การพัฒนาระบบอ่านมิเตอร์แบบอัตโนมัติของ กฟผ. ตามโปรโตคอล DLMS/COSEM สำหรับการจัดทำใบแจ้งค่าไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์แบบเวลาจริง และการคำนวณพลังงานไฟฟ้าฐาน

นายอนุตร์ อรุณานันท์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2561
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Development of an EGAT automatic meter reading system conformed to DLMS/COSEM protocol for real time e-billing and energy baseline calculation

Mr. Anut Arunanun

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Electrical Engineering
Department of Electrical Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2018

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาระบบอ่านมิเตอร์แบบอัตโนมัติของ กฟผ. ตามโปรโตคอล DLMS/COSEM สำหรับการจัดทำใบแจ้งค่าไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์แบบเวลาจริง และการคำนวณพลังงานไฟฟ้าฐาน
โดย	นายอนุตร์ อรุณานันท์
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วันเฉลิม โปรา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรีย์ พุ่มรินทร์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วันเฉลิม โปรา)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.เอกชัย ลีลารัศมี)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

อนุตร์ อรุณานันท์ : การพัฒนาระบบอ่านมิเตอร์แบบอัตโนมัติของ กฟผ. ตามโปรโตคอล DLMS/COSEM สำหรับการจัดทำใบแจ้งค่าไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์แบบเวลาจริง และการคำนวณพลังงานไฟฟ้าฐาน. (Development of an EGAT automatic meter reading system conformed to DLMS/COSEM protocol for real time e-billing and energy baseline calculation) อ.ที่ปรึกษาหลัก : ผศ. ดร.วันเฉลิม โปรา

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบอ่านมิเตอร์แบบอัตโนมัติจากมิเตอร์ด้วยโปรโตคอลดีแอลเอ็มเอสโคเซ็ม ให้สามารถอ่านข้อมูลจากมิเตอร์จากหลากหลายบริษัทผู้ผลิตที่รองรับมาตรฐานโปรโตคอลสื่อสารนี้ ผ่านเครือข่ายสื่อสารแบบอีเทอร์เน็ต เพื่อลดจำนวนซอฟต์แวร์และเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้งานระบบอ่านมิเตอร์จากแต่ละบริษัทผู้ผลิตให้เหลือเพียงชุดเดียว และสามารถให้บริการข้อมูลค่าวัดทางไฟฟ้าที่รวบรวมได้จากมิเตอร์แบบเวลาจริง พร้อมทั้งนำข้อมูลค่าวัดทางไฟฟ้ารายคาบที่อ่านได้จากมิเตอร์คำนวณเพื่อจัดทำใบแจ้งค่าไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์แบบเวลาจริง ให้ถูกต้องตามสัญญาขายไฟฟ้าของลูกค้าที่ซื้อไฟฟ้าแต่ละราย โดยทดสอบระบบที่พัฒนากับมิเตอร์ลูกค้าตรงของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยที่รองรับมาตรฐานโปรโตคอลสื่อสารดีแอลเอ็มเอสโคเซ็มนี้ และหาวิธีสร้างพลังงานไฟฟ้าฐานที่เหมาะสมกับโหลดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ เพื่อใช้สำหรับวัดประสิทธิภาพของมาตรการตอบสนองด้านโหลดในอนาคต โดยใช้ข้อมูลค่าวัดความต้องการใช้ไฟฟ้ารายคาบย้อนหลังสร้างแบบจำลอง ด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุคูณ วิธีการวิเคราะห์การถดถอยโพลีโนเมียล และวิธีให้เครื่องคอมพิวเตอร์เรียนรู้เองแบบโครงข่ายประสาทเทียม ผลการวิจัยสามารถพัฒนาระบบอ่านข้อมูลมิเตอร์แบบอัตโนมัติด้วยโปรดตคอลดีแอลเอ็มเอสโคเซ็ม ใช้งานกับมิเตอร์ของลูกค้าตรงการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยที่รองรับมาตรฐานโปรโตคอลสื่อสารนี้ พร้อมทั้งสามารถให้บริการข้อมูลค่าวัดทางไฟฟ้าและจัดทำใบแจ้งค่าไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์แบบเวลาจริงได้อย่างถูกต้องตามสัญญาขายไฟฟ้าแต่ละฉบับ สำหรับแบบจำลองพลังงานไฟฟ้าฐานสำหรับโหลดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ที่สร้างโดยวิธีการเรียนรู้ของเครื่องคอมพิวเตอร์แบบโครงข่ายประสาทเทียมมีความแม่นยำมากที่สุดแต่มีความซับซ้อนในการคำนวณมากที่สุดเช่นกัน สำหรับวิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุคูณมีความแม่นยำสูงและคำนวณได้ง่ายที่สุด

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อนิสิต .....

ปีการศึกษา 2561 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

5970353221 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEYWORD: Automatic Meter Reading System, DLMS/COSEM protocol, Real Time e-Billing, baseline

Anut Arunanun : Development of an EGAT automatic meter reading system conformed to DLMS/COSEM protocol for real time e-billing and energy baseline calculation. Advisor: Asst. Prof. Wanchalerm Pora, Ph.D.

This research has 3 objectives. The first objective is the development of an EGAT automatic meter reading system conformed to DLMS/COSEM protocol for reading the electricity meter data from many manufacturers that support this communication protocol via EGAT WAN. The second is the development of a real-time e-billing system. The electricity bill for each contract must be correctly calculated from the periodical measurement data. The developed systems experiment has to test with the supported DLMS/COSEM electricity meters of EGAT's direct customers. The third is to find the methodology of electricity consumption baseline calculation, which must suitable with the industrial factory. The baseline calculation is one of the most important issues in the demand response program for measuring the efficiency of the program. This research has used the historical load profile data to model the baseline with three methods: multiple linear regression, polynomial regression, and neural network. The developed systems could real-time read and provide correctly data service. This research has shown that the most accurate result of the baseline in the sampled industrial factory is neural networks using the Levenberg-Marquardt algorithm. But this method is the highest complicated calculation. And the highly accurate result and highest simplicity calculation is multiple linear regression method.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Field of Study: Electrical Engineering Student's Signature .....

Academic Year: 2018 Advisor's Signature .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับบนี้ได้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีจากความช่วยเหลือของ ผ.ศ. ดร. วันเฉลิม โปรา ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงสำหรับความช่วยเหลือและการสนับสนุน ทั้งในด้านวิชาการ งานวิจัย ความรู้ ข้อคิดเห็น เทคนิคต่างๆ รวมทั้งโอกาสต่างๆที่มอบให้แก่ข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณ ผศ. ดร. สุรีย์ พุ่มรินทร์ และ รศ. ดร. เอกชัย ลีลารัศมี ที่ได้ให้เกียรติมาเป็นกรรมการวิทยานิพนธ์ รวมทั้งการให้ข้อคิดเห็น ข้อเสนอะแนะ แนวทางงานวิจัย พร้อมทั้งตรวจสอบแก้ไขให้วิทยานิพนธ์ฉบับบนี้ผ่านลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณเหล่าคณาจารย์ทุกท่าน คณะกรรมการหลักสูตรสมาร์ทกริด คณะบุคลากรและเจ้าหน้าที่ทุกท่าน ทั้งจากภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่เป็นผู้ประสาทวิชา ให้ความรู้ ให้คำแนะนำ ให้โอกาสได้พัฒนาตนเอง ให้การสนับสนุนและความช่วยเหลือด้วยดีในหลายๆด้าน ขอขอบคุณเหล่านิสิต เพื่อนพี่น้องในห้องปฏิบัติการวิจัยการออกแบบวงจรฝังตัวและวงจรรวมทุกคน สำหรับทัศนคติ มุมมอง ความรู้ใหม่ๆ รวมทั้งประสบการณ์ที่หลากหลาย

ขอขอบคุณคณะกรรมการผู้คัดเลือกผู้ได้รับทุนสมาร์ทกริด กฟผ. และคณะผู้บริหารสายงาน รวส., อรค., กมข-ส. ที่อนุญาตให้ลามาศึกษา ขอขอบคุณ พี่ น้อง เพื่อนผู้ร่วมงาน กมข-ส. ที่สนับสนุนและช่วยกันทำงานในระหว่างที่ลาศึกษา ความรู้ที่ได้จากหลักสูตรและงานวิจัยนี้นี้จะนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อหน่วยงาน และ กฟผ. ให้มากที่สุด

สุดท้ายนี้ที่สำคัญที่สุด ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ครอบครัว เป็นอย่างสูง ที่ช่วยสนับสนุนช่วยเหลือค้ำจุน และเป็นกำลังใจให้ตลอดมา

อนุตร์ อรุณานันท์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ง

กิตติกรรมประกาศ ..... จ

สารบัญ ..... ฉ

สารบัญรูปภาพ 10

สารบัญตาราง 13

บทที่ 1 บทนำ 14

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา 15

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย 19

1.3 ขอบเขตงานวิจัย 19

1.3.1) ซอฟต์แวร์ที่ใช้บนระบบอ่านข้อมูลมิเตอร์แบบอัตโนมัติ 19

1.3.2) ซอฟต์แวร์จัดทำใบแจ้งค่าไฟฟ้าแบบเวลาจริง 20

1.3.3) โปรแกรมคำนวณพลังงานไฟฟ้าฐาน 20

1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย 21

1.4.1) ศึกษาโปรโตคอลสื่อสารและมาตรฐาน ที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนข้อมูลกับมิเตอร์ สำหรับใช้พัฒนา AMR System ได้แก่ 21

1.4.2) พัฒนาซอฟต์แวร์อ่านข้อมูลมิเตอร์สำหรับ AMR System เพื่อรวบรวมข้อมูลค่าวัดทางไฟฟ้าจากมิเตอร์ผ่านทางไกลแบบอัตโนมัติ 21

1.4.3) กำหนด OBIS Code สำหรับค่าวัดทางไฟฟ้าเพื่อใช้เป็นมาตรฐานสำหรับมิเตอร์ที่จะมีการใช้งานในระบบซื้อขายไฟฟ้าของ กฟผ. 21

1.4.4) พัฒนา Real Time E-Billing Application สำหรับคิดคำนวณค่าไฟตามสัญญาซื้อขายไฟฟ้า 22

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.4.5) ศึกษาหลักการคำนวณการหาพลังงานไฟฟ้าฐาน สำหรับสร้าง Baseline ประเภทโหลดอุตสาหกรรม 22
1.4.6) พัฒนาโปรแกรม Energy Baseline Calculation สำหรับหาพลังงานไฟฟ้าฐานโดยใช้ข้อมูลจากระบบ AMR 22
บทที่ 2 ทฤษฎีและมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง 23
2.1 Advanced Meter Infrastructure (AMI), Automatic Meter Reading (AMR) และ Meter Data Management System (MDMS) 23
2.2 Energy Baseline for Demand Response 26
2.3 Baseline Methodology 32
2.3.1 Averaging Methods หรือ Day Matching 32
2.3.1.1) Previous Days Approach 32
2.3.1.2) Average Daily Energy Usage Approach 33
2.3.1.3) Proxy Day Approach 33
2.3.2 Regression Analysis 33
2.3.2.1) Individual Customer Regression Baseline 33
2.3.2.2) Pooled Baseline Regression Analysis 33
2.3.3 Polynomial Regression Analysis 35
2.3.4 Machine Learning: Levenberg-Marquardt Algorithm 35
2.3.5 Baseline Adjustment 36
2.4 DLMS/COSEM Protocol and IEC-62056 Standard 37
2.4.1 โครงสร้างโปรโตคอลสื่อสาร DLMS 39
2.4.2 แบบจำลองข้อมูล COSEM 43
2.4.3 OBIS Code ที่เกี่ยวข้องสำหรับระบบซื้อขายไฟฟ้า 50
บทที่ 3 การออกแบบระบบอ่านมิเตอร์แบบอัตโนมัติด้วยโปรโตคอล DLMS/COSEM 52
3.1 การออกแบบและสร้างฐานข้อมูลสำหรับเก็บข้อมูลมิเตอร์และข้อมูลค่าวัดทางไฟฟ้า 53

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.1.1 AMRS schema 54
3.1.2 DRCD schema 55
3.2 การออกแบบโปรแกรมส่วนการทำงานหลักสำหรับระบบอ่านข้อมูลมิเตอร์แบบอัตโนมัติ 56
3.3 การออกแบบโปรแกรมส่วนการอ่านชุดข้อมูลค่าวัดทางไฟฟ้าจากมิเตอร์ 58
3.4 การบริหารจัดการข้อมูลสำหรับระบบอ่านข้อมูลแบบอัตมัติ 62
3.5 การออกแบบโปรแกรมส่วนสำหรับติดต่อกับผู้ใช้งาน 65
3.6 การกำหนด OBIS Code สำหรับระบบซื้อขายไฟฟ้าของ กฟผ. 66
บทที่ 4 การออกแบบโปรแกรมจัดทำใบแจ้งค่าไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์แบบเวลาจริง 69
4.1 การออกแบบและสร้างฐานข้อมูลสำหรับเก็บข้อมูลสัญญาคู่ค้าและสูตรคำนวนค่าไฟฟ้า 70
4.2 การออกแบบโปรแกรมส่วนคำนวณค่าไฟฟ้า 71
4.3 การออกแบบโปรแกรมส่วนสำหรับติดต่อกับผู้ใช้งาน 73
บทที่ 5 การออกแบบการคำนวณพลังงานไฟฟ้าฐานประเภทโหลดอุตสาหกรรม 76
บทที่ 6 การทดสอบและผลการทดสอบ 78
6.1 การทดสอบระบบอ่านมิเตอร์แบบอัตโนมัติด้วยโปรโตคอล DLMS/COSEM 78
6.1.1 การทดสอบการติดต่อกับอุปกรณ์มิเตอร์ผ่านระบบสื่อสาร EGAT Operation WAN 78
6.1.2 การทดสอบอ่านชุดข้อมูลค่าวัดทางไฟฟ้า (Profile Generic) จากมิเตอร์ 79
6.1.3 การทดสอบการอ่านข้อมูลจากมิเตอร์และจัดการค่าพารามิเตอร์ค่าวัดทางไฟฟ้าให้ถูกต้องสอดคล้องกับความต้องการใช้งาน 81
6.1.4 การทดสอบอ่านมิเตอร์และบันทึกข้อมูลลงฐานข้อมูลแบบอัตโนมัติ 82
6.1.5 การทดสอบแสดงผลข้อมูลค่าวัดที่อ่านจากมิเตอร์ผ่าน Web Application 84
6.2 การทดสอบโปรแกรมจัดทำใบแจ้งค่าไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์แบบเวลาจริง 88
6.2.1 การทดสอบการคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าและค่าไฟฟ้าแบบเวลาจริง 88
6.2.2 การทดสอบโปรแกรมจัดทำใบแจ้งค่าไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์แบบเวลาจริง 89
6.3 การทดสอบการคำนวณพลังงานไฟฟ้าฐานประเภทโหลดอุตสาหกรรม 91

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

6.3.1 การคำนวณ Baseline 91
6.3.2 เปรียบเทียบแบบจำลอง Baseline 95
บทที่ 7 บทสรุปผลงานวิจัย 96
7.1 บทสรุป 96
7.2 ประโยชน์ที่ได้รับ แนวโน้มการขยายผลและพัฒนาต่อ 96
ประวัติผู้เขียน 102

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ 1 ระบบรวบรวมและให้บริการข้อมูลมิเตอร์ซื้อขายไฟฟ้าของ กฟผ. ในปัจจุบัน 16
รูปที่ 2 ขอบเขตงานวิจัย 20
รูปที่ 3 โครงสร้างของ AMI 26
รูปที่ 4 ตัวอย่างประโยชน์ของมาตรการตอบสนองด้านโหลด 27
รูปที่ 5 ตัวอย่างประโยชน์มาตรการตอบสนองด้านโหลดของโหลดไฟฟ้าประเภทครัวเรือน 27
รูปที่ 6 ตัวอย่างรูปแบบมาตรการตอบสนองด้านโหลดแบบต่างๆ 29
รูปที่ 7 ประเภทโปรแกรมมาตรการตอบสนองด้านโหลด (Demand Response Spectrum) [8, 9] 29
รูปที่ 8 Baseline, Energy Consumption (Actual Use) และ Load Reduction 30
รูปที่ 9 ขั้นตอนในการสร้าง Baseline สำหรับภาคอุตสาหกรรม 31
รูปที่ 10 ลำดับชั้นของ Neural Network 36
รูปที่ 11 ตัวอย่างการปรับการใช้ไฟฟ้าฐาน (Baseline Adjustment) 37
รูปที่ 12 แบบจำลองผู้รับบริการ-ผู้ให้บริการ และ โปรโตคอลสื่อสาร 40
รูปที่ 13 การจับคู่ ชื่อ และ ที่อยู่ ใน DLMS/COSEM 41
รูปที่ 14 รูปแบบการส่งข้อความ 42
รูปที่ 15 รูปแบบการสื่อสารทั่วไปของ DLMS/COSEM 42
รูปที่ 16 การเทียบคลาสการติดต่อกับตัวอย่างวัตถุ 43
รูปที่ 17 แบบจำลองข้อมูล COSEM มิเตอร์ทำหน้าที่เป็นเซิฟร์เวอร์ 44
รูปที่ 18 แบบจำลองข้อมูล Clock 45
รูปที่ 19 แบบจำลองข้อมูล Register 46
รูปที่ 20 ลักษณะการทำงานและความต่อเนื่องของข้อมูลค่าวัดพลังงานไฟฟ้าที่ กฟผ. ต้องการ 52
รูปที่ 21 การจำลองอุปกรณ์มิเตอร์เป็นมิเตอร์เสมือน 53
รูปที่ 22 ตารางข้อมูลและดัชนี ของ schema AMRS 54

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 23 ตารางข้อมูลและดัชนี ของ schema AMRS 56
รูปที่ 24 ขั้นตอนการทำงานหลัก (Main Task) ของ AMR System 57
รูปที่ 25 ขั้นตอนการอ่านชุดข้อมูลค่าวัดทางไฟฟ้าจากมิเตอร์ 60
รูปที่ 26 ตัวอย่างข้อมูลพลังงานไฟฟ้าสะสมตามแบบจำลองข้อมูลและอ่านได้จากมิเตอร์ 62
รูปที่ 27 ตัวอย่างข้อมูลความต้องการกำลังไฟฟ้าตามแบบจำลองข้อมูลและอ่านได้จากมิเตอร์ 63
รูปที่ 28 ตัวอย่างตัวคูณและหน่วยของพารามิเตอร์ชุดข้อมูลค่าวัดรายคาบ 64
รูปที่ 29 ตัวอย่างตัวคูณและหน่วยของพารามิเตอร์ชุดข้อมูลค่าวัดสรุปรายเดือน 64
รูปที่ 30 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมส่วนติดต่อกับผู้ใช้งานแสดงข้อมูลที่อ่านได้จากมิเตอร์ 65
รูปที่ 31 การออกแบบ GUI web application ด้วยซอฟต์แวร์ MS Visual Studio 66
รูปที่ 32 การคำนวณหาค่าไฟฟ้าสำหรับจัดทำใบแจ้งค่าไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ 69
รูปที่ 33 ตารางข้อมูลและดัชนี ของ schema MDMS 70
รูปที่ 34 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมส่วนคำนวณค่าไฟฟ้า 71
รูปที่ 35 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน 73
รูปที่ 36 การออกแบบ GUI web application ด้วยซอฟต์แวร์ MS Visual Studio 74
รูปที่ 37 การออกแบบใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ด้วยซอฟต์แวร์ Crystal Report 75
รูปที่ 38 ตัวอย่างข้อมูลการใช้ไฟฟ้ารายคาบ (Load Profile) 77
รูปที่ 39 ผลทดสอบการเชื่อมต่ออุปกรณ์มิเตอร์, การอ่านเวลาและตั้งเวลาให้กับอุปกรณ์มิเตอร์ 79
รูปที่ 40 โปรแกรมทดสอบการเชื่อมต่อ อ่านข้อมูลจากอุปกรณ์มิเตอร์ 79
รูปที่ 41 ทดสอบการอ่านชุดข้อมูลแบบข้อมูลค่าวัดทางไฟฟ้ารายคาบจากอุปกรณ์มิเตอร์ 80
รูปที่ 42 ทดสอบการอ่านชุดข้อมูลแบบข้อมูลค่าวัดทางไฟฟ้าสรุปรายเดือนจากอุปกรณ์มิเตอร์ 80
รูปที่ 43 ตัวอย่างค่าวัดทางไฟฟ้ารายคาบที่ถูกเก็บบันทึกลงในฐานข้อมูล 81
รูปที่ 44 ตัวอย่างข้อมูลค่าวัดทางไฟฟ้ารายคาบที่ให้บริการ 81
รูปที่ 45 ตัวอย่างค่าวัดทางไฟฟ้าสรุปรายเดือนที่ถูกเก็บบันทึกลงในฐานข้อมูล 82
รูปที่ 46 ตัวอย่างข้อมูลค่าวัดทางไฟฟ้าสรุปรายเดือนที่ให้บริการ 82

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 47 การติดตั้งฐานข้อมูลของระบบอ่านข้อมูลมิเตอร์แบบอัตโนมัติลงเซิร์ฟเวอร์เสมือน 83
รูปที่ 48 การติดตั้งโปรแกรมของระบบอ่านข้อมูลมิเตอร์แบบอัตโนมัติลงเซิร์ฟเวอร์เสมือน 83
รูปที่ 49 ผลการทำงานของระบบอ่านข้อมูลมิเตอร์แบบอัตโนมัติที่ติดตั้งใช้งานจริงในระบบ กฟผ.. 84
รูปที่ 50 การติดตั้ง web application ที่เซิร์ฟเวอร์เสมือน สำหรับเป็น MDMS Service 84
รูปที่ 51 ตัวอย่างการเข้าถึงข้อมูลของผู้ใช้งานผ่าน MDMS Service web application 86
รูปที่ 52 ตัวอย่างการเรียกดูข้อมูลค่าวัดทางไฟฟ้ารายคาบ ผ่าน MDMS web application 86
รูปที่ 53 ตัวอย่างการเรียกดูข้อมูลค่าวัดทางไฟฟ้าสรุปรายเดือน ผ่าน MDMS web application . 87
รูปที่ 54 ผลการคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าสำหรับจัดทำใบแจ้งค่าไฟฟ้าแบบเวลาจริง 88
รูปที่ 55 ผลการคำนวณค่าไฟฟ้าสำหรับจัดทำใบแจ้งค่าไฟฟ้าแบบเวลาจริง 88
รูปที่ 56 การใช้งาน real time e-billing web application 89
รูปที่ 57 การใช้ real time e-billing web application เรียกดูใบแจ้งค่าไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ 90
รูปที่ 58 ตัวอย่างการสั่งพิมพ์ใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์รูปแบบ PDF file 90
รูปที่ 59 ตัวอย่าง Baseline R_1 91
รูปที่ 60 ตัวอย่าง Baseline R_2 92
รูปที่ 61 ตัวอย่าง Baseline P_1 92
รูปที่ 62 การคำนวณ Baseline N_1 93
รูปที่ 63 การคำนวณ Baseline N_2 94

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบระบบรวบรวมข้อมูลมิเตอร์ของ กฟผ. ที่มีการใช้งานในปัจจุบัน 16
ตารางที่ 2 แสดง OBIS Code หลัก C สำหรับมิเตอร์ไฟฟ้า 50
ตารางที่ 3 แสดง OBIS Code หลัก D สำหรับมิเตอร์ไฟฟ้า 51
ตารางที่ 4 แสดง OBIS Code หลัก E สำหรับมิเตอร์ไฟฟ้า 51
ตารางที่ 5 OBIS Code มาตรฐานของ กฟผ. สำหรับข้อมูลค่าวัดทางไฟฟ้าแบบสรุปรายเดือน 67
ตารางที่ 6 OBIS Code มาตรฐานของ กฟผ. สำหรับข้อมูลค่าวัดทางไฟฟ้ารายคาบ 68
ตารางที่ 7 เปรียบเทียบความแม่นยำของแบบจำลอง 95
ตารางที่ 8 เปรียบเทียบวิธีการคำนวณ Baseline กับคุณสมบัติที่จำเป็นของ Baseline 95

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 1
บทนำ

ตามแผนแม่บทการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของประเทศไทย พ.ศ. 2558-2579 ของกระทรวงพลังงาน หรือ Thailand Smart Grid Policy Plan and Road Map เพื่อพัฒนาระบบไฟฟ้าของประเทศไทยให้มีความฉลาด หรือระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด (Smart Grid) [1] ซึ่งหนึ่งในองค์ประกอบพื้นฐานที่สำคัญของระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดคือ เทคโนโลยีโครงสร้างพื้นฐานมิเตอร์ขั้นสูง (Advanced Metering Infrastructure หรือ AMI) เทคโนโลยีระบบบริหารจัดการข้อมูลมิเตอร์ (Meter Data Management System หรือ MDMS) สำหรับเชื่อมต่อข้อมูลจากมิเตอร์อัจฉริยะ (Smart Meter) เข้ากับ AMI และเทคโนโลยีตอบสนองความต้องการทางไฟฟ้าด้านโหลด (Demand Response หรือ DR) เพื่อปรับความต้องการไฟฟ้า โดยเฉพาะการลดความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุด (Peak) เพื่อเป็นการรองรับตามแผนแม่บทการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ท กริดของประเทศไทย การศึกษาวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีในส่วนของ AMI, MDMS และ DR จึงมีความสำคัญ [2] ในการที่จะทำให้ Thailand Smart Grid Road Map บรรลุตามวัตถุประสงค์ โดยเฉพาะการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย หรือ กฟผ. (Electric Generating Authority of Thailand หรือ EGAT) ซึ่งมีบทบาทเป็นผู้ผลิต จัดหา และส่งพลังงานไฟฟ้า หลักของประเทศ

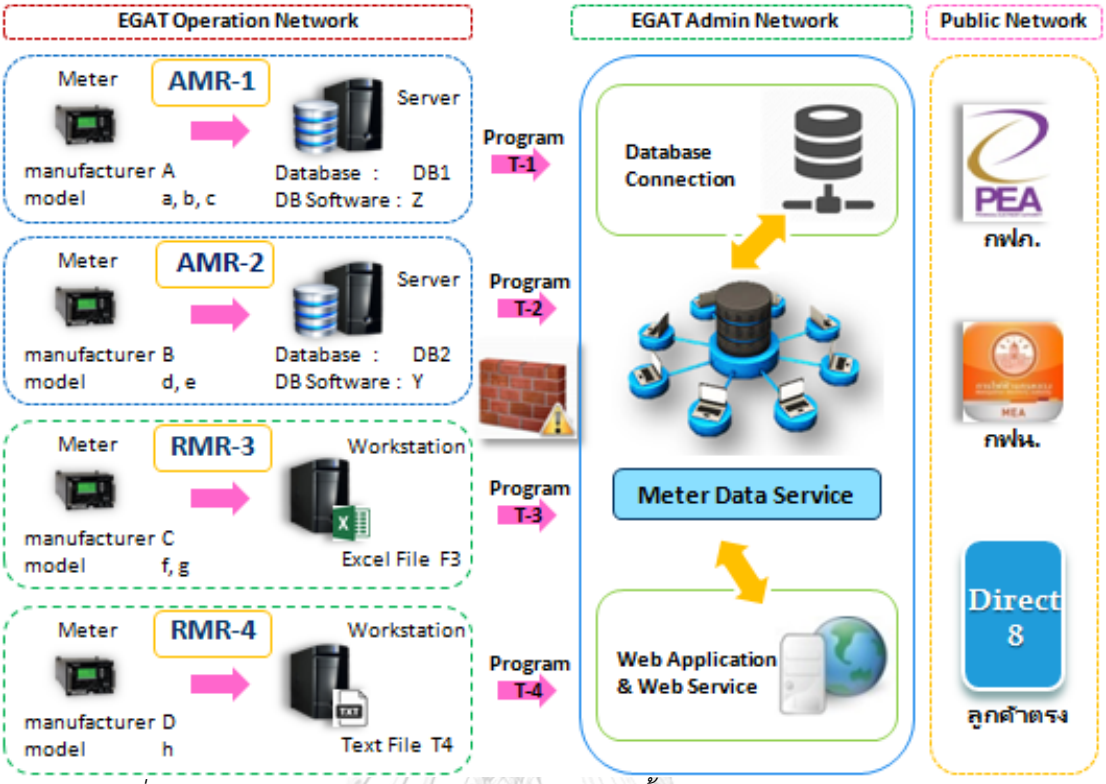
กฟผ. มีลูกค้าหลักรายใหญ่ 2 ราย ได้แก่ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (PEA) และการไฟฟ้านครหลวง (MEA) เป็นอัตราค่าไฟขายส่ง และยังมีลูกค้าตรงซึ่งเป็นผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทกิจการขนาดใหญ่ (เช่น อุตสาหกรรม หน่วยราชการ หน่วยงานอื่นใดของรัฐ) อีกจำนวน 8 ราย เป็นอัตราค่าไฟขายปลีก จากข้อมูลปี 2559 ลูกค้าตรงของ กฟผ. มีความต้องการพลังไฟฟ้ารวมสูงสุดถึง 217 MW และมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมมากถึง 1,600 ล้านหน่วย (kWh.) หรือคิดเป็นเงินรายได้ค่าไฟฟ้าถึง 5,000 ล้านบาท [3] ซึ่งหากสามารถนำเทคโนโลยีรวบรวมข้อมูลค่าวัดทางไฟฟ้าจากสมาร์ทมิเตอร์แบบอัตโนมัติ (Automatic Meter Reading หรือ AMR) มาใช้งาน จะทำให้ได้ข้อมูลค่าวัดทางไฟฟ้าแบบคาบเวลา (Periodical Measurement) ที่มีความถูกต้อง รวดเร็ว เชื่อถือได้ และเมื่อใช้ AMR ร่วมกับ MDMS แล้ว ทำให้การนำข้อมูลค่าวัดทางไฟฟ้าไปให้บริการ นำไปใช้งานได้หลากหลายและมีประสิทธิภาพมากขึ้น เช่น การนำข้อมูลค่าวัดพลังงานไฟฟ้าไปประยุกต์ใช้สำหรับ Wide Area Measurement System เพื่อตรวจสอบความผิดปกติของการส่งพลังงานไฟฟ้า ตรวจสอบพื้นที่ไฟดับเป็นบริเวณกว้าง (Outage Monitoring) หรือคำนวณหากำลังไฟฟ้าที่สูญเสียในสายส่ง (Transmission Loss) เป็นต้น นอกจากนี้สามารถนำข้อมูลค่าวัดฯไปใช้สำหรับการคำนวณค่าไฟแบบเวลาจริง (Real Time Billing) ทำให้ลูกค้าสามารถเรียกดูข้อมูลการใช้ไฟฟ้าและมูลค่าเงินที่ต้องจ่าย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เป็นค่าไฟ ซึ่งลูกค้าจะสามารถบริหารจัดการการใช้พลังงานไฟฟ้าได้สะดวกอย่างมีประสิทธิภาพ และที่สำคัญใช้ข้อมูลค่าวัดพลังงานไฟฟ้าแบบคาบเวลาเพื่อการรองรับและสนับสนุนมาตรการตอบสนองด้านโหลด โดยนำไปใช้ในการคำนวณการใช้พลังงานไฟฟ้าฐาน (Energy Baseline) ก่อนเริ่มมาตรการตอบสนองด้านโหลด และใช้หาส่วนต่างพลังงานไฟฟ้าที่สามารถลดได้ (Saving Energy Consumption) จากพลังงานไฟฟ้าใช้จริง (Actual Use) เมื่อมีการดำเนินมาตรการตอบสนองด้านโหลด ซึ่งจะช่วยให้การบริหารจัดการพลังงานไฟฟ้าด้านโหลดของลูกค้ามีความสมดุล ระหว่างความต้องการไฟฟ้า กับการจัดหาไฟฟ้า ณ ช่วงเวลาวิกฤต (Peak) โดย กฟผ. ซึ่งจะเป็นการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ คุ้มค่า และที่สำคัญทำให้เกิดความมั่นคงในระบบไฟฟ้าของประเทศ ซึ่งจะส่งผลดีต่อเศรษฐกิจและประเทศชาติโดยรวม

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ระบบรวบรวมและให้บริการข้อมูลค่าวัดทางไฟฟ้าจากมิเตอร์ ของ กฟผ. ในปัจจุบันประกอบด้วย Automatic Meter Reading หรือ AMR จำนวน 2 ระบบ ถูกติดตั้งให้ทำงานอยู่บนเครื่องคอมพิวเตอร์เซิร์ฟเวอร์ จะทำการอ่านข้อมูลจากมิเตอร์ที่ถูกติดตั้งอยู่ที่จุดซื้อขายไฟฟ้ามาเก็บลงในฐานข้อมูลแบบอัตโนมัติ ซึ่งโปรแกรม AMR ทั้งสองนั้น อ่านข้อมูลได้เฉพาะมิเตอร์จากบริษัทผู้ผลิตเดียวกันกับผู้ผลิตซอฟต์แวร์เท่านั้น ดังนั้นโปรแกรม AMR ทั้งสองจึงใช้อ่านค่าจากมิเตอร์ต่างบริษัทผู้ผลิต ต่างรุ่นกัน รูปแบบการทำงาน วิธีการใช้งาน และการดูแลบำรุงรักษาก็แตกต่างกัน ใช้ซอฟต์แวร์ฐานข้อมูลต่างกัน โครงสร้างการเก็บข้อมูลแตกต่างกัน และยังประกอบด้วย Remote Meter Reading (RMR) อีกจำนวน 2 โปรแกรม ซึ่งต้องมีเจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงานทำการเรียกข้อมูลจากมิเตอร์ที่ถูกติดตั้งอยู่ที่จุดซื้อขายไฟฟ้าทุกวัน ออกรายงานเป็นไฟล์ที่มีรูปแบบต่างกัน การนำข้อมูลไปใช้งานต่อจึงไม่สะดวก อีกทั้งยังมีข้อจำกัดทางเทคนิคของแต่ละซอฟต์แวร์อีกด้วย ดังนั้นในการนำข้อมูลไปใช้งานหรือนำไปให้บริการ จึงต้องทำการพัฒนาโปรแกรมเพื่อแปลงข้อมูลทั้งจากฐานข้อมูลที่โครงสร้างต่างกัน และทั้งจากไฟล์รูปแบบที่ต่างกัน ทำการแปลงข้อมูลค่าวัดจากหลายต้นทางให้มีรูปแบบเป็นมาตรฐานเดียวกัน ถ่ายโอนไปรวบรวมและให้บริการที่จุดเดียว ดังที่แสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ระบบรวบรวมและให้บริการข้อมูลมิเตอร์ซื้อขายไฟฟ้าของ กฟผ. ในปัจจุบัน

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบระบบรวบรวมข้อมูลมิเตอร์ของ กฟผ. ที่มีการใช้งานในปัจจุบัน

System	AMR-1	AMR-2	RMR-3	RMR-4
ลักษณะการทำงาน	อัตโนมัติ และ สั่งการโดยผู้ใช้งาน	อัตโนมัติอย่างเดียว	ไม่อัตโนมัติ	ไม่อัตโนมัติ
สามารถติดตั้งใช้งานบน Virtual Machine	ไม่ได้	ได้	ได้	ได้
จำนวน ยี่ห้อ:รุ่น มิเตอร์ที่สามารถเรียกข้อมูลได้	4:5	1:2	1:1	1:1
ซอฟต์แวร์ฐานข้อมูล หรือ ประเภทไฟล์	Oracle Database	MS SQL Server	Excel File	CSV File
รายละเอียดโครงสร้างฐานข้อมูล	ปกปิด ไม่เปิดเผย	เปิดเผย	-	-

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

System	AMR-1	AMR-2	RMR-3	RMR-4
เข้ารหัสข้อมูลในฐานข้อมูล	เข้ารหัส	ไม่เข้ารหัส	-	-
ข้อจำกัดด้านการสื่อสาร	มี 2 รุ่นที่ไม่สามารถอ่านข้อมูลผ่าน LAN/WAN ได้	สามารถเข้าถึงมิเตอร์ได้พร้อมกัน 4 user	-	-
สามารถรองรับลักษณะงานข้อมูลค่าวัดผูกติดกับจุดวัด หรือ IP address	รองรับ (Virtual Meter)	รองรับ (IP address)	ไม่รองรับ	ไม่รองรับ
ข้อจำกัดด้านการใช้งาน	สามารถใช้งานระบบผ่าน Web Application ได้พร้อมกันหลายคน	ใช้งานได้ครั้งละ 1 คน	ใช้งานได้ครั้งละ 1 คน	

เนื่องจากมีซอฟต์แวร์อ่านข้อมูลมิเตอร์หลายชุด และมีซอฟต์แวร์ฐานข้อมูลหลายชุด จากหลายบริษัทผู้ผลิต จึงทำให้มีขั้นตอนหรือวิธีการใช้งานมีความหลากลายแตกต่างกัน การดูแลบำรุงรักษาหรือขยายระบบทำได้ยาก อีกทั้งต้องใช้จำนวนเครื่องคอมพิวเตอร์หรือเซิร์ฟเวอร์เป็นจำนวนมาก ทำให้เจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงานซึ่งมีจำนวนจำกัดต้องเรียนรู้การใช้งานซอฟต์แวร์เรียกข้อมูลและซอฟต์แวร์ฐานข้อมูลให้ครบทุกตัวที่มีการใช้งานในระบบ นอกจากนี้แล้วเนื่องจากข้อมูลต้นทางมีรูปแบบและโครงสร้างที่ไม่เหมือนกัน ทำให้การพัฒนาโปรแกรมสำหรับแปลงและถ่ายโอนข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบเดียวกันสำหรับการนำไปให้บริการ ก็มีความยุ่งยากหลากหลาย การบำรุงรักษาหรือพัฒนาต่อยอดก็ทำได้ยากเช่นกัน อีกทั้งจำนวนเจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงานที่มีความรู้ความสามารถเพียงพอที่จะพัฒนาได้ก็มีจำนวนน้อย และเนื่องจากปัจจุบัน กฟผ. มีนโยบายเปิดเสรีให้บริษัทต่างๆสามารถเข้าแข่งขันเพื่อเสนอให้ใช้มิเตอร์หรือซอฟต์แวร์อ่านข้อมูลมิเตอร์ในระบบซื้อขายไฟฟ้าของ กฟผ. จึงมีความเป็นไปได้ค่อนข้างสูงที่จะมีมิเตอร์หรือซอฟต์แวร์อ่านข้อมูลมิเตอร์จากบริษัทรายใหม่ๆ ถูกติดตั้งใช้งานในระบบซื้อขายไฟฟ้าของ กฟผ. หลากหลายขึ้น ก็จะมีผลทำให้เจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงานต้องเรียนรู้การใช้งาน การบำรุงรักษา ซอฟต์แวร์อ่านข้อมูลมิเตอร์เพิ่มขึ้น รวมถึงต้องพัฒนาโปรแกรมแปลงและถ่ายโอนข้อมูลจากซอฟต์แวร์อ่านข้อมูลมิเตอร์ชุดใหม่เพิ่มขึ้น ซึ่งแต่ละซอฟต์แวร์ก็จะมีข้อจำกัดไม่เหมือนกัน จึงอาจส่งผลต่อการให้บริการข้อมูลค่าวัดทางไฟฟ้าของหน่วยงาน อีกทั้งในปัจจุบัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

หน่วยงานได้กำหนดคุณสมบัติของมิเตอร์ที่จะใช้ในระบบซื้อขายไฟฟ้าของ กฟผ. ตั้งแต่ปี 2559 “ต้องรองรับมาตรฐาน DLMS/COSEM และต้องส่งมอบ OBIS Codes ที่เกี่ยวข้องให้ด้วย” ดังนั้นหาก กฟผ. สามารถพัฒนา AMR System ให้สามารถรวบรวมข้อมูลค่าวัดทางไฟฟ้าจากมิเตอร์ได้โดยตรงด้วยมาตรฐาน DLMS/COSEM ให้สามารถเรียกข้อมูลจากมิเตอร์ได้ทุกรุ่น ทุกบริษัทผู้ผลิต ที่มีการใช้งานในระบบซื้อขายไฟฟ้าของ กฟผ. และรองรับมิเตอร์จากบริษัทผู้ผลิตอื่นๆที่จะมีการนำเข้ามาใช้งานในอนาคตแล้ว จะส่งผลให้การทำงานมีความสะดวก ไม่ติดข้อจำกัดทางเทคนิค เพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน สามารถรวบรวมและให้บริการข้อมูลค่าวัดทางไฟฟ้าแบบคาบเวลาได้อย่างรวดเร็วในทันที เป็นการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ ลดการเครื่องคอมพิวเตอร์เซิร์ฟเวอร์หลายชุด สามารถเพิ่มความมั่นคงของระบบรวบรวมและให้บริการข้อมูลฯได้ตามต้องการ ทำให้การดูแล บำรุงรักษา ขยายระบบทำได้ง่าย และยังเพิ่มศักยภาพในการแข่งขันของ กฟผ. ในอนาคต อีกทั้งสำนักนโยบายและพลังงาน (สนพ.) กระทรวงพลังงาน และคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน (กกพ.) มีแนวโน้มที่จะกำหนดนโยบายเปิดตลาดไฟฟ้าเสรี ซึ่งจะส่งผลให้ กฟผ. สามารถขายไฟฟ้าตรงในระดับแรงดันสูงได้เพิ่มขึ้น หรืออาจอนุญาตให้ กฟผ. ขายไฟฟ้าในระดับแรงดันกลางและระดับแรงดันต่ำได้ การพัฒนาระบบคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าประจำเดือนแบบเวลาจริงสำหรับงานใบแจ้งค่าขายไฟฟ้าจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน ลดต้นทุนองค์การ และเพิ่มศักยภาพในการแข่งขันให้กับ กฟผ. อีกด้วย นอกจากนี้เพื่อเป็นการรองรับนโยบายตามมาตรการตอบสนองด้านโหลด เมื่อ กฟผ. ได้รับอนุญาตให้เป็นผู้รวบรวมการลดการใช้ไฟฟ้า หรือ Load Aggregator แล้ว การพัฒนาโปรแกรมคำนวณพลังงานไฟฟ้าฐาน (Energy Baseline หรือ Baseline) จะช่วยลดต้นทุนการดำเนินการ และเพิ่มศักยภาพในการแข่งขันของ กฟผ. กับ ผู้รวบรวมการลดการใช้ไฟฟ้า รายอื่นๆในตลาด ซึ่งหากสามารถพัฒนาระบบดังกล่าวข้างต้น จะเป็นประโยชน์ต่อ กฟผ. อย่างมาก และยังส่งผลดีต่อประเทศชาติ ในการลดการนำเข้าซอฟต์แวร์ เสียดุลการค้า สร้างความภาคภูมิใจ

จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้น กฟผ. จึงต้องการ*พัฒนาระบบอ่านข้อมูลมิเตอร์อัตโนมัติ* ที่สามารถรวบรวมข้อมูลค่าวัดทางไฟฟ้าได้แบบเวลาจริง เพื่อช่วยลดต้นทุนการดำเนินการ สามารถบริหารจัดการ ดูแลบำรุงรักษา ขยายระบบให้เหมาะกับขนาดธุรกิจของ กฟผ. ได้สะดวกไม่มีข้อจำกัด และสามารถนำข้อมูลค่าวัดไปใช้ประโยชน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ อันได้แก่ การ*พัฒนาระบบจัดทำใบแจ้งค่าไฟฟ้า* เพื่อวางบิลเรียกเก็บเงินค่าขายไฟฟ้าแบบเวลาจริง ใช้เทคโนโลยีลดความผิดพลาด ลดกระบวนการที่ซ้ำซ้อน และการ*พัฒนาโปรแกรมคำนวณพลังงานไฟฟ้าฐาน* เพื่อรองรับเทคโนโลยีการตอบสนองด้านโหลด โดยใช้ข้อมูลค่าวัดไปคำนวณหา Baseline สำหรับใช้วัดพลังไฟฟ้าที่สามารถลดได้ของผู้เข้าร่วมมาตรการตอบสนองด้านโหลด ซึ่งระบบและโปรแกรมที่ต้องการพัฒนาดังที่กล่าวมาข้างต้น จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพ เตรียมความพร้อมให้ กฟผ. พร้อมรับการเปลี่ยนแปลง และเพิ่มศักยภาพในการแข่งขันทางธุรกิจให้กับ กฟผ. อีกด้วย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1.2.1) พัฒนาระบบอ่านข้อมูลมิเตอร์แบบอัตโนมัติ (AMR System) ที่สามารถอ่านข้อมูลมิเตอร์ได้หลากหลายบริษัทผู้ผลิต ที่มีการสื่อสารด้วยโปรโตคอล DLMS/COSEM โดยเฉพาะที่มีการใช้งานในระบบซื้อขายไฟฟ้าของ กฟผ.

