและ ผู้จำหน่ายไฟฟ้าสนับสนุนการรับประกันการเปลี่ยนหลอดไฟประหยัดพลังงานโดยไม่เสียค่าใช้จ่ายในเวลาที่กำหนด ซึ่งนับว่าเป็นเครื่องมือสำคัญในโปรแกรมนี้ -เพื่อเกิดแบบจำลองทางธุรกิจที่ขับเคลื่อนโดยผู้จำหน่ายไฟฟ้าในประเทศอินเดีย
ลูกค้า/ลักษณะของตลาด	-โปรแกรมนี้ทำให้ลูกค้าในภาคที่พักอาศัยจำนวน 1.3 ล้านรายสามารถซื้อหลอดประหยัดพลังงาน (CFLs) ในราคาถูกและมีการรับประกันสินค้าเป็นเวลา 12 เดือน นอกจากนี้ยังอนุญาติให้แบ่งจ่ายเป็น 9 งวด -โครงการนี้ (BLEP) ยังช่วยกระตุ้นให้เกิดความตระหนักในการลดพลังงานในภาคที่อยู่อาศัยโดยการเปลี่ยนจากหลอดฟูออเรสเซนต์ 40 วัตต์ไปใช้หลอดฟูออเรสเซนต์ 36 วัตต์
ชนิดของแรงจูงใจ	BESCOM ดำเนินการให้เกิดการรับประกันกับผู้บริโภคจำนวน 12 เดือนและลดราคาลงกว่าราคาตลาด 20 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 (ต่อ) แสดงการออกแบบโปรแกรมการประยุกต์ใช้การจัดการด้านอุปสงค์ในบ้านพักอาศัย

กลยุทธ์ทางการตลาด	-การใช้สื่อทางการตลาด เช่น โปสเตอร์, แผ่นพับ, สติกเกอร์ติดรถยนต์และแผงโฆษณาเคลื่อนที่(ในระหว่างเปิดตัว) -ส่งข้อมูลโปรแกรมทางไปรษณีย์ แผ่นพับของผู้จำหน่ายที่เข้าร่วมโปรแกรม -โฆษณาทางหนังสือพิมพ์เกี่ยวกับประโยชน์ที่สำคัญและรายละเอียดการเข้าร่วมโปรแกรม -กลยุทธ์การตลาดของผู้จำหน่ายที่ร่วมโครงการเองตั้งแต่การทำป้ายโฆษณา การโฆษณาทางหนังสือพิมพ์ โทรทัศน์และวิทยุ	
องค์กรที่ดำเนินการ	-BESCOM ร่วมมือกับสถาบันระหว่างประเทศ International Institute for Energy Conservation supporting the Bureau of Energy Efficiency ภายใต้การสนับสนุนเงินทุนจาก USAID -ผู้จำหน่ายหลอดฟูออเรสเซนประหยัดพลังงานที่เข้าร่วมโครงการจำนวนสามรายเป็นผู้จัดหาหลอดไฟผ่านทางผู้ขายและผู้กระจายสินค้าของบริษัททั้งในรูปแบบปกติและงานแสดงสินค้า	
ผลลัพธ์การประหยัดของโปรแกรม	ช่วงเดือนธันวาคม ค.ศ.2004 ถึงเดือนมิถุนายน 2005 (ขยายได้ถึงสิ้นเดือนกันยายน 2005)	
ผลลัพธ์การประหยัดของโปรแกรม	ลดการใช้พลังงานได้	
	ลดความต้องการได้	ไม่ได้กำหนดเนื่องจากเป็นโครงการนำร่อง

ตารางที่ 2.4 แสดงการดำเนินการของโปรแกรมการประยุกต์ใช้การจัดการด้านอุปสงค์ในบ้านพักอาศัย

การดำเนินการของโปรแกรม	
การดำเนินการของโปรแกรม	-โปรแกรมนำร่องได้เปิดตัวในเดือนธันวาคมปี 2004 ซึ่งคาดว่าจะสิ้นสุดในเดือนมิถุนายน 2005 อย่างไรก็ตาม BESCOM ได้ขยายเวลาสิ้นสุดโปรแกรมในเดือนกันยายน 2005 -นอกจากโปรแกรมสำหรับผู้บริโภคแล้ว BESCOM ได้ริเริ่มโปรแกรมโดยกำหนดเป้าหมายไปที่พนักงานของบริษัทเอง การออกแบบโปรแกรมเฉพาะที่มีการสนับสนุนการใช้หลอดฟูออเรสเซนประหยัดพลังงานถูกดำเนินการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 (ต่อ) แสดงการดำเนินการของโปรแกรมการประยุกต์ใช้การจัดการด้านอุปสงค์ในบ้านพักอาศัย

การเข้าร่วมโครงการของลูกค้า	BESCOM สามารถทำให้เกิดความมั่นใจกับผู้บริโภคบางรายขององค์กร Residents' Welfare เพื่อเป็นการปรับปรุงสู่จำนวนผู้บริโภคที่กว้างขึ้น

ตารางที่ 2.5 แสดงการแสดงผลและการประเมินของโปรแกรมการประยุกต์ใช้การจัดการด้านอุปสงค์ในบ้านพักอาศัย

การแสดงผลและการประเมินของโปรแกรม	
วัตถุประสงค์การแสดงผลและการประเมิน	-ประเมินประโยชน์ที่ผู้จำหน่ายไฟฟ้าได้รับ -ประเมินประโยชน์ที่ลูกค้าจะได้รับ -ประเมินโครงสร้างการเงินและการชำระหนี้
ชนิดของการแสดงผลและการประเมิน	-การวิเคราะห์ใบเรียกเก็บเงิน เพื่อประเมินผลการยอมรับของลูกค้าของโปรแกรมประโยชน์ที่ได้รับและ วิธีการและประสิทธิผลของระบบของ BESCOM -โดยการสำรวจ โดยการประเมินประสิทธิภาพของหลอดไฟและสถิติการมีส่วนร่วม
องค์กร	IIEC
ข้อมูลที่เก็บรวบรวม	-ค่าผลพลังงานที่ประหยัดได้จะมาจากประเมินทางวิศวกรรม -ค่าชั่วโมงการใช้งานหลอดไฟฟ้าต่อวันได้มาจากการสำรวจ -การประเมินด้านอื่นๆได้มาจากการสัมภาษณ์และการประเมินผลกระทบ
ช่วงเวลา	เดือนสิงหาคม ถึงเดือนธันวาคม ค.ศ.2005

ตารางที่ 2.6 แสดงผลลัพธ์ของโปรแกรมการประยุกต์ใช้การจัดการด้านอุปสงค์ในบ้านพักอาศัย

ผลลัพธ์ของโปรแกรม	
จำนวนผู้เข้าร่วมต่อปี	มากกว่า 50,000 ราย
ผลลัพธ์การประหยัดต่อปี	24.3 ล้านหน่วย (ประมาณ)
ผลลัพธ์สะสมของการประหยัด	-13.4 เมกกะวัตต์
ต้นทุนโปรแกรม	-โปรแกรมนี้ออกแบบเพื่อให้รายรับมากกว่ารายจ่ายสำหรับ BESCOM -ด้านการตลาดผู้จำหน่ายที่เข้าร่วมใช้ประมาณ 15,000,000 รูปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.7 แสดงประโยชน์ที่ได้จากโปรแกรม

ประโยชน์ที่ได้จากโปรแกรม	
ประโยชน์ที่ได้กับลูกค้า ,ประโยชน์ที่ได้กับผู้จำหน่ายไฟฟ้าและอื่นๆ, ต้นทุนที่ประหยัดได้จากการประหยัดพลังงาน	-ลดต้นทุนค่าไฟฟ้า -มีหลอดไฟฟ้าประหยัดพลังงานในราคาถูกและมีคุณภาพสูงจำหน่ายและมีการรับประกันสินค้า - ลดโหลดสูงสุด สร้างความสัมพันธ์กับลูกค้า - ได้ประโยชน์ทางสิ่งแวดล้อมและสังคม

2.5.2 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้การจัดการด้านอุปสงค์ ในภาคอาคารธุรกิจ

ตารางที่ 2.8 แสดงผลสรุปโปรแกรมการประยุกต์ใช้การจัดการด้านอุปสงค์ในภาคอาคารธุรกิจ

ผลสรุปโปรแกรม	
ภาพรวมของโปรแกรม	-แนะนำการใช้อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับระบบส่องสว่างในส่วนสาธารณะและภาคอุตสาหกรรม
วัตถุประสงค์/เป้าหมายของโปรแกรม	-เพื่อสนับสนุนการดำเนินการใช้โปรแกรมจัดการด้านอุปสงค์ในการลดค่าใช้จ่ายและสร้างระบบไฟฟ้าที่มีความน่าเชื่อถือ
การออกแบบโปรแกรมและการดำเนินกลยุทธ์	-โปรแกรมนี้ขับเคลื่อนโดยผู้จำหน่ายไฟฟ้า -รับประกันการคืนทุนในสามปี -ลูกค้าสามารถใช้บริการกู้เงินได้เต็มจำนวนในการดำเนินการ
ผลลัพธ์ของโปรแกรม	ผลการประหยัดพลังงาน 1.7 ล้านล้านเมกกะวัตต์-ชั่วโมง ผลการลดความต้องการไฟฟ้าสูงสุด 14.2 เมกกะวัตต์ต่อปี

ตารางที่ 2.9 แสดงคุณลักษณะของผู้จ่ายพลังงานการประยุกต์ใช้การจัดการด้านอุปสงค์ในภาคอาคารธุรกิจ

คุณลักษณะของผู้จ่ายพลังงาน	
ชื่อ	New York Power Authority (NYPA)
คุณลักษณะ	-ระบบการจ่ายไฟฟ้าของรัฐ
การเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง	รัฐเป็นเจ้าของ
การเริ่มต้นของระบบการจัดการด้านอุปสงค์	- การริเริ่มโปรแกรมการจัดการด้านอุปสงค์เป็นส่วนหนึ่งของแผนดำเนินการ - แผนของโปรแกรมการจัดการประสิทธิภาพพลังงานในปี ค.ศ. 2003 คือ 100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.10 แสดงการออกแบบโปรแกรมการประยุกต์ใช้การจัดการด้านอุปสงค์ในภาคอาคารธุรกิจ

การออกแบบโปรแกรม		
คำอธิบายโปรแกรม	โปรแกรมนี้ออกแบบเสนอแรงจูงใจด้านการเงินในการเปลี่ยนอุปกรณ์ส่องสว่างที่มีประสิทธิภาพ	
มาตรการการจัดการด้านอุปสงค์ (เทคโนโลยี/การจัดการ)	การใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ การใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ การใช้แผ่นสะท้อนแสง การใช้หลอดประหยัดไฟแบบคอมแพค การใช้หลอดคายประจุประสิทธิภาพสูง การใช้ตัวตรวจจับแสง การใช้ตัวตรวจจับการใช้งาน มาตรการทาง HVAC	
ชนิดของแรงจูงใจ	รับประกันการคืนทุน ให้บริการเต็มรูปแบบ ให้บริการด้านการเงิน	
กลยุทธ์ทางการตลาดของการจัดการด้านอุปสงค์	การทำแผ่นพับ การใช้สื่อมัติมีเดียเช่นวิดีโอ แผ่นดิสก์ การพบลูกค้า	
องค์กรที่ดำเนินการ	NYPA พร้อมด้วยผู้รับเหมาและผู้รับเหมาช่วง	
ผลลัพธ์การประหยัดของโปรแกรม	ค.ศ.1990 ถึงค.ศ. 1992	
	ลดการใช้พลังงานได้	151, 647 ล้านเมกกะวัตต์
	ลดความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้	30.9 เมกกะวัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้การจัดการด้านอุปสงค์ ในภาคอุตสาหกรรม

ตารางที่ 2.11 แสดงผลสรุปโปรแกรมการประยุกต์ใช้การจัดการด้านอุปสงค์ ในภาคอุตสาหกรรม

ผลสรุปโปรแกรม	
ภาพรวมของโปรแกรม	-แนะนำการใช้การจัดการด้านอุปสงค์เชิงปฏิบัติกับภาคอุตสาหกรรมของเมืองปักกิ่ง
วัตถุประสงค์/เป้าหมายของโปรแกรม	-เพื่อสนับสนุนการเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อให้เป็นไปตามรูปร่างโหลด (load shape) ที่ต้องการ
การออกแบบโปรแกรมและการดำเนินกลยุทธ์	-โปรแกรมนี้ขับเคลื่อนโดยภาครัฐบาล -กระทรวงกำลังไฟฟ้า (The Ministry of Electric Power) ให้ทุนสำหรับโปรแกรมนี้เป็นจำนวนเงิน 17.72 ล้านหยวนเพื่อจะทำการเลื่อนตำแหน่งความต้องการไฟฟ้าสูงสุด (peak load shifting) สำหรับลูกค้าในส่วนอุตสาหกรรม
ผลลัพธ์ของโปรแกรม (2005)	ต้องการลดความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดลง 50 เมกกะวัตต์และปรับปรุงตัวประกอบโหลดเนื่องจากมีความต้องการใช้พลังงานเพิ่มขึ้น 150,000 เมกกะวัตต์ชั่วโมง
บทเรียนที่ได้เรียนรู้	-โครงการนี้ประสบความสำเร็จในเบื้องต้นเนื่องจากวิธีการจัดการความต้องการโหลดสูงสุดนั้นเป็นวิธีการที่ง่ายเมื่อเปรียบเทียบกับโปรแกรมการจัดการด้านอุปสงค์ แบบอื่น -ประสบการณ์ที่ได้จากโครงการนี้พิสูจน์ให้เห็นประโยชน์ของการดำเนินการโปรแกรมการจัดการด้านอุปสงค์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.12 แสดงคุณลักษณะของผู้จ่ายพลังงานการประยุกต์ใช้การจัดการด้านอุปสงค์ ในภาคอุตสาหกรรม

คุณลักษณะของผู้จ่ายพลังงาน	
ชื่อ	China State Power Corporation (CSPC)
คุณลักษณะ	-ระบบการจ่ายไฟฟ้าอยู่ภายใต้การดูแลของรัฐบาล -พื้นที่ให้บริการรวม คือเมืองปักกิ่งทั้งเมือง -หน้าที่ของผู้จำหน่ายไฟฟ้าคือ ผลิต ส่งและจำหน่ายไฟฟ้า
ระยะของการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง	-ในปี 2002 สภารัฐมนตรีจีน (China State Council) ตัดสินใจในการเปลี่ยนโครงสร้างของส่วนจ่ายไฟฟ้าโดยการยอมให้มีบริษัทผลิตไฟฟ้า 5 บริษัท และบริษัทด้านกริด 2 บริษัทและกรรมการควบคุมเพื่อกำหนดกลไกราคา - State Electricity Regulatory Commission ริเริ่มการปฏิรูปต่างๆ เช่น การพัฒนาระบบกริดส่วนภูมิภาคในทางเหนือและตะวันออกของประเทศในปี ค.ศ. 2003 และการเริ่มต้นการแข่งขันการประมูลราคาสำหรับระบบไฟฟ้าปริมาณ 20 เปอร์เซนต์ของกำลังไฟฟ้าในภาคตะวันออกของประเทศจีนในปี ค.ศ. 2004
การเริ่มต้นของระบบการจัดการด้านอุปสงค์	- ผู้จำหน่ายไฟฟ้ามีการเตรียมโปรแกรมการจัดการด้านอุปสงค์จำนวนมากแต่ไม่ได้ใช้ทดสอบเนื่องจากปัญหาในเรื่องโครงสร้าง ข้อกำหนดควบคุมและการเงิน

ตารางที่ 2.13 แสดงการออกแบบโปรแกรมการประยุกต์ใช้การจัดการด้านอุปสงค์ ในภาคอุตสาหกรรม

การออกแบบโปรแกรม	
คำอธิบายโปรแกรม	โปรแกรมนี้ออกแบบเพื่อให้ได้ตามวัตถุประสงค์โดยการัดการแบบการเลื่อนเวลาการใช้โหลด (load shifting)
เป้าหมายของโปรแกรม	-เพื่อลดค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดและปรับปรุงตัวประกอบโหลดผ่านทางการจัดการโหลดที่สนับสนุนให้ลูกค้าเลื่อนโหลดไปยังช่วงออฟพีค(Off peak) -เพื่อสนับสนุนการปรับปรุงตัวประกอบโหลดจากการเปิดตลาดระบบไฟฟ้าในช่วงออฟพีค(Off peak)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

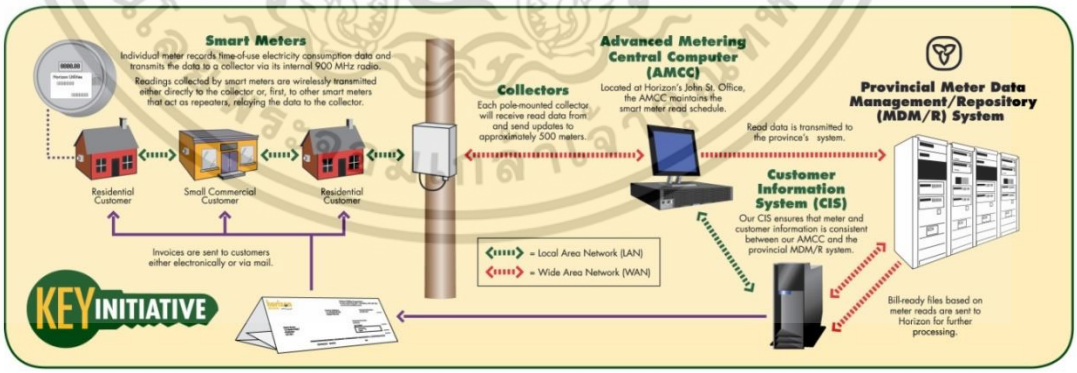
ตารางที่ 2.13 (ต่อ) แสดงการออกแบบโปรแกรมการประยุกต์ใช้การจัดการด้านอุปสงค์ ในภาคอุตสาหกรรม

ลูกค้า/ลักษณะของตลาด	-ภาคอุตสาหกรรมมีความต้องการพลังงานสูงถึง 55% ของทั้งหมดในช่วงหน้าหนาวซึ่งสามารถพิจารณาเป็นโหลดฐาน (baseload) ของโครงข่ายระบบไฟฟ้าในเมืองปักกิ่งได้ –ประมาณ 51% ของกำลังไฟฟ้าสูงสุดในช่วงเช้าและ 50% ของกำลังไฟฟ้าสูงสุดในช่วงเย็นเป็นของภาคอุตสาหกรรม	
มาตรการการจัดการด้านอุปสงค์ (เทคโนโลยี/การจัดการ)	การจัดการโหลด อัตราค่าไฟฟ้าตามเวลาการใช้งาน	
ชนิดของแรงจูงใจ	การลงทุนเพื่อให้เกิดการเลื่อนเวลาโหลดสูงสุดไป 50 MW ในปี ค.ศ. 1997 ใช้เงินจำนวน 12.05 ล้านหยวนและ 5.67 ล้านหยวนในปี ค.ศ. 1998	
กลยุทธ์ทางการตลาดของการจัดการด้านอุปสงค์	การดำเนินการของหน่วยงานรัฐ ผู้บริโภคระดับกำลังไฟฟ้าขนาดกลางและขนาดใหญ่ สถาบันวิจัยและมหาวิทยาลัยของรัฐรวมถึงหน่วยงานอื่นๆเพื่อสนับสนุนและประชาสัมพันธ์การใช้การจัดการด้านอุปสงค์นี้ในประเทศจีน ผู้มีผลประโยชน์ร่วมกันแต่ละรายได้รับประสบการณ์จากการแลกเปลี่ยนและความร่วมมือระดับนานาชาติ การอบรมและการแสดงตัวอย่างของโครงงานและกิจกรรมทางด้านวิชาการ	
องค์กรที่ดำเนินการ	State Development and Reform Commission (SDRC) State Grid Company	
กลยุทธ์ทางการตลาดของการจัดการด้านอุปสงค์	การดำเนินการของหน่วยงานรัฐ ผู้บริโภคระดับกำลังไฟฟ้าขนาดกลางและขนาดใหญ่ สถาบันวิจัยและมหาวิทยาลัยของรัฐรวมถึงหน่วยงานอื่นๆเพื่อสนับสนุนและประชาสัมพันธ์การใช้การจัดการด้านอุปสงค์นี้ในประเทศจีน ผู้มีผลประโยชน์ร่วมกันแต่ละรายได้รับประสบการณ์จากการแลกเปลี่ยนและความร่วมมือระดับนานาชาติ การอบรมและการแสดงตัวอย่างของโครงงานและกิจกรรมทางด้านวิชาการ	
องค์กรที่ดำเนินการ	State Development and Reform Commission (SDRC) State Grid Company	
ผลลัพธ์การประหยัดของโปรแกรม	ค.ศ.1997 ถึงค.ศ. 1998	
	ลดการใช้พลังงานได้	ไม่ได้ระบุ
	ลดความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้	50 เมกกะวัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 มิเตอร์อัจฉริยะ (Smart Meter)

มิเตอร์อัจฉริยะเป็นเครื่องมือหลักที่ได้รับความสนใจและสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในโปรแกรมการจัดการด้านอุปสงค์ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เป็นที่ทราบกันดีว่าในปัจจุบันมีความต้องการและความสนใจในการดำเนินการทั้งในส่วนของกริดอัจฉริยะ (Smart Grid) และการใช้อุปกรณ์ประเภทมิเตอร์อัจฉริยะ (Smart Meter) ซึ่งเป็นมิเตอร์ที่ทำให้ผู้จำหน่ายพลังงานสามารถที่จะรู้ข้อมูลของการใช้พลังงานของผู้ใช้แต่ละรายได้แบบตามเวลาจริง (Real time) การใช้มิเตอร์อัจฉริยะจะทำให้การดำเนินการโครงการการจัดการด้านอุปสงค์ที่ออกแบบเป็นไปได้อย่างมีประสิทธิผลและสามารถทราบถึงสถานะของประสิทธิผลของโครงการเพื่อนำมาประเมินศักยภาพและปรับแต่งโครงการได้แบบตามเวลาจริง ซึ่งจะทำให้การดำเนินการสามารถมีการตรวจสอบประเมินและปรับแก้กลยุทธ์หรือเทคนิคในโครงการได้รวดเร็ว นอกจากนี้มิเตอร์อัจฉริยะยังทำให้ผู้ใช้พลังงานสามารถรับรู้ถึงสถานการณ์ใช้พลังงานของตัวเองและสามารถดำเนินมาตรการที่กำหนดได้ทันเวลา นอกจากนี้มิเตอร์อัจฉริยะยังเชื่อมต่อกับระบบทางคอมพิวเตอร์เช่น web application (โปรแกรมทางเว็ป)ที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้กว้างขวางขึ้น เช่น การทำโปรแกรมวิเคราะห์ในคอมพิวเตอร์ที่เชื่อมต่อกับมิเตอร์อัจฉริยะ การสื่อสารกับผู้ใช้โดยดูอัตราค่าไฟฟ้าแบบตามเวลาจริงและการวางแผนหรือควบคุมการใช้ไฟฟ้าในช่วงราคาถูกได้ ในปัจจุบันมีการตื่นตัวในการดำเนินการในด้านมิเตอร์อัจฉริยะเป็นอย่างมาก ตัวอย่างเช่น บริษัท IBM ได้รับสัมปทานจากประเทศมอลต้า โดยทำการเปลี่ยนมิเตอร์เดิมจำนวน 250,000 ชุดให้เป็นมิเตอร์อัจฉริยะ บริษัท Google ประกาศตัวในการในการลงทุนด้านมิเตอร์อัจฉริยะและซอฟท์แวร์ที่ทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้ามีความฉลาด สามารถติดต่อกับผู้ใช้งานได้และสามารถปรับและวิเคราะห์พฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ได้ เป็นต้น ตัวอย่างการเชื่อมต่อของมิเตอร์อัจฉริยะแสดงได้ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 ตัวอย่างการเชื่อมต่อระบบมิเตอร์อัจฉริยะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทั่วไปกลุ่มที่ได้รับประโยชน์จากการประยุกต์ใช้ระบบมิเตอร์อัจฉริยะ(Smart meter) มีดังนี้

1. สำหรับลูกค้า จะได้รับประโยชน์ในแง่การเพิ่มความตระหนักในใช้พลังงานและสามารถลดการใช้พลังงานและค่าใช้จ่ายทางพลังงานลง

2. สำหรับบริษัทผู้ดำเนินการเกี่ยวกับมิเตอร์หรือ DSOs จะช่วยให้เกิดการลดต้นทุนลง

3. สำหรับผู้ให้บริการด้านระบบกริดจะเป็นการเตรียมระบบกริดให้พร้อมสำหรับอนาคต

4. สำหรับผู้ผลิตและจำหน่ายพลังงานสามารถลดค่าใช้จ่ายในด้านศูนย์ติดต่อให้ความช่วยเหลือทางโทรศัพท์

5. รัฐบาลสามารถดำเนินการให้บรรลุเป้าหมายด้านการประหยัดพลังงานและการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ และเพื่อปรับปรุงกระบวนการตลาดเสรี(free market) ทางด้านพลังงาน

2.7 ประโยชน์ของมิเตอร์อัจฉริยะ

มิเตอร์อัจฉริยะ(Smart meter)เป็นเทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพและควรส่งเสริมให้มีการใช้งานสำหรับผู้ใช้พลังงาน มิเตอร์อัจฉริยะ(Smart meter)สามารถทำให้ลูกค้าสามารถรู้ข้อมูลที่ชัดเจนเกี่ยวกับการใช้พลังงานและช่วยให้ผู้ใช้สามารถใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น อย่างไรก็ตามการติดตั้งมิเตอร์อัจฉริยะ(Smart meter)นั้นด้วยตัวมิเตอร์เองอาจไม่ได้ช่วยให้ประหยัดพลังงานโดยตรงแต่การประหยัดพลังงานจะเกิดได้เมื่อผู้ใช้นำผลข้อมูลจากมิเตอร์อัจฉริยะ(Smart meter)ไปดำเนินการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมการใช้พลังงานหรือดำเนินมาตรการเพื่อทำให้ปริมาณการใช้พลังงานหรือค่าพลังงานลดลง

นอกจากนี้ระบบมิเตอร์อัจฉริยะ(Smart meter)จะให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อผู้ปฏิบัติงานในโครงข่ายระบบจำหน่ายด้วย ทำให้สามารถนำข้อมูลไปจัดการเครือข่ายจำหน่ายพลังงานได้ดีขึ้นและลดความสูญเสียลง

ในปัจจุบันสิ่งที่ต้องดำเนินการในส่วนของผู้จำหน่ายพลังงานคือการทำให้ระบบการจำหน่ายพลังงานมีความเชื่อถือได้สูงและในอนาคตอาจจะต้องเพิ่มเติมการบริการด้านพลังงานเพื่อให้เกิดการประหยัดพลังงานให้กับลูกค้าด้วย ในช่วงแรกสำหรับการดำเนินการติดตั้งมิเตอร์อัจริยะอาจจะได้รับความร่วมมือจากลูกค้าที่สมัครใจที่จะปรับปรุงพฤติกรรมการใช้พลังงานให้ลดลงผ่านทางการให้การรณรงค์และคำแนะนำในการสร้างแรงจูงใจต่างๆ (เช่น รางวัลสำหรับการรักษาสิ่งแวดล้อม)ซึ่งจะกระตุ้นให้ลูกค้าดำเนินพฤติกรรมการใช้พลังงานตามที่ต้องการได้ อย่างไรก็ตามจากประสบการณ์การดำเนินการด้านการประหยัดพลังงานพบว่าการกระตุ้นเพื่อให้เกิดการประหยัดพลังงานต้องดำเนินการอย่างต่อเนื่องตลอดไปมิฉะนั้นความระมัดระวังในด้านการใช้พลังงานอย่างคุ้มค่าจะค่อยๆหายไป นอกจากนี้เป็นที่คาดการณ์ได้โดยทั่วไปว่ามาตรการประหยัดพลังงานจะสามารถดำเนินการในทางปฏิบัติได้สำเร็จดียิ่งขึ้นหากมีแรงจูงใจทางด้านการเงิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยปกติการตอบสนองของผู้ใช้ไฟฟ้าต่อความต้องการไฟฟ้าสูงสุดจะเป็นรูปแบบการตอบสนองต่อราคาค่าพลังงานตามความสมัครใจ ตัวอย่างเช่นการเลื่อนความต้องการทางไฟฟ้าไปใช้ในงานชั่วโมงอื่น (load shift)ที่ไม่ใช่ช่วงพีคหรือการหลีกเลี่ยงการใช้งานในช่วงที่โหลดสูงสุด(peak clipping)จะทำให้เกิดการประหยัดค่าพลังงานเพราะมีการหลีกเลี่ยงการใช้งานในช่วงพีคซึ่งเป็นช่วงที่มีอัตราค่าไฟฟ้าสูง เป็นต้น

วิธีการอีกวิธีการหนึ่งคือการกำหนดราคาแบบเปลี่ยนแปลงตามเวลาหรือการกำหนดราคาแบบไดนามิก (Time varying and Dynamic pricing)สามารถทำได้โดยการติดตั้งอุปกรณ์/โปรแกรมระบบอัตโนมัติหรือระบบควบคุมระยะไกล

โดยปกติชนิดของการใช้งานปกติที่สามารถใช้การควบคุมแบบระยะไกลเพื่อเปิดปิดหรือควบคุมระบบได้ได้แก่อุปกรณ์ทำความร้อนหรือความเย็นในห้อง หม้อต้มน้ำไฟฟ้าสำหรับทำความร้อนน้ำ นอกจากนี้อาจจะเพิ่มเติมในส่วนของการควบคุมอุปกรณ์ให้แสงสว่างและการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ปรับช่วงเวลาในการทำงานได้อาทิเช่น เครื่องซักผ้าและเครื่องล้างจาน เป็นต้น

ในปี ค.ศ. 2006 ดร. Sarah Darby นักงานวิจัยที่สถาบันวิจัยจากอ๊อกฟอร์ดได้ทำการวิจัยในอเมริกาเหนือและทวีปยุโรป งานวิจัยนี้ได้แสดงให้เห็นว่าระบบแบบตามเวลาจริงช่วยให้สามารถควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพ ข้อสรุปจากงานวิจัยพบว่าค่านอร์มของการประหยัดพลังงานโดยตรงอยู่ในช่วงประมาณ 5 -15 % และค่าประหยัดพลังงานทางอ้อมอยู่ในช่วง 0 – 10% การศึกษานี้ได้แสดงให้เห็นว่าระบบป้อนกลับข้อมูลตามเวลาจริงจะช่วยให้ลูกค้าสามารถควบคุมการใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิผลให้ผลงานวิจัยที่มีนัยสำคัญทางสถิติและเชื่อมั่นได้สูงเนื่องจากได้ศึกษาระบบขนาดใหญ่และระยะเวลาที่ศึกษาเป็นช่วงยาวนาน

ในปี ค.ศ. 2007 ศาสตราจารย์ Dean Mountain สรุปว่าการให้ข้อมูลแบบตามเวลาจริงของการใช้พลังงานเป็นเครื่องมือที่จำเป็นและมีประสิทธิผลอันหนึ่งต่อการสนับสนุนการอนุรักษ์พลังงาน

ปัจจุบันมีเทคโนโลยีการแสดงผลแบบใหม่จำนวนหนึ่งที่มีในตลาดที่สามารถแสดงผลการประโยชน์จากการประหยัดพลังงานได้ โดยสามารถแสดงผลค่าการใช้พลังงานในรูปแบบที่เหมาะสมต่อผู้ใช้ได้ ข้อแตกต่างประการหนึ่งของตัวแสดงผลแบบใหม่กับตัวแสดงผลในอดีตคือ ตัวแสดงผลในอดีตมักออกแบบให้ใช้กับอัตราค่าไฟฟ้าคงที่ อย่างไรก็ตามในเทคโนโลยีปัจจุบัน ตัวแสดงผลและระบบมิเตอร์ขั้นก้าวหน้า (Advanced Metering Infrastructure)สามารถใช้ได้กับมาตรการสร้างแรงจูงใจแบบใหม่ต่างๆได้ อาทิเช่น การกำหนดราคาแบบไดนามิก (dynamic pricing) เป็นต้น

ในบางประเทศเช่น ประเทศอังกฤษและประเทศเนเธอร์แลนด์ ได้กำลังดำเนินการทดสอบเกี่ยวกับการพัฒนาเพื่อการรวมนวัตกรรมใหม่ได้แก่มิเตอร์อัจฉริยะ(Smart meter)และกลไกการป้อนกลับข้อมูล งานวิจัยที่สำคัญอันหนึ่งคืองานวิจัยในปี 2009 จากบริษัท Energy Saving Trust (EST) แสดงให้เห็นว่ามิเตอร์อัจฉริยะ(Smart meter)จะมีประสิทธิผลน้อยลงหากปราศจากตัวแสดงผลหรือจอแสดงผลภายในองค์กรหรือภายในบ้านของผู้ใช้พลังงาน จากงานวิจัยของ EST

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แนะนำว่าเซตของฟังก์ชันของจอแสดงผลอย่างน้อยที่สุด เช่น ในโหมดดีฟอลต์ (default) เป็นการแสดงผลด้านกำลังไฟฟ้าและค่าใช้ไฟฟ้าพร้อมด้วย

1. ตัวบ่งชี้ปริมาณการใช้พลังงานขณะปัจจุบันแบบต่อเนื่อง
2. อัตราค่าใช้จ่ายในการใช้พลังงานเช่น อัตราค่าใช้จ่ายในหน่วยปอนด์ต่อวัน
3. ค่าใช้จ่ายสะสมในแต่ละวันในหน่วยปอนด์

ตามรายงานของ EST ได้แสดงรายละเอียดโหมดฟังก์ชันอื่นๆและข้อมูลอื่นๆที่อาจจำเป็นด้วยเช่น ค่าใช้จ่าย 7 วันล่าสุด (วันต่อวัน)และค่าใช้จ่ายด้านพลังงานในสัปดาห์ท้ายสุด ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานต่อเดือนและค่าใช้จ่ายด้านพลังงานต่อไตรมาศที่สอดคล้องกับวันเก็บเงินค่าด้านพลังงานของผู้จำหน่ายพลังงาน ส่วนแสดงผลของมิเตอร์ควรรับไฟจากแหล่งจ่ายไฟปกติแต่ควรมีแบตเตอรี่ภายในเพื่อให้สามารถเคลื่อนที่ได้ภายในบ้าน ข้อมูลเบื้องต้นเป็นเพียงผลการศึกษาสำหรับฟังก์ชันที่จำเป็นเท่านั้นในส่วนฟังก์ชันเพิ่มเติมสามารถเพิ่มเติมได้โดยไม่มีข้อจำกัด

ประโยชน์ทางด้านอื่นๆของการติดตั้งมิเตอร์ขั้นก้าวหน้าต่อผู้ใช้พลังงานหรือลูกค้าสุดท้าย (final customer)มีหลายทางเช่น

1. การอ่านค่าพลังงานจากมิเตอร์และใบเสร็จค่าพลังงานจะถูกต้องมากขึ้นและลดข้อร้องเรียนจากผู้ใช้ไฟ
2. มีคุณภาพการให้บริการที่ดีขึ้น เนื่องจากมีข้อมูลทางระบบพลังงานในแต่ละผู้ใช้ไฟฟ้าทำให้สามารถกำหนดกฎในแง่แรงจูงใจหรือค่าปรับในการใช้พลังงานได้ดีขึ้น
3. ง่ายต่อการเปลี่ยนผู้ให้บริการไฟฟ้าเพราะมิเตอร์สามารถอ่านการใช้ไฟฟ้าได้ตลอดเวลาทำให้ได้ข้อมูลตามเวลาจริงและลดเวลาในดำเนินการเปลี่ยนแปลง
4. เพิ่มการแข่งขันระหว่างผู้ให้บริการระบบพลังงาน โดยผู้ให้บริการสามารถเสนอข้อตกลงและการบริการที่มีคุณค่าต่อลูกค้าเพิ่มเติมได้มากขึ้น
5. สามารถที่จะจัดการการใช้พลังงานโดยที่มิเตอร์อัจฉริยะสามารถควบคุมการใช้พลังงานผ่านทางอุปกรณ์ควบคุมระยะไกลที่ติดตั้งในตัวมิเตอร์
6. อาจเป็นไปได้ที่สามารถดำเนินมาตรการประเภทเช่นแหล่งกำเนิดไฟฟ้าขนาดไมโคร (micro generation) โดยไม่ต้องติดตั้งมิเตอร์ใหม่ (มิเตอร์นั้นมีการสนับสนุนฟังก์ชันนี้)
7. เกิดความเป็นไปได้ในการสร้างระบบชำระไฟฟ้าล่วงหน้า(pre-payment) การให้เครดิตทั้งในรูปแบบการชำระค่าไฟฟ้าทางโทรศัพท์หรืออินเตอร์เน็ต
8. ในแง่ผู้จำหน่ายพลังงานระบบมิเตอร์อัจฉริยะ(Smart meter)มีประโยชน์หลายประการดังนี้
9. มิเตอร์อัจฉริยะ(Smart meter)ทำให้ผู้จำหน่ายไฟฟ้ารู้รูปแบบของการใช้พลังงานไฟฟ้าของลูกค้าแต่ละราย ทำให้สามารถกำหนดกลุ่มเป้าหมายและทางเลือกในการกำหนดราคาที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. ง่ายต่อการเปลี่ยนผู้จำหน่ายไฟฟ้าผ่านทางการอ่านค่าแบบอัตโนมัติของมิเตอร์ซึ่งเป็นการเพิ่มความเร็วในกระบวนการนี้

11. มีข้อร้องเรียนจากลูกค้าน้อยลงและข้อร้องเรียนสามารถที่จะแก้ไขได้แบบทันที

12. ลดภาระหนี้ศูนย์หรือหนี้ที่ไม่ดีได้ผ่านทางการควบคุมการตัดและการเชื่อมต่อระบบได้แบบระยะทางไกลของมิเตอร์

13. มิเตอร์อัจฉริยะ(Smart meter)ช่วยลดต้นทุนของผู้ปฏิบัติงานให้บริการในระบบกริดและ DSO (ผู้ดำเนินการในส่วนของมิเตอร์) เช่น

14. สามารถตรวจจับความสูญเสียในระบบทั้งเชิงเทคนิคและที่ไม่ใช่เชิงเทคนิคได้ดีขึ้นเนื่องจากมีข้อมูลในระบบจำหน่ายฝั่งแรงต่ำและตัวเตือนที่รวมอยู่ในมิเตอร์

15. สามารถตรวจวัดและแสดงผลมุมเฟสและระดับแรงดันกริดได้

16. สามารถจัดการโครงข่ายระบบจำหน่ายได้เหมาะสมที่สุดเนื่องจากมีข้อมูลที่สมบูรณ์มากขึ้น

2.8 ความก้าวหน้าในเทคโนโลยีและระบบมิเตอร์อัจฉริยะ

เทคโนโลยีของมิเตอร์อัจฉริยะมีการใช้งานในหลายเทคโนโลยีและมีการบัญญัติคำศัพท์ขึ้นมาใช้เพื่อแสดงหลักการทำงาน ตัวอย่างเช่น

AMR หรือ Autonomated Meter Reading เป็นระบบอ่านค่ามิเตอร์ทางไกลผ่านทางเทคโนโลยีขั้นก้าวหน้า ทำให้ผู้จำหน่ายพลังงานสามารถอ่านค่ามิเตอร์ในระยะไกลได้

AMI หรือ Autonomated Metering Infrastructure เป็นระบบที่สามารถวัด อ่านค่าและวิเคราะห์การใช้พลังงาน การอ่านค่าในระบบนี้สามารถทำในระยะไกลได้ โดยปกติระบบ AMI จะมีการสื่อสารสองทางระหว่างผู้จำหน่ายพลังงานกับผู้ใช้

AMM หรือ Autonomated Meter Management หรือมิเตอร์อัจฉริยะ (AMM) เป็นระบบที่มีการขยายเพิ่มเติมจาก AMR โดยรวมเอาเทคโนโลยีในการวัดและฟังก์ชันทางเทคนิครวมถึงการดำเนินการให้บริการเชิงลูกค้า(customer oriented service)ผ่านระบบนี้

2.8.1 การพัฒนาเทคโนโลยีในมิเตอร์อัจฉริยะ(Smart meter)

ปัจจุบันมีการพัฒนาที่สำคัญในเทคโนโลยีมิเตอร์อัจฉริยะ(Smart meter) ดังนี้

1. การปรับปรุงสมรรถนะของมิเตอร์มีเพิ่มขึ้นมากจากการใช้ข้อมูลจากประสบการณ์จากการดำเนินงานและการประดิษฐ์นวัตกรรมที่ผ่านมา

2. เริ่มมีการพัฒนาด้านข้อกำหนดเกี่ยวกับมาตรฐานของมิเตอร์อัจฉริยะ (Smart meter)

3. เป็นที่ยอมรับอย่างกว้างขวางมากขึ้นว่าการพัฒนามิเตอร์อัจฉริยะ(Smart meter) เป็นเครื่องมือวัดหนึ่งสำหรับการพัฒนาในด้านอื่นๆที่สำคัญ เช่นระบบกริดอัจฉริยะ และมิเตอร์อัจฉริยะ(Smart meter)ได้ถูกรวมเป็นหนึ่งในกระบวนการเริ่มต้นอย่างหนึ่งในระบบกริดอัจฉริยะด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. โอกาสการการประหยัดพลังงานที่เกิดจากการใช้มิเตอร์อัจฉริยะ(Smart meter)มีมากขึ้นเช่น ในระบบบ้านอัจฉริยะ (smart home)

ในแง่ของโอกาสทางการตลาดได้มีข้อมูลที่สนับสนุนข้อมูลทางการตลาดหลายประการเช่น ใน Energy Package ครั้งที่ 3 ประกาศโดย European Commission ได้ระบุให้มีมิเตอร์อัจฉริยะ(Smart meter)ให้ได้อย่างน้อย 80% ของผู้ใช้ทั้งหมดที่คิดว่าได้รับประโยชน์กับการใช้งาน ภายในปี ค.ศ. 2020 ในประเทศอังกฤษรัฐบาลได้ให้สัญญาว่าจะมีผลักดันให้เกิดมิเตอร์อัจฉริยะ (Smart meter)จำนวน 47 ล้านเครื่องโดยได้รับการสนับสนุนจากบริษัทด้านพลังงานต่างๆ British Gas ได้ประกาศว่าจะมีการผลักดันให้ใช้มิเตอร์อัฉริยะแก่ลูกค้าจำนวน 15.5 ล้านราย ซึ่งเป็นข้อมูลการบ่งชี้ที่ดีในแง่ตลาดการค้าของมิเตอร์อัจฉริยะ

รายงานวิจัยของ Pike คาดการณ์ว่าจะมีการติดตั้งมิเตอร์อัจฉริยะ(Smart meter) จำนวน 250 ล้านเครื่องภายในปี ค.ศ. 2015 ในรายงานระบุว่าปัจจุบันยุโรปเป็นพื้นที่ที่เป็นผู้นำในการติดตั้งมิเตอร์อัจฉริยะ(Smart meter)แต่ก่อนปี ค.ศ. 2015 สหรัฐอเมริกาจะเข้ามาแทนที่เมื่อประมาณ 55%ของมิเตอร์จะถูกกำหนดให้เป็นมิเตอร์อัจฉริยะ ข้อสรุปนี้ได้รับการสนับสนุนจากรายงานของ Federal Energy Regulatory Commission ซึ่งประมาณการว่าในอเมริกาก่อนปีค.ศ. 2019 จะมีการติดตั้งมิเตอร์อัจฉริยะ(Smart meter)ประมาณ 80 ล้านเครื่องเพื่อสนับสนุนโปรแกรมด้านความต้องการไฟฟ้าโดยมีการประมาณสูงสุดอยู่ที่ 141 ล้านมิเตอร์

2.8.2 การพัฒนาระบบสื่อสารในมิเตอร์

วิวัฒนาการของการออกแบบมิเตอร์ได้รับการพัฒนาอย่างมากทั้งในมิเตอร์แก๊สมิเตอร์ไฟฟ้าและมิเตอร์น้ำ ตัวอย่างเช่นบริษัท Sentec ได้ผลิตมิเตอร์น้ำอัจฉริยะในมาตรวัดน้ำ มิเตอร์นี้มีการใช้พลังงานต่ำมากทำให้สามารถใช้งานแบตเตอรี่ได้ยาวนานและมีการวัดอัตราการไหลน้ำขนาดต่ำๆได้ทำให้ตรวจสอบการรั่วของน้ำได้ด้วย บริษัท Elster Metering ได้นำเสนอมิเตอร์ที่มีการทำงานที่คล้ายคลึงกันภายใต้เครื่องหมายการค้าชื่อ Smart Meter

หลายบริษัทได้มีการเพิ่มฟังก์ชันการทำงานของมิเตอร์อัจฉริยะไปยังมิเตอร์เดิม เช่น Itron ได้ริเริ่มระบบ EnergyPoint.net ซึ่งใช้เป็นเครื่องมือเชื่อมต่อสื่อสารในเครือข่ายมิเตอร์อัจฉริยะ (Smart meter)

ประเด็นที่สำคัญของระบบมิเตอร์อัจฉริยะคือเครือข่ายการสื่อสาร มีรายงานจาก Energy Australia ที่ทบทวนการประเมินประสิทธิภาพของเทคโนโลยีระบบการสื่อสารที่มีอยู่ ในรายงานระบุว่าสมรรถนะของแต่ละระบบจะแตกต่างกันอย่างประเมินผลได้ ตัวอย่างเช่น ระบบ PLC (Power Line Communications) ต้นทุนต่อเดือนของการสื่อสารจะมีค่าตั้งแต่ 1.37 ดอลลาร์ถึง 0.32 ดอลลาร์ขึ้นอยู่กับระบบ บางระบบมีความน่าเชื่อถือในการอ่านค่าต่ำประมาณ 60% ในขณะที่บางระบบมีค่ามากกว่า 95% จากประสบการณ์การทดสอบและการทดลองใช้ในทางปฏิบัติทำให้บาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บริษัทสามารถพบและแก้ไขจุดอ่อนในระบบได้ ตัวอย่างเช่น ระบบการสื่อสารแบบ PLC พัฒนาโดย Endesa เป็นต้น

Sagem และ ERDF ได้พัฒนาระบบ IPv6 ซึ่งเป็นรูปแบบใหม่ของ PLC และเพิ่มสมรรถนะและแบนด์วิทด์ในระบบสื่อสารของ PLC มากขึ้น นอกจากนี้ยังมีการพัฒนาระบบสื่อสารแบบไร้สายเช่น Gothenburg Zigbee ได้ใช้เครือข่ายไร้สายแบบ ZigBee ในการสื่อสารภายนอกบ้านได้สำเร็จ จากผลสำเร็จที่ได้ทำให้หลายบริษัทในยุโรปพัฒนาเทคโนโลยีเครือข่ายแบบอื่น ระบบหนึ่งที่คล้ายกับ Zigbee ได้ถูกใช้ในประเทศอังกฤษซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการทดลองทางด้านการลดความต้องการไฟฟ้าของประเทศอังกฤษ UK Energy Demand Reduction Trials นอกจากนี้ Meshnet ได้ทำการทดสอบระบบไร้สายจำนวนหนึ่งในประเทศฟินแลนด์และประเทศสวีเดนโดยเป็นระบบที่ใช้ IP และทำงานที่ความถี่ 896 เมกะเฮิรตซ์ บริษัท SmartDutch b.v เป็นอีกบริษัทที่กำลังพัฒนาและระบบเครือข่ายไร้สายแบบเมชในประเทศเนเธอร์แลนด์

ในสหรัฐอเมริกาซึ่งมีผู้ให้บริการไฟฟ้าที่มีรูปแบบเชิงพาณิชย์แตกต่างกัน มีตัวอย่างระบบสื่อสารของมิเตอร์อัจฉริยะ(Smart meter)และกริดอัจฉริยะ(Smart grid)ที่ใช้การสื่อสารแบบใยแก้วนำแสงในเครือข่าย ในหัวข้อเทคโนโลยีการสื่อสารสามารถดูได้จากบทที่ 2 และ 3 ของรายงานนี้

2.8.3 ความก้าวหน้าของเทคโนโลยีการประมวลผลข้อมูล

2.8.3.1 ความสามารถในการทำงานร่วมกัน

ในปี ค.ศ. 2009 มีการให้ความสนใจอย่างมากในการพัฒนาความสามารถในการทำงานร่วมกันและมาตรฐานของมิเตอร์อัจฉริยะเพื่อเป็นการพัฒนาระบบมิเตอร์อัจฉริยะรูปแบบทั่วไปที่ทำงานร่วมกันได้เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ควบคุมและตลาด

ข้อกำหนด/คำสั่ง M/441

วันที่ 12 มีนาคม 2009 ได้มีคำสั่งให้องค์การจัดมาตรฐานของยุโรป (European Standards Organizations) พัฒนามาตรฐานในการสนับสนุนมิเตอร์อัจฉริยะ(Smart meter) โดยต้องการให้ ESO ดำเนินการตามเป้าหมาย 2 เรื่องคือ เรื่องเกี่ยวกับการจัดการการลื่อสารในพื้นที่กว้างและการทำงานฟังก์ชันของมิเตอร์อัจฉริยะ(Smart meter)

โครงการ OPEN METER เป็นโครงการที่ทำขนานไปกับ M/441 โดยได้รับการสนับสนุนทุนจากโปรแกรม commission’s FP7 ซึ่งมีหัวข้อคล้ายกับ M/441 และมีจุดมุ่งหมายเดียวกัน แต่โครงการนี้จะมีผู้ร่วมโครงการเป็นผู้มีผลประโยชน์ร่วมมากกว่าและมีการได้รับการสนับสนุนจากผู้ให้จำหน่ายพลังงานมากกว่า ซึ่งทำให้มีข้อมูลทางเทคนิคในเชิงลึกมากกว่าและเพิ่มความเชื่อมั่นในสมรรถนะในทางปฏิบัติมากขึ้น

2.8.3.2 การรักษาความปลอดภัย

ความสำคัญของการรักษาความปลอดภัยของมิเตอร์อัจฉริยะ(Smart meter)ได้มีการศึกษาและยอมรับอย่างกว้างขวางในปี 2009 และมีกระบวนการบางอย่างได้ถูกเริ่มใช้ไปแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างเช่น ESMIG ได้ทำการทบทวนประเด็นต่างๆและในสหรัฐอเมริกา NIST ได้มีการตีพิมพ์กลยุทธในการพัฒนาวิธีการที่จะดำเนินการรักษาความปลอดภัยในระบบกริดอัจฉริยะ นอกจากนี้ Advanced Metering Infrastructure Security Task Force ได้มีการออกข้อกำหนดสำหรับการรักษาความปลอดภัยของระบบ AMI เป็นครั้งแรก ในส่วนของอุปกรณ์แบบใหม่เพื่อการรักษาความปลอดภัยได้ถูกนำมาใช้ด้วยเช่นกัน อาทิเช่น SEL-3620 Ethernet Security Gateway พัฒนาโดยการสนับสนุนจากรัฐบาลสหรัฐอเมริกา นอกจากนี้หน่วยงาน North American Reliability Corporation (NERC) กำลังนำโปรแกรมการประเมินความเสี่ยงสำหรับการรักษาความปลอดภัยในโลกไซเบอร์(cyber)ของระบบที่เกี่ยวข้องกับระบบกริดแบบอัจฉริยะและได้ปรับปรุงแก้ไขมาตรฐานการรักษาความปลอดภัย 8 มาตรฐาน

2.8.3.3 การพัฒนาในแง่การประยุกต์และการนำไปใช้งาน

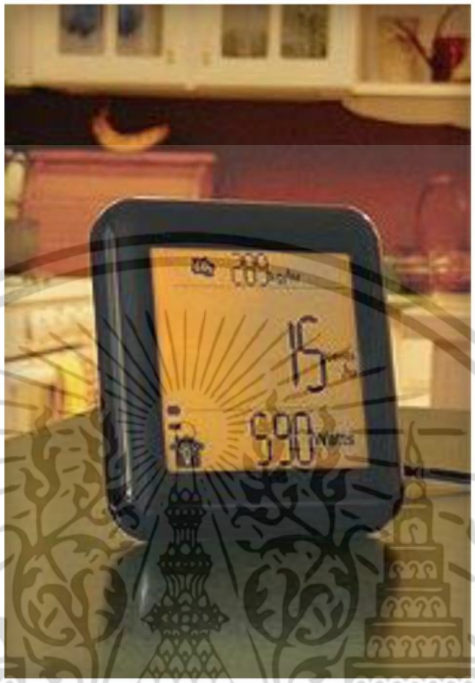
รูปแบบการนำไปประยุกต์ใช้เป็นส่วนที่ต้องการการพัฒนาเทคโนโลยีอย่างมาก มีรายงานบางเล่มระบุเกี่ยวกับฟังก์ชันที่น้อยที่สุดที่ส่วนแสดงผลของมิเตอร์จำเป็นต้องแสดง เช่นในรายงานจาก UK Energy Saving Trust ซึ่งในรายงานนี้ได้สรุปว่าลูกค้าต้องการการแสดงผลที่อ่านง่ายและสามารถอ่านค่าใช้จ่ายการใช้พลังงานได้อย่างต่อเนื่อง โดยตรงและรวดเร็ว ส่วนข้อมูลอื่นๆที่ซับซ้อนเช่น รูปแบบความต้องการพลังงานในแต่ละวันนั้นอาจมีความต้องการใช้แต่ควรจะถูกเรียกผ่านปุ่มกดเป็นหลัก เป็นต้น ตัวอย่างของการพัฒนารูปแบบการแสดงผลของมิเตอร์และวิธีการหรือฟังก์ชันต่างๆแสดงในตารางที่ 6-1 สำหรับคุณลักษณะพิเศษที่ได้มีการพัฒนาขึ้นในมิเตอร์อัจฉริยะมีเป็นจำนวนมากอาทิ เช่น

1. การส่งผ่านข้อมูลพลังงานทางอินเตอร์เน็ต ผู้ให้บริการจำหน่ายพลังงานได้มีการพัฒนาเวปไซด์และเทคโนโลยีอินเตอร์เน็ตเพิ่มเติมจำนวนมากเพื่อให้สามารถรับข้อมูลการใช้พลังงานจากระยะไกล ตัวอย่างเช่น บริษัทไมโครซอฟท์และกูเกิ้ลได้พัฒนาโปรแกรมประยุกต์ซึ่งสามารถรวบรวมข้อมูลพลังงานในพื้นที่และแสดงผลมิเตอร์แบบตามเวลาจริงอย่างไรก็ตามผู้ใช้จำเป็นต้องใช้คอมพิวเตอร์เพื่อการแสดงผล

2. การแสดงผลเชื่อมโยงกับข้อมูลของมิเตอร์ การพัฒนาในด้านนี้มีการพัฒนาอย่างมากในปีค.ศ.2009 และมีการพัฒนาอย่างคงที่ต่อเนื่องในด้านการปรับปรุงระบบการแสดงผลตั้งแต่ระดับการแสดงผลข้อมูลเบื้องต้นจนถึงการพัฒนาโมเดลที่สามารถเข้าถึงข้อมูลและฟังก์ชันขั้นก้าวหน้าได้ ตัวอย่างเช่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- EcoMeter เป็นมิเตอร์ที่พัฒนาอย่างต่อเนื่องโดย L&G ซึ่งเป็นมิเตอร์ที่ถูกใช้อย่างกว้างขวาง ตัวมิเตอร์แสดงผลในรูปดิจิตอลแต่รูปแบบการแสดงผลดูง่ายเมื่อเปรียบเทียบกับการออกแบบรุ่นเก่าของมิเตอร์นี้ ตัวอย่างส่วนแสดงผลของมิเตอร์นี้แสดงในรูปที่ 6.2



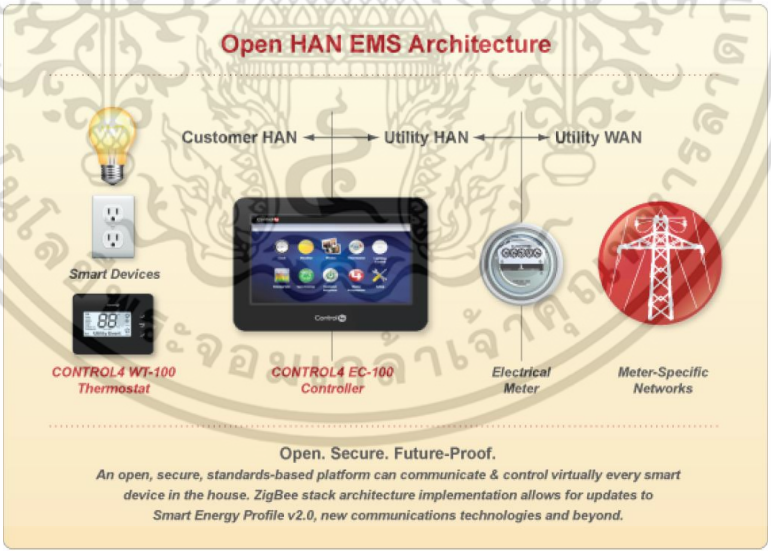
รูปที่ 2.11 EcoMeter

- PowerPlayer เป็นมิเตอร์ที่พัฒนาขึ้นเพื่อการใช้งานมิเตอร์อัจฉริยะในประเทศเนเธอร์แลนด์ การพัฒนามีคุณลักษณะเด่นคือแสดงผลแบบอนาลอกแสดงค่าการใช้กำลังไฟฟ้าขณะใดขณะหนึ่งและค่าใช้จ่ายพร้อมด้วยการแสดงผลอื่นๆผ่านทางเมนู ตัวอย่างของ PowerPlayer แสดงในรูปที่ 2.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.12 PowerPlayer

- Control4 เป็นผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาโดยบริษัทที่มีความเชี่ยวชาญทางด้านระบบอัตโนมัติในบ้านในประเทศสหรัฐอเมริกา ในระบบอัตโนมัติภายในบ้านมีการเพิ่มเติมส่วนของมิเตอร์อัจฉริยะด้วย ทำให้เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีฟังก์ชันการควบคุมในบ้านอย่างกว้างขวางและทำการแสดงผลที่เต็มไปด้วยฟังก์ชันต่างๆ รูปที่ 2.13 แสดงตัวอย่างของ Control4



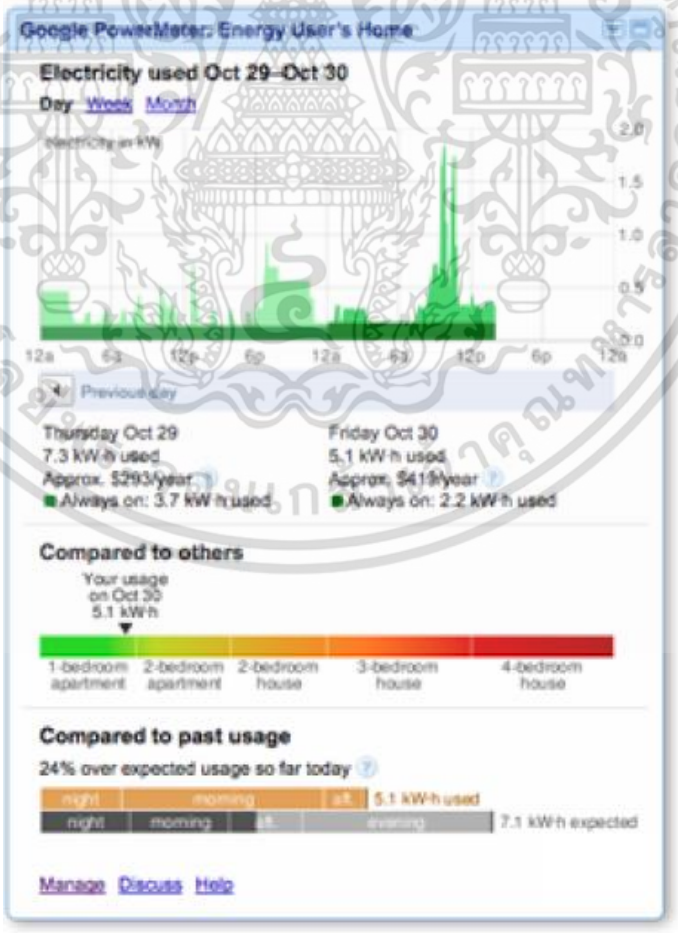
รูปที่ 2.13 Control4

- Tendri Insight ได้มีการเพิ่มการเชื่อมต่อแบบไร้สาย Zigbee เข้าไปยังส่วนแสดงผลและการควบคุมเทอร์โมสตัทระยะไกล รูปที่ 2.14 แสดงตัวอย่างของ Tendri Insight

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.14 Tendri Insight

- มิเตอร์กำลังไฟฟ้าของกูเกิ้ล (Google PowerMeter) บริษัทกูเกิ้ล ได้ทำการสร้างและใช้ PowerMeter เป็นโปรแกรมที่ใช้ได้สาธารณะ ลักษณะเด่นของ PowerMeter นั้นจะสามารถใช้ได้กับทุกคนที่สามารถเข้าถึงอินเตอร์เน็ตได้และแสดงผลผ่านทางระบบคอมพิวเตอร์ ในประเทศอังกฤษผู้ให้บริการระบบไฟฟ้า First Utility กำลังเสนอลูกค้าให้เข้าถึงข้อมูลมิเตอร์ผ่านทางระบบ Google PowerMeter รูปที่ 2.14 แสดงตัวอย่างของ Google PowerMeter



รูปที่ 2.15 Google PowerMeter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Microsoft Holm เป็นผลิตภัณฑ์ที่คล้ายกับ Google PowerMeter แต่ขณะนี้ Holm application กำลังอยู่ในช่วงทดสอบเวอร์ชันเบต้าและยังไม่มีผู้จำหน่ายระบบไฟฟ้ารายใดนำไปใช้งาน โปรแกรมนี้ฟรีแต่มีให้ใช้เฉพาะในรูปแบบสำหรับผู้ใช้ในสหรัฐอเมริกาเท่านั้น

- Navetas บริษัท Navetas ได้พัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่จำนวนหนึ่งที่น่าสนใจในการพัฒนาสำหรับมิเตอร์อัจฉริยะ เช่น อุปกรณ์เชื่อมต่ออัจฉริยะ (smart hub device) ใช้เชื่อมต่อมิเตอร์ไฟฟ้า มิเตอร์น้ำและมิเตอร์แกสได้อย่างอิสระต่อกันและสามารถแสดงผลในพื้นที่และสนับสนุนการใช้งานฟังก์ชันจ่ายก่อนใช้(pre-pay) รวมถึงค่าไฟฟ้าหลายอัตรา นอกจากนี้ยังมีส่วนที่เชื่อมต่อผ่านทาง GPRS ได้

รูปที่ 2.16 Microsoft Home

รูปที่ 2.17 Navetas Smart Hub

- Onzo Kit สำหรับพลังงานอัจฉริยะ เป็นการพัฒนาที่ตัวตรวจจับจะถูกต่อบนเคเบิ้ลหลักที่มิเตอร์และสื่อสารกับส่วนแสดงผลผ่านทางการสื่อสารไร้สาย ส่วนแสดงผลสามารถเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่อนำข้อมูลการใช้พลังงานอับโหลดไปได้ ในปัจจุบันกำลังมีการนำมาใช้ร่วมกับผู้จำหน่ายพลังงานเพื่อดูผลทบทวนข้อมูลจากเว็ปและให้คำแนะนำไปยังลูกค้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Green Energy Options-Home Energy Hub เป็นอุปกรณ์ใหม่ที่มีการแสดงผลแบบหน้าปัดแบบอนาลอกแสดงทั้งส่วนการใช้พลังงานและค่าใช้จ่าย ปัจจุบัน GEO ได้มีผลิตภัณฑ์ในส่วนแสดงผลสำหรับตลาดประเภทธุรกิจและลูกค้าประเภทที่อยู่อาศัย

รูปที่ 2.18 Onzo Smart Energy Kit

รูปที่ 2.19 Green Energy Options

ข้อสรุปของฟังก์ชันและตัวอย่างการใช้งานของมิเตอร์อัจฉริยะและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง การเชื่อมต่อแสดงในตารางที่ 2.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.14 มิเตอร์อัจฉริยะ อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องและรายละเอียด

ชื่ออุปกรณ์	แหล่งของข้อมูล	การเชื่อมต่อกับลูกค้า	คุณลักษณะหรือฟังก์ชันที่มีในการทำงาน
เชื่อมต่อผ่านอินเตอร์เน็ต			
Modstroeam	ผู้จำหน่ายพลังงาน, อุปกรณ์ ZigBee , ป้อนข้อมูลโดยตรง	เว็บไซด์	การวิเคราะห์พลังงานไฟฟ้าภายในบ้าน, เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ Zigbee สำหรับบ้านอัตโนมัติ และการรบรวมข้อมูล, ลิงค์เพื่อการร่วมกับข้อมูลมิเตอร์ของผู้จำหน่ายพลังงาน
Google PowerMeter	อ่านข้อมูลไฟฟ้าผ่านผู้จำหน่ายพลังงาน หรือจากมิเตอร์โดยตรง	คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล	แสดงข้อมูลและลักษณะการใช้ไฟฟ้าเปรียบเทียบกับข้อมูลในอดีตและผู้ใช้รายอื่น
Microsoft Hohm	ต้องการการป้อนข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าเข้าโดยตรง	คอมพิวเตอร์	เป็นการประยุกต์คอมพิวเตอร์ที่ให้ผู้ใช้สามารถวิเคราะห์การใช้พลังงานและให้แนะนำในการลดการใช้พลังงาน
VEAB EnergiKollen	ผู้จำหน่ายพลังงาน	เว็บไซด์	ลูกค้าสามารถเข้าดูการใช้พลังงานของตัวเองและเปรียบเทียบกับข้อมูลของลูกค้าอื่น
MyEnergy Analyzer Based on Aclara EnergyPrism	ผู้จำหน่ายพลังงาน	เว็บไซด์	ลูกค้าสามารถดูบิลค่าไฟฟ้า ปริมาณการใช้พลังงาน ขอรับข้อมูลแนวทางลดการใช้พลังงาน ผู้ผลิตไฟฟ้าสามารถตั้งเป้าหมายของกลุ่มลูกค้าเฉพาะได้
Energy Depot	ผู้จำหน่ายพลังงาน	เว็บไซด์	ลูกค้าสามารถคำนวณการทำนายค่าใช้จ่ายพลังงานเปรียบเทียบกับใบเสร็จค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน และวิเคราะห์มาตรการการประหยัดพลังงานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.14 (ต่อ) มิเตอร์อัจฉริยะ อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องและรายละเอียด

ชื่ออุปกรณ์	แหล่งของข้อมูล	การเชื่อมต่อกับลูกค้า	คุณลักษณะหรือฟังก์ชันที่มีในการทำงาน
เชื่อมต่อผ่านอินเตอร์เน็ต			
Greenbox-Silver Spring Networks	ผู้จำหน่ายพลังงาน	เว็บไซด์	แสดงผลตามเวลาจริงและให้ลูกค้าสามารถกำหนดโอกาสที่ดีในการประหยัดพลังงานได้ สามารถเชื่อมต่อไปยังเครือข่าย Zigbee เพื่อทำหน้าที่ในด้านการควบคุม
H-Net	ผู้จำหน่ายพลังงาน	เว็บไซด์	ลูกค้าสามารถดูใบเสร็จค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน พลังงานรวมที่ใช้และคาดการณ์การใช้พลังงานในอนาคตได้
ตัวแสดงผลภายในบ้านและเชื่อมโยงกับข้อมูลจากมิเตอร์			
ecoMeter	เชื่อมต่อข้อมูลของมิเตอร์และผู้จำหน่ายพลังงาน เชื่อมต่อได้แบบไร้สายและแบบใช้สาย	หน่วยจอแสดงผล	แสดงผลเอาท์พุทต่างๆของมิเตอร์ ความต้องการพลังงานสะสม (demand) แสดงผลเป็นแสงและสีที่สัมพันธ์กับชนิดและระดับการใช้ รวมถึงสามารถสื่อสารกับผู้จำหน่ายพลังงานได้
PowerPlayer	มิเตอร์ผ่านทางการเชื่อมต่อแบบไร้สาย	หน่วยจอแสดงผล	แสดงผลพลังงานที่ใช้ คาร์บอน สำหรับระบบไฟฟ้าและแก๊ส ทำนายค่าใช้จ่ายทางพลังงานทั้งหมด
EWE Box	มิเตอร์ผ่านทางการเชื่อมต่อแบบ M-bus	จอแสดงผลและเว็บไซด์	แสดงผลการใช้พลังงานในแต่ละวันหรือสัปดาห์บนจอแสดงผล และแสดงผลการใช้พลังงานประจำเดือนและประจำปีผ่านทางเว็บไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.14 (ต่อ) มิเตอร์อัจฉริยะ อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องและรายละเอียด

ชื่ออุปกรณ์	แหล่งของข้อมูล	การเชื่อมต่อกับลูกค้า	คุณลักษณะหรือฟังก์ชันที่มีในการทำงาน
ตัวแสดงผลภายในบ้านและเชื่อมโยงกับข้อมูลจากมิเตอร์			
EMS-2020	มิเตอร์ผ่านทางการเชื่อมต่อแบบไร้สาย	จอแสดงผล	แสดงผลการใช้พลังงานและค่าใช้จ่ายด้านพลังงานแบบรายวันหรือรายเดือน
PRI Home Energy Control	มิเตอร์ผ่านทางการเชื่อมต่อแบบไร้สาย	จอแสดงผล	แสดงข้อมูลหลายแบบของการใช้สาธารณูปโภคทั้งแบบขณะใดขณะหนึ่งและแบบสะสม และสามารถควบคุมระบบทำความร้อน
Control4	มิเตอร์ผ่านทางการเชื่อมต่อแบบไร้สาย	แผงควบคุมภายในบ้าน	รวมตัวควบคุมสำหรับระบบบ้านอัตโนมัติผ่านทางการเชื่อมต่อไร้สาย ZigBee
Home Joule	มิเตอร์ผ่านทางการเชื่อมต่อแบบไร้สายและเครือข่าย AMM ของผู้จำหน่ายพลังงาน	จอแสดงผลติดตั้งบนเต้ารับ	แสดงผลการใช้พลังงาน การทำนายสภาพอากาศ อัตราค่าใช้จ่ายไฟฟ้าในขณะนั้นและแสงสีไฟที่แสดงค่าไฟฟ้าสัมพัทธ์ของกำลังไฟฟ้า
AzTech In-home	มิเตอร์ผ่านทางการเชื่อมต่อแบบไร้สาย	จอแสดงผลและมีส่วนเพิ่มเติมให้เลือกหากต้องการเชื่อมต่อกับซอฟท์แวร์คอมพิวเตอร์	แสดงการใช้พลังงานในขณะนั้นหรือแสดงผลค่าเฉลี่ยใน 30 วัน มีการแสงระดับในรูปแบบแสงไฟและสามารควบคุมเทอร์โมสตัทผ่านการเชื่อมต่อ Zigbee

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.14 (ต่อ) มิเตอร์อัจฉริยะ อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องและรายละเอียด

ชื่ออุปกรณ์	แหล่งของข้อมูล	การเชื่อมต่อกับลูกค้า	คุณลักษณะหรือฟังก์ชันที่มีในการทำงาน
Tendril Insight	มิเตอร์ผ่านทางการเชื่อมต่อแบบไร้สาย	จอแสดงผล	แสดงการใช้พลังงานขณะนั้นและพลังงานสะสมรวมถึงค่าใช้จ่ายด้านพลังงานและมีระบบทำนายเงินค่าใช้จ่ายด้านพลังงานในแต่ละเดือน สามารถสื่อสารกับผู้จำหน่ายพลังงานได้
HEMS Technology HEMS-DR	มิเตอร์ผ่านทางการเชื่อมต่อแบบไร้สาย	คอมพิวเตอร์	ประกอบด้วยส่วนเชื่อมต่อแบบไร้สาย ช่องเสียบจอและเทอร์โมสตัท ซึ่งสามารถใช้เพื่อการแสดงผลและการควบคุมได้
L.S. Research RATE$SAVER	มิเตอร์ผ่านทางการเชื่อมต่อแบบไร้สาย	จอแสดงผล	การแสดงข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้าขณะนั้นและแบบสะสมและสามารถแจ้งเตือนตามระดับการใช้
Converge Power Portal	มิเตอร์ผ่านทางการเชื่อมต่อแบบไร้สาย	จอแสดงผล	ส่งข้อมูลผ่าน Zigbee สามารถแสดงแสงไฟสีต่างๆเพื่อแสดงอัตราค่าไฟฟ้าแยกเป็นสีต่างๆเช่น แดง/เหลือง/เขียว มีแถบแม่เหล็กเพื่อนำไปติดบนตู้เย็นได้
Black and Decker Power Monitor	มีตัวตรวจจับการเชื่อมต่อผ่านแสงทางด้านหน้าของแผงมิเตอร์	จอแสดงผล	บันทึกและแสดงผลข้อมูลการใช้พลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.14 (ต่อ) มิเตอร์อัจฉริยะ อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องและรายละเอียด

ชื่ออุปกรณ์	แหล่งของข้อมูล	การเชื่อมต่อกับลูกค้า	คุณลักษณะหรือฟังก์ชันที่มีในการทำงาน
การเชื่อมต่อภายในบ้านไปยังตัวทรานสดิวเซอร์วัดกำลังไฟฟ้า			
The Energy Detective	หม้อแปลงกระแสและต่อเชื่อมแบบไร้สายกับจอแสดงผล	จอแสดงผล (ส่วนนี้เชื่อมต่อไปยังซอฟท์แวร์ที่เรียกว่า “Footprints”)	มีการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าเพื่อวิเคราะห์ค่าพลังงานไฟฟ้าจริง
Eco-eye	หม้อแปลงกระแสและต่อเชื่อมแบบไร้สายกับจอแสดงผล	จอแสดงผล	แสดงการใช้พลังงาน ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานและคาร์บอน สามารถบันทึกข้อมูลเป็นข้อมูลสะสม
Wattson/Holmes	หม้อแปลงกระแสและต่อเชื่อมแบบไร้สายกับจอแสดงผล	จอแสดงผล (ส่วนนี้เชื่อมต่อไปยังซอฟท์แวร์ที่เรียกว่า “Holmes”)	แสดงการใช้พลังงาน ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานและคาร์บอน สามารถบันทึกข้อมูลเป็นข้อมูลสะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 ตัวอย่างและแผนการใช้งานมิเตอร์อัจฉริยะในประเทศต่างๆ

ในโซนยุโรปมีการตื่นตัวการใช้มิเตอร์อัจฉริยะเป็นจำนวนมาก โครงการหนึ่งของยุโรปที่ถูกจัดตั้งขึ้นภายใต้โปรแกรม Intelligent Energy Europe (IEE) คือ The European Smart Metering Alliance (ESMA) ซึ่งในโครงการนี้ภาคอุตสาหกรรมและองค์กรวิจัยได้ร่วมกันเพื่อจะแลกเปลี่ยนประสบการณ์และแนวทางปฏิบัติในงานด้านมิเตอร์อัจฉริยะในยุโรป วัตถุประสงค์ของโครงการนี้คือเพิ่มข้อดีในการประหยัดพลังงานของมิเตอร์อัจฉริยะและกำหนดวิธีทางปฏิบัติในมิเตอร์อัจฉริยะระหว่างสมาชิกของประเทศในยุโรปข้อมูลต่อไปนี้แสดงแผนการดำเนินการในการใช้มิเตอร์อัจฉริยะในประเทศต่างๆ

ประเทศเดนมาร์ก

แผนการดำเนินการ: ผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีการใช้ไฟฟ้ามากกว่า 100,000 kWh มีมิเตอร์ที่อ่านช่วงเวลาแต่ละชั่วโมง ส่วนมิเตอร์สำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าที่ต่ำกว่านั้นยังไม่มีแผนดำเนินการแต่ผู้จ่ายไฟฟ้าได้ลงทุนในการติดตั้งมิเตอร์ที่อ่านค่าจากทางไกลได้ ประมาณ 50% ของผู้ใช้ไฟฟ้าทั้งหมดจะมีมิเตอร์ดังกล่าวภายในปี พ.ศ. 2554

ข้อกำหนดทางกฎหมายที่เกี่ยวกับมิเตอร์อัจฉริยะ-พันธะหน้าที่ DSO รับผิดชอบ

กำไรในทางเศรษฐศาสตร์: รายงานบางส่วนซึ่งเน้นในการวิเคราะห์กลไกการจัดการไฟฟ้าของผู้ใช้ (demand response)ของ Danish Energi Agency ได้สรุปว่าการลงทุนนี้สูงเกินไป

งานวิจัยและการพัฒนา: TSO ได้สนับสนุนงานวิจัยบางส่วนเกี่ยวกับกลไกการจัดการไฟฟ้าของผู้ใช้ (demand response) DSO ได้สนับสนุนโครงการวิจัยเกี่ยวกับมิเตอร์อัจฉริยะและการประหยัดพลังงาน

จำนวนของมิเตอร์: ผู้ใช้จำนวน 1.4 ล้านคนจะมีมิเตอร์ที่สามารถอ่านค่าได้จากทางไกล จำนวนไม่มากในมิเตอร์เหล่านี้จะมีฟังก์ชันขั้นก้าวหน้าเช่น อ่านค่าทุกชั่วโมง เป็นต้น บางบริษัททางด้านการทำความร้อนและผลิตน้ำจะมีมิเตอร์ที่อ่านค่าได้จากทางไกล

การจัดเตรียมเพื่อการเพิ่มจำนวนมิเตอร์อัจฉริยะ

ผู้จ่ายไฟฟ้ารายใหญ่ที่สุดต้องการเพิ่มค่าไฟฟ้าก่อนที่จะดำเนินการลงทุนในมิเตอร์แบบใหม่

1. ประเทศอังกฤษ

แผนการดำเนินการ: -รัฐบาลประกาศการใช้งานมิเตอร์อัจฉริยะในบ้านพักอาศัยตั้งแต่ 28 ตุลาคม 2551 โดยจะมีการติดตามให้คำปรึกษา

- จะมีแผนการติดตั้งมิเตอร์กาซและมิเตอร์ไฟฟ้าแบบอัจฉริยะจำนวน 47 ล้านตัว
- จะมีบริษัทหนึ่งบริษัทจะถูกเลือกเพื่อให้บริการช่องทางการสื่อสารที่จำเป็นสำหรับระบบมิเตอร์ทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- มิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะจะต้องมีสวิตช์เปิดปิดหนึ่งตัวเพื่อให้สามารถถูกควบคุมจากระยะไกลได้ในกรณี ที่มีลักษณะการคิดค่าไฟฟ้าแบบจ่ายก่อน (pre-payment) หรือการจ่ายแบบเครดิต (Credit meter)

- สำหรับมิเตอร์แก๊สนั้นยังไม่มีข้อสรุปว่าจะต้องมีวาล์วติดตั้งเพื่อการควบคุมด้วยหรือไม่

- การเชื่อมต่อมิเตอร์อัจฉริยะเข้ากับระบบกริดอัจฉริยะกำลังจะถูกดำเนินการ

- มิเตอร์ทั้งหมดจะต้องมีการแสดงผลแบบตามเวลาจริง

- ตั้งแต่วันที่ 1 สิงหาคม 2552 ผู้จ่ายพลังงานจะต้องใช้มิเตอร์ที่มีฟังก์ชันขั้นก้าวหน้าสำหรับตลาดธุรกิจของบริษัท (Profile classes 5-8) และลูกค้าทั้งหมดของบริษัทควรจะได้รับมิเตอร์ขั้นก้าวหน้านี้ ภายในปี พ.ศ. 2556

- รัฐบาลตัดสินใจว่าในส่วนลูกค้าของผู้จ่ายไฟที่เหลือควรได้รับมิเตอร์อัจฉริยะภายในปี พ.ศ. 2563

- มิเตอร์แบบตามเวลาจริงจะไม่ใช่ฟังก์ชันที่จำเป็นสำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทธุรกิจ

ข้อกำหนดทางกฎหมายที่เกี่ยวกับมิเตอร์อัจฉริยะ-พันธะหน้าที่และกำหนดการหน่วยงานที่รับผิดชอบคือ Department for Energy and climate change ร่วมกับ OFGEM, the UK regulator, แผนการดำเนินงานมีดังนี้

- ฤดูร้อน 2010 DECC และ OFGEM กำหนดขอบเขตและหลักสำคัญ
- ฤดูร้อน 2010-ฤดูร้อน 2012 เฟสออกแบบรายละเอียด
- ฤดูร้อน 2012-ฤดูร้อน 2020 เฟสประยุกต์ใช้งาน

ความพร้อมของเทคโนโลยีมิเตอร์อัจฉริยะ มีความพร้อมของเทคโนโลยีจากผู้ผลิตและผู้จำหน่วยมิเตอร์อย่างไรก็ตามผู้จำหน่ายจะรอข้อกำหนดสุดท้ายจากบริษัททางด้านพลังงานก่อนดำเนินการผลิตมิเตอร์

โครงการนำร่องและการเริ่มต้น: รัฐบาลได้สนับสนุนการทดลองจำนวน 4 งานหลักในเรื่องมิเตอร์อัจริยะ การทดลองเริ่มต้นเมื่อปี 2007 และจะสิ้นสุดในปี 2010 รายงานผลการวิจัยสามารถอ่านได้จากเวปไซต์ ต่อไปนี้
http://www.ofgem.gov.uk/Pages/MoreInformation.aspx--docid=116&refer=Markets/RetMkts/Metrng/Smart

บริษัทอื่นๆได้ดำเนินการทดลองของตัวเอง ส่วนบริษัท British Gas กำลังดำเนินการทดลองของตัวเองเช่นกัน

จำนวนของมิเตอร์: ในประเทศอังกฤษตาม Elexon Code of Practice 5 มิเตอร์ไฟฟ้าที่สามารถอ่านค่าทางไกลได้ประมาณ 110,000 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะสำคัญและการดำเนินงาน ตาม Code of Practice 5 มิเตอร์ที่จะได้ตามข้อกำหนดทั้งหมดกำลังถูกพิจารณาสำหรับตลาดผู้ใช้ในภาคที่พักอาศัย CoP10 คล้ายกับ CoP5 แต่จะไม่มีข้อกำหนดในการเก็บข้อมูลทุกครึ่งชั่วโมง แต่สามารถอ่านค่าได้ทางไกล จัดการและจะต้องให้ข้อมูลเกี่ยวกับคุณภาพระบบไฟฟ้า

จำนวนของมิเตอร์: ผู้ใช้จำนวน 110,000 สำหรับส่วน CoP 5 และจะมีหน่วยงาน 152,000 รายสำหรับ CoP10 อย่างไรก็ตามในปัจจุบันมีบางเพียงไม่กี่รายที่ดำเนินการติดตั้งมิเตอร์ตาม CoP10

2. ประเทศอิตาลี

ผู้ใช้มิเตอร์อัจฉริยะจำนวนมากที่สุดคือ ผู้จำหน่ายไฟฟ้า Enel SpA ซึ่งเป็นผู้จำหน่ายพลังงานหลักในประเทศอีตาลี ในประเทศอีตาลีมีการติดตั้งมิเตอร์อัจฉริยะไปแล้วกว่า 33 ล้านและก่อนปี ค.ศ. 2011 จะมีผู้ใช้งาน จำนวน 36 ล้านผู้ใช้งานที่ได้รับการติดตั้งมิเตอร์อัจฉริยะนี้ มิเตอร์เหล่านี้สามารถติดต่อสื่อสารได้สองทางและมีคุณสมบัติในการวัดและการควบคุมทางกำลังไฟฟ้า ในส่วนของมิเตอร์แก๊สอัจฉริยะประเทศอีตาลีมีแผนในการติดตั้งให้ได้มากกว่า 80% ภายในปี ค.ศ. 2016

3. ประเทศญี่ปุ่น

ศูนย์การอนุรักษ์พลังงาน (The Energy Conservation center) สนับสนุนการเพิ่มประสิทธิภาพของการใช้พลังงานรวมถึงมิเตอร์อัจฉริยะ ผู้ให้บริการจำหน่ายพลังงานสาธารณะได้เริ่มทดสอบมิเตอร์ที่มีอุปกรณ์สื่อสาร เอกชนบางรายได้ดำเนินการทดสอบระบบพลังงานที่มีประสิทธิภาพที่มีวิธีการป้อนกลับข้อมูลต่างๆเช่น การทริก การเตือน เป็นต้น

4. ประเทศสหรัฐอเมริกา

บางพื้นที่ของรัฐแคลิฟอร์เนียได้ติดตั้งมิเตอร์อัจฉริยะ ผู้กำกับกิจการด้านพลังงานของแคลิฟอร์เนียได้อนุมัติโปรแกรมในการติดตั้งดัดแปลงมิเตอร์เดิมด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สื่อสารไปยังลูกค้าไฟฟ้าและแก๊สกว่า 9 ล้านรายใน Northern California ซึ่งอยู่ในการดูแลของ Pacific Gas and Electric (PG&E). มิเตอร์เหล่านี้สามารถรายงานการใช้ไฟฟ้าแต่ละชั่วโมงทำให้ PG&E สามารถกำหนดราคาการใช้พลังงานตามฤดูกาลและเวลาในแต่ละวันได้ และให้ผลตอบแทนแก่ลูกค้าที่เลื่อนการใช้งานไปยังช่วงออฟพีค โปรแกรมการกำหนดราคาแบบพิจารณาช่วงพีคนี้จะเริ่มต้นจากความสมัครใจก่อนและโดยคาดว่าจะดำเนินการสมบูรณ์ได้ภายใน 5 ปี

ผู้ให้บริการสาธารณูปโภค Los Angeles Department of Water and Power (LADWP) ได้รับการคัดเลือกให้ดำเนินการขยายระบบการให้บริการโครงสร้างมิเตอร์ขั้นก้าวหน้าหรือ advanced metering infrastructure (AMI) กับลูกค้าในภาคธุรกิจและภาคอุตสาหกรรม ลูกค้าในกลุ่มนี้สามารถปรับรูปแบบการใช้พลังงานในแต่ละวันผ่านทางการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากมิเตอร์อัจฉริยะซึ่งทำให้เกิดศักยภาพในการลดค่าไฟฟ้ารายเดือนและส่งผลให้เกิดการอนุรักษ์พลังงานในภาพรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Austin Energy ซึ่งเป็นผู้จำหน่ายไฟฟ้าขนาดใหญ่มีลูกค้ากว่า 400,000 รายภายในและรอบๆรัฐ Austin, Texas, เริ่มใช้งานโครงข่ายสื่อสารสองทางแบบเมชของคลื่นความถี่วิทยุ (RF) และใช้มิเตอร์อัจฉริยะประมาณ 260,000 จุดในที่พักอาศัยในปี ค.ศ. 2008. มิเตอร์ที่สามารถสื่อสารได้สองทางจำนวน มากกว่า 165,000 จุดได้รับการติดตั้งในปี ค.ศ. 2009

Centerpoint Energy ในรัฐ Houston, Texas กำลังอยู่ในช่วงการติดตั้งและใช้มิเตอร์อัจฉริยะให้กับลูกค้ามากกว่าสองล้านราย

นอกจากนี้ยังมีผู้จำหน่ายไฟฟ้าและผู้ให้บริการด้านพลังงานที่ได้ดำเนินการใช้และวางแผนการใช้มิเตอร์อัจฉริยะจำนวนมากในประเทศสหรัฐอเมริการทำให้เป็นที่คาดว่าประเทศนี้จะเป็นประเทศผู้นำในการใช้มิเตอร์นี้

2.10 บทสรุปและปัญหาอุปสรรคในใช้งานระบบมิเตอร์อัจฉริยะ

จากรายงานข้างต้นและข้อสรุปจากรายงานของ ESMA พบว่าอุปสรรคในการดำเนินการเพื่อใช้งานมิเตอร์อัจฉริยะที่สำคัญได้แก่

1. ความไม่แน่นอนเกี่ยวกับปริมาณหรือจำนวนของผลประโยชน์ที่แต่ละหน่วยงานจะได้รับโดยเฉพาะกรณีการประหยัดพลังงานที่เกิดขึ้นเนื่องจากไม่มีข้อมูลและประสบการณ์เดิมอยู่
2. มีหลายหน่วยงานเข้าร่วมและผลประโยชน์จากมิเตอร์อัจฉริยะอาจเพิ่มขึ้นไปยังหน่วยงานอื่นมากกว่าหน่วยงานที่รับผิดชอบค่าใช้จ่ายโดยตรง
3. การดำเนินการติดตั้งระบบมิเตอร์อัจฉริยะจำนวนมากต้องใช้เวลาและเงินลงทุนในกระบวนการมาก ทำให้เกิดความเสี่ยงในการลงทุนและอาจมีอุปสรรคในการดำเนินการเช่น ในประเทศหลายประเทศในทวีปยุโรปจะมีการคัดค้านอย่างมากหากดำเนินการเพิ่มค่าไฟฟ้าเพื่อดำเนินการนี้ การลงทุนขนาดใหญ่นี้จำเป็นต้องอาศัยการอนุมัติและสนับสนุนจากทางรัฐบาล
4. การไม่มีความสามารถในการทำงานร่วมกันระหว่างอุปกรณ์ ปัจจุบันยังไม่มีมาตรฐานที่เหมาะสมสำหรับกำหนดขอบเขตที่เหมาะสมของฟังก์ชันต่างๆ (การวัดมิเตอร์ การสื่อสาร การแสดงผลและโครงข่าย) การไม่มีข้อกำหนดที่เหมาะสมร่วมกันในเรื่องของฟังก์ชันและการเชื่อมต่อทำให้ตลาดกระจัดกระจายและทำให้ต้นทุนทั้งในส่วนของมิเตอร์อัจฉริยะและในส่วนของอุปกรณ์และบริการที่ใช้ข้อมูลจากมิเตอร์เพิ่มขึ้น
5. ยังไม่มีโมดูลหรือผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจำนวนมาก(mass products)ที่สามารถใช้งานได้ตามข้อกำหนดของลูกค้าท้องถิ่นได้แก่ ส่วนผลิตและจำหน่าย ส่วนผลตอบสนองความต้องการพลังงาน ส่วนข้อมูลลูกค้า ส่วนคุณภาพระบบไฟฟ้า ส่วนการบริการและระบบอัตโนมัติในการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน ฯลฯ การจะได้ตามข้อกำหนดดังกล่าวอาจต้องมีการเพิ่มค่าใช้จ่ายพิเศษ
6. ในหลายประเทศไม่สามารถคาดหวังเงินช่วยเหลือหรือเงินทุนจากรัฐบาลในการติดตั้งมิเตอร์อัจฉริยะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. การดำเนินการติดตั้งมิเตอร์อัจฉริยะจำเป็นต้องการผู้มีทักษะและมีความเชี่ยวชาญมาก ซึ่งในผู้ดำเนินการในตลาดขนาดเล็กและขนาดกลางจะขาดแคลนในส่วนนี้ นอกจากนี้ในการติดตั้งยังอาจต้องใช้เงินสูงเนื่องจากอุปกรณ์ การขนส่งและทีมงาน