1.2.2) พัฒนาระบบจัดทำใบแจ้งค่าไฟฟ้าแบบเวลาจริง (Real Time E-Billing System)

1.2.3) พัฒนาโปรแกรมคำนวณพลังงานไฟฟ้าฐาน (Energy Baseline Calculation Program)

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1.3.1) ซอฟต์แวร์ที่ใช้บนระบบอ่านข้อมูลมิเตอร์แบบอัตโนมัติ

- ต้องสามารถอ่านข้อมูลค่าวัดทางไฟฟ้าที่ถูกบันทึกในหน่วยความจำภายในตัวมิเตอร์ได้โดยตรง แบบเวลาจริง ตามมาตรฐาน IEC 62056 ด้วยโปรโตคอล DLMS/COSEM ผ่านระบบสื่อสารแบบ Ethernet ที่ กฟผ. มีการใช้งาน ได้แก่ EGAT Private WAN/LAN และ 3G/4G VPN ผ่านผู้ให้บริการเครือข่าย cellular network
- ต้องสามารถรวบรวมข้อมูลค่าวัดทางไฟฟ้าแบบคาบเวลา ได้แก่ export/import active power, export/import reactive power, 3 phase voltage, 3 phase current, export/import cumulative active energy และ export/import cumulative reactive energy และสามารถรวบรวมข้อมูลค่าวัดพลังงานไฟฟ้าแบบ time of use tariff rate (TOU) ได้แก่ export/import monthly active energy tariff rate
- กำหนด OBIS Code ที่มีการใช้งานในปัจจุบันและที่คาดว่าจะมีการใช้งานในอนาคต ให้เป็นมาตรฐานสำหรับมิเตอร์ที่จะใช้ในระบบซื้อขายไฟฟ้าของ กฟผ.
- ต้องเก็บข้อมูลค่าวัดทางไฟฟ้าประจำจุดซื้อขายไฟฟ้าเป็นแบบมิเตอร์เสมือน (Virtual Meter) โดยที่สามารถเปลี่ยนมิเตอร์จริงที่จุดวัดนั้นๆได้ตลอด และมิเตอร์จริงสามารถถูกเปลี่ยน IP address ได้ตลอด โดยไม่มีผลกระทบต่อข้อมูลค่าวัดทางไฟฟ้าที่จุดวัดนั้นๆ
- ต้องสามารถรองรับจำนวนมิเตอร์ได้ไม่น้อยกว่า 2,000 ตัว และให้บริการข้อมูลบนเครือข่าย EGAT admin network

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

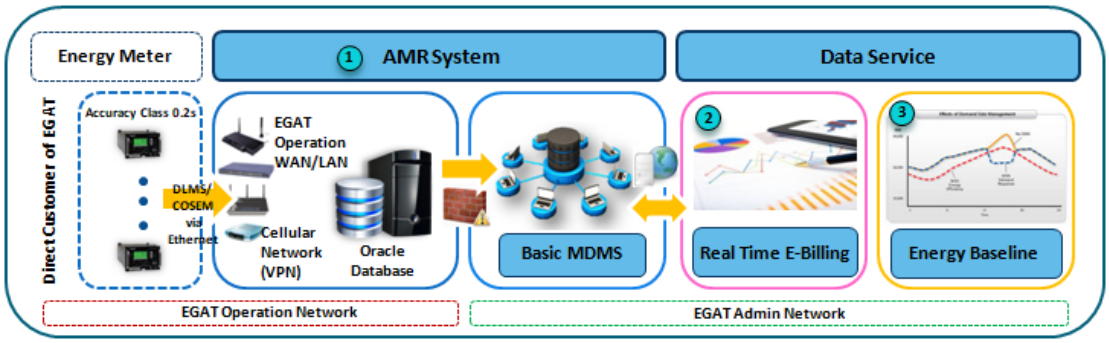
- เก็บรวบรวมข้อมูลด้วยระบบฐานข้อมูล oracle database และให้บริการข้อมูลย้อนหลังได้ไม่น้อยกว่า 5 ปี
- การทดสอบระบบ AMR โดยการอ่านข้อมูลจากมิเตอร์ที่ใช้ในการซื้อขายไฟฟ้าระหว่างการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยและลูกค้าตรง จำนวน 8 ราย รวมจำนวนมิเตอร์ 24 ตัว

1.3.2) ซอฟต์แวร์จัดทำใบแจ้งค่าไฟฟ้าแบบเวลาจริง

- ต้องสามารถคำนวณค่าไฟได้ถูกต้องตามสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแต่ละฉบับของลูกค้าตรงของ กฟผ. แต่ละราย โดยใช้ข้อมูลจากระบบ AMR
- สามารถเรียกดูค่าพลังงานไฟฟ้า และค่าไฟในรอบเดือนปัจจุบันได้แบบเวลาจริงตลอดเวลา

1.3.3) โปรแกรมคำนวณพลังงานไฟฟ้าฐาน

- สร้าง Energy Baseline สำหรับลูกค้าตรงของ กฟผ. โดยใช้ข้อมูลความต้องการไฟฟ้าย้อนหลัง ไม่ต่ำกว่า 1 เดือน และสามารถปรับ Energy Baseline เพื่อให้การคำนวณสะท้อนพฤติกรรมความต้องการใช้ไฟฟ้าของลูกค้าตรง กฟผ. แต่ละราย
- ต้องมีแบบจำลอง Energy Baseline สำหรับลูกค้าตรงแต่ละราย รวมทั้งหมด 8 แบบจำลอง
- Energy Baseline ที่คำนวณได้ต้องมีความแม่นยำไม่น้อยกว่า 80%
- สามารถหาส่วนต่างพลังไฟฟ้าที่สามารถลดได้ (Saving Energy Consumption) จากพลังงานไฟฟ้าใช้จริง (Actual Use) และ Energy Baseline เมื่อมีการจำลองการดำเนินมาตรการตอบสนองด้านโหลด



รูปที่ 2 ขอบเขตงานวิจัย

1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย

1.4.1) ศึกษาโปรโตคอลสื่อสารและมาตรฐาน ที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนข้อมูลกับมิเตอร์สำหรับใช้พัฒนา AMR System ได้แก่

- โครงสร้างของโปรโตคอลสื่อสาร DLMS หรือ Device Language Message Specification และการส่งข้อมูล ตามมาตรฐาน DLMS/COSEM
- แบบจำลองส่วนติดต่อ COSEM หรือ Companion Specification for Energy Metering รวมถึงชั้นการติดต่อกับมิเตอร์ ข้อบังคับในการติดต่อกับฟังก์ชันมิเตอร์ และระบบระบุเอกลักษณ์ OBIS หรือ Object Identification System ตามมาตรฐาน DLMS/COSEM
- มาตรฐาน IEC 62056 : Electricity metering - Data exchange for meter reading, tariff and load control ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการแลกเปลี่ยนข้อมูลกับมิเตอร์ด้วย โปรโตคอล DLMS/COSEM และ Standard OBIS Codes

1.4.2) พัฒนาซอฟต์แวร์อ่านข้อมูลมิเตอร์สำหรับ AMR System เพื่อรวบรวมข้อมูลค่าวัดทางไฟฟ้าจากมิเตอร์ผ่านทางไกลแบบอัตโนมัติ

- พัฒนาโปรแกรมส่วน Backend สำหรับอ่านข้อมูลจากมิเตอร์ผ่าน TCP/IP (EGAT WAN/LAN) เฉพาะค่าวัดทางไฟฟ้าที่ OBIS Code ที่มีการใช้งานในระบบซื้อขายไฟฟ้าของ กฟผ. ในปัจจุบัน รวมทั้งการอ่านข้อมูลแบบตั้งเวลาอัตโนมัติแบบเวลาจริงเมื่อถึงคาบเวลา
- สร้างฐานข้อมูล Oracle Database สำหรับเก็บข้อมูลจุดซื้อขายไฟฟ้า (Virtual Meter), รหัสติดต่อกับมิเตอร์ (Password), ข้อมูลช่องทางการสื่อสารกับมิเตอร์ (Communication Path), ประวัติและสถานะการเรียกข้อมูล (Transaction History) และข้อมูลค่าวัดทางไฟฟ้า (Periodical Measurement Data)
- พัฒนาโปรแกรมส่วน Frontend เป็น GUI Web Application สำหรับบริหารจัดการ โปรแกรมส่วน Backend, ดูสถานะหรือตรวจสอบการทำงานของโปรแกรมส่วน Backend และจัดการข้อมูลต่างๆ ที่เก็บในฐานข้อมูล

1.4.3) กำหนด OBIS Code สำหรับค่าวัดทางไฟฟ้าเพื่อใช้เป็นมาตรฐานสำหรับมิเตอร์ที่จะมีการใช้งานในระบบซื้อขายไฟฟ้าของ กฟผ.

- รวบรวมและตรวจสอบ OBIS Code ที่มีการใช้งานในปัจจุบัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

- เก็บข้อมูล ตรวจสอบงานวิจัยและเทคโนโลยี สำหรับ OBIS Code ที่ต้องการใช้งานในอนาคต

1.4.4) พัฒนา Real Time E-Billing Application สำหรับคิดคำนวณค่าไฟตามสัญญาซื้อขายไฟฟ้า

- รวบรวมและตรวจสอบสูตรการคิดค่าไฟฟ้าสำหรับลูกค้าตรงของ กฟผ. แต่ละสัญญา
- พัฒนาโปรแกรมส่วน Frontend เป็น GUI Web Application สำหรับติดต่อกับผู้ใช้งาน ในการใช้งานระบบและบริหารจัดการระบบ
- สร้างฐานข้อมูลสำหรับเก็บข้อมูลลูกค้าคู่สัญญาและรหัสการใช้งาน รายละเอียดสัญญา สูตรการคำนวณค่าไฟฟ้าแต่ละสัญญา รวมทั้งค่าไฟฟ้าของแต่ละรอบบิล
- พัฒนาโปรแกรมส่วน Backend สำหรับคำนวณค่าไฟฟ้าตามความต้องการของผู้ใช้งาน

1.4.5) ศึกษาหลักการคำนวณการหาพลังงานไฟฟ้าฐาน สำหรับสร้าง Baseline ประเภทโหลดอุตสาหกรรม

- ตรวจสอบงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง หาวิธีการคำนวณ Baseline ที่มีประสิทธิภาพและเหมาะกับโหลดไฟฟ้าประเภทอุตสาหกรรมขนาดใหญ่
- กำหนดแบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับการคำนวณ Baseline สำหรับลูกค้าตรงแต่ละราย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

1.4.6) พัฒนาโปรแกรม Energy Baseline Calculation สำหรับหาพลังงานไฟฟ้าฐานโดยใช้ข้อมูลจากระบบ AMR

- พัฒนาโปรแกรมส่วน Frontend เป็น GUI Web Application เพื่อติดต่อกับผู้ใช้งาน หรือ ผู้รวบรวมการลดการใช้ไฟฟ้า สำหรับคำนวณและแสดง Baseline
- สร้างฐานข้อมูลสำหรับเก็บข้อมูลที่จำเป็นต่อการคำนวณ Baseline ของลูกค้าตรงแต่ละราย
- พัฒนาโปรแกรมส่วน Backend สำหรับคำนวณ Baseline และคำนวณหาส่วนต่างพลังไฟฟ้าที่สามารถลดได้ เมื่อมีการดำเนินมาตรการตอบสนองด้านโหลด

บทที่ 2
ทฤษฎีและมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง

2.1 Advanced Meter Infrastructure (AMI), Automatic Meter Reading (AMR) และ Meter Data Management System (MDMS)

Advanced Meter Infrastructure (AMI) หรือ โครงสร้างพื้นฐานระบบมิเตอร์ขั้นสูง เป็นโครงสร้างพื้นฐานที่เชื่อมต่อระหว่างสมาร์ทมิเตอร์ซึ่งถูกติดตั้งอยู่ที่จุดซื้อขายไฟฟ้า (แก๊ส หรือน้ำปะปา) หรืออุปกรณ์อัจฉริยะต่างๆ ซึ่งทำหน้าที่วัดค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าต่างๆ ในระบบ เข้ากับระบบคอมพิวเตอร์และระบบข้อมูลสารสนเทศ โดยผ่านโครงข่ายระบบสื่อสาร แล้วรวบรวมข้อมูลค่าวัดค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า ข้อมูลพลังงาน ข้อมูลสารสนเทศ ทั้งจากฝั่งผู้ผลิตผู้จัดหาไฟฟ้า จากฝั่งโหลดไฟฟ้าและผู้ใช้ไฟฟ้า เพื่อนำไปใช้สำหรับสนับสนุนงานออกบิลค่าไฟฟ้า จากนี้ยังใช้เป็นสัญญาณในการควบคุมหรือสั่งการ เพื่อสนับสนุนวัตถุประสงค์บางส่วนของสมาร์ทกริด อันได้แก่ การผลิตและส่งกระแสไฟฟ้าให้มีคุณภาพ การบริหารจัดการพลังงานให้มีประสิทธิภาพ (Energy Management System : EMS) เพิ่มการมีส่วนร่วมของผู้ใช้ไฟฟ้าในการจัดการพลังงาน (Demand Side Management : DSM) สนับสนุนแหล่งพลังงานทางเลือกที่สะอาดที่กระจายอยู่ทั่วไป (Distributed Energy Resource : DER) และลดระดับความต้องการไฟฟ้าสูงสุด (Peak Demand) เทคโนโลยี AMI เป็นการสื่อสารสองทาง รับส่งข้อมูลและสัญญาณกับสมาร์ทมิเตอร์, ระบบจัดการพลังงานต่างๆ (Energy Management System : EMS) เช่น HEMS, BLEMS, CEMS และ FLEMS เป็นต้น รับส่งข้อมูลและสัญญาณกับอุปกรณ์อัจฉริยะต่างๆ เช่น เครื่องใช้ไฟฟ้า, IoT Devices, Intelligent Electronic Devices (IEDs) ในระบบหลายๆตัวพร้อมกัน เพื่อบริหารจัดการปรับการตั้งค่าและควบคุมการทำงาน เพื่อทำงานร่วมกับระบบต่างๆ เช่น Distributed Automation (DA), Distribution Management System (DMS) ซึ่งจะช่วยให้การไฟฟ้าสามารถรับรู้รายได้ หรือประเมินหน่วยไฟฟ้าสูญเสียในระบบ ณ เวลาใดๆ ได้อย่างแม่นยำ หรือการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่ายสามารถสั่งตัดต่อมิเตอร์เพื่อระงับการจ่ายไฟฟ้าจากระยะไกล ซึ่งเป็นการสนับสนุนตลาดค้าปลีกพลังงานตลาดพลังงานไฟฟ้าเสรี ให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ของสมาร์ทกริด เช่นเดียวกันเทคโนโลยีสมาร์ทกริดที่ไม่ใช่เทคโนโลยีเดี่ยว เทคโนโลยี AMI ประกอบด้วยระบบย่อยๆทำงานร่วมกัน ซึ่งได้แก่ มิเตอร์อัจฉริยะ (smart meter), โครงข่ายระบบสื่อสาร (communication), ระบบอ่านค่าหน่วยการวัดจากมิเตอร์โดยอัตโนมัติ (Automatic Meter Reading : AMR) และระบบจัดการข้อมูล (Data Management System) [4]

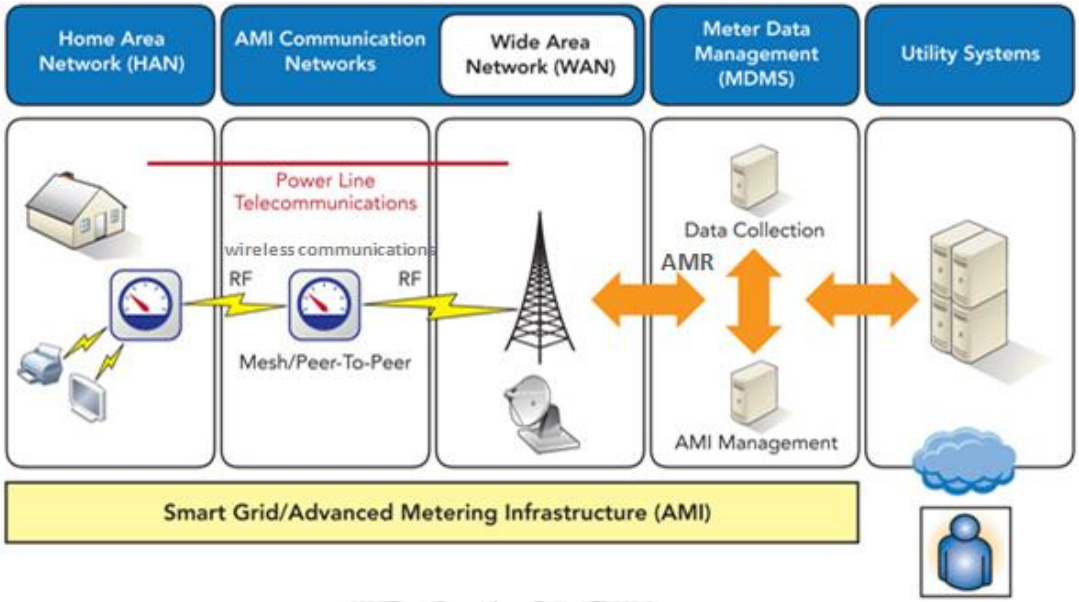
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ระบบ Automatic Meter Reading (AMR) หรือ ระบบอ่านค่าหน่วยการวัดจากมิเตอร์โดยอัตโนมัติ เป็นระบบที่ทำหน้าที่อ่านและรวบรวมข้อมูลค่าวัดทางไฟฟ้าแบบคาบเวลาจากมิเตอร์ทุกตัวในระบบ ผ่านโครงข่ายระบบสื่อสารแบบอัตโนมัติ รวบรวมข้อมูลไว้ที่ระบบฐานข้อมูลกลาง โดยที่สมาร์ทมิเตอร์ หรือมิเตอร์อัจฉริยะ [5] เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ใช้สำหรับวัดค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าและเก็บบันทึกค่าวัดไว้ในหน่วยความจำภายใน ตัวอย่างข้อมูลค่าวัดทางไฟฟ้าแบบคาบเวลา (Periodical Measurement) ซึ่งเป็นค่าวัดทุกๆ 1 ชั่วโมง, 30 นาที, 15 นาที, 5 นาที หรือ 1 นาที ได้แก่ พลังงานไฟฟ้าสะสม, กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยหรือชั่วขณะ, กำลังเสมือนเฉลี่ยหรือชั่วขณะ, แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยหรือชั่วขณะ, กระแสไฟฟ้าเฉลี่ยหรือชั่วขณะ, ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์แบบชั่วขณะ หรือค่าวัดมุมเฟสที่ปลายของคาบเวลา เป็นต้น ระบบ AMR ยังสามารถทำหน้าที่เปรียบเทียบและปรับตั้งเวลาผ่านระบบเครือข่ายให้กับสมาร์ทมิเตอร์ ให้ข้อมูลค่าวัดทางไฟฟ้ามีความถูกต้องตรงตามมาตรฐานเวลา สนับสนุนการคิดเงินค่าไฟฟ้าโดยใช้เวลาเป็นฐานราคา (Time-based pricing), การให้บริการข้อมูลการบริโภคพลังงาน (Providing consumption data) นอกจากนี้ ข้อมูลค่าวัดที่ถูกเก็บรวบรวมไว้ที่ระบบฐานข้อมูลกลางจะถูกใช้เพื่อสนับสนุนระบบควบคุมและระบบปฏิบัติการ (Power quality monitoring), ใช้สนับสนุนมาตรการ DR ต่างๆ, ใช้สำหรับระบบตรวจสอบการขโมยไฟฟ้า (Energy theft detection), ระบบเฝ้าระวังไฟดับ (Failure and outage notification) หรือใช้เป็นข้อมูลทำงานร่วมกับระบบต่างๆในสมาร์ดกริด

ระบบจัดการข้อมูล (Data Management System) เป็นระบบที่อยู่ด้านผู้ให้บริการ รวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อวัตถุประสงค์ต่างๆ เช่น การทำบิล, วิเคราะห์หรือประเมินรูปแบบการใช้พลังงานสำหรับมาตรการ DR ทั้งการปรับเปลี่ยนการใช้พลังงานแบบเวลาจริง หรือการตอบสนองในภาวะวิกฤต เป็นต้น ระบบจัดการข้อมูล AMI ประกอบด้วยหลายโมดูล ได้แก่ Meter Data Management System (MDMS), Customer Information System (CIS), Outage Management System (OMS), Enterprise Resource Planning (ERP), Mobile Workforce Management (MWM), Geographic Information System (GIS) และ Transformer Load Management (TLM) นอกจากนี้ระบบจัดการข้อมูล AMI ยังประกอบไปด้วย โครงสร้างพื้นฐานศูนย์ข้อมูล, คอมพิวเตอร์เซิร์ฟเวอร์, ระบบจัดเก็บข้อมูล, ระบบฐานข้อมูล และระบบคอมพิวเตอร์เสมือน ซึ่งระบบย่อยต่างๆ และโครงสร้างพื้นฐานเหล่านี้เพื่อช่วยสนับสนุน 3 วัตถุประสงค์หลักของระบบจัดการข้อมูล AMI อันได้แก่ ปรับปรุงและเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการกริด, ปรับปรุงและเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการสาธารณูปโภค และสุดท้ายคือเพิ่มการมีส่วนร่วมของผู้บริโภค โดยที่ระบบจัดการข้อมูล AMI ที่มีความสำคัญมาก คือ Meter Data Management System (MDMS) เป็นโมดูลกลางทำหน้าที่สื่อสารแลกเปลี่ยนข้อมูลกับโมดูลต่างๆ ซึ่ง MDMS จะถูกติดตั้งอยู่ที่ศูนย์สั่งการไฟฟ้า ทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนข้อมูลค่าวัดทางไฟฟ้าจากมิเตอร์ของ AMI กับระบบต่างๆ นอกจากข้อมูลค่าวัดทาง

ไฟฟ้าแบบคาบเวลาจากมิเตอร์แล้ว AMI ยังให้มีข้อมูลเกี่ยวกับราคาไฟฟ้า เช่น อัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาการใช้ (Time of Use Rates : TOU), อัตราค่าไฟฟ้าช่วงวิกฤต (Critical Peak Pricing : CPP) และ อัตราค่าไฟฟ้า ณ เวลาปัจจุบัน (Real Time Pricing : RTP) เป็นต้น หรือข้อมูลการทำธุรกรรม ข้อมูลเกี่ยวกับผู้ใช้ไฟฟ้า พฤติกรรมการใช้ไฟฟ้า ประเภทธุรกิจหรือประเภทโหลดไฟฟ้า เพื่อสนับสนุนระบบบิลลิ่ง และการบริหารจัดการการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งข้อมูลต่างๆ AMI จะใช้สำหรับตรวจสอบวิเคราะห์ คำนวณพยากรณ์ ความต้องการไฟฟ้า รูปแบบการใช้ไฟฟ้า วางแผนการจัดหาและสำรองไฟฟ้า ทำให้การไฟฟ้าสามารถบริหารการผลิตไฟฟ้าล่วงหน้าได้อย่างเหมาะสมและคุ้มค่า ใช้ข้อมูลในคำนวณและพิมพ์ใบแจ้งค่าไฟฟ้า รายงานข้อมูลและ แจ้งเตือนเหตุสำคัญให้กับผู้ดูแลระบบหรือผู้ใช้ไฟฟ้าได้โดยตรง ซึ่งผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถตรวจสอบข้อมูลการใช้ไฟฟ้า ค่าไฟฟ้า รายได้จากการขายไฟฟ้า ค่าชดเชยจากการลดการใช้ไฟฟ้า ผ่านระบบสารสนเทศหรือแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์อัจฉริยะต่างๆ (Smart Devices) ทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถตัดสินใจเลือกใช้ไฟฟ้าได้ในราคาถูกอย่างเหมาะสม

โครงข่ายระบบสื่อสารเป็นส่วนที่มีความสำคัญต่อ AMI เป็นอย่างยิ่ง โดยที่ต้องมีความน่าเชื่อถือสูง สามารถรองรับข้อมูลปริมาณมากได้ รับส่งข้อมูลและคำสั่งควบคุมได้รวดเร็วทันเวลา ต้องมีความมั่นคงจากภัยพิบัติ มีความปลอดภัยต่อการโจมตีทางกายภาพและการโจมตีทางไซเบอร์ ไม่มีข้อจำกัดในด้านรูปแบบการเชื่อมต่อหรือสถาปัตยกรรม สามารถใช้ตัวกลางการสื่อสารข้อมูลแบบมีสาย เช่น PLC, Broadband over Power Lines (BPL), Optical Fiber เป็นต้น หรือใช้การสื่อสารแบบไร้สาย เช่น RF, cellular 3G/4G/5G, Narrow Band (NB) เป็นต้น มาตรฐานและโปรโตคอลที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยี AMI และสมาร์ทกริดมีหลากหลายมาตรฐาน เช่น ANSI C12.XX, DLMS/COSEM, MODBUS RTU, DNP3, M-Bus และ IEC61850 โดยโปรโตคอลที่เป็นที่นิยมสำหรับใช้กับระบบ AMR คือ ZigBee, MODBUS, IEC62056 DLMS/COSEM, IEC61107 และ ANSI C.12.18 ความท้าทายด้านความปลอดภัยของระบบ AMI เป็นอีกหนึ่งเรื่องสำคัญที่ต้องคำนึง ทั้งเครือข่ายสื่อสารและระบบข้อมูล ซึ่งได้แก่ ความปลอดในด้านข้อมูลผู้บริโภค เช่น ข้อมูลส่วนตัว พฤติกรรมการบริโภค หรือวิถีชีวิต เป็นต้น ความปลอดภัยจากการโจมตีทางกายภาพและภัยธรรมชาติ และที่สำคัญมากในปัจจุบัน นั่นคือ ความปลอดภัยต่อการโจมตีทางไซเบอร์ ดังนั้น AMI ต้องสามารถให้การรับรองความปลอดภัย ในด้านการรักษาความลับข้อมูล, ความถูกต้องของข้อมูล, ความพร้อมใช้งานของระบบ และความรับผิดชอบของระบบ ตามมาตรฐาน ISO/IEC 27000 หรือ Information Security Management Systems (ISMS) Standards นอกจากนี้ AMI สามารถช่วยในการตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าที่สูญเสียในสายส่ง และตรวจจับการขโมยใช้ไฟฟ้า เพื่อช่วยให้การปฏิบัติการและการบริหารจัดการกริดมีประสิทธิภาพมากที่สุดอีกด้วย [6]



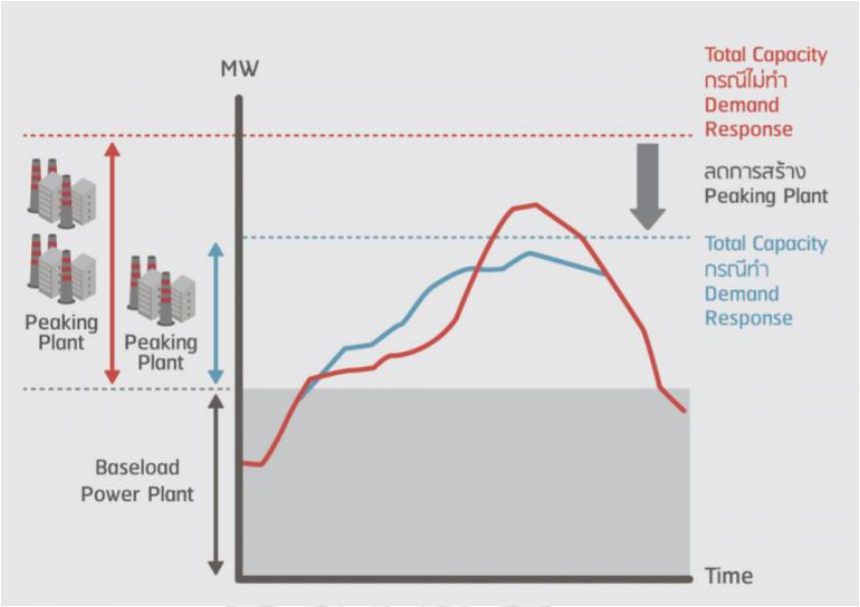
รูปที่ 3 โครงสร้างของ AMI

[Shawn Lafferty and Tauseef Ghazi, The Increasing Importance of Security for the Smart Grid]

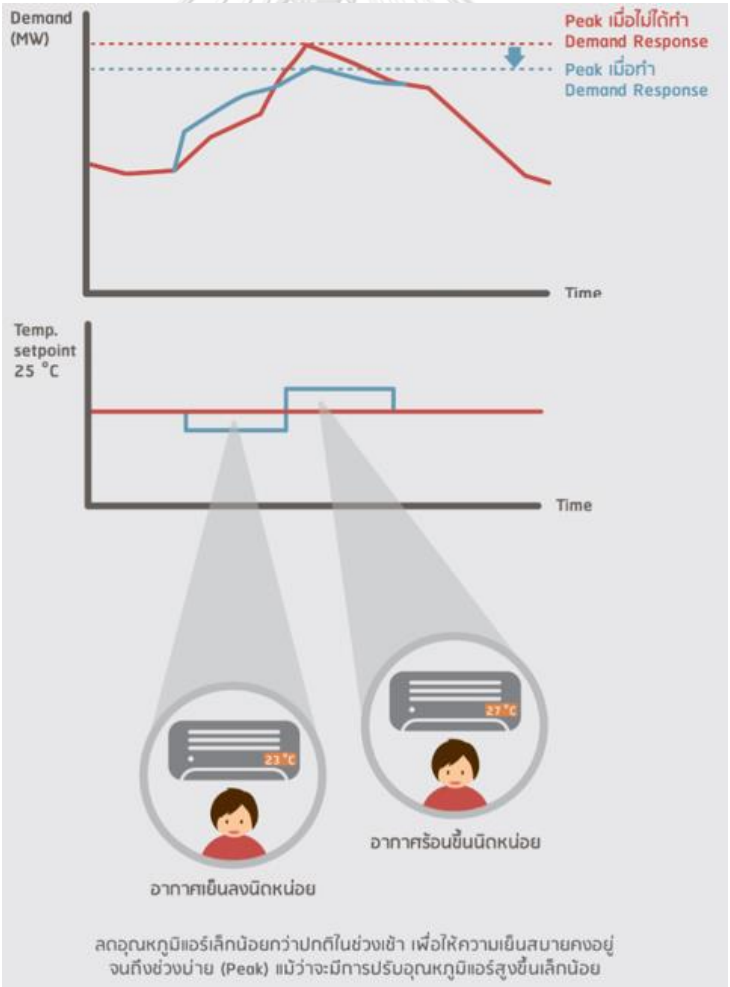
2.2 Energy Baseline for Demand Response

Demand Response (DR) หรือการตอบสนองการใช้พลังงานไฟฟ้าด้านโหลดในช่วงเวลาสั้นๆ เป็นมาตรการกระตุ้นให้ผู้ใช้ไฟฟ้าปรับเปลี่ยนพฤติกรรมลดการใช้ไฟฟ้าและรูปแบบการบริโภคไฟฟ้า ในช่วงเวลาต่างๆ โดยเฉพาะในช่วงเวลาที่ราคาค่าไฟฟ้าสูง หรือในช่วงเวลาที่มีความต้องการไฟฟ้าสูงสุด (Peak Demand) หรือในช่วงที่ระบบไฟฟ้าของประเทศเกิดสภาวะฉุกเฉินขาดแคลนพลังงานไฟฟ้า ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ความน่าเชื่อถือของระบบไฟฟ้าต่ำ มาตรการตอบสนองด้านโหลดเป็นการจูงใจผู้ให้ผู้เข้าร่วมโครงการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการบริโภคไฟฟ้าด้วยการจ่ายผลตอบแทน ผ่านกลไกราคาที่สามารถปรับเปลี่ยนได้ตลอดเวลา ทั้งอัตราค่าไฟฟ้าและอัตราผลตอบแทน เทคโนโลยีการตอบสนองด้านโหลดจะช่วยให้ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงราคาไฟฟ้า ช่วยให้ควบคุมความต้องการใช้ไฟฟ้าให้เหมาะสมกับความสามารถในการจัดหาพลังงานไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลา ป้องกันไม่ให้เกิดเหตุการณ์ไฟดับเป็นบริเวณกว้าง ผ่านเทคโนโลยีระบบสาระสนเทศ เทคโนโลยี AMI และโครงข่ายสมาร์ทกริด เป็นการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างประสิทธิภาพ ควบคุมและบริหารจัดการพลังงานไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ ลดหรือชะลอการสร้างโรงไฟฟ้าที่ผลิตพลังงานไฟฟ้าในช่วงที่มีความต้องการไฟฟ้าสูงสุด (Peaking Plant) สร้างสมดุลระหว่างการจัดหาไฟฟ้ากับความต้องการไฟฟ้า ทำให้เกิดความมั่นคงในระบบไฟฟ้าทั้งในระยะสั้นและระยะยาว ส่งผลดีต่อเศรษฐกิจและประเทศชาติโดยรวม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



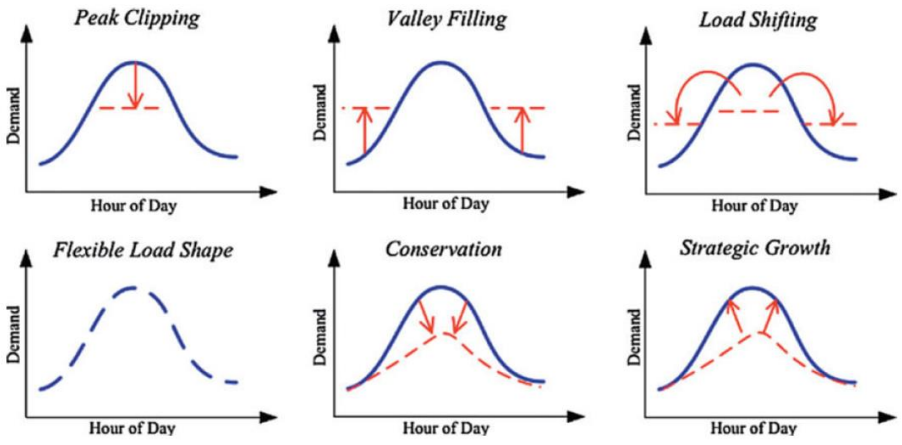
รูปที่ 4 ตัวอย่างประโยชน์ของมาตรการตอบสนองด้านโหลด [7]



รูปที่ 5 ตัวอย่างประโยชน์มาตรการตอบสนองด้านโหลดของโหลดไฟฟ้าประเภทครัวเรือน [7]

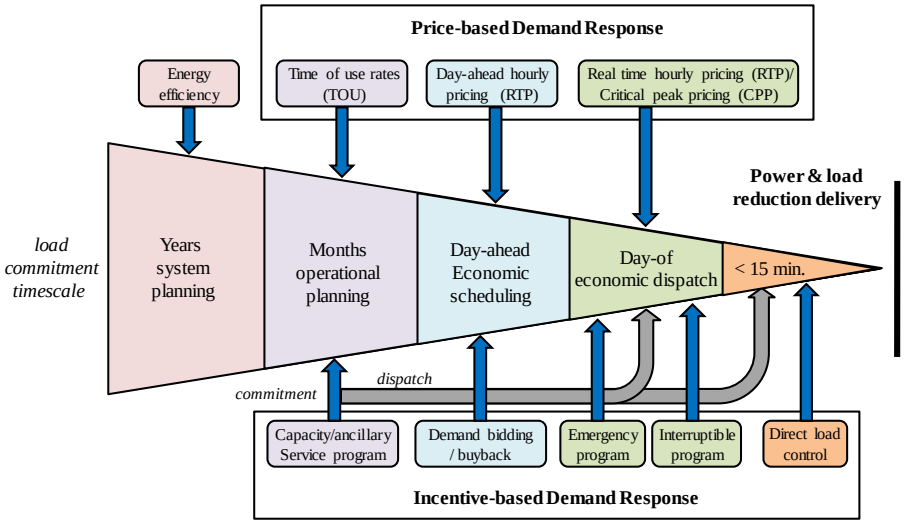
รูปแบบการตอบสนองด้านโหลด ไม่ใช่แค่การประหยัดพลังงาน หรือ การตอบสนองด้านโหลดแบบตัดลดความต้องการไฟฟ้าสูงสุด (Peak Clipping) ดังตัวอย่างที่แสดงในรูปที่ 5 เท่านั้น ยังมีการตอบสนองด้านโหลดแบบต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 6 ได้แก่ แบบเพิ่มการใช้พลังงานในช่วงเวลาที่มีการผลิตไฟฟ้าในปริมาณที่มากกว่าความต้องการไฟฟ้า (Valley Filling) ในกรณีที่แหล่งผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนมีการผลิตไฟฟ้าส่วนเกินในระบบ อาจชาร์จไฟฟ้าส่วนเกินเข้าระบบกักเก็บ หรือเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนเพื่อกักเก็บไว้ และรูปแบบสุดท้ายการตอบสนองด้านโหลดแบบการปรับเลื่อนการใช้ไฟฟ้า (Load Shifting) เป็นการเปลี่ยนช่วงเวลาการใช้ไฟฟ้าไปเป็นช่วงเวลาอื่น หรือเปลี่ยนรูปแบบการใช้งานโหลด สำหรับแนวทางดำเนินมาตรการตอบสนองด้านโหลดผ่านกลไกราคาที่ประเทศไทยให้ความสนใจศึกษานั้นมี 4 แบบ ได้แก่ Emergency Demand Response Program (EDRP) เป็นมาตรการที่จ่ายค่าตอบแทนให้กับ ผู้รวบรวมการลดการใช้ไฟฟ้า ที่ทำสัญญากับการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่ายในการลดการใช้ไฟฟ้าของกลุ่มลงเมื่อได้รับการร้องขอตามปริมาณที่ตกลงกัน โดยไม่อิงโครงสร้างอัตรา TOU และอัตราค่าชดเชยจะเป็นอัตราตามปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ลดได้ ทั้งนี้หากไม่สามารถลดการใช้ไฟฟ้าได้ตามสัญญาการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่ายจะหักค่าปรับออกจากเงินชดเชยที่ผู้รวบรวมการลดการใช้ไฟฟ้า จะได้รับ การร้องขอความร่วมมือในมาตรการนี้จะแจ้งให้ทราบล่วงหน้าในระยะสั้น เช่น 1 วัน หรือ 1 ชั่วโมง, อัตราค่าไฟฟ้าช่วงวิกฤต (Critical Peak Pricing : CPP) เป็นมาตรการสร้างแรงจูงใจให้ผู้ใช้ไฟฟ้าหลีกเลี่ยงการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาที่คาดว่าจะมีการใช้ไฟฟ้าสูงสุดของวัน (Critical Peak) โดยผู้ใช้ไฟฟ้าที่สมัครเข้าร่วมโครงการและไม่สามารถหลีกเลี่ยงการใช้ไฟฟ้าในช่วง Critical Peak ได้ตามที่กำหนดจะต้องจ่ายค่าพลังงานไฟฟ้าในอัตราที่สูงกว่าอัตราปกติ แต่จะจ่ายค่าไฟฟ้าในช่วง Peak ในอัตรา TOU ปกติ และ Off-peak ในอัตราที่ต่ำกว่าอัตรา TOU ปกติ ไม่มีการกำหนดค่าปรับ จูงใจให้ผู้เข้าร่วมโครงการบริหารจัดการการใช้ไฟฟ้าโดยลดการใช้ไฟฟ้าในช่วง Critical Peak และช่วง Peak แล้วปรับเปลี่ยนมาใช้ไฟฟ้าในช่วง Off-Peak เพิ่มมากขึ้น ผู้เข้าร่วมโครงการสามารถวางแผนการใช้ไฟฟ้าในระหว่างที่ดำเนินมาตรการให้ค่าไฟฟ้าในเดือนนั้นๆ ลดลงจากปกติ, Interruptible Load Program (ILP) เป็นมาตรการสร้างแรงจูงใจให้ผู้เข้าร่วมโครงการลดการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาที่กำหนด โดยมีการกำหนดเงินชดเชยหรือค่าไฟฟ้าในอัตราพิเศษ แต่มีข้อตกลงเกี่ยวกับจำนวนครั้งและปริมาณที่จะเรียกใช้งานสำหรับการตอบสนองความต้องการใช้ไฟฟ้าในช่วงวิกฤติ การร้องขอจะแจ้งให้ทราบโดยกระชั้นชิดจากสัญญาที่กำหนดปริมาณพลังไฟฟ้าที่สามารถงดจ่ายได้ไว้ล่วงหน้า ผู้เข้าร่วมมาตรการนี้ส่วนใหญ่เป็นผู้ใช้ไฟประเภทอุตสาหกรรมหรือการพาณิชย์ขนาดใหญ่ มีเงื่อนไขการสั่งการล่วงหน้าอย่างน้อย 1 ชั่วโมง และมาตรการควบคุมโหลดโดยตรง หรือ Direct Load Control (DLC) เป็นมาตรการที่จ่ายค่าตอบแทนให้กับผู้รวบรวมการลดการใช้ไฟฟ้าตามปริมาณการลดการใช้ไฟฟ้าตามสัญญา ในการบริหารจัดการการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าที่ยินยอมให้ผู้รวบรวมการลดการใช้ไฟฟ้าเข้าควบคุมการใช้ไฟฟ้าภายในสถานประกอบการหรือที่พักอาศัยตาม

เงื่อนไขที่ได้ตกลงกันไว้ นอกจากนี้ยังมีมาตรการอัตราค่าไฟฟ้าส่วนลดช่วงวิกฤต (Peak Time Rebate) อีกด้วย สำหรับการดำเนินการตอบสนองด้านโหลดนั้นมีทั้งแบบไม่อัตโนมัติ (Manual), แบบกึ่งอัตโนมัติ (Semi-Automatic) และแบบอัตโนมัติโดยสมบูรณ์ (Fully Automatic) โดยที่แบบอัตโนมัติโดยสมบูรณ์ต้องมีระบบสมาร์ทกริดมารองรับ เพื่อทำให้เกิดการประสานงานโดยตรงระหว่างอุปกรณ์กับอุปกรณ์ (Machine to Machine) ทำให้การตอบสนองเป็นไปได้อย่างรวดเร็ว และลดความเกี่ยวข้องของบุคคลในกระบวนการทั้งหมด โดยมาตรฐานกลางการสื่อสารแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ต่างๆในระบบที่เป็นที่แพร่หลายคือ OpenADR ซึ่งเป็นมาตรฐานการสั่งการจากเซิฟเวอร์ (Server) ไปยังไคลแอนท์ (Client) เพื่อให้เกิดการจัดการปรับเปลี่ยนการใช้งานโหลดไฟฟ้า หรือปลดโหลดไฟฟ้า ทำให้อุปกรณ์ต่างๆทำงานร่วมกันได้ (Interoperability) ด้านการตอบสนองด้านโหลดอย่างครบถ้วน และรองรับระบบสมาร์ทกริดทั้งหมด



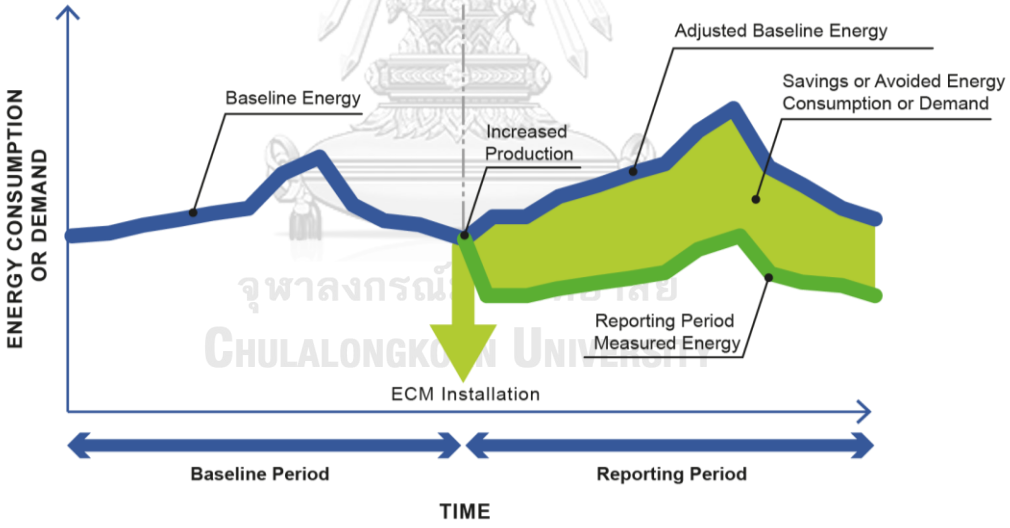
รูปที่ 6 ตัวอย่างรูปแบบมาตรการตอบสนองด้านโหลดแบบต่างๆ [8]

CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 7 ประเภทโปรแกรมมาตรการตอบสนองด้านโหลด (Demand Response Spectrum) [8, 9]

ระบบย่อยต่างๆ ที่จะทำให้เทคโนโลยีการตอบสนองด้านโหลด สามารถทำงานได้สมบูรณ์ ได้แก่ ระบบตรวจวัดและตรวจสอบ, ระบบสื่อสาร, ระบบประมวลผล และอุปกรณ์สั่งการ โดยระบบพื้นฐานที่สำคัญสำหรับเทคโนโลยีการตอบสนองด้านโหลดทุกรูปแบบ คือ ระบบตรวจวัดและตรวจสอบ เนื่องจากการจ่ายผลตอบแทน, อัตราชดเชย, อัตราค่าไฟที่ลดลง หรือหักค่าปรับ จากการเข้าร่วมมาตรการตอบสนองด้านโหลด ไม่ให้ผู้รวบรวมการลดการใช้ไฟฟ้าจ่ายค่าชดเชยให้ผู้เข้าร่วมโครงการมากเกินไป หรือไม่ให้ผู้เข้าร่วมโครงการได้รับเงินชดเชยน้อยจนขาดแรงจูงใจในการลดการใช้ไฟฟ้า ดังนั้นเทคโนโลยีการตอบสนองด้านโหลดจึงต้องการระบบตรวจวัดที่มีความเสถียร ซึ่งเครื่องมือหลักที่สำคัญที่สุดสำหรับระบบตรวจวัดและตรวจสอบ คือ Energy Baseline หรือ ระดับการใช้พลังไฟฟ้าปกติ หรือ ปริมาณการใช้ไฟฟ้าฐาน โดยที่ Baseline เป็นการประมาณการการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าในช่วงที่ไม่มีการเรียกใช้มาตรการตอบสนองด้านโหลด ใช้วัดการลดความต้องการใช้ไฟฟ้าหรือการลดการใช้พลังงานของผู้เข้าร่วมโครงการแล้ว และช่วยให้ผู้ให้บริการหรือผู้รวบรวมการลดการใช้ไฟฟ้าสามารถวัดประสิทธิภาพของผู้เข้าร่วมโครงการตอบสนองด้านโหลดอีกด้วย ดังนั้นคุณสมบัติของ Baseline ต้องมีความถูกต้องแม่นยำ ความเที่ยงตรง ต้องง่ายต่อการคำนวณและการใช้งานอีกด้วย [10-15]



รูปที่ 8 Baseline, Energy Consumption (Actual Use) และ Load Reduction [https://evo-world.org/en/products-services-mainmenu-en/protocols/ipmvp]

Step to Establish a Baseline for Industrial Facilities [11]

ขั้นตอนสำหรับการสร้าง Baseline หรือ การหาปริมาณการใช้ไฟฟ้าฐาน สำหรับภาคอุตสาหกรรมหรือภาคธุรกิจ มีดังนี้

1. กำหนดขอบเขตผู้ใช้ไฟฟ้า เช่น ประเภทธุรกิจ ประเภทอุตสาหกรรม โรงงานอุตสาหกรรม อุตสาหกรรมต่อเนื่อง ประเภทระบบ, การดำเนินการ หรือประเภทสำนักงาน รวมถึงตำแหน่งที่ตั้ง สภาพภูมิประเทศ
2. รวบรวมข้อมูลแหล่งพลังงานอื่นๆของผู้ใช้ไฟฟ้า เช่นนอกจากพลังงานไฟฟ้าจากกริดแล้วยังมีการใช้พลังงานจากแหล่งไฟฟ้าสำรอง แหล่งพลังงานหมุนเวียน (Renewable Energy) หรือระบบโคเจนเนอเรชัน (Cogeneration)
3. เลือกปีข้อมูลและกรอบเวลาที่จะใช้สร้าง Baseline เลือกปีข้อมูลที่จะใช้และเลือกระยะเวลาของข้อมูลให้เหมาะสม เช่น น้อยกว่า 1 ปี, ระยะเวลา 1 ปี และมากกว่า 1 ปี ซึ่งส่วนใหญ่นิยมใช้ข้อมูลระยะเวลา 1 ปี เนื่องจากเป็นระยะเวลาที่ครบวัฏจักรธุรกิจหรือครบวัฏจักรฤดูกาล ใน1 ปีปฏิทิน แต่หากใช้ข้อมูลมากกว่า 1 ปีก็จะสามารถเห็นแนวโน้มการเติบโตของธุรกิจได้
4. กำหนดตัวแปรที่เกี่ยวข้องที่มีผลต่อการใช้ไฟฟ้าในแบบจำลอง เช่น สภาพภูมิอากาศ อาทิ อุณหภูมิ, ความชื้น Heating Degree Days (HDD) และ Cooling Degree Days (CDD) เป็นต้น, กระบวนการผลิต วัตถุดิบตั้งต้นหรือผลผลิต, จำนวนชั่วโมงการผลิต
5. คำนวณดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพการใช้พลังงาน (Energy Performance Indicator : EnPI) หรือความเข้มข้นการใช้พลังงาน (Energy Intensity) เป็นการกำหนดตัวแปรหรือปัจจัยที่มีผลต่อตัวชี้วัดประสิทธิภาพการใช้พลังงาน และวิธีการคำนวณ เพื่อใช้ตรวจสอบเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้พลังงานเมื่อเข้าร่วมมาตรการตอบสนองด้านโหลด
6. การปรับค่าฐานการใช้พลังงาน (Baseline Adjustment) เพื่อให้การคำนวณใกล้เคียงการใช้ไฟฟ้าจริง โดยพิจารณาปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะการใช้พลังงาน อาทิเช่น แหล่งพลังงานทางเลือก แหล่งพลังงานสำรอง ระบบจัดการพลังงาน เทคโนโลยี การเปลี่ยนแปลงทางธุรกิจหรือองค์กร การเปลี่ยนแปลงระบบการผลิต การปฏิบัติการการดำเนินการ หรือแม้กระทั่งการเปลี่ยนแปลงสภาวะอากาศแบบกระทันหันหรือรุนแรง เป็นต้น

รูปที่ 9 ขั้นตอนในการสร้าง Baseline สำหรับภาคอุตสาหกรรม [11]

2.3 Baseline Methodology

วิธีการคำนวณ Baseline หรือ การหาปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าฐาน หรือ การหาระดับการใช้พลังงานปกติ เป็นการหาค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้า (กิโลวัตต์) ในแต่ละคาบเวลา จากข้อมูลลักษณะการใช้ไฟฟ้า (Load Profile) ของผู้ใช้ไฟฟ้า สามารถแบ่งออกเป็น 2 วิธีหลักได้แก่ วิธีการแรกใช้กระบวนการทางสถิติ ได้แก่ การหาค่ากลางจากข้อมูล (Averaging Methods), การวิเคราะห์สมการถดถอยทั้ง สมการถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression Analysis) และสมการถดถอยโพลิโนเมียล (Polynomial Regression Analysis) วิธีการที่สองใช้กระบวนการทางวิศวกรรม ได้แก่การให้ระบบคอมพิวเตอร์เรียนรู้ด้วยตนเอง (Machine Learning) แบบโครงข่ายประสาทเทียม (Neural Network) [10, 11, 13, 16-26]

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.3.1 Averaging Methods หรือ Day Matching

เป็นการสร้าง Baseline โดยเลือกวันที่มีลักษณะการใช้ไฟฟ้าตรงหรือใกล้เคียงกับวันที่มีการดำเนินมาตรการมากที่สุด จะประกอบไปด้วยข้อมูลลักษณะการใช้ไฟฟ้าย้อนหลังช่วงเวลาสั้นๆ และใช้การเฉลี่ยเพื่อหาปริมาณการใช้ไฟฟ้าฐาน สามารถแบ่งได้เป็น 3 แบบย่อย ได้แก่

2.3.1.1) Previous Days Approach เป็นการเฉลี่ยการใช้ไฟฟ้ารายชั่วโมงจากข้อมูลกลุ่มย่อย โดยที่กลุ่มย่อยหรือวันที่ถูกเลือกใช้ข้อมูลย้อนหลังเหล่านั้นต้องมีลักษณะการใช้ไฟฟ้าเหมือนกับวันที่ดำเนินมาตรการ โดยต้องแยกวันทำงานหรือวันหยุด คำนวณ Baseline จากค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของข้อมูลการใช้ไฟฟ้าย้อนหลังที่ถูกเลือก

2.3.1.2) Average Daily Energy Usage Approach โดยเลือกวันที่ไม่เคยดำเนินมาตรการตอบ สนองด้านโหลดเลย และต้องเป็นวันที่ลักษณะเดียวกันกับวันที่จะดำเนินมาตรการตอบสนองด้านโหลด เช่นวันทำงาน หรือวันหยุด แล้วทำการหาวันที่มีลักษณะเดียวกัน โดยที่ต้องมีผลรวมการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งวัน เท่ากับหรือมากกว่า 70% ผลรวมการใช้พลังงานไฟฟ้าของวันที่ถูกเลือก หากเป็นวันทำงานต้องหาให้ครบทั้ง 5 วัน แล้วคำนวณหา Baseline จากค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของข้อมูลการใช้ไฟฟ้าย้อนหลังของวันที่มีอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าเท่ากับหรือมากกว่า 70% ของวันที่ถูกเลือก

2.3.1.3) Proxy Day Approach เลือกวันที่เป็นตัวแทน โดยที่ต้องมีคุณลักษณะเหมือนวันที่มีการดำเนินมาตรการตอบสนองด้านโหลด เช่น อุณหภูมิสูงสุดของวัน, วันในรอบสัปดาห์ (วันจันทร์ถึงวันอาทิตย์), วันทำงานหรือวันหยุด เป็นต้น แล้วใช้การใช้ไฟฟ้ารายชั่วโมงของวันตัวแทนเป็น Baseline

2.3.2 Regression Analysis

เป็นการสร้างแบบจำลองสำหรับ Baseline โดยใช้สมการถดถอยวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของลักษณะการใช้ไฟฟ้า แบ่งได้ 2 แบบ คือ แบบใช้เฉพาะข้อมูลลักษณะการใช้ไฟฟ้าในวันที่ไม่มีการดำเนินมาตรการตอบสนองด้านโหลดของลูกค้าแต่ละราย และแบบใช้ชุดข้อมูลที่แยกระหว่างวันที่มีการดำเนินมาตรการและวันที่ไม่มีการดำเนินมาตรการตอบสนองด้านโหลด

2.3.2.1) Individual Customer Regression Baseline สร้างแบบจำลอง Baseline โดยใช้ข้อมูลลักษณะการใช้ไฟฟ้าในวันที่ไม่มีการดำเนินมาตรการตอบสนองด้านโหลด

สมการที่ 1 :

$$\mathrm{kW} = \beta_0 + \beta_1 * T_H \quad (1)$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สมการที่ 1 แสดงตัวอย่างแบบจำลอง Baseline อย่างง่ายที่เหมาะกับโหลดไฟฟ้าประเภทผู้ใช้ไฟฟ้าครัวเรือนหรือสำนักงาน ซึ่งเป็นโหลดไฟฟ้าที่สภาพอากาศมีผลต่อลักษณะการใช้ไฟฟ้า โดยที่

ตัวแปรอิสระ	T_H	คือ	อุณหภูมิรายคาบ (ชั่วโมง)
ตัวแปรตาม	kW	คือ	การใช้ไฟฟ้ารายคาบ (ชั่วโมง) หน่วย kW
	β_0		เป็นค่าคงที่
และ	β_1	คือ	coefficient หรือ ค่าสัมประสิทธิ์ของค่าประมาณการ T_H

2.3.2.2) Pooled Baseline Regression Analysis สร้างแบบจำลองโดยการใช้ข้อมูลลักษณะการใช้ไฟฟ้ารายคาบจากมิเตอร์ของผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละราย แยกชุดข้อมูลระหว่างวันที่มีการดำเนินมาตรการและวันที่ไม่มีการดำเนินมาตรการตอบสนองด้านโหลด

สมการที่ 2 :

$$kW_t = \beta_0 + \beta_1 \mathrm{Wthi}_t + \beta_2 Cyc_t + \beta_3 \mathrm{Wthi_t Cyc_t} + \varepsilon_t \quad (2)$$

โดยที่ ตัวแปรตาม kW คือ การใช้ไฟฟ้ารายคาบ (ชั่วโมง) หน่วย kW

แปรผันตามตัวแปรอิสระ 3 ตัว ได้แก่

Wthi_t คือ ดัชนีอุณหภูมิความชื้นจำเพาะรายคาบครึ่งชั่วโมง

Cyc_t คือ ตัวบ่งชี้คาบครึ่งชั่วโมง โดยที่ Cyc_t มีค่าเท่ากับ 1 เมื่อเป็นรอบครึ่งชั่วโมง และเป็น 0 หากไม่ใช่รอบครึ่งชั่วโมง

Wthi_t*Cyc_t คือ ผลของดัชนีอุณหภูมิความชื้นจำเพาะที่ถูกปรับเป็นรายคาบครึ่งชั่วโมง

β_0 เป็นค่าคงที่ และ β_1, β_2, β_3 คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรอิสระแต่ละตัวตามลำดับ

สมการที่ 3:

$$\mathrm{kW_{it}} = \alpha_0 + \sum_{i=1}^{n-1} \alpha_i \, Cust_i + \beta_1 \mathrm{Wthi_t} + \beta_2 \mathrm{Cycle_{it}} + \sum_{i=1}^{n-1} \delta_i Cust_i * Cycle_{it} + \beta_3 \mathrm{Wthi_t Cycle_{it}} + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

สมการที่ 3 [11] แสดงตัวอย่างแบบจำลอง Baseline การใช้ไฟฟ้ารายคาบครึ่งชั่วโมง สำหรับผู้รวบรวมการลดการใช้ไฟฟ้า หรือ Load Aggregator ที่มีผู้เข้าร่วมมาตรการตามสัญญาเป็นลูกค้าหลายราย เช่น ครัวเรือนหรือสำนักงานที่ทำสัญญาเข้าร่วมมาตรการภายใต้ผู้รวบรวมการลดการใช้ไฟฟ้านั้น โดยที่

ตัวแปรตาม $\mathrm{kW_{it}}$ คือ การใช้ไฟฟ้าของผู้เข้าร่วม i ที่ชั่วโมง t

ตัวแปรอิสระ $\mathrm{Cust_i}$ คือ ผู้เข้าร่วมแต่ละราย มีค่าเท่ากับ 1 เมื่อเป็นผู้เข้าร่วมราย i และเป็น 0 เมื่อไม่ใช่ผู้เข้าร่วมราย i

$\mathrm{Wthi_t}$ คือ ดัชนีอุณหภูมิความชื้นจำเพาะรายชั่วโมง

$\mathrm{Cycle_{it}}$ คือ ตัวบ่งชี้คาบครึ่งชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 1 เมื่อเป็นรอบครึ่งชั่วโมง และเป็น 0 หากไม่ใช่รอบครึ่งชั่วโมง

ε_{it} คือ ความคลาดเคลื่อนของผู้เข้าร่วม i ที่ชั่วโมง t

α_0 เป็นค่าคงที่, α_i เป็นค่าสัมประสิทธิ์ของผู้เข้าร่วมราย i

β_1, β_2, β_3 และ δ_i คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรอิสระแต่ละตัวตามลำดับ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.3.3 Polynomial Regression Analysis

การวิเคราะห์กระบวนการถดถอยแบบโพลีโนเมียล เป็นการวิเคราะห์สมการเชิงถดถอยแบบความสัมพันธ์ไม่เป็นเส้นตรงประเภทหนึ่ง วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของเส้นโค้งระหว่างตัวแปรอิสระหนึ่งตัวและตัวแปรตามหนึ่งตัว หรือตัวแปรอิสระมากกว่าหนึ่งตัวแต่มีความซับซ้อน ยกตัวอย่างเช่นสมการที่ 4 การใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นผลมาจากเวลาในการใช้ไฟฟ้า และอุณหภูมิยกกำลังสองที่ส่งผลแบบไม่เป็นเส้นตรง

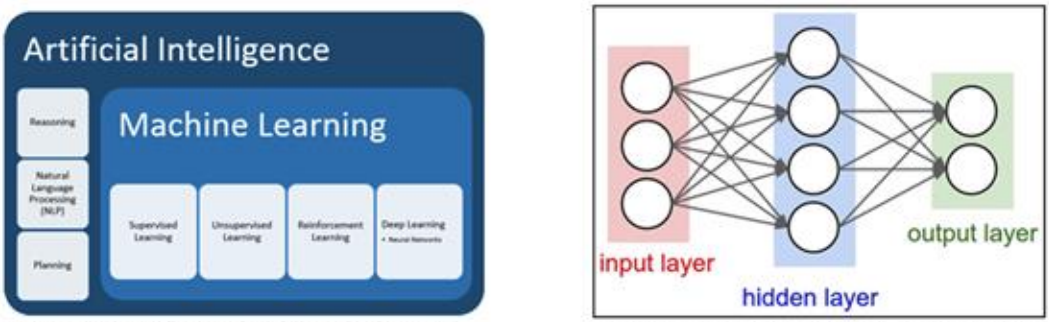
สมการที่ 4:

$$kWh = \beta_0 + \beta_1 * \text{Time} + \beta_2 * Temp^2 \quad (4)$$

การใช้สมการถดถอยแบบโพลีโนเมียลสร้างแบบจำลอง Baseline จะสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระหนึ่งตัวและตัวแปรตามหนึ่งตัว ชุดข้อมูลที่นำมาสร้างแบบจำลองจะเป็นข้อมูลในวันที่มีการเรียกใช้มาตรการ DR ลำดับของโพลีโนเมียล (หรือกำลังของตัวแปรอิสระ) ควรจะมีลำดับที่ต่ำที่สุด เนื่องจากโพลีโนเมียลลำดับสูงถึงแม้จะทำให้การสร้างแบบจำลองเหมาะกับกับชุดข้อมูลที่นำมาสร้างแบบจำลอง แต่ก็ทำให้การนำแบบจำลองไปใช้คาดการณ์มีความแปรปรวนสูงเช่นกัน นั่นคือโพลีโนเมียลที่ลำดับสูงอาจจะไม่ส่งผลดีต่อการพยากรณ์และประสิทธ์ภาพการใช้งานแบบจำลองได้

2.3.4 Machine Learning: Levenberg-Marquardt Algorithm

การให้ระบบเรียนรู้ด้วยตนเอง (Machine Learning : ML) เป็นรูปแบบหนึ่งของปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence : AI) ระบบจะเรียนรู้อย่างต่อเนื่องตลอดเวลาจากข้อมูลและจะพยากรณ์อนาคตจากการเรียนรู้ โดยจะใช้ขั้นตอนวิธี (algorithm) ที่หลากหลาย ซับซ้อน และมีประสิทธิภาพสูง เรียนรู้ซ้ำไปเรื่อยๆจากข้อมูลเพื่อสร้างแบบจำลองสำหรับการพยากรณ์ที่มีความแม่นยำมากเรื่อยๆ และจะทำการปรับแบบจำลองแบบอัตโนมัติเมื่อมีข้อมูลใหม่ หนึ่งในวิธีการที่เป็นที่นิยมคือ วิธีการเชิงโครงข่ายประสาทเทียม (Neural Network : NN) ซึ่งวิธีการนี้จะทำการปรับและจัดการอย่างต่อเนื่องจนกว่าจะถึงจุดที่เหมาะสม Neural Network ประกอบด้วยตั้งแต่ 3 ลำดับชั้นเป็นอย่างน้อย ได้แก่ 1 ลำดับชั้นข้อมูลเข้า (input layer), ลำดับชั้นที่ซ่อนอยู่ตั้งแต่ 1 ขึ้นไป (hidden layer) และ 1 ลำดับชั้นผลลัพธ์ (output layer)



รูปที่ 10 ลำดับชั้นของ Neural Network [27]

Levenberg-Marquardt (LM) Algorithm เป็นเทคนิคทำซ้ำที่เป็นมาตรฐานสำหรับการแก้ปัญหากำลังสองน้อยที่สุดไม่เป็นเชิงเส้น (nonlinear least squares problems) ด้วยการหาผลรวมกำลังของของความคลาดเคลื่อนที่น้อยที่สุดระหว่างจุดข้อมูลที่วัดกับฟังก์ชันที่เป็นไม่เชิงเส้น กระบวนการปรับเข้าหาโค้งของ LM เป็นการผสมผสานของ 2 กระบวนการหาค่าเหมาะสม คือ gradient descent หรือ steepest descent (SD) และ Gauss-Newton (GN) เมื่อวิหากวิธีการในเมื่อวิธีการและค่าพารามิเตอร์ไกลจากจุดเหมาะสม LM จะใช้กระบวนการ SD ค่าผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อน จะลดลงอย่างช้าๆ แต่ลู่เข้าหาจุดเหมาะสม เมื่อวิธีการและค่าพารามิเตอร์เข้าใกล้จุดเหมาะสม LM จะใช้กระบวนการ GN ผลรวมความคลาดเคลื่อนกำลังสองจะลดลงตามสมมติฐานของฟังก์ชันกำลังสองน้อยที่สุด ซึ่งจะอยู่ภายในฟังก์ชันกำลังสองและจะได้จุดเหมาะสมของฟังก์ชันกำลังสองในที่สุด สมการที่ 5 แสดงค่าปรับพารามิเตอร์ h_{sd} ที่เคลื่อนที่ตามทิศทางวิธี SD สมการที่ 6 แสดงค่าปรับพารามิเตอร์ h_{GN} ที่เคลื่อนที่ตามวิธี GN และสมการที่ 7 แสดงค่าปรับพารามิเตอร์ h_{LM} ตามกระบวนการ LM

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

$$h_{SD} = \alpha J^T W_{(y-\hat{y})} \tag{5}$$

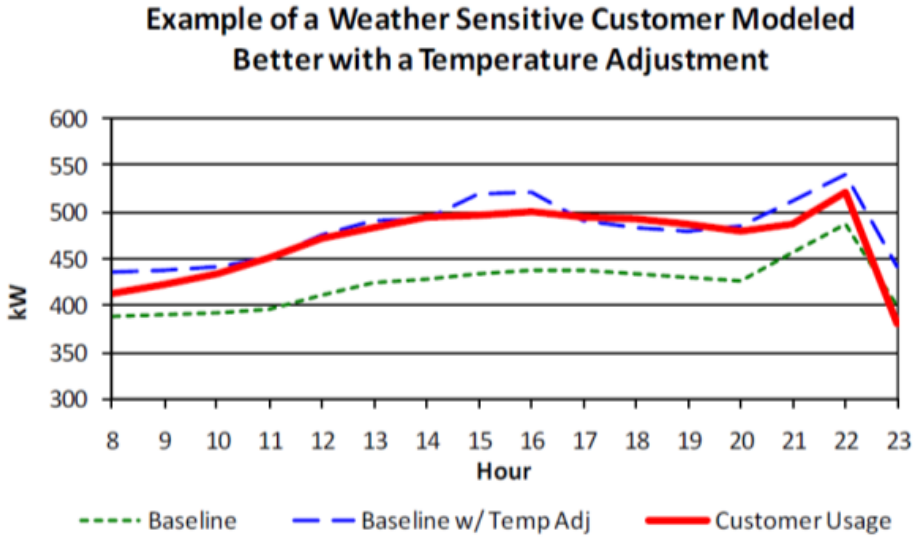
$$[J^T W J] h_{GN} = J^T W_{(y-\hat{y})} \tag{6}$$

$$[J^T W J + \lambda I] h_{LM} = J^T W_{(y-\hat{y})} \tag{7}$$

2.3.5 Baseline Adjustment

การปรับค่าฐานการใช้พลังงาน เป็นการปรับเพื่อให้การใช้ไฟฟ้าฐานที่คำนวณได้มีความแม่นยำมากขึ้น โดยจะพิจารณาในช่วงเริ่มต้นของวันที่มีการดำเนินมาตรการตอบสนองด้านโหลด เมื่อพิจารณา Baseline ที่คำนวณได้กับปริมาณการใช้ไฟฟ้าจริงในช่วงเริ่มดำเนินมาตรการมีความ

แตกต่างระหว่างอย่างมีนัยสำคัญ อาจเนื่องมาจากผลของสภาพอากาศหรืออุณหภูมิจน ส่งผลให้พฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงเป็นต้น จึงดำเนินการปรับการคำนวณการใช้ไฟฟ้าฐานเพื่อให้การคำนวณใกล้เคียงการใช้ไฟฟ้าจริงมากยิ่งขึ้น



รูปที่ 11 ตัวอย่างการปรับการใช้ไฟฟ้าฐาน (Baseline Adjustment) [12]

2.4 DLMS/COSEM Protocol and IEC-62056 Standard

DLMS/COSEM เป็นมาตรฐานโปรโตคอลสื่อสารสำหรับติดต่อแลกเปลี่ยนข้อมูลกับมิเตอร์ผ่านระบบสื่อสารต่างๆ สามารถสื่อสารได้กับมิเตอร์ไฟฟ้า น้ำประปา แก๊ส ความร้อน แรงดัน หรือสมาร์ทมิเตอร์ที่รวมหลายๆการทำงานไว้ด้วยกันได้ โดยที่ COSEM (COmpanion Specification for Energy Metering) คือ แบบจำลองข้อมูลส่วนที่ใช้ติดต่อกับโปรแกรมหรือฟังก์ชันต่างๆของมิเตอร์, OBIS (OBject Identification System) คือ ระบบระบุลำดับชั้นและอัตลักษณ์ข้อมูล เป็นการอ้างอิงเพื่อเข้าถึงแบบจำลองข้อมูล และ DLMS (Device Language Message specification) คือ โปรโตคอลสื่อสาร บอกวิธีเข้าถึงข้อความหรือสารและวิธีการรับส่งข้อความหรือสารเหล่านั้น การศึกษา DLMS/COSEM ถูกแบ่งเป็น 3 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาแบบจำลองข้อมูล COSEM (Modeling) เป็นส่วนที่ใช้ติดต่อกับมิเตอร์และกฎข้อกำหนดการระบุอัตลักษณ์ข้อมูล ขั้นตอนที่ 2 ศึกษาตัวข้อความหรือสาร (Messaging) เป็นการแปลงแบบจำลองข้อมูลไปเป็นหน่วยข้อมูลสำหรับการสื่อสาร รวมถึงการเข้ารหัสข้อมูลด้วย และขั้นตอนที่ 3 ศึกษาการส่ง (Transporting) ข้อความหรือสารที่ถูกเข้ารหัสนั้นผ่านช่องทางสื่อสารต่างๆ [28-30] ซึ่งการพัฒนาระบบอ่านข้อมูลมิเตอร์แบบอัตโนมัติในงานวิจัยนี้จะใช้มาตรฐานโปรโตคอล DLMS/COSEM

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

มาตรฐาน IEC 62056 (Electricity metering - Data exchange for meter reading, tariff and load control) เป็นมาตรฐานที่กล่าวถึงแบบจำลองข้อมูลและโปรโตคอลสื่อสารสำหรับติดต่อแลกเปลี่ยนข้อมูลกับมิเตอร์ไฟฟ้าโดยเฉพาะ แต่จะมีการปรับปรุงช้ากว่ามาตรฐาน DLMS/COSEM มาตรฐาน IEC 62056 ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาโปรแกรมสำหรับติดต่อสื่อสารกับมิเตอร์ (AMR) ได้แก่

- IEC 62056-1-0(2014): Smart metering standardization framework
- IEC 62056-3-1(2013): Use of LANs on twisted pair with carrier signalling
- IEC 62056-4-7(2015): DLMS/COSEM transport layer for IP networks
- IEC 62056-5-3(2017): DLMS/COSEM application layer
- IEC 62056-6-1(2017): Object Identification System (OBIS)
- IEC 62056-6-2(2017): COSEM interface classes
- IEC 62056-6-9(2016): Mapping between the Common Information Model message profiles (IEC 61968-9) and DLMS/COSEM (IEC 62056) data models and protocols
- IEC 62056-42(2002): Physical layer services and procedures for connection oriented asynchronous data exchange

วัตถุประสงค์ของ DLMS/COSEM คือการกำหนดมาตรฐานสำหรับแบบจำลองติดต่อสื่อสารกับอุปกรณ์มิเตอร์และระบบที่เกี่ยวข้อง โดยเฉพาะรบบ AMR, บริการหรือฟังก์ชันที่จะติดต่อกับแบบจำลอง และกำหนดรูปแบบการสื่อสารสำหรับส่งข้อความหรือสารผ่านสื่อกลางการสื่อสารแบบต่างๆ โดยคุณลักษณะสำคัญของการแลกเปลี่ยนข้อมูลด้วยโปรโตคอล DLMS/COSEM ได้แก่

- อุปกรณ์มิเตอร์ต้องสามารถติดต่อได้จากหลากหลายคณะ เช่น ลูกข่าย, โปรแกรมหรือบุคคลที่สาม
- ต้องมีกลไกสำหรับควบคุมการเข้าถึงทรัพยากรของอุปกรณ์มิเตอร์ ผ่านชั้นโปรแกรมของ DLMS /COSEM (DLMS/COSEM Application Layer) และชุดคำสั่งของ COSEM (COSEM objects)
- รับรองความปลอดภัยและความลับด้วยการเข้ารหัสเพื่อป้องกันส่วนขยายของ DLMS (Extended DLMS) และข้อมูล COSEM (COSEM Data)

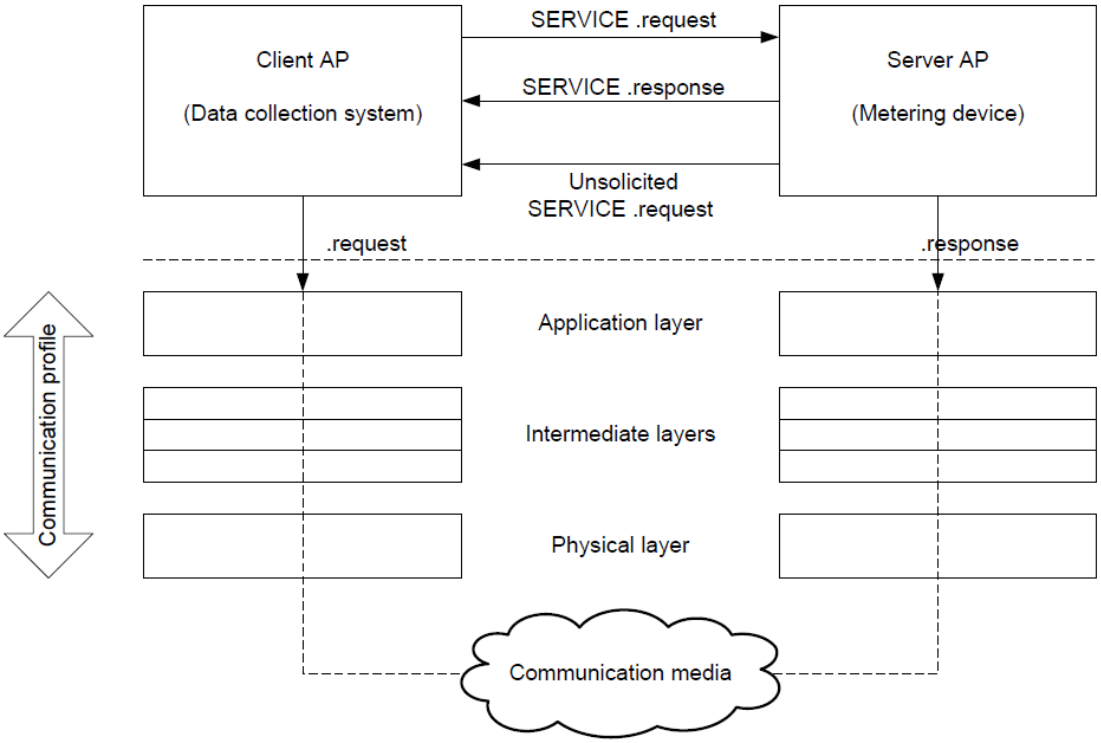
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

- โปรโตคอลต้องมีส่วนที่สิ้นเปลืองน้อย (overhead) และรับรองประสิทธิภาพโดยกลไกที่หลากหลาย ซึ่งรวมถึง การเข้าถึงแบบเลือกได้, การเข้ารหัสแบบกระทัดรัด และการบีบอัดข้อมูลแบบกระชับ
- กรณีที่จุดวัดมีมิเตอร์หลายตัว ต้องสามารถติดต่ออุปกรณ์มิเตอร์ได้หลายๆตัวจากจุดเชื่อมต่อเดียว
- สามารถแลกเปลี่ยนข้อมูลได้ทั้งแบบทางไกลและที่จุดติดตั้ง ได้พร้อมกัน โดยที่ไม่เกิดการรบกวนหรือส่งผลกระทบต่อกัน
- ต้องสามารถสื่อสารผ่านสื่อกลางการสื่อสารที่หลากหลาย ทั้งแบบเครือข่ายระยะใกล้, เครือข่ายระยะกลาง และเครือข่ายระยะไกล

2.4.1 โครงสร้างโปรโตคอลสื่อสาร DLMS

DLMS/COSEM ใช้หลักการเดียวกับแบบจำลอง OSI (Open Systems Interconnection) ในการเป็นแบบจำลองการติดต่อสื่อสารระหว่างมิเตอร์และระบบรวบรวมข้อมูล การทำงานโปรแกรมของอุปกรณ์มิเตอร์และระบบรวบรวมข้อมูลถูกกำหนดด้วย application processes (APs) ส่วนการติดต่อสื่อสารระหว่าง APs ถูกกำหนดด้วยการสื่อสารระหว่าง application entities (AEs) ซึ่ง AE แทนฟังก์ชันการติดต่อสื่อสารของ AP และ AE ประกอบไปด้วยกลุ่มของความสามารถในการติดต่อสื่อสาร ซึ่งเรียกว่า application service elements (ASEs) ซึ่ง ASE คือกลุ่มของการรวมฟังก์ชันที่สอดคล้องกัน การแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างระบบรวบรวมข้อมูลและอุปกรณ์มิเตอร์ใช้หลักการแบบจำลอง ลูกข่าย/แม่ข่าย (client/server) โดยที่ระบบรวบรวมข้อมูลมีบทบาทเป็นลูกข่ายและอุปกรณ์มิเตอร์ทำหน้าที่เป็นแม่ข่าย ลูกข่ายจะส่งคำร้องขอรับบริการไปที่แม่ข่ายแล้วแม่ข่ายจะตอบสนองคำร้องขอนั้น ในบางครั้งแม่ข่ายจะเป็นผู้เริ่มการติดต่อโดยที่ไม่ได้รับการร้องขอ เพื่อแจ้งลูกข่ายถึงเหตุการณ์ต่างๆ ตามเงื่อนไขที่ได้กำหนดไว้ ในทางปฏิบัติลูกข่ายและแม่ข่ายจะอยู่แยกอุปกรณ์กัน แลกเปลี่ยนข้อมูลกันผ่านชุดโปรโตคอลสื่อสาร

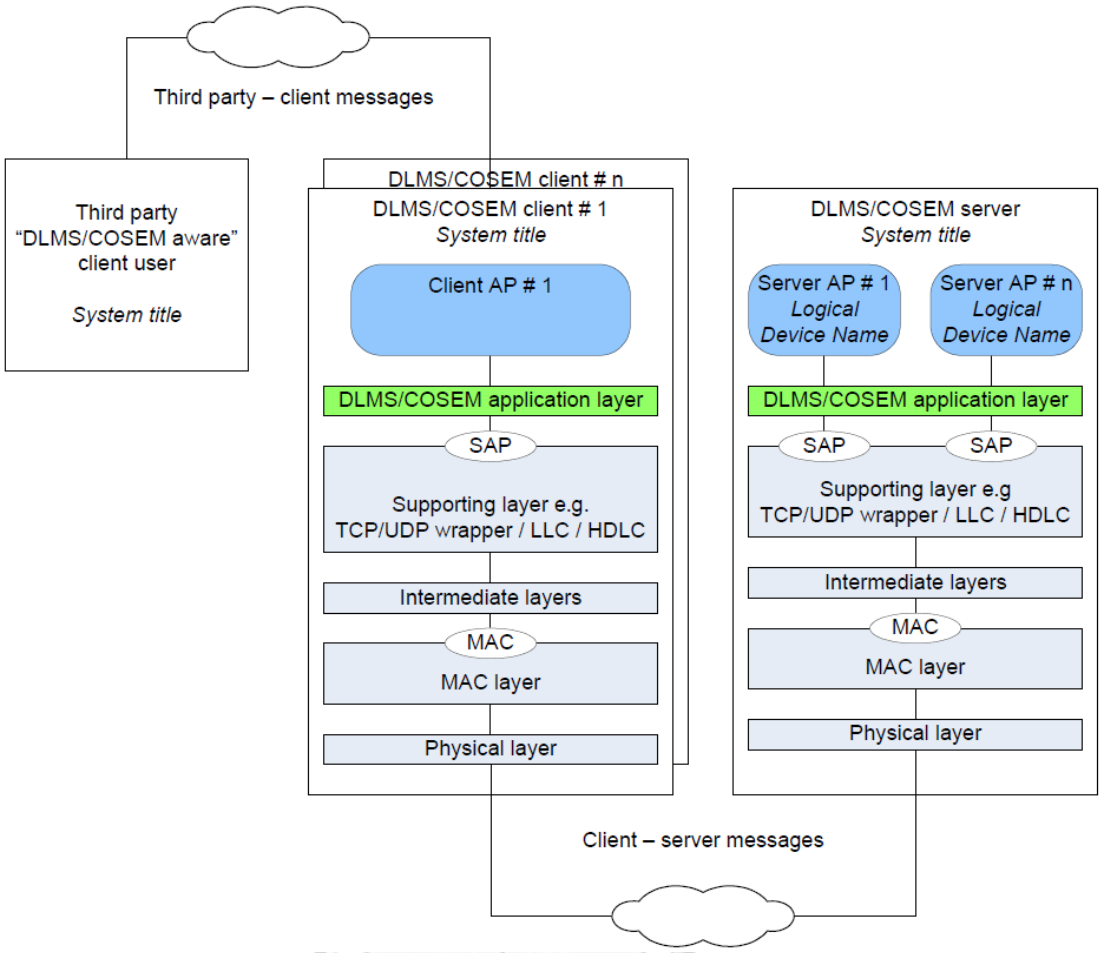
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 12 แบบจำลองผู้รับบริการ-ผู้ให้บริการ และ โปรโตคอลสื่อสาร [28]

ในระบบสื่อสารมีองค์ประกอบหลัก คือ ชื่อใช้ระบุหน่วยการสื่อสาร ต้องเป็นเอกลักษณ์ไม่ซ้ำกัน, ที่อยู่ของหน่วยสื่อสาร ซึ่งที่อยู่ของอุปกรณ์จริงจะขึ้นอยู่กับรูปแบบการสื่อสาร เช่น หมายเลขโทรศัพท์, MAC address, IP address หรือหลายแบบรวมกัน และกระบวนการผูกความสัมพันธ์จะจับคู่ชื่อกับที่อยู่

Application Associations (AAs) เป็นการเชื่อมต่อเสมือนทางตรรกะโปรแกรมระว่างลูกข่ายและแม่ข่าย ซึ่งบางครั้ง AAs จะถูกสร้างจากการร้องขอจากลูกข่ายที่ใช้บริการกำหนดการเชื่อมต่อ ACSE (Association Control Service Element) ของ AL ในบางครั้ง AAs สามารถที่จะไม่ยืนยันการเชื่อมต่อ อุปกรณ์เสมือนทางตรรกะ COSEM สามารถรองรับได้มากกว่า 1 AAs จากแต่ละลูกข่ายที่ต่างกัน โดยที่แต่ละ AA กำหนดบริบทในที่ที่การแลกเปลี่ยนข้อมูลเกิดขึ้น



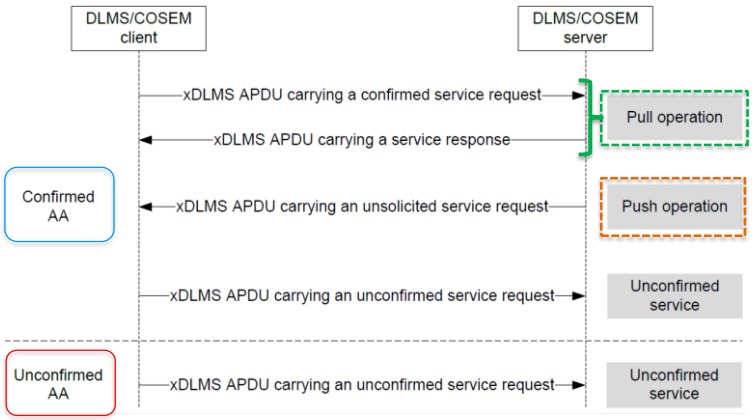
รูปที่ 13 การจับคู่ ชื่อ และ ที่อยู่ ใน DLMS/COSEM [28]

การยืนยันการเชื่อมต่อของ AA ที่ถูกเสนอโดยลูกข่ายและยอมรับโดยแม่ข่าย สามารถระบุได้ว่า

- ผู้ใช้งานของลูกข่ายถูกรับรู้โดยแม่ข่าย
- บริบทของโปรแกรมการใช้งานถูกนำเสนอโดยลูกข่าย ซึ่งถูกยอมรับได้โดยแม่ข่าย
- กลไลการรับรองความถูกต้องถูกนำเสนอโดยลูกข่าย ซึ่งถูกยอมรับได้โดยแม่ข่าย และการตรวจสอบความถูกต้องนั้นสำเร็จ
- ส่วนประกอบของบริบท xDLMS (Extended DLMS) สามารถเจรจาต่อรองได้สำเร็จระหว่างลูกข่ายและแม่ข่าย

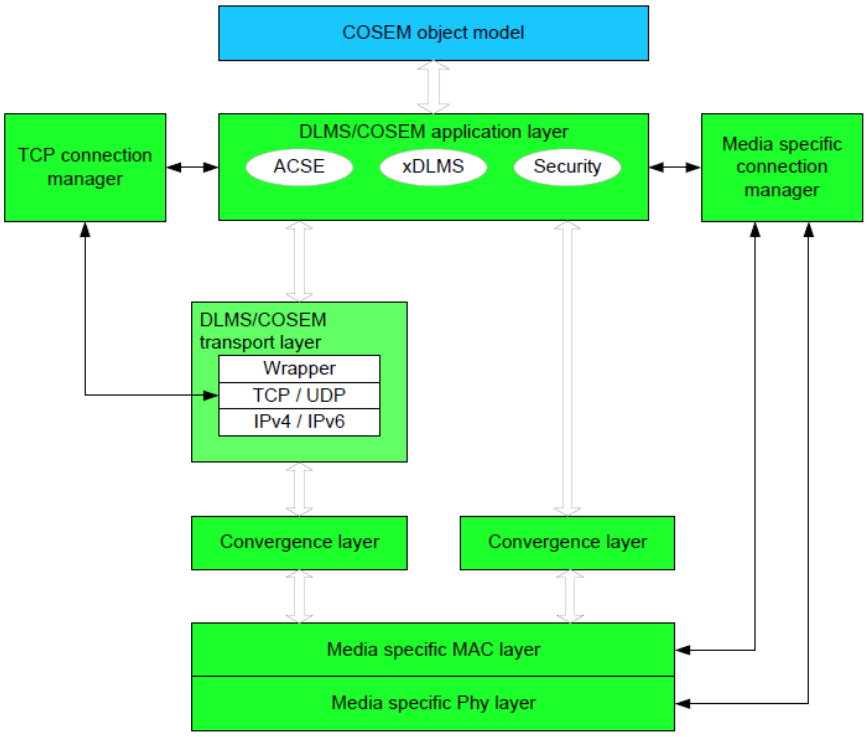
การไม่ยืนยันการเชื่อมต่อของ AA ที่ถูกเสนอจากลูกข่ายบนสมมติฐานว่าแม่ข่ายจะยอมรับ ไม่มีการเจรจาต่อรองเกิดขึ้น การไม่ยืนยันของ AA นำไปใช้ประโยชน์ในการส่งสารหรือข้อความกระจายออกไปจากลูกข่ายไปแม่ข่าย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 14 รูปแบบการส่งข้อความ [28]