8. อายุการใช้งานของมิเตอร์อัจฉริยะซึ่งเป็นอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ประเภทหนึ่งสั้นกว่ามิเตอร์แบบเดิม อาจทำให้ลดผลการคืนทุนของการใช้งานมิเตอร์

9. อุปสรรคจากกฎหมายและการไม่มีกฎหมาย โดยปกติแล้วการริเริ่มระบบมิเตอร์อัจฉริยะจะมาจากส่วนของรัฐดังนั้นอนาคตของระบบมิเตอร์อัจฉริยะจะขึ้นกับนโยบายและความแน่นอนของการดำเนินการของรัฐบาล การประยุกต์ใช้ระบบมิเตอร์อัจฉริยะเป็นการดำเนินการที่ยาวนานและใช้เงินลงทุนซึ่งจำเป็นต้องได้รับการลงทุนจากผู้รับชอบในส่วนต่างๆของตลาด ผู้ลงทุนเหล่านี้จะต้องการการตัดสินใจในเชิงนโยบายที่ชัดเจนจากรัฐบาลและผู้ควบคุมต่างๆเพื่อให้ไม่เกิดการขัดขวางการลงทุน

ตัวอย่างของอุปสรรคอาทิเช่น ในหลายประเทศไม่มีอัตราค่าไฟตามเวลาที่ใช้งาน (time of use tariff) สำหรับลูกค้าอาทิเช่น ลูกค้าในครัวเรือน ทำให้ไม่มีแรงจูงใจสำหรับลูกค้าขั้นสุดท้ายในการลดความต้องการไฟฟ้าในช่วงพีค อีกตัวอย่างหนึ่งเช่นในบางประเทศรายได้ของผู้ปฏิบัติการโครงข่าย (network operator avenue)จะเพิ่มขึ้นตามการใช้งานไฟฟ้าทำให้ไม่เป็นแรงจูงใจในการดำเนินมาตรการประหยัดพลังงานเป็นต้น

นอกจากอุปสรรคที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ยังมีอุปสรรคอื่นที่เกิดจากการตอบสนองในเชิงลบของลูกค้าที่อาจจะเกิดขึ้นได้จากปัจจัยหลายอย่าง เช่น

- ลูกค้าอาจคิดว่าการใช้มิเตอร์อัจฉริยะอาจเป็นการเพิ่มค่าไฟฟ้าของลูกค้าเอง
- ลูกค้าอาจจะร้องเรียนหรือไม่พอใจถ้าหลังจากใช้งานมิเตอร์อัจฉริยะแล้วผลประโยชน์ที่ได้ไม่เป็นไปตามที่คาดไว้
- ลูกค้าอาจไม่พอใจในแผนการดำเนินการ
- ลูกค้าอาจไม่เข้าใจโครงสร้างของการเก็บค่าพลังงานและอาจคิดว่ามิเตอร์อัจฉริยะอาจจะไม่ช่วยให้เกิดการประหยัดค่าพลังงาน

อุปสรรคจากการตอบสนองของลูกค้าข้างต้นนี้สามารถแก้ไขได้โดยการมีแผนที่ดีในการสื่อสารทำความเข้าใจและการให้ข้อมูลกับลูกค้า และมีแผนการติดตั้งที่ดีที่สื่อสารกับลูกค้าด้วยเพื่อลดความไม่สะดวกของลูกค้าในช่วงการติดตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

เนื่องด้วยงานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัยและพัฒนาระบบไฟฟ้าที่ชาญฉลาด เพื่อพัฒนาประสิทธิภาพการใช้พลังงาน และการจัดการความต้องการไฟฟ้า (Research and Development of Smart Grid for Energy Efficiency and Demand-Side Management) วิธีดำเนินการวิจัยเริ่มต้นโดยการทดลองติดตั้งมิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะที่เลือกใช้ในโครงการ สำหรับการวัดพลังงานไฟฟ้าและส่งข้อมูลแบบสองทิศทางระหว่างมิเตอร์ไฟฟ้าและการสื่อสารที่ดำเนินการทดสอบและใช้ในโครงการ ลักษณะการออกแบบของโครงการ จะออกแบบสำหรับศูนย์การจัดการความต้องการพลังงานไฟฟ้า หรือ DSM Center โดยมีการติดตั้งมิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะทั้งหมด 60 ตัว แบ่งเป็นกลุ่มโรงงานอุตสาหกรรมทั้งหมด 34 เครื่อง กลุ่มอาคารพาณิชย์ ทั้งหมด 20 เครื่อง และกลุ่มบ้านพักอาศัยทั้งหมด 6 เครื่อง โดยมีผู้เข้าร่วมโครงการทั้งหมด 32 บริษัท/โรงงาน/บ้านพักอาศัย โดยทางโครงการได้เลือกใช้มิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะของบริษัท Itron รุ่น ACE6000 ซึ่งเป็นมิเตอร์ตามมาตรฐาน IEC

3.1 มิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะ

มิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะที่เลือกใช้ในโครงการเป็นของบริษัท Itron รุ่น ACE6000 ซึ่งเป็นมิเตอร์ไฟฟ้าตามมาตรฐาน IEC ดังแสดงในรูปที่ 3.1 ภายนอกมิเตอร์ไฟฟ้าเป็นพลาสติกทั้งหมด สามารถและสามารถติดตั้งกลางแจ้ง (Outdoor) ได้แต่แนะนำให้ติดตั้งภายในตู้อีกทีหนึ่งเพื่อเป็นการป้องกันความเสียหาย

รูปที่ 3.1 มิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะ Itron ACE6000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะ Itron ACE6000 มีคุณสมบัติดังต่อไปนี้ คือ เป็นมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์ ที่ใช้วัดพลังงานไฟฟ้าได้ทั้งแบบ แอ็กทีฟ (active) และ รีแอกทีฟ (reactive) ที่รองรับการวัดพลังงานไฟฟ้าได้ทั้ง 4 quadrant และ สามารถนำไปใช้งานสำหรับกระแสไฟฟ้า เฟสเดียว หรือ กระแสไฟฟ้าสามเฟส ได้ ซึ่งมิเตอร์ได้รับการรองรับมาตรฐาน IEC 61107 สำหรับการสื่อสารผ่านทาง Optical Probe หรือมาตรฐาน IEC 62025 สำหรับการการสื่อสารระยะไกลผ่านทางโมเดมเป็นต้น อุปกรณ์มิเตอร์มีการออกแบบให้ใช้ได้ทั้ง การต่อสายไฟโดยตรง (Direct Connection) หรือ การต่อสายไฟผ่านหม้อแปลง (Current Transformer connection) โดย เหมาะสมสำหรับการใช้งานในระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่มีอยู่แล้ว หรือ ที่ตั้งขึ้นใหม่ การออกแบบมิเตอร์มีออกแบบให้รองรับระบบไฟฟ้าที่ป้อนเข้าได้โดยอัตโนมัติ (Auto-Ranging Power Supply) และสามารถรองรับการวัดพลังงานไฟฟ้าได้ในช่วงที่กว้าง ทำให้สามารถใช้งานในอุตสาหกรรม ขนาดเล็ก จนถึง ขนาดใหญ่ มิเตอร์มีค่าความถูกต้องและความเที่ยงตรงสำหรับการคิดเงิน (Billing) รวมถึงค่า Load Profile ของมิเตอร์ตามมาตรฐาน IEC ของมิเตอร์ไฟฟ้า และสามารถวัดค่าพลังงานไฟฟ้าต่างๆ ณ ขณะนั้น (ณ Instantaneous Value) เพื่อเป็นฐานข้อมูลของระบบจำหน่าย ซึ่งมิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะนี้รองรับการสื่อสารผ่านระบบต่างๆ เช่น ระบบโทรศัพท์ (PSTN), ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบ GSM/GPRS และระบบเครือข่ายอินเตอร์เน็ตด้วยโพรโทคอล IP และใช้โปรโตคอลมาตรฐาน DLMS-COSEM สำหรับการสื่อสารข้อมูลสำหรับมิเตอร์ไฟฟ้า

มิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะนี้ สามารถเตือนการใช้พลังงานไฟฟ้าเกิน (Excess Consumption) โดยผู้ใช้สามารถตรวจดูการใช้พลังงานไฟฟ้าจากมิเตอร์ โดยสามารถตั้งค่ากำหนดขอบเขตไว้ และสามารถกำหนดให้มิเตอร์แจ้งเตือน ถ้าการใช้พลังงานไฟฟ้าเกินขอบเขตที่กำหนด และสามารถวัดและแสดงค่าค่าพลังงานไฟฟ้าต่างๆ เช่น ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ (PF), ค่าการใช้ไฟฟ้า (Demand), แรงดัน (Volts) และ กระแส (Amps) รวมถึงการวัดค่าพลังงานทั้ง แอกทีฟ (Active) และ รีแอกทีฟ (Reactive) ได้ในแต่ละทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้า

สำหรับการคิดค่าปริมาณการใช้ไฟฟ้า มิเตอร์สามารถเก็บค่าต่างๆ เพื่อใช้ในการจัดทำใบเรียกเก็บค่าใช้ไฟฟ้า ทั้งค่าพลังงานไฟฟ้า (Energy) และ ค่าการใช้ไฟฟ้า (Demand) โดยสามารถตั้งค่าพื้นฐานได้อย่างน้อย 10 ค่า ที่สามารถใช้ในการทำใบเรียกเก็บค่าใช้ไฟฟ้า และสามารถบันทึกค่าอัตราพลังงาน (Energy Rate) อย่างน้อย 32 ค่า และค่าการใช้ไฟฟ้า (Demand Rate) อย่างน้อย 24 ค่าใน Register สามารถตั้งช่วงเวลาในการคิดค่าไฟฟ้าด้วยการปรับเปลี่ยนโดยนาฬิกาภายในตัวมิเตอร์ อุปกรณ์มิเตอร์นี้สามารถตั้งค่าการวัดพลังงานไฟฟ้าต่างๆ ได้ 16 ช่องการเก็บข้อมูล (channels) ซึ่งสามารถกำหนดค่าต่างๆ ในแต่ละช่องได้ และจะแบ่งตาม Load Profiles จำนวน 2 ชุดๆ ละ 8 ช่องการเก็บข้อมูล

สำหรับการสื่อสารของมิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะ ตัวมิเตอร์มีช่องการสื่อสารจำนวน 2 ช่อง เป็นมีช่องการสื่อสารแบบที่อ่านที่ตัวมิเตอร์ (Local) ซึ่งเป็นแบบที่ใช้ร่วมกับ Optical Probe และแบบที่อ่านระยะทางไกล (Remote) ที่ใช้ต่อร่วมกับอุปกรณ์โมเดม และใช้โปรโตคอลมาตรฐาน DLMS-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COSEM สำหรับการสื่อสารผ่านเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ด้วยอุปกรณ์โมเดม GPRS หรือเครือข่ายอินเตอร์เน็ตด้วยอุปกรณ์โมเดมแบบ IP

ข้อมูลทางเทคนิค (Technical Specification) ของมิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะของบริษัท Itron รุ่น ACE6000 มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1.1 ขนาดพลังงานที่รองรับ

- แรงดันไฟฟ้า : 3x57.7/100V จนถึง 3x277/480V ปรับอัตโนมัติ
- กระแสไฟฟ้าต่อตรง : กระแสเริ่มต้น Ib 5A, กระแสสูงสุด Imax 100A
- กระแสไฟฟ้าต่อผ่านหม้อแปลง : กระแสเริ่มต้น Ib 1A, กระแสสูงสุด Imax 10A

3.1.2 ระบบจำหน่ายที่รองรับ

- ระบบต่อตรง :ใช้ต่อ 3 สายโดยปราศจากนิวตรอน
- ระบบต่อผ่านหม้อแปลง CT, VT :ใช้ต่อ 3 และ 4 สาย โดยการตั้งค่ามิเตอร์

3.1.3 ค่าความถูกต้อง

- การต่อตรง :พลังงานแอกทีฟ (active energy) : Class 1
- การต่อผ่านหม้อแปลง :พลังงานแอกทีฟ (active energy) : Class 0.5S
- พลังงานรีแอกทีฟ : Class 2

3.1.4 ความถี่ไฟฟ้าใช้งาน : 50/60Hz

3.1.5 นาฬิกาแบบเวลาจริง: มีพลังงานสำรองจากแบตเตอรี่ภายนอก และ ตัวเก็บประจุภายใน เป็นตัวจ่ายพลังงานให้นาฬิกาในกรณีไฟดับ ตามมาตรฐาน IEC 62054-21

3.1.6 ช่วงอุณหภูมิใช้งาน : -40 องศาเซลเซียส ถึง +70 องศาเซลเซียส

3.1.7 ผ่านการรับรองมาตรฐาน CE – CE marking standards (mechanical, climatic, electrical, electromechanical, metrological)

3.1.8 การสื่อสาร:

- ช่องสื่อสารอินฟราเรด (IR-port – ตามมาตรฐาน IEC 62056/21 และ IEC 62056/42-46-53-61-62)
- ช่องสื่อสารสำหรับ RS232 หรือ RS485 รองรับ โปรโตคอล DLMS-COSEM

สำหรับสายเชื่อมต่อกับมิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะสำหรับการตั้งค่าการใช้งาน หรือ Configuration ที่เป็นแบบ Optical Probe เป็นแบบที่ได้รับมาตรฐาน IEC 62056-21 ใช้หัวเชื่อมต่อแบบใช้แสง (Optical) ความยาวคลื่น 900 nm และมีความยาวสาย 2 เมตร โดยมีหัวเชื่อมต่อเป็นแม่เหล็กความแรง N35 และอีกด้านหนึ่งเป็นหัวเชื่อมต่อแบบ USB ที่ได้รับมาตรฐาน USB 2.0 สำหรับต่อเข้าเครื่องคอมพิวเตอร์ สามารถเชื่อมต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์ด้วยความเร็วการสื่อสารอย่างน้อย 19200 baud

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การติดตั้งสำหรับมิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะ

การติดตั้งมิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะได้ทำการออกแบบการติดตั้งมิเตอร์ไฟฟ้าสำหรับการติดตั้งบนตู้ MDB เดิมที่มีอยู่แล้วของผู้เข้าร่วมโครงการหรือสำหรับการติดตั้งภายในตู้ที่ติดตั้งใหม่ในกรณีที่ไม่สามารถติดตั้งร่วมกับตู้ระบบไฟฟ้าเดิมที่มีอยู่ โดยแบ่งการออกแบบการติดตั้งมิเตอร์ตามประเภทของผู้ใช้ไฟฟ้าเป็นการติดตั้งสำหรับกลุ่มบ้านพักอาศัย กลุ่มอาคารพาณิชย์และโรงงานอุตสาหกรรม

3.2.1 แบบติดตั้งตู้ไฟฟ้าสำหรับบ้านพักอาศัย

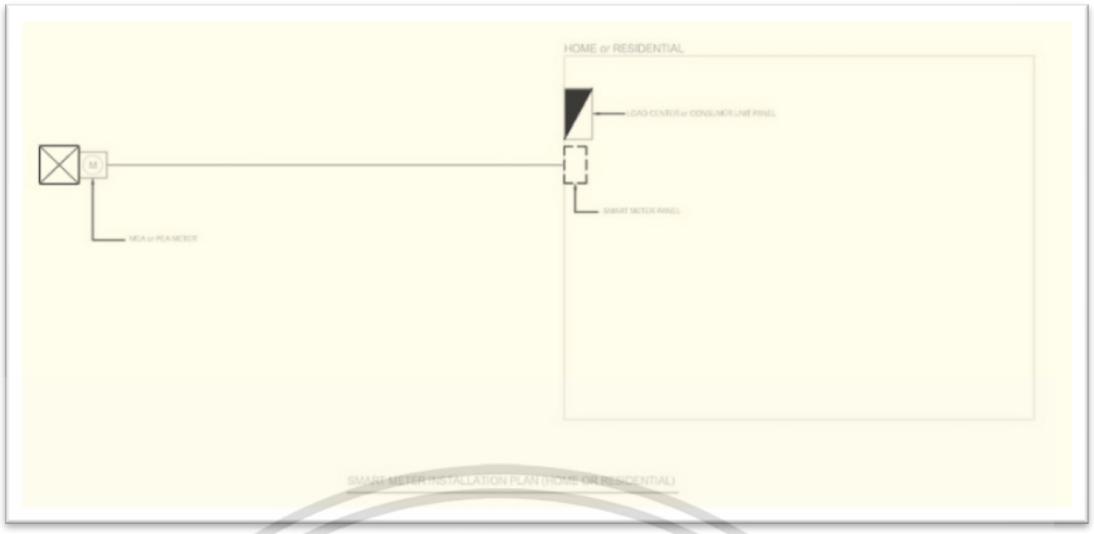
การติดตั้งมิเตอร์ไฟฟ้าสำหรับบ้านพักอาศัยที่ส่วนใหญ่ใช้ระบบไฟฟ้าแบบ 1 เฟส และเพื่อไม่ให้การติดตั้งมิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะสำหรับโครงการนี้มีผลกระทบต่อการทำงานของมิเตอร์ไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวงหรือการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เราจึงได้ทำการติดตั้งมิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะระหว่างมิเตอร์ไฟฟ้าของการไฟฟ้าฯ และ ตู้ Load Center หรือ Main Circuit Breaker ของบ้านพักอาศัยดังแสดงในรูปที่ 3.2

ส่วนการติดตั้งมิเตอร์ไฟฟ้าจะทำการติดตั้งภายในบ้านพักอาศัยและติดตั้งให้อยู่ใกล้กับตู้ Load Center ของบ้านพักอาศัยดังแสดงในรูปที่ 3.3

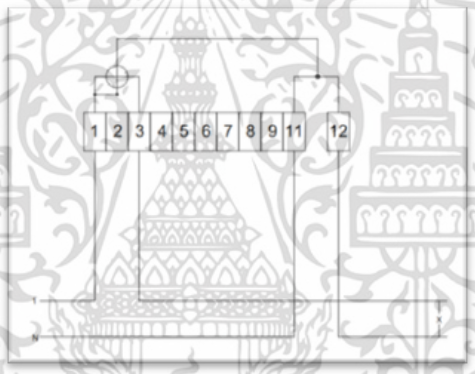
รูปที่ 3.4 แสดงวิธีการเชื่อมต่อระบบไฟฟ้าแบบ 1 เฟส 2 สาย (1P2W) และใช้วิธีการต่อตรงสำหรับการติดตั้งกับบ้านพักอาศัย

รูปที่ 3.2 แบบติดตั้ง Single Line Diagram สำหรับบ้านพักอาศัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 แบบติดตั้งและเดินสายไฟฟ้าสำหรับบ้านพักอาศัย



รูปที่ 3.4 แบบเชื่อมต่อกับมิเตอร์ไฟฟ้าแบบ 1P2W Direct Connection

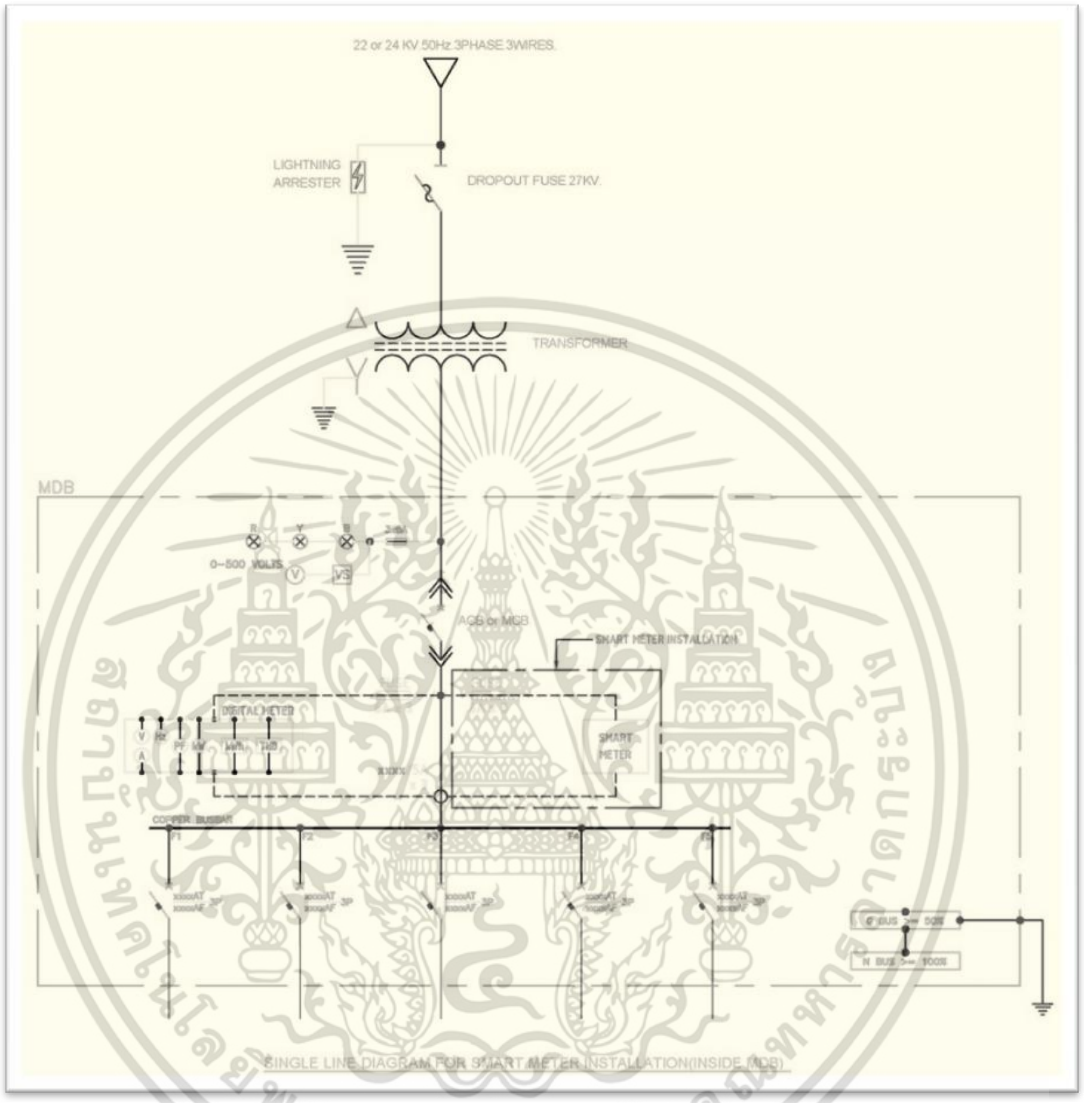
3.2.2 แบบติดตั้งตู้ไฟฟ้าและมิเตอร์ไฟฟ้าสำหรับอาคารพาณิชย์และโรงงานอุตสาหกรรม

สำหรับอาคารพาณิชย์และโรงงานอุตสาหกรรมที่มีปริมาณการใช้ไฟฟ้ามาก และใช้ระบบไฟฟ้าแรงสูง และหม้อแปลงไฟฟ้าสำหรับแปลงเป็นระบบไฟฟ้าแรงต่ำสำหรับใช้งาน การติดตั้งระบบไฟฟ้าสำหรับอาคารพาณิชย์และโรงงานอุตสาหกรรมต้องคำนึงถึงผลกระทบของการติดตั้งกับผู้ใช้ไฟฟ้าเป็นสำคัญด้วย เช่นการดับระบบไฟฟ้าจะทำให้โรงงานต้องหยุดทำงานซึ่งมีผลกระทบต่อกระบวนการผลิตและการดำเนินธุรกิจของผู้เข้าร่วมโครงการ

เพื่อไม่ให้การติดตั้งมิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะของโครงการมีผลกระทบต่อผู้เข้าร่วมโครงการ ทางโครงการจึงเลือกวิธีการติดตั้งมิเตอร์ไฟฟ้าที่ระบบไฟฟ้าแรงต่ำ หรือติดตั้งหลังหม้อแปลงไฟฟ้าดังแสดงในรูปที่ 3.5 หรือติดตั้งระหว่างอุปกรณ์ Main Circuit Breaker กับ Circuit Breaker ลูกย่อย เพื่อให้สามารถติดตั้งได้ง่ายและไม่มีผลกระทบต่อระบบจ่ายไฟฟ้าของผู้เข้าร่วมโครงการ

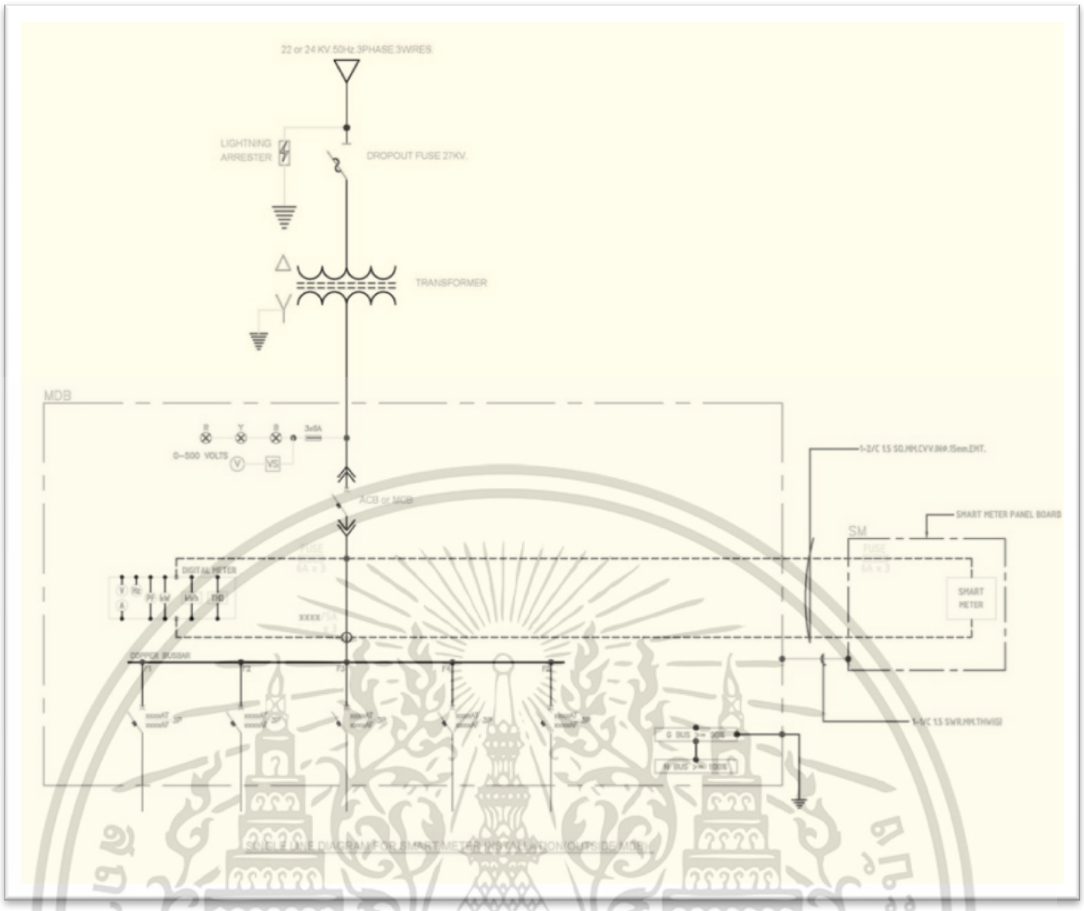
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับกรณีที่ตู้ MDB ของผู้เข้าร่วมโครงการไม่มีพื้นที่เหลือสำหรับการติดตั้ง เราจะทำการติดตั้งตู้เพิ่มเติมสำหรับมิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.5 แบบติดตั้ง Single Line Diagram สำหรับติดตั้งภายในตู้ MDB ของโรงงานหรืออาคารพาณิชย์

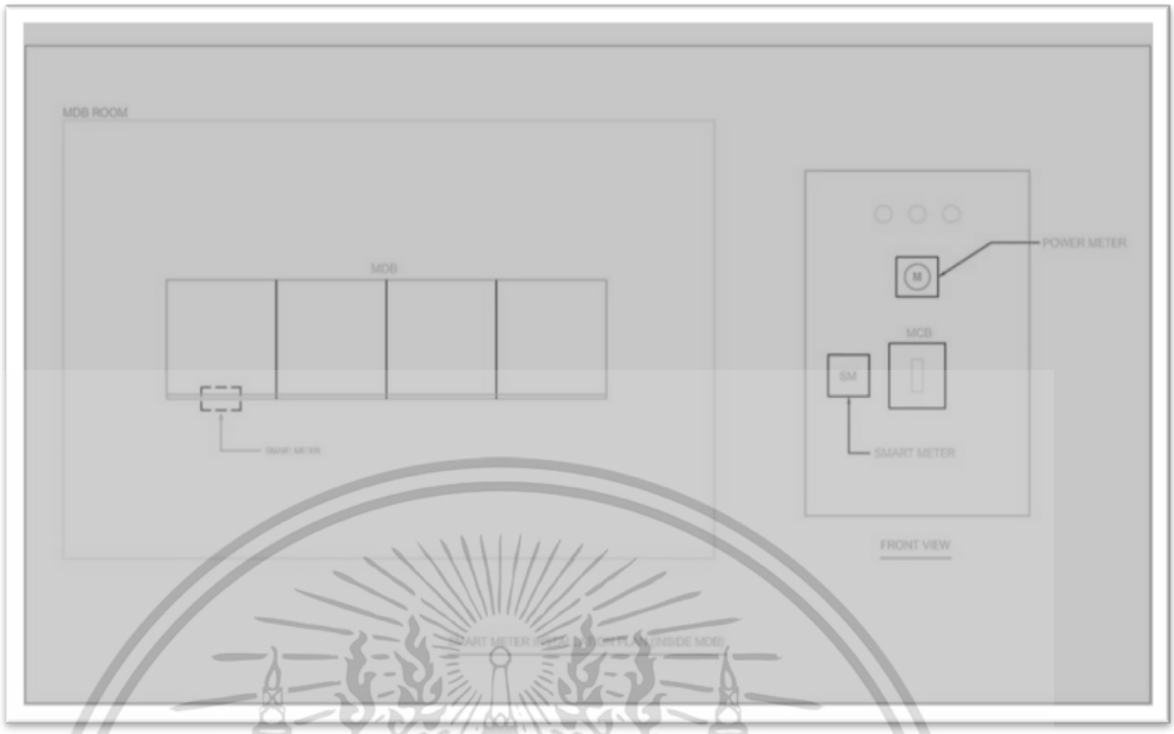
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 แบบติดตั้ง Single Line Diagram สำหรับติดตั้งภายนอกตู้ MDB ของโรงงานหรืออาคารพาณิชย์

รูปแบบการติดตั้งและบริเวณการติดตั้งบนตู้ MDB ของผู้เข้าร่วมโครงการสามารถแสดงได้ในรูปที่ 3.7 และสำหรับกรณีที่ต้องติดตั้งตู้สำหรับมิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะโดยเฉพาะเนื่องจากไม่มีพื้นที่เหลือสำหรับการติดตั้ง สามารถแสดงได้ในรูปที่ 3.8 สำหรับการเชื่อมต่อมิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะกับระบบไฟฟ้าแบบ 3 เฟส 4 สาย แบบต่อผ่านหม้อแปลงกระแสไฟฟ้า (Current Transformer หรือ CT) ของโรงงานหรืออาคารพาณิชย์สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.9

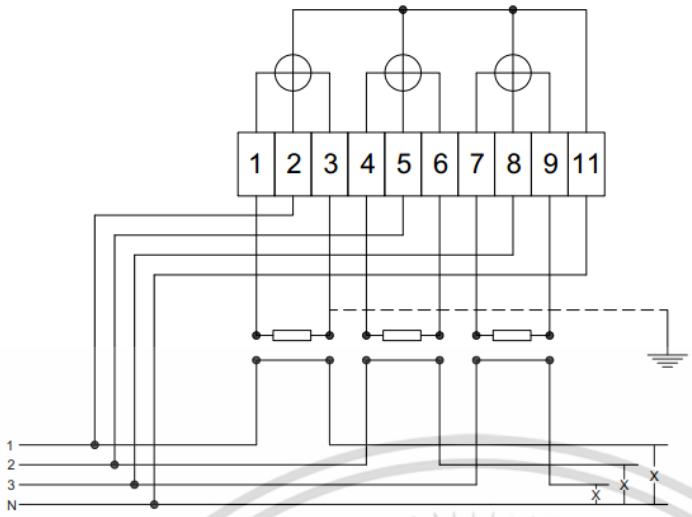
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 แบบติดตั้งมิเตอร์ไฟฟ้าบนตู้ MDB

รูปที่ 3.8 แบบติดตั้งมิเตอร์ไฟฟ้าบนตู้สำหรับมิเตอร์ไฟฟ้าโดยเฉพาะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 แบบเชื่อมต่อกับมิเตอร์ไฟฟ้าแบบ 3P4W with CT connection

3.3 ชุดอุปกรณ์สื่อสารสำหรับมิเตอร์อัจฉริยะ

การสื่อสารของโครงข่ายมิเตอร์อัจฉริยะ เป็นองค์ประกอบสำคัญสำหรับโครงการวิจัยและพัฒนาระบบไฟฟ้าที่ชาญฉลาด เพื่อพัฒนาประสิทธิภาพการใช้พลังงานและการจัดการความต้องการไฟฟ้า จากการพิจารณาความเหมาะสมของพื้นที่ ที่ จะจัดทำโครงการนำร่องระบบศูนย์บริหารจัดการพลังงาน จึงได้เลือกที่จะดำเนินการที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เนื่องจากมีความเหมาะสมและความพร้อมในหลายๆด้าน เช่น สถานที่ตั้งทางภูมิศาสตร์ โครงข่ายระบบสื่อสารที่มีอยู่แล้ว เป็นต้น โดยในส่วนของระบบสื่อสารสำหรับมิเตอร์อัจฉริยะนั้น จะดำเนินการทดสอบระบบให้ครอบคลุมพื้นที่ผู้ใช้ไฟฟ้าในหลายภาคส่วน โครงข่ายมิเตอร์อัจฉริยะปลายทางที่จะมีใช้ในโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะในอนาคตของประเทศไทย จะมีการใช้มิเตอร์อัจฉริยะ (AMI) หรือมิเตอร์อัตโนมัติ (AMR) เชื่อมต่ออุปกรณ์เหล่านี้เข้ามาในโครงข่ายสื่อสารหลัก โครงสร้างพื้นฐานการสื่อสารนี้มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งต่อแนวทางการดำเนินการโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะในประเทศไทย ปัจจุบันการไฟฟ้าในประเทศไทยยังไม่มีโครงข่ายปลายทางเป็นของตนเอง แต่ที่มีใช้งานบางส่วนเป็นการเช่าใช้จากผู้ให้บริการโทรคมนาคมทั้งแบบวงจรเช่าและระบบ GPRS ปัจจุบัน เทคโนโลยีสำหรับโครงข่ายปลายทางที่มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายในต่างประเทศ ได้แก่ ADSL, PLC, WiFi Mesh, ZigBee, WiMAX และเครือข่ายวิทยุภายใน เป็นต้น อย่างไรก็ตาม เทคโนโลยีที่มีการนำมาประยุกต์ใช้งานในโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะอย่างแพร่หลายในโครงการสาธิตต่างๆที่มีอยู่ในต่างประเทศ คือ GPRS, PLC และ ZigBee สำหรับโครงการนี้ เมื่อพิจารณาความเหมาะสมของพื้นที่ดำเนินการ โดยพิจารณาจากปัจจัยด้านระยะทาง โครงสร้างพื้นฐานการสื่อสารที่มีอยู่เดิมในพื้นที่ ในโครงการนี้จึงพิจารณาเทคโนโลยี GSM/GPRS, PLC และ ZigBee สำหรับใช้ในการสื่อสารรับส่งข้อมูลระหว่างมิเตอร์อัจฉริยะกับศูนย์บริหารจัดการพลังงาน เนื้อหาในหัวข้อนี้จึงเป็นการสรุปการทดสอบและเปรียบเทียบวิธีการสื่อสารแต่ละประเภทที่ได้จากการดำเนินการทดสอบในพื้นที่ดำเนินการ ประเด็นสำคัญในการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทดสอบด้านเทคนิค ได้แก่ผลสัมฤทธิ์ผลในการรับส่งข้อมูล การทดสอบการทำงานสำหรับการให้บริหารจากปลายทางหนึ่งไปอีกปลายหนึ่งซึ่งในส่วนนี้จะเน้นแอพพลิเคชั่นที่ใช้วิเคราะห์สำหรับศูนย์บริหารจัดการพลังงาน ในโครงการนี้ได้แบ่งประเภทการทดสอบของการสื่อสารข้อมูลผ่านอุปกรณ์โมเด็มเป็น 3 ประเภทคือ อุปกรณ์โมเด็มแบบ GSM/GPRS, อุปกรณ์โมเด็มแบบ Zigbee และอุปกรณ์โมเด็มแบบ PLC ดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

อุปกรณ์ GSM/GPRS Modem สำหรับการสื่อสารผ่านโครงข่าย GSM ทางโครงการได้ทำการติดตั้งอุปกรณ์โมเด็ม GSM/GPRSจำนวน 1 ชุดสำหรับมิเตอร์ไฟฟ้า 1 เครื่อง อุปกรณ์โมเด็ม GSM/GPRS เป็นอุปกรณ์สำหรับการสื่อสารข้อมูลผ่านโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM ที่มีพื้นที่การสื่อสารครอบคลุมทั่วประเทศ สามารถสื่อสารข้อมูลในพื้นที่ห่างไกลจากเขตเมือง แต่การสื่อสารผ่านโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่นี้มีค่าใช้จ่ายของการสื่อสารข้อมูล และอุปกรณ์มีราคาแพงเมื่อเทียบกับการสื่อสารแบบอื่นๆ

ซึ่งอุปกรณ์โมเด็ม GSM/GPRS ที่เลือกใช้ในโครงการนี้มีคุณสมบัติการใช้งาน (Specification) ดังต่อไปนี้

1. รองรับ Power supply DC voltage : 9V - 30V
2. ทำงานที่อุณหภูมิ (Operational Temperature Range) ระหว่าง -40°C to +85°C
3. ปริมาณการใช้พลังงาน (Power consumption)
   - ขณะหยุดทำงาน น้อยการ 35 uA
   - ขณะรอรับโทรศัพท์ ไม่เกิน 1.25 mA
4. มีขั้วต่อสายอากาศ (Antenna Connection) แบบ SMA Connector

- การสื่อสารด้วยคลื่นวิทยุ

1. รองรับการใช้งานระบบ GSM ย่านความถี่ 850, 900, 1800, และ 1900 MHz สามารถให้พลังงาน (Output Power) ตามมาตรฐาน GSM
2. Class 4 (2W) สำหรับย่านความถี่ EGSM900/GSM850
3. Class 1 (1W) สำหรับย่านความถี่ DCS1800/PCS1900
4. สนับสนุนการใช้กับ SIM Card แบบ 3V และแบบ 1.8 V
5. สนับสนุนการใช้งาน GPRS Multi-slot Class แบบ Class 10 (3+2 & 4+1)
6. สนับสนุนการใช้งาน GPRS baud rate ที่ความเร็ว DL up to 85.6 kbps, UL up to 42.8 kbps
7. สามารถใช้งาน GPRS Coding Scheme แบบ CS1 to CS4
8. มีคุณสมบัติเทียบเท่ากับโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบ Mobile Station Class B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การเชื่อมต่อข้อมูล

1. มีช่องต่อแบบ RS232 Interface
2. สนับสนุนการใช้ชุดคำสั่ง AT command set ตามมาตรฐาน GSM 07.05; 07.07; 07.10 Proprietary AT commands
3. สนับสนุนการใช้งานแบบ Data over CSD ความเร็ว 9.6 kbps
4. สนับสนุนการเชื่อมต่อข้อมูลสำหรับอินเตอร์เน็ต (Internet connectivity embedded) แบบ TCP, FTP, UDP, SMTP, POP3

- ช่องสัญญาเสียง (Audio Interface)

1. สนับสนุน Voice codecs แบบ HR, EFR, FR, AMR
2. มีช่องต่อสัญญาณเสียงแบบ Analog audio interface
3. สามารถทำ Echo Cancellation และ Noise reduction
4. มีช่องเชื่อมต่อสัญญาณเสียงแบบ Digital (PCM) interface

- ฟังก์ชั่นสนับสนุนอื่นๆ (Features)

1. รองรับระบบ Automatic hang up for data call
2. รองรับระบบ Internal Phonebook
3. รองรับระบบ Calling Number แบบ CLIP/CLIR/COLP/COLR
4. รองรับระบบ Call wait/call hold, Conference call, Call forwarding, Call Barring
5. สนับสนุนการใช้งาน FDN, USSD, SIM Toolkit, AoC, PDU and Text mode SMS support, MMS support (dedicated AT commands)

มีโมดูลการเตือน (Module reset/alarm) ด้วยการใช้ RTC

- การใช้งานเชิงพื้นที่ (Localization) สามารถดูข้อมูล SMS CB, Cell ID, Network cells measurement
- การรักษาความปลอดภัย (Security)

1. สนับสนุนการใช้ SIM lock
2. สามารถใช้งานร่วมกับ Device lock

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.10 โมเด็มสำหรับเชื่อมต่อระบบ GSM และ GPRS สองระบบที่ใช้ในโครงการ

รูปที่ 3.11 อุปกรณ์ติดตั้งและ Server

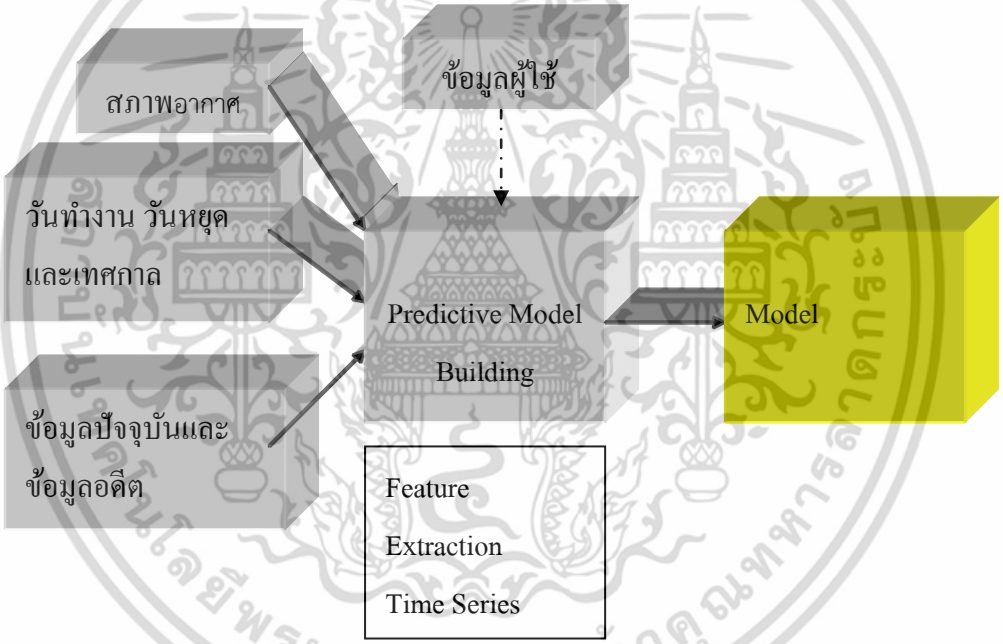
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ฟังก์ชันทางสถิติและดัชนีชี้วัดพฤติกรรมผู้ใช้ไฟ

4.1 ฟังก์ชันทางสถิติ

งานวิจัยนี้จะเป็นการนำข้อมูลที่ได้จาก Smart meter มาทำการประมวลผลโดนการใช้โปรแกรมทำนายด้วยโครงข่ายประสาทเทียมและเทคนิคสมการถดถอย ซึ่งลักษณะการออกแบบแบบจำลองจะมีลักษณะดังนี้