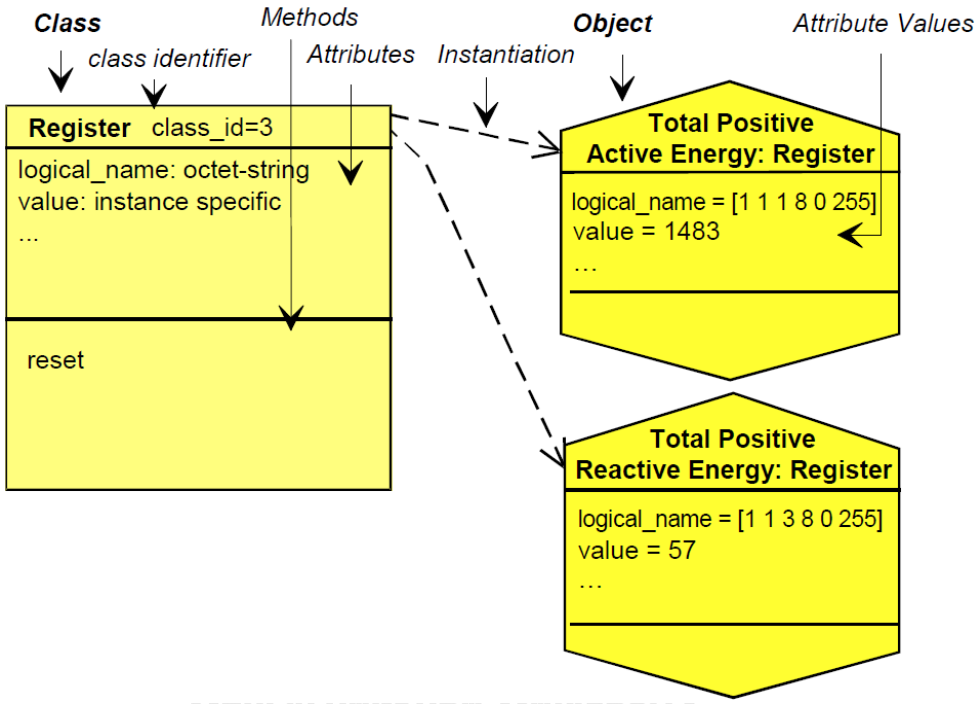
รูปแบบการสื่อสารเป็นตัวกำหนดว่า DLMS/COSEM AL และชั้น Application Process (AP) ของแบบจำลองข้อมูล COSEM จะถูกสนับสนุนหรือให้บริการโดยลำดับชั้นที่ต่ำกว่าอย่างไร นั่นคือ สื่อกลางการสื่อสารเป็นตัวกำหนดลำดับชั้นของโปรโตคอล รูปแบบการสื่อสารประกอบด้วยลำดับชั้นโปรโตคอลจำนวนหนึ่ง โดยที่แต่ละลำดับชั้นมีหน้าที่แตกต่างกัน และรองรับการให้บริการสำหรับลำดับชั้นที่อยู่เหนือกว่า ลูกข่ายและแม่ข่าย COSEM APs จะใช้บริการของลำดับชั้นโปรโตคอลที่สูงสุดของ DLMS/COSEM AL ซึ่งจำนวนและประเภทของลำดับชั้นที่ต่ำกว่าขึ้นอยู่กับสื่อกลางการสื่อสารที่ใช้



รูปที่ 15 รูปแบบการสื่อสารทั่วไปของ DLMS/COSEM [28]

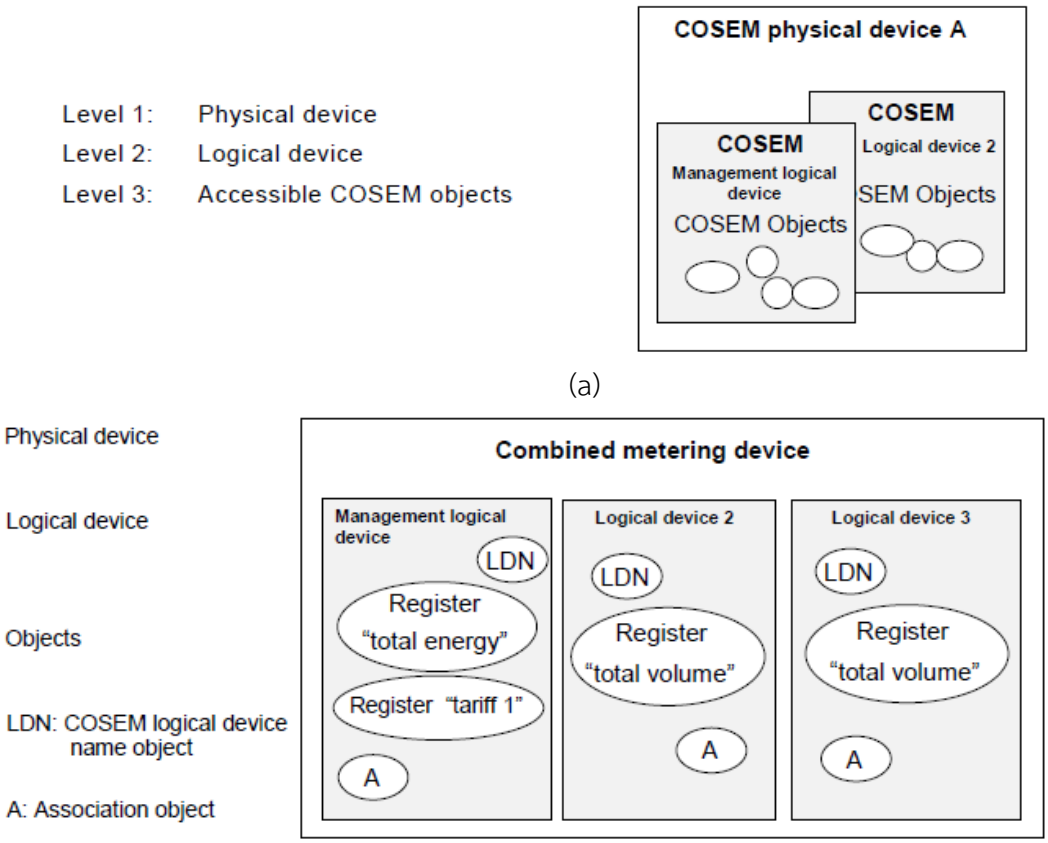
2.4.2 แบบจำลองข้อมูล COSEM

คลาสการติดต่อ COSEM (COSEM interface classes : ICs) ใช้สำหรับติดต่อแลกเปลี่ยนข้อมูลกับวัตถุ (object) หรือระบบรวบรวมข้อมูล (data collection system) ในอุปกรณ์มิเตอร์ โดยที่วัตถุประกอบด้วยคุณลักษณะ (attributes) และกระบวนการ (methods) โดยที่ คุณลักษณะบอกถึงคุณสมบัติต่างๆ ค่าต่างๆของคุณลักษณะจะส่งผลต่อพฤติกรรมของวัตถุ คุณลักษณะตัวแรกคือ logical_name ซึ่งจะใช้อ้างอิงเข้าถึงวัตถุนั้น รูปที่.... แสดง การแทนคลาสการติดต่อกับตัวอย่างวัตถุที่เก็บค่าวัดในอุปกรณ์มิเตอร์



รูปที่ 16 การเทียบคลาสการติดต่อกับตัวอย่างวัตถุ [29]

รูปที่ 17 (a) แสดงแบบจำลองข้อมูล COSEM มิเตอร์จะทำหน้าที่เป็นเซิฟร์เวอร์ ประกอบด้วย 3 ลำดับชั้น ได้แก่ physical device หรือ อุปกรณ์มิเตอร์, logical device หรือ คลาสการติดต่อ COSEM หรือ วัตถุเชิงตรรกะ, และ accessible COSEM objects หรือ วัตถุ COSEM สำหรับรูปที่ 17 (b) แสดงการรวมหลายๆ มิเตอร์เข้าด้วยกัน



รูปที่ 17 แบบจำลองข้อมูล COSEM มิเตอร์ทำหน้าที่เป็นเซิฟร์เวอร์ [29]

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

คลาสการติดต่อ COSEM แบ่งออกเป็น 4 กลุ่มใหญ่ ได้แก่

1. กลุ่มเก็บข้อมูลค่าวัดและพารามิเตอร์ต่างๆ (Data storage) ได้แก่ Data, Register และ Profile
2. กลุ่มวัตถุสำหรับการจัดการ (Management objects) ได้แก่ Association, SAP, Logical device name, Security setup และ Image transfer
3. กลุ่มควบคุมด้วยเวลาหรือเหตุการณ์ (Time/Event bound control) ได้แก่ Clock, Schedule, Scripts และ Register monitor
4. กลุ่มตั้งค่าการสื่อสาร (Communication setup) ได้แก่ Local port, Modem, Internet, M-Bus และ PLC

การอ้างอิงแบบจำลองข้อมูลขึ้นอยู่กับบริษัทผู้ผลิตมิเตอร์ว่า จะสามารถอ้างอิงด้วย Logical Name ซึ่งเป็นชื่อเต็ม หรือ Short Name ซึ่งเป็นตัวเลข หรือ สามารถอ้างอิงได้ทั้งคู่ แบบจำลองข้อมูลที่มีความสำคัญในระบบซื้อขายไฟฟ้าของ กฟผ. ได้แก่

2.4.2.1) Clock (class_id: 8, version: 0) นาฬิกาในตัวมิเตอร์

Clock		0...n	class_id = 8, version = 0			
Attributes		***Data type***	***Min.***	***Max.***	***Def.***	**Short name**
1. logical_name	(static)	octet-string				x
2. time	(dyn.)	octet-string				x + 0x08
3. time_zone	(static)	long		± 720		x + 0x10
4. status	(dyn.)	unsigned				x + 0x18
5. daylight_savings_begin	(static)	octet-string				x + 0x20
6. daylight_savings_end	(static)	octet-string				x + 0x28
7. daylight_savings_deviation	(static)	integer		± 120		x + 0x30
8. daylight_savings_enabled	(static)	boolean				x + 0x38
9. clock_base	(static)	enum				x + 0x40
Specific methods		***m/o***				
1. adjust_to_quarter (data)		o				x + 0x60
2. adjust_to_measuring_period (data)		o				x + 0x68
3. adjust_to_minute (data)		o				x + 0x70
4. adjust_to_preset_time (data)		o				x + 0x78
5. preset_adjusting_time (data)		o				x + 0x80
6. shift_time (data)		o				x + 0x88

รูปที่ 18 แบบจำลองข้อมูล Clock

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

คุณลักษณะที่สำคัญได้แก่

time : อ่านเวลาจากมิเตอร์ และเขียนเพื่อปรับเวลาในมิเตอร์ได้

time_zone : อ่านเขตเวลาที่ถูกกำหนดให้กับมิเตอร์ และเขียนเพื่อตั้งเขตเวลาให้มิเตอร์

2.4.2.2) Register (class_id: 3, version: 0) รีจิสเตอร์ใช้สำหรับเก็บข้อมูลค่าวัดทางไฟฟ้า ต่างๆ เช่น ค่าพลังงานไฟฟ้าสะสม, ค่าพลังงานไฟฟ้าสะสมแยกตามช่วงเวลาความต้องการใช้ไฟฟ้า (TOU Rate), ค่าแรงดันไฟฟ้าแต่ละเฟส, ค่ากระแสแต่ละเฟส เป็นต้น

Register		0...n	class_id = 3, version = 0			
Attributes		***Data type***	***Min.***	***Max.***	***Def.***	**Short name**
1. logical_name	(static)	octet-string				x
2. value	(dyn.)	CHOICE				x + 0x08
3. scaler_unit	(static)	scal_unit_type				x + 0x10
Specific methods		**m/o**				
1. reset (data)		o				x + 0x28

รูปที่ 19 แบบจำลองข้อมูล Register

คุณลักษณะที่สำคัญได้แก่

value : อ่านค่าข้อมูลค่าวัดรีจิสเตอร์นั้น

scaler_unit : อ่านตัวคูณ สำหรับคูณกับค่าที่อ่านได้จาก value เพื่อให้ได้ ค่าดิบ ที่มีความถูกต้องตรงตามหน่วยของแบบจำลองข้อมูล COSEM

ตารางที่... ตัวอย่างหน่วย (unit) ที่สำคัญของค่าวัดทางไฟฟ้า

unit ::= enum	Unit	Quantity	Unit name	SI definition (comment)
(27)	W	active power (*P*)	watt	W = J/s
(28)	VA	apparent power (*S*)	volt-ampere	
(29)	var	reactive power (*Q*)	var	
(30)	Wh	active energy r_W, active energy meter constant or pulse value	watt-hour	W*(60*60s)
(31)	VAh	apparent energy r_S, apparent energy meter constant or pulse value	volt-ampere-hour	VA*(60*60s)
(32)	varh	reactive energy r_B, reactive energy meter constant or pulse value	var-hour	var*(60*60s)
(33)	A	current (*I*)	ampere	A
(34)	C	electrical charge (*Q*)	coulomb	C = As
(35)	V	voltage (*U*)	volt	V
(36)	V/m	electric field strength (*E*)	volt per metre	V/m
(37)	F	capacitance (*C*)	farad	C/V = As/V
(38)	Ω	resistance (*R*)	ohm	Ω = V/A
(39)	$\Omega m^2/m$	resistivity (ρ)		Ωm
(40)	Wb	magnetic flux (Φ)	weber	Wb = Vs
(41)	T	magnetic flux density (*B*)	tesla	Wb/m^2
(42)	A/m	magnetic field strength (*H*)	ampere per metre	A/m
(43)	H	inductance (*L*)	henry	H = Wb/A
(44)	Hz	frequency (f, ω)	hertz	1/s
(45)	1/(Wh)	R_W, active energy meter constant or pulse value		
(46)	1/(varh)	R_B, reactive energy meter constant or pulse value		
(47)	1/(VAh)	R_S, apparent energy meter constant or pulse value		
(48)	V^2h	volt-squared hour, r_{U2h}, volt-squared hour meter constant or pulse value	volt-squared-hours	V^2(60*60s)
(49)	A^2h	ampere-squared hour, r_{I2h}, ampere-squared hour meter constant or pulse value	ampere-squared-hours	A^2(60*60s)

ตารางที่... ตัวอย่างการใช้ scaler_unit

Value	Scaler	Unit	Raw Data
263788	-3	W	263.788 W
593	3	Wh	593 kWh
3467	-1	V	346.7 V
3467	0	V	3.467 kV
3467	1	V	34.670 kV

2.4.2.3) Extended Register (class_id: 4, version: 0) เป็นรีจิสเตอร์ใช้สำหรับเก็บข้อมูลค่าวัดทางไฟฟ้า การใช้พลังไฟฟ้าสูงสุดแยกตามช่วงเวลาใช้งาน (maximum demand) หรือ ความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดแยกตามช่วงเวลา เช่น active export/import maximum demand Rate 1 (peak), active export/import maximum demand Rate 2 (off-peak), reactive export/import maximum demand rate 1 (peak) และ reactive export/import maximum demand rate 2 (off-peak) เป็นต้น

Extended register		**0...n**	**class_id = 4, version = 0**			
Attributes		***Data type***	***Min.***	***Max.***	***Def.***	**Short name**
1. logical_name	(static)	octet-string				x
2. value	(dyn.)	CHOICE				x + 0x08
3. scaler_unit	(static)	scal_unit_type				x + 0x10
4. status	(dyn.)	CHOICE				x + 0x18
5. capture_time	(dyn.)	octet-string				x + 0x20
Specific methods		***m/o***				
1. reset (data)		o				x + 0x38

รูปที่... แบบจำลองข้อมูล Extended Register

คุณลักษณะที่สำคัญได้แก่

value : อ่านค่าข้อมูลค่าวัดรีจิสเตอร์นั้น

capture_time : อ่านเวลาในขณะที่เกิดการใช้พลังไฟฟ้าสูงสุด

scaler_unit : อ่านตัวคูณ

status : อ่านสถานะข้อมูลในขณะที่บันทึกค่าวัด

2.4.2.4) Demand Register (class_id: 5, version: 0) เป็นรีจิสเตอร์ใช้สำหรับเก็บข้อมูลค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยรายคาบ หรือความต้องการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยรายคาบ เช่น export/import active demand (active power) และ export/import reactive demand (reactive power) เป็นต้น

Demand register		0...n	class_id = 5, version = 0			
Attributes		***Data type***	***Min.***	***Max.***	***Def.***	**Short name**
1. logical_name	(static)	octet-string				x
2. current_average_value	(dyn.)	CHOICE			0	x + 0x08
3. last_average_value	(dyn.)	CHOICE			0	x + 0x10
4. scaler_unit	(static)	scal_unit_type				x + 0x18
5. status	(dyn.)	CHOICE				x + 0x20
6. capture_time	(dyn.)	octet-string				x + 0x28
7. start_time_current	(dyn.)	octet-string				x + 0x30
8. period	(static)	double-long-unsigned	1			x + 0x38
9. number_of_periods	(static)	long-unsigned	1		1	x + 0x40
Specific methods		***m/o***				
1. reset (data)		o				x + 0x48
2. next_period (data)		o				x + 0x50

รูปที่... แบบจำลองข้อมูล Demand Register

คุณลักษณะที่สำคัญได้แก่

last_avregare_value : อ่านค่าข้อมูลค่าวัดเฉลี่ยของคาบเวลาที่บันทึก capture_time

capture_time : อ่านเวลาของคาบที่ถูกบันทึก หรือคาบที่เฉลี่ยค่าวัดนั้น

period : อ่านช่วงของคาบ หน่วยเป็น วินาที เช่น 1800 = 30 นาที

scaler_unit : อ่านตัวคูณ

status : อ่านสถานะข้อมูลในขณะที่บันทึกค่าวัด

2.4.2.5) Profile Generic (class_id: 7, version: 1) เป็นชุดข้อมูล หรือสามารถมองตารางได้ ที่ประกอบด้วยหลายคอลัมน์ แต่ละคอลัมน์ คือรีจิสเตอร์ค่าวัดต่างๆ เช่น profile generic ประเภท Load Profile เป็นชุดข้อมูลค่าวัดรายคาบ ประกอบด้วย พลังงานไฟฟ้าสะสม (export/import active energy, export/import reactive energy), ความต้องการไฟฟ้าเฉลี่ย (export/import active demand, export/import reactive demand), แรงดันไฟฟ้า (V1, V2, V3), และกระแสไฟฟ้า (I1, I2, I3) เป็นต้น แต่ละแถวเป็นข้อมูลค่าวัด ณ คาบเวลาที่ถูกบันทึก หรือ profile generic ประเภท Monthly TOU เป็นชุดข้อมูลค่าวัดสรุปรายเดือน ประกอบด้วย พลังงานไฟฟ้าสะสมแยกตามช่วงเวลา (export/import cumulative energy peak/off-peak/total rate) ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดแยกตามช่วงเวลา (maximum export/import active/reactive

demand peak/off-peak) และเวลาที่เกิดความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดนั้นๆ เป็นต้น แต่ละแถวเป็นข้อมูลของแต่ละเดือนนั่นเอง หรือเป็น profile generic ประเภท Event Log บันทึกเหตุการณ์ต่างๆที่เกิดขึ้นกับมิเตอร์

Profile generic		**0...n**	**class_id = 7, version = 1**			
Attributes		***Data type***	***Min.***	***Max.***	***Def.***	**Short name**
1. logical_name	(static)	octet-string				x
2. buffer	(dyn.)	compact-array or array				x + 0x08
3. capture_objects	(static)	array				x + 0x10
4. capture_period	(static)	double-long-unsigned				x + 0x18
5. sort_method	(static)	enum				x + 0x20
6. sort_object	(static)	capture_object_definition				x + 0x28
7. entries_in_use	(dyn.)	double-long-unsigned	0		0	x + 0x30
8. profile_entries	(static)	double-long-unsigned	1		1	x + 0x38
Specific methods		***m/o***				
1. reset (data)		o				x + 0x58
2. capture (data)		o				x + 0x60
3. *reserved from previous versions*		o				
4. *reserved from previous versions*		o				

รูปที่... แบบจำลองข้อมูล Profile Generic

คุณลักษณะที่สำคัญได้แก่

buffer : อ่านชุดข้อมูลค่าวัด หรือตารางที่เก็บข้อมูลค่าวัด

sort_method : อ่านและเขียน การเรียงลำดับข้อมูลใน buffer

entries_in_use : อ่านจำนวนข้อมูล หรือจำนวนแถวของข้อมูล ใน buffer

profile_entries : อ่านว่ามีค่าวัด หรือรีจิสเตอร์ใดๆ ที่ถูกบันทึกใน profile generic หรืออยู่ใน buffer บ้าง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.4.3 OBIS Code ที่เกี่ยวข้องสำหรับระบบซื้อขายไฟฟ้า

OBIS Code ใช้ในการอ้างอิงเพื่อเข้าถึงแบบจำลองข้อมูล COSEM เช่น ต้องการดูหรือตั้งเวลานาฬิกา (clock) ของมิเตอร์, ต้องการดูข้อมูลค่าวัดในรีจิสเตอร์ (register) ค่าวัดพลังงานไฟฟ้าสะสม หรือต้องการดูชุดข้อมูล (profile generic) ค่าวัดรายคาบ Load Profile เป็นต้น จะต้องอ้างอิงด้วย OBIS Code

OBID Code แบ่งออกเป็น 6 หลัก (group)

A	B	C	D	E	F

มีรูปแบบดังนี้ “A.B.C.D.E.F” สำหรับมิเตอร์ไฟฟ้า แต่ละหลักถูกเฉพาะเจาะจงดังนี้

หลัก A = 1 เฉพาะเจาะจงว่าเป็นค่าวัดทางไฟฟ้า หรือเป็นมิเตอร์ไฟฟ้า (Electricity)

หลัก B = 1 เป็นช่องทางที่ 1 (Channel 1)

หลัก C แทน ชนิดของตัวแปรค่าวัด

หลัก D แทน วิธีหรือกระบวนการสำหรับวัดค่าชนิดของตัวแปรค่าวัดจากหลัก C

หลัก E แทน การเฉพาะเจาะจง เช่น เฟส (phase), อัตราหรือช่วงพิกัด (tariff, rate)

หลัก F = 255 เป็นค่าปัจจุบัน

ตารางที่ 2 แสดง OBIS Code หลัก C สำหรับมิเตอร์ไฟฟ้า

Value group C codes – Electricity (A = 1)				
0	General purpose objects (See 7.5.5.1)			
ΣL_i	L_1	L_2	L_3	(See also Note 2)
1	21	41	61	Active power+ (QI+QIV)
2	22	42	62	Active power– (QII+QIII)
3	23	43	63	Reactive power+ (QI+QII)
4	24	44	64	Reactive power– (QIII+QIV)
5	25	45	65	Reactive power QI
6	26	46	66	Reactive power QII
7	27	47	67	Reactive power QIII
8	28	48	68	Reactive power QIV
9	29	49	69	Apparent power+ (QI+QIV) (See also Note 3)
10	30	50	70	Apparent power– (QII+QIII)
11	31	51	71	Current: any phase (C = 11) / L_i phase [a] (C= 31, 51, 71)
12	32	52	72	Voltage: any phase (C = 12) / L_i phase [a] (C= 32, 52, 72)
13	33	53	73	Power factor (See also Note 4)
14	34	54	74	Supply frequency
15	35	55	75	Active power (abs(QI+QIV)+(abs(QII+QIII)) [a]
16	36	56	76	Active power (abs(QI+QIV)-abs(QII+QIII))
17	37	58	77	Active power QI
18	38	58	78	Active power QII
19	39	59	79	Active power QIII
20	40	60	80	Active power QIV
81	Angles [b]			
82	Unitless quantity (pulses or pieces)			
83	Transformer and line loss quantities [c]			
84	ΣL_i Power factor– (See also Note 4)			
85	L_1 Power factor–			
86	L_2 Power factor–			
87	L_3 Power factor–			
88	ΣL_i Ampere-squared hours (QI+QII+QIII+QIV)			
89	ΣL_i Volt-squared hours (QI+QII+QIII+QIV)			

Value group C codes – Electricity (A = 1)	
90	ΣL_i current (algebraic sum of the – unsigned – value of the currents in all phases)
91	L_0 current (neutral) [a]
92	L_0 voltage (neutral) [a]
93	Consortia specific identifiers (See 7.3.4.2)
94	Country specific identifiers (See 7.3.4.3)
96	General and service entry objects – Electricity (See 7.5.5.1)
97	Error register objects – Electricity (See 7.5.5.2)
98	List objects – Electricity (See 7.5.5.3)
99	Data profile objects – Electricity (See 7.5.5.4)
100...127	Reserved
128...199, 240	Manufacturer specific codes
All other	Reserved

ตารางที่ 3 แสดง OBIS Code หลัก D สำหรับมิเตอร์ไฟฟ้า

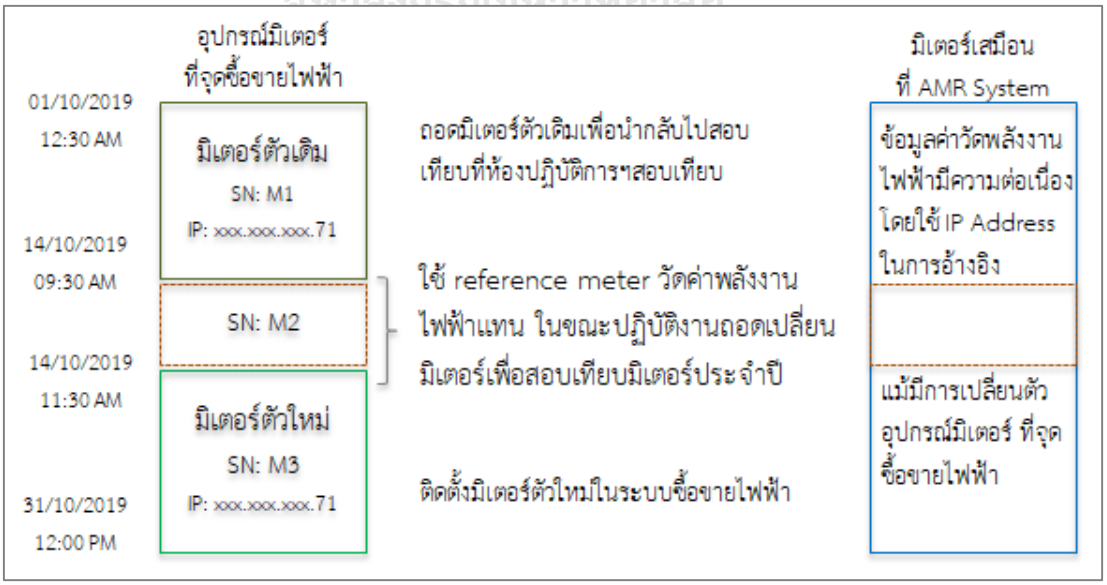
Value group D codes – Electricity (A = 1, C <> 0, 93, 94, 96, 97, 98, 99)			
0	Billing period average (since last reset)	**31**	Under limit threshold
1	Cumulative minimum 1	**32**	Under limit occurrence counter
2	Cumulative maximum 1	**33**	Under limit duration
3	Minimum 1	**34**	Under limit magnitude
4	Current average 1	**35**	Over limit threshold
5	Last average 1	**36**	Over limit occurrence counter
6	Maximum 1	**37**	Over limit duration
7	Instantaneous value	**38**	Over limit magnitude
8	Time integral 1		
9	Time integral 2	**39**	Missing threshold
10	Time integral 3	**40**	Missing occurrence counter
		41	Missing duration
11	Cumulative minimum 2	**42**	Missing magnitude
12	Cumulative maximum 2		
13	Minimum 2	**43**	Time threshold for under limit
14	Current average 2	**44**	Time threshold for over limit
15	Last average 2	**45**	Time threshold for missing magnitude
16	Maximum 2		
17	Time integral 7	**46**	Contracted value
18	Time integral 8		
19	Time integral 9	**51**	Minimum for recording interval 1
20	Time integral 10	**52**	Minimum for recording interval 2
21	Cumulative minimum 3	**53**	Maximum for recording interval 1
22	Cumulative maximum 3	**54**	Maximum for recording interval 2
23	Minimum 3	**55**	Test average
24	Current average 3	**56**	Current average 4 for harmonics measurement
25	Last average 3		
26	Maximum 3	**58**	Time integral 4
27	Current average 5		
28	Current average 6	**128...254**	Manufacturer specific codes
29	Time integral 5	**All other**	Reserved
30	Time integral 6		

ตารางที่ 4 แสดง OBIS Code หลัก E สำหรับมิเตอร์ไฟฟ้า

Value group E codes – Electricity – Tariff rates (A = 1)			
0	Total	**63**	Rate 63
1	Rate 1		
2	Rate 2	**128...254**	Manufacturer specific codes
3	Rate 3	**All other**	Reserved

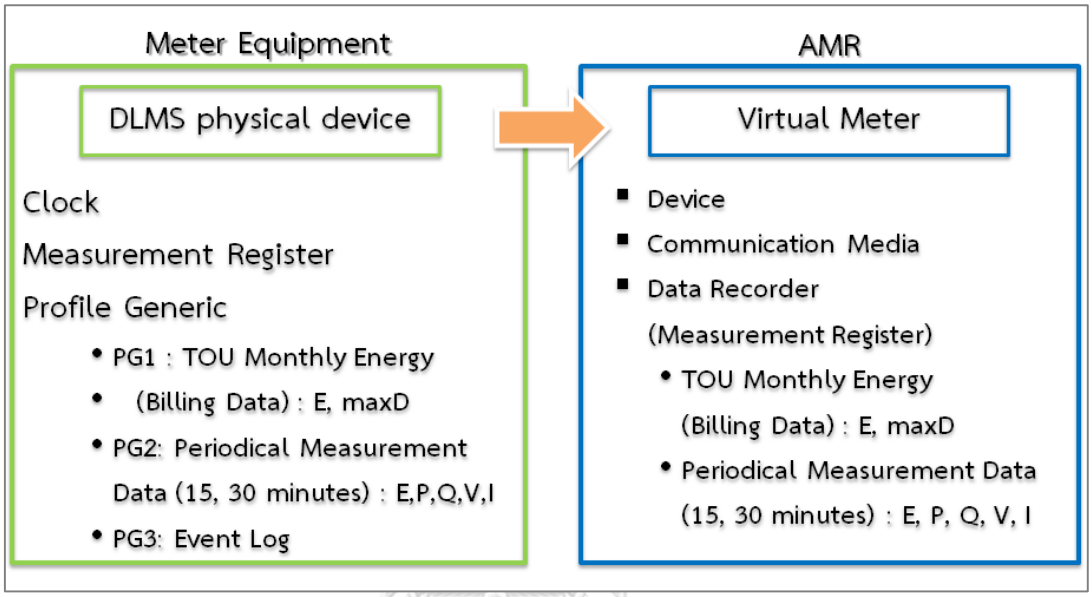
บทที่ 3
การออกแบบระบบอ่านมิเตอร์แบบอัตโนมัติด้วยโปรโตคอล DLMS/COSEM

การออกแบบระบบอ่านมิเตอร์แบบอัตโนมัติสำหรับ กฟผ. ต้องรองรับลักษณะการทำงานของหน่วยงาน โดยเฉพาะการสอบเทียบมิเตอร์ประจำปี เพื่อตรวจสอบว่ามิเตอร์ที่ถูกติดตั้งวัดค่าพลังงานไฟฟ้าที่จุดซื้อขายไฟฟ้าแต่ละจุดนั้นยังวัดค่าได้เที่ยงตรงตามมาตรฐานระบบซื้อขายไฟฟ้า (accuracy class 0.2s) โดยที่เจ้าหน้าที่จะนำมิเตอร์ที่ถูกสอบเทียบได้ตามมาตรฐานจากห้องปฏิบัติการสอบเทียบมาตรวัดพลังงานไฟฟ้าของ กฟผ. ไปเปลี่ยนแทนมิเตอร์เดิมที่ถูกติดตั้งวัดค่าพลังงานไฟฟ้า ณ. จุดซื้อขายไฟฟ้านั้น และนำมิเตอร์ตัวเดิมที่ถูกถอดออกมากลับไปสอบเทียบที่ห้องปฏิบัติการสอบเทียบมาตรวัดพลังงานไฟฟ้าของ กฟผ. โดยในระหว่างการปฏิบัติงานถอดและเปลี่ยนมิเตอร์นั้น จะใช้มิเตอร์อ้างอิง (reference meter) วัดค่าพลังงานไฟฟ้าแทนในช่วงขณะปฏิบัติงาน ซึ่งข้อมูลค่าวัดทางไฟฟ้าที่ให้บริการต้องมีความต่อเนื่อง แม้จะเป็นมิเตอร์ตัวใหม่แต่ข้อมูลค่าวัดทางไฟฟ้าเป็นของจุดซื้อขายไฟฟ้านั้นๆ เช่น เป็นจุดที่รับซื้อไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้า หรือเป็นจุดขายไฟฟ้าให้ กฟน., กฟภ. หรือลูกค้าตรงของ กฟผ. ดังนั้นการออกแบบระบบอ่านมิเตอร์แบบอัตโนมัติสำหรับ กฟผ. จึงต้องคำนึงถึงลักษณะการทำงานและความต้องการเรื่องความต่อเนื่องของข้อมูลเป็นหลัก จึงเป็นที่มาของแนวคิดมิเตอร์เสมือน หรือ Virtual Meter ซึ่งเป็นการจำลองมิเตอร์เสมือนขึ้นมาในระบบแทนจุดวัดหรือจุดซื้อขายไฟฟ้า โดยใช้ IP address ของ EGAT Operation WAN อ้างอิงถึงจุดซื้อขายไฟฟ้า แม้จะมีการหมุนเวียนเปลี่ยนอุปกรณ์มิเตอร์ แต่ก็ยังใช้ IP address ชุดเดิม ทำให้ข้อมูลค่าวัดทางไฟฟ้าของจุดซื้อขายไฟฟ้านั้นมีความต่อเนื่อง



รูปที่ 20 ลักษณะการทำงานและความต่อเนื่องของข้อมูลค่าวัดพลังงานไฟฟ้าที่ กฟผ. ต้องการ

มิเตอร์เสมือน (virtual meter) เป็นการจำลองอุปกรณ์มิเตอร์มาไว้ในระบบอ่านมิเตอร์แบบอัตโนมัติ ถูกออกแบบให้ประกอบด้วย ส่วนข้อมูลค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่เกี่ยวกับอุปกรณ์มิเตอร์ (Device), ส่วนข้อมูลระบบสื่อสารสำหรับใช้สื่อสารกับอุปกรณ์มิเตอร์ (Communication Media) และส่วนเก็บข้อมูลค่าวัดทางไฟฟ้า (Data Recorder) การจำลองมิเตอร์เสมือนกับอุปกรณ์มิเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 21



รูปที่ 21 การจำลองอุปกรณ์มิเตอร์เป็นมิเตอร์เสมือน

จากรูปที่ 20 และรูปที่ 21 เมื่อมีการเปลี่ยนอุปกรณ์มิเตอร์ที่จุดวัด ในระบบอ่านข้อมูลมิเตอร์แบบอัตโนมัติก็จะทำการเปลี่ยนเพียงค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวกับอุปกรณ์มิเตอร์ (Device) โดยที่ยังใช้ข้อมูลระบบสื่อสาร (Communication Media) หรือใช้ IP Address เดิม และอ้างอิงกับจุดซื้อขายไฟฟ้าด้วยมิเตอร์เสมือน (virtual meter) ชุดเดิม ทำให้ข้อมูลค่าวัดทางไฟฟ้าของจุดซื้อขายไฟฟ้าก็จะยังคงต่อเนื่อง แม้จะมีการเปลี่ยนอุปกรณ์มิเตอร์ สามารถตอบสนองตามความต้องการของ กฟผ.

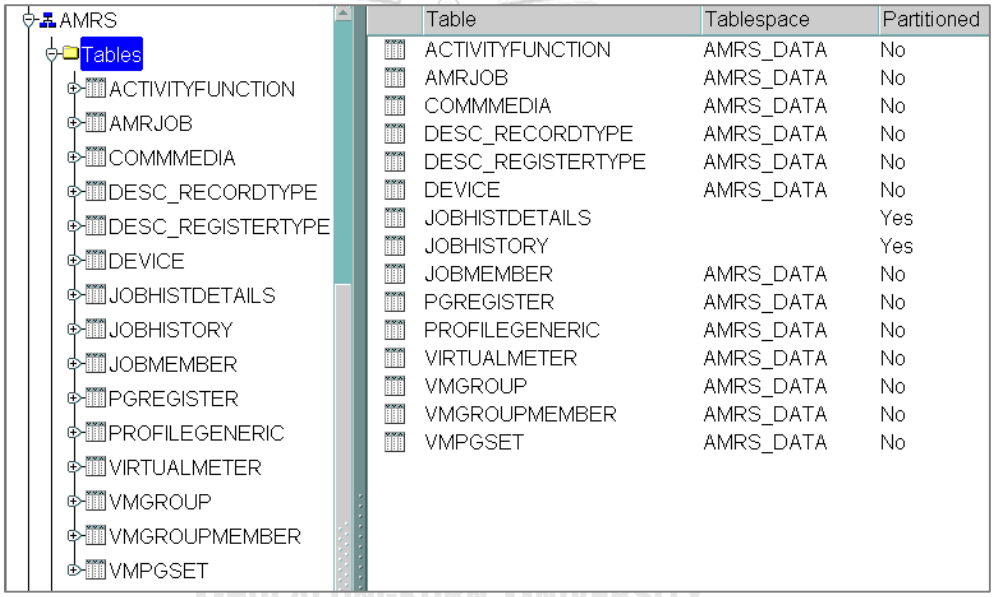
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.1 การออกแบบและสร้างฐานข้อมูลสำหรับเก็บข้อมูลมิเตอร์และข้อมูลค่าวัดทางไฟฟ้า

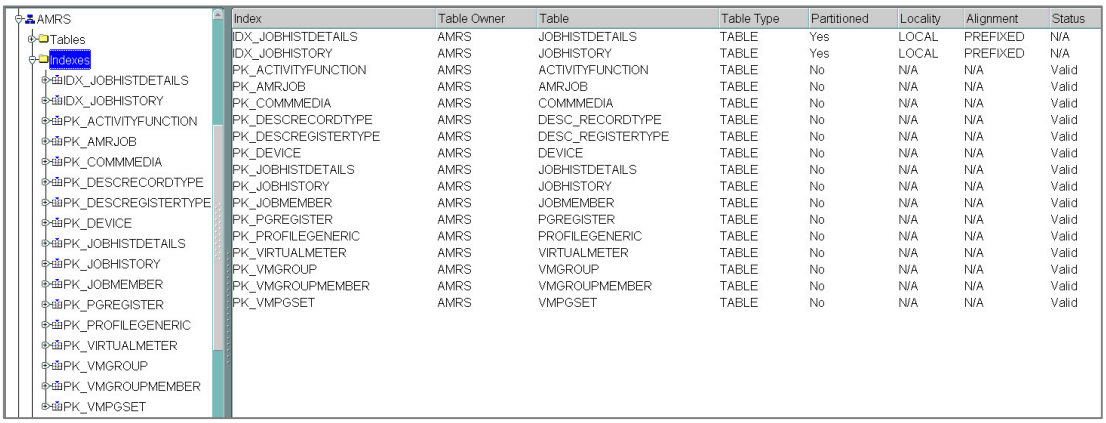
ซอฟต์แวร์ฐานข้อมูลของระบบอ่านมิเตอร์แบบอัตโนมัติใช้ Oracle Database (11g Release 2) เนื่องจาก กฟผ. มีการใช้งานอยู่ในองค์กรอยู่แล้ว ไม่ต้องจัดซื้อหรือจัดหาเพิ่ม สำหรับการออกแบบระบบฐานข้อมูลเป็นแบบ ระบบฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ (Relational Database) เก็บข้อมูลเป็นตาราง และเชื่อมโยงข้อมูลระหว่างตารางโดยใช้การอ้างอิงจากดัชนี (index) หรือข้อมูลในคอลัมน์ (column) ที่กำหนด โครงสร้างฐานข้อมูลของระบบอ่านมิเตอร์แบบอัตโนมัติถูกออกแบบให้ประกอบด้วย 2 โครงย่อย (schema) ซึ่งจะเก็บตารางข้อมูล (table) และดัชนี (index) สำหรับงานในลักษณะเดียวกัน

3.1.1 AMRS schema

เป็นโครงย่อยสำหรับเก็บข้อมูลมิเตอร์เสมือน (virtualmeter) สำหรับจุดวัดหรือจุดซื้อขายไฟฟ้า, พารามิเตอร์ที่เกี่ยวกับอุปกรณ์มิเตอร์ (device), ข้อมูลระบบสื่อสารสำหรับใช้ติดต่อมิเตอร์ (commedia), พารามิเตอร์สำหรับอ่านข้อมูลค่าวัดทางไฟฟ้า (profilegeneric, pgregister, vmpgset), งานอ่านข้อมูลจากมิเตอร์ (amrjob, jobmember, activityfunction) และกลุ่มของมิเตอร์เสมือน (vmgroup, vmgroupmember) สำหรับระบบอ่านมิเตอร์ที่จะทำงานเรียกข้อมูลแบบอัตโนมัติ รวมทั้งตารางเก็บประวัติการทำงานการเรียกข้อมูลกับกลุ่มมิเตอร์ (jobhistory, jobhistdetails) ตารางเก็บข้อมูลและดัชนีของ AMRS schema ดังแสดงในรูปที่ 22 (a) และ 22 (b) ตามลำดับ



(a)



(b)

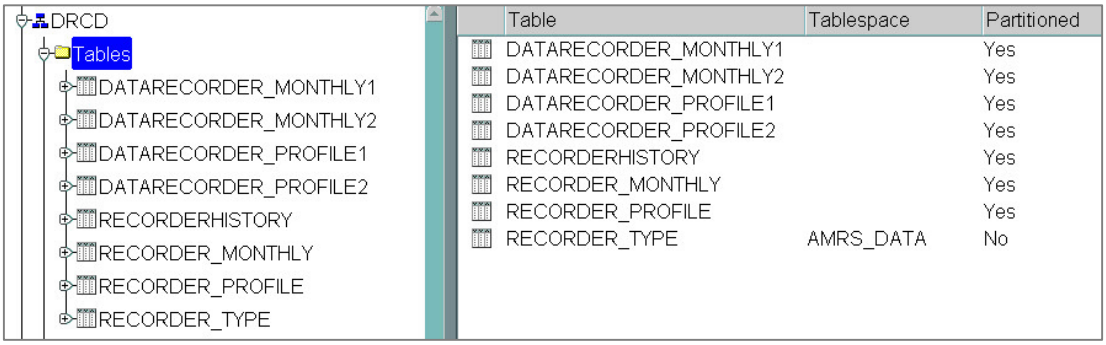
รูปที่ 22 ตารางข้อมูลและดัชนี ของ schema AMRS

3.1.2 DRCD schema

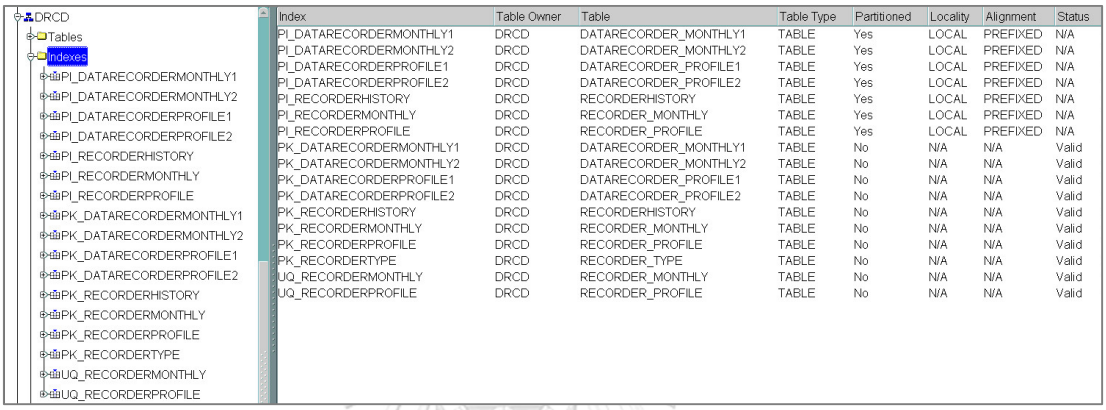
เป็นโครงย่อยสำหรับเก็บข้อมูลค่าวัดทางไฟฟ้าที่อ่านได้จากมิเตอร์ ข้อมูลค่าวัดทางไฟฟ้าที่ต้องการใช้งาน แบ่งออกเป็น 2 ชุด ได้แก่

1. Profile generic: Load Profile เป็นชุดข้อมูลค่าวัดทางไฟฟ้ารายคาบ (periodical measurement) 1, 5, 15, หรือ 30 นาที ซึ่งที่ใช้สำหรับงานสัญญาขายไฟฟ้ากับลูกค้าตรง กฟผ. ใช้ข้อมูลค่าวัดรายคาบ 15 นาที ได้แก่ ค่าพลังงานไฟฟ้าสะสม (export/import cumulative active energy และ export/ import cumulative reactive energy) ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (export/import average active power และ export/import average reactive power) ค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยด้านทุติยภูมิและค่ากระแสเฉลี่ยด้านทุติยภูมิ ทั้ง 3 เฟส
2. Profile generic: Monthly TOU (time of use tariff rate) เป็นชุดข้อมูลค่าวัดทางไฟฟ้าสรุปรวมรายเดือน ได้แก่ การใช้พลังงานไฟฟ้าสะสมแยกตามช่วงเวลา (export/import monthly active energy tariff rate) และความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดแยกตามช่วงเวลา (export/import maximum active demand และ export/import maximum reactive demand)

ตารางเก็บข้อมูลของ DRCD schema จะเป็นตารางรูปแบบพาร์ทิชัน (partition table) ซึ่งตารางแบบพาร์ทิชันนี้จะเหมาะกับการเก็บข้อมูลที่มีปริมาณมากๆ โดยที่ทั้งข้อมูลที่มีการใช้งานบ่อย เช่นในรอบเดือน หรือปีปัจจุบัน และข้อมูลที่มีการใช้งานน้อยถึงน้อยมาก เช่น ข้อมูลปีเก่าที่ผ่านมา เพื่อให้การเข้าถึงโดยเฉพาะการอ่าน (SQL select query) ทำการค้นหาข้อมูลที่ต้องการได้อย่างรวดเร็ว จะให้ดัชนีค้นหาทำการค้นหาข้อมูลที่ต้องการในพาร์ทิชันที่มีการใช้งานบ่อย ส่วนพาร์ทิชันที่ถูกใช้งานน้อยแต่ยังต้องเก็บข้อมูลไว้ก็ยังสามารถเข้าถึงได้โดยอ้างอิงด้วยดัชนีสำหรับพาร์ทิชันนั้นๆ ส่วนข้อมูลค่าวัดที่เก่าเกินกว่า 5 ปีปฏิทินก็จะสามารถทำการสำรองข้อมูล (backup) พาร์ทิชันนั้นเก็บไว้สำหรับการเรียกใช้เมื่อต้องการดูข้อมูล และลบพาร์ทิชันนั้นออกจากฐานข้อมูล เพื่อไม่ให้ฐานข้อมูลใหญ่เกินไป และทำให้ฐานข้อมูลมีประสิทธิภาพ ตารางเก็บข้อมูลและดัชนีของ DRCD schema ดังแสดงในรูปที่ 23 (a) และ 23 (b) ตามลำดับ



(a)



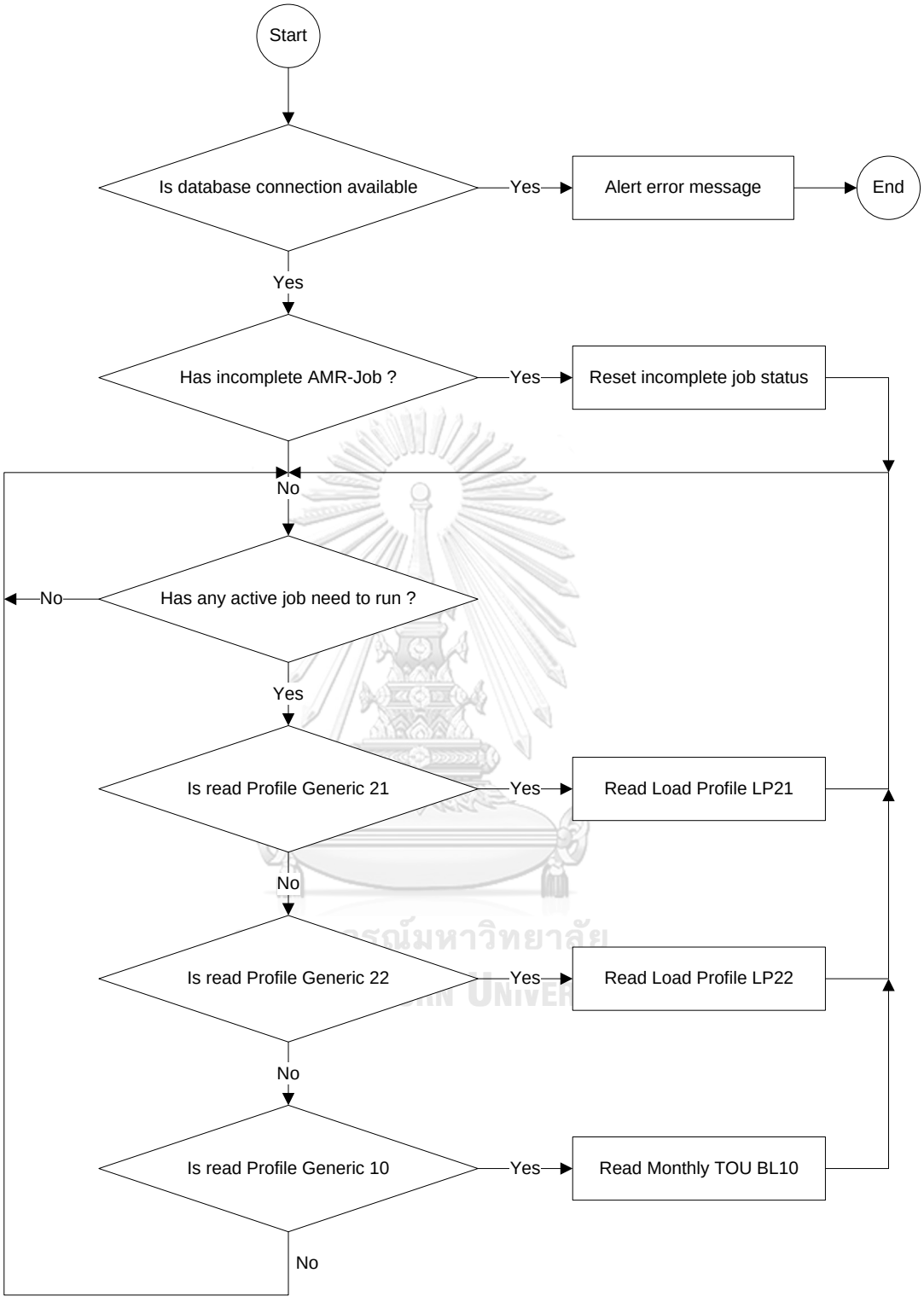
(b)

รูปที่ 23 ตารางข้อมูลและดัชนี ของ schema AMRS

3.2 การออกแบบโปรแกรมส่วนการทำงานหลักสำหรับระบบอ่านข้อมูลมิเตอร์แบบอัตโนมัติ

การพัฒนาโปรแกรมอ่านข้อมูลจากมิเตอร์ใช้ซอฟต์แวร์ Microsoft visual studio 2010 โดยใช้ภาษา C# (programing language) พัฒนาเป็นแบบ windows forms application แต่จะทำงานแบบประมวลผลเบื้องหลัง (background process)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 24 ขั้นตอนการทำงานหลัก (Main Task) ของ AMR System

การทำงานหลัก (Main Task) ของระบบอ่านมิเตอร์แบบอัตโนมัติ (ระบบฯ) โดยมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

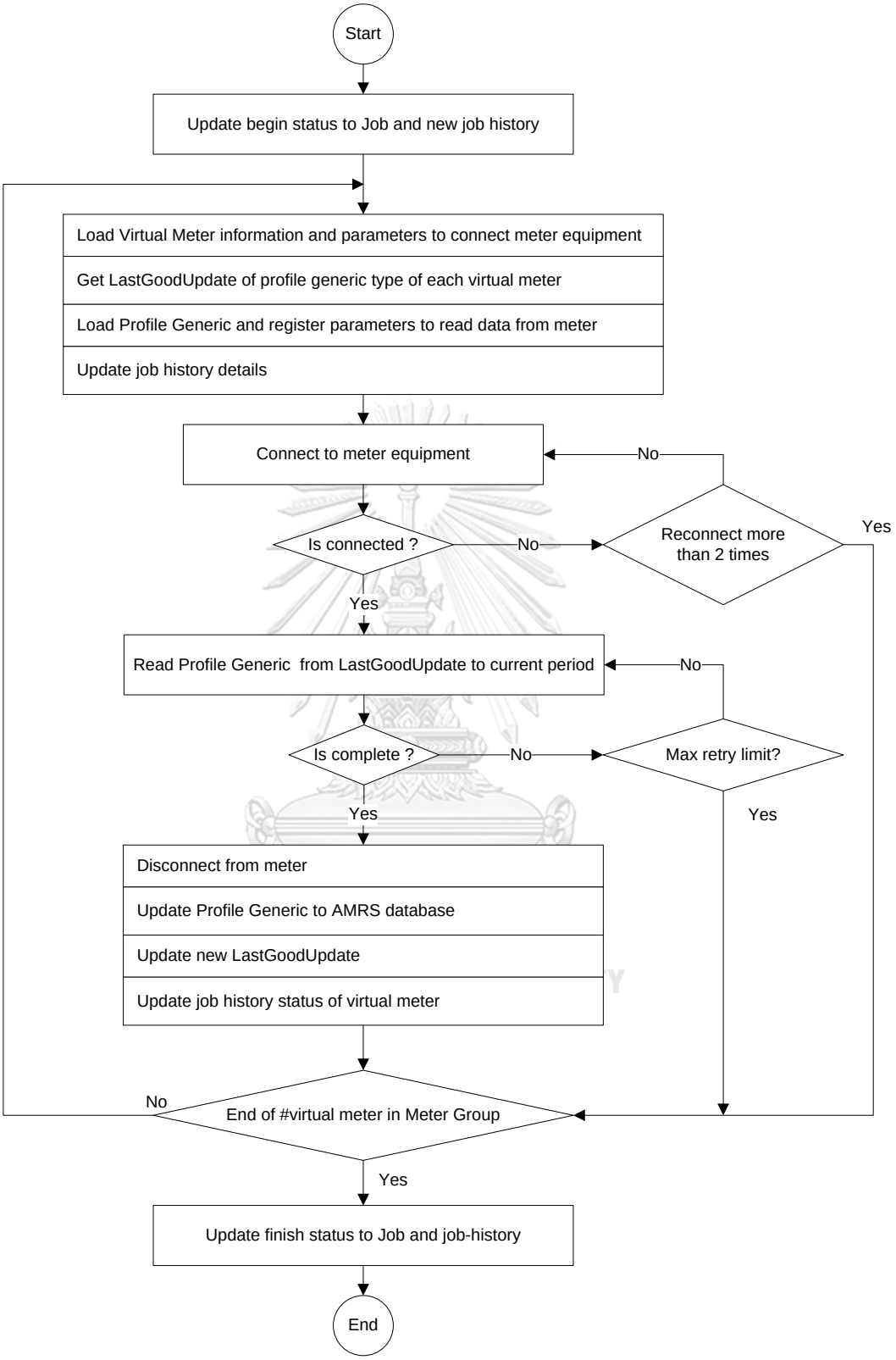
1. ระบบฯจะตรวจสอบการเชื่อมต่อกับฐานข้อมูลก่อนทุกครั้ง หากเชื่อมต่อกับฐานข้อมูลไม่ได้จะส่งข้อความเตือนผู้ใช้งานหรือผู้ดูแลระบบฯให้ตรวจสอบความผิดปกติทันที และจะหยุดการทำงานต่างๆทันที เมื่อผู้ดูแลระบบฯได้ตรวจสอบและแก้ไขเรียบร้อยแล้วจะต้องเริ่มการทำงานของระบบฯใหม่
2. ระบบฯจะตรวจสอบว่ามีงานค้างที่ยังทำไม่สำเร็จหรือไม่ อันเนื่องมาจากการปิดระบบฯ หรือคอมพิวเตอร์เซิฟร์เวอร์โดยทันทีไม่รอให้งานต่างๆทำจนเสร็จก่อน หากพบก็จะดำเนินการตั้งค่าสถานะของงานที่ยังค้างให้อยู่ ให้พร้อมสำหรับการทำงานในคาบต่อไป หรือเวลาที่ต้องทำงานในรอบต่อไป
3. ระบบฯทำการตรวจสอบว่ามีงาน (job) ที่ต้องการการทำงาน ณ คาบเวลานี้บ้าง หรือมีงานใดที่ควรทำงานให้แล้วเสร็จในคาบเวลาที่ผ่านมาแต่ยังไม่ได้มีการถูกเรียกให้ทำงานบ้าง
4. หากงานที่ต้องการทำงานเป็นงานประเภทเรียกข้อมูล profile generic ประเภท LP21 หรือการเรียกชุดข้อมูลค่าวัดทางไฟฟ้ารายคาบ 15 นาที ให้เรียกฟังก์ชันสำหรับเรียกข้อมูล profile generic ประเภท LP21 จากมิเตอร์ให้ทำงาน
5. หากงานที่ต้องการทำงานเป็นงานประเภทเรียกข้อมูล profile generic ประเภท LP22 หรือการเรียกชุดข้อมูลค่าวัดทางไฟฟ้ารายคาบ 30 นาที ให้เรียกฟังก์ชันสำหรับเรียกข้อมูล profile generic ประเภท LP22 จากมิเตอร์ให้ทำงาน
6. หากงานที่ต้องการทำงานเป็นงานประเภทเรียกข้อมูล profile generic ประเภท BL10 หรือการเรียกชุดข้อมูลค่าวัดทางไฟฟ้าสรุปรวมรายเดือน (การใช้พลังงานไฟฟ้าสะสมแยกตามช่วงเวลาและความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดแยกตามช่วงเวลา) ให้เรียกฟังก์ชันสำหรับเรียกข้อมูล profile generic ประเภท BL10 จากมิเตอร์ให้ทำงาน
7. เมื่อทำงานเสร็จแล้วจะกลับไปยังขั้นตอนที่ 3 เพื่อตรวจสอบงานที่ต้องการทำงานในคาบเวลาถัดไป วนซ้ำไปเรื่อยๆ

3.3 การออกแบบโปรแกรมส่วนการอ่านชุดข้อมูลค่าวัดทางไฟฟ้าจากมิเตอร์

การทำงานหลักของระบบอ่านข้อมูลมิเตอร์แบบอัตโนมัติคือการอ่านข้อมูลค่าวัดทางไฟฟ้าจากมิเตอร์ที่ถูกติดตั้งเพื่อวัดค่าพลังงานไฟฟ้าที่จุดซื้อขายไฟฟ้าที่ต่างๆ ผ่าน EGAT Operation WAN ตามเวลาที่ถูกกำหนดไว้ เมื่ออ่านข้อมูลจากมิเตอร์สำเร็จจะบันทึกข้อมูลค่าวัดที่อ่านได้ลงฐานข้อมูลในตารางข้อมูลแต่ละประเภท โดยการอ่านข้อมูลค่าวัดทางไฟฟ้าแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ

1. การอ่านข้อมูลค่าวัดทางไฟฟ้ารายคาบ (profile generic: Load Profile) โดยจะเป็นการอ่านชุดข้อมูลจากมิเตอร์ทุกๆ 15 หรือ 30 นาที โดยข้อมูลประกอบด้วย ค่าพลังงานไฟฟ้าสะสมรายคาบ (EA+, EA-, ER+, ER-), ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยรายคาบ (DA+, DA- DR+, DR-) ค่าแรงดันและกระแส ทั้ง 3 เฟสเฉลี่ยรายคาบ (V1, V2, V3, I1, I2, I3)
2. การอ่านข้อมูลพลังงานไฟฟ้าสรุปรวมรายเดือน (profile generic: Monthly TOU) โดยเป็นการอ่านชุดข้อมูลค่าพลังงานไฟฟ้าสะสมแยกตามช่วงเวลา (EA+T0, EA+T1, EA+T2, EA-T0, EA-T1, EA-T2) และความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดแยกตามช่วงเวลา (xDA+T1, xDA+T2, xDA-T1, xDA-T2, xDR+T1, xDR+T2, xDR-T1, xDR-T2) จากมิเตอร์ ณ เวลา 00:00:01 น. ทุกวันที่ 1 ของเดือน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 25 ขั้นตอนการอ่านชุดข้อมูลค่าวัดทางไฟฟ้าจากมิเตอร์

การอ่านข้อมูลค่าวัดทางไฟฟ้าจากมิเตอร์ (read measurement data) ของระบบอ่านมิเตอร์แบบอัตโนมัติ (ระบบฯ) โดยมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

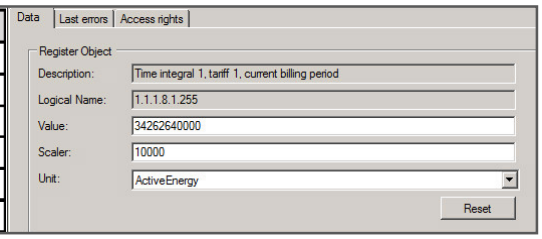
1. เมื่อโปรแกรมถูกเรียกให้ทำงานจะเปลี่ยนสถานะของงาน (Job) ที่ถูกเรียกให้เป็นเริ่มต้นทำงาน เพื่อป้องกันไม่ให้ถูกเรียกให้ทำงานซ้ำในระหว่างที่ยังทำงานไม่เสร็จ และบันทึกประวัติการทำงาน (job-history) ก่อนการทำงานทุกครั้ง
2. เรียกดูค่าพารามิเตอร์ต่างๆของมิเตอร์เสมือนเฉพาะในกลุ่มที่ต้องการอ่านข้อมูล โดยในโปรแกรมนี้จะเรียงลำดับตามมิเตอร์หลัก (main meter) ทั้งหมดก่อนค่อยเรียงลำดับตามมิเตอร์สำรอง (backup meter) โดยค่าพารามิเตอร์ที่จำเป็นต้องใช้ในการติดต่อสื่อสารกับอุปกรณ์มิเตอร์ ได้แก่ รหัสอ้างอิงที่อยู่ทางกายภาพ (physical device address), รหัสอ้างอิงที่อยู่เชิงตรรกะ (logical device address), รหัสอ้างอิงของลูกข่าย (client address), ระดับความปลอดภัยและการยืนยันตัวตน (authentication security level) รวมถึงรหัสเพื่อเข้าถึงมิเตอร์ (password) เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีข้อมูลของระบบสื่อสาร ได้แก่ IP address และพอร์ตสื่อสารของ DLMS (DLMS over TCP port)
3. เรียกดูคาบเวลาสุดท้ายที่สามารถอ่านชุดข้อมูลค่าวัดประเภทที่ต้องการอ่านข้อมูล (profile generic) จากมิเตอร์และบันทึกข้อมูลลงฐานข้อมูลได้สำเร็จ
4. เรียกดูพารามิเตอร์ของชุดข้อมูล (profile generic registers) สำหรับแปลงข้อมูลค่าวัดที่อ่านได้ให้มีค่าและหน่วยที่ถูกต้อง และพารามิเตอร์สำหรับแปลงข้อมูลค่าวัดให้ได้ค่าและหน่วยถูกต้องตรงกับที่ต้องการใช้งานบนฐานข้อมูล
5. บันทึกรายละเอียดของงานเรียกข้อมูลของแต่ละมิเตอร์เสมือน
6. เชื่อมต่อไปยังมิเตอร์ หากเชื่อมต่อไม่ได้จะให้ทำการเชื่อมต่อไปยังมิเตอร์ซ้ำ ถ้ายังเชื่อมต่อไปยังมิเตอร์ไม่ได้ ให้ไปทำงานที่มิเตอร์เสมือนตัวถัดไปในกลุ่มตามลำดับ
7. อ่านชุดข้อมูลค่าวัดที่ต้องการ (profile generic) จากมิเตอร์ โดยช่วงของข้อมูลที่อ่านเริ่มจาก คาบสุดท้ายที่สามารถอ่านและบันทึกได้ (ตามข้อ 3) จนถึงคาบปัจจุบัน ขึ้นอยู่กับว่าเป็นชุดข้อมูลประเภทใด เช่น 15 นาที, 30 นาที หรือ รายเดือน ถ้าอ่านชุดข้อมูลค่าวัดจากมิเตอร์ไม่ได้ ให้อ่านซ้ำจนถึงครั้งที่กำหนด ถ้ายังอ่านข้อมูลจากมิเตอร์ไม่ได้ ให้ไปทำงานที่มิเตอร์เสมือนตัวถัดไปในกลุ่มตามลำดับ
8. หยุดการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์มิเตอร์
9. บันทึกชุดข้อมูลค่าวัดลงในฐานข้อมูลตามประเภทข้อมูลค่าวัดทางไฟฟ้านั้นๆ
10. บันทึกคาบเวลาสุดท้ายของมิเตอร์เสมือนนี้ใหม่ เป็นคาบเวลาตามที่สามารถอ่านและบันทึกชุดข้อมูลค่าวัดนี้ลงฐานข้อมูลได้สำเร็จ

11. หากยังอ่านข้อมูลจากมิเตอร์ไม่ครบตามจำนวนมิเตอร์ในกลุ่มมิเตอร์เสมือนที่ต้องการ ให้วนกลับไปทำซ้ำตามขั้นตอนที่ 2 ถึงขั้นตอนที่ 10 หากทำงานอ่านข้อมูลจากมิเตอร์ครบทุกตัวในกลุ่มแล้วให้ไปยังขั้นตอนที่ 12
12. บันทึกสถานะและรายละเอียดการทำงาน (job-history) และเปลี่ยนสถานะของงาน (Job) ให้เป็นทำงานเสร็จแล้ว เพื่อให้พร้อมสามารถเรียกให้ทำงานเมื่อถึงคาบเวลาถัดไป

3.4 การบริหารจัดการข้อมูลสำหรับระบบอ่านข้อมูลแบบอัตมัติ

นอกจากโปรแกรมส่วนการทำงานหลัก (main task) และโปรแกรมส่วนอ่านชุดข้อมูลจากมิเตอร์แล้ว ระบบอ่านข้อมูลมิเตอร์แบบอัตโนมัติยังต้องมีการบริหารจัดการข้อมูลต่างๆ ได้แก่ การจัดการข้อมูลมิเตอร์เสมือน เพื่อให้อ้างอิงกับจุดซื้อขายไฟฟ้าและอุปกรณ์มิเตอร์ได้อย่างถูกต้อง, การจัดกลุ่มมิเตอร์เสมือนสำหรับงานอ่านข้อมูลจากมิเตอร์ เพื่อสามารถเฉพาะเจาะจงกลุมมิเตอร์ที่ต้องการเท่านั้น หรือสามารถเรียงลำดับการอ่านมิเตอร์เสมือนที่มีความสำคัญก่อน เช่น อ่านข้อมูลจากกลุ่มมิเตอร์หลัก (main meter) ก่อนมิเตอร์สำรอง (backup meter), และการจัดการข้อมูลสำหรับระบบฯที่สำคัญได้แก่ การจัดการชุดข้อมูลค่าวัดทางไฟฟ้า (profile generic) และพารามิเตอร์สำหรับแต่ละ register ของข้อมูลค่าวัดทางไฟฟ้าแต่ละชนิด เพื่อให้ข้อมูลค่าวัดที่อ่านมาได้มีความถูกต้องทั้งค่า (value) และหน่วย (unit) ยกตัวอย่างเช่น ชุดข้อมูลค่าวัดทางไฟฟ้ารายคาบ (profile generic: Load Profile) ของมิเตอร์รุ่นหนึ่ง ประกอบด้วย ค่าวัดต่างๆได้แก่ ดังนี้ ค่าพลังงานไฟฟ้าสะสมรายคาบ (EA+, EA-, ER+, ER-), ค่าความต้องการไฟฟ้ารายคาบ (DA+, DA-, DR+, DR-), ค่าแรงดันและค่ากระแสด้านทุติยภูมิทั้ง 3 เฟส (V1, V2, V3, I1, I2, I3) โดยที่ค่าวัดทางไฟฟ้าที่อ่านได้จากมิเตอร์จะต้องคูณกับตัวคูณ (scaler) ที่อ่านได้จากตัวแปรคุณลักษณะ (attribute) ตามแบบจำลองข้อมูล COSEM จึงจะได้ค่าที่ถูกต้องตรงกับหน่วย (unit) เมื่ออ่านได้ค่าและหน่วยที่ถูกต้องแล้วก่อนที่จะบันทึกลงฐานข้อมูลจะแปลงข้อมูลค่าวัดให้มีค่าตรงตามหน่วยที่ต้องการเช่น kW หรือ kvar สำหรับความต้องการกำลังไฟฟ้าเฉลี่ย, kWh หรือ kvarh สำหรับพลังงานไฟฟ้าสะสม, V สำหรับแรงดัน และ A สำหรับกระแส

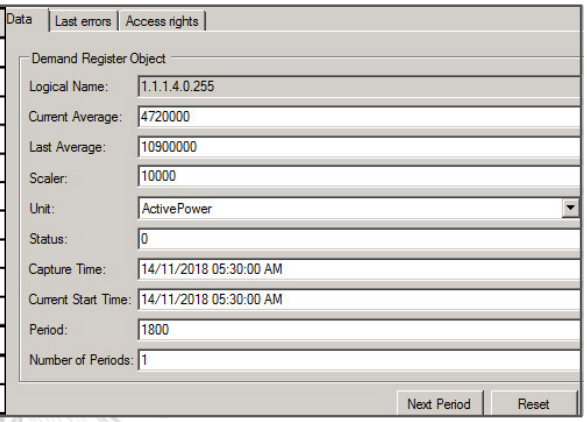
Register		0...n
Attributes		***Data type***
1. logical_name	(static)	octet-string
2. value	(dyn.)	CHOICE
3. scaler_unit	(static)	scal_unit_type
Specific methods		**m/o**
1. reset (data)		o



รูปที่ 26 ตัวอย่างข้อมูลพลังงานไฟฟ้าสะสมตามแบบจำลองข้อมูลและอ่านได้จากมิเตอร์

จากรูปที่ 26 แสดงตัวอย่างเมื่ออ่านข้อมูลค่าวัดพลังงานไฟฟ้าสะสม (active energy export : EA+) จากมิเตอร์จะได้ค่า 3,426,264 ต้องนำข้อมูลนี้ไปคูณกับตัวคูณ 10000 จึงจะได้ค่าพลังงานไฟฟ้าสะสมที่ถูกต้องตรงตามหน่วยซึ่งมีค่าเท่ากับ 34,262,640,000 Wh หรือเท่ากับ 34,262,640 kWh ซึ่งเป็นหน่วยที่ต้องการเก็บลงฐานข้อมูล

Demand register		**0...n**
Attributes		***Data type***
1. logical_name	(static)	octet-string
2. current_average_value	(dyn.)	CHOICE
3. last_average_value	(dyn.)	CHOICE
4. scaler_unit	(static)	scal_unit_type
5. status	(dyn.)	CHOICE
6. capture_time	(dyn.)	octet-string
7. start_time_current	(dyn.)	octet-string
8. period	(static)	double-long-unsigned
9. number_of_periods	(static)	long-unsigned
Specific methods		***m/o***
1. reset (data)		o
2. next_period (data)		o



รูปที่ 27 ตัวอย่างข้อมูลความต้องการกำลังไฟฟ้าตามแบบจำลองข้อมูลและอ่านได้จากมิเตอร์

จากรูปที่ 27 แสดงตัวอย่างเมื่ออ่านข้อมูลค่าวัดความต้องการกำลังไฟฟ้ารายคาบ (active demand : DA+) จะได้ค่า 1,090 ต้องนำข้อมูลนี้ไปคูณกับตัวคูณ 10000 จึงจะได้ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้ารายคาบที่ถูกต้องตรงตามหน่วยซึ่งมีค่าเท่ากับ 10,900,000 W หรือเท่ากับ 10,900 kW ซึ่งเป็นหน่วยที่ต้องการเก็บลงฐานข้อมูล

ในฐานข้อมูลของระบบอ่านข้อมูลจากมิเตอร์แบบอัตโนมัติของ กฟผ. นี้จะเก็บบันทึกทั้งข้อมูลค่าวัดด้วยหน่วยที่อ่านได้จากมิเตอร์ (raw unit: Wh, varh, V, A, W, var) โดยที่หน่วยจะเป็นไปตามมาตรฐานของแบบจำลองข้อมูล COSEM เพื่อให้สามารถตรวจสอบค่าวัดจริงที่อ่านได้จากมิเตอร์และเก็บบันทึกข้อมูลค่าวัดด้วยหน่วยที่ให้บริการ (norm unit: kWh, kvarh, V, A, kW, kvar) หรือให้คำมั่นรับรองกับลูกค้าไว้ เพื่อใช้สำหรับเป็นข้อมูลเพื่อภารกิจซื้อขายไฟฟ้าโดยเฉพาะ ซึ่งอาจจะมีการปรับปรุงข้อมูลสำหรับการซื้อขายไฟฟ้าตามข้อกำหนดของสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแต่ละฉบับ ดังนั้นเมื่ออ่านข้อมูลค่าวัดได้จากมิเตอร์จะต้องคูณกับตัวคูณตามตัวแปรคุณลักษณะเพื่อให้ได้ค่าวัดและหน่วยที่ถูกต้องตามที่บันทึกไว้ในตัวมิเตอร์ และคูณกับตัวคูณในฐานข้อมูลของแต่ละมิเตอร์เสมือนและแต่ละพารามิเตอร์ค่าวัด เพื่อให้ได้ค่าวัดและหน่วยที่ถูกต้องตรงกับที่จะให้บริการในระบบอ่านข้อมูลจากมิเตอร์แบบอัตโนมัติของ กฟผ. สามารถแสดงเป็นสมการได้ดังนี้

[Raw value] = [DLMS value] x [Raw scaler] (Raw unit)

[Norm value] = [Raw value] x [Norm multiplier] (Norm unit)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 28 แสดงตัวอย่างตัวคูณและหน่วยของพารามิเตอร์ชุดข้อมูลค่าวัดทางไฟฟ้ารายคาบของมิเตอร์รุ่นหนึ่ง และรูปที่ 29 แสดงตัวอย่างตัวคูณและหน่วยของพารามิเตอร์ชุดข้อมูลค่าวัดสรุปรายเดือนของมิเตอร์รุ่นหนึ่ง ค่าวัด ในคอลัมน์ RAW_SCALER คือตัวคูณที่ต้องนำไปคูณแต่ละค่าที่อ่านได้จากมิเตอร์เพื่อให้ได้ ค่าดิบ (raw value) และหน่วยตามคอลัมน์ RAW_UNIT ซึ่งจะตรงกับค่าวัดที่บันทึกในตัวมิเตอร์ จึงจะบันทึกข้อมูลค่าดิบนี้ลงในคอลัมน์ RAW_VALUE จากนั้นจึงจะนำตัวคูณในคอลัมน์ NORM_MULTIPLIER คูณค่าดิบที่ได้ของแต่ละพารามิเตอร์จึงจะได้ค่าแบบแผน (norm value) ที่มีหน่วยถูกต้องตรงกับที่จะให้บริการ แล้วจึงจะบันทึกข้อมูลค่าแบบแผนนี้ลงในคอลัมน์ NORM_VALUE ของตารางเก็บข้อมูลค่าวัดใน DRCD schema

					Raw			Norm		
REGISTERNUMBER	PMCODE	PMTEXT	REGISTER_SN	REGISTER_LN	RAW_RECORDTYPE	RAW_SCALER	RAW_UNIT	NORM_RECORDTYPE	NORM_MULTIPLIER	NORM_UNIT
1	2110	EA+	7392	1.1.1.8.0.255	1	10000	Wh	1	.001	kWh
2	2120	EA-	7576	1.2.1.8.0.255	1	10000	Wh	1	.001	kWh
3	2210	ER+	7744	1.3.1.8.0.255	1	10000	varh	1	.001	kvarh
4	2220	ER-	7928	1.4.1.8.0.255	1	10000	varh	1	.001	kvarh
5	2501	V1	19352	1.1.32.5.0.255	0	.1	V	0	1	V
6	2502	V2	19496	1.1.52.5.0.255	0	.1	V	0	1	V
7	2503	V3	19640	1.1.72.5.0.255	0	.1	V	0	1	V
8	2601	I1	19784	1.1.31.5.0.255	0	.001	A	0	1	A
9	2602	I2	21056	1.1.51.5.0.255	0	.001	A	0	1	A
10	2603	I3	21200	1.1.71.5.0.255	0	.001	A	0	1	A
11	2310	DA+	42486	1.1.1.5.0.255	0	10000	W	0	.001	kW
12	2320	DA-	42608	1.2.1.5.0.255	0	10000	W	0	.001	kW
13	2410	DR+	42760	1.3.1.5.0.255	0	10000	var	0	.001	kvar
14	2420	DR-	42912	1.4.1.5.0.255	0	10000	var	0	.001	kvar

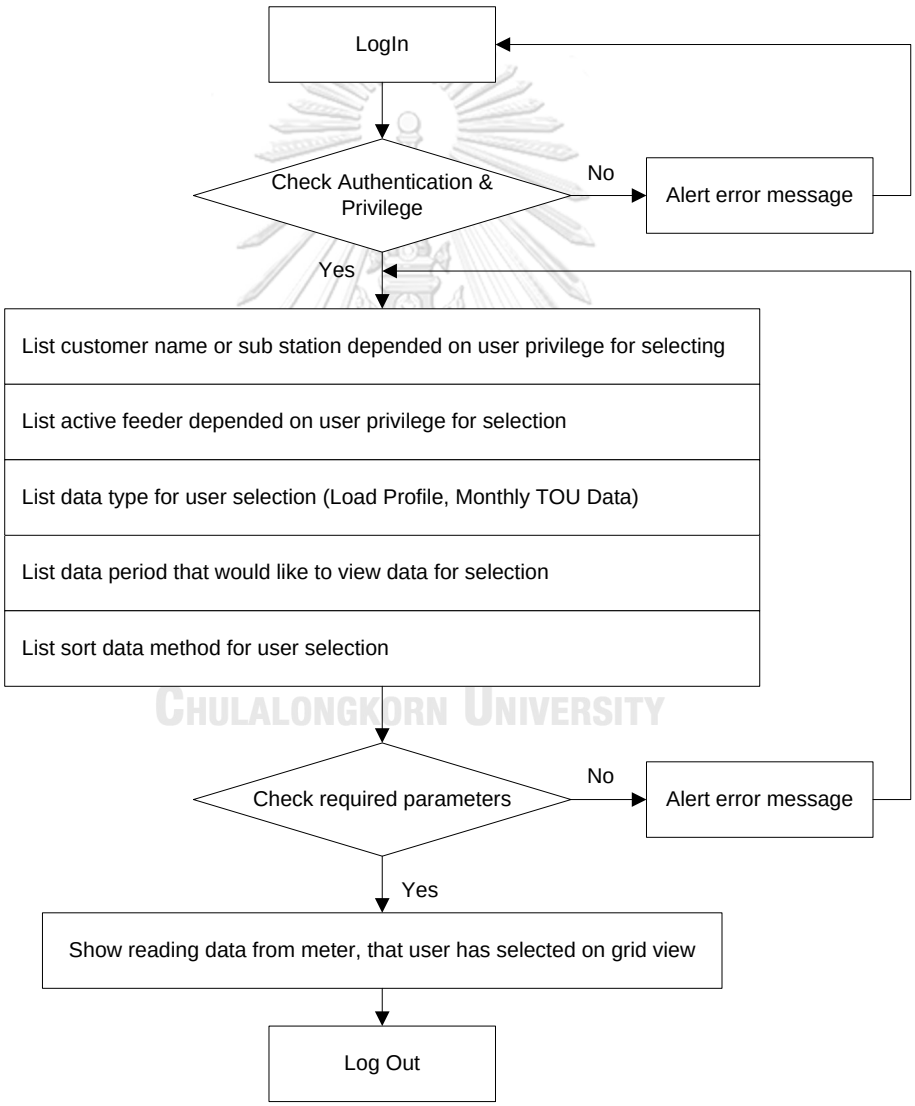
รูปที่ 28 ตัวอย่างตัวคูณและหน่วยของพารามิเตอร์ชุดข้อมูลค่าวัดรายคาบ

						Raw			Norm		
REGI...	PMCODE	PMTEXT	DLMS_RE...	DLMS_SHORTNAME	DLMS_LOGICALNAME	RAW_RECORDTYPE	RAW_SCALER	RAW_UNIT	NORM_RECORDTYPE	NORM_MULTIPLIER	NORM_UNIT
1	1110	EA+T0	2	7392	1.1.1.8.0.255	1	10000	Wh	1	.001	kWh
2	1111	EA+T1	2	352	1.1.1.8.1.255	1	10000	Wh	1	.001	kWh
3	1112	EA+T2	2	528	1.1.1.8.2.255	1	10000	Wh	1	.001	kWh
4	1120	EA-T0	2	7576	1.1.2.8.0.255	1	10000	Wh	1	.001	kWh
5	1121	EA-T1	2	704	1.1.2.8.1.255	1	10000	Wh	1	.001	kWh
6	1122	EA-T2	2	880	1.1.2.8.2.255	1	10000	Wh	1	.001	kWh
7	3311	XDA+T1	4	41368	1.1.1.6.1.255	0	10000	W	0	.001	kW
8	3312	XDA+T2	4	41504	1.1.1.6.2.255	0	10000	W	0	.001	kW
9	3321	XDA-T1	4	41640	1.1.2.6.1.255	0	10000	W	0	.001	kW
10	3322	XDA-T2	4	41776	1.1.2.6.2.255	0	10000	W	0	.001	kW
11	3411	XDR+T1	4	41912	1.1.3.6.1.255	0	10000	var	0	.001	kvar
12	3412	XDR+T2	4	42048	1.1.3.6.2.255	0	10000	var	0	.001	kvar
13	3421	XDR-T1	4	42184	1.1.4.6.1.255	0	10000	var	0	.001	kvar
14	3422	XDR-T2	4	42320	1.1.4.6.2.255	0	10000	var	0	.001	kvar

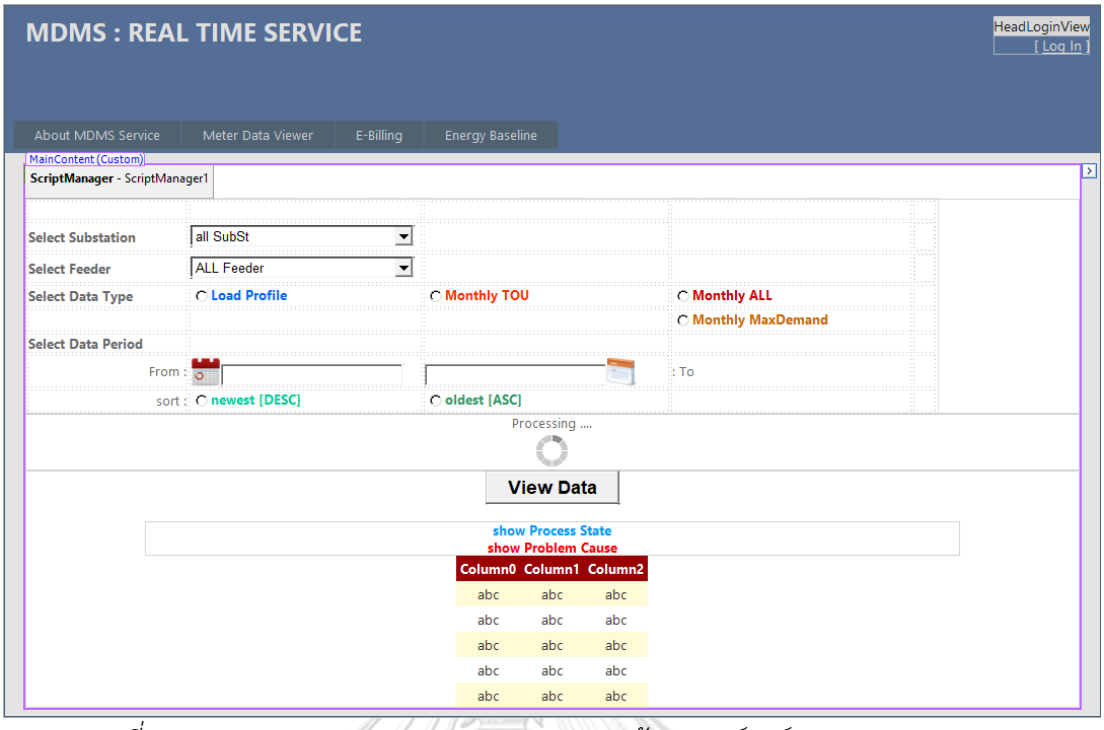
รูปที่ 29 ตัวอย่างตัวคูณและหน่วยของพารามิเตอร์ชุดข้อมูลค่าวัดสรุปรายเดือน

3.5 การออกแบบโปรแกรมส่วนสำหรับติดต่อกับผู้ใช้งาน

โปรแกรมส่วนติดต่อผู้ใช้งานใช้สำหรับแสดงผลข้อมูลค่าวัดทางไฟฟ้าที่ระบบอ่านข้อมูลมิเตอร์แบบอัตโนมัติอ่านได้จากมิเตอร์ที่จุดซื้อขายไฟฟ้าให้ผู้ใช้งานตรวจสอบข้อมูลค่าวัดได้ตลอดเวลา จึงถูกออกแบบให้เป็น web application เพื่อความสะดวกในการใช้งานของผู้ใช้งาน (user) ทั้งลูกค้าและผู้ดูแลระบบ ซึ่งจะสามารถตรวจสอบข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ตลอดเวลาจากทุกที่ผ่าน web browser โดยที่ผู้ใช้งานจะเข้าถึงข้อมูลได้เฉพาะที่ตนเองได้รับสิทธิ์เข้าถึงข้อมูลของตนเองตามสัญญาซื้อขายไฟฟ้าเท่านั้น ไม่สามารถเข้าถึงข้อมูลค่าวัดของลูกค้าสัญญารายอื่นๆได้



รูปที่ 30 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมส่วนติดต่อกับผู้ใช้งานแสดงข้อมูลที่อ่านได้จากมิเตอร์



รูปที่ 31 การออกแบบ GUI web application ด้วยซอฟต์แวร์ MS Visual Studio

3.6 การกำหนด OBIS Code สำหรับระบบซื้อขายไฟฟ้าของ กฟผ.