วิธีวิเคราะห์และวิธีการที่จะนำมาใช้ในโปรแกรมนี้ โครงสร้างของโมเดลการคำนวณสามารถเขียนได้ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 การสร้างแบบจำลองทำนาย (predictive model)

ในส่วนนี้จะประกอบด้วยขั้นตอน 3 ขั้นตอนดังนี้

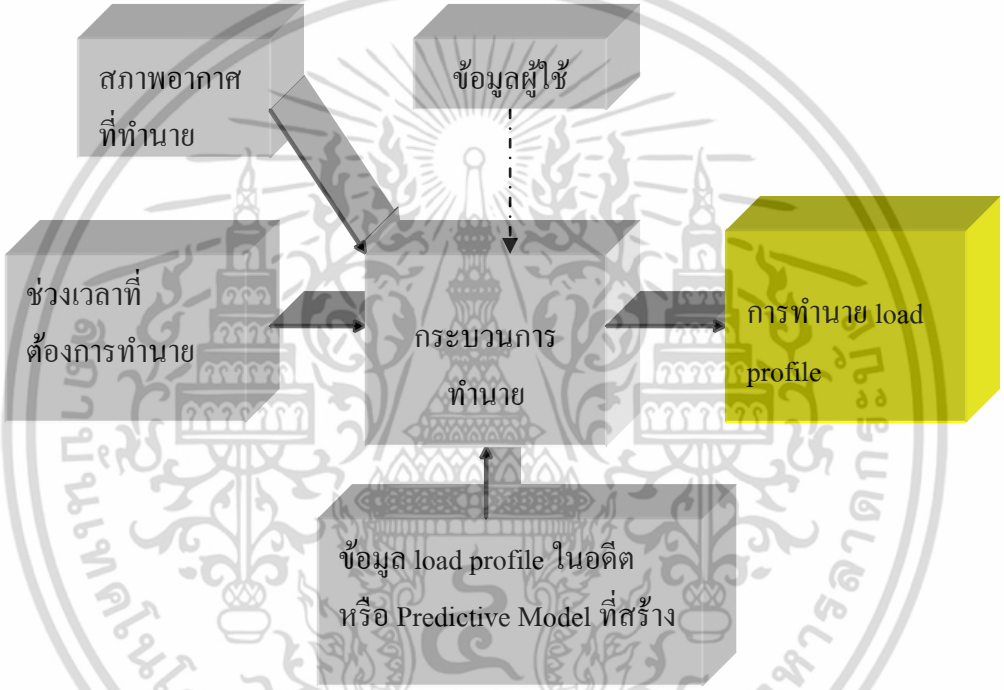
1. ป้อนอินพุทเพื่อสร้างแบบจำลอง ซึ่งแบ่งอินพุทออกเป็นสามกลุ่มใหญ่ คือ สภาพอากาศ วันทำงานและวันหยุดและข้อมูลของ load profile ในอดีตที่เก็บมาจากมิเตอร์อัจฉริยะที่ติดตั้งในงานวิจัย

2. เลือกแบบจำลองการทำนาย predictive model ที่ต้องการสร้างอาทิเช่น การแปลง Feature ที่สนใจ การดำเนินการเทคนิคการถดถอย (regression) หรืออาจเป็นในรูปแบบของโครงข่ายประสาทเทียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ดำเนินการสร้างโมเดลตามแต่ละวิธีการในแบบจำลอง เช่น กรณีของเทคนิคการถดถอย (regression) จะใช้เทคนิคกำลังสองน้อยที่สุด ในส่วนนี้อาจใช้เทคนิคแบบการถดถอยไม่เป็นเชิงเส้นในกรณีที่ข้อมูลมีจำนวนมากและซับซ้อน กรณีของโครงข่ายประสาทเทียมจะอาศัยวิธีเกรเดี้ยน (gradient method) หรือการแพร่ย้อนกลับ (back propagation method)

เมื่อได้โมเดลของระบบแล้วในส่วนของการทำนาย ในงานวิจัยนี้จะดำเนินการตามบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 การทำนาย load profile

ในส่วนนี้จะประกอบด้วยขั้นตอน 3 ขั้นตอนดังนี้

1. ป้อนอินพุทเพื่อการทำนาย ซึ่งในงานวิจัยนี้เน้น (focus) บนอินพุทสามกลุ่มคือ สภาพอากาศที่ทำนาย วันทำงานและวันหยุดและข้อมูลของผู้ใช้ (ถ้ามี)

2. เลือกแบบจำลองการทำนาย predictive model ที่ได้มาจากกระบวนการสร้างแบบจำลอง

3. ป้อนอินพุทเข้าแบบจำลองและดำเนินการสร้าง load profile ที่เกิดจากการทำนาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนของการสร้างคำแนะนำต่อผู้ใช้จะต้องอาศัยข้อมูลของผู้ใช้มากเพียงพอเนื่องจากในการดำเนินการทาง DSM นั้นผู้ใช้อาจมีเงื่อนไขข้อจำกัดบางอย่างที่ทำให้ load profile ไม่เป็นไปตามกลุ่มหรืออาจไม่เหมาะสม คำแนะนำที่ดีจึงต้องประกอบด้วยข้อมูลในส่วนนี้อย่างมาก คำแนะนำต่อผู้ใช้จึงเป็นคำแนะนำในเบื้องต้นเพื่อจะประเมินว่า หากผู้ใช้สามารถดำเนินการตามคำแนะนำดังกล่าวได้จะมีผลประหยัดเท่าใดและสร้างแรงจูงใจในการดำเนินการ

เทคนิคในการทำนายในงานวิจัยนี้มีสองเทคนิคคือ เทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมจะใช้ในกรณีการทำนายระยะยาวส่วนในระยะสั้นจะใช้เทคนิคสมการถดถอย ดังมีรายละเอียดโดยสังเขปดังนี้

1.1.1 เทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม

โครงข่ายประสาทเทียมเป็นการจำลองการทำงานของเซลล์ประสาท ซึ่งได้มีการพัฒนาให้มีความสามารถในการแก้ปัญหาของระบบที่ไม่เป็นเชิงเส้น ได้แก่ การจำแนก (Classification) การประมาณค่า (Approximation) และการรู้จำ (Recognition) การสร้างแบบจำลองของโครงข่ายประสาทเทียมเป็นการเลียนแบบการทำงานของเซลล์ประสาทโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematic Model) แล้วนำมาเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ให้ทำงานตามแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นั้น ซึ่งการสร้างแบบจำลองเซลล์ประสาทเทียมเป็นการจำลองโครงสร้างเซลล์ประสาทของมนุษย์ที่มีโครงสร้างดังรูปที่ 4.3

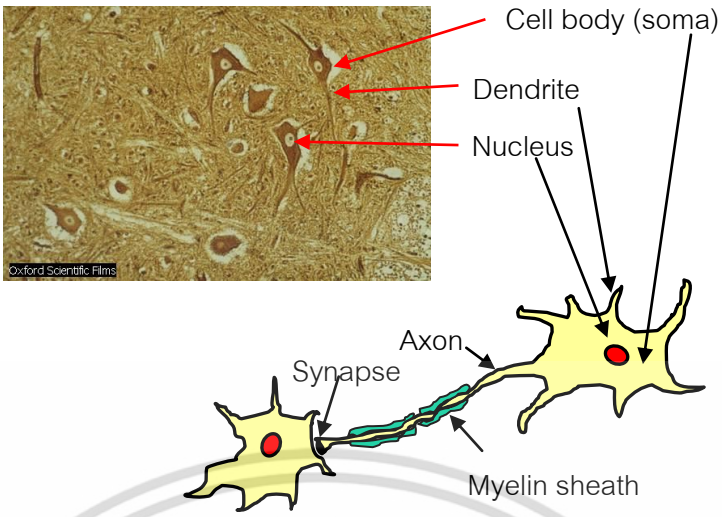
โครงสร้างของเซลล์ประสาทประกอบด้วยส่วนที่สำคัญดังนี้

1. ตัวเซลล์ (Cell Body) มีลักษณะเป็นรูปทรงปิรามิดหรือทรงกระบอก

2. เดนไดรท์ (Dendrite) มีลักษณะเป็นเส้นใยมีหน้าที่รับสัญญาณไฟฟ้าเข้าสู่ตัวเซลล์และส่งต่อไปยังเซลล์อื่น

3. แอกซอน (Axon) มีลักษณะเป็นสายส่งสัญญาณของเซลล์ที่ใช้ส่งสัญญาณไปยังเซลล์อื่น โดยส่วนปลายของแอกซอนมีอวัยวะที่เรียกว่า ไซแนพส์ (Synapse) ต่อกับส่วนปลายของเดนไดรท์ของเซลล์อื่น และมีฉนวนหุ้มเรียกว่า มายลินซีท (Myelin Sheath)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 โครงสร้างของเซลล์ประสาท

การทำงานของเซลล์ประสาทจะรับข้อมูลอินพุทผ่านทางจุดเชื่อมต่อระหว่างเซลล์ที่เรียกว่า ไซแนพส์ส่งไปยังเดรนไดรท์ที่อยู่รอบตัวเซลล์ สัญญาณข้อมูลอินพุทจะได้รับการประมวลผลตามกระบวนการที่เกิดขึ้นภายในเซลล์ และสัญญาณเอาท์พุทจากเซลล์ประสาทจะถูกส่งออกทางแอกซอนและผ่านทางไซแนพส์ไปสู่เซลล์อื่นต่อไป

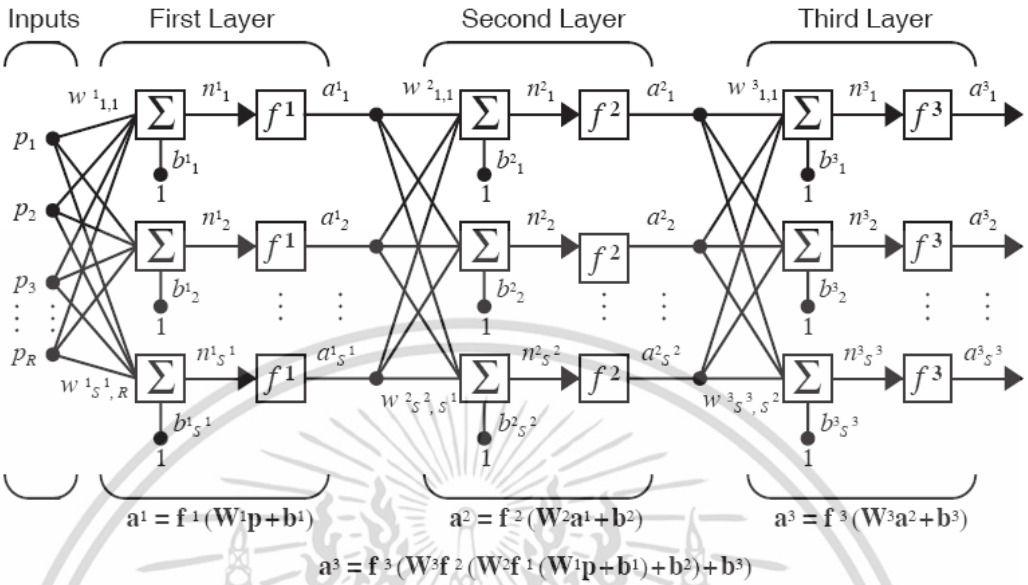
แบบจำลองที่เป็นพื้นฐานของโครงข่ายประสาทเทียมคือแบบจำลองแบบโครงข่ายประสาทเทียมหลายชั้น (Multi Layer Neuron)

โครงข่ายประสาทเทียมหลายชั้นเป็นการนำโครงข่ายแบบชั้นเดียวมาเชื่อมต่อกัน โดยในแต่ละชั้นประกอบด้วยค่าน้ำหนักและค่าไบแอสภายในแต่ละชั้นของโครงข่าย การระบุค่าแต่ละค่าของชั้นโครงข่ายจึงต้องกำหนดเป็นตัวเลขอยู่เหนือค่าตัวแปรมุมขวาบน (Superscript) ตัวอย่างเช่น เมตริกซ์ค่าถ่วงน้ำหนักชั้นแรกของโครงข่ายเขียนได้เป็น W^1 และเมตริกซ์ค่าถ่วงน้ำหนักชั้นที่สองเขียนได้เป็น W^2 ซึ่งค่าตัวแปรของโครงข่ายแบบสามชั้น (Three-Layer Network) แสดงดังแบบจำลองของโครงข่ายในรูปที่ 4.3

การใช้โครงข่ายประสาทเทียมแก้ปัญหาที่มีความซับซ้อนและต้องการความถูกต้องมากกว่าแบบจำลองอย่างง่าย การเพิ่มจำนวนชั้นจะทำให้โครงข่ายมีความสามารถในการคำนวณหาค่าผลลัพธ์ตามที่ต้องการได้ ซึ่งผลลัพธ์ของโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้แบบจำลองหลายชั้นเป็นไปตามสมการด้านล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$a^3 = f^3(W^3 f^2(W^2 f^1(W^1 p + b^1) + b^2) + b^3)$$



รูปที่ 4.4 แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมหลายชั้น

การเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม การฝึกให้โครงข่ายประสาทเทียมเรียนรู้มีจุดมุ่งหมายเพื่อปรับค่าถ่วงน้ำหนัก (W) และค่าไบแอส (b) ให้มีค่าที่เหมาะสำหรับการคำนวณปัญหาแต่ละชนิด เมื่อนำข้อมูลเข้ามาผ่านการคูณกับค่าถ่วงน้ำหนักและรวมกับค่าไบแอสที่ได้รับการปรับจากการฝึกแล้ว จะทำให้โครงข่ายหาผลลัพธ์ในการคำนวณใกล้เคียงกับค่าเป้าหมายมากยิ่งขึ้น ในงานวิจัยนี้เลือกการเรียนรู้แบบมีการสอน (Supervised Learning) ซึ่งเป็นการเรียนรู้โดยมีชุดข้อมูลอินพุทและชุดข้อมูลเอาท์พุทเป้าหมาย เรียกว่า ชุดข้อมูลการสอน (Training Set) ซึ่งปกติการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมจะใช้ชุดข้อมูลการสอนหลายชุด ในระหว่างการสอนจะเกิดผลลัพธ์จริงขึ้น โดยผลต่างระหว่างผลลัพธ์กับเป้าหมายคือค่าความคลาดเคลื่อนจะถูกป้อนกลับสู่โครงข่ายเพื่อทำให้ค่าลดลงจนถึงระดับที่ยอมรับ ตัวอย่างการสอนหรือการเรียนรู้เช่น การเรียนรู้แบบแพร่กลับแสดงดังรายละเอียดข้างล่างนี้ ฟังก์ชันกระตุ้น (activation function) สามารถเลือกได้จากตารางต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ฟังก์ชันกระตุ้น

ฟังก์ชันกระตุ้น (activation function)	$f(x)$
Hard Limit	$f(x)=0$, $x<0$ $f(x)=1$, $x\geq 0$
Symmetrical Hard Limit	$f(x)=-1$, $x<0$ $f(x)=+1$, $x\geq 0$
Linear	$f(x)=x$
Saturating Linear	$fx)=0$, $x<0$ $f(x)=x$, $0\leq x\leq 1$ $f(x)=1$, $x>1$
Symmetrical Saturating Linear	$f(x)=-1$, $x<-1$ $f(x)=x$, $-1\leq x\leq 1$ $f(x)=1$, $x>1$
Log-Sigmoid	$f(x)=\frac{1}{1+e^{-x}}$
Hyperbolic Tangent Sigmoid	$f(x)=\frac{e^{x}-e^{-x}}{e^{x}+e^{-x}}$
Positive Linear	$f(x)=0$, $x<0$
Competitive	$f(x)=1$ neuron with max x $f(x)=0$ all other neurons

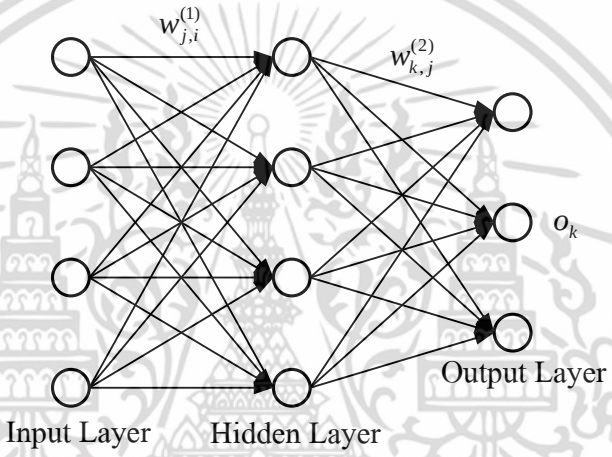
การเรียนรู้แบบแพร่กลับเป็นวิธีการฝึกสอนที่นิยมใช้กับโครงข่ายประสาทเทียมหลายชั้น (Multilayer Perceptron Network) กล่าวคือ มีการป้อนกลับของค่าข้อมูลที่ได้จากการประมาณค่าเพื่อทำการปรับค่าถ่วงน้ำหนัก (w) และค่าไบแอส (b) จากชั้นเอาท์พุทกลับสู่ชั้นอินพุทของโครงข่ายในลักษณะของการย้อนกลับจากแบบจำลองชั้นสุดท้ายมาสู่ชั้นต้น

การปรับค่าถ่วงน้ำหนักให้เหมาะสม (Update Weights and Biases) สถาปัตยกรรมของโครงข่ายที่มีการเรียนรู้แบบแพร่กลับจะต้องประกอบไปด้วยชั้นของโครงข่ายปกติ

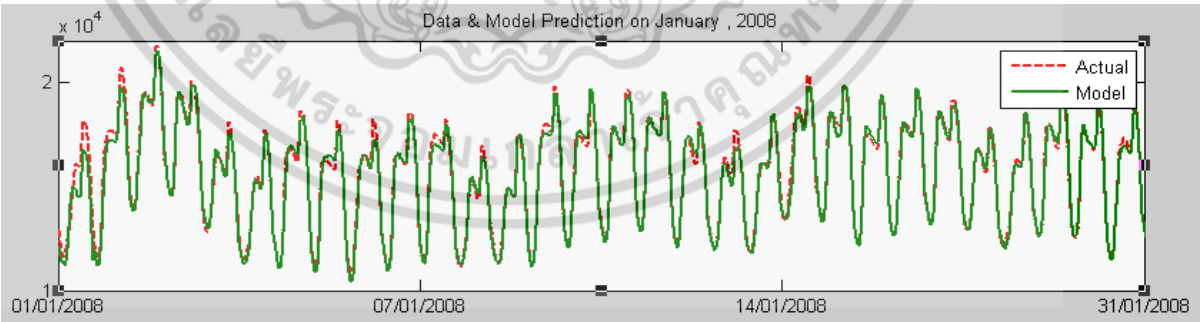
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาจใช้โครงข่ายสามชั้นที่เชื่อมโยงถึงกันหมด แต่ไม่ได้เชื่อมโยงกันระหว่างโนดในชั้นเดียวกัน เพื่อทำให้สามารถจำแนกรูปแบบที่ไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear Separable) มีโครงสร้างดังรูปที่ 4.22

การสอนโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่กลับ เป็นการปรับค่าน้ำหนักถ่วงในแต่ละกิ่งของแบบจำลองโครงข่าย ในงานวิจัยนี้ใช้เทคนิคในการปรับค่าน้ำหนักและค่าไบแอสจากวิธีการแพร่ย้อนกลับ (back propagation) ร่วมกับกฎของลีเวนเบอร์กมาร์ควอร์ด (Levenberg Marquardt) ในการช่วยปรับค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบแอสให้ลู่เข้าอย่างเหมาะสมมากขึ้น ตัวอย่างผลการเรียนรู้และการทำนายด้วยเทคนิคนี้แสดงในรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่กลับ



รูปที่ 4.6 ผลการจำลองด้วยโครงข่ายประสาทเทียมของ load profile โดยป้อนข้อมูลรายวัน

ดังนั้น การทำนายด้วยวิธีโครงข่ายประสาทียม จึงเหมาะสมกับชุดข้อมูลที่มีปริมาณมากๆและการทำนาย โหลดแบบระยะเวลาล่วงหน้าในระยะยาว เนื่องจากจะมีความแม่นยำในการทำนายใกล้เคียงกับข้อมูลจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.1.2 เทคนิคสมการถดถอย

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของลักษณะกราฟของโหลด หรือ load profile โดยการทำนายด้วยเทคนิคการถดถอยหรือ Regression ในรูปแบบข้อมูลอนุกรมเวลาหรือ time series data เพื่อใช้ประโยชน์ในการทำนายโหลดระยะสั้น อาทิเช่น ทำนายการใช้พลังงานในหนึ่งหรือสองชั่วโมงข้างหน้า จากพฤติกรรมการใช้ในปัจจุบัน ซึ่งการวิเคราะห์ดังกล่าวจะเป็นประโยชน์ต่อการให้คำแนะนำในโปรแกรมการจัดการด้านความต้องการใช้พลังงาน (Demand Side Management) เป็นอย่างมาก เนื่องจากสามารถที่จะสร้างหรือออกแบบคำแนะนำได้อย่างปัจจุบันมากขึ้นและสามารถส่งข้อมูลคำแนะนำที่เป็นปัจจุบัน (Realtime) สำหรับแนวโน้มการใช้พลังงานและข้อแนะนำที่เป็นประโยชน์ในเชิงการจัดการพลังงาน

โดยปกติสมการการหาค่าพารามิเตอร์สำหรับระบบที่มีอินพุท สามารถกำหนดแบบจำลองการถดถอยหรือ regression ในรูปแบบต่างๆได้ โดยปกติวิธีการนี้นิยมใช้ในการหาแบบจำลองเพื่อหาค่าทางพลศาสตร์ของระบบซึ่งมักนิยมเรียกว่าวิธีการหาพารามิเตอร์ของระบบหรือเทคนิคไอเด็นติฟิเคชั่น (system identification) โดยทั่วไปวิธีการนี้จะป้อนอินพุทเข้ายังระบบที่มีการป้อนกลับและจับสัญญาณเอาท์พุทจากตัวตรวจจับจากนั้นจะใช้เทคนิคกำลังสองน้อยที่สุด (Least square) และการแก้สมการถดถอย (regression) มาหาพารามิเตอร์ของแบบจำลองทางพลศาสตร์ที่เหมาะสมที่สุด การดำเนินการของเทคนิคนี้จะอาศัยข้อมูลที่วัดได้จากระบบใดระบบหนึ่ง ซึ่งเป็นค่าอินพุทและเอาท์พุทของระบบที่ต้องการศึกษานั้น โดยในการหารูปแบบของระบบพลวัตจะมีวิธีประมาณการหรือแบบจำลองหลายแบบ ซึ่งรูปแบบในการประมาณแต่ละแบบจะมีความแตกต่างกัน อาทิเช่น แบบจำลองปริภูมิสถานะเชิงเส้น(Linear state-space model) จะใช้รูปแบบ OE (Output Error), ARX(Auto Regressive with external input) หรือ ARMAX(Auto Regressive Moving Average with external input) ตัวอย่างการประมาณค่าโดย OE แสดงดังนี้

แบบจำลองนี้อาศัยการประมาณค่าความผิดพลาดในการสร้างฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบซึ่งรูปแบบโครงสร้างของการประมาณการแบบ OE จะเป็นดังนี้

$$y(t) = \frac{B(q)}{F(q)} u(t - nk) + e(t) \qquad (4.1)$$

สมการที่ (4.1) อยู่ในรูปของสมการไม่ต่อเนื่องทางเวลา (Discrete Time) โดยที่ y(t) คือ ค่าเอาท์พุท ณ เวลา t, u(t) คือ ค่าอินพุท ณ เวลา t, nb คือ จำนวนซีโร่บวกหนึ่งของระบบบวกหนึ่ง, nf คือ จำนวนโพลของระบบ, nk คือ จำนวนการสุ่มข้อมูลก่อนที่อินพุตจะมีผลต่อเอาท์พุทของระบบ, e(t) คือค่าความผิดพลาด อนึ่ง หากเขียนสมการดังกล่าวในรูปของสมการต่อเนื่องทางเวลาแล้วจะได้ดังนี้ เมื่อแปลงให้อยู่ในรูปสมการต่อเนื่องของเวลา (Continuous Time) เพื่อหาฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบได้ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$G(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{B(s)}{F(s)} = \frac{b_{nb}s^{(nb-1)} + b_{nb-1}s^{(nb-2)} + ... + b_1}{s^{nf} + f_{nf}s^{(nf-1)} + ... + f_1} \quad (4.2)$$

คำตอบที่ได้จากการทำวิธีกำลังสองผิดพลาดน้อยที่สุด (least square error method) เมื่อวัดข้อมูลค่าอินพุทและเอาท์พุทของระบบ เพื่อนำไปสร้างแบบจำลองด้วยการประมาณการรูปแบบ OE โดยในการใส่ค่า nf nk และ nb จะอาศัยการสุ่มค่าตามแบบของ Black box model จะได้แบบจำลองของระบบตามทฤษฎีการหาพารามิเตอร์ระบบ อย่างไรก็ตามในระบบที่ใช้ในการวิเคราะห์แบบจำลองถดถอยของ load profile นี้จะใช้หลักการเดียวกัน เพียงแต่ระบบจะไม่มีอินพุท นั่นคือการทำนายข้อมูลในปัจจุบันจะอาศัยข้อมูลถดถอยในอดีตเท่านั้น อาทิเช่นโมเดลแบบถดถอยแบบ Auto Regression ซึ่งกรณีมีอินพุทจะเขียนดังนี้

$$A(z-1)y(t) = B(z-1)u(t) + e \quad (4.3)$$

เมื่อ z-1 แทนการเลื่อนหนึ่งการสุ่มตัวอย่าง

u และ y คือ อินพุทและเอาท์พุทของระบบ

ซึ่ง ค่าพารามิเตอร์ใน A และ B หาได้จากการวิเคราะห์กำลังสองน้อยที่สุดซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

$$e = y - \varphi^T \theta \quad (4.4)$$

โดยที่ e คือค่าความผิดพลาด φ คือเมตริกส์ของข้อมูลและ θ ค่าพารามิเตอร์ในฟังก์ชัน A และ B ที่จะทำการประมาณค่า จากทฤษฎีการวิเคราะห์แบบกำลังสองน้อยที่สุด จะได้พารามิเตอร์จากการทำนายได้เท่ากับ

$$\hat{\theta} = \left(\varphi \cdot \varphi^T\right)^{-1} \cdot \varphi \cdot y \quad (4.5)$$

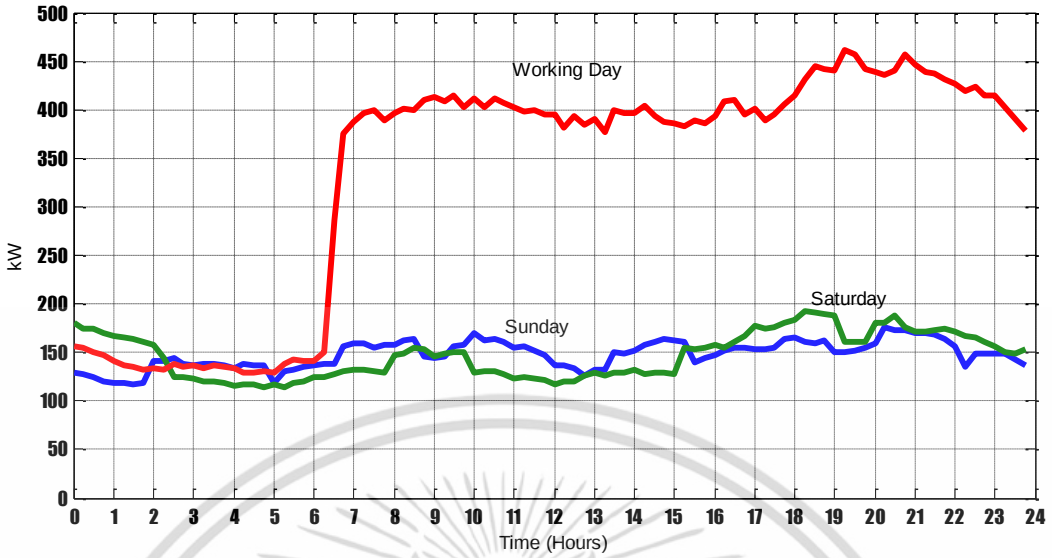
อย่างไรก็ตาม ในกรณีการทำนายโหลดการใช้พลังงานจะเป็นลักษณะไม่มีอินพุท ดังนั้นกรณีของงานวิจัยนี้การทำนายโหลดการใช้พลังงานสมการนี้จะเปลี่ยนเป็น

$$A(z-1)y(t) = e \quad (4.6)$$

ตัวอย่างต่อไปนี้เป็นการประยุกต์ใช้โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นในการวิเคราะห์และทำนายโหลดในกรณีอุตสาหกรรมต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

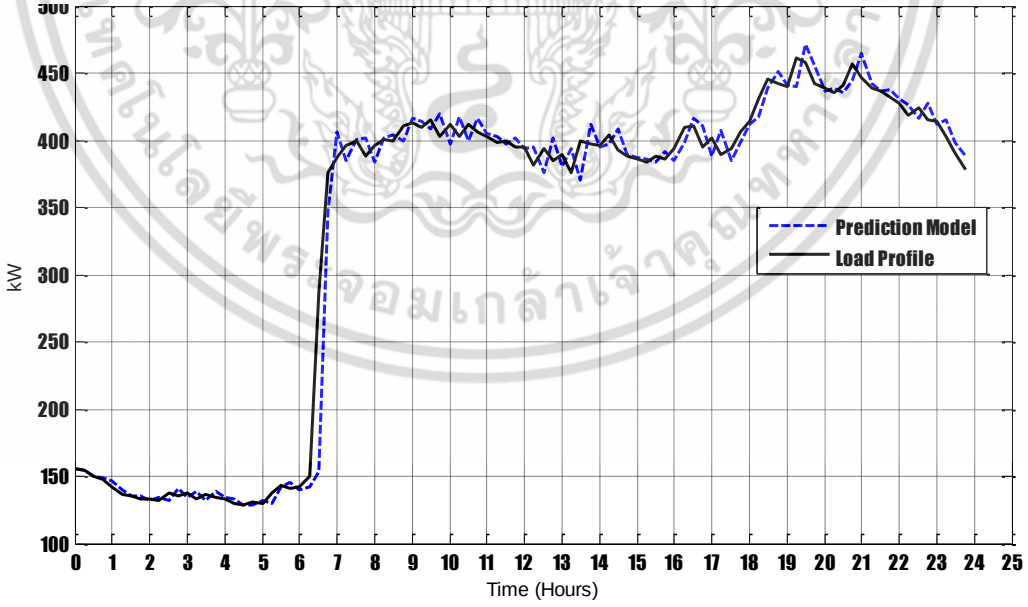
ตัวอย่างที่ 4.1 การวิเคราะห์ในส่วนของกลุ่มโรงแรม แสดงดังรูปที่ 4.24



รูปที่ 4.7 กราฟการใช้พลังงานของโรงแรม ในหนึ่งวันในช่วงวันทำงาน (กราฟสีแดง) วันเสาร์ (กราฟสีเขียว) และวันอาทิตย์ (กราฟสีน้ำเงิน)

จากรูปที่ 4.7 เป็นกราฟ load profile ที่เก็บข้อมูลทุก 15 นาทีเป็นเวลา 24 ชั่วโมง สำหรับประเภทของวันต่างๆ จากรูปจะเห็นได้ว่า โดยมีการทำงานและใช้พลังงานในวันเสาร์และอาทิตย์ด้วยแต่ไม่มากเท่ากับ

การใช้งานในช่วงวันทำงาน จากภาพพบว่ามีค่าดีมานสูงสุดอยู่ที่ 460.95 kW



รูปที่ 4.8 กราฟการทำนายการใช้พลังงานของโรงแรมในหนึ่งวันทำงานเปรียบเทียบกับกราฟ load profile จริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการวิเคราะห์สมการถดถอยโดยใช้ข้อมูลของวันทำงานสามารถได้โมเดลของสมการที่47 ดังนี้

$$kW(t) = 1.449\ kW(t-1) - 0.5272\ kW(t-2) + 0.08083\ kW(t-3) \quad (4.7)$$

จากรูปที่ 4.8 พบว่าสมการการทำนายสามารถทำนายการใช้พลังงานโหลดได้อย่างแม่นยำและใช้ในการทำนายการใช้โหลดระยะสั้น 0.25 ถึง 2 ชั่วโมงข้างหน้าได้

4.2 ดัชนีชี้วัดพฤติกรรมผู้ใช้ไฟฟ้า

สำหรับฟังก์ชันที่ใช้ระบุดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพใช้พลังงานขั้นพื้นฐาน (KPI) ในแต่ละกลุ่มนั้น ผลของ KPI ที่ได้จะเป็นดัชนีที่ช่วยส่งเสริมให้ประหยัดพลังงานและปรับเปลี่ยนพฤติกรรมในการใช้พลังงานได้ โดยได้นำเสนอค่าในการใช้งานวิเคราะห์ ดังนี้

1. ค่าดัชนีพลังงาน ค่าการใช้พลังงานต่อหน่วยการผลิต (Specific Energy Consumption, SEC) ค่านี้ในส่วนของโรงงานจะแสดงเป็นหน่วย MJ/หน่วยการผลิต ในส่วนของอาคารธุรกิจและบ้านพักอาศัยจะแสดงเป็นหน่วย MJ/M2
2. ค่าตัวประกอบโหลด (Load Factor, LF) ซึ่งค่านี้จะวัดอัตราส่วนของโหลดเฉลี่ยต่อโหลดสูงสุดของผู้ใช้ไฟฟ้า หากค่านี้มีค่าสูงจะหมายถึงการใช้โหลดสม่ำเสมอ และมีผลต่อค่าไฟฟ้าต่อหน่วยสำหรับกลุ่มผู้ใช้กลุ่มอาคารและโรงงาน
3. ค่าตัวประกอบกำลัง (Power Factor, PF) เป็นอัตราส่วนของกำลังไฟฟ้าจริงต่อกำลังไฟฟ้าปรากฏ ค่านี้เป็นดัชนีการใช้ไฟฟ้าในรูปแบบหนึ่ง
4. ค่าทั้งสามข้างต้นแสดงเป็นรูปแบบกราฟสามมิติเพื่อให้ง่ายต่อการอ่านทั้งสามค่าพร้อมกัน ดังแสดงในรูปที่ 3
5. เปอร์เซ็นต์การใช้ไฟฟ้า เป็นค่าที่คำนวณจาก

$$100 \times \frac{E_c}{E_{\lim}}$$

E_c เมื่อ คือ พลังงานที่ใช้ในปัจจุบันของหน่วยวัด

$E_{\lim}$ คือ ค่าพลังงานที่จำกัดไว้โดยผู้ใช้ (เป็นค่าเป้าหมาย) หรือกำหนดโดยผู้ผลิตไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
ผลการวิเคราะห์ข้อมูลและอภิปรายผล

5.1 ผลที่การวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากมิเตอร์อัจฉริยะ

โครงการวิจัยนี้ได้ดำเนินการเก็บตัวอย่างข้อมูลจากการส่งข้อมูลของ Smart Meter จำนวน 60 ตัวที่ติดตั้งยังกลุ่มตัวอย่างต่างๆ 3 กลุ่ม คือ โรงงานอุตสาหกรรม จำนวน 34 ตัว อาคารธุรกิจ จำนวน 20 ตัว และบ้านพักอาศัย จำนวน 6 ตัว โดยส่งข้อมูลผ่านระบบ GSM/GPRS มายัง DSM Center จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์ทางสถิติในลักษณะกราฟของโหลด หรือ Load profile และวิเคราะห์พฤติกรรมการใช้พลังงานในช่วงเวลาต่างๆ โดยใช้โมเดลฟังก์ชันการทำงานตามที่กล่าวมาข้างต้น ได้เป็นผลการทำนายเทียบกับข้อมูลโหลดของเดิม เพื่อให้ผู้ใช้ไฟฟ้าได้รับรู้ถึงพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้า และค่าไฟฟ้าเพื่อที่จะได้วางแผนและปรับเปลี่ยนพฤติกรรมให้เหมาะสม และคุ้มค่าทั้งในส่วนของภาคอุตสาหกรรม ภาคธุรกิจ และภาคครัวเรือนที่อยู่อาศัย พร้อมทั้งมีดัชนีชี้วัดค่าการใช้พลังงาน (KPI) ในการประเมินพฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าของตนเองด้วย ดังแสดงข้อมูลที่ได้จากโปรแกรมจัดการด้านอุปสงค์ (DSM) ที่โครงการได้พัฒนาขึ้นมา ดังแสดงผลของโปรแกรมในภาคผนวก ก

5.2 การวิจารณ์หรืออภิปรายผล

ในการนำ DSM ไปใช้ประโยชน์นั้น ผู้ใช้จะต้องมีความรู้และความเข้าใจในการดำเนินมาตรการ อย่างไรก็ดี การได้โปรแกรมจัดการพลังงานและโปรแกรมแสดงผลมิเตอร์อัจฉริยะที่พัฒนาขึ้นในโครงงานนี้ที่มีฟังก์ชันวิเคราะห์ทางสถิติ จะทำให้สามารถสร้างและออกแบบมาตรการทาง DSM ได้อย่างถูกต้องแม่นยำ ระบบที่พัฒนาขึ้นนอกจากจะเป็นการเก็บข้อมูลทางสถิติที่สำคัญแล้วยังเป็นระบบที่ช่วยในการวางแผนและมาตรการสำคัญๆทาง DSM เช่น การทำนายโหลดในอนาคต ซึ่งจะเปรียบเสมือนเป็นข้อมูลและเครื่องมือที่ช่วย และจะเป็นประโยชน์อย่างมากต่อการนำไปใช้ในการออกแบบมาตรการ

ในการทำนายโหลดโดยใช้ฟังก์ชันทางสถิตินั้น สามารถทำได้แม่นยำระดับที่น่าพอใจ นอกจากนี้ ข้อมูลสำคัญเช่น อุณหภูมิ การใช้พลังงาน ค่า SEC ค่า load factor ทั้งหมดจะถูกบันทึกเป็นประวัติของการใช้พลังงานของผู้ใช้ไฟฟ้าซึ่งสามารถเรียกมาดูเมื่อใดก็ได้ ช่วยให้การทำงานทางด้านพลังงานมีประสิทธิผลมากขึ้น

ทั้งนี้ในการทำนายค่าการใช้พลังงานในงานวิจัยนี้ จะเป็นการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ Load Profile ความแม่นยำก็จะอยู่ที่ชุดข้อมูลในอดีตที่มีอยู่ หากว่าชุดข้อมูลในอดีตมีมาก ก็ยิ่งจะทำให้ตัวโปรแกรมนั้นมีความแม่นยำสูงหรือใกล้เคียงมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กล่าวโดยสรุป ระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิผล เข้าใจง่าย เนื่องด้วยเป็นการแสดงผลในรูปแบบของ Load Profile และมีดัชนีชี้วัดที่เป็นค่า SEC ที่เป็นตัวประเมินการใช้พลังงานของในแต่ละภาคส่วนได้แก่ บ้านอยู่อาศัย อาคารธุรกิจ และโรงงานอุตสาหกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
บทสรุป

จากงานวิจัยนี้จะเห็นได้ว่าสามารถที่จะใช้ฟังก์ชันเชิงสถิติมาเป็นฐานข้อมูลในการวิเคราะห์พฤติกรรมการใช้พลังงานและทำนายแนวโน้มของการใช้พลังงาน เพื่อแสดงถึงปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่จะใช้ล่วงหน้า เพื่อการวางแผนและพัฒนาประสิทธิภาพการใช้พลังงานและจัดการความต้องการไฟฟ้า รวมทั้งการใช้ดัชนีชี้วัดผู้ใช้ไฟฟ้า ดังตัวอย่างของการแสดงผลข้อมูลจริงที่ได้มาจากมิเตอร์อัจฉริยะ ซึ่งการวิเคราะห์ดังกล่าวจะเป็นประโยชน์ต่อการให้คำแนะนำในโปรแกรมการจัดการด้านความต้องการใช้พลังงานเป็นอย่างมาก เนื่องจากสามารถที่จะสร้างหรือออกแบบคำแนะนำได้อย่างปัจจุบันมากขึ้นสำหรับแนวโน้มการใช้พลังงานและข้อแนะนำที่เป็นประโยชน์ในเชิงการจัดการพลังงานเพื่อพัฒนาประสิทธิภาพการใช้พลังงานและจัดการความต้องการไฟฟ้าได้ ผลจากการดำเนินการวิจัยพบว่าผลของโปรแกรมเป็นที่น่าพอใจ โดยคุณลักษณะและประโยชน์ของโปรแกรมสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ผู้ใช้ไฟฟ้าในกลุ่มอุตสาหกรรมและอาคารธุรกิจ สามารถประยุกต์ใช้ข้อมูลวิเคราะห์พลังงานจากโปรแกรม DSM ที่พัฒนาขึ้นในโครงการ ได้แก่ ค่าตัวประกอบโหลดหรือ load factor ค่าการใช้พลังงานจำเพาะหรือ SEC ประกอบการตัดสินใจในการดำเนินมาตรการ ตัวอย่างเช่น หากโรงงานมีค่า SEC สูงกว่าค่ามาตรฐานของกลุ่มโรงงานเดียวกัน โรงงานจะต้องพิจารณาดำเนินมาตรการทางพลังงานเพื่อลดต้นทุนหรือการใช้พลังงานในส่วนนี้ลง มิฉะนั้นอาจส่งผลต่อต้นทุนสินค้าและการแข่งขันทางธุรกิจด้วย การเข้าถึงข้อมูลในส่วนนี้จะทำได้รวดเร็วและเป็นปัจจุบันหากใช้โปรแกรม DSM ที่พัฒนาขึ้น

2. ในแง่ของผู้จำหน่ายไฟฟ้า ตัวประกอบโหลดจะเป็นดัชนีหนึ่งที่ทำให้ทางผู้จำหน่ายไฟฟ้าสามารถลดต้นทุนการผลิตลงได้ มาตรการการส่งเสริมให้โรงงานที่มีตัวประกอบโหลดต่ำปรับปรุงตัวประกอบโหลดของตัวเองได้จะสามารถทำได้อย่างรวดเร็วและเชื่อถือได้ ส่งผลให้การดำเนินมาตรการทันเวลาและสำเร็จ

3. ในแง่นโยบาย ระบบสมาร์ทมิเตอร์ที่พัฒนาขึ้นจะแสดงผลในแง่ของดัชนีสำคัญทางไฟฟ้าอาทิเช่น ค่า SEC ค่าตัวประกอบโหลดหรือ load factor ค่า load profile ฯลฯ โดยแสดงผลในแง่แต่ละมิเตอร์และในแง่ค่าเฉลี่ยของกลุ่มที่สนใจได้ หากพัฒนาระบบมิเตอร์นี้เข้ากับกลุ่มตัวอย่างขนาดใหญ่ขึ้นจะทำให้สามารถเพิ่มความน่าเชื่อถือของตัวแทนกลุ่มข้อมูล และนำไปใช้ในการดำเนินการออกแบบมาตรการในการอุดหนุนทางการเงินหรือทางอื่นๆ โดยภาพรวมข้อมูลที่ได้จากโครงการนี้จะสนับสนุนแผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี(พ.ศ. 2554 ถึง พ.ศ. 2573) ของกระทรวงพลังงาน ซึ่งได้กำหนดเป้าหมายในการลดความเข้มการใช้พลังงานลง 25% ในปี 2573 เทียบกับปี 2548 การกำหนดนโยบายจากทางภาครัฐจะทำได้อย่างมีประสิทธิภาพและอ้างอิงข้อมูลจริงมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ในส่วนของผู้ใช้ไฟฟ้าแบบครัวเรือน สามารถตั้งค่าเป้าหมายในการประหยัดพลังงานโดยโปรแกรม DSM นี้จะแสดงลักษณะการใช้พลังงานเทียบกับค่าเป้าหมายของผู้ใช้ไฟฟ้า ทั้งในรูปแบบของหน่วยการใช้ไฟฟ้าและค่าไฟฟ้า ทำให้สามารถควบคุมการใช้พลังงานได้ด้วยตัวเอง อันเป็นเป้าหมายการพัฒนาพลังงานที่ยั่งยืน

5. โปรแกรมจะสนับสนุนการทำนายโหลดในอนาคต สามารถนำไปใช้การวางแผนและดำเนินมาตรการทาง DSM ได้อย่างมีประสิทธิผล