กำหนด OBIS Code สำหรับเป็นมาตรฐานให้กับมิเตอร์ที่ใช้งานกับระบบซื้อขายไฟฟ้าของ กฟผ. จากมาตรฐาน DLMS/COSEM (บทที่ 2.4.2 และ 2.4.3) รูปแบบ OBIS code แบ่งออกเป็นหลัก (group) : A.B.C.D.E.F

หลัก	A = 1		เฉพาะเจาะจงว่าเป็นค่าวัดทางไฟฟ้า หรือเป็นมิเตอร์ไฟฟ้า (Electricity)
หลัก	B = 1		เป็นช่องทางที่ 1 (Channel 1)
หลัก	C	แทน	ชนิดของตัวแปรค่าวัด
หลัก	D	แทน	วิธีหรือกระบวนการสำหรับวัดค่าชนิดของตัวแปรค่าวัดจากหลัก C
หลัก	E	แทน	การเฉพาะเจาะจง เช่น เฟส (phase), อัตราหรือช่วงพิกัด (tariff, rate)
หลัก	F = 255		เป็นค่าปัจจุบัน

กำหนด OBIS Code สำหรับค่าวัดทางไฟฟ้าสรุปรายเดือน (profile generic: Monthly TOU) ดังแสดงในตารางที่ 5 โดยค่าวัดทางไฟฟ้าสรุปรายเดือนที่มีการใช้งานในสัญญาซื้อขายไฟฟ้าในปัจจุบันและคาดว่าอาจจะมีการใช้งานในอนาคตได้แก่

- ค่าพลังงานไฟฟ้าสะสมแยกตามช่วงเวลาความต้องการใช้ไฟฟ้า (Time of Use Rate : TOU) มีทั้งแบบสะสมต่อเนื่องทุกๆเดือน (cumulative export/import energy) หรือเริ่มสะสมจาก 0 ใหม่ทุกครั้งในแต่ละเดือน (delta export/import energy)
  - cumulative/delta export energy : EA+T0, EA+T1, EA+T2, EA+Tx
  - cumulative/delta import energy : EA-T0, EA-T1, EA-T2, EA-Tx
- ค่าความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดแยกตามช่วงเวลาความต้องการใช้ไฟฟ้า (maximum active/reactive export/import demand)
  - maximum active export demand : XDA+T1, XDA+T2, XDA+Tx
  - maximum active import demand : XDA-T1, XDA-T2, XDA-Tx
  - maximum reactive export demand : XDR+T1, XDR+T2, XDR+Tx
  - maximum reactive import demand : XDR-T1, XDR-T2, XDR-Tx

ตารางที่ 5 OBIS Code มาตรฐานของ กฟผ. สำหรับข้อมูลค่าวัดทางไฟฟ้าแบบสรุปรายเดือน

Type	Register Description				PMCODE	PMTEXT	Unit	OBIS CODE
	Recording Type	Variable	Direction	Rate/Phase				
Monthly TOU Billing	Cumulative	Export Energy	+	Total	1110	EA+T0	kWh	1.1.1.8.0.255
				T1	1111	EA+T1		1.1.1.8.1.255
				T2	1112	EA+T2		1.1.1.8.2.255
				Tx	111x	EA+Tx		1.1.1.8.x.255
	Delta (Advance)	Export Energy		Total	1110	EA+T0		1.1.1.9.0.255
				T1	1111	EA+T1		1.1.1.9.1.255
				T2	1112	EA+T2		1.1.1.9.2.255
				Tx	111x	EA+Tx		1.1.1.9.x.255
	Cumulative	Import Energy	-	Total	1120	EA-T0	kWh	1.1.2.8.0.255
				T1	1121	EA-T1		1.1.2.8.1.255
				T2	1122	EA-T2		1.1.2.8.2.255
				Tx	112x	EA-Tx		1.1.2.8.x.255
	Delta (Advance)	Import Energy		Total	1120	EA-T0		1.1.2.9.0.255
				T1	1121	EA-T1		1.1.2.9.1.255
				T2	1122	EA-T2		1.1.2.9.2.255
				Tx	112x	EA-Tx		1.1.2.9.x.255
Monthly Profile (Max Demand)	Maximum of Last-Average	Active Demand	+	T1	3311	XDA+T1	kW	1.1.1.6.1.255
				T2	3312	XDA+T2		1.1.1.6.2.255
				Tx	331x	XDA+Tx		1.1.1.6.x.255
			-	T1	3321	XDA-T1		1.1.2.6.1.255
				T2	3322	XDA-T2		1.1.2.6.2.255
				Tx	332x	XDA-Tx		1.1.2.6.x.255
	Maximum of Last-Average	Reactive Demand	+	T1	3411	XDR+T1	kvar	1.1.3.6.1.255
				T2	3412	XDR+T2		1.1.3.6.2.255
				Tx	341x	XDR+Tx		1.1.3.6.x.255
			-	T1	3421	XDR-T1		1.1.4.6.1.255
				T2	3422	XDR-T2		1.1.4.6.2.255
				Tx	342x	XDR-Tx		1.1.4.6.x.255

กำหนด OBIS Code สำหรับค่าวัดทางไฟฟ้าแบรายคาบ (profile generic: Load Profile) ดังแสดงในตารางที่ 6 โดยที่ค่าวัดทางไฟฟ้าแบรายคาบที่มีการใช้งานในสัญญาซื้อขายไฟฟ้าในปัจจุบัน และคาดว่าอาจจะมีการใช้งานในอนาคตได้แก่

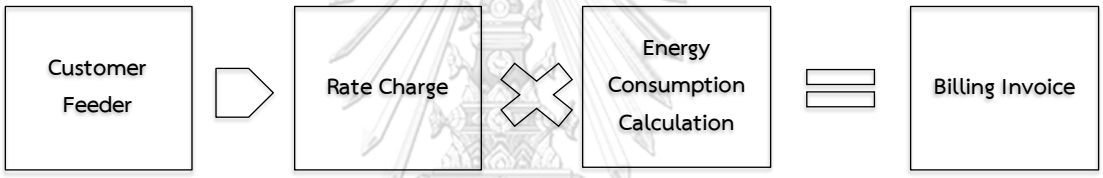
- ค่าพลังงานไฟฟ้าสะสมในรอบเดือน
  - cumulative active (export/import) energy : EA+, EA-
  - cumulative reactive (export/import) energy : ER+, ER-
- ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ย หรือความต้องการไฟฟ้าเฉลี่ย
  - last average active (export/import) demand : DA+, DA-
  - last average reactive (export/import) demand : DR+, DR-
- ค่าแรงดันเฉลี่ย และกระเฉลี่ย ทั้ง 3 เฟส
  - Voltage : V1, V2, V3
  - Current : I1, I2, I3
- ค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏเฉลี่ย และค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์เฉลี่ย
  - last average (export/import) apparent power : DS+
  - last average power factor : PF

ตารางที่ 6 OBIS Code มาตรฐานของ กฟผ. สำหรับข้อมูลค่าวัดทางไฟฟ้ารายคาบ

Type	Register Description				PMCODE	PMTEXT	Unit	OBIS CODE
	Recording Type	Variable	Direction	Rate/Phase				
Load Profile	Cumulative	Active Energy	+	T0	2110	EA+	kWh	1.1.1.8.0.255
			-	T0	2120	EA-		1.1.2.8.0.255
		Reactive Energy	+	T0	2210	ER+	kvar	1.1.3.8.0.255
			-	T0	2220	ER-		1.1.4.8.0.255
	Delta (Advance)	Active Energy	+	T0	2110	EA+	kWh	1.1.1.9.0.255
			-	T0	2120	EA-		1.1.2.9.0.255
		Reactive Energy	+	T0	2210	ER+	kvar	1.1.3.9.0.255
			-	T0	2220	ER-		1.1.4.9.0.255
	Last-Average	Active Demand	+	0	2310	DA+	kW	1.1.1.5.0.255
			-	0	2320	DA-		1.1.2.5.0.255
		Reactive Demand	+	0	2410	DR+	kvar	1.1.3.5.0.255
			-	0	2420	DR-		1.1.4.5.0.255
	Last-Average	Voltage (phase)		1	2501	V1	V	1.1.32.5.0.255
				2	2502	V2		1.1.52.5.0.255
				3	2503	V3		1.1.72.5.0.255
	Last-Average	Current (phase)		1	2601	I1	A	1.1.31.5.0.255
				2	2602	I2		1.1.51.5.0.255
				3	2603	I3		1.1.71.5.0.255
	Last-Average	Apparent Power	+	0	2710	DS+	kVA	1.1.9.5.0.255
			-	0	2720	DS-		1.1.10.5.0.255
	Last-Average	Power factor		0	2800	PF	--	1.1.13.5.0.255

บทที่ 4
การออกแบบโปรแกรมจัดทำใบแจ้งค่าไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์แบบเวลาจริง

โปรแกรมจัดทำใบแจ้งค่าไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์แบบเวลาจริงใช้ข้อมูลจากระบบอ่านมิเตอร์แบบอัตโนมัติ (AMR System) โดยใช้ข้อมูลค่าวัดทางไฟฟ้าแบบคาบเวลา ที่อ่านได้ทุกๆ 15 นาที คำนวณหาค่าพลังงานไฟฟ้า (energy consumption calculation) ที่ลูกค้าตรงของ กฟผ. มีการใช้งานทุกๆ 15 นาทีเช่นกัน แล้วนำข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าที่คำนวณได้นี้ไปคำนวณหาค่าไฟฟ้า (billing invoice) ที่ต้องจ่าย ตามอัตราค่าไฟฟ้าต่างๆให้ถูกต้องตามสัญญาขายไฟฟ้าแต่ละฉบับ แบบเวลาจริง ดังนั้นในระบบจัดทำใบแจ้งค่าไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์แบบเวลาจริงต้องมีฐานข้อมูลที่เก็บรายละเอียดของลูกค้าแต่ละราย จุดซื้อขายไฟฟ้า (customer feeder) และอัตราค่าไฟฟ้าต่างๆของแต่ละสัญญา (rate charge) ดังแสดงในรูปที่ 32



รูปที่ 32 การคำนวณหาค่าไฟฟ้าสำหรับจัดทำใบแจ้งค่าไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์

โปรแกรมจัดทำใบแจ้งค่าไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์แบบเวลาจริงจะแบ่งเป็น 2 ส่วน นั่นคือส่วนคำนวณค่าไฟฟ้าตามสัญญาขายไฟฟ้า และส่วนติดต่อผู้ใช้งานสำหรับแสดงผลและพิมพ์ใบแจ้งค่าไฟฟ้า โดยที่การพัฒนาโปรแกรมคำนวณค่าไฟฟ้าตามสัญญาขายไฟฟ้าใช้ซอฟต์แวร์ Microsoft visual studio 2010 โดยใช้ภาษา C# (programing language) พัฒนาเป็นแบบ windows forms application แต่จะทำงานแบบประมวลผลเบื้องหลัง (background process) ส่วนการพัฒนาโปรแกรมส่วนส่วนติดต่อผู้ใช้งานสำหรับแสดงผลและพิมพ์ใบแจ้งค่าไฟฟ้าใช้ซอฟต์แวร์ Microsoft visual studio 2010 โดยใช้ภาษา VB.Net (programing language) พัฒนาเป็นแบบ web application โดยจัดพิมพ์ใบแจ้งค่าไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์เป็น PDF file ด้วยซอฟต์แวร์ Crystal Report

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.1 การออกแบบและสร้างฐานข้อมูลสำหรับเก็บข้อมูลสัญญาคู่ค้าและสูตรคำนวนค่าไฟฟ้า

ฐานข้อมูลของระบบจัดทำใบแจ้งค่าไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์แบบเวลาจริงใช้ซอฟต์แวร์ฐานข้อมูล Oracle Database (11g release 2) เช่นเดียวกัน และออกแบบระบบฐานข้อมูลเป็น ระบบฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ (Relational Database) เช่นเดียวกัน ประกอบด้วย 1 โครงย่อย (schema) คือ MDMS schema โดยที่ตารางใน MDMS schema เก็บข้อมูลต่างๆ ดังนี้ใน

MDMSUSER : ข้อมูลชื่อผู้ใช้งานและรหัสเพื่อเข้าถึงข้อมูลของลูกค้าแต่ละราย

Customer : ข้อมูลรายละเอียดลูกค้าแต่ละราย

CustomerFeeder : ข้อมูลจุดซื้อขายไฟฟ้าและมิเตอร์เสมือนที่เก็บข้อมูลที่จุดวัดนั้น

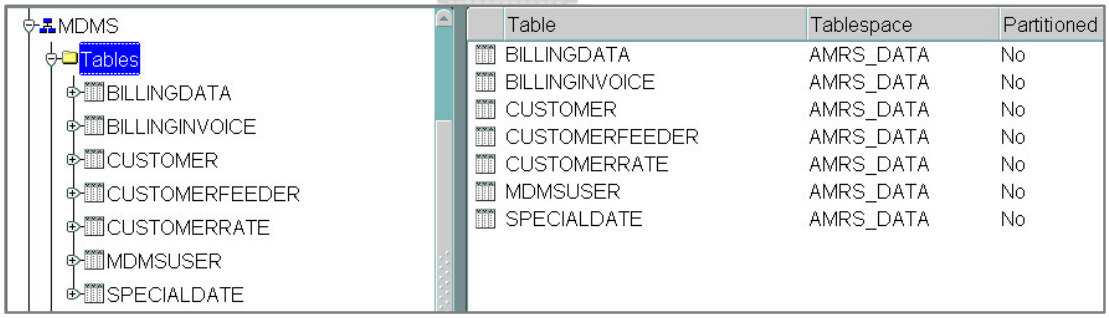
CustomerRate : ข้อมูลอัตราค่าไฟฟ้าแต่ละรายการตามสัญญาขายไฟฟ้า

SpecialDate : ข้อมูลวันหยุดพิเศษสำหรับคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าที่มีการใช้งานในช่วงที่มีความต้องการไฟฟ้าต่ำ (Off Peak)

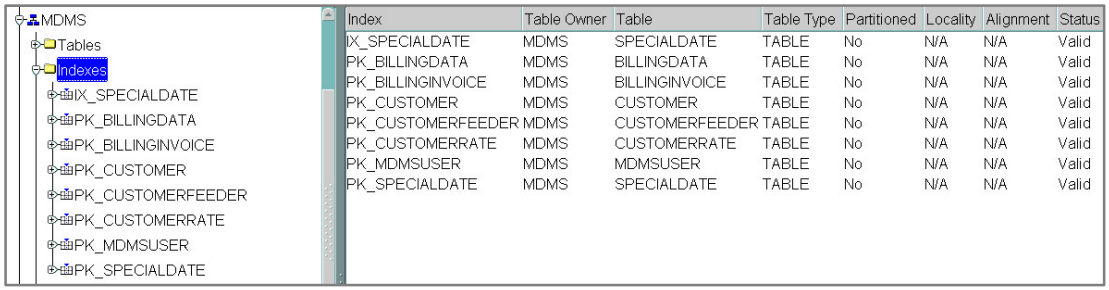
BillingData : ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าที่คำนวณได้ของแต่ละจุดขายไฟฟ้าแบบเวลาจริง

BillingInvoice : ค่าไฟฟ้าแบบเวลาจริงที่คำนวณได้ตามสัญญาของแต่ละจุดขายไฟฟ้า

ตารางเก็บข้อมูลและดัชนีของ MDMS schema ดังแสดงในรูปที่ 33 (a) และ 33 (b) ตามลำดับ



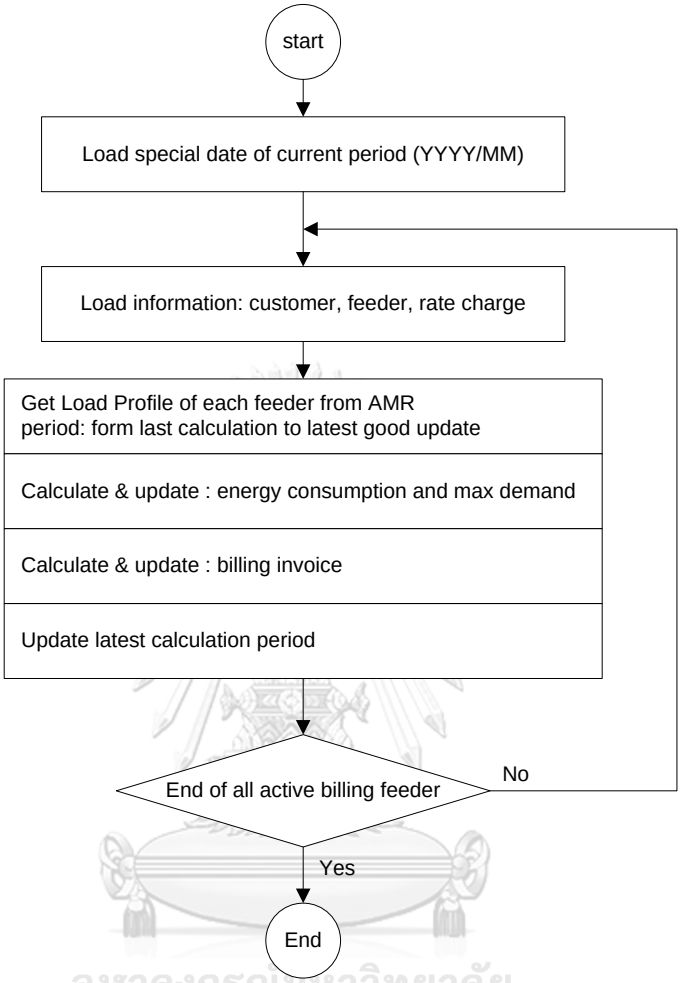
(a)



(b)

รูปที่ 33 ตารางข้อมูลและดัชนี ของ schema MDMS

4.2 การออกแบบโปรแกรมส่วนคำนวณค่าไฟฟ้า



รูปที่ 34 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมส่วนคำนวณค่าไฟฟ้า

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

การทำงานของโปรแกรมส่วนคำนวณค่าไฟฟ้าจะทำงานหลังจากที่ระบบอ่านมิเตอร์แบบอัตโนมัติอ่านข้อมูลค่าวัดทางไฟฟ้ารายคาบจากมิเตอร์เสร็จ โดยมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

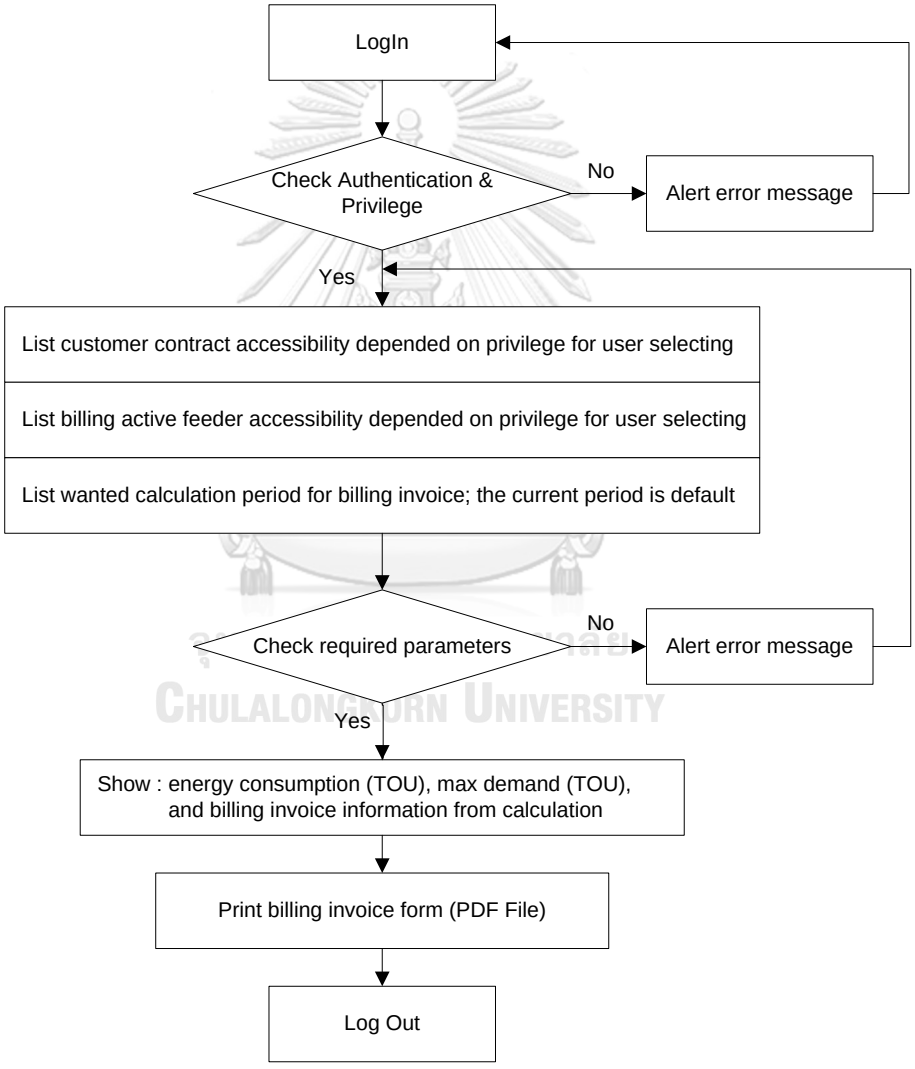
1. เรียกข้อมูลวันหยุดพิเศษสำหรับใช้การคำนวณการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงที่มีความต้องการไฟฟ้าต่ำ (Off Peak) ของรอบเดือนปัจจุบัน
2. เรียกดูข้อมูลลูกค้า จุดซื้อขายไฟฟ้าหรือมิเตอร์เสมือนเฉพาะที่ต้องใช้คำนวณค่าไฟฟ้า และอัตราค่าไฟฟ้าต่างๆ ของจุดซื้อขายไฟฟ้าตามสัญญานั้นๆ
3. เรียกดูข้อมูลค่าวัดทางไฟฟ้ารายคาบของมิเอตร์เสมือนที่ต้องใช้สำหรับคำนวณพลังงานไฟฟ้าโดยเริ่มจากคาบที่คำนวณล่าสุดจนถึงคาบปัจจุบันล่าสุดที่สามารถอ่านข้อมูลได้จากมิเตอร์

4. คำนวณการใช้พลังงานไฟฟ้าแยกตามช่วงความต้องการใช้ไฟฟ้า (Time of Use rate : TOU) และค่าความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดแยกตามช่วงความต้องการใช้ไฟฟ้าด้วย แล้วบันทึกลงฐานข้อมูลในตาราง BillingData
5. คำนวณค่าไฟฟ้าด้วยอัตราค่าไฟฟ้าตามรายละเอียดของสัญญาขายไฟฟ้า และบันทึกลงฐานข้อมูลในตาราง BillingInvoice
6. บันทึกคาบล่าสุดที่คำนวณการใช้พลังงานไฟฟ้าและค่าไฟฟ้าของแต่ละจุดขายไฟฟ้า
7. หากคำนวณครบแล้วให้จบการทำงาน หากคำนวณยังไม่ครบทุกจุดขายไฟฟ้าให้ทำซ้ำตั้งแต่ขั้นตอนที่ 2 ถึงขั้นตอนที่ 6

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.3 การออกแบบโปรแกรมส่วนสำหรับติดต่อกับผู้ใช้งาน

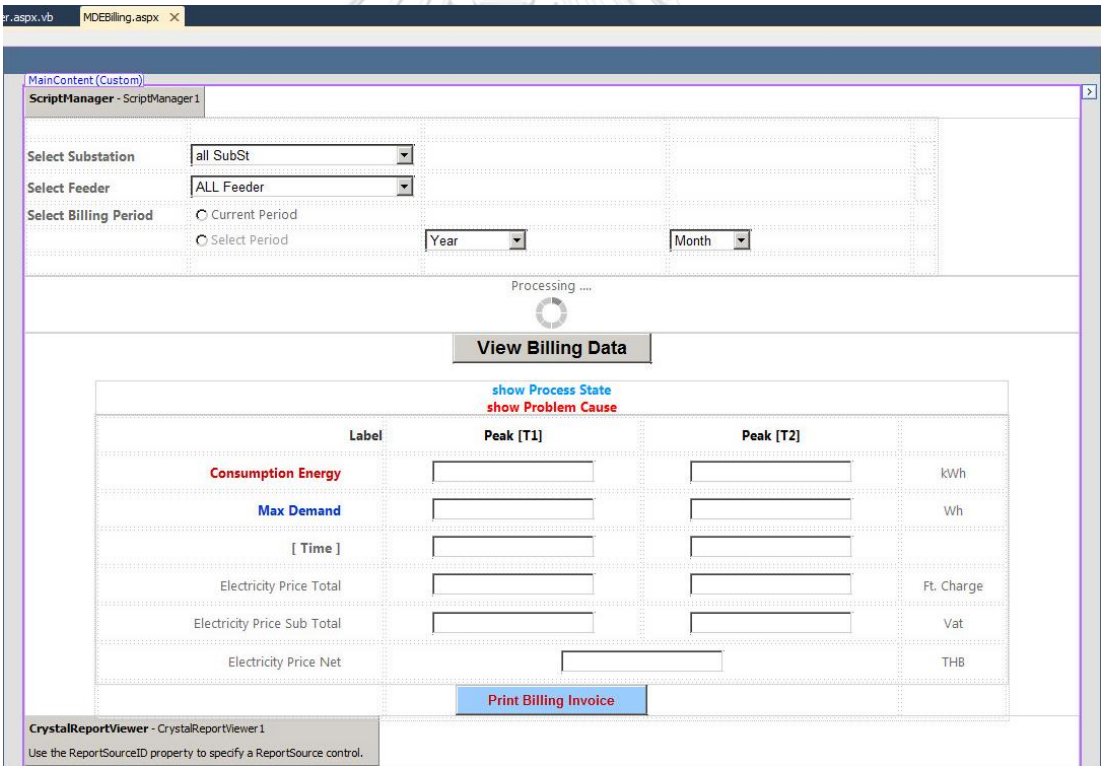
โปรแกรมส่วนติดต่อผู้ใช้งานถูกออกแบบให้เป็น web application เพื่อความสะดวกในการใช้งานของผู้ใช้งาน (user) หรือลูกค้านั่นเอง ซึ่งจะสามารถตรวจสอบข้อมูลค่าไฟฟ้าได้ตลอดเวลาจากทุกที่ผ่าน web browser โดยที่ผู้ใช้งานจะเข้าถึงข้อมูลได้เฉพาะที่ตนเองได้รับสิทธิ์ตามสัญญาซื้อขายไฟฟ้าเท่านั้น จะไม่สามารถเข้าถึงข้อมูลของลูกค้าสัญญารายอื่นๆได้ รูปที่ 35 แสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน และรูปที่ 36 แสดงการออกแบบ GUI web application ด้วยซอฟต์แวร์ Microsoft Visual Studio



รูปที่ 35 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน

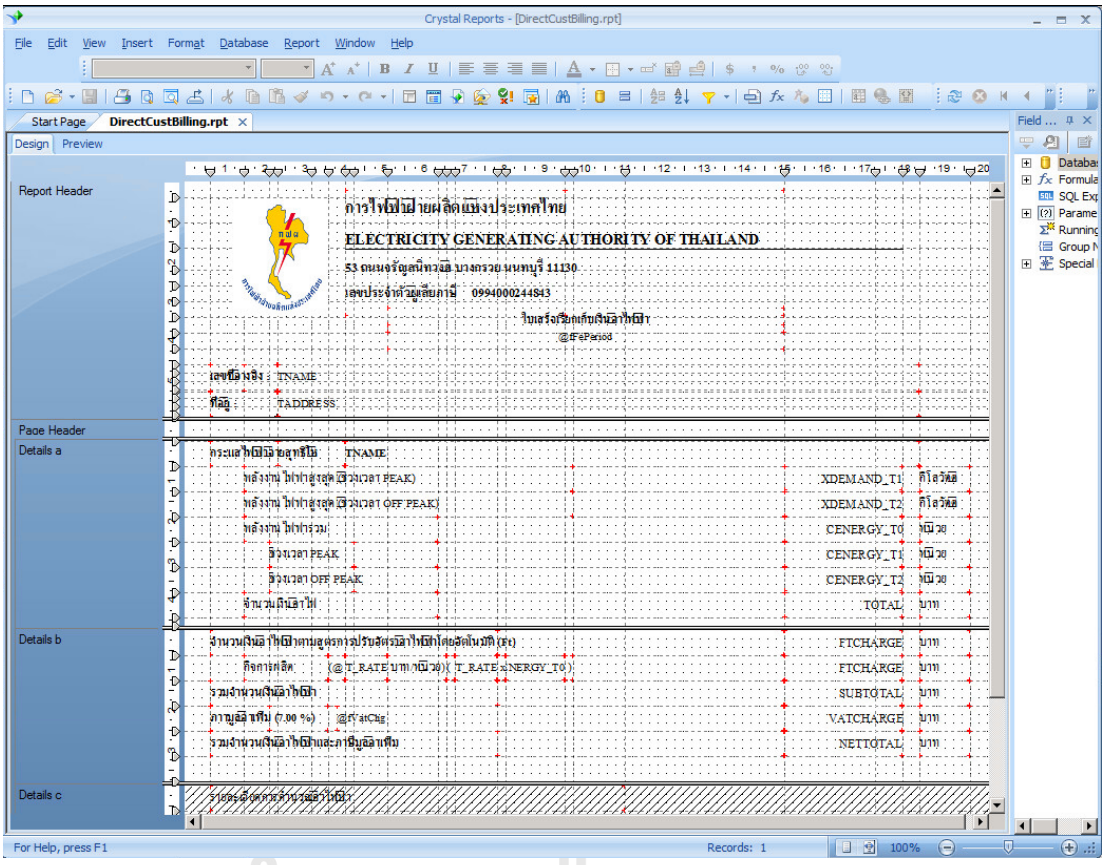
การทำงานของโปรแกรมหรือ web application ส่วนติดต่อผู้ใช้งาน จะทำหน้าที่แสดงผลตามที่ผู้ใช้งานต้องการเท่านั้น โดยมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

1. เมื่อผู้ใช้งานเข้าสู่ระบบ (log in) ทำการตรวจสอบ user id และ password ว่าถูกต้องหรือไม่
2. ตรวจสอบสิทธิ์ในการเข้าถึงข้อมูลของผู้ใช้งาน (user) และแสดงคู่สัญญาด้วยชื่อบริษัทลูกค้าหรือสถานีไฟฟ้าที่ผู้ใช้งานมีสิทธิ์
3. แสดงคู่สัญญาจุดซื้อขายไฟฟ้าหรือจุดที่ติดตั้งมิเตอร์ที่ผู้ใช้งานมีสิทธิ์
4. ให้ผู้ใช้งานเลือกรอบบิลที่ต้องการคำนวณ โดยรอบบิลปัจจุบันจะเป็นค่าเริ่มต้น
5. เมื่อผู้ใช้งานเลือกคำนวณค่าการใช้พลังงานไฟฟ้า ทำการแสดงข้อมูลค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของจุดขายไฟฟ้านั้น
6. เมื่อผู้ใช้งานเลือกพิมพ์ใบแจ้งค่าไฟฟ้า ทำการสร้างใบแจ้งค่าไฟฟ้าอิเลล็กทรอนิกส์เป็น PDF file
7. ผู้ใช้งานทำงานเสร็จให้ออกจากระบบ (log out)



รูปที่ 36 การออกแบบ GUI web application ด้วยซอฟต์แวร์ MS Visual Studio

การจัดพิมพ์ใบแจ้งค่าไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์จะแสดงเป็น PDF file ผ่าน GUI web application ซึ่งแบบฟอร์มใบแจ้งค่าไฟฟ้าอ้างอิงรายละเอียดตามข้อมูลใบแจ้งหนี้ของ กฟผ. ตามสัญญาขายไฟฟ้ากับลูกค้าตรง กฟผ. การพัฒนาแบบฟอร์มใบแจ้งค่าไฟฟ้าใช้ซอฟต์แวร์ Crystal Report ตามที่แสดงดังรูปที่ 37



CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 37 การออกแบบใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ด้วยซอฟต์แวร์ Crystal Report

บทที่ 5
การออกแบบการคำนวณพลังงานไฟฟ้าฐานประเภทโหลดอุตสาหกรรม

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดตัวแปรที่มีผลต่อการใช้ไฟฟ้าของโหลดอุตสาหกรรม (Relevant variables)

ตัวแปรที่มีผลต่อการใช้ไฟฟ้า ได้แก่ สภาพอากาศ, ตำแหน่งที่ตั้งของโรงงานอุตสาหกรรม, จำนวนชั่วโมงการทำงานผลิต และแหล่งพลังงานไฟฟ้าอื่น นอกจากรับไฟฟ้าจาก กฟผ.

เนื่องจากเป็นโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่มีแหล่งพลังงานไฟฟ้าแหล่งเดียว คือ รับไฟฟ้าจาก กฟผ. เท่านั้น และมีการทำงานเป็นกะตลอด 24 ชั่วโมง ดังนั้นปัจจัยสำคัญสำหรับการใช้ไฟฟ้าคืออัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Rate - TOU)

ขั้นตอนที่ 2 กำหนดกรอบช่วงเวลาและปีข้อมูล (Training set period)

เลือกใช้ข้อมูลการใช้ไฟฟ้ารายคาบ 15 นาที ระยะเวลา 1 ปี เพื่อให้ได้ช่วงข้อมูลครบในส่วนที่เป็นฤดูกาล และเลือกปีข้อมูล 2016 เป็นชุดข้อมูลสำหรับสร้างแบบจำลอง ตัวอย่างข้อมูลการใช้ไฟฟ้ารายคาบ หรือ Load Profile สำหรับสร้างแบบจำลองดังแสดงตามรูปที่ 38

ขั้นตอนที่ 3 เลือกวิธีการคำนวณพลังงานไฟฟ้า (Baseline Methodology)

เนื่องจากประเทศไทยไม่เคยดำเนินมาตรการตอบสนองด้านโหลดในเชิงพาณิชย์ ดังนั้นวิธีการ Average method จึงไม่เหมาะสมในขณะทำการวิจัย ดังนั้นจึงเลือกใช้ 3 วิธีได้แก่ multivariable linear regression analysis, polynomial regression analysis และ neural networks โดยใช้กระบวนการ Levenberg-Marquardt

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ขั้นตอนที่ 4 สร้างแบบจำลอง Basline

ใช้โปรแกรม Matlab ในการสร้างแบบจำลอง Baseline

ขั้นตอนที่ 5 เปรียบเทียบผลวิธีการคำนวณ Baseline

เปรียบเทียบความแม่นยำของแบบจำลองด้วย R^2 (coefficient of determination) เป็นการวัดว่าแบบจำลองสามารถพยากรณ์จากข้อมูลได้แม่นยำเพียงใด ถ้าค่า R^2 สูง แสดงว่าแบบจำลองมีความแม่นยำมาก

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(y_i - \bar{y}_i)^2} \quad (8)$$

TIME_LOCAL	Y (kW)	x	T1	T2	W1	W2	D1	D2	...	D6	D7	M1	M2	M3	...	M10	M11	M12	Q1	Q2	Q3	Q4
01/01/2016 00:15:00	36870.000	1	0	1	0	1	0	0		0	0	1	0	0		0	0	0	1	0	0	0
01/01/2016 00:30:00	36550.000	2	0	1	0	1	0	0		0	0	1	0	0		0	0	0	1	0	0	0
01/01/2016 00:45:00	36480.000	3	0	1	0	1	0	0		0	0	1	0	0		0	0	0	1	0	0	0
01/01/2016 01:00:00	36310.000	4	0	1	0	1	0	0		0	0	1	0	0		0	0	0	1	0	0	0
01/01/2016 01:15:00	33830.000	5	0	1	0	1	0	0		0	0	1	0	0		0	0	0	1	0	0	0
01/01/2016 01:30:00	32620.000	6	0	1	0	1	0	0		0	0	1	0	0		0	0	0	1	0	0	0
01/01/2016 01:45:00	32060.000	7	0	1	0	1	0	0		0	0	1	0	0		0	0	0	1	0	0	0
01/01/2016 02:00:00	31270.000	8	0	1	0	1	0	0		0	0	1	0	0		0	0	0	1	0	0	0
01/01/2016 02:15:00	27990.000	9	0	1	0	1	0	0		0	0	1	0	0		0	0	0	1	0	0	0
01/01/2016 02:30:00	31150.000	10	0	1	0	1	0	0		0	0	1	0	0		0	0	0	1	0	0	0
01/01/2016 02:45:00	35390.000	11	0	1	0	1	0	0		0	0	1	0	0		0	0	0	1	0	0	0
01/01/2016 03:00:00	36900.000	12	0	1	0	1	0	0		0	0	1	0	0		0	0	0	1	0	0	0
01/01/2016 03:15:00	36990.000	13	0	1	0	1	0	0		0	0	1	0	0		0	0	0	1	0	0	0
01/01/2016 03:30:00	37580.000	14	0	1	0	1	0	0		0	0	1	0	0		0	0	0	1	0	0	0
01/01/2016 03:45:00	37690.000	15	0	1	0	1	0	0		0	0	1	0	0		0	0	0	1	0	0	0
01/01/2016 04:00:00	37700.000	16	0	1	0	1	0	0		0	0	1	0	0		0	0	0	1	0	0	0
01/01/2016 04:15:00	38140.000	17	0	1	0	1	0	0		0	0	1	0	0		0	0	0	1	0	0	0
01/01/2016 04:30:00	37820.000	18	0	1	0	1	0	0		0	0	1	0	0		0	0	0	1	0	0	0
01/01/2016 04:45:00	37940.000	19	0	1	0	1	0	0		0	0	1	0	0		0	0	0	1	0	0	0
01/01/2016 05:00:00	37780.000	20	0	1	0	1	0	0		0	0	1	0	0		0	0	0	1	0	0	0
01/01/2016 05:15:00	37980.000	21	0	1	0	1	0	0		0	0	1	0	0		0	0	0	1	0	0	0
01/01/2016 05:30:00	37930.000	22	0	1	0	1	0	0		0	0	1	0	0		0	0	0	1	0	0	0
01/01/2016 05:45:00	37520.000	23	0	1	0	1	0	0		0	0	1	0	0		0	0	0	1	0	0	0
01/01/2016 06:00:00	37510.000	24	0	1	0	1	0	0		0	0	1	0	0		0	0	0	1	0	0	0
01/01/2016 06:15:00	37500.000	25	0	1	0	1	0	0		0	0	1	0	0		0	0	0	1	0	0	0
01/01/2016 06:30:00	37390.000	26	0	1	0	1	0	0		0	0	1	0	0		0	0	0	1	0	0	0
01/01/2016 06:45:00	37390.000	27	0	1	0	1	0	0		0	0	1	0	0		0	0	0	1	0	0	0
01/01/2016 07:00:00	37190.000	28	0	1	0	1	0	0		0	0	1	0	0		0	0	0	1	0	0	0
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
01/01/2016 20:00:00	31530.000	80	0	1	0	1	0	0		0	0	1	0	0		0	0	0	1	0	0	0
01/01/2016 20:15:00	31420.000	81	0	1	0	1	0	0		0	0	1	0	0		0	0	0	1	0	0	0
01/01/2016 20:30:00	30190.000	82	0	1	0	1	0	0		0	0	1	0	0		0	0	0	1	0	0	0
01/01/2016 20:45:00	29850.000	83	0	1	0	1	0	0		0	0	1	0	0		0	0	0	1	0	0	0
01/01/2016 21:00:00	30140.000	84	0	1	0	1	0	0		0	0	1	0	0		0	0	0	1	0	0	0
01/01/2016 21:15:00	30240.000	85	0	1	0	1	0	0		0	0	1	0	0		0	0	0	1	0	0	0
01/01/2016 21:30:00	31140.000	86	0	1	0	1	0	0		0	0	1	0	0		0	0	0	1	0	0	0
01/01/2016 21:45:00	31010.000	87	0	1	0	1	0	0		0	0	1	0	0		0	0	0	1	0	0	0
01/01/2016 22:00:00	31050.000	88	0	1	0	1	0	0		0	0	1	0	0		0	0	0	1	0	0	0
01/01/2016 22:15:00	31510.000	89	0	1	0	1	0	0		0	0	1	0	0		0	0	0	1	0	0	0
01/01/2016 22:30:00	31530.000	90	0	1	0	1	0	0		0	0	1	0	0		0	0	0	1	0	0	0
01/01/2016 22:45:00	30900.000	91	0	1	0	1	0	0		0	0	1	0	0		0	0	0	1	0	0	0
01/01/2016 23:00:00	30920.000	92	0	1	0	1	0	0		0	0	1	0	0		0	0	0	1	0	0	0
01/01/2016 23:15:00	27470.000	93	0	1	0	1	0	0		0	0	1	0	0		0	0	0	1	0	0	0
01/01/2016 23:30:00	26430.000	94	0	1	0	1	0	0		0	0	1	0	0		0	0	0	1	0	0	0
01/01/2016 23:45:00	26520.000	95	0	1	0	1	0	0		0	0	1	0	0		0	0	0	1	0	0	0
01/01/2016 24:00:00	26530.000	96	0	1	0	1	0	0		0	0	0	0	0		0	0	1	1	0	0	0
02/01/2016 00:15:00	25890.000	1	0	1	0	1	0	0		1	0	1	0	0		0	0	0	1	0	0	0
02/01/2016 00:30:00	25640.000	2	0	1	0	1	0	0		1	0	1	0	0		0	0	0	1	0	0	0
02/01/2016 00:45:00	26420.000	3	0	1	0	1	0	0		1	0	1	0	0		0	0	0	1	0	0	0
02/01/2016 01:00:00	26880.000	4	0	1	0	1	0	0		1	0	1	0	0		0	0	0	1	0	0	0
02/01/2016 01:15:00	30680.000	5	0	1	0	1	0	0		1	0	1	0	0		0	0	0	1	0	0	0
02/01/2016 01:30:00	31010.000	6	0	1	0	1	0	0		1	0	1	0	0		0	0	0	1	0	0	0
02/01/2016 01:45:00	30660.000	7	0	1	0	1	0	0		1	0	1	0	0		0	0	0	1	0	0	0
02/01/2016 02:00:00	30170.000	8	0	1	0	1	0	0		1	0	1	0	0		0	0	0	1	0	0	0

รูปที่ 38 ตัวอย่างข้อมูลการใช้ไฟฟ้ารายคาบ (Load Profile)

บทที่ 6
การทดสอบและผลการทดสอบ

6.1 การทดสอบระบบอ่านมิเตอร์แบบอัตโนมัติด้วยโปรโตคอล DLMS/COSEM

ระบบอ่านมิเตอร์แบบอัตโนมัติจะอ่านข้อมูลค่าวัดจากมิเตอร์ด้วยโปรโตคอล DLMS/COSEM ตามที่กำหนดแล้วบันทึกไว้ในฐานข้อมูล ซึ่งระบบอ่านมิเตอร์แบบอัตโนมัติจะต้องมีระบบสื่อสารเป็น EGAT Operation WAN ซึ่งเป็นระบบสื่อสารที่สามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์มิเตอร์ที่รองรับโปรโตคอล DLMS/COSEM ที่ถูกติดตั้งวัดค่าพลังงานไฟฟ้าของลูกค้าตรงที่ซื้อไฟฟ้ากับ กฟผ. ดังนั้นเพื่อให้ระบบอ่านมิเตอร์แบบอัตโนมัติสามารถทำงานได้ นอกจากระบบฐานข้อมูล และโปรแกรมอ่านข้อมูลมิเตอร์แล้ว ยังต้องมีคอมพิวเตอร์สำหรับติดตั้งระบบอ่านมิเตอร์แบบอัตโนมัติ และมีระบบสื่อสารเป็น EGAT Operation WAN ดังนั้นจึงต้องใช้ทรัพยากรของ กฟผ. ได้แก่คอมพิวเตอร์เซิร์ฟเวอร์ ซึ่งใช้เป็นเซิฟร์เวอร์เสมือน (virtual machine server) ที่มีความปลอดภัย และได้รับอนุญาตให้ใช้ระบบสื่อสาร EGAT Operation WAN และอุปกรณ์มิเตอร์ที่ทดสอบต้องรองรับโปรโตคอล DLMS/COSEM ด้วย

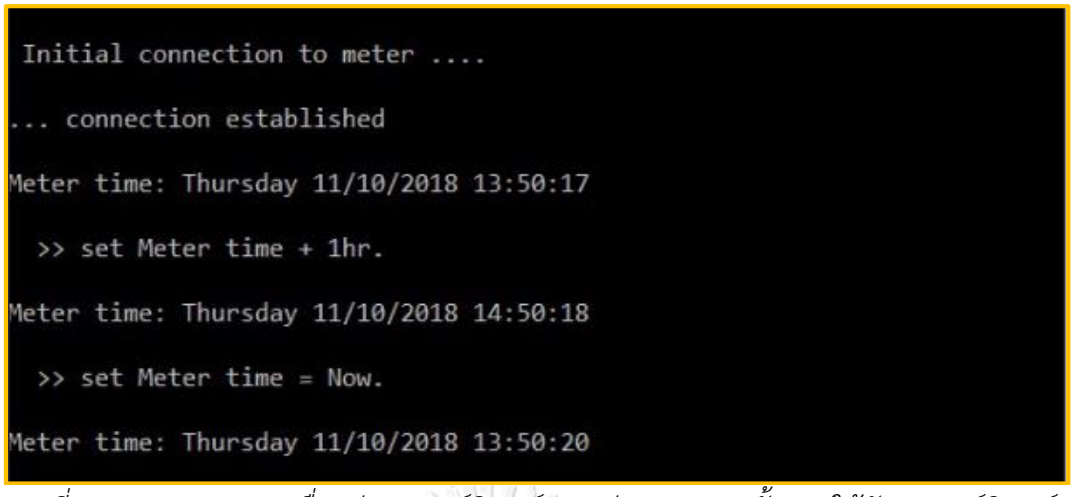
6.1.1 การทดสอบการติดต่อกับอุปกรณ์มิเตอร์ผ่านระบบสื่อสาร EGAT Operation WAN

ทดสอบการเชื่อมต่อกับมิเตอร์ของบริษัทผู้ผลิต Landis+Gyr รุ่น ZMQ202 ด้วยการสื่อสารแบบ Ethernet ผ่านระบบสื่อสาร EGAT Operation WAN โดยมีขั้นตอนการทดสอบ ดังนี้

1. การเชื่อมต่อไปที่อุปกรณ์มิเตอร์
2. อ่านเวลาของมิเตอร์
3. ตั้งเวลามิเตอร์ใหม่ ให้เร็วกว่าเวลาจริง 1 ชั่วโมง และอ่านเวลาของมิเตอร์อีกครั้ง
4. ตั้งเวลาใหม่ให้เป็นเวลาปัจจุบัน และอ่านเวลาของมิเตอร์อีกครั้ง

ผลการทดสอบ สามารถเชื่อมต่อไปที่อุปกรณ์มิเตอร์ สามารถอ่านเวลาของอุปกรณ์มิเตอร์และสามารถตั้งเวลาอุปกรณ์มิเตอร์ได้ตามที่กำหนด ดังที่แสดงในรูป 6.1.1 จากการที่สามารถอ่านและตั้งเวลาให้กับอุปกรณ์มิเตอร์นี้สามารถขยายผลทำโปรแกรมตรวจสอบและตั้งเวลามาตรฐานให้กับอุปกรณ์มิเตอร์ในระบบได้แบบอัตโนมัติ ตามเงื่อนไขที่เหมาะสมกับสัญญาซื้อขายไฟฟ้าและทรัพยากรของ กฟผ.