จากคุณลักษณะและประโยชน์ข้างต้นสามารถที่จะใช้เป็นต้นแบบโปรแกรมในการวิเคราะห์รวมถึงการประเมินผลสำเร็จของเทคนิคทาง DSM ที่ใช้คือ การนำข้อมูล load profile ไปวิเคราะห์หากลยุทธ์ทาง DSM ได้ หากผู้ใช้มีข้อมูลของ load profile จะทำให้สามารถตัดสินใจเลือกวัตถุประสงค์และกลยุทธ์ของ DSM ที่จะใช้ในการจัดการพลังงานได้อย่างเหมาะสมและรวดเร็ว รวมถึงสามารถนำ load profile ในอดีตมาเปรียบเทียบกับ load profile ในปัจจุบันเพื่อประเมินผลการดำเนินมาตรการทาง DSM ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. กระทรวงพลังงาน, “แผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี(พ.ศ.2554-2573)”, พฤษภาคม 2554.
2. ศูนย์นวัตกรรมพลังงาน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, “โครงการวิจัยและพัฒนาระบบไฟฟ้าที่ชาญฉลาด เพื่อพัฒนาประสิทธิภาพการใช้พลังงาน และการจัดการความต้องการไฟฟ้า” รายงานความก้าวหน้าฉบับที่ 3 สำนักนโยบายและแผนพลังงาน, กันยายน 2555
3. รศ.ดร. สุรินทร์ คำฝอย, โครงข่ายประสาทเทียมเชิงปฏิบัติสำหรับงานวิศวกรรมไฟฟ้า, พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ, มีน เซอร์วิส ซัพพลาย, 2554.
4. จินตพร หนิ้วอินปั๋น, “การเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์ 4 วิธี สำหรับความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด ในภาคกลาง ของประเทศไทย” การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการประจำปี พ.ศ. 2555 ,17-19 ตุลาคม 2555
5. System Modeling and Indentification. Prentice-Hall, Eaglewood Cliffs, New Jersey: Johansson, R., 1993
6. Wolfram Mathworld, “Least Square Fitting,” [Online Document]. Availiable from <http://mathworld.wolfram.com/LeastSquaresFitting.html>. January 19, 2013.
7. Al-Kandari, A.M. and Soliman, S.A., 2010,”Electric Load Modeling for Long-Term Forecasting”, Elsevier Inc.
8. Al-Rashidi, M.R. and EL-Naggar, K.M., 2011, “Long term electric load forecasting based on particle swarm optimization.” Applied Energy 87 (2010), 320–326.
9. Chen, T., 2011, “A collaborative fuzzy-neural approach for long-term load forecasting in Taiwan”, Computers & Industrial Engineering.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

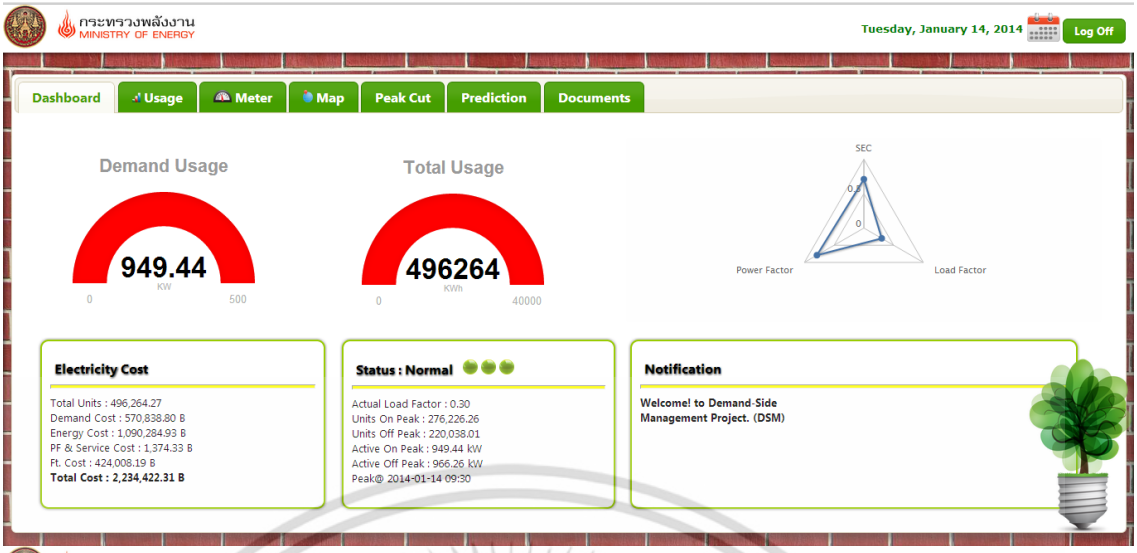
ภาคผนวก ก
การแสดงผลที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูล

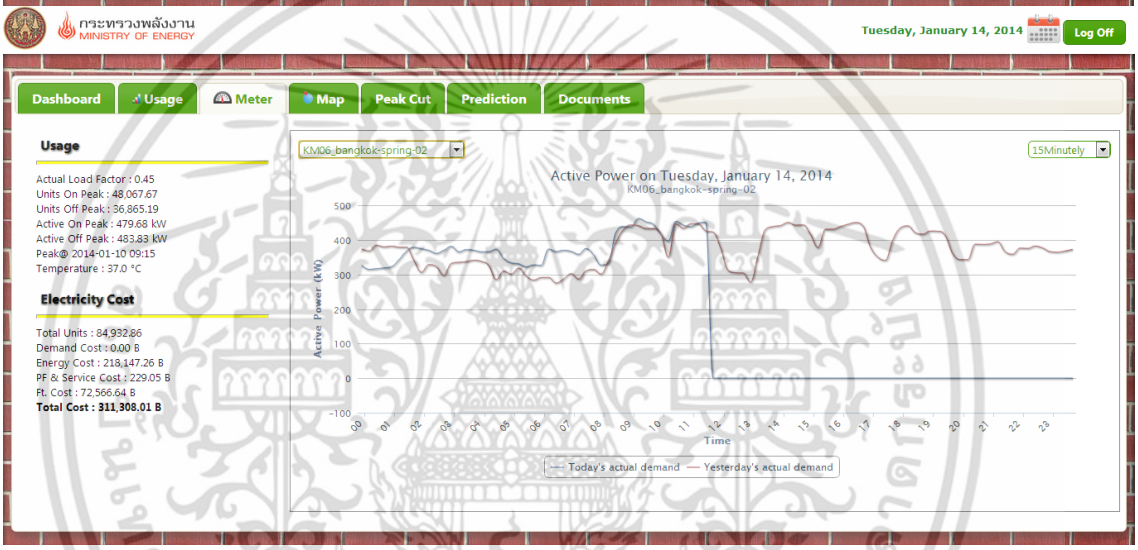
ก.1 กลุ่มอุตสาหกรรม

FACTORY 1 - SOM-BOON

Username	kmitldsmaa
Password	DSMKMITLAA
Description	บริษัท สมบูรณ์แอ๊ดวานซ์เทคโนโลยี จำกัด (มหาชน) บางพลี (SAT1) 112 หมู่ 2 ถนนบางนาตราด ตำบลบางโฉลง อำเภอบางพลี 10540
Meter	KM01_som-boon-advance-01 KM02_som-boon-advance-02 KM03_somboon-steel-01 KM04_somboon-steel-02 KM05_bangkok-spring-01 KM06_bangkok-spring-02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



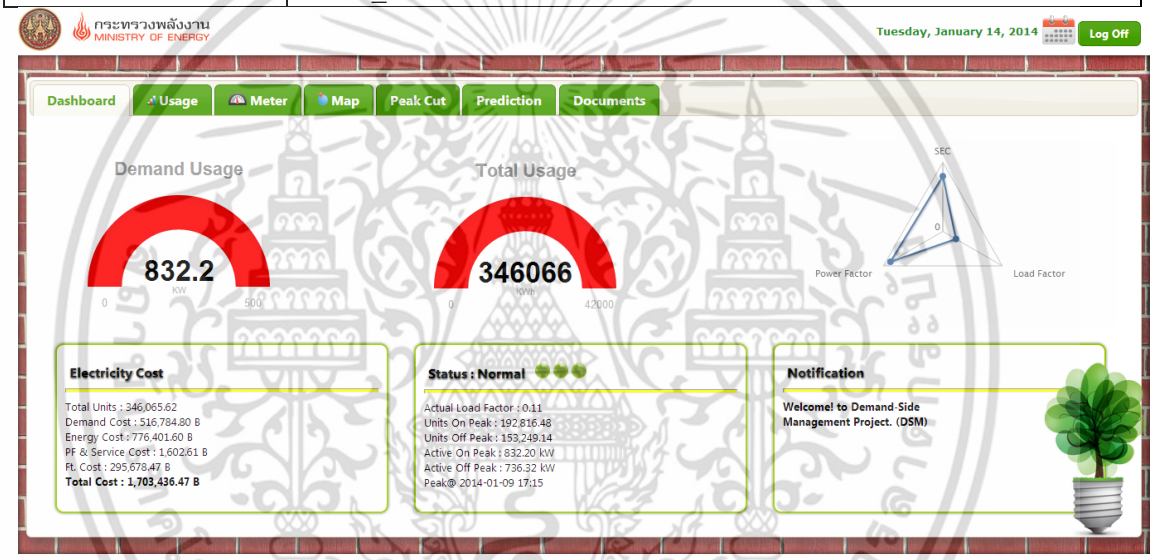


Accuracy: 4.88%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FACTORY 2 - SUMMIT-AUTOSEAT

Username	kmitldsmab
Password	DSMKMITLAB
Description	บริษัท บางกอกสปริงอินดัสเตรียล จำกัด บางพลี (BSK1) 112 หมู่ 2 ถนนบางนาตราด ตำบลบางโฉลง อำเภอบางพลี 10540
Meter	KM08_summit-autoseat-06 KM09_summit-autoseat-01 KM10_summit-autoseat-05 KM12_summit-autoseat-04 KM13_summit-autoseat-07 KM14_summit-autoseat-03 KM15_summit-autoseat-02

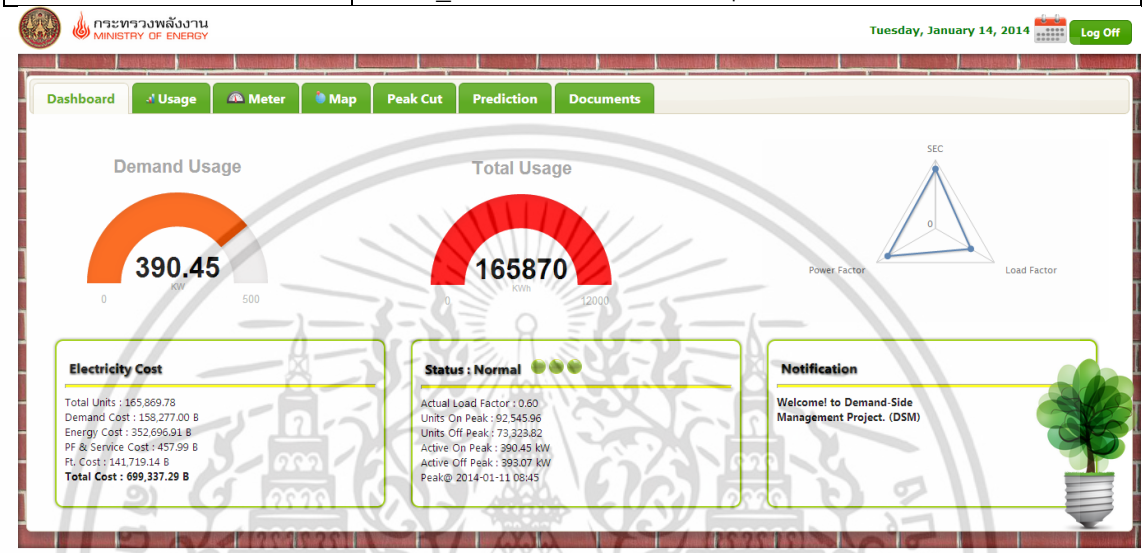


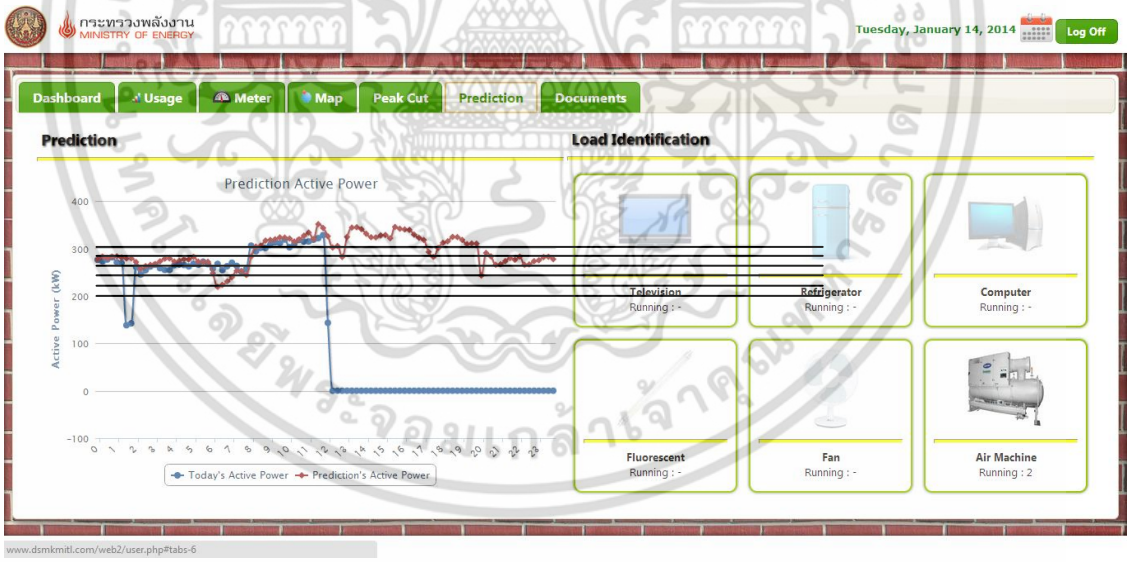
Accuracy: 31.82%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FACTORY 3 - SIMMIT-ELECTRONICCOMPONENT

Username	kmitldsmac
Password	DSMKMITLAC
Description	บริษัท ซัมมิท อิเล็กโทรนิค คอมโพเน้นท์ จำกัด 99 ม.5 ถ.บางนา-ตราด กม.18 ต.ศีรษะจรเข้ อ.บางเสาธง สมุทรปราการ 10540
Meter	KM17_simmit-electroniccomponent-01 KM18_simmit-electroniccomponent-02





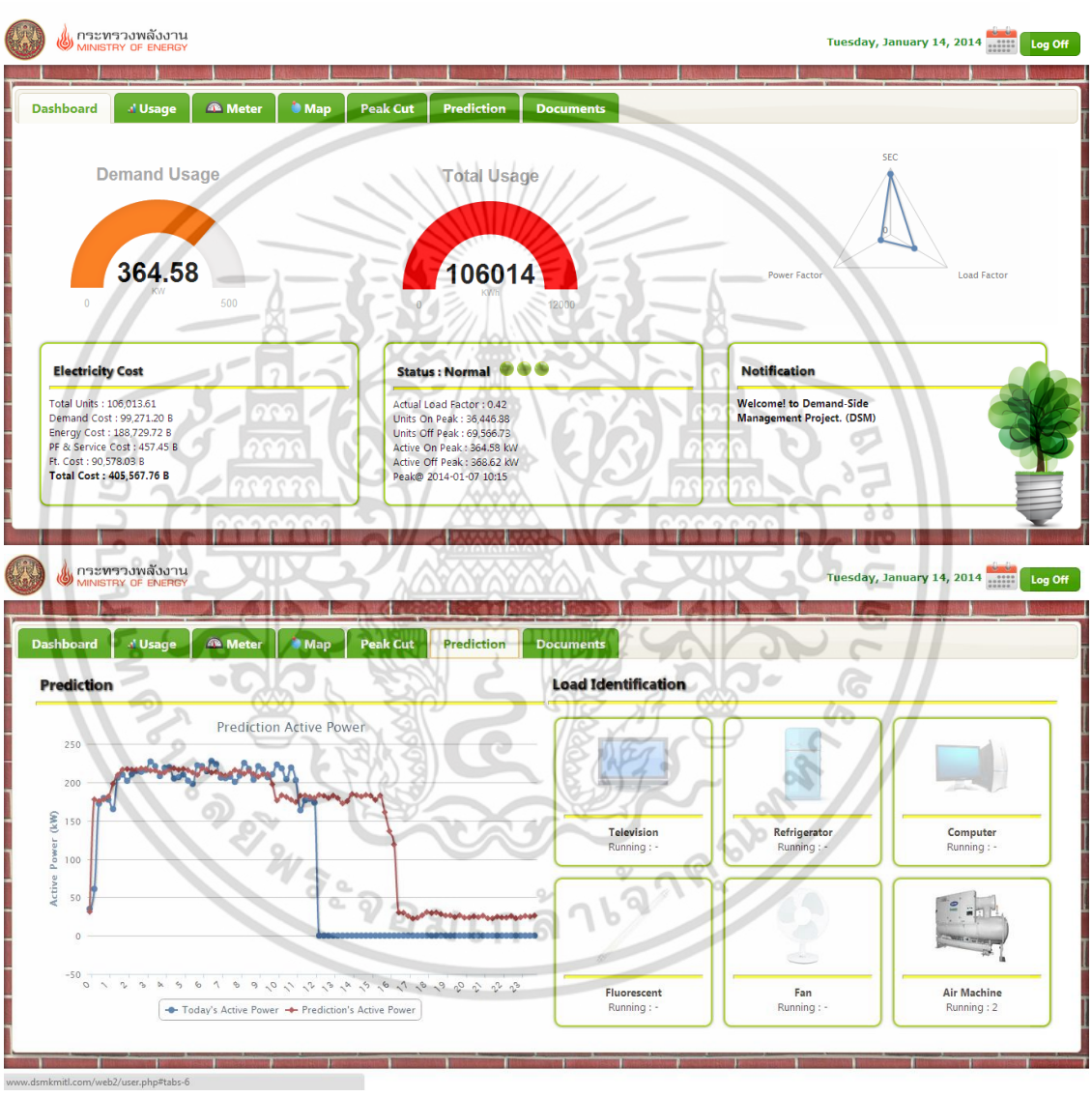
www.dsmkmitl.com/web2/user.php#tabs-6

Accuracy: 0.44%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FACTORY 4 - SANGUANSIN-ICE

Username	kmitldsmad
Password	DSMKMITLAD
Description	โรงน้ำแข็งสงวนสิน ลาดพร้าว 9/8 หมู่ 7 ซอยนาคนิวาส21 ถนนลาดพร้าว71 แขวงลาดพร้าว เขตลาดพร้าว 10230
Meter	KM28_sanguansin-ice-factory-01 KM29_sanguansin-ice-factory-02

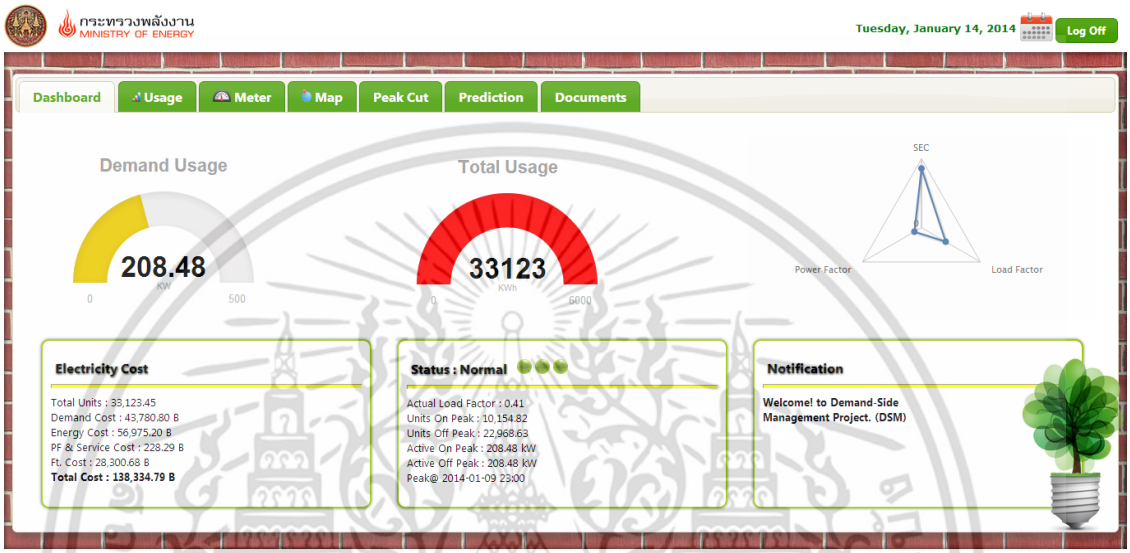


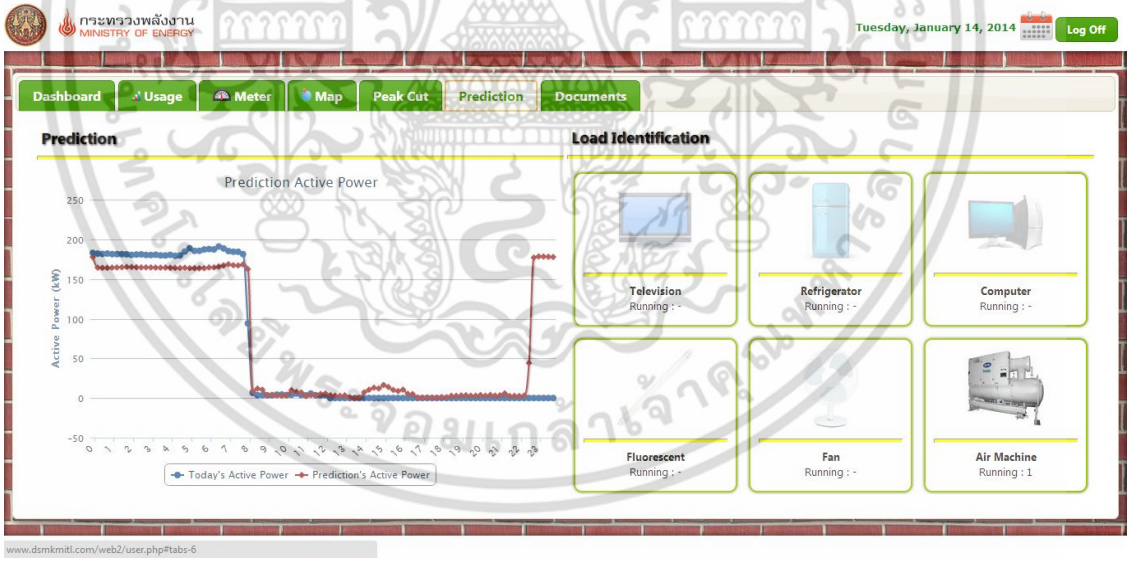
Accuracy:1.98%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FACTORY 5 - INTERICE-NAKORNPATHOM

Username	kmitldsmae
Password	DSMKMITLAE
Description	โรงน้ำแข็งอินเตอร์ ไอซ์ นครปฐม 99 หมู่ 5 ถนนบางเลน-บางหลวง ตำบลบางไทรป่า อำเภอบางเลน นครปฐม
Meter	KM30_interice-nakornpathom



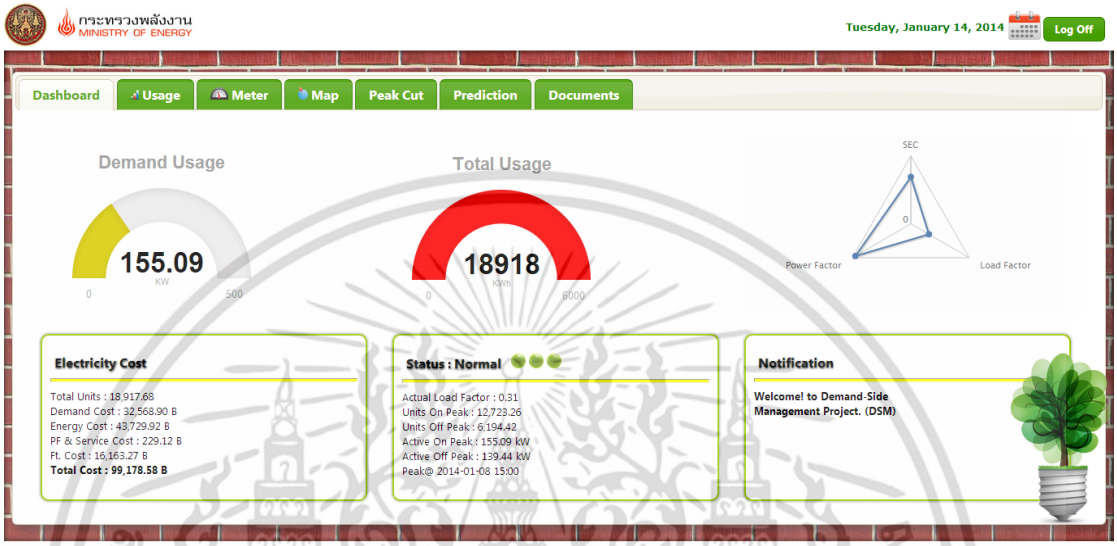


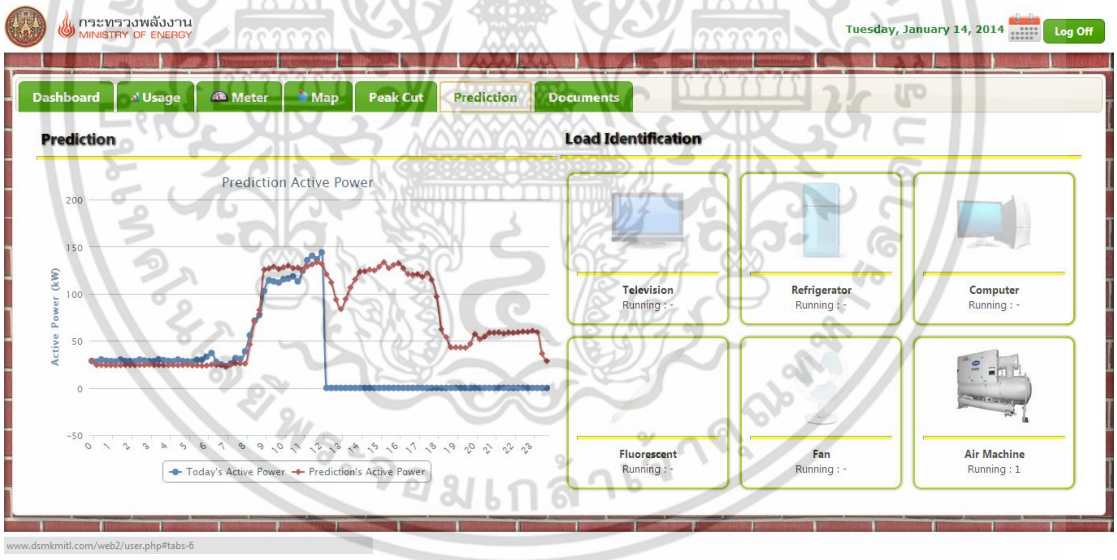
Accuracy: 3.90%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FACTORY 6 - SCG-AUTO-GAS

Username	kmitldsmaf
Password	DSMKMITLAF
Description	SCG AUTO GAS 2/88 ม.7 ลาดสวาย ลำลูกกา ปทุมธานี 12150
Meter	KM33_scg-auto-gas



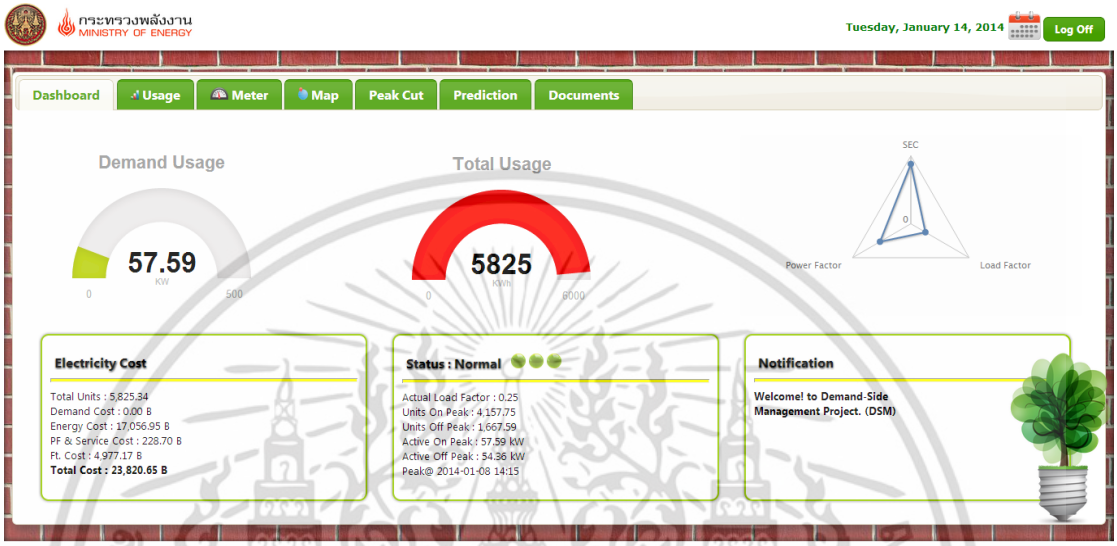


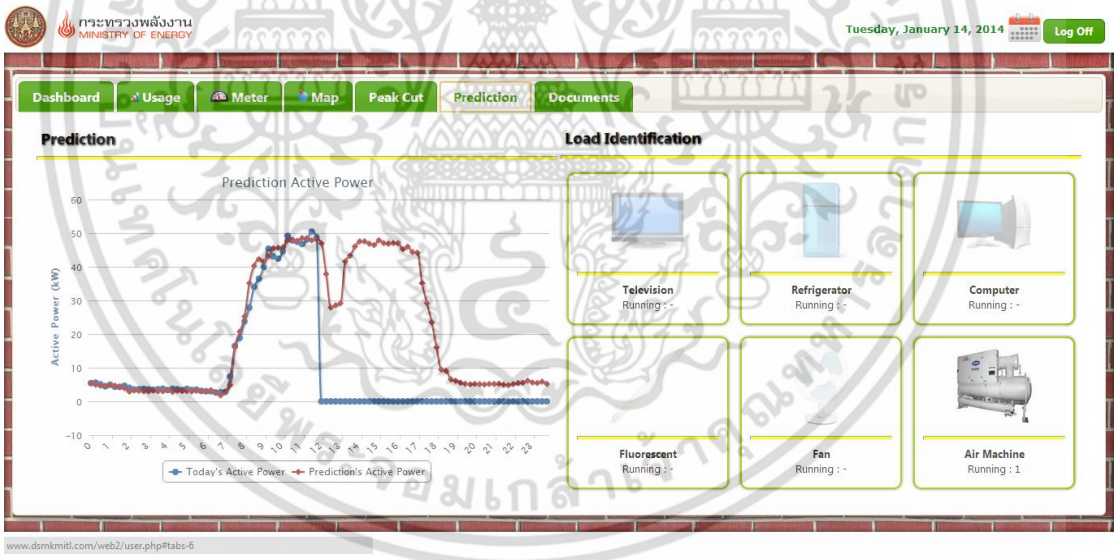
Accuracy: 8.16%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FACTORY 7 - SCG-GAS

Username	kmitldsmag
Password	DSMKMITLAG
Description	SCG GAS 7/383 ซ.วิภาวดีรังสิต36 จตุจักร กทม 10900
Meter	KM32_scg-gas



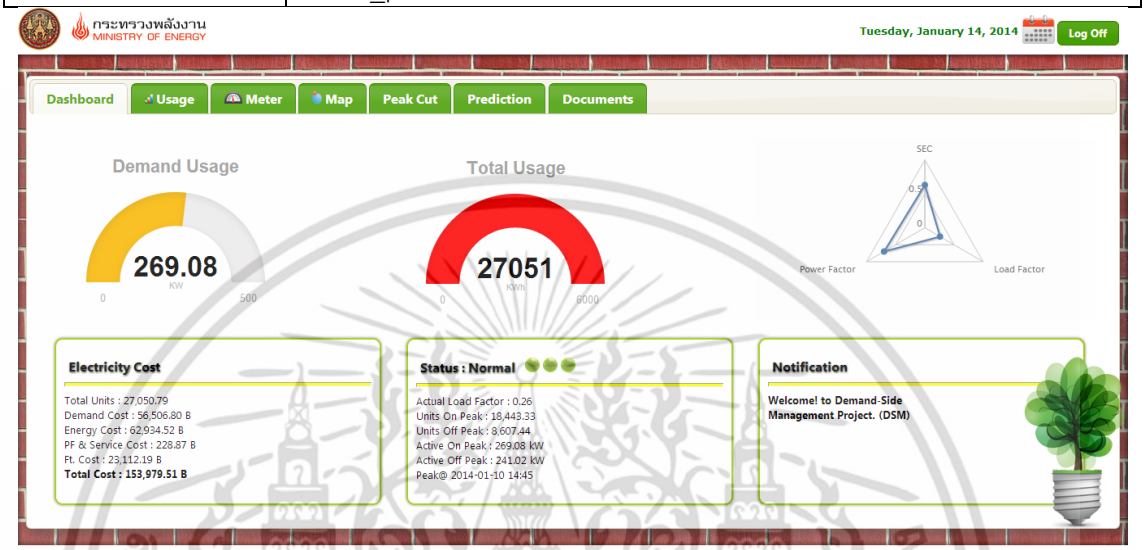


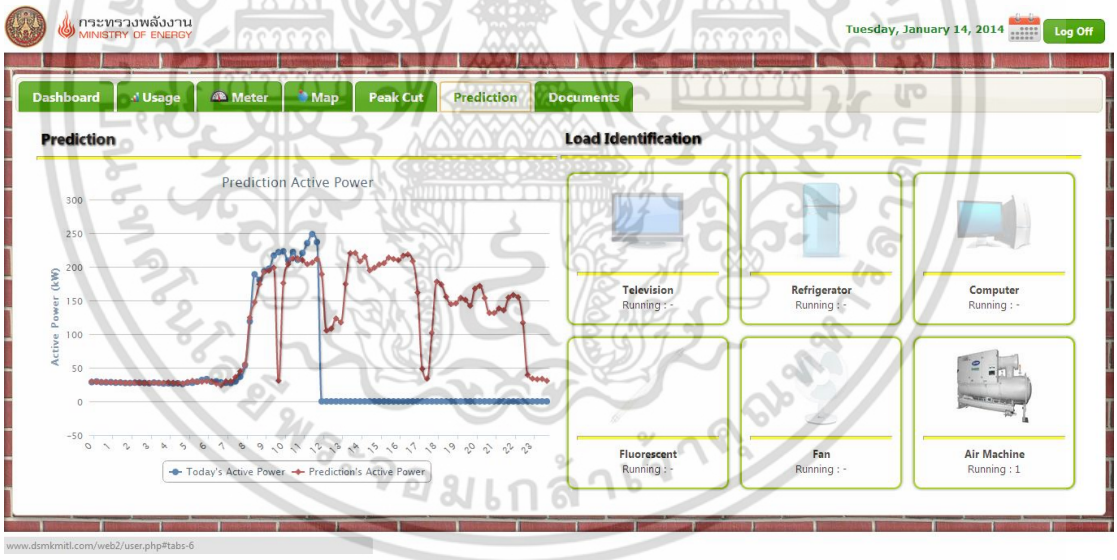
Accuracy: 1.54%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FACTORY 8 - PREECHATHAWON-INDS

Username	kmitldsmah
Password	DSMKMITLAH
Description	บริษัท ปรีชาถาวรอุตสาหกรรม จำกัด 28/4 หมู่ 4 ซอยสุรินทร์เทพกาญจนา ถนนเอกชัย ต.นาดี อ.เมือง สมุทรสาคร 74000
Meter	KM34_preechathawon-inds





Accuracy: 0.09%

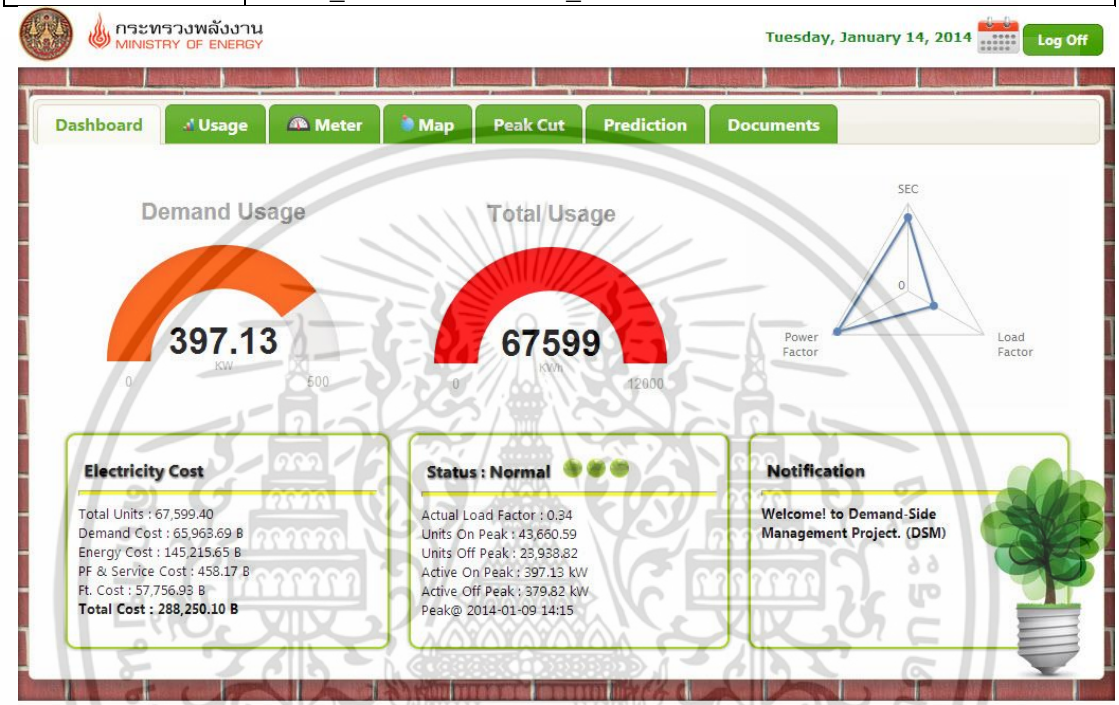
รวมทั้งสิ้น 20 มิเตอร์

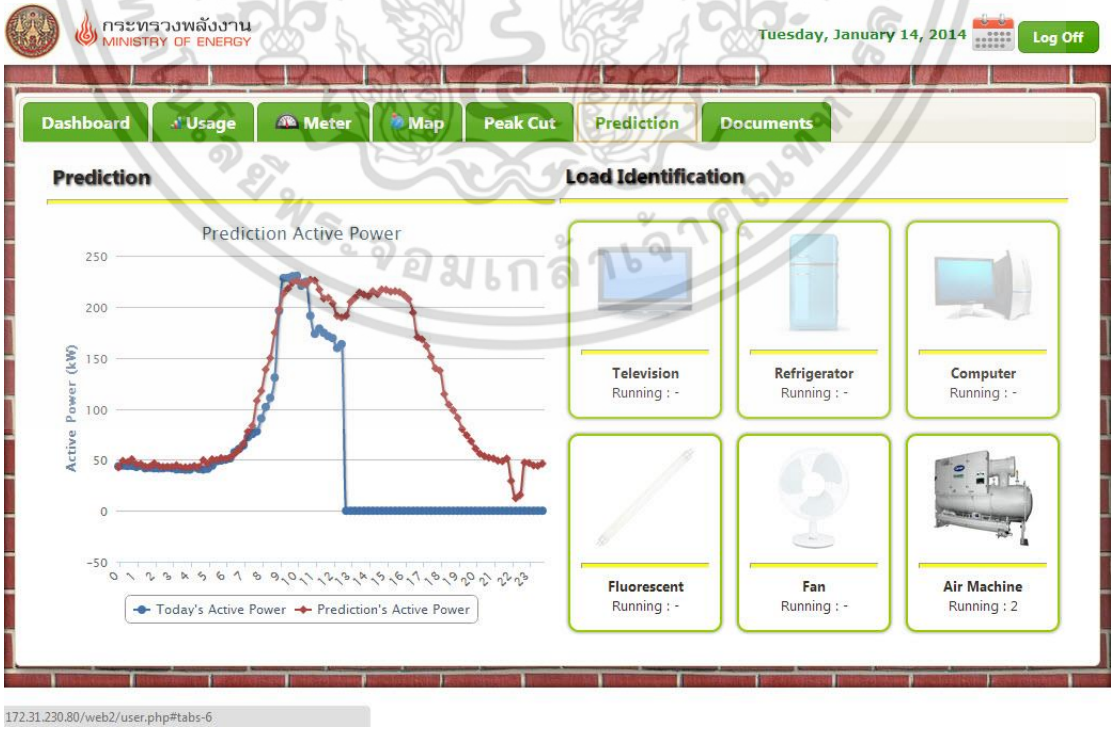
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.2 กลุ่มอาคารพาณิชย์

OFFICE 1 - KMUTNB

Username	kmitldsmba
Password	DSMKMITLBA
Descriptions	ม.เทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ตึก STRI 1518 ถ.ประชาราษฎร์ 1 บางซื่อ กรุงเทพฯ
Meter	KM55_KMUTNB-1, KM27_KMUTNB-2



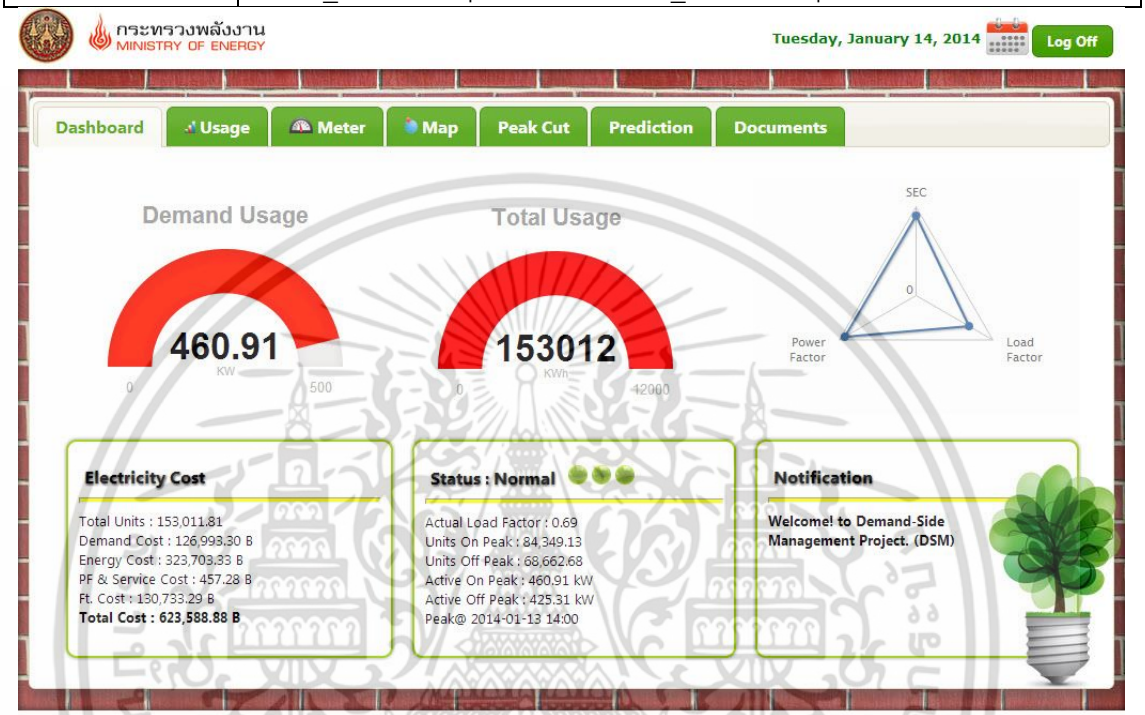


Accuracy: 0%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OFFICE 2 : MAKRO-LADPRAO

User name	kmitldsmbb
Password	DSMKMITLBB
Descriptions	บมจ.สยามแม็คโครสาขาลาดพร้าว 3498 ถ.ลาดพร้าว แขวงคลองจั่น เขตบางกะปิ กรุงเทพฯ
Meter	KM35_makro-ladprao-01, KM36_makro-ladprao-02



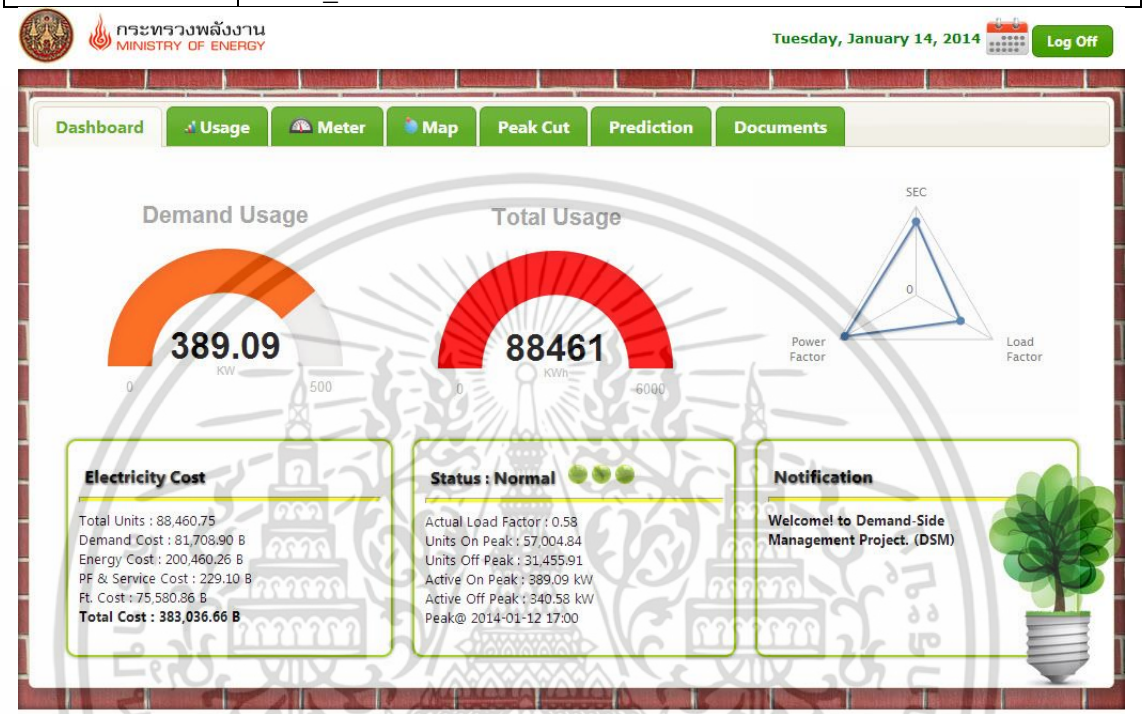
172.31.230.80/web2/user.php#tabs-6

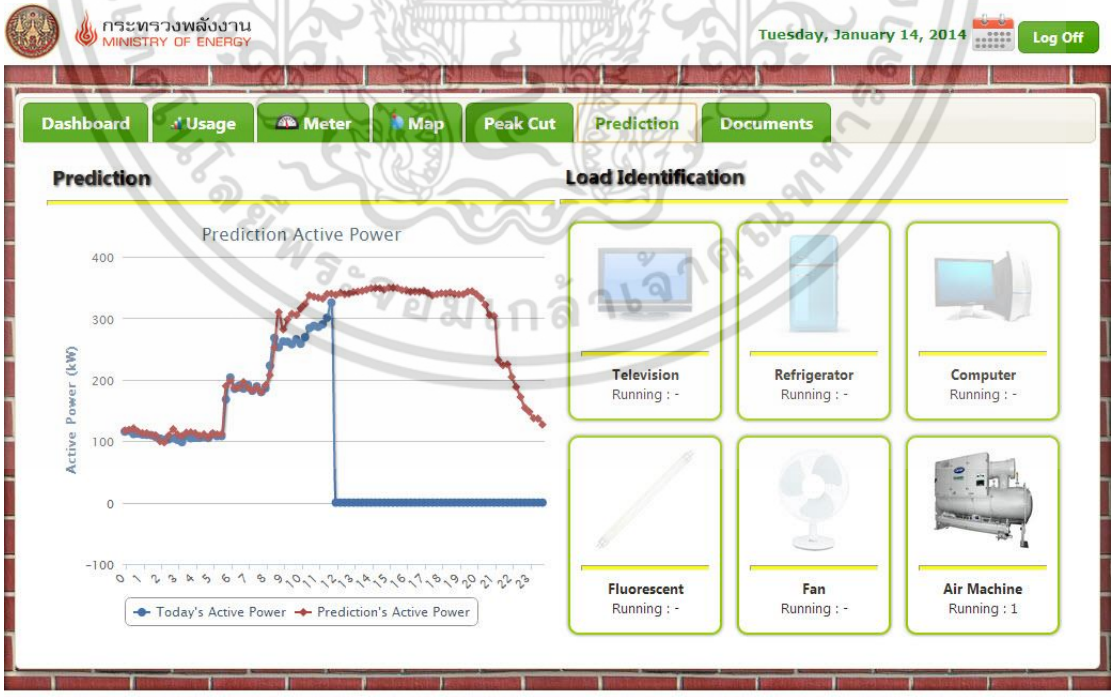
Accuracy: 0.05%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OFFICE 3- MAKRO-KANCHANABURI

Username	kmitldsmbc
Password	DSMKMITLBC
Descriptions	บมจ. สยามแม็คโคร สาขา กาญจนบุรี 102 หมู่ 2 ตำบลท่าล้อ อำเภอท่าม่วง กาญจนบุรี 71000
Meter	KM38_makro-kanchanaburi





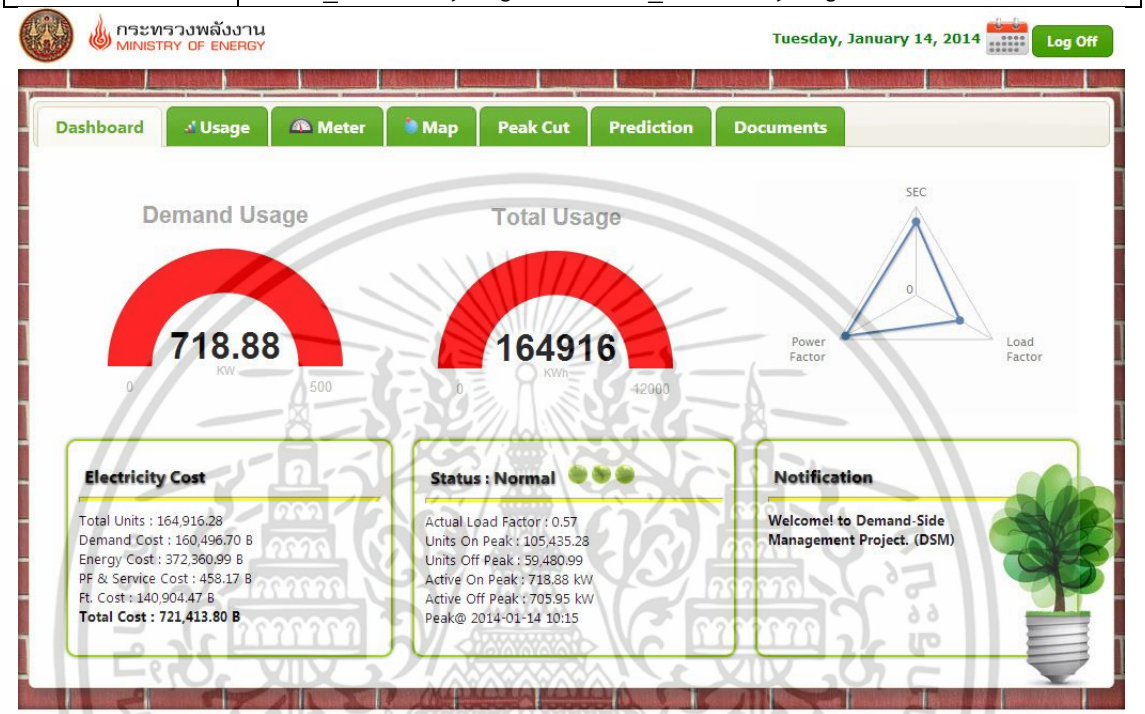
172.31.230.80/web2/user.php#tabs-6

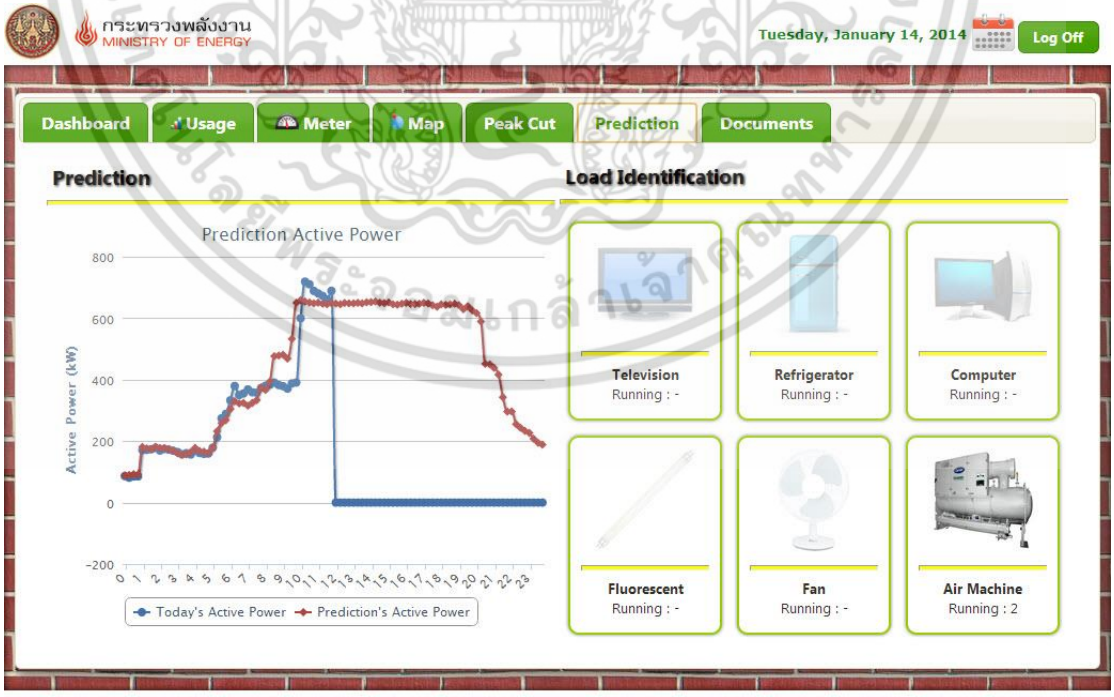
Accuracy: 2.45%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OFFICE 4 -MAKRO-RAYONG

Username	kmitldsmbd
Password	DSMKMITLBD
Descriptions	บมจ. สยามแม็คโคร สาขา ระยอง 8/2 หมู่ 3 ตำบลทับมา อำเภอเมือง ระยอง 21000
Meter	KM39_makro-rayong-01 , KM40_makro-rayong-02





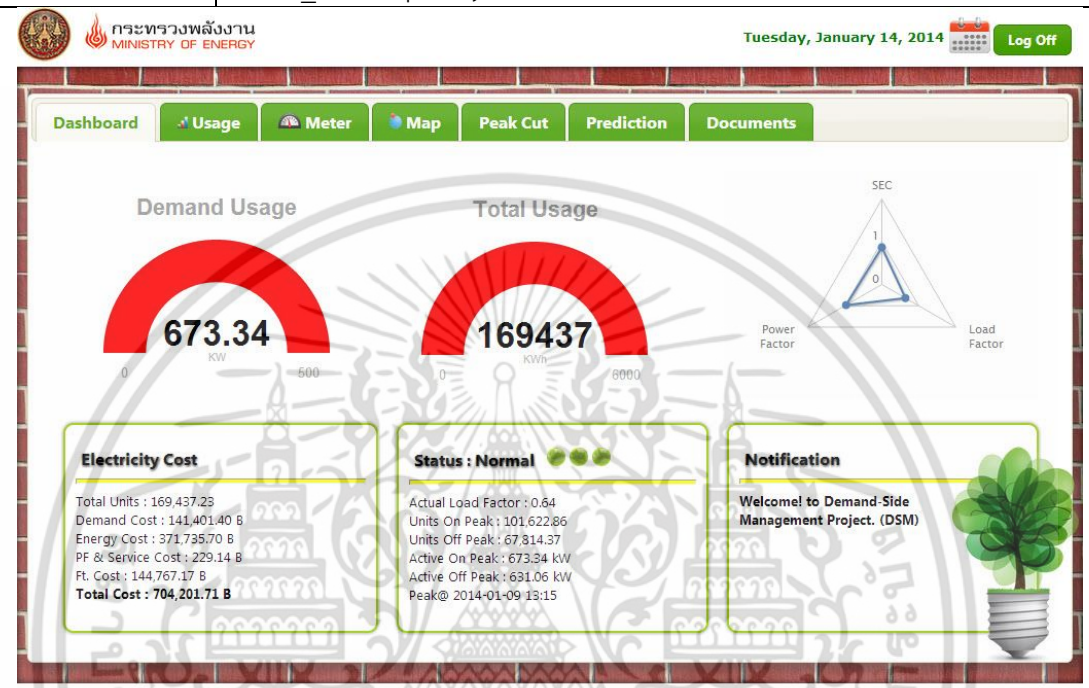
172.31.230.80/web2/user.php#tabs-6

Accuracy: 0.34%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OFFICE 5- MAKRO-PATTAYA

User name	kmitldsmbe
Password	DSMKMITLBE
Descriptions	บมจ.สยามแม็คโครสาขาพัทยา 22/24 หมู่ 11 ต.หนองปรือ อ.บางละมุง ชลบุรี 20150
Meter	KM41_makro-pattaya

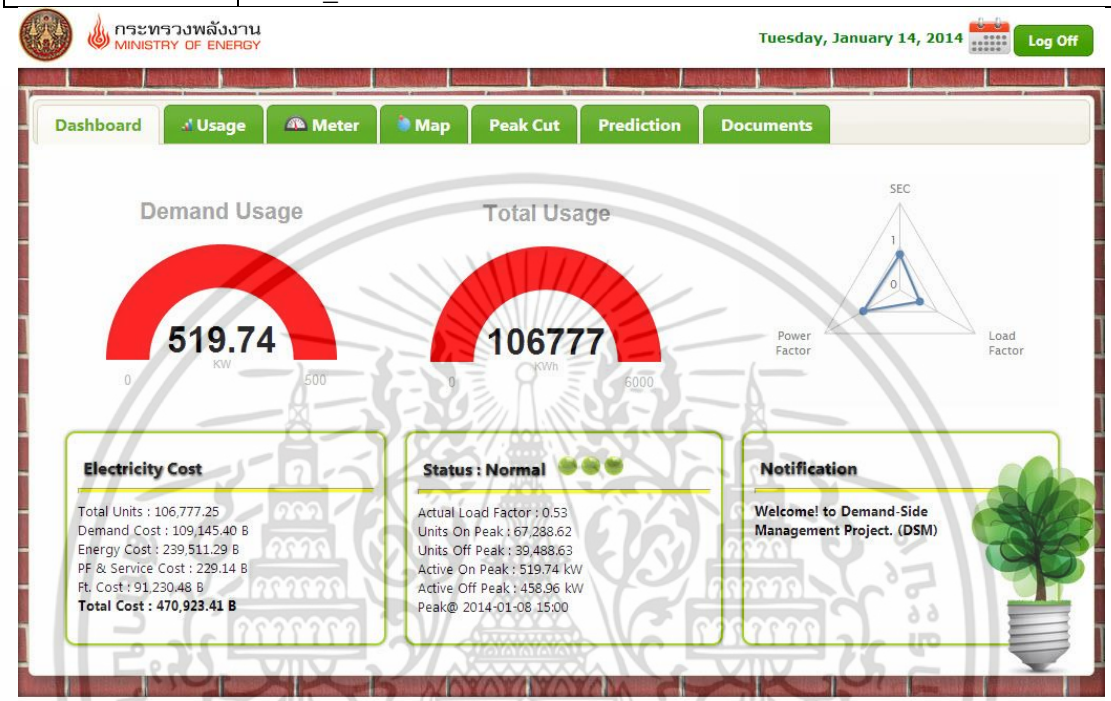


Accuracy: 26.45%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OFFICE 6- MAKRO-SARABURI

User name	kmitldsmbf
Password	DSMKMITLBF
Descriptions	บมจ.สยามแม็คโคร สาขาสระบุรี 66/3หมู่ที่ 2 ต.ตลิ่งชัน อ.เมืองสระบุรี จ. สระบุรี 18000
Meter	KM42_makro-saraburi



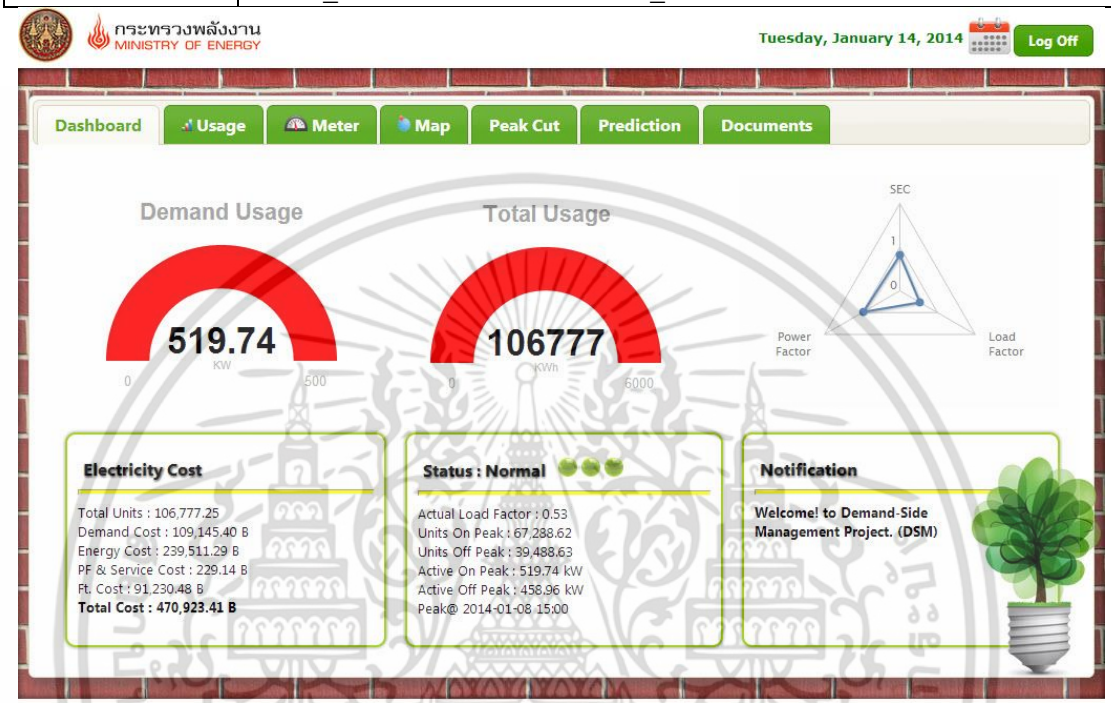
172.31.230.80/web2/user.php#tabs-6

Accuracy: 1.71%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OFFICE 7- MAKRO-SATHON

User name	kmitldsmbg
Password	DSMKMITLBG
Descriptions	บมจ.สยามแม็คโคร สาขาสาธร 1 ถ.นราธิวาสราชนครินทร์ แขวงทุ่งวัดดอน เขตสาธร กรุงเทพฯ 10120
Meter	KM43_makro-sathon-01, KM44_makro-sathon-02



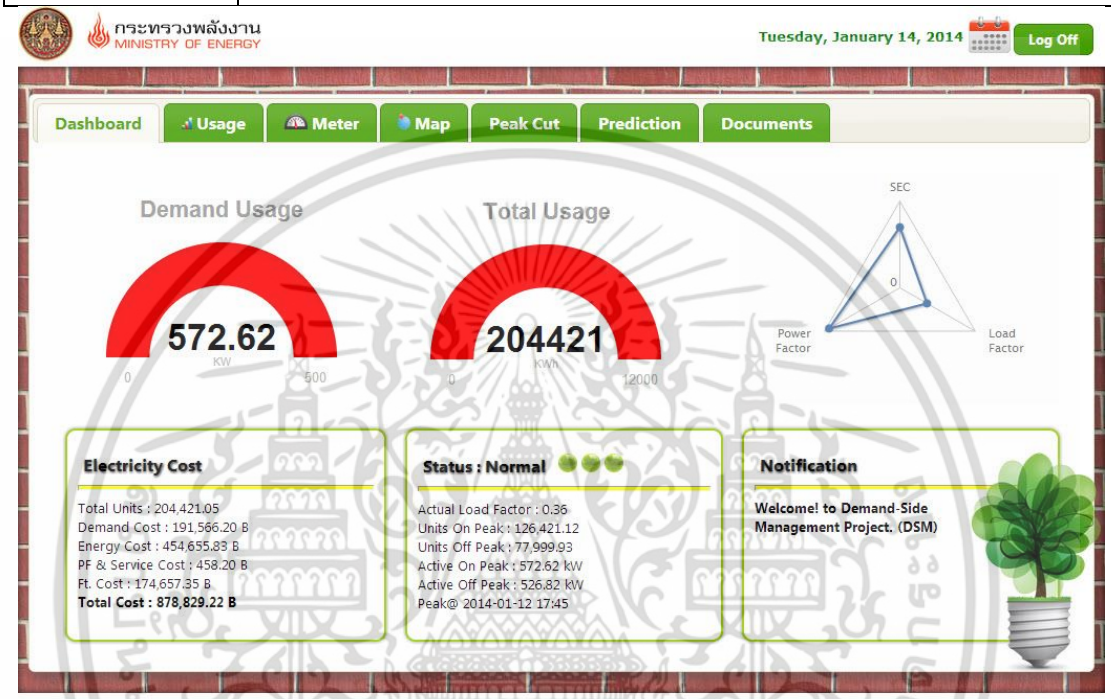
172.31.230.80/web2/user.php#tabs-6

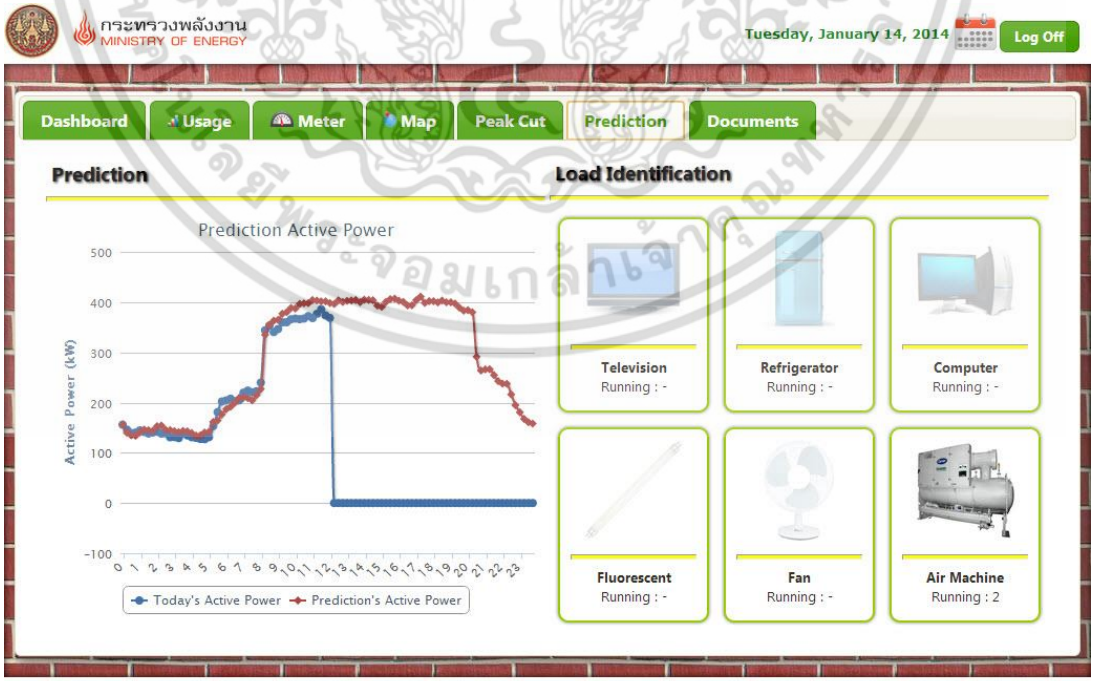
Accuracy: 2.66%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OFFICE 8- MAKRO-CHARANSANITWONG

User name	Kmitldsmbh
Password	DSMKMITLBH
Descriptions	บมจ. สยามแม็คโคร สาขา 1 จรัญสนิทวงศ์ 521,521/27 ถนนจรัญสนิทวงศ์ แขวงบางขุนศรี เขตบางกอกน้อย กรุงเทพฯ10700
Meter	KM45_makro-charansanitwong-01, KM46_makro-charansanitwong-02





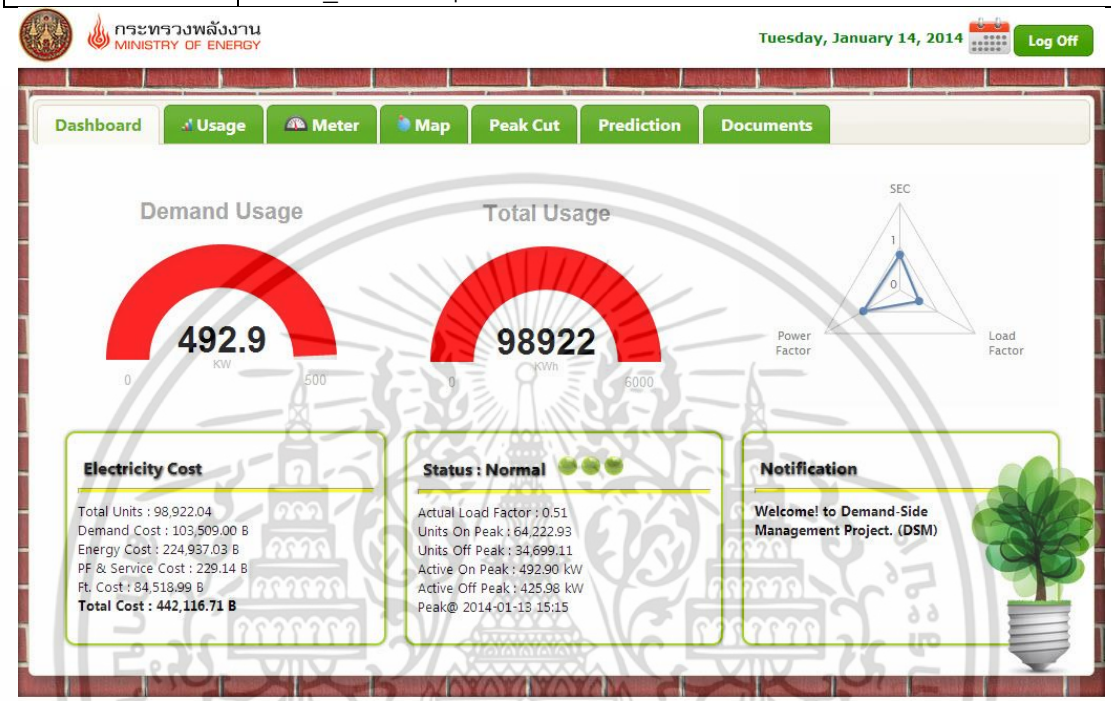
172.31.230.80/web2/user.php#tabs-6

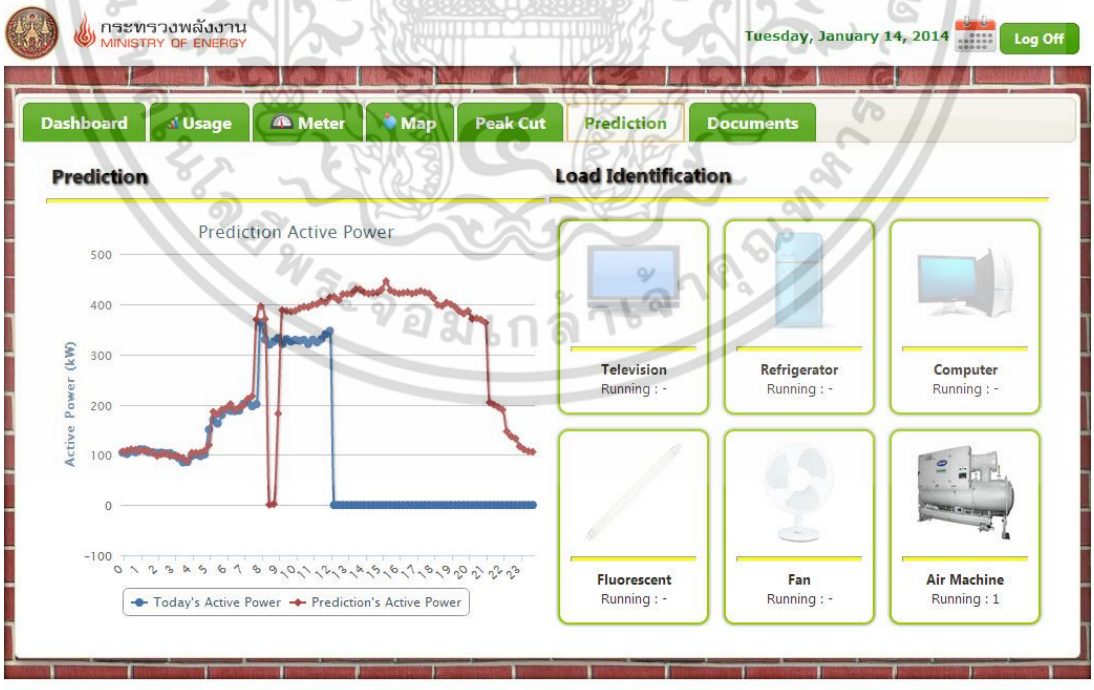
Accuracy: 1.98%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OFFICE 9- MAKRO-LOPBURI

User name	Kmitldsmbi
Password	DSMKMITLBI
Descriptions	บมจ. สยามแม็คโคร สาขา ลพบุรี 227 หมู่ 5 ถนนพหลโยธิน ตำบลท่าศาลา อำเภอเมือง ลพบุรี 15000
Meter	KM48_makro-lopburi





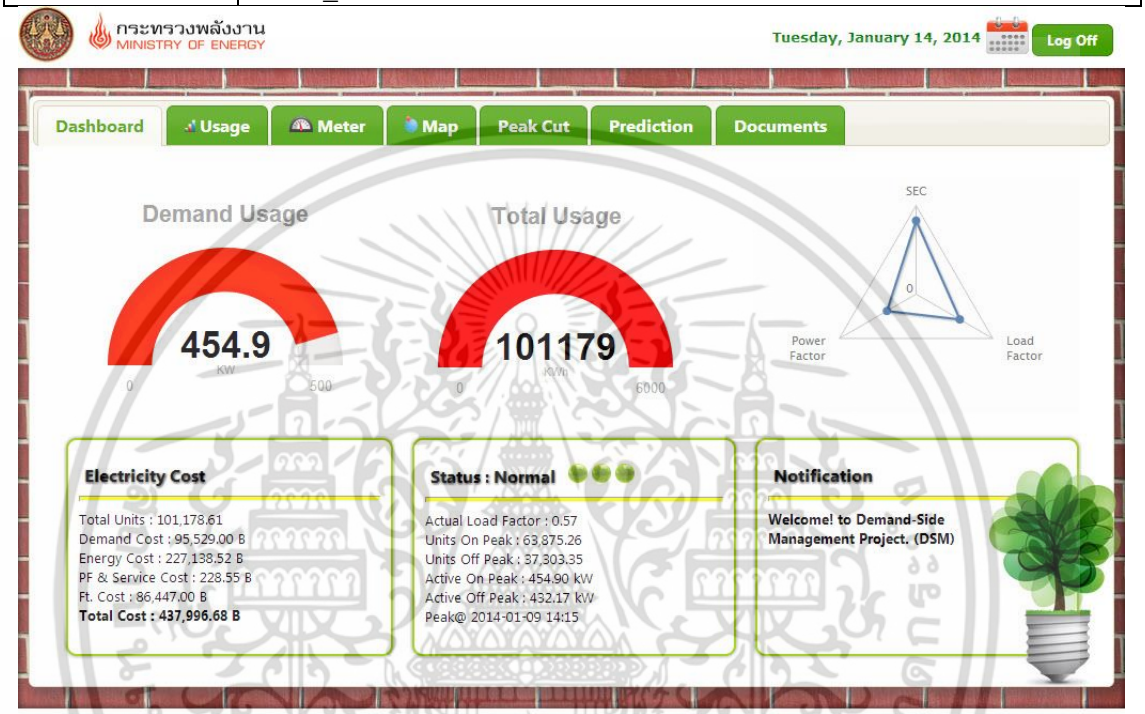
172.31.230.80/web2/user.php#tabs-6

Accuracy: 5.43%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OFFICE 10- MAKRO-RAMINTRA

User name	kmitldsmbj
Password	DSMKMITLBJ
Descriptions	บมจ.สยามแม็คโคร สาขารามอินทรา 904 ถ.รามอินทรา แขวงคันนายาว เขตคันนายาวกรุงเทพฯ 10230
Meter	KM49_makro-ramintra



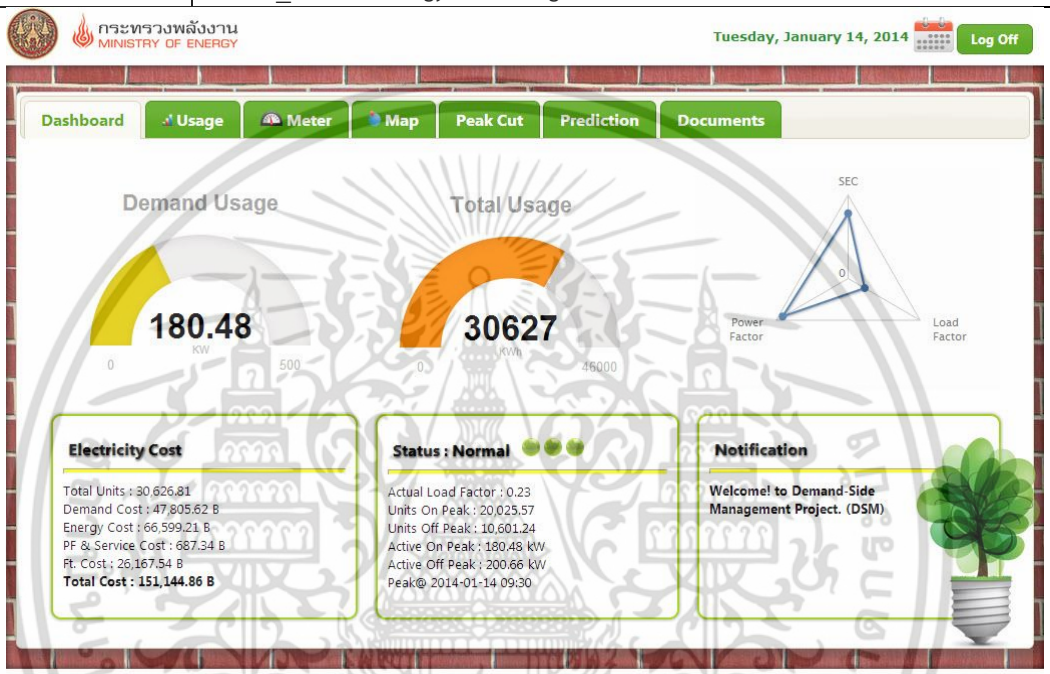
172.31.230.80/web2/user.php#tabs-6

Accuracy: 4.00%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OFFICE 11 - KMITL

User name	kmitldsmbk
Password	DSMKMITLBK
Descriptions	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ
Meter	KM50_kmitl-president1-building, KM51_kmitl-president2-building KM53_kmitl-energy-building



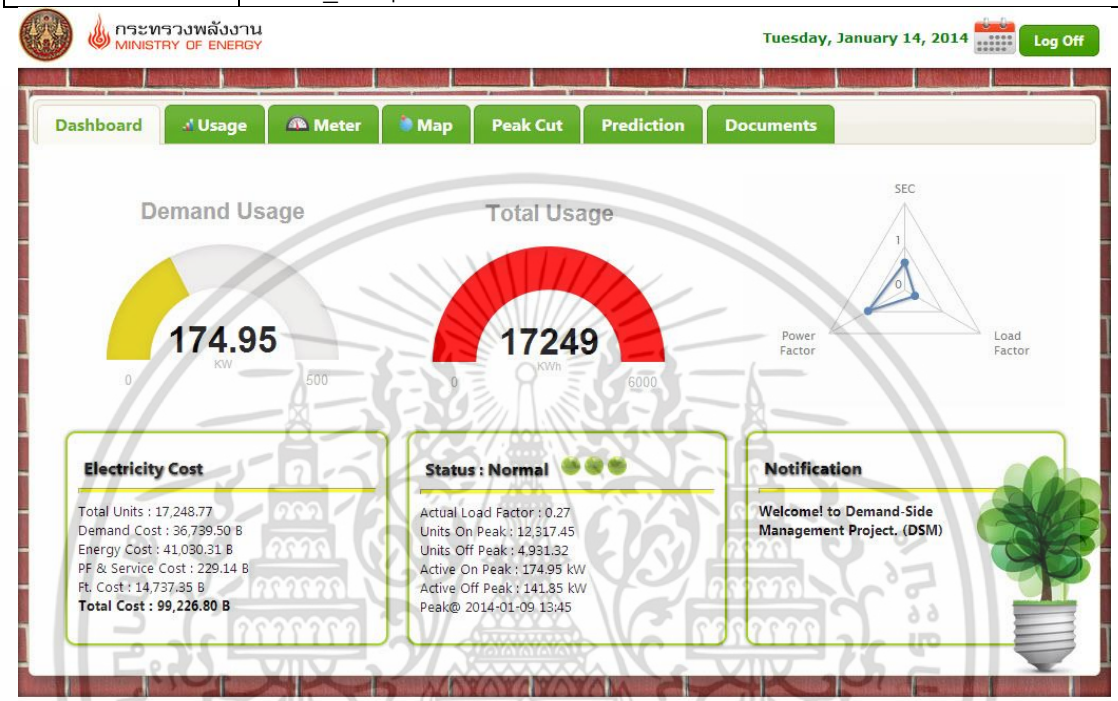
172.31.230.80/web2/user.php#tabs-6

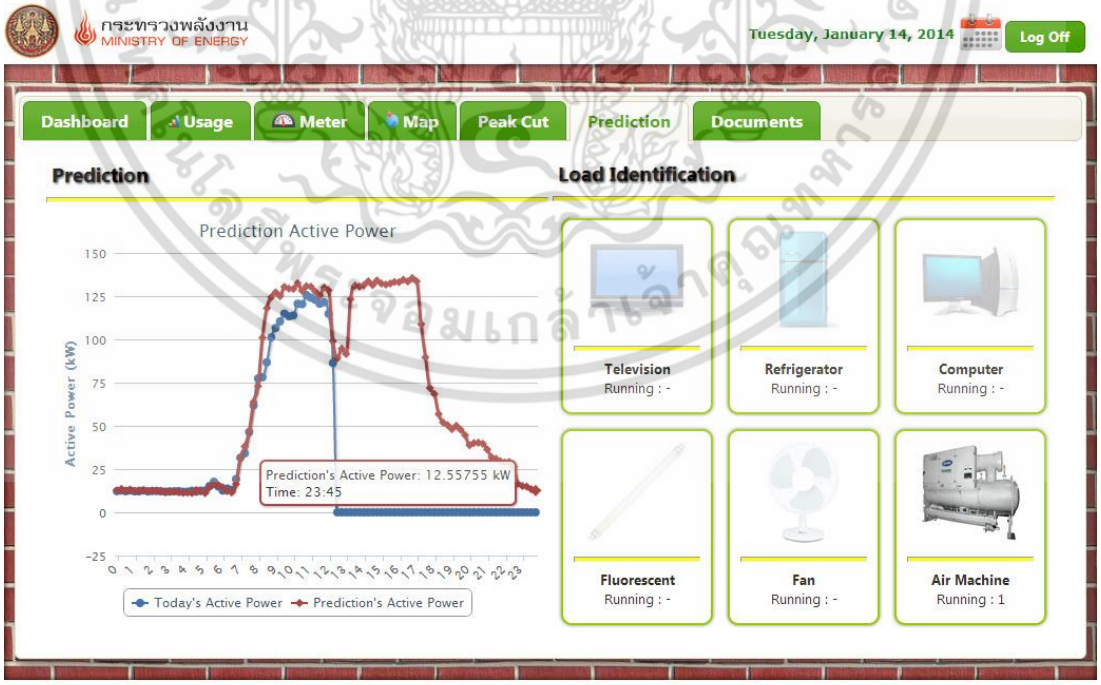
Accuracy: 0.65%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OFFICE 12- THE-PANN

User name	kmitldsmbl
Password	DSMKMITLBL
Descriptions	เดอะปัณณ์ 125 ถนนคลองลำเจียก แขวงนวมินทร์ เขตบึงกุ่ม กรุงเทพฯ 10230
Meter	KM52_the-pann





Accuracy: 5.43%

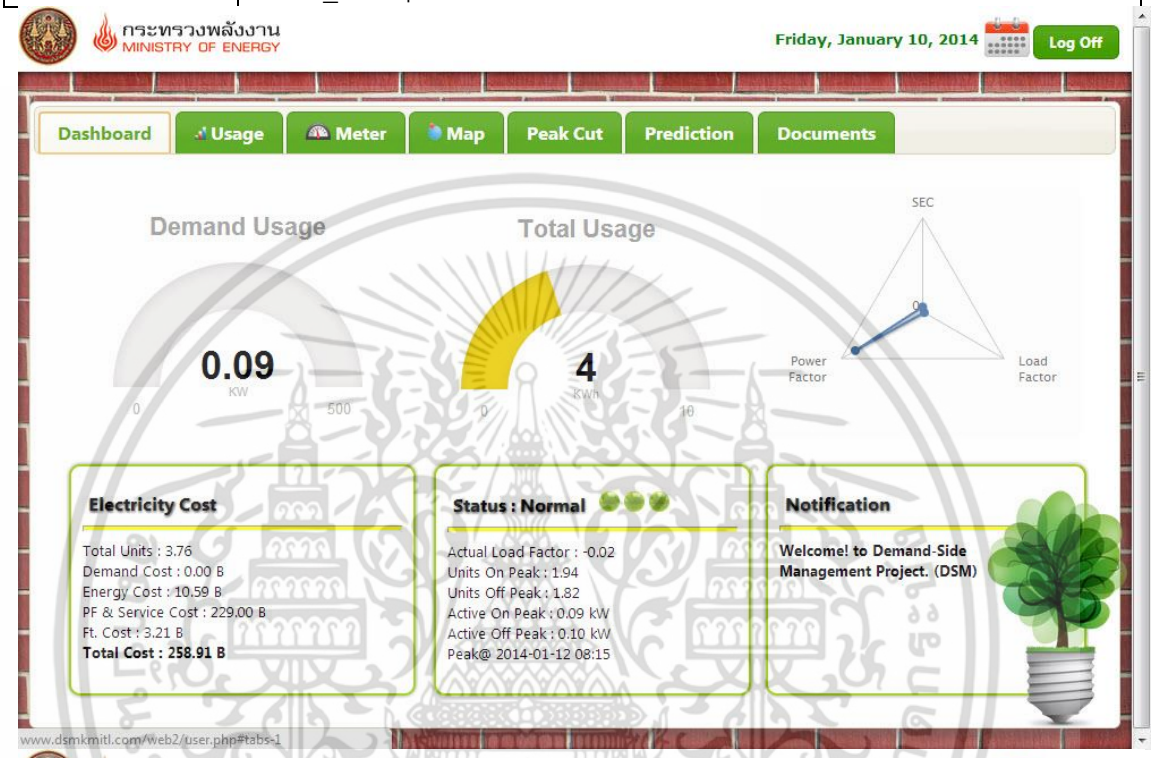
รวมทั้งสิ้น 20 มิเตอร์

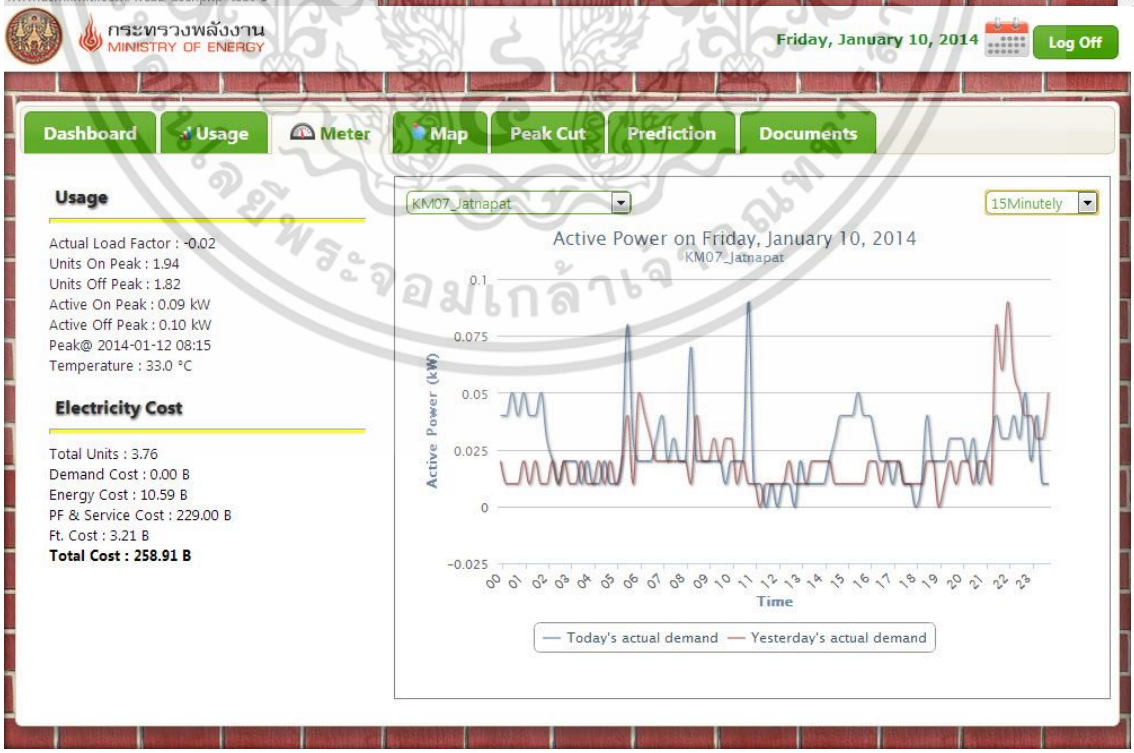
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.3 กลุ่มบ้านพักอาศัย