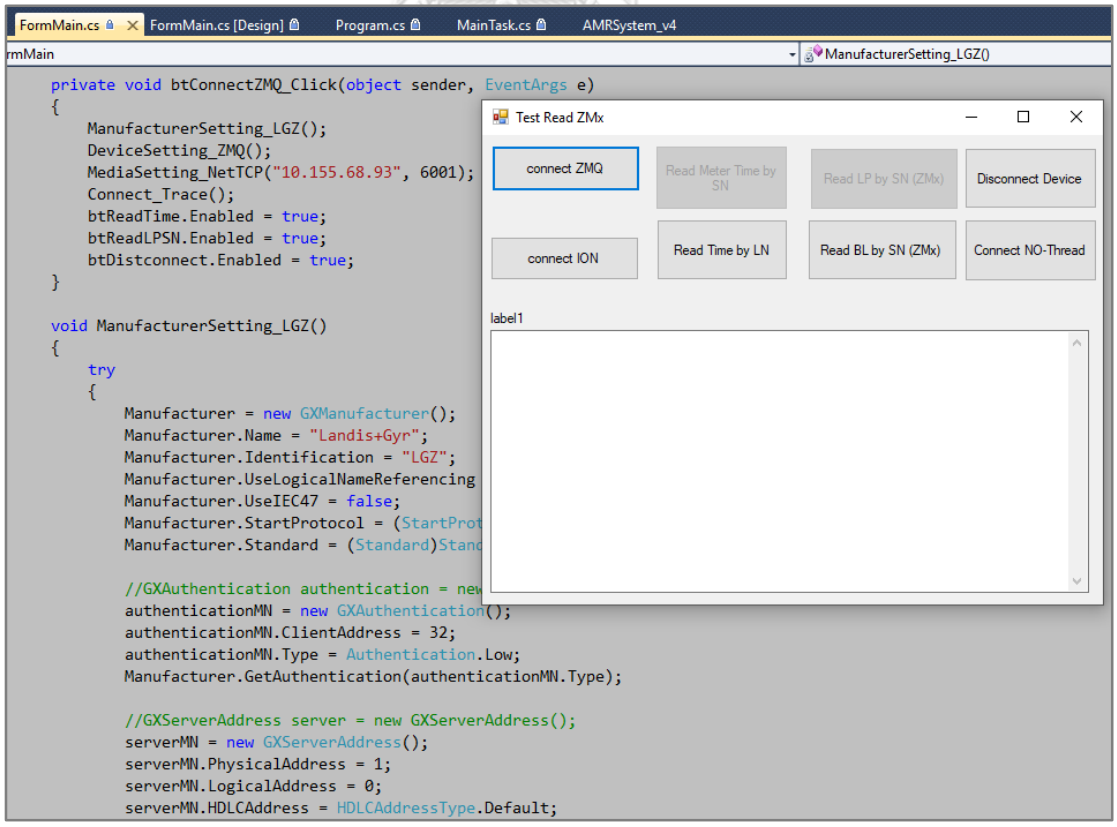
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 39 ผลทดสอบการเชื่อมต่ออุปกรณ์มิเตอร์, การอ่านเวลาและตั้งเวลาให้กับอุปกรณ์มิเตอร์

6.1.2 การทดสอบอ่านชุดข้อมูลค่าวัดทางไฟฟ้า (Profile Generic) จากมิเตอร์

ทดสอบการอ่านชุดข้อมูลค่าวัดทางไฟฟ้าแบบข้อมูลค่าวัดรายคาบ (profile generic: Load Profile) จากมิเตอร์ของบริษัทผู้ผลิต Landis+Gyr รุ่น ZMQ202 ด้วยการสื่อสารแบบ Ethernet ผ่านระบบสื่อสาร EGAT Operation WAN ด้วยช่วงเวลาของข้อมูลตามที่กำหนด



รูปที่ 40 โปรแกรมทดสอบการเชื่อมต่อ อ่านข้อมูลจากอุปกรณ์มิเตอร์

ผลการทดสอบสามารถอ่านชุดข้อมูลค่าวัดทางไฟฟ้าแบบข้อมูลค่าวัดรายคาบได้จำนวนข้อมูลครบถ้วนทั้ง 14 ค่าวัด และจำนวนข้อมูลตามคาบเวลาครบถ้วนตามช่วงเวลาที่อ่าน แต่ข้อมูลค่าวัดดิบ (raw value) ที่อ่านได้ไม่ถูกต้องตรงตามหน่วย (raw unit) ตามแบบจำลองข้อมูล COSEM เนื่องจากยังไม่ได้ปรับข้อมูลให้ถูกต้องด้วยการคูณกับตัวคูณ (scaler attribute) ดังแสดงในรูปที่ 41

```
The device has been connected.
Begin to read Meter Time ...
Meter Time : Wednesday 14/11/2018 11:01:36:AM
Begin to read ProfileGeneric >> Load Profile ...
ProfileGeneric[1.0.99.1.0.255] :
Wednesday 24/10/2018 12:00:00:PM | 8388608 | 5196946 | 0 | 2546232 | 0 | 650 | 651 | 651 | 785 | 817 | 796 | 897 | 0 | 440 | 0 |
Wednesday 24/10/2018 12:30:00:PM | 8388608 | 5197379 | 0 | 2546436 | 0 | 646 | 648 | 648 | 755 | 786 | 767 | 865 | 0 | 410 | 0 |
Wednesday 24/10/2018 01:00:00:PM | 8388608 | 5197819 | 0 | 2546646 | 0 | 648 | 649 | 649 | 766 | 799 | 780 | 879 | 0 | 418 | 0 |
Wednesday 24/10/2018 01:30:00:PM | 8388608 | 5198280 | 0 | 2546866 | 0 | 648 | 649 | 648 | 804 | 842 | 819 | 923 | 0 | 441 | 0 |
Wednesday 24/10/2018 02:00:00:PM | 8388608 | 5198743 | 0 | 2547086 | 0 | 648 | 649 | 649 | 806 | 844 | 816 | 926 | 0 | 439 | 0 |
Wednesday 24/10/2018 02:30:00:PM | 8388608 | 5199203 | 0 | 2547303 | 0 | 649 | 649 | 649 | 803 | 837 | 810 | 920 | 0 | 435 | 0 |
Wednesday 24/10/2018 03:00:00:PM | 8388608 | 5199659 | 0 | 2547520 | 0 | 650 | 651 | 650 | 794 | 829 | 804 | 913 | 0 | 434 | 0 |
Wednesday 24/10/2018 03:30:00:PM | 8388608 | 5200102 | 0 | 2547735 | 0 | 650 | 651 | 650 | 775 | 805 | 781 | 885 | 0 | 429 | 0 |
Wednesday 24/10/2018 04:00:00:PM | 8388608 | 5200519 | 0 | 2547948 | 0 | 651 | 652 | 652 | 739 | 763 | 742 | 834 | 0 | 428 | 0 |
```

รูปที่ 41 ทดสอบการอ่านชุดข้อมูลแบบข้อมูลค่าวัดทางไฟฟ้ารายคาบจากอุปกรณ์มิเตอร์

ทดสอบการอ่านชุดข้อมูลค่าวัดทางไฟฟ้าแบบข้อมูลค่าวัดสรุปรายเดือน (profile generic: Monthly TOU) จากมิเตอร์ของบริษัทผู้ผลิต Landis+Gyr รุ่น ZMQ202 ด้วยการสื่อสารแบบ Ethernet ผ่านระบบสื่อสาร EGAT Operation WAN โดยเลือกช่วงเวลาของข้อมูลตามที่กำหนด

ผลการทดสอบสามารถอ่านชุดข้อมูลค่าวัดทางไฟฟ้าแบบข้อมูลค่าวัดสรุปรายเดือน ได้จำนวนข้อมูล ครบถ้วนทั้ง 14 ค่าวัด และจำนวนข้อมูลตามคาบเวลาครบถ้วนตามช่วงเวลาที่อ่าน แต่ข้อมูลค่าวัดดิบ (raw value) ที่อ่านได้ไม่ถูกต้องตรงตามหน่วย (raw unit) ตามแบบจำลองข้อมูล COSEM เนื่องจากยังไม่ได้ปรับข้อมูลให้ถูกต้องด้วยการคูณกับตัวคูณ (scaler attribute) ดังแสดงในรูปที่ 42

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

```
The device has been connected.
Begin to read Meter Time ...
Meter Time : Wednesday 14/11/2018 11:06:17:AM
Begin to read ProfileGeneric >> BillingData ...
ProfileGeneric[0.0.98.2.0.126] :
Monday 01/10/2018 12:00:00:AM | 7 | 4690523 | 1779487 | 2911036 | 0 | 0 | 0 | 1923 | Tuesday
04/09/2018 02:00:00:PM | 1477 | Tuesday 04/09/2018 09:00:00:AM | 0 | Saturday 01/01/2000
12:00:00:AM | 0 | Saturday 01/01/2000 12:00:00:AM | 904 | Tuesday 04/09/2018 01:30:00:PM | 770 |
Tuesday 04/09/2018 09:00:00:AM | 0 | Saturday 01/01/2000 12:00:00:AM | 0 | Saturday 01/01/2000
12:00:00:AM |
Saturday 01/09/2018 12:00:00:AM | 6 | 4038130 | 1532253 | 2505877 | 0 | 0 | 0 | 1507 | Tuesday
14/08/2018 09:30:00:PM | 1489 | Tuesday 14/08/2018 11:00:00:PM | 0 | Saturday 01/01/2000
12:00:00:AM | 0 | Saturday 01/01/2000 12:00:00:AM | 663 | Friday 10/08/2018 02:00:00:PM | 631 | Friday
10/08/2018 08:30:00:AM | 0 | Saturday 01/01/2000 12:00:00:AM | 0 | Saturday 01/01/2000 12:00:00:AM |
```

รูปที่ 42 ทดสอบการอ่านชุดข้อมูลแบบข้อมูลค่าวัดทางไฟฟ้าสรุปรายเดือนจากอุปกรณ์มิเตอร์

6.1.3 การทดสอบการอ่านข้อมูลจากมิเตอร์และจัดการค่าพารามิเตอร์ค่าวัดทางไฟฟ้าให้ถูกต้องสอดคล้องกับความต้องการใช้งาน

จากบทที่ 3.4 เพื่อให้ข้อมูลค่าวัดที่อ่านได้จากมิเตอร์มีความถูกต้องทั้งค่าดิบ (raw value) และหน่วยของค่าดิบ (raw unit) ต้องมีการจัดการแต่ละพารามิเตอร์สำหรับ register ของชุดข้อมูลค่าวัด (profile generic) ด้วยการอ่านคุณลักษณะตัวคูณ (scaler attribute) จากแบบจำลองข้อมูล COSEM ของแต่ละ register ค่าวัดทางไฟฟ้า ครั้งแรกสุดเพียงครั้งเดียว แล้วบันทึกลงฐานข้อมูลเพื่อเรียกใช้ได้ตลอดเวลา และจัดการตัวคูณเพื่อให้ค่าแบบแผน (norm value) และหน่วย (norm unit) มีความถูกต้องตรงกับที่รับรองจะให้บริการกับผู้ใช้งานหรือลูกค้า รูปที่ 43 แสดงตัวอย่างข้อมูลค่าวัดทางไฟฟ้ารายคาบ (profile generic: Load Profile) ที่อ่านได้จากมิเตอร์และเก็บลงในฐานข้อมูล ทั้งค่าดิบและค่าแบบแผนสำหรับให้บริการ รูปที่ 44 แสดงตัวอย่างข้อมูลค่าวัดทางไฟฟ้ารายคาบที่ให้บริการกับผู้ใช้งานและลูกค้าผ่าน MDMS Data Service

						Raw			Norm		
FCYEAR	FCPERIOD	LOCALTIME	REC...	PMCODE	PMTEXT	RAW_VALUE	RAW_UNIT	RAW_STATUS	NORM_VALUE	NORM_UNIT	NORM_ST
2018	12	01-Dec-2018 12:15:00 AM	0	2110	EA+	47855450000	Wh	0	47855450	kWh	0
2018	12	01-Dec-2018 12:15:00 AM	0	2120	EA-	0	Wh	0	0	kWh	0
2018	12	01-Dec-2018 12:15:00 AM	0	2210	ER+	37257400000	varh	0	37257400	kvarh	0
2018	12	01-Dec-2018 12:15:00 AM	0	2220	ER-	0	varh	0	0	kvarh	0
2018	12	01-Dec-2018 12:15:00 AM	0	2310	DA+	32230000	W	0	32230	kW	0
2018	12	01-Dec-2018 12:15:00 AM	0	2320	DA-	0	W	0	0	kW	0
2018	12	01-Dec-2018 12:15:00 AM	0	2410	DR+	23750000	var	0	23750	kvar	0
2018	12	01-Dec-2018 12:15:00 AM	0	2420	DR-	0	var	0	0	kvar	0
2018	12	01-Dec-2018 12:15:00 AM	0	2501	V1	113.6	V	0	113.6	V	0
2018	12	01-Dec-2018 12:15:00 AM	0	2502	V2	114.3	V	0	114.3	V	0
2018	12	01-Dec-2018 12:15:00 AM	0	2503	V3	113.1	V	0	113.1	V	0
2018	12	01-Dec-2018 12:15:00 AM	0	2601	I1	.982	A	0	.982	A	0
2018	12	01-Dec-2018 12:15:00 AM	0	2602	I2	1.002	A	0	1.002	A	0
2018	12	01-Dec-2018 12:15:00 AM	0	2603	I3	.961	A	0	.961	A	0

รูปที่ 43 ตัวอย่างค่าวัดทางไฟฟ้ารายคาบที่ถูกเก็บบันทึกลงในฐานข้อมูล

LOCALTIME	EA+	EA-	ER+	ER-	DA+	DA-	DR+	DR-	V1	V2	V3	I1	I2	I3
01-Dec-2018 12:15:00 AM	47855450	0	37257400	0	32230	0	23750	0	113.6	114.3	113.1	.982	1.002	.961
01-Dec-2018 12:30:00 AM	47862710	0	37262800	0	29050	0	21590	0	113.4	114.1	113	.89	.909	.87
01-Dec-2018 12:45:00 AM	47869800	0	37268040	0	28340	0	20940	0	113.1	113.8	112.7	.873	.891	.853
01-Dec-2018 01:00:00 AM	47877080	0	37273370	0	29130	0	21330	0	113	113.7	112.5	.885	.904	.866
01-Dec-2018 01:15:00 AM	47884510	0	37278770	0	29730	0	21620	0	113	113.7	112.6	.901	.921	.882
01-Dec-2018 01:30:00 AM	47892040	0	37284190	0	30100	0	21660	0	112.8	113.4	112.3	.912	.931	.893
01-Dec-2018 01:45:00 AM	47899570	0	37289610	0	30120	0	21680	0	112.8	113.5	112.4	.913	.931	.893
01-Dec-2018 02:00:00 AM	47907060	0	37295040	0	29970	0	21750	0	112.6	113.3	112.2	.912	.931	.893
01-Dec-2018 02:15:00 AM	47914390	0	37300400	0	29300	0	21430	0	112.5	113.2	112.1	.898	.919	.882
01-Dec-2018 02:30:00 AM	47921790	0	37305800	0	29610	0	21590	0	112.4	113	112	.902	.923	.885
01-Dec-2018 02:45:00 AM	47929280	0	37311270	0	29950	0	21880	0	112.5	113.2	112.1	.915	.936	.897
01-Dec-2018 03:00:00 AM	47936810	0	37316780	0	30130	0	22040	0	112.6	113.2	112.2	.918	.94	.901
01-Dec-2018 03:15:00 AM	47944350	0	37322310	0	30180	0	22100	0	112.8	113.4	112.4	.918	.939	.9
01-Dec-2018 03:30:00 AM	47951800	0	37327820	0	29760	0	22070	0	113	113.6	112.5	.911	.932	.894
01-Dec-2018 03:45:00 AM	47959180	0	37333340	0	29550	0	22070	0	113	113.6	112.6	.905	.926	.888
01-Dec-2018 04:00:00 AM	47966610	0	37338840	0	29710	0	21990	0	112.9	113.6	112.5	.908	.93	.891
01-Dec-2018 04:15:00 AM	47974060	0	37344320	0	29790	0	21940	0	112.9	113.6	112.5	.906	.928	.889
01-Dec-2018 04:30:00 AM	47981460	0	37349790	0	29620	0	21850	0	112.7	113.4	112.3	.904	.927	.887
01-Dec-2018 04:45:00 AM	47988820	0	37355230	0	29410	0	21800	0	112.6	113.3	112.2	.901	.924	.883
01-Dec-2018 05:00:00 AM	47996140	0	37360650	0	29300	0	21650	0	112.4	113.1	112	.899	.922	.88
01-Dec-2018 05:15:00 AM	48003520	0	37366000	0	29540	0	21410	0	112	112.7	111.6	.902	.926	.882

รูปที่ 44 ตัวอย่างข้อมูลค่าวัดทางไฟฟ้ารายคาบที่ให้บริการ

รูปที่ 45 แสดงตัวอย่างตัวอย่างข้อมูลค่าวัดทางไฟฟ้าสรุปรายเดือน (profile generic: Monthly TOU) ที่อ่านได้จากมิเตอร์และเก็บลงในฐานข้อมูล ทั้งค่าดิบ (raw) และค่าแบบแผน (norm) สำหรับให้บริการ รูปที่ 46 แสดงตัวอย่างข้อมูลค่าวัดทางไฟฟ้าสรุปรายเดือนที่ให้บริการกับผู้ใช้งานและลูกค้าผ่าน MDMS Data Service

							Raw			Norm		
FCYEAR	FCPERIOD	LOCALTIME	RECO...	PMCODE	PMTEXT	RAW_LOCALTIME	RAW_VALUE	RAW_UNIT	RAW_...	NORM_VALUE	NORM_UNIT	NORM_STAT
2018	11	01-Dec-2018 12:00:00 AM	0	1110	EA+T0		47847390000	Wh	0	47847390	kWh	0
2018	11	01-Dec-2018 12:00:00 AM	0	1111	EA+T1		11691320000	Wh	0	11691320	kWh	0
2018	11	01-Dec-2018 12:00:00 AM	0	1112	EA+T2		36156070000	Wh	0	36156070	kWh	0
2018	11	01-Dec-2018 12:00:00 AM	0	1120	EA-T0		0	Wh	0	0	kWh	0
2018	11	01-Dec-2018 12:00:00 AM	0	1121	EA-T1		0	Wh	0	0	kWh	0
2018	11	01-Dec-2018 12:00:00 AM	0	1122	EA-T2		0	Wh	0	0	kWh	0
2018	11	01-Dec-2018 12:00:00 AM	0	3311	XDA+T1	09-Nov-2018 09:30:00 PM	24320000	W	0	24320	kW	0
2018	11	01-Dec-2018 12:00:00 AM	0	3312	XDA+T2	01-Nov-2018 05:30:00 AM	47670000	W	0	47670	kW	0
2018	11	01-Dec-2018 12:00:00 AM	0	3321	XDA-T1	01-Jan-1990 12:00:00 AM	0	W	0	0	kW	0
2018	11	01-Dec-2018 12:00:00 AM	0	3322	XDA-T2	01-Jan-1990 12:00:00 AM	0	W	0	0	kW	0
2018	11	01-Dec-2018 12:00:00 AM	0	3411	XDR+T1	29-Nov-2018 03:00:00 PM	20990000	var	0	20990	kvar	0
2018	11	01-Dec-2018 12:00:00 AM	0	3412	XDR+T2	01-Nov-2018 05:30:00 AM	32420000	var	0	32420	kvar	0
2018	11	01-Dec-2018 12:00:00 AM	0	3421	XDR-T1	01-Jan-1990 12:00:00 AM	0	var	0	0	kvar	0
2018	11	01-Dec-2018 12:00:00 AM	0	3422	XDR-T2	01-Jan-1990 12:00:00 AM	0	var	0	0	kvar	0

รูปที่ 45 ตัวอย่างค่าวัดทางไฟฟ้าสรุปรายเดือนที่ถูกเก็บบันทึกลงในฐานข้อมูล

FCYEAR	FCPERIOD	LOCALTIME	EA+T0	EA+T1	EA+T2	EA-T0	EA-T1	EA-T2
2018	11	01-Dec-2018 12:00:00 AM	47847390	11691320	36156070	0	0	0
2018	10	01-Nov-2018 12:00:00 AM	28519210	6827420	21691790	0	0	0

XDA+T1	TIME_XDA+T1	XDA+T2	TIME_XDA+T2
24320	09-Nov-2018 09:30:00 PM	47670	01-Nov-2018 05:30:00 AM
24730	29-Oct-2018 10:00:00 PM	49840	04-Oct-2018 04:15:00 AM

XDA-T1	TIME_XDA-T1	XDA-T2	TIME_XDA-T2
0	01-Jan-1990 12:00:00 AM	0	01-Jan-1990 12:00:00 AM
0	01-Jan-1990 12:00:00 AM	0	01-Jan-1990 12:00:00 AM

XDR+T1	TIME_XDR+T1	XDR+T2	TIME_XDR+T2
20990	29-Nov-2018 03:00:00 PM	32420	01-Nov-2018 05:30:00 AM
22290	18-Oct-2018 09:45:00 AM	33250	04-Oct-2018 04:30:00 AM

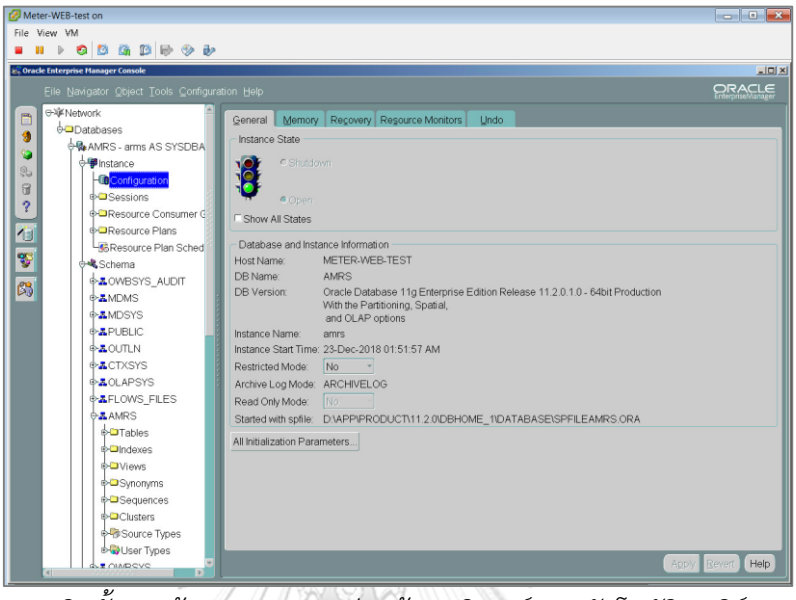
XDR-T1	TIME_XDR-T1	XDR-T2	TIME_XDR-T2
0	01-Jan-1990 12:00:00 AM	0	01-Jan-1990 12:00:00 AM
0	01-Jan-1990 12:00:00 AM	0	01-Jan-1990 12:00:00 AM

รูปที่ 46 ตัวอย่างข้อมูลค่าวัดทางไฟฟ้าสรุปรายเดือนที่ให้บริการ

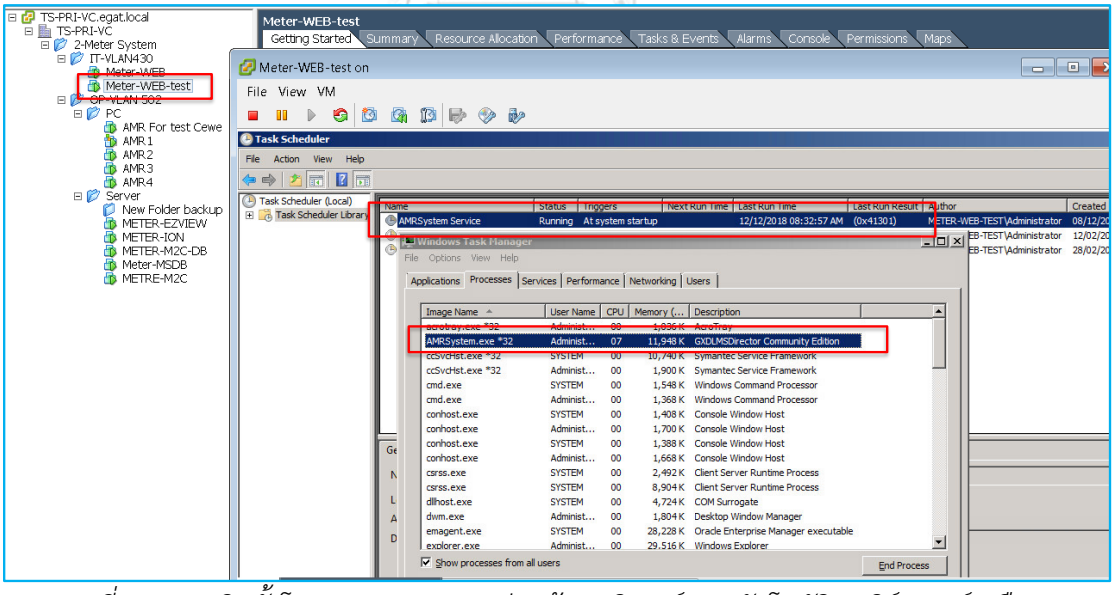
6.1.4 การทดสอบอ่านมิเตอร์และบันทึกข้อมูลลงฐานข้อมูลแบบอัตโนมัติ

ทำการติดตั้งระบบอ่านข้อมูลมิเตอร์แบบอัตโนมัติที่เซิร์ฟเวอร์เสมือน (virtual machine server) ชื่อ Meter-Web-test โดยมีระบบปฏิบัติการเป็น Window Server 2008 R2 เซิร์ฟเวอร์เสมือนนี้มีระบบสื่อสารเป็น EGAT Operation WAN ซึ่งเป็นระบบสื่อสารเดียวกันกับระบบสื่อสารของมิเตอร์ที่จุดวัดสำหรับระบบซื้อขายไฟฟ้ากับลูกค้าตรง กฟผ. โดยติดตั้งทั้งฐานข้อมูล ดังแสดงในรูปที่ 47 และติดตั้งโปรแกรมสำหรับอ่านข้อมูลมิเตอร์แบบอัตโนมัติ ให้ทำงานด้วย Windows

Application Task Scheduler โดยที่เรียกโปรแกรมให้ทำงานทุกครั้งที่เปิดเซิร์ฟเวอร์เสมือนให้ทำงาน (at system startup) ดังแสดงในรูปที่ 48



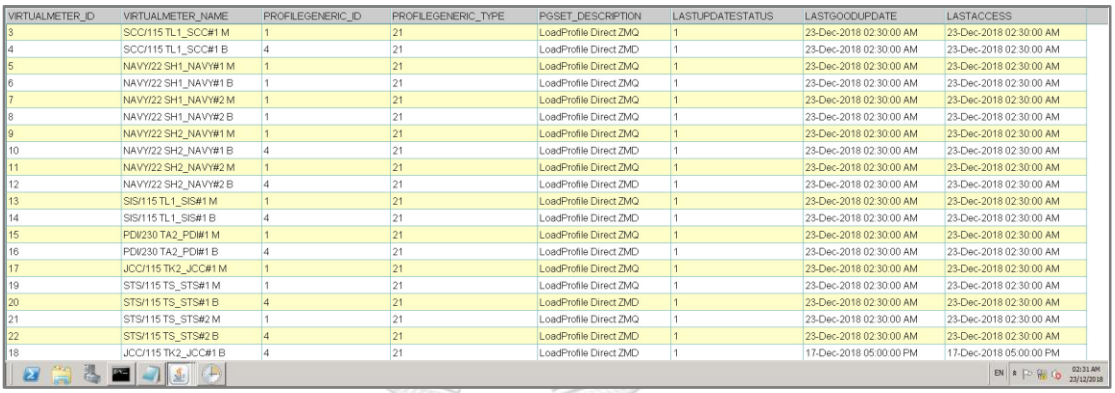
รูปที่ 47 การติดตั้งฐานข้อมูลของระบบอ่านข้อมูลมิเตอร์แบบอัตโนมัติลงเซิร์ฟเวอร์เสมือน



รูปที่ 48 การติดตั้งโปรแกรมของระบบอ่านข้อมูลมิเตอร์แบบอัตโนมัติลงเซิร์ฟเวอร์เสมือน

ผลการทำงานของระบบอ่านข้อมูลมิเตอร์แบบอัตโนมัติ สามารถอ่านข้อมูลค่าวัดได้ถูกต้องครบถ้วน ทั้งชุดข้อมูลค่าวัดทางไฟฟ้ารายคาบ และชุดข้อมูลค่าวัดพลังงานไฟฟ้าสรุปรายเดือน สามารถอ่านข้อมูลจากมิเตอร์ได้ตามกลุ่มและตามลำดับที่ออกแบบไว้ โดยที่อ่านข้อมูลจากมิเตอร์ทุก

ตัวอัตโนมัติแล้วเสร็จใช้เวลา 45 วินาที หลังจากที่มิเตอร์มีการบันทึกค่าวัดทางไฟฟ้ารายคาบลงในหน่วยความจำภายในมิเตอร์ ขึ้นอยู่กับคุณภาพของระบบสื่อสารในขณะนั้น ดังแสดงตามรูปที่ 49

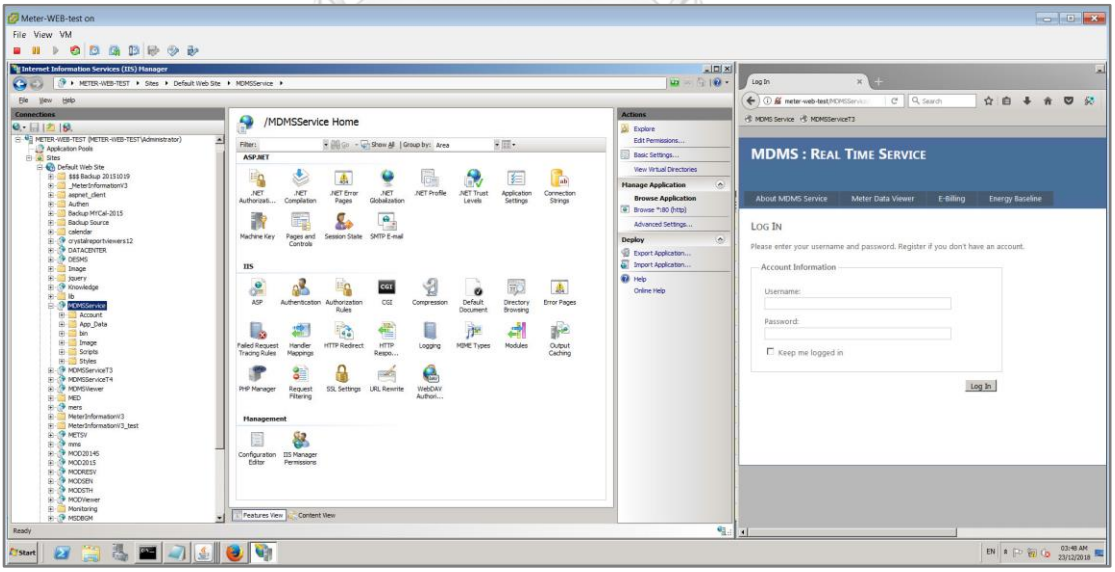


VIRTUALMETER_ID	VIRTUALMETER_NAME	PROFILEGENERIC_ID	PROFILEGENERIC_TYPE	PGSET_DESCRIPTION	LASTUPDATESTATUS	LASTGOODUPDATE	LASTACCESS
3	SCC/115 TL1_SCC#1 M	1	21	LoadProfile Direct ZMQ	1	23-Dec-2018 02:30:00 AM	23-Dec-2018 02:30:00 AM
4	SCC/115 TL1_SCC#1 B	4	21	LoadProfile Direct ZMD	1	23-Dec-2018 02:30:00 AM	23-Dec-2018 02:30:00 AM
5	NAVY/22 SH1_NAVY#1 M	1	21	LoadProfile Direct ZMQ	1	23-Dec-2018 02:30:00 AM	23-Dec-2018 02:30:00 AM
6	NAVY/22 SH1_NAVY#1 B	1	21	LoadProfile Direct ZMQ	1	23-Dec-2018 02:30:00 AM	23-Dec-2018 02:30:00 AM
7	NAVY/22 SH1_NAVY#2 M	1	21	LoadProfile Direct ZMQ	1	23-Dec-2018 02:30:00 AM	23-Dec-2018 02:30:00 AM
8	NAVY/22 SH1_NAVY#2 B	1	21	LoadProfile Direct ZMQ	1	23-Dec-2018 02:30:00 AM	23-Dec-2018 02:30:00 AM
9	NAVY/22 SH2_NAVY#1 M	1	21	LoadProfile Direct ZMQ	1	23-Dec-2018 02:30:00 AM	23-Dec-2018 02:30:00 AM
10	NAVY/22 SH2_NAVY#1 B	4	21	LoadProfile Direct ZMD	1	23-Dec-2018 02:30:00 AM	23-Dec-2018 02:30:00 AM
11	NAVY/22 SH2_NAVY#2 M	1	21	LoadProfile Direct ZMQ	1	23-Dec-2018 02:30:00 AM	23-Dec-2018 02:30:00 AM
12	NAVY/22 SH2_NAVY#2 B	4	21	LoadProfile Direct ZMD	1	23-Dec-2018 02:30:00 AM	23-Dec-2018 02:30:00 AM
13	SIS/115 TL1_SIS#1 M	1	21	LoadProfile Direct ZMQ	1	23-Dec-2018 02:30:00 AM	23-Dec-2018 02:30:00 AM
14	SIS/115 TL1_SIS#1 B	4	21	LoadProfile Direct ZMD	1	23-Dec-2018 02:30:00 AM	23-Dec-2018 02:30:00 AM
15	PDI/230 TA2_PDI#1 M	1	21	LoadProfile Direct ZMQ	1	23-Dec-2018 02:30:00 AM	23-Dec-2018 02:30:00 AM
16	PDI/230 TA2_PDI#1 B	4	21	LoadProfile Direct ZMD	1	23-Dec-2018 02:30:00 AM	23-Dec-2018 02:30:00 AM
17	JCC/115 TK2_JCC#1 M	1	21	LoadProfile Direct ZMQ	1	23-Dec-2018 02:30:00 AM	23-Dec-2018 02:30:00 AM
19	STS/115 TS_STS#1 M	1	21	LoadProfile Direct ZMQ	1	23-Dec-2018 02:30:00 AM	23-Dec-2018 02:30:00 AM
20	STS/115 TS_STS#1 B	4	21	LoadProfile Direct ZMD	1	23-Dec-2018 02:30:00 AM	23-Dec-2018 02:30:00 AM
21	STS/115 TS_STS#2 M	1	21	LoadProfile Direct ZMQ	1	23-Dec-2018 02:30:00 AM	23-Dec-2018 02:30:00 AM
22	STS/115 TS_STS#2 B	4	21	LoadProfile Direct ZMD	1	23-Dec-2018 02:30:00 AM	23-Dec-2018 02:30:00 AM
18	JCC/115 TK2_JCC#1 B	4	21	LoadProfile Direct ZMD	1	17-Dec-2018 05:00:00 PM	17-Dec-2018 05:00:00 PM

รูปที่ 49 ผลการทำงานของระบบอ่านข้อมูลมิเตอร์แบบอัตโนมัติที่ติดตั้งใช้งานจริงในระบบ กฟผ.

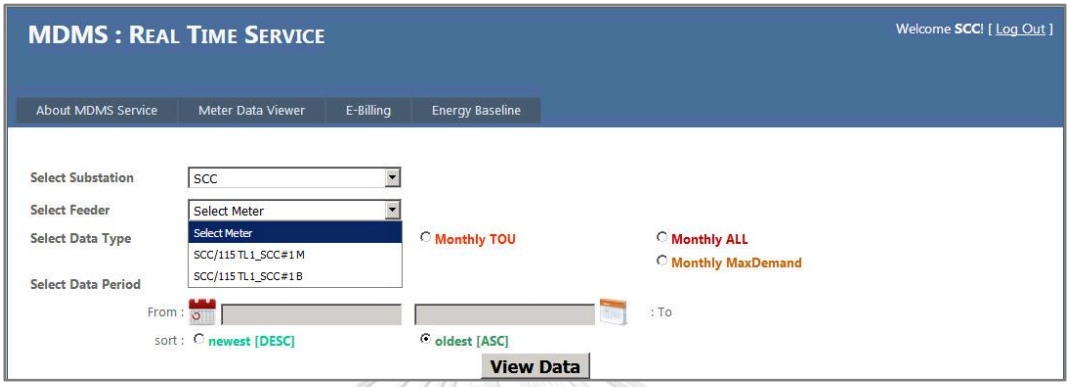
6.1.5 การทดสอบแสดงผลข้อมูลค่าวัดที่อ่านจากมิเตอร์ผ่าน Web Application

ติดตั้ง MDMS Service: Meter Data Viewer web application ที่เซิร์ฟเวอร์เสมือน Meter-Web-test สำหรับให้บริการข้อมูลค่าวัดทางไฟฟ้าที่อ่านได้จากมิเตอร์แบบเวลาจริง เพื่อให้กับผู้ใช้งานสามารถเรียกดูข้อมูลได้ตลอดเวลาผ่าน web browser ดังแสดงในรูปที่ 50

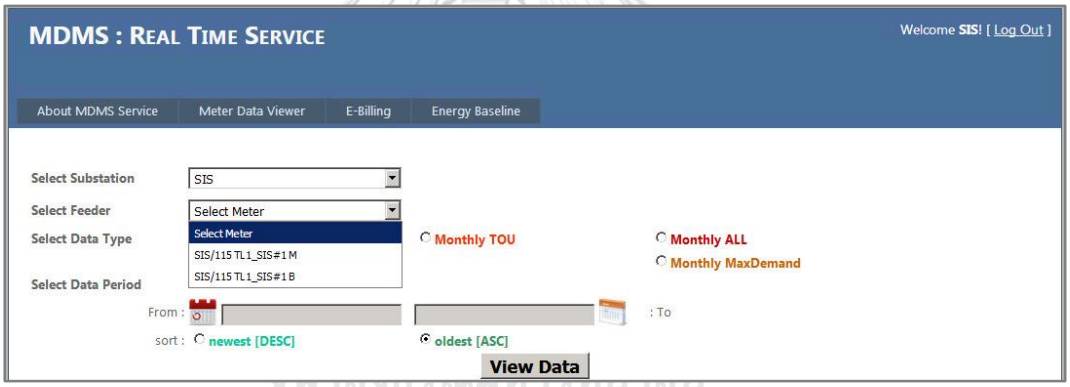


รูปที่ 50 การติดตั้ง web application ที่เซิร์ฟเวอร์เสมือน สำหรับเป็น MDMS Service เพื่อให้บริการข้อมูลค่าวัดทางไฟฟ้าที่อ่านได้จากมิเตอร์แบบเวลาจริง

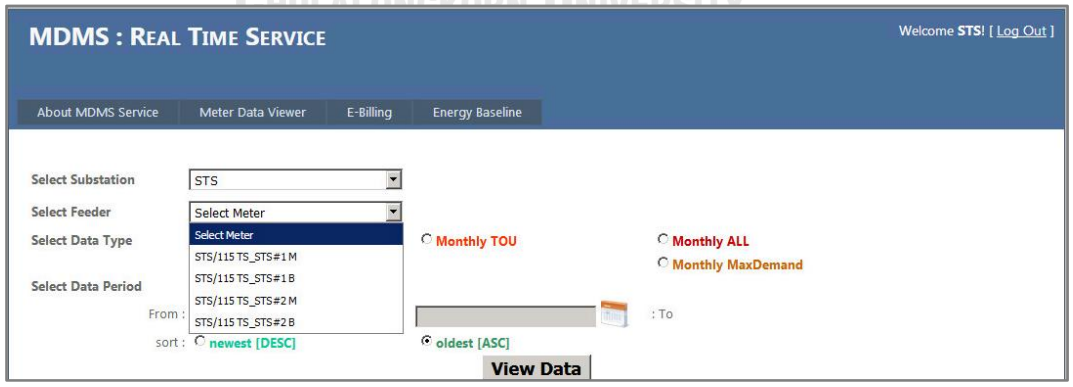
ผลการทำงานของ MDMS Service: Meter Data viewer web application สำหรับให้บริการข้อมูลค่าวัดที่อ่านได้จากมิเตอร์ สามารถจำกัดสิทธิ์การเข้าถึงข้อมูลเฉพาะที่ผู้ใช้งาน (user) ได้รับสิทธิ์ตามที่กำหนด ทำงานได้ถูกต้องตามที่ออกแบบไว้ ดังแสดงตามรูปที่ 51 (a), (b), (c) และ (d) แสดงตัวอย่างที่ผู้ใช้งานแต่ละรายเข้าถึงเฉพาะข้อมูลของตนเองด้วย web browser



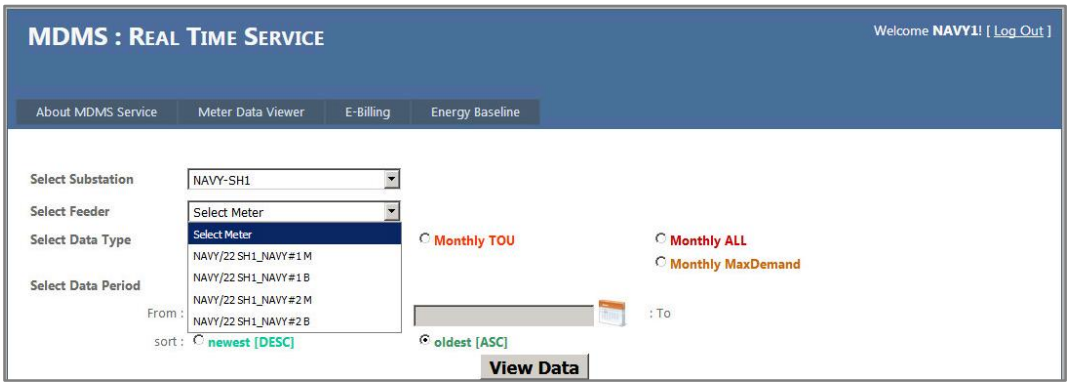
(a)



(b)