HOUSE 1 - JATNAPAT

User name	kmitldsmca
Password	DSMKMITLCA
Descriptions	117 ซอยร่มเกล้า19/1 แขวงคลองสามประเวศ เขตลาดกระบัง กทม. 10520
Meter	KM07_Jatnapat



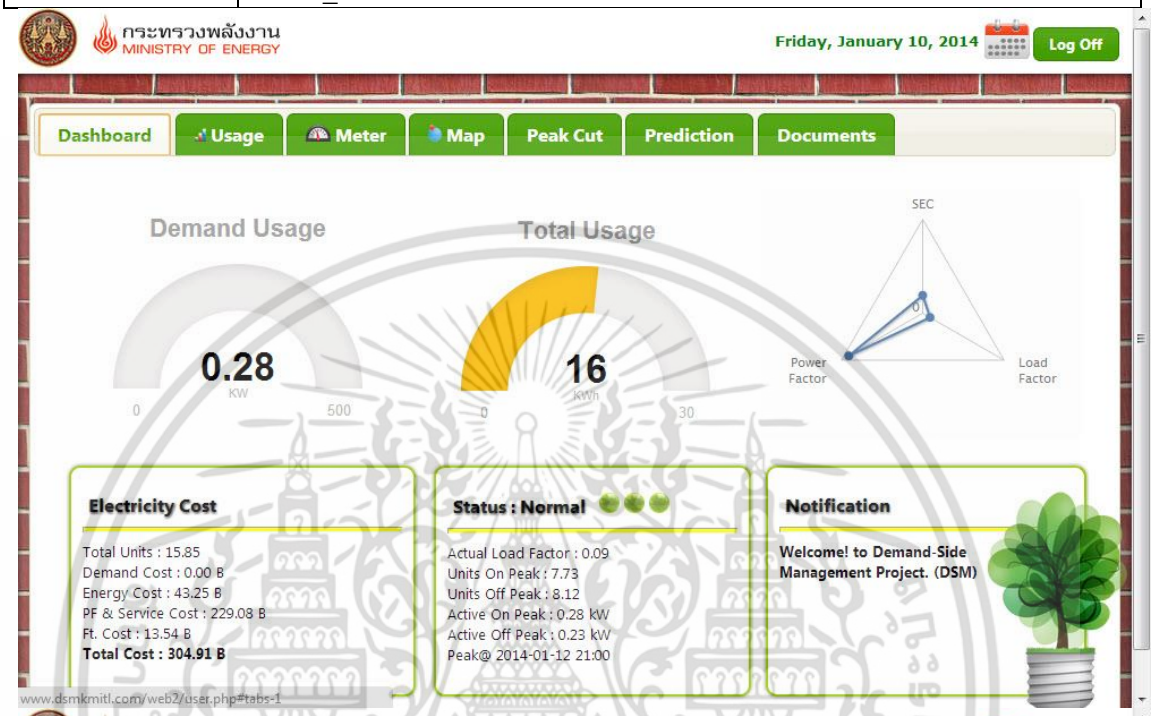


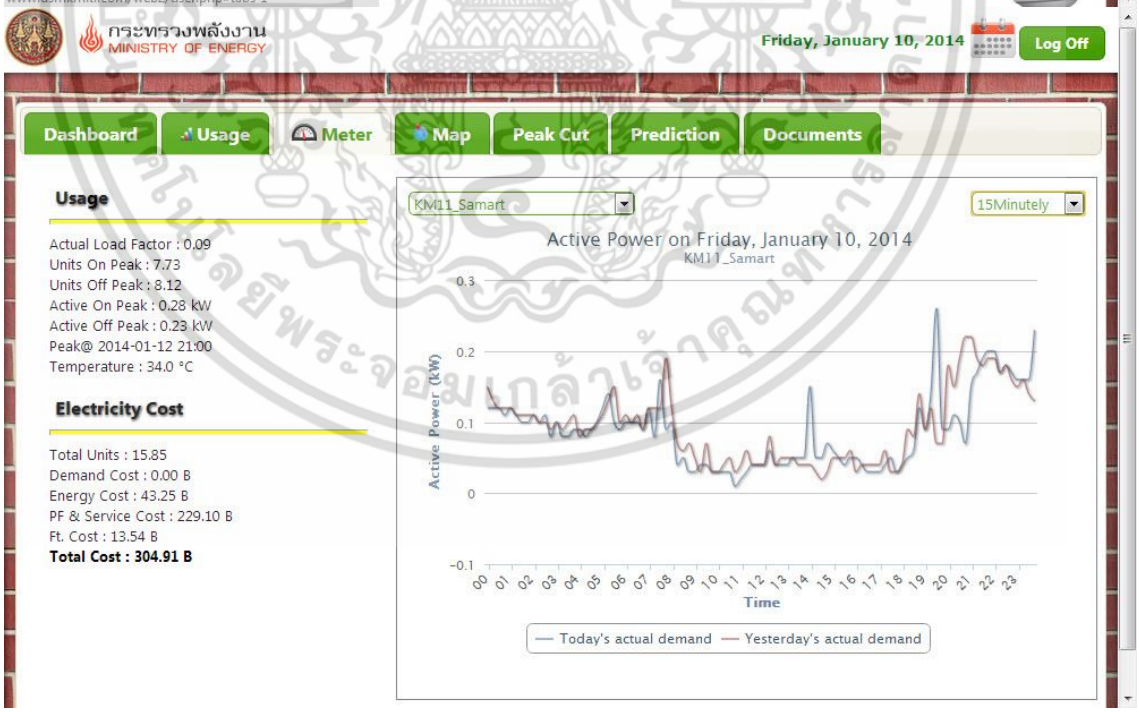
Accuracy: 4.00%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HOUSE 2 - SAMART

User name	Kmitldsmcb
Password	DSMKMITLCB
Descriptions	37/115 หมู่บ้านมณฑล 5 หมู่ 5 ต.บางม่วง อ.บางใหญ่ จ.นนทบุรี 11140
Meter	KM11_Samart



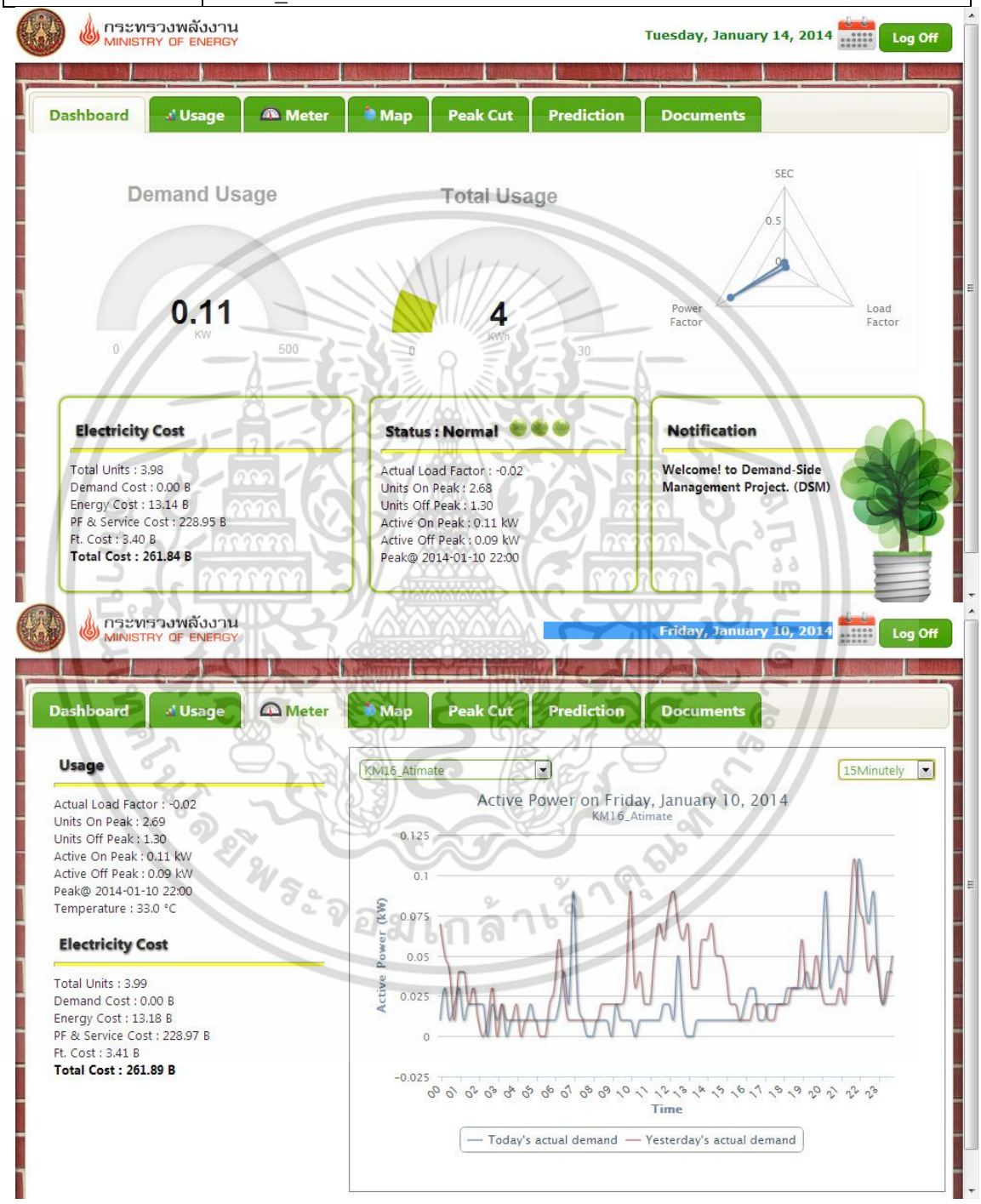


Accuracy: 0.65%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HOUSE 3 - ATIMATE

User name	Kmitldsmcc
Password	DSMKMITLCC
Descriptions	466/287 ถ.ปัญญาอินทรา แขวงสามวาตะวันตก เขตคลองสามวา กรุงเทพฯ
Meter	KM16_Atimate

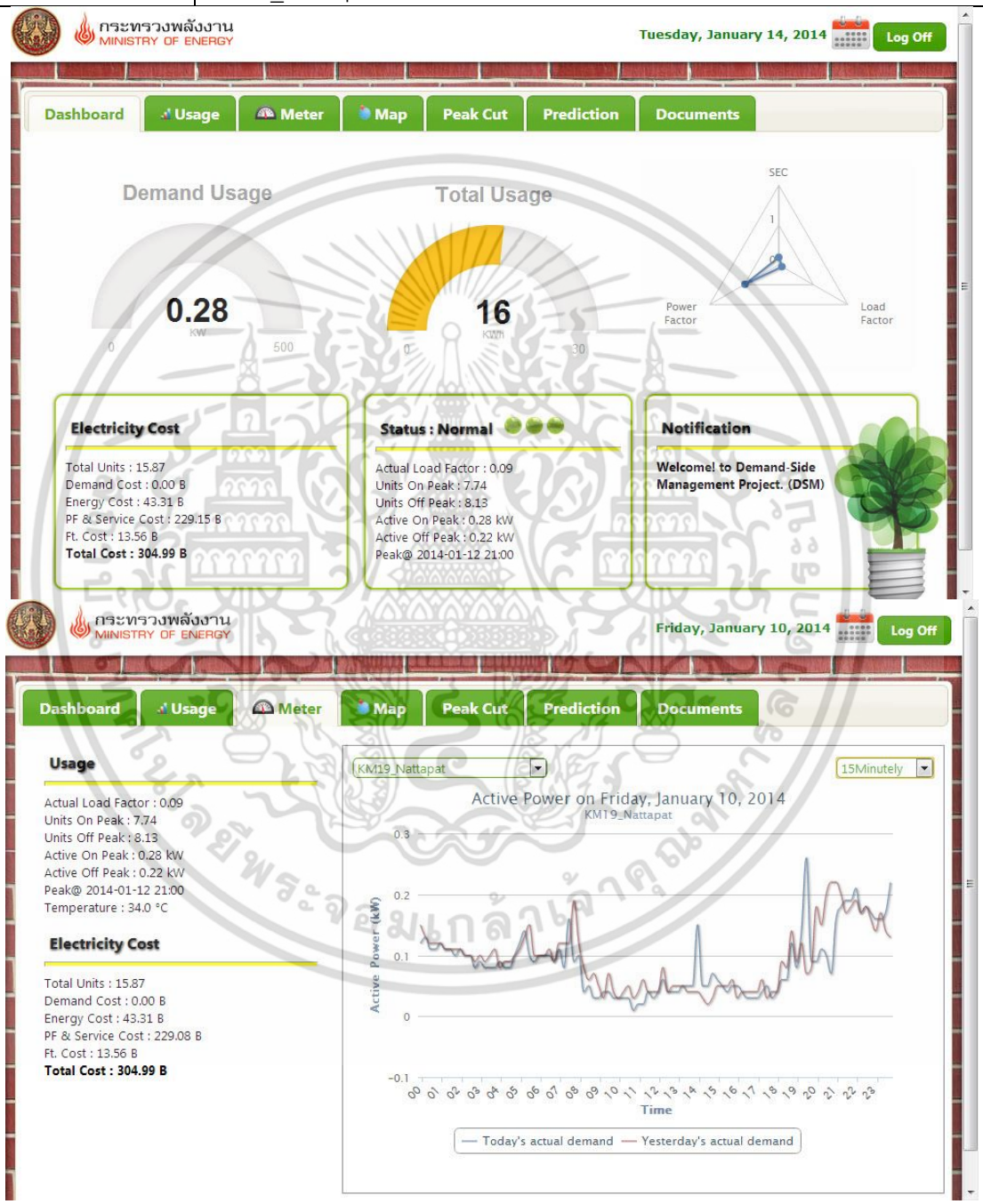


Accuracy: 2.43%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HOUSE 4 - NATTAPAT

User name	Kmitldsmcd
Password	DSMKMITLCD
Descriptions	535 ซ.เทศบาลร้งสรรเหนือ 14 ถ.ประชาชื่น แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900
Meter	KM19_Nattapat

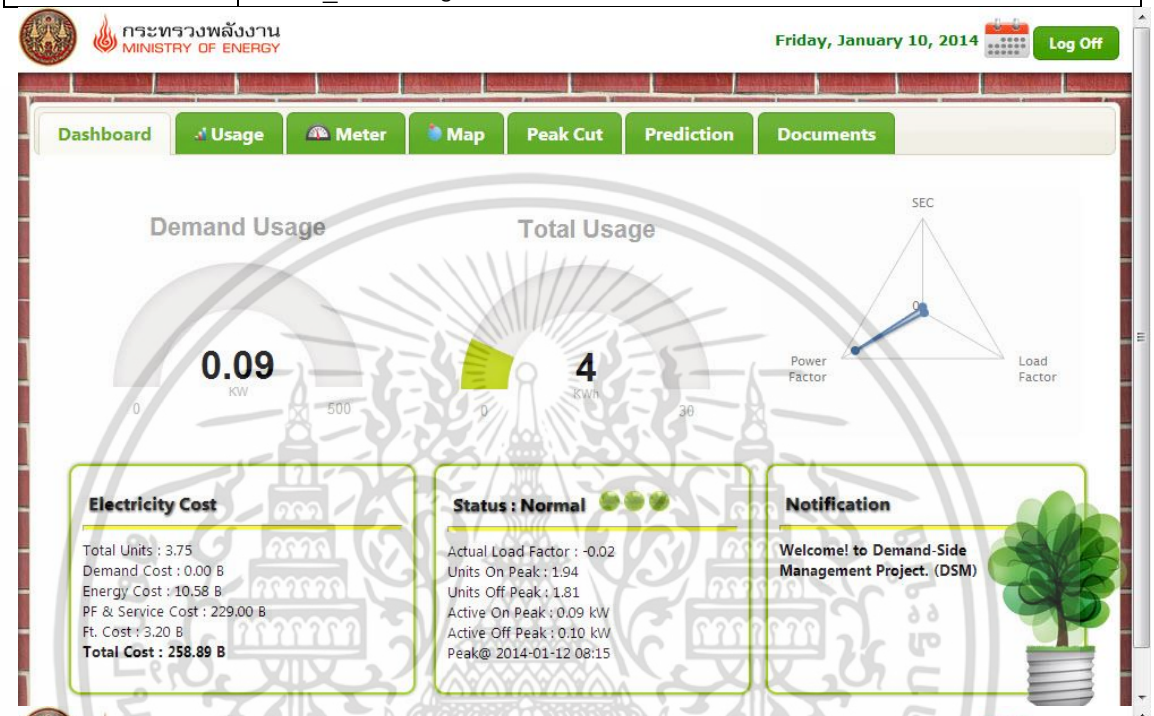


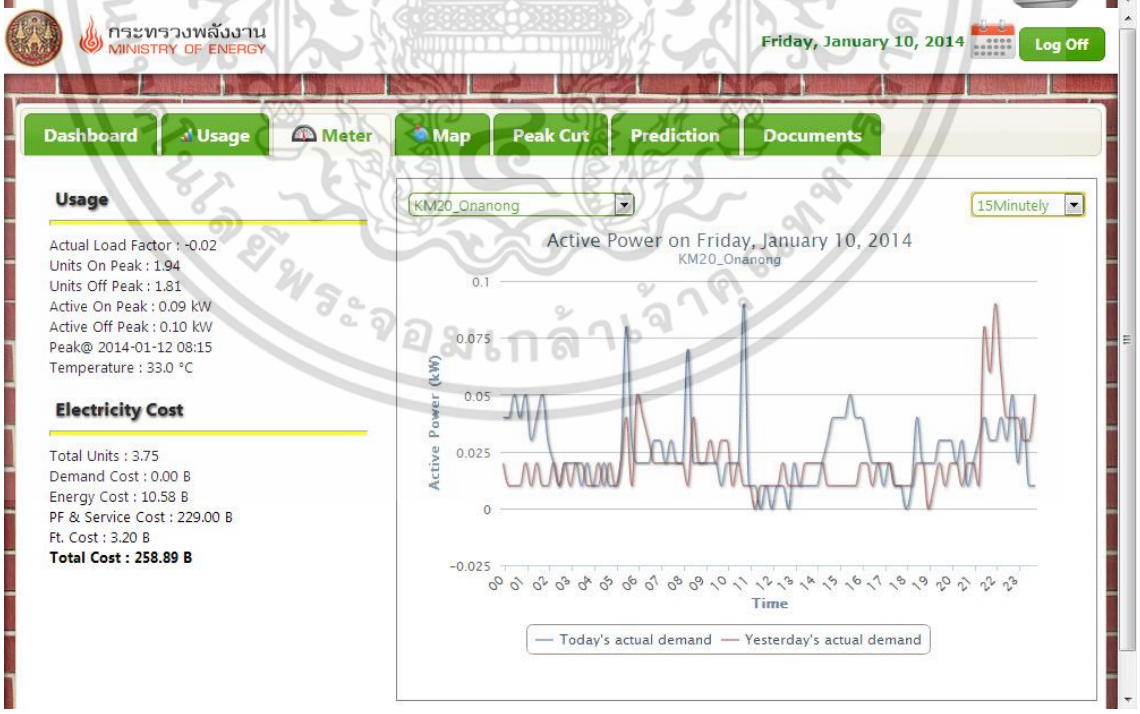
Accuracy: 33.85%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HOUSE 5 - ONANONG

User name	Kmitldsmce
Password	DSMKMITLCE
Descriptions	221/50 หมู่บ้านเดอะวิลเลจ ถนนปัญญา-อินทรา แขวงบางชัน เขตคลองสามวา กรุงเทพฯ 10510
Meter	KM20_Onanong



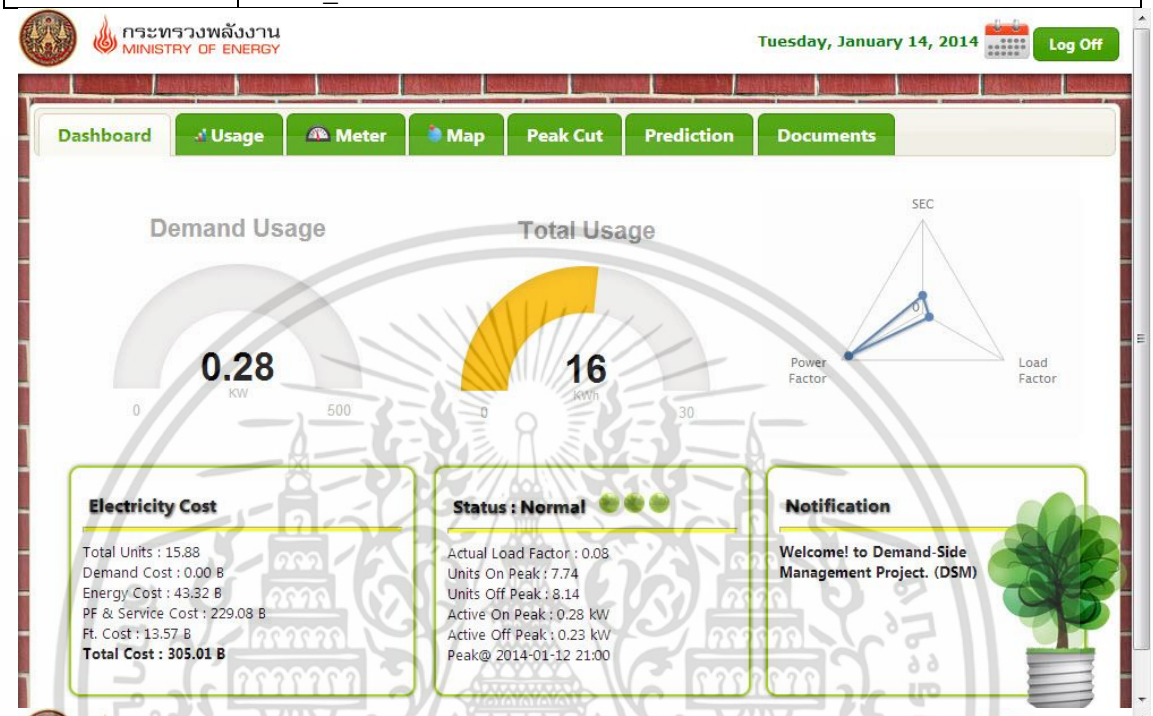


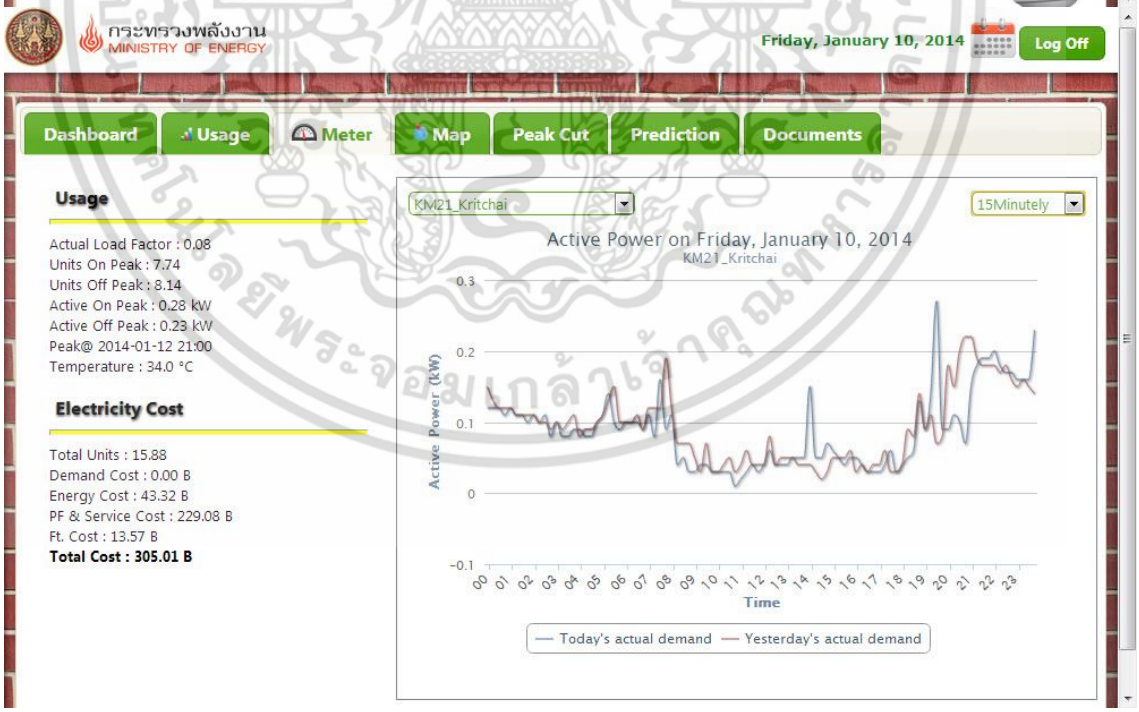
Accuracy: 26.16%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HOUSE 6 - KRITCHAI

User name	Kmitldsmcf
Password	DSMKMITLCF
Descriptions	22/16 ม.8 ถ.คู้คลองสิบ แขวงคู้ฝั่งเหนือ เขตหนองจอก กรุงเทพฯ 10530
Meter	KM21_Kritchai



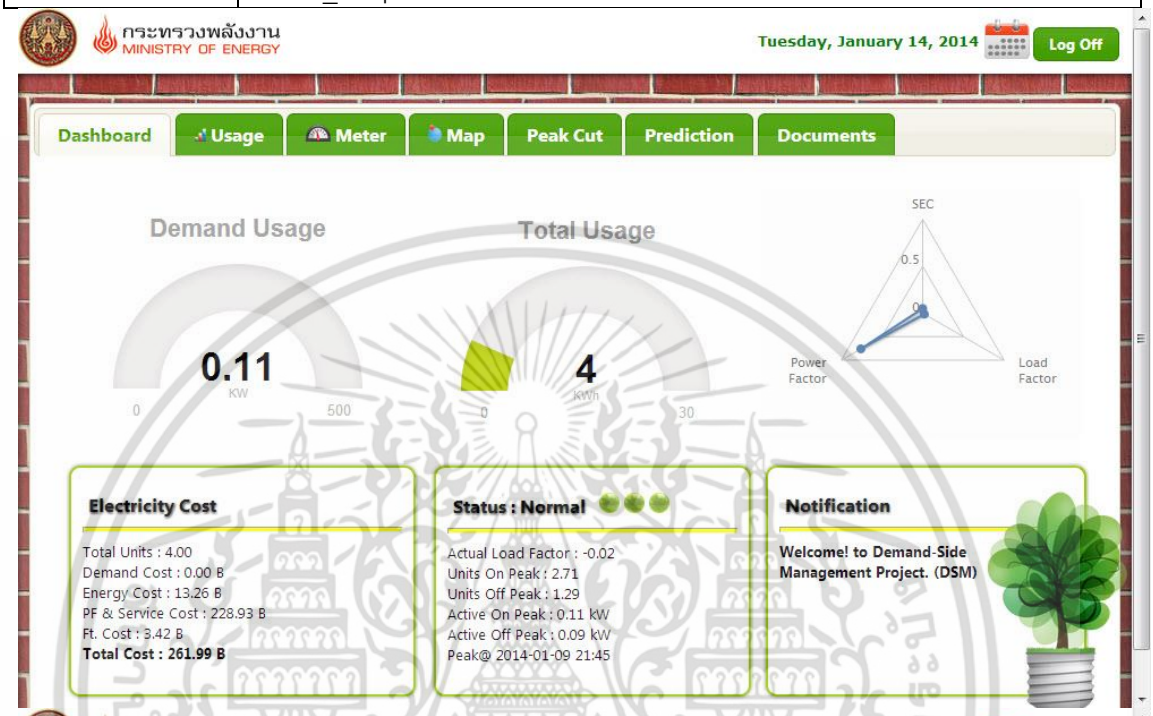


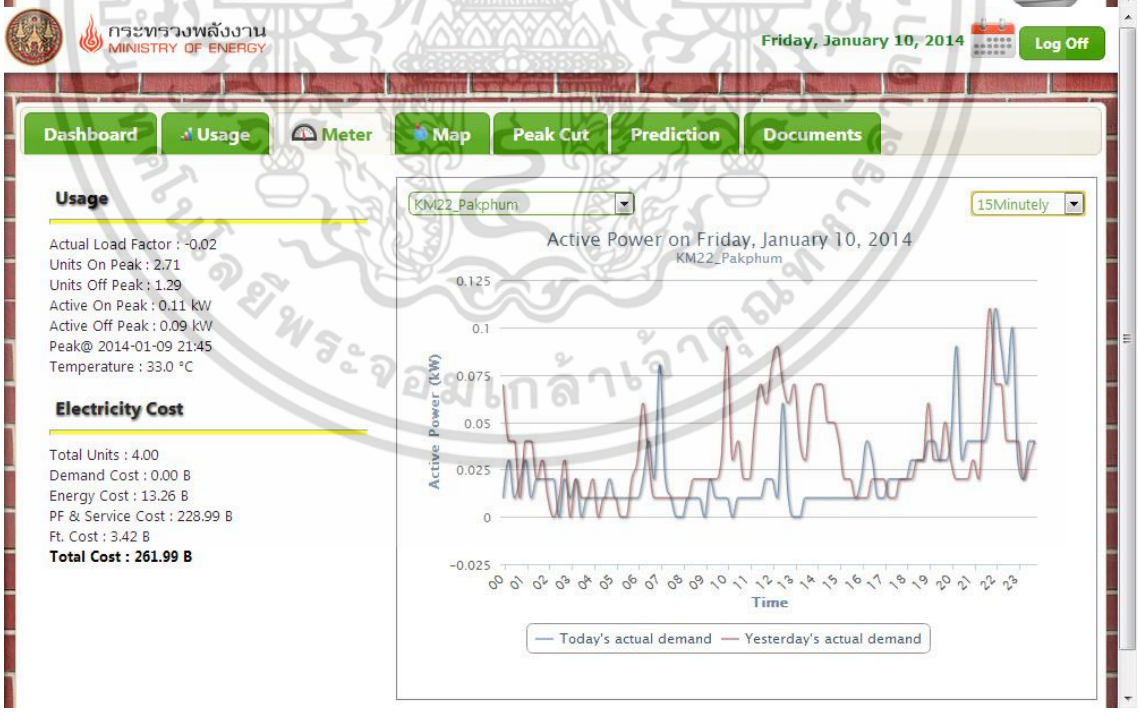
Accuracy: 3.85%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HOUSE 7 - PAKPHUM

User name	Kmitldsmcg
Password	DSMKMITLCG
Descriptions	127/324 ซ.รามอินทรา 40 แยก 8-3 แขวงนวลจันทร์ เขตบึงกุ่ม กทม. 10240
Meter	KM22_Pakphum



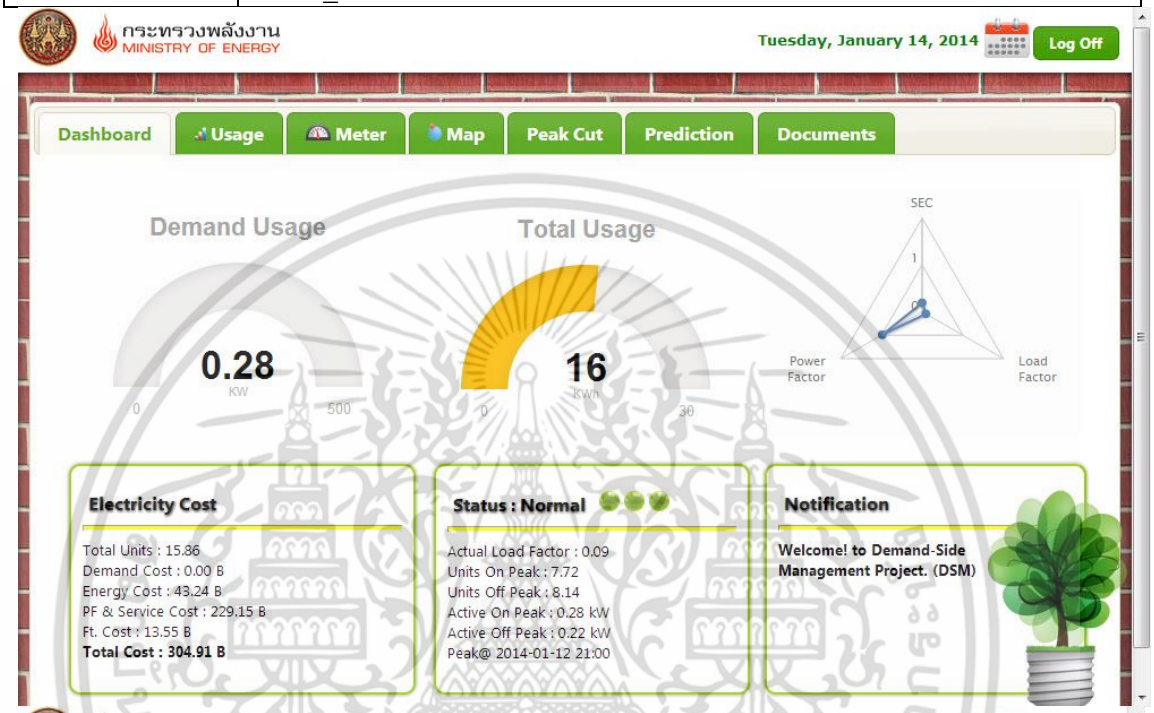


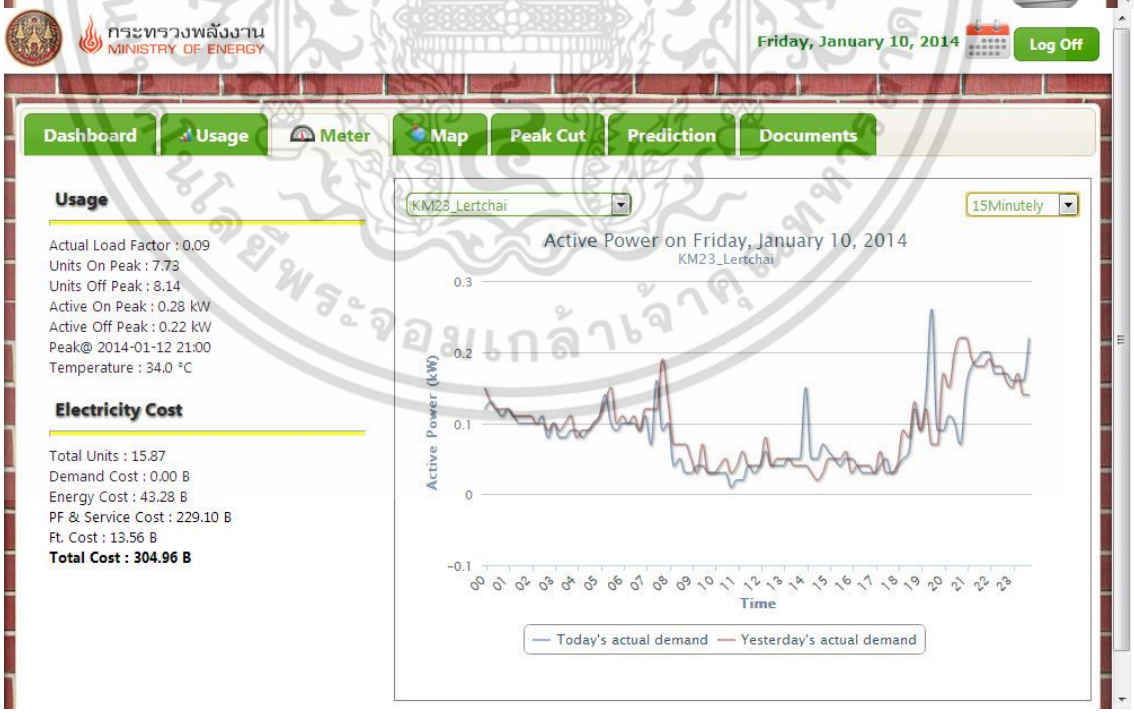
Accuracy: 36.36%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HOUSE 8 - LERTCHAI

User name	Kmitldsmch
Password	DSMKMITLCH
Descriptions	105/309 หมู่บ้านวังทองเฮาส์ ถ.นวมินทร์ ซ.57 เขตบึงกุ่ม กรุงเทพฯ
Meter	KM23_Lertchai





Accuracy: 2.99%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HOUSE 9 - WATTANA

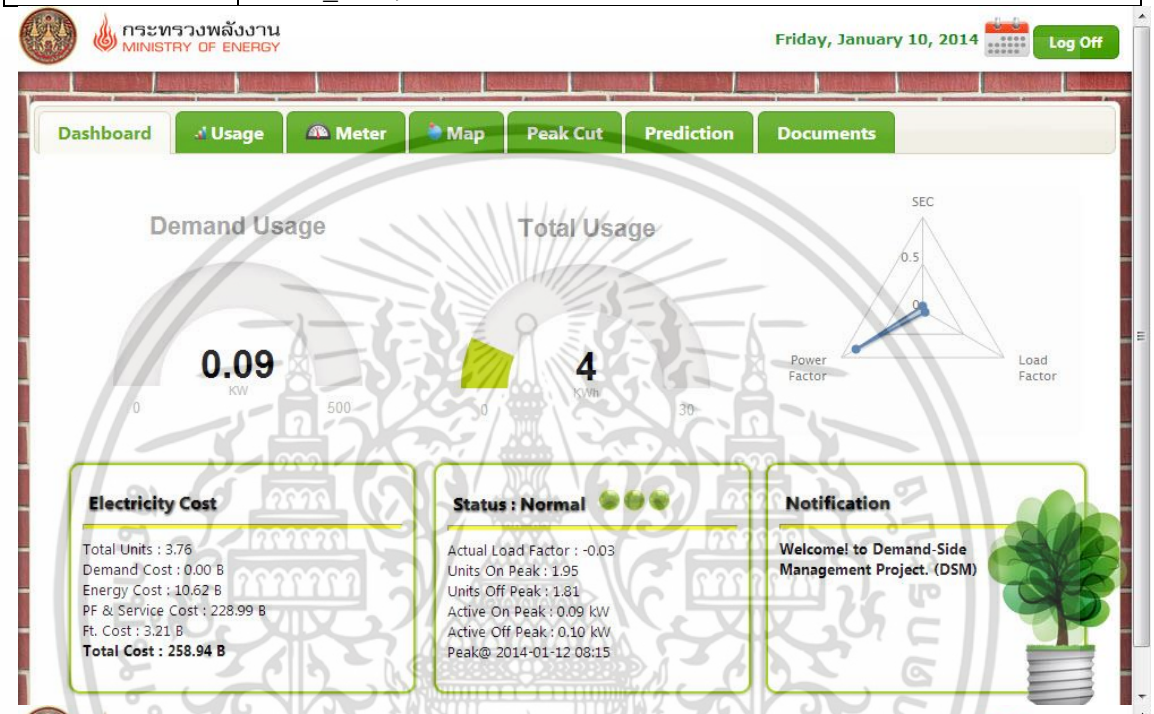
User name	Kmitldsmci
Password	DSMKMITLCI
Descriptions	100/438 หมู่ 8 ต.บางรักพัฒนา อ.บางบัวทอง จ.นนทบุรี
Meter	KM24_Wattana

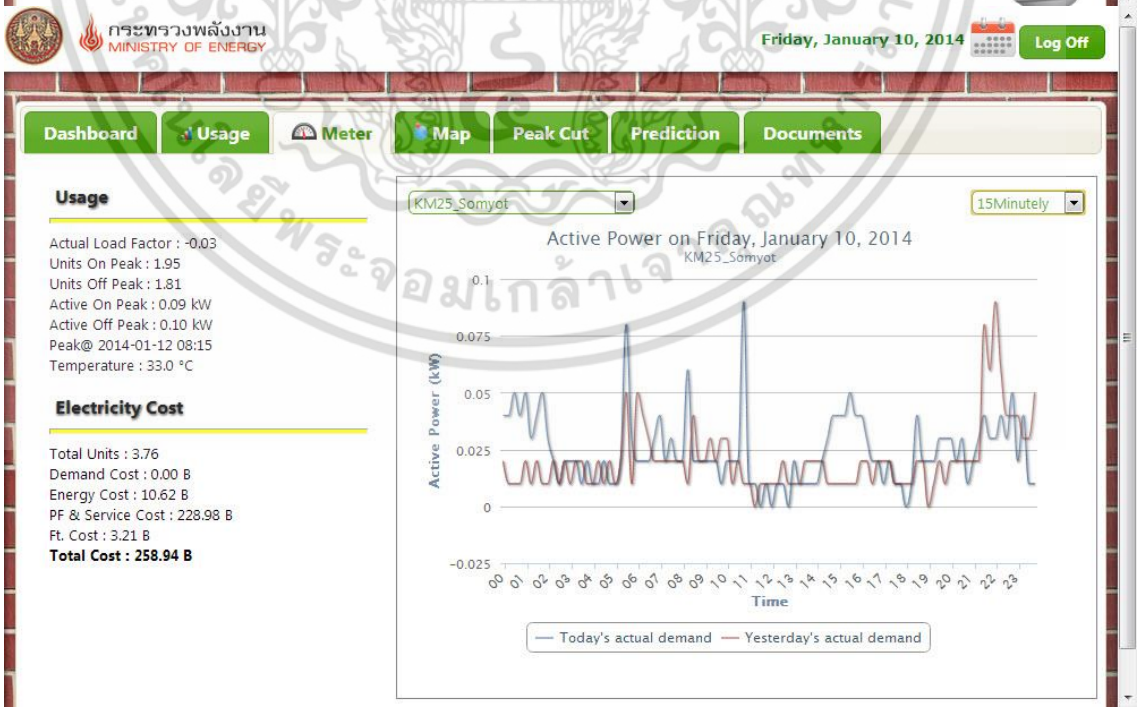
Accuracy: 16.25%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HOUSE 10 - SOMYOT

User name	Kmitldsmcj
Password	DSMKMITLCJ
Descriptions	229/126 ม.พนาสนธิ์การ์เด้น (ซอย 9) ซอยร่มเกล้า 15 แขวงแสนแสบ เขตมีนบุรี กรุงเทพมหานคร 10510
Meter	KM25_Somyot





Accuracy: 5.53%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HOUSE 11 - SIWAPORN

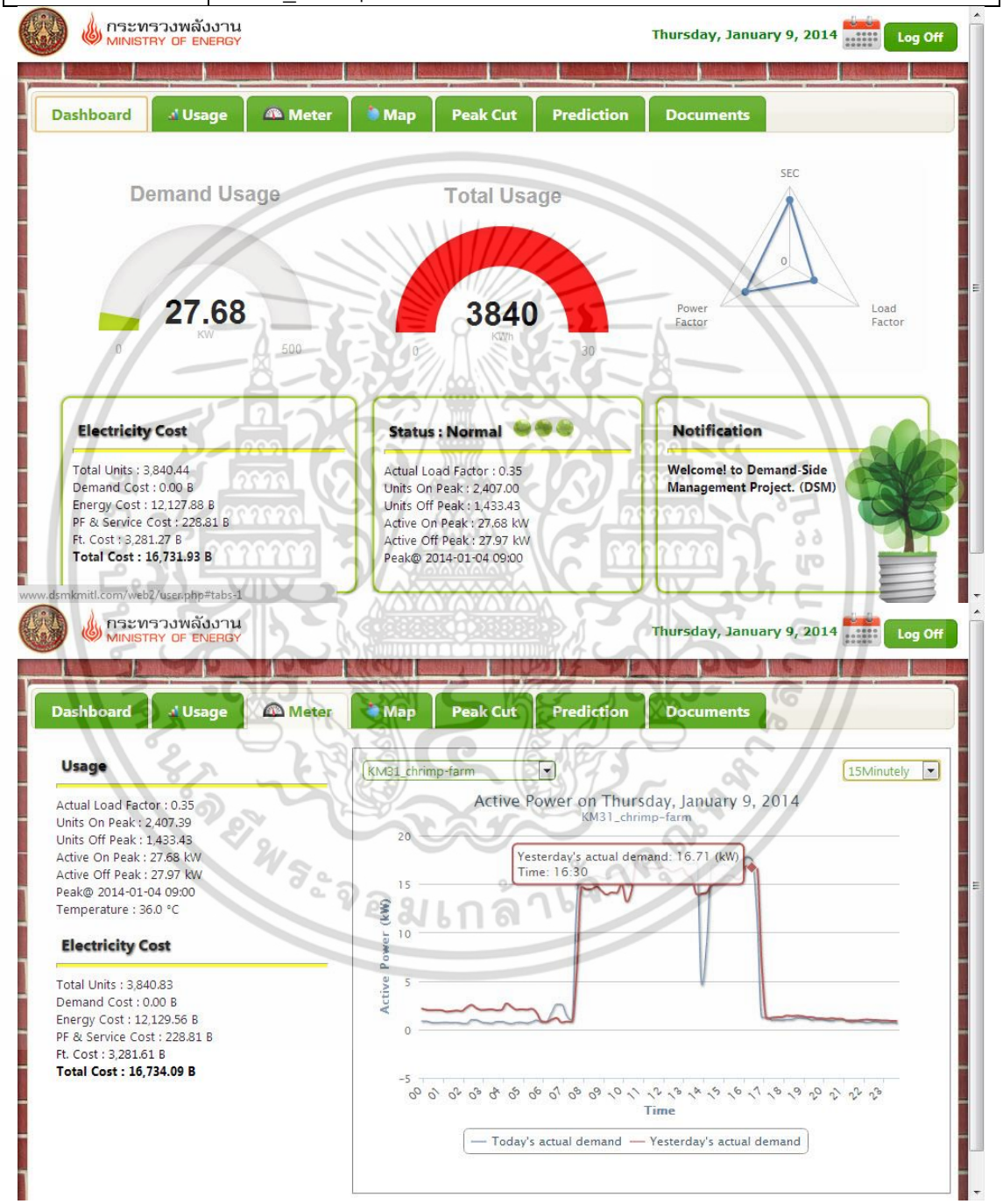
User name	Kmitldsmck
Password	DSMKMITLCK
Descriptions	17 ซอยธนสิทธิ์ หมู่18 ตำบลบางพลีใหญ่ อำเภอบางพลี สมุทรปราการ
Meter	KM26_Siwaporn

Accuracy: 14.62%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HOUSE 12 - CHRIMP-FARM

User name	Kmitldsmcl
Password	DSMKMITLCL
Descriptions	อู่ทองฟาร์ม (นากุ้ง) ต.ห้วยแร้ง อ.เมือง จ.ตราด
Meter	KM31_chrimp-farm



Accuracy: 14.06%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HOUSE 13 - SURIN

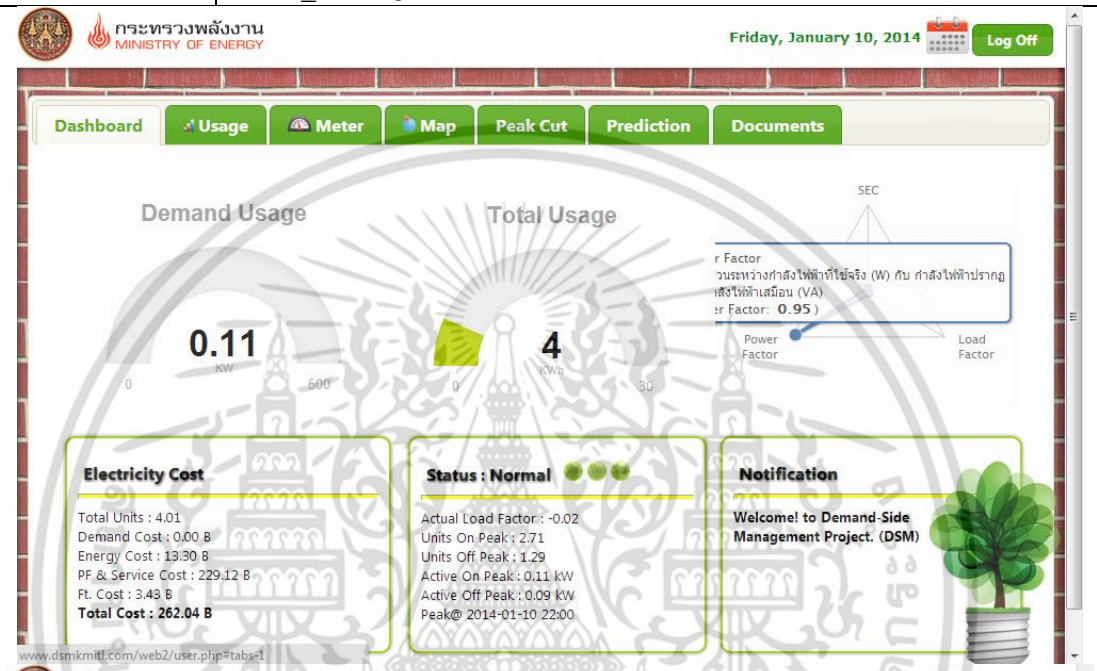
User name	Kmitldsmcm
Password	DSMKMITLCM
Descriptions	61/805 หมู่บ้านโรยัลปาร์ควิลล์ แขวงลำผักชี เขตหนองจอก กรุงเทพฯ 10530
Meter	KM37_Surin

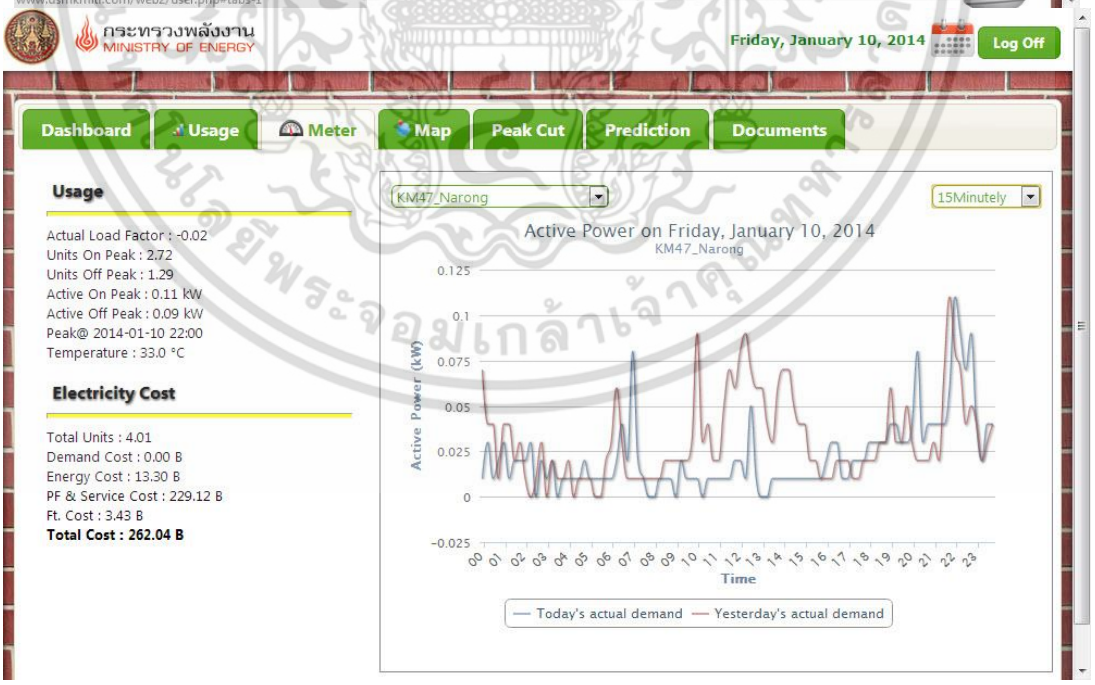
Accuracy: 37.62%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HOUSE 14 - NARONG

User name	Kmitldsmcn
Password	DSMKMITLCN
Descriptions	99-46 บ้านพักรถไฟกม. 11 ถ.วิภาวดี เขตจตุจักร แขวงจตุจักร กรุงเทพ 10900
Meter	KM47_Narong





Accuracy:-60.56%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HOUSE 15 - PIYANUCH

User name	Kmitldsmco
Password	DSMKMITLCO
Descriptions	66/8 หมู่บ้าน ไทยสมุทร2 ตำบล ราชาเทวะ อำเภอ บางพลี จังหวัด สมุทรปราการ 10540
Meter	KM54_Piyanuch

Accuracy: 8.20%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HOUSE 16 - PEERANIT-HI

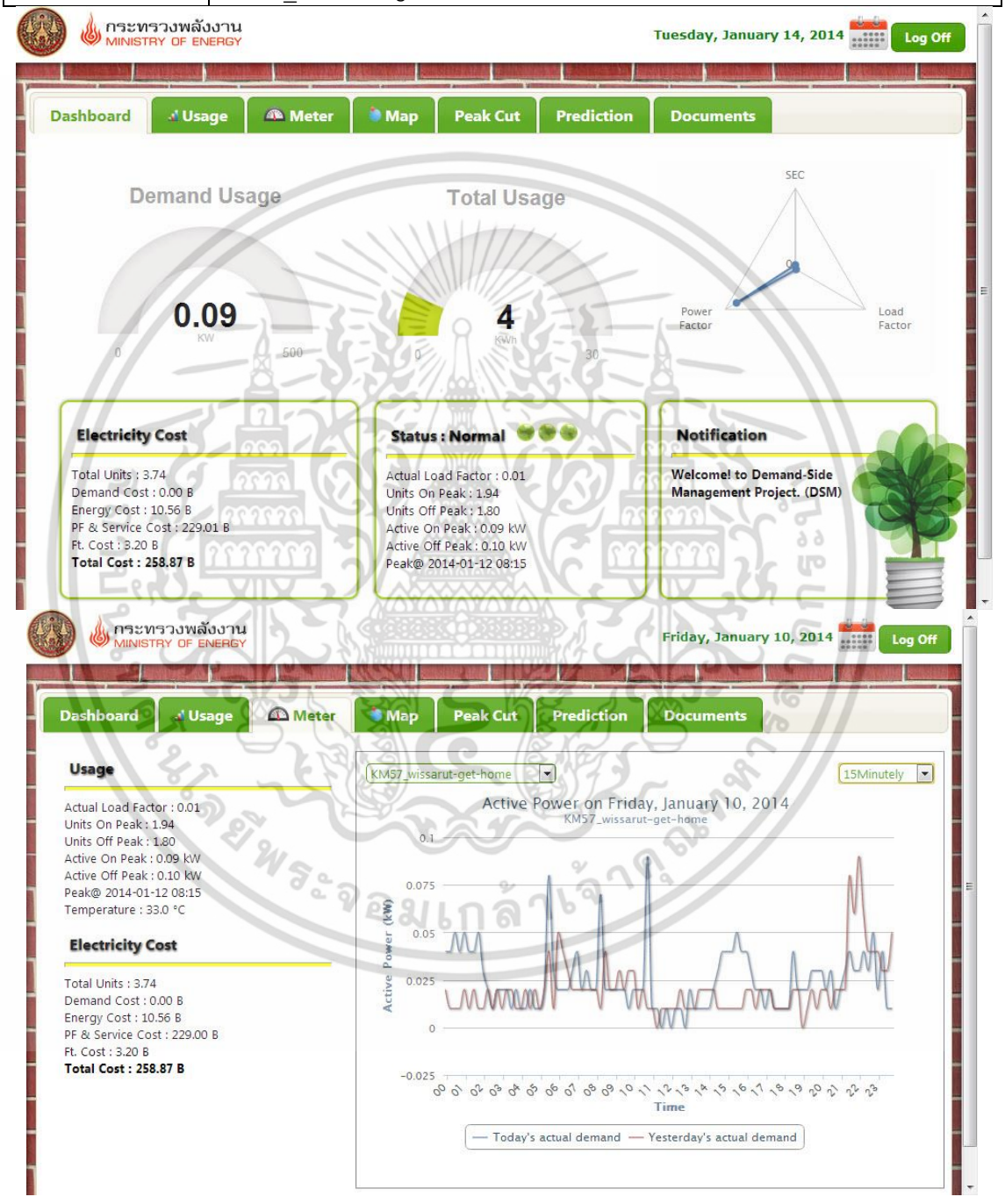
User name	Kmitldsmcp
Password	DSMKMITLCP
Descriptions	79/88 ซ.7/1 ซ.รามคำแหง 150 (หมู่บ้านธารารมณ์) สะพานสูง กรุงเทพฯ
Meter	KM56_peeranit-hi-home

Accuracy: 80.59%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HOUSE 17 - WISSARUT-GET

User name	Kmitldsmcq
Password	DSMKMITLCQ
Descriptions	98/70 หมู่บ้านเดอะทรัสต์ทาวน์ราชพฤกษ์ ต.อ้อมเกร็ด อ.ปากเกร็ด จ.นนทบุรี
Meter	KM57_wissarut-get-home



Accuracy: 15.53%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HOUSE 18 - NATEE-BOM

User name	Kmitldsmcr
Password	DSMKMITLCR
Descriptions	36/23 ซ.บุญคุ้ม 3 หมู่ 6 ต.คูคต อ.ลำลูกกา จ.ปทุมธานี
Meter	KM58_natee-bom-home

Accuracy: 76.14%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HOUSE 19 - PONGSAK

User name	Kmitldsmcs
Password	DSMKMITLCS
Descriptions	42/96 ถนนสวนผัก 58 เขตทวีวัฒนา กรุงเทพฯ
Meter	KM59_pongsak-home

Accuracy: 11.21%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HOUSE 20 - SADUDEE-BIG

User name	Kmitldsmct
Password	DSMKMITLCT
Descriptions	46/149 ถนนประชาชื่น-นนทบุรี ตำบลบางเขน อำเภอเมืองนนทบุรี นนทบุรี 11000
Meter	KM60_sadudee-big-home

Accuracy: 4.17%

รวมทั้งสิ้น 20 มิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 36

The 36th Electrical Engineering Conference (EECON 36)

11-13 ธันวาคม 2556

ณ เฟลิกซ์ ริเวอร์แคว รีสอร์ท จ.กาญจนบุรี

Volume 2

(CM) ไฟฟ้าสื่อสาร

(EL) อิเล็กทรอนิกส์

(PH) โฟโตนิกส์

(CT) ระบบควบคุม และการวัดคุม

(DS) การประมวลสัญญาณดิจิตอล

(CP) คอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ

(GN) งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิศวกรรมไฟฟ้า

(BE) วิศวกรรมชีวการแพทย์

Electrical Engineering Dept.

Faculty of Engineering

Kasetsart University

50 Ngamwongwan Road Latyao

Chatuchak Bangkok 10900

Tel: 02-797-0999 ext 1503, 1504

Fax: 02-579-7566

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

PW001	การบริหารจัดการพลังงานสำหรับบ้านอัจฉริยะโดยการหาค่าเหมาะสมที่สุด	1
PW002	การวิเคราะห์ข้อมูลโดยวิธีใช้ฟังก์ชั่นทางสถิติ เพื่อช่วยบริหารจัดการความต้องการใช้พลังงาน	5
PW003	Improvement load factor with reducing peak demand in Industrial sector by using load duration curve analysis techniques	9
PW004	การจำลองสนามแม่เหล็กของมอเตอร์เหนี่ยวนำเมื่อพิจารณาร่องโรเตอร์เฉียงโดยใช้วิธีไฟไนท์อิลิเมนท์แบบ 3 มิติ	13
PW005	การศึกษาอุณหภูมิภายในหม้อแปลงไพอิโซอิเล็กทริกแบบหลายชั้น ด้วยวิธีไฟไนท์อิลลิเมนต์แบบ 3 มิติ	17
PW006	Robust Control of Combined FCL and ECS for Power System Transient Stability Improvement	21
PW007	การประสานควบคุมแบบคงทนของกังหันลมชนิดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบป้อนสองทางซึ่งติดตั้งตัวหน่วงการแกว่งกำลังไฟฟ้าและตัวทำเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังเพื่อลดการแกว่งกำลังไฟฟ้า	25
PW008	การชดเชยการแกว่งของความถี่ต่ำในระบบไฟฟ้ากำลังด้วย FACTS	29
PW009	Photovoltaic Generation Control by Fuzzy Gain Scheduling based on Bee Colony Optimization for Frequency Control in an Isolated Power System	33
PW010	Stabilization of Inter-Area Oscillation by Large PV Farm with Controllable Output Power by Fuzzy Gain Scheduling of PID Controller based on Bee Colony Optimization	37
PW011	การหาขนาดขดลวดตัวนำยิ่งยวดที่เหมาะสมซึ่งติดตั้งในกังหันลมที่ใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำชนิดป้อนสองทางเพื่อเพิ่มความสามารถการข้ามผ่านความผิดพร่องและลดการแกว่งกำลังไฟฟ้าที่ไม่สม่ำเสมอ	41
PW012	การปรับปรุงการลู่เข้าของวิธีฮิวริสติกเพื่อแก้ปัญหาการจ่ายโหลดแบบประหยัดแบบพลวัตร	45
PW013	การกำหนดตำแหน่งติดตั้งและขนาดโรงไฟฟ้าขนาดเล็กอย่างเหมาะสมโดยใช้วิธีการผสมผสานระหว่างตัวประกอบบ่งชี้กำลังสูญเสียและ PSO-TVAC	49
PW014	Optimal Generation Dispatch Considering Wind Power Uncertainty Using Non-dominated Sorting Particle Swarm Optimization	53
PW015	Power System State Estimation with Grid-Connected Wind Turbine Generators Considering Generation Reallocation Method	57
PW016	การวิเคราะห์ผลกระทบจากการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าในระบบแรงดันต่ำด้วยโปรแกรม DIgSILENT	61
PW017	Utility Impacts of Electric Vehicle Quick Charger	65
PW018	Impact of Fast Charging Station to Voltage Level in Distribution System	69
PW019	Impact of Unbalance Electric Vehicle Home Charging in Distribution Systems	73
PW020	Charging Strategy of Electric Vehicles for Maintaining Micro-Grid Stability during Islanding	77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์ข้อมูลโดยวิธีใช้ฟังก์ชั่นทางสถิติ เพื่อช่วยบริหารจัดการความต้องการใช้พลังงาน

Data Analysis for Demand Side Management System using Statistic Functions

สามารถ กันทาเขียว[1] รศ.ดร.สุรินทร์ คำฝอย[2] และ รศ. ประภาษ ไพรสุวรรณา[2]

[1] ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1 ซอยฉลองกรุง 1 แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520 E-mail: S5610705@kmitl.ac.th

[2] ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1 ซอยฉลองกรุง 1 แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520 E-mail: kkhsurin@kmitl.ac.th, kpprapar@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้เป็นการนำเสนอการวิเคราะห์ข้อมูลโดยวิธีใช้ฟังก์ชั่นทางสถิติเพื่อช่วยบริหารจัดการความต้องการใช้พลังงาน โดยใช้ข้อมูลที่ได้รับจากสมาร์ทมิเตอร์จำนวน 60 ตัวเพื่อนำมาวิเคราะห์การใช้พลังงานใน 3 กลุ่มตัวอย่าง คือ บ้านพักอาศัย อาคารพาณิชย์ และโรงงานอุตสาหกรรม โดยการใช้ฟังก์ชันเชิงสถิติเพื่อทำนายแนวโน้มการใช้พลังงาน ซึ่งจะช่วยในการวางแผนสำหรับศูนย์บริหารจัดการความต้องการใช้พลังงาน (DSM center) ได้อย่างเหมาะสม และยังได้นำเสนอฟังก์ชันที่ใช้ระบุดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพใช้พลังงานขั้นพื้นฐาน (KPI) ในแต่ละกลุ่ม โดยผล KPI ที่ได้จะเป็นดัชนีที่ช่วยส่งเสริมให้ประหยัดพลังงานและปรับเปลี่ยนพฤติกรรมในการใช้พลังงานได้ โครงการวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการสนับสนุนแผนการพัฒนาประสิทธิภาพการใช้พลังงานของสำนักนโยบายและแผนพลังงาน

คำสำคัญ: ฟังก์ชั่นทางสถิติ, มิเตอร์อัจฉริยะ, การทำนายโหลด

Abstract

Data analysis function for demand site management system using statistic function is presented in this paper. The data from 60 smart meters are used to analyze for three categories: residents, high rise buildings and industries. The proposed statistic functions can predict the trend of consumed energy, so the planning for demand site management center can be performed suitably. Also, the proposed function can also be used as a basic key performance index (KPI) for user behavior in each studied category. The results in each KPI would encourage users to save energy and adjusting energy consumed behavior. The proposed functions can also support the energy efficiency development plan from energy policy and planning office (EPPO).

Keywords: Statistic functions, Smart meter, DSM, Load Prediction

1. บทนำ

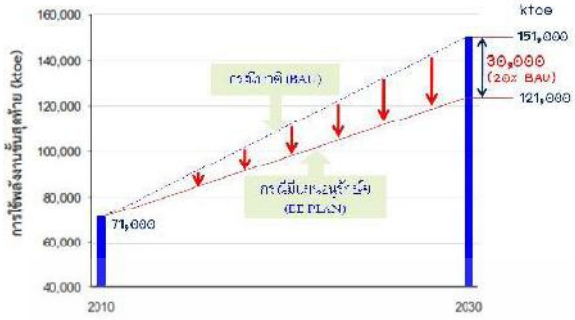
จากแผนการอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี (2011 -2030) ของกระทรวงพลังงาน ได้กำหนดนโยบายและแนวทางการดำเนินการด้านการอนุรักษ์พลังงานของประเทศไทยในระยะยาวโดยมีวัตถุประสงค์หลักในการจัดทำอยู่ 2 ประการ คือ

1) เพื่อกำหนดเป้าหมายการอนุรักษ์พลังงานของประเทศในระยะสั้น 5 ปี ระยะยาว 20 ปี ทั้งในภาพรวมของประเทศ และในรายภาคเศรษฐกิจที่มีการใช้พลังงานมาก ได้แก่ ภาคขนส่ง ภาคอุตสาหกรรม ภาคอาคารธุรกิจ และภาคที่อยู่อาศัย

2) เพื่อกำหนดยุทธศาสตร์และแนวทางในการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานเพื่อให้บรรลุเป้าหมายการอนุรักษ์พลังงานที่ตั้งไว้ รวมทั้งกำหนดมาตรการและแผนงานเพื่อเป็นกรอบในการจัดทำแผนปฏิบัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานของหน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง

ตามข้อตกลงระหว่างผู้นำประเทศของกลุ่มเอเปคเมื่อปี 2007 ที่นครซิดนีย์ ประเทศออสเตรเลีย เอเปคได้ตั้งเป้าหมายให้มีการอนุรักษ์พลังงานเพื่อความมั่นคงด้านพลังงานของภูมิภาค และเพื่อการแก้ปัญหาการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ โดยการลด “ความเข้มการใช้พลังงาน” (Energy Intensity) หรือพลังงานที่ใช้ต่อหน่วยผลิตภัณฑ์มวลรวมของประเทศ (GDP) ลงร้อยละ 25 ภายในปี 2030 โดยใช้ปี 2005 เป็นปีฐาน ดังนั้น หากประเทศไทยมุ่งมั่นที่จะดำเนินมาตรการอนุรักษ์พลังงานตามข้อตกลงดังกล่าว ความเข้มการใช้พลังงานในภาพรวมของประเทศไทยในปี 2030 จะต้องไม่เกิน 12.1 ktoe ต่อพันล้านบาท GDP หรือการใช้พลังงานขั้นสุดท้าย (Final Energy) ในปีดังกล่าวจะต้องไม่เกิน 121,000 ktoe (ภายใต้สมมติฐานที่เศรษฐกิจจะขยายตัวเฉลี่ยร้อยละ 4.2 ต่อปี) หรือต้องต่ำกว่าความต้องการพลังงานในกรณีปกติที่ไม่มีมาตรการอนุรักษ์พลังงาน (Business-as-usual, BAU) 30,000 ktoe หรือต่ำกว่าร้อยละ 20 ของความต้องการในกรณีปกติ [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1 เป้าหมายการอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี [1]

ในส่วนของการบริหารจัดการความต้องการใช้พลังงาน หลากหลายงานวิจัยในหลายๆ ประเทศ ทั้งในแถบทวีปยุโรป ทวีปอเมริกา หรือแม้แต่ทวีปเอเชียเอง ได้มีการพัฒนาและสร้างงานวิจัยในการบริหารจัดการความต้องการใช้พลังงานที่เหมาะสมกับประเทศเพื่อรักษาเสถียรภาพของการใช้พลังงานในประเทศของตน ดังตัวอย่างของการบริหารจัดการความต้องการใช้พลังงาน เช่น Load Flow Analysis, Power Quality Monitoring, Peak cut, Load Shifting, Load Forecasting เป็นต้น

สำหรับงานวิจัยฉบับนี้จึงได้นำเสนอรูปแบบการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้วิธีฟังก์ชั่นทางสถิติ เพื่อช่วยบริหารจัดการความต้องการพลังงาน ด้วยวิธีการทำนายแนวโน้มของการใช้พลังงานในช่วงเวลาต่างๆ จากกลุ่มตัวอย่างที่มีการใช้พลังงานมาก 3 กลุ่ม คือ โรงงานอุตสาหกรรม อาคารธุรกิจ และบ้านพักอาศัย และได้นำเสนอฟังก์ชันที่ใช้ระบุดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพใช้พลังงานขั้นพื้นฐาน (KPI) ในแต่ละกลุ่ม โดยผล KPI ที่ได้จะเป็นดัชนีที่ช่วยส่งเสริมให้ประหยัดพลังงานและปรับเปลี่ยนพฤติกรรมในการใช้พลังงานได้

2.วิธีการดำเนินงาน

จากมาตรการอนุรักษ์พลังงานที่กล่าวมาข้างต้น โครงการวิจัยนี้จึงได้นำเสนอการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้รับจากมิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะเพื่อช่วยบริหารจัดการความต้องการใช้พลังงาน จากกลุ่มตัวอย่างที่มีการใช้พลังงานมาก 3 กลุ่ม คือ กลุ่มโรงงานอุตสาหกรรม กลุ่มอาคารพาณิชย์ และกลุ่มบ้านพักอาศัย โดยใช้การวัดพลังงานไฟฟ้าและส่งข้อมูลแบบสองทิศทางระหว่างมิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะและศูนย์การจัดการความต้องการพลังงานไฟฟ้า โดยใช้โครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM/GPRS สำหรับส่งข้อมูลจากมิเตอร์ไฟฟ้าไปยังซอฟต์แวร์การคำนวณค่าการใช้พลังงานไฟฟ้า ซึ่งข้อมูลที่ได้จะถูกนำมาวิเคราะห์ทางสถิติในลักษณะกราฟของโหลด หรือ Load profile เพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลในการวิเคราะห์พฤติกรรมการใช้พลังงานในช่วงเวลาต่างๆ และเพื่อช่วยในการทำนายโหลด (Load Prediction) เพื่อแสดงถึงปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่จะใช้ล่วงหน้าเพื่อการวางแผน และอีกทั้งยังหาค่าดัชนีชี้วัดพฤติกรรมของผู้ใช้ไฟฟ้า ซึ่งการวิเคราะห์ดังกล่าวจะเป็นประโยชน์ต่อการให้คำแนะนำในโปรแกรมการจัดการด้านความต้องการใช้พลังงานเป็นอย่างมาก เนื่องจากสามารถที่จะสร้างหรือออกแบบคำแนะนำได้อย่างปัจจุบันมากขึ้น สำหรับแนวโน้มการใช้พลังงานและข้อแนะนำที่เป็นประโยชน์ในเชิงการจัดการพลังงานเพื่อพัฒนาประสิทธิภาพการใช้พลังงานและจัดการความต้องการไฟฟ้าได้อีกด้วย [2]

3. ฟังก์ชั่นทางสถิติและดัชนีชี้วัดพฤติกรรมผู้ใช้ไฟฟ้า

สำหรับโครงการวิจัยนี้จะนำเสนอการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของลักษณะกราฟของโหลด หรือ Load Profile ซึ่งจะทำนายโดยการใช้ปัจจัยทางสถิติเพื่อทำนายแนวโน้มในของการใช้พลังงาน โดยการประยุกต์ใช้สมการการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นกับข้อมูลของ Load Profile ในรูปแบบข้อมูลอนุกรมเวลา (Time Series Data) และการหาค่าดัชนีชี้วัดพฤติกรรมผู้ใช้ไฟฟ้า

3.1 ดัชนีชี้วัดพฤติกรรมผู้ใช้ไฟฟ้า

สำหรับฟังก์ชันที่ใช้ระบุดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพใช้พลังงานขั้นพื้นฐาน (KPI) ในแต่ละกลุ่มนั้น ผลของ KPI ที่ได้จะเป็นดัชนีที่ช่วยส่งเสริมให้ประหยัดพลังงานและปรับเปลี่ยนพฤติกรรมในการใช้พลังงานได้ โดยได้นำเสนอค่าในการใช้งานวิเคราะห์ ดังนี้

ก. ค่าดัชนีพลังงาน ค่าการใช้พลังงานต่อหน่วยการผลิต (Specific Energy Consumption, SEC) ค่านี้ในส่วนของโรงงานจะแสดงเป็นหน่วย MJ/หน่วยการผลิต ในส่วนของอาคารธุรกิจและบ้านพักอาศัยจะแสดงเป็นหน่วย MJ/m^2

ข. ค่าตัวประกอบโหลด (Load Factor, LF) ซึ่งค่านี้จะวัดอัตราส่วนของโหลดเฉลี่ยต่อโหลดสูงสุดของผู้ใช้ไฟฟ้า หากค่านี้มีค่าสูงจะหมายถึงการใช้โหลดสม่ำเสมอ และมีผลต่อค่าไฟฟ้าต่อหน่วยสำหรับกลุ่มผู้ใช้กลุ่มอาคารและโรงงาน

ค. ค่าตัวประกอบกำลัง (Power Factor, PF) เป็นอัตราส่วนของกำลังไฟฟ้าจริงต่อกำลังไฟฟ้าปรากฏ ค่านี้เป็นดัชนีการใช้ไฟฟ้าในรูปแบบหนึ่ง

ค่าทั้งสามข้างต้นแสดงเป็นรูปแบบกราฟสามมิติเพื่อให้ง่ายต่อการอ่านทั้งสามค่าพร้อมกัน ดังแสดงในรูปที่ 3

ง. เปอร์เซ็นต์การใช้ไฟฟ้า เป็นค่าที่คำนวณจาก

$$100 \times \frac{E_c}{E_{\lim}}$$

เมื่อ E_c คือ พลังงานที่ใช้ในปัจจุบันของหน่วยวัด

$E_{\lim}$ คือ ค่าพลังงานที่จำกัดไว้โดยผู้ใช้ (เป็นค่าเป้าหมาย) หรือกำหนดโดยผู้ผลิตไฟฟ้า

3.2 การวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้วิธีฟังก์ชั่นทางสถิติ

โดยปกติการหาค่าพารามิเตอร์สำหรับระบบที่มีอินพุทสามารถกำหนดแบบจำลองการถดถอย หรือ Regreesion ในรูปแบบต่างๆ ได้ โดยวิธีการที่นิยมก็คือ System Identification ซึ่งวิธีการนี้จะป้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อินพุทเข้ายังระบบที่มีการป้อนกลับและจับสัญญาณเอาท์พุทจากตัวตรวจจับ จากนั้นจะใช้เทคนิค Least Square และการแก้สมการถดถอย (Regression) มาหาค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองทางพลศาสตร์ที่เหมาะสมที่สุด ตัวอย่างการประมาณค่าโดย OE (Output Error) แสดงดังนี้

แบบจำลองนี้อาศัยการประมาณค่าความผิดพลาดในการสร้างฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบซึ่งรูปแบบโครงสร้างของการประมาณแบบ OE จะเป็นดังนี้

$$y(t) = \frac{B(q)}{F(q)} u(t - nk) + e(t) \quad (1)$$

สมการที่ 1 อยู่ในรูปของสมการไม่ต่อเนื่องทางเวลา (Discrete Time) โดย $y(t)$ ที่ คือ ค่าเอาท์พุท ณ เวลา t, $u(t)$ คือ ค่าอินพุท ณ เวลา t, nb คือ จำนวนซีโร่บวกหนึ่งของระบบบวกหนึ่ง, nf คือ จำนวนโพลของระบบ, nk คือ จำนวนการสุ่มข้อมูลก่อนที่อินพุตจะมีผลต่อเอาท์พุทของระบบ, e(t) คือค่าความผิดพลาด อนึ่ง หากเขียนสมการดังกล่าวในรูปของสมการต่อเนื่องทางเวลา (Continuous Time) เพื่อหาฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบได้ ดังนี้

$$G(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{B(s)}{F(s)} = \frac{b_{nb}s^{(nb-1)} + b_{nb-1}s^{(nb-2)} + \ldots + b_1}{s^{nf} + f_{nf}s^{(nf-1)} + \ldots + f_1} \quad (2)$$

คำตอบที่ได้จากการทำวิธีกำลังสองผิดพลาดน้อยที่สุด (least square error method) เมื่อวัดข้อมูลค่าอินพุทและเอาท์พุทของระบบ เพื่อนำไปสร้างแบบจำลองด้วยการประมาณการรูปแบบ OE โดยในการใส่ค่า nf nk และ nb จะอาศัยการสุ่มค่าตามแบบของ Black box model จะได้แบบจำลองของระบบตามทฤษฎีการหาพารามิเตอร์ระบบ อย่างไรก็ตาม ในระบบที่ใช้ในการวิเคราะห์แบบจำลองถดถอยของ load profile นี้จะใช้หลักการเดียวกัน เพียงแต่ระบบจะไม่มีอินพุท นั่นคือการทำนายข้อมูลในปัจจุบันจะอาศัยข้อมูลถดถอยในอดีตเท่านั้น อาทิเช่นโมเดลแบบถดถอยแบบ Auto Regression ซึ่งกรณีมีอินพุทจะเขียนดังนี้

$$A(z\text{-}1)y(t) = B(z\text{-}1)u(t) + e \quad (3)$$

เมื่อ z-1 แทนการเลื่อนหนึ่งการสุ่มตัวอย่าง

u และ y คือ อินพุทและเอาท์พุทของระบบ

ซึ่ง ค่าพารามิเตอร์ใน A และ B หาได้จากการวิเคราะห์กำลังสองน้อยที่สุดซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

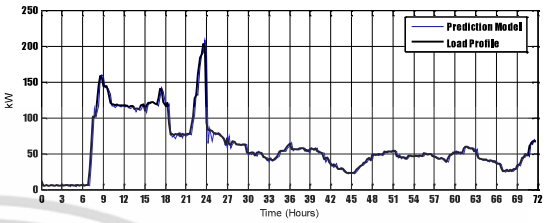
$$e = y - \varphi^T\theta \quad (4)$$

โดยที่ e คือค่าความผิดพลาด φ คือเมตริกส์ของข้อมูลและ θ ค่าพารามิเตอร์ในฟังก์ชัน A และ B ที่จะทำการประมาณค่า จากทฤษฎีการวิเคราะห์แบบกำลังสองน้อยที่สุด จะได้พารามิเตอร์จากการทำนายได้เท่ากับ

$$\hat{\theta} = \left(\varphi \cdot \varphi^T\right)^{-1} \cdot \varphi \cdot y \quad (5)$$

อย่างไรก็ตาม ในกรณีการทำนายโหลดการใช้พลังงานจะเป็นลักษณะไม่มีอินพุท ดังนั้นกรณีของงานวิจัยนี้การทำนายโหลดการใช้พลังงานสมการนี้จะเปลี่ยนเป็น[3-5]

$$A(z\text{-}1)y(t) = e \quad (6)$$



รูปที่ 2 กราฟการทำนายการใช้พลังงานของกลุ่มอุตสาหกรรมการผลิตน้ำแข็งในวันธรรมดา วันเสาร์และวันอาทิตย์ต่อเนื่องกัน (72 ชั่วโมง) เปรียบเทียบกับกราฟ load profile จริง

จากรูปที่ 2 เป็นกราฟ load profile ที่เก็บข้อมูลทุก 15 นาทีเป็นเวลา 24 ชั่วโมงสำหรับประเภทของวันต่างๆ โดยเรียงต่อเนื่องจากวันธรรมดาวันเสาร์และวันอาทิตย์รวม 72 ชั่วโมง และจากการวิเคราะห์สมการถดถอยโดยใช้ข้อมูลของวันทำงานสามารถได้โมเดลของสมการได้ดังนี้

$$kW(t) = 1.276\ kW(t\text{-}1) + 0.3113\ kW(t\text{-}2) + 0.02645\ kW(t\text{-}3) \quad (7)$$

จากสมการดังกล่าวพบว่าสามารถทำนายการใช้พลังงานโหลดได้อย่างแม่นยำและใช้ในการทำนายการใช้โหลดระยะสั้นตั้งแต่ 15 นาทีถึง 2 ชั่วโมงข้างหน้าได้ และผลจากการวิเคราะห์ข้างต้นพบว่าสามารถใช้สมการถดถอยมาทำนายข้อมูลในอนาคตแต่เป็นระยะใกล้ได้ โดยยิ่งทำนายใกล้ความถูกต้องยิ่งแม่นยำ

4. การแสดงผลที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากมิเตอร์อัจฉริยะ

โครงการวิจัยนี้ได้ดำเนินการเก็บตัวอย่างข้อมูลจากการส่งข้อมูลของ Smart Meter จำนวน 60 ตัวที่ติดตั้งยังกลุ่มตัวอย่างต่างๆ 3 กลุ่ม คือ โรงงานอุตสาหกรรม จำนวน 34 ตัว อาคารธุรกิจ จำนวน 20 ตัว และบ้านพักอาศัย จำนวน 6 ตัว โดยส่งข้อมูลผ่านระบบ GSM/GPRS มายัง DSM Center จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์ทางสถิติในลักษณะกราฟของโหลด หรือ Load profile และวิเคราะห์พฤติกรรมการใช้พลังงานในช่วงเวลาต่างๆ โดยใช้โมเดลฟังก์ชันการทำงานตามที่กล่าวมาข้างต้น

4.1 Energy Index

จะแสดงในส่วนต่างๆ ดังนี้

- SEC ซึ่งได้คำนวณตามประเภทของผู้ใช้ไฟฟ้า ได้แก่ โรงงานอุตสาหกรรม อาคารธุรกิจ และบ้านอยู่อาศัย โดยที่

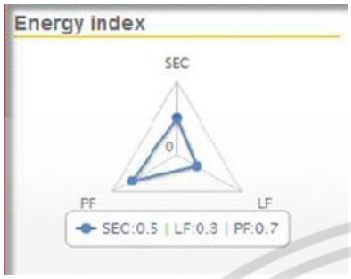
โรงงงานอุตสาหกรรม มีหน่วยเป็น MJ/หน่วยการผลิต

อาคารธุรกิจและบ้านอยู่อาศัย มีหน่วยเป็น MJ/m2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ค่า LF ของแต่ละวัน โดยเริ่มคิดคำนวณจาก 0.00 น. ถึงเวลาปัจจุบัน

- ค่า PF ของเวลาปัจจุบัน

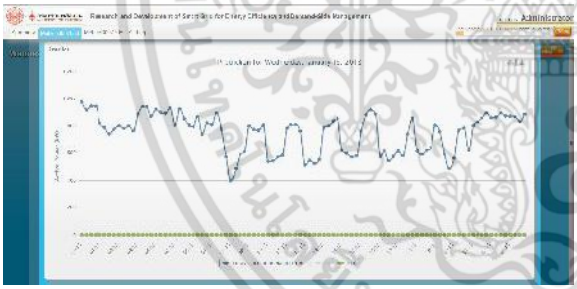


รูปที่ 3 การแสดงผลในกรอบของ Energy Index

ซึ่งค่าทั้ง 3 ที่ได้แสดงไว้จะทำให้ทราบถึงดัชนีในการชี้วัดพฤติกรรมและประสิทธิภาพใช้พลังงานขั้นพื้นฐาน เพื่อช่วยในการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการใช้พลังงานได้อย่างปัจจุบันมากขึ้น

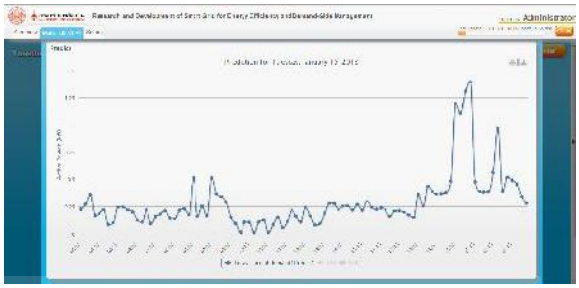
4.2 การทำนายโหลด

จะเป็นการพยากรณ์การใช้พลังงานไฟฟ้าล่วงหน้าโดยใช้ Non-Linear Regression หลักการที่ใช้คำนวณ คือ การนำข้อมูลเฉลี่ยทุกๆ 15 นาทีย้อนหลัง 3 ช่วงเวลาในการพยากรณ์ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของ 15 นาทีถัดไป ก็จะทำให้ทราบถึงข้อมูลการใช้พลังงานในอนาคตได้



รูปที่ 4 การแสดงผลของการ Predict Load ของโรงงานอุตสาหกรรมเหล็ก

รูปที่ 5 การแสดงผลของการ Predict Load ของอาคารพาณิชย์



รูปที่ 6 การแสดงผลของการ Predict Load ของบ้านพักอาศัย

5. บทสรุป

จากงานวิจัยนี้จะเห็นได้ว่าสามารถที่จะใช้ฟังก์ชันเชิงสถิติมาเป็นฐานข้อมูลในการวิเคราะห์พฤติกรรมการใช้พลังงานและทำนายแนวโน้มของการใช้พลังงาน เพื่อแสดงถึงปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่จะใช้ล่วงหน้าเพื่อการวางแผนและพัฒนาประสิทธิภาพการใช้พลังงานและจัดการความต้องการไฟฟ้า รวมทั้งการสร้างดัชนีชี้วัดผู้ใช้ไฟฟ้า ดังตัวอย่างของการแสดงผลข้อมูลจริงที่ได้มาจากมิเตอร์อัจฉริยะ ซึ่งการวิเคราะห์ดังกล่าวจะเป็นประโยชน์ต่อการให้คำแนะนำในโปรแกรมการจัดการด้านความต้องการใช้พลังงานเป็นอย่างมาก เนื่องจากสามารถที่จะสร้างหรือออกแบบคำแนะนำได้อย่างปัจจุบันมากขึ้นสำหรับแนวโน้มการใช้พลังงานและข้อแนะนำที่เป็นประโยชน์ในเชิงการจัดการพลังงานเพื่อพัฒนาประสิทธิภาพการใช้พลังงานและจัดการความต้องการไฟฟ้าได้

6. เอกสารอ้างอิง

[1] กระทรวงพลังงาน, “แผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี(พ.ศ.2554-2573)”, พฤษภาคม 2554.

[2] ศูนย์นวัตกรรมพลังงาน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, “โครงการวิจัยและพัฒนาระบบไฟฟ้าที่ชาญฉลาด เพื่อพัฒนาประสิทธิภาพการใช้พลังงาน และการจัดการความต้องการไฟฟ้า” รายงานความก้าวหน้าฉบับที่ 3 สำนักนโยบายและแผนพลังงาน, กันยายน 2555

[3] รศ.ดร. สุรินทร์ คำฝอย, โครงข่ายประสาทเทียมเชิงปฏิบัติสำหรับงานวิศวกรรมไฟฟ้า, พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ, มีน เซอร์วิส ซัพพลาย, 2554.

[4] System Modeling and Indentification. Prentice-Hall, Eaglewood Cliffs, New Jersey: Johansson, R., 1993

[5] Wolfram Mathworld, “Least Square Fitting,” [Online Document]. Availiable from <http://mathworld.wolfram.com/LeastSquaresFitting.html>. January 19, 2013.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายสามารถ กันทาเขียว
วัน เดือน ปีเกิด	14 สิงหาคม 2523 ที่เชียงราย
ที่อยู่	89/1325 หมู่บ้านเพอร์แฟคพาร์ค พระราม5 –บางใหญ่ หมู่ที่ 5 ตำบลบางแม่นาง อำเภอบางใหญ่ จังหวัดนนทบุรี 11140
ประวัติการศึกษา	2546 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาไฟฟ้ากำลัง มหาวิทยาลัยรังสิต
ความชำนาญเฉพาะด้าน	1.) ระบบไฟฟ้ากำลัง 2.) การออกแบบระบบไฟฟ้าและสื่อสาร 3.) การอนุรักษ์พลังงานและพลังงานทดแทน

ประสบการณ์การทำงานและผลงานวิจัย

พ.ศ.2547-2549	ตำแหน่งวิศวกรไฟฟ้า - ดูแลงานติดตั้งระบบไฟฟ้าและสื่อสาร โครงการ ปาล์ม แกลเลอเรีย รีสอร์ท จังหวัดพังงา
พ.ศ.2549-2554	ตำแหน่งวิศวกรไฟฟ้า บริษัท เอ็ม เอ เอ คอนซัลแตนท์ จำกัด - ออกแบบระบบไฟฟ้าและสื่อสารอาคารโรงงานและอาคารทั่วไป - ออกแบบระบบไฟฟ้าและสื่อสารอาคารสาธารณะ เช่น อาคารสถานีรถไฟฟ้า อาคารจอดแล้วจร อาคารศูนย์ซ่อมบำรุง เป็นต้น - ออกแบบระบบไฟฟ้าแสงสว่างถนนกรมทางหลวง และการทางพิเศษ
พ.ศ.2554-2559	ตำแหน่งวิศวกรโครงการ บริษัท เอ็นโซล จำกัด - ดูแลและบริหารงานก่อสร้างโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ - วิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงานในอาคารและโรงงาน
พ.ศ.2559-ปัจจุบัน	ตำแหน่งกรรมการผู้จัดการ บริษัท ซิพเอ็นคอน จำกัด
พ.ศ.2548	ได้รับใบอนุญาตวิศวกรควบคุมระดับภาคีวิศวกร
พ.ศ.2552	ได้รับใบอนุญาตวิศวกรควบคุมระดับสามัญวิศวกร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้