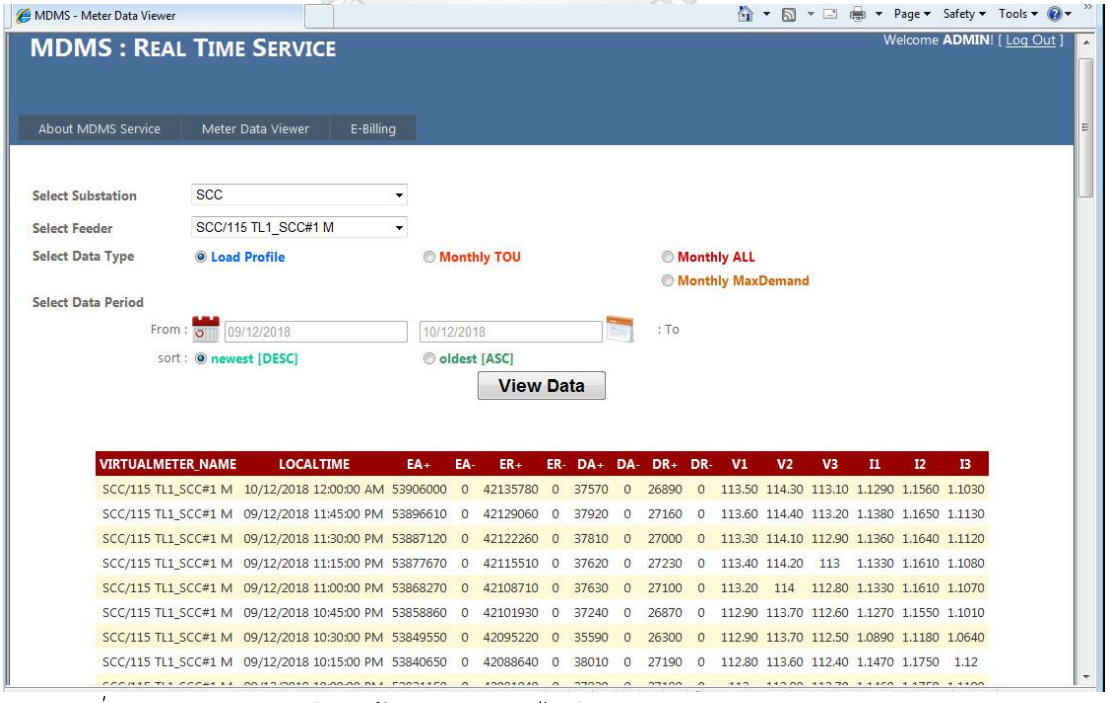
(c)



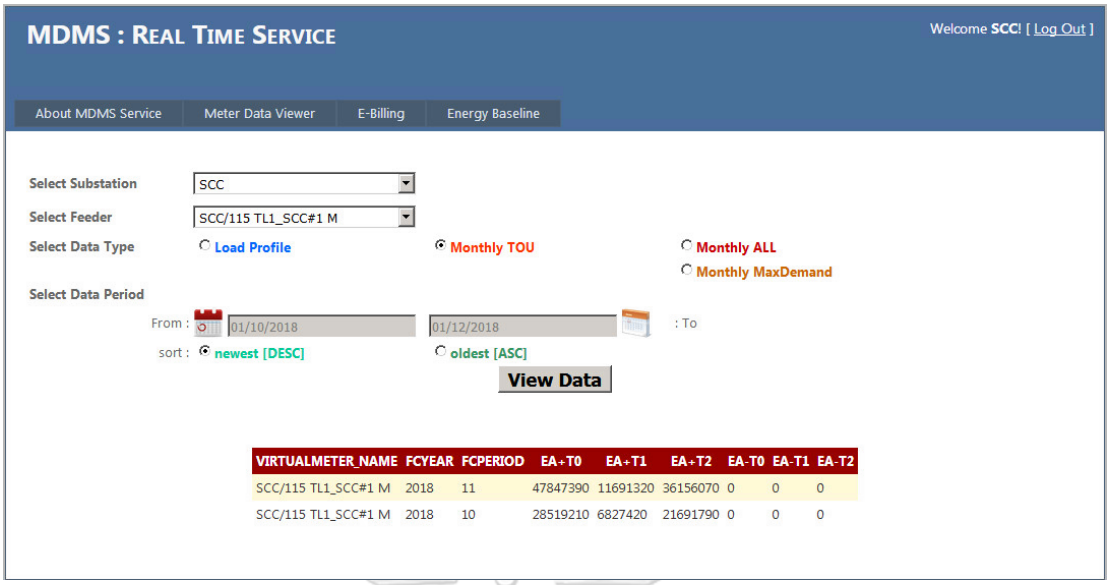
(d)

รูปที่ 51 ตัวอย่างการเข้าถึงข้อมูลของผู้ใช้งานผ่าน MDMS Service web application

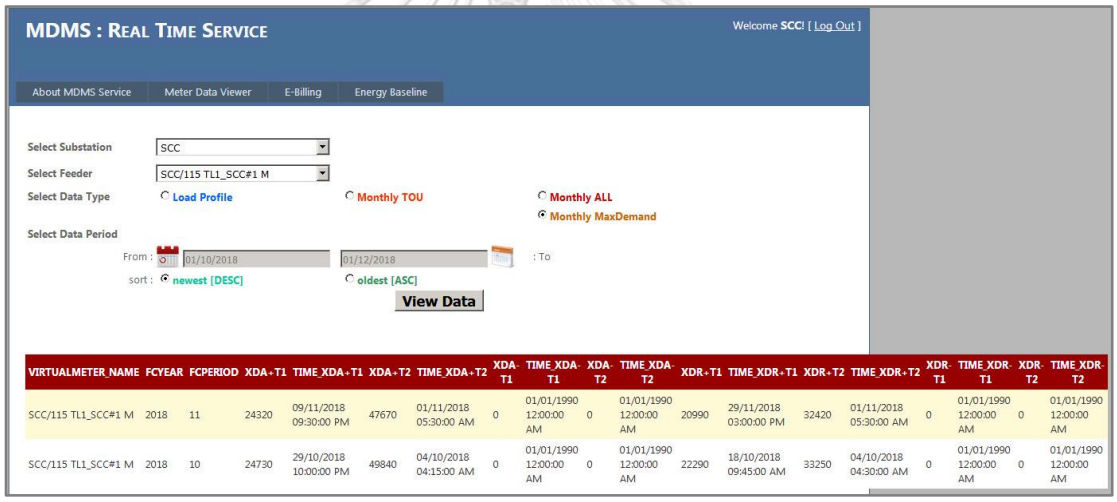
ผู้ใช้งาน (user) หรือลูกค้าสามารถเข้าถึงข้อมูลค่าวัดทางไฟฟ้าตามที่ตนได้รับสิทธิ์ ทันทีที่ระบบอ่านข้อมูลมิเตอร์แบบอัตโนมัติอ่านข้อมูลจากมิเตอร์เสร็จ ผ่าน MDMS Service: Meter Data Viewer web application ด้วย web browser ได้ตามความต้องการ รูปที่ 52 แสดงตัวอย่างการดูข้อมูลค่าวัดทางไฟฟ้ารายคาบ (Load Profile) รูปที่ 53 (a) แสดงตัวอย่างการเรียกดูข้อมูลค่าวัดทางไฟฟ้าสรุปรายเดือนโดยเลือกดูเฉพาะค่าพลังงานไฟฟ้าแยกตามช่วงเวลาการใช้งาน (Monthly TOU) และรูปที่ 53 (b) แสดงตัวอย่างการเรียกดูข้อมูลค่าวัดทางไฟฟ้าสรุปรายเดือนโดยเลือกดูเฉพาะค่าความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดแยกตามช่วงเวลาการใช้งาน (Monthly MaxDemand)



รูปที่ 52 ตัวอย่างการเรียกดูข้อมูลค่าวัดทางไฟฟ้ารายคาบ ผ่าน MDMS web application



(a) ข้อมูลค่าพลังงานไฟฟ้าสรุปรายเดือนแยกตามช่วงเวลาการใช้งาน (Monthly TOU)



(b) ข้อมูลค่าความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดแยกตามช่วงเวลาการใช้งาน (Monthly MaxDemand)

รูปที่ 53 ตัวอย่างการเรียกดูข้อมูลค่าวัดทางไฟฟ้าสรุปรายเดือน ผ่าน MDMS web application ที่ให้บริการข้อมูลค่าวัดที่อ่านได้จากมิเตอร์แบบเวลาจริง

6.2 การทดสอบโปรแกรมจัดทำใบแจ้งค่าไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์แบบเวลาจริง

ทำการติดตั้ง Real Time e-Billing web application ร่วมกับ Meter Data Viewer web application โดยรวมเป็น MDMS Service ที่เซิร์ฟเวอร์เสมือน Meter-Web-test โดย MDMS Service: Real Time e-Billing web application ทำหน้าที่ให้บริการดูค่าพลังงานไฟฟ้าที่คำนวณสำหรับจัดทำใบแจ้งค่าไฟฟ้าแบบเวลาจริง และพิมพ์ใบแจ้งค่าไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์ เป็น PDF file ดังนั้นนอกจากฐานข้อมูล, โปรแกรมคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าและคำนวณค่าไฟฟ้า แล้วยังต้องมีคอมพิวเตอร์สำหรับทำหน้าที่เป็น web server เนื่องจากทรัพยากรที่จำกัด และข้อจำกัดด้วนความปลอดภัยของ กฟผ. ในการทดสอบจึงต้องติดตั้ง Real Time e-Billing web application ที่เดียวกับ MDMS Service

6.2.1 การทดสอบการคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าและค่าไฟฟ้าแบบเวลาจริง

โปรแกรมคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าและค่าไฟฟ้าถูกติดตั้งให้ทำงานร่วมกับโปรแกรมอ่านข้อมูลมิเตอร์แบบอัตโนมัติ โดยทำงานทันทีเมื่อโปรแกรมอ่านข้อมูลมิเตอร์แบบอัตโนมัติทำงานเสร็จทุกครั้ง ทำการคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าและค่าไฟฟ้าโดยใช้ข้อมูลค่าวัดทางไฟฟ้ารายคาบจากระบบอ่านข้อมูลมิเตอร์ เฉพาะมิเตอร์ที่จะใช้คำนวณค่าไฟฟ้าด้วยอัตราต่างๆตามสัญญาขายไฟฟ้าของลูกค้าตรงแต่ละราย จะแล้วเสร็จโดยใช้เวลารวม 45 วินาที ขึ้นอยู่กับคุณภาพสัญญาณสื่อสารในเวลาที่อ่านขอมูลจากมิเตอร์ หลังจากที่มิเตอร์มีการบันทึกค่าวัดทางไฟฟ้ารายคาบลงในหน่วยความจำภายในมิเตอร์

ผลการคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าแบบเวลาจริง สำหรับใช้จัดทำใบแจ้งค่าไฟฟ้า โดยใช้ค่าวัดทางไฟฟ้ารายคาบจาก AMR System สามารถคำนวณได้ถูกต้องดังแสดงในรูปที่ 54

VIRTUALMETER_ID	FCYEAR	FCPERIOD	LOCALTIME	BILLINGSTA...	CENERGY_T0	CENERGY_T1	CENERGY_T2	XDEMAND_T1	XDEMAND_T2	LOADAVERAGE	LOADFACTOR	XDEMAND_T1TIME	XDEMAND_T2TIME
3	2018	12	23-Dec-2018 03:30:00 PM	1	59997910	11839670	48158240	24640	40530	110493.389	110493.389	04-Dec-2018 10:00:00 PM	04-Dec-2018 11:45:00 PM
5	2018	12	23-Dec-2018 03:30:00 PM	1	21038390	8203450	12834940	32270	19730	38744.733	38744.733	12-Dec-2018 03:45:00 PM	23-Dec-2018 01:45:00 PM
7	2018	12	23-Dec-2018 03:30:00 PM	1	38473940	13198450	25275490	26090	25700	70854.401	70854.401	17-Dec-2018 02:15:00 PM	16-Dec-2018 03:15:00 PM
9	2018	12	23-Dec-2018 03:30:00 PM	1	35990620	12841990	23148630	21450	20120	66281.068	66281.068	06-Dec-2018 09:00:00 PM	22-Dec-2018 08:45:00 PM
11	2018	12	23-Dec-2018 03:30:00 PM	1	29576480	11037990	18538490	21570	19120	54468.656	54468.656	06-Dec-2018 02:30:00 PM	07-Dec-2018 09:00:00 AM
13	2018	12	23-Dec-2018 03:30:00 PM	1	41709850	2122640	39587210	7350	42080	76813.72	76813.72	11-Dec-2018 09:30:00 AM	08-Dec-2018 06:30:00 PM
15	2018	12	23-Dec-2018 03:30:00 PM	1	350710	102100	248610	190	340	645.875	645.875	21-Dec-2018 02:30:00 PM	05-Dec-2018 12:00:00 PM
17	2018	12	23-Dec-2018 03:30:00 PM	1	6925530	1217300	5708230	4710	6160	12754.199	12754.199	21-Dec-2018 06:15:00 PM	20-Dec-2018 10:30:00 PM
19	2018	12	23-Dec-2018 03:30:00 PM	1	0	0	0	0	0	0	0	21-Dec-2018 10:00:00 PM	23-Dec-2018 03:30:00 PM
21	2018	12	23-Dec-2018 03:30:00 PM	1	61498820	13286560	48212260	29490	50020	113257.495	113257.495	07-Dec-2018 01:30:00 PM	14-Dec-2018 08:45:00 AM

รูปที่ 54 ผลการคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าสำหรับจัดทำใบแจ้งค่าไฟฟ้าแบบเวลาจริง

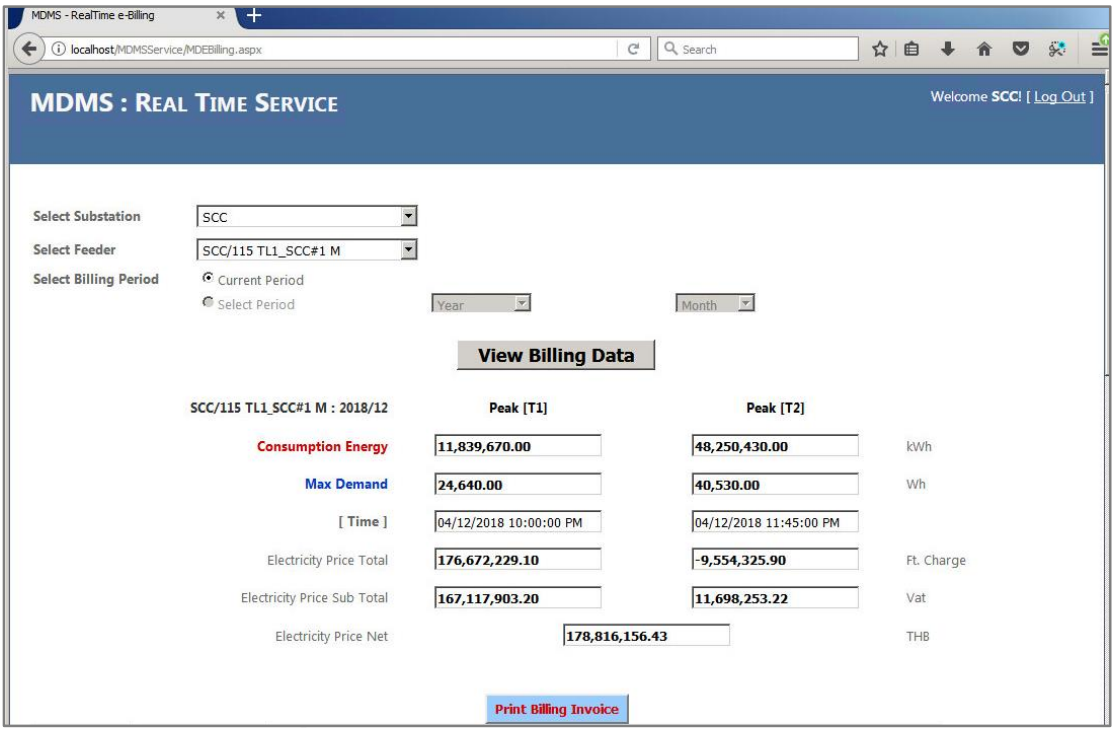
ผลการคำนวณค่าไฟฟ้าสำหรับจัดทำใบแจ้งค่าไฟฟ้าแบบเวลาจริง สามารถคำนวณได้ถูกต้องตามอัตราต่างๆของสัญญาขายไฟฟ้าแต่ละฉบับ ดังแสดงในรูปที่ 55

VIRTUALMETER_ID	FCYEAR	FCPERIOD	INVOI...	GENERATING_T1	GENERATING_T2	TRAN...	TRAN...	DISTRIBUTIONSERV	DIST...	MONTHLYSERVICE	MONT...	TOTAL	FTCHARGE	VATCHARGE	NETTOTAL
3	2018	12	1	48877709.66	125726717.17	0	0	1826809.6	0	312.24	0	176431548.67	-9539667.69	11682431.67	178574312.65
5	2018	12	1	34534063.47	33749474.73	0	0	4289651.1	0	312.24	0	72573501.54	-3345104.01	4845987.83	74074385.35
7	2018	12	1	55561514.97	66461900.96	0	0	3468143.7	0	312.24	0	125491871.86	-6117356.46	8356216.08	127730731.48
9	2018	12	1	54060925.3	60869322.59	0	0	2851348.5	0	312.24	0	117781908.63	-5722508.58	7844158	119903558.05
11	2018	12	1	46466626.5	48746959.46	0	0	2867300.1	0	312.24	0	98081198.3	-4702660.32	6536497.66	99915035.64
13	2018	12	1	8762894.71	103350329.15	0	0	544929	0	312.24	0	112658465.1	-6631866.15	7421861.93	113448460.88
15	2018	12	1	421499.43	649046.13	0	0	14086.6	0	312.24	0	1084944.4	-55762.89	72042.71	1101224.21
17	2018	12	1	5025379.59	14902476.06	0	0	349199.4	0	312.24	0	20277367.29	-1101159.27	1342334.56	20518542.58
19	2018	12	1	0	0	0	0	0	0	312.24	0	312.24	0	21.86	334.1
21	2018	12	1	54850905.65	125867747.18	0	0	2186388.6	0	312.24	0	182905353.67	-9778312.38	12118892.89	185245934.18

รูปที่ 55 ผลการคำนวณค่าไฟฟ้าสำหรับจัดทำใบแจ้งค่าไฟฟ้าแบบเวลาจริง

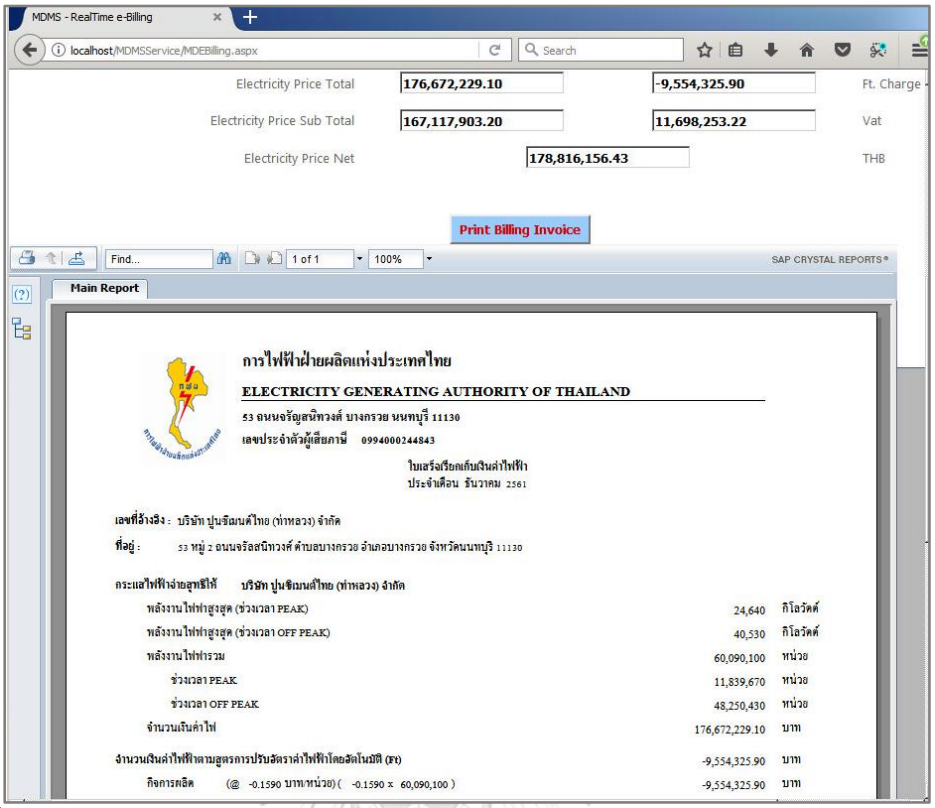
6.2.2 การทดสอบโปรแกรมจัดทำใบแจ้งค่าไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์แบบเวลาจริง

ดำเนินการทดสอบหลังจากติดตั้ง Real Time e-Billing web application ที่ web server ผลการทดสอบผู้ใช้งาน (user) สามารถเข้าถึงข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉพาะของตนเองผ่าน web browser ได้ตามที่ต้องการ ซึ่งข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้ามีความถูกต้องทันสมัยแบบเวลาจริงและข้อมูลค่าไฟฟ้ามีความถูกต้องตรงกับอัตราค่าไฟต่างๆตามแต่ละสัญญาซื้อขายไฟฟ้า โดยการกด “View Billing Data” ดังแสดงในรูปที่ 56

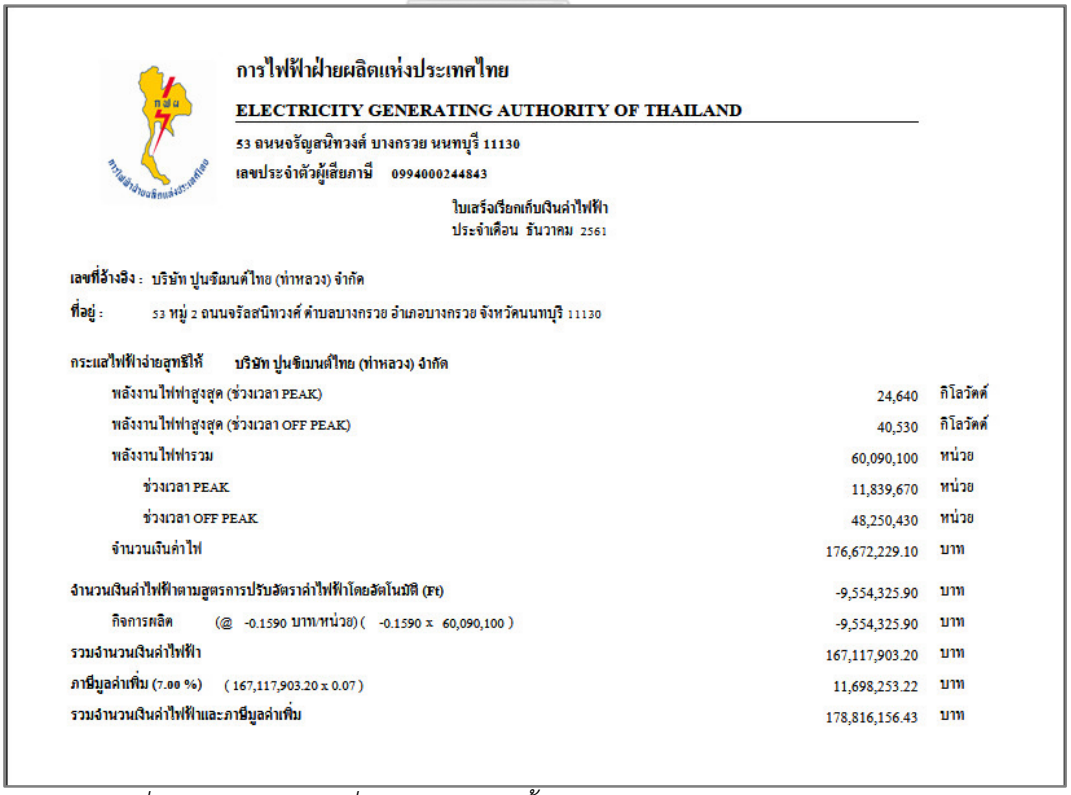


รูปที่ 56 การใช้งาน real time e-billing web application
สำหรับเรียกดูข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้า, ค่าไฟฟ้าตามสัญญาซื้อขายไฟฟ้า และพิมพ์ใบแจ้งค่าไฟฟ้า

ผู้ใช้งานสามารถเรียกดูใบแจ้งค่าไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ที่ได้รับสิทธิ์ ผ่าน Real Time e-Billing web application ได้ตามความต้องการ โดยการกด “Print Billing Invoice” ดังแสดงในรูปที่ 57 และรูปที่ 58 แสดงใบแจ้งค่าไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ PDF File เมื่อสั่งพิมพ์จาก Real Time e-Billing web application



รูปที่ 57 การใช้ real time e-billing web application เรียกดูใบแจ้งค่าไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์



รูปที่ 58 ตัวอย่างการสั่งพิมพ์ใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์รูปแบบ PDF file

6.3 การทดสอบการคำนวณพลังงานไฟฟ้าฐานประเภทโหลดอุตสาหกรรม

[31]

6.3.1 การคำนวณ Baseline

กำหนดตัวแปรที่จะใช้ในแบบจำลอง

y_t แทน ความต้องการใช้พลังไฟฟ้ารายคาบ (demand) ทุก 15 นาที หน่วย kW

x_t แทน คาบ หรือเวลาทุก 15 นาที ใน 24 ชั่วโมง ดังนั้น x_t มีค่าตั้งแต่ 1 ถึง 96

T_1 แทน อัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลา เป็นอัตราการใช้ไฟฟ้าสูง
หรือ On Peak : ตั้งแต่วันจันทร์-วันศุกร์ เวลา 09.00-22.00 น.

T_2 แทน อัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลา เป็นอัตราการใช้ไฟฟ้าต่ำ
หรือ Off Peak : ตั้งแต่วันจันทร์-วันศุกร์ เวลา 22.00-09.00 น.
วันเสาร์-อาทิตย์ และวันหยุดราชการทั้งวัน (ไม่รวมวันหยุดชดเชย)

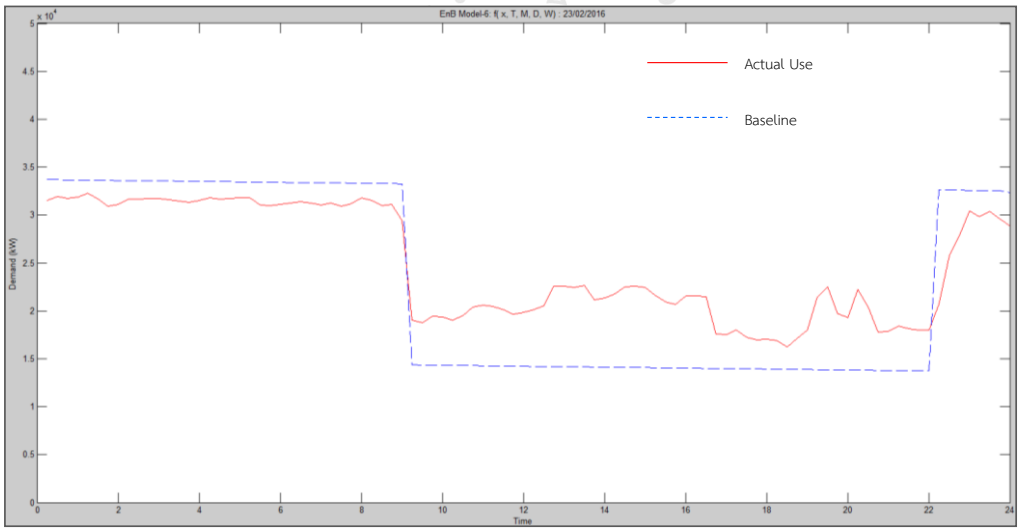
W_1 แทน วันทำงาน

W_2 แทน วันเสาร์-อาทิตย์ และวันหยุดราชการ

D_n แทน วันในสัปดาห์; D1=วันจันทร์, ..., D7=วันอาทิตย์

แบบจำลอง R_1 : ใช้วิธีคำนวณแบบ Multivariable Linear Regression Analysis method

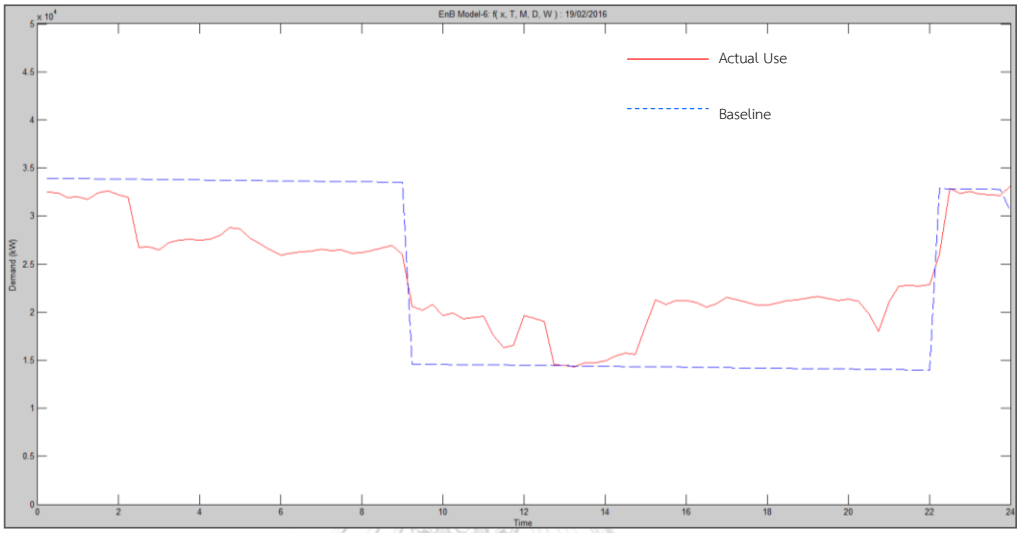
R_1 : $$y_t = \beta_0 + \beta_1 x_t + \beta_2 T_1 + \beta_3 T_2 + \beta_4 W_1 + \beta_5 W_2 \quad (9)$$



รูปที่ 59 ตัวอย่าง Baseline R_1

แบบจำลอง R_2 : ใช้วิธีคำนวณแบบ Multivariable Linear Regression Analysis method แต่พิจารณาเฉพาะวันที่มีอัตราการใช้ไฟฟ้าสูง (On Peak)

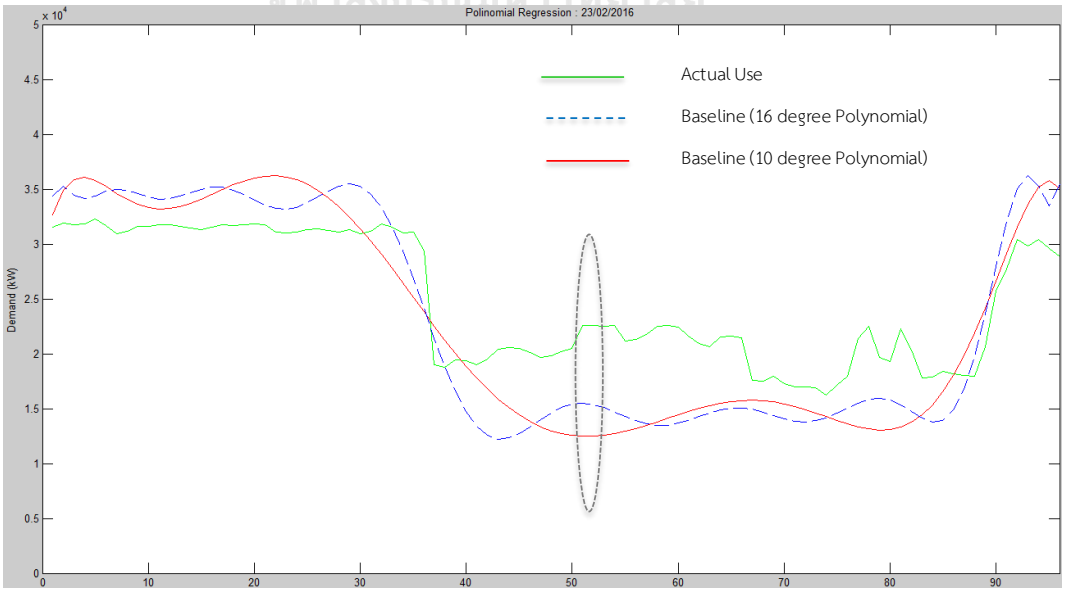
R_2 : $$y_t = (\beta_0 + \beta_1 x_t + \beta_2 T_1 + \beta_3 T_2 + \beta_4 D_1 + \cdots + \beta_{10} D_7) * W_1 \quad (10)$$



รูปที่ 60 ตัวอย่าง Baseline R_2

แบบจำลอง P_1 : ใช้วิธีคำนวณแบบ Polynimial Regression Analysis method มีดีกรี 10 และพิจารณาเฉพาะวันที่มีอัตราการใช้ไฟฟ้าสูง (On Peak)

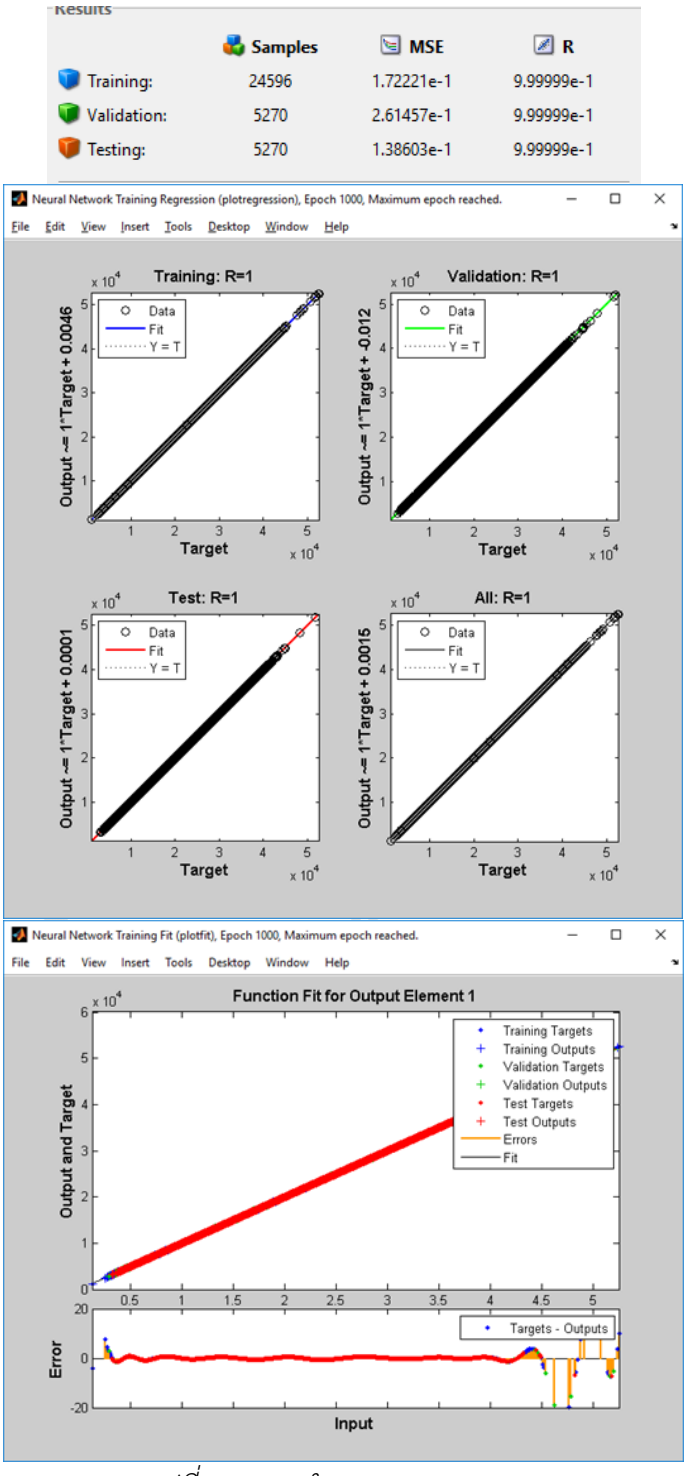
P_1 : $$y_t = (\gamma_0 + \gamma_1 x_t + \gamma_2 {x_t}^2 + \gamma_3 {x_t}^3 + \cdots + \gamma_{10} {x_t}^{10}) * W_1 \quad (11)$$



รูปที่ 61 ตัวอย่าง Baseline P_1

แบบจำลอง N_1 : ใช้วิธีคำนวณแบบ Neural Networks using Levenberg-Marquardt algorithm InputLayer = $\{x_t, T_1, T_2, W_1, W_2\}$, OutputLayer = $\{y_t\}$ โดยที่มี HiddenNeuron = 10

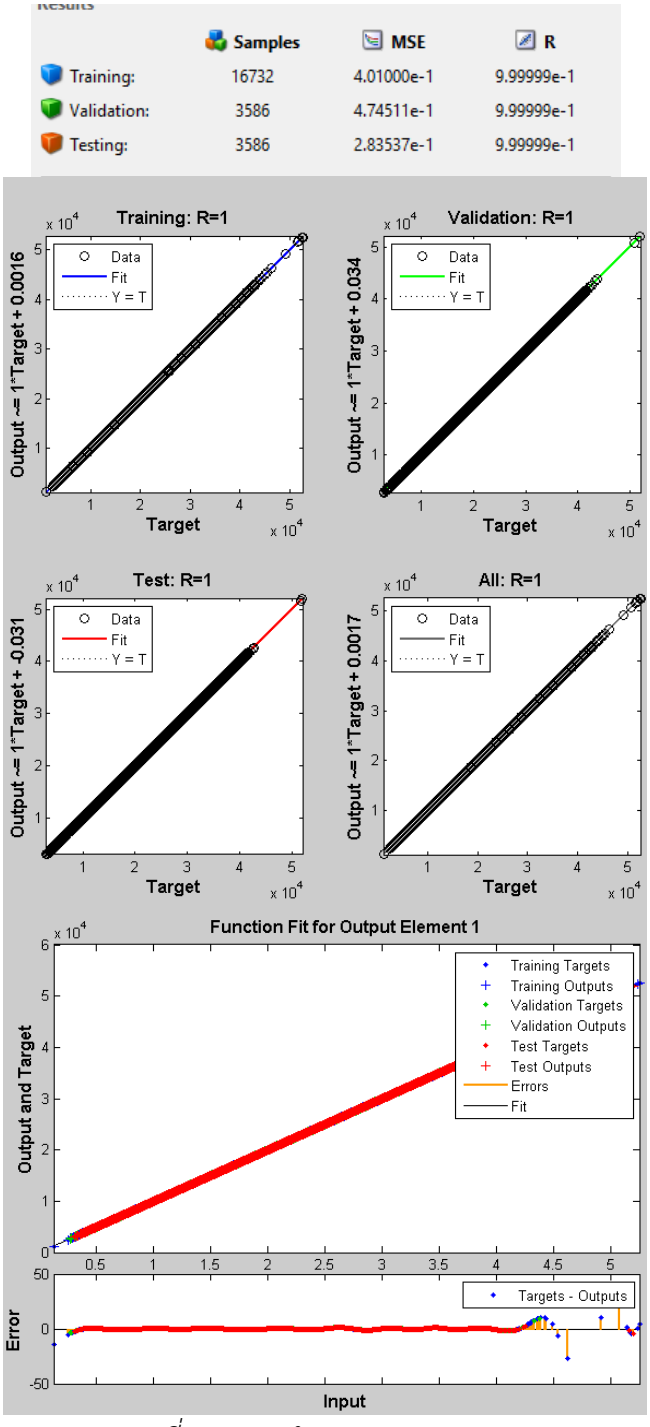
N_1 :
$$y_t = N_{(10)}\{x_t,\ T_1,\ T_2,\ W_1,\ W_2\} \tag{12}$$



รูปที่ 62 การคำนวณ Baseline N_1

แบบจำลอง N_2 : ใช้วิธีคำนวณแบบ Neural Networks using Levenberg-Marquardt algorithm InputLayer = {x_t, T_1, T_2, D_1, ..., D_7} พิจารณาเฉพาะวันที่มีอัตราการใช้ไฟฟ้าสูง (On Peak) โดยที่มี HiddenNeuron = 10

N_2 :
$$y_t = N_{(10)}\{(x_t,\ T_1,\ T_2,\ D_1, \dots,\ D_7) * W_1\} \quad (13)$$



รูปที่ 63 การคำนวณ Baseline N_2

6.3.2 เปรียบเทียบแบบจำลอง Baseline

ตารางที่ 7 เปรียบเทียบความแม่นยำของแบบจำลอง

Model	R^2
R_1	0.7858
R_2	0.7913
P_1	0.7466
N_1	0.9999
N_2	0.9999

จากตารางที่ 7 สามารถสรุปได้ว่า การคำนวณ Baseline ด้วยวิธีการ Neural Networks using Levenberg-Marquardt algorithm ให้ความถูกต้องแม่นยำสูงที่สุด วิธีการ Multivariable Linear Regression Analysis ยังให้ความถูกต้องแม่นยำสูง แต่วิธีการ Polynomial Regression Analysis ให้ความถูกต้องแม่นยำต่ำที่สุดในสามวิธี และอัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาที่เป็นอัตราการใช้ไฟฟ้าสูง (On Peak) มีผลต่อการใช้ไฟฟ้าของโหลดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่

ตารางที่ 8 เปรียบเทียบวิธีการคำนวณ Baseline กับคุณสมบัติที่จำเป็นของ Baseline

Methodology วิธีการคำนวณ	Accuracy ความถูกต้องแม่นยำ	Intrgrity ความเที่ยงตรง	Simplicity ง่ายต่อการคำนวณ
Regression	กลาง	สูง	สูง
Polynomial	ต่ำ	ต่ำ	กลาง
Neural Network	สูง	สูง	ต่ำ

จากตารางที่ 8 สามารถสรุปได้ว่า แม้ว่าการคำนวณ Baseline ด้วยวิธีการ Neural Networks ให้ความถูกต้องแม่นยำสูงที่สุด แต่มีการคำนวณที่ซับซ้อนมากที่สุด ซึ่งไม่ตรงกับคุณสมบัติของ Baseline อาจจะไม่เหมาะต่อการนำไปใช้งานกับผู้เข้าร่วมมาตรการตอบสนองด้านโหลดรายย่อยที่ไม่มีเครื่องมือในการคำนวณที่ซับซ้อน แต่การคำนวณ Baseline ด้วยวิธีการ Regression Analysis มีความง่ายมากที่สุดและให้ความถูกต้องเป็นที่ยอมรับได้ อีกทั้งยังมีความเที่ยงตรงสูง เหมาะสมกับการนำไปใช้งานมากที่สุด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 7
บทสรุปผลงานวิจัย

7.1 บทสรุป

สามารถพัฒนาระบบอ่านมิเตอร์แบบอัตโนมัติด้วยโปรโตคอล DLMS/COSEM อ่านข้อมูลค่าวัดทางไฟฟ้ารายคาบจากมิเตอร์ได้แบบเวลาจริง ผ่านระบบสื่อสาร EGAT Operation WAN ได้สำเร็จ นำไปติดตั้งใช้งานจริงกับมิเตอร์ของลูกค้าตรง กฟผ. พร้อมทั้งจัดทำ OBIS Code ให้เป็นมาตรฐานสำหรับระบบมาตรวัดซื้อขายพลังงานไฟฟ้าของ กฟผ. เพื่อใช้เป็นข้อกำหนดสำหรับอุปกรณ์มิเตอร์ที่จะใช้งานในระบบซื้อขายพลังงานไฟฟ้ากับ กฟผ.

สามารถพัฒนาระบบให้บริการข้อมูลแบบเวลาจริง ประมวลผลจากข้อมูลค่าวัดทางไฟฟ้ารายคาบที่อ่านได้จากมิเตอร์ ให้บริการรูปแบบ web application ผู้ใช้งานหรือลูกค้าตรงสามารถเรียกดูข้อมูลของตนเองที่ได้รับสิทธิ์ได้ตามต้องการผ่าน web browser และสามารถตรวจสอบค่าพลังงานไฟฟ้าและค่าไฟฟ้าตามสัญญาซื้อขายไฟฟ้าในแต่ละเดือนได้แบบเวลาจริง พร้อมทั้งสามารถพิมพ์ใบแจ้งค่าไฟฟ้ารูปแบบอิเล็กทรอนิกส์ได้ตามความต้องการ

และสามารถคำนวณพลังงานไฟฟ้าฐาน สร้างแบบจำลอง Baseline ของโหลดอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ ที่มีความแม่นยำตั้งแต่ 75% จนถึง 99%

7.2 ประโยชน์ที่ได้รับ แนวโน้มการขยายผลและพัฒนาต่อ

สามารถนำระบบอ่านมิเตอร์แบบอัตโนมัติไปใช้ในระบบมาตรวัดซื้อขายพลังงานไฟฟ้าของ กฟผ. ได้จริง สามารถนำไปขยายผลใช้งานกับมิเตอร์ลูกค้ารายอื่นๆ ได้แก่ กฟน., กฟภ. และโรงไฟฟ้าเอกชน ที่รองรับโปรโตคอล DLMS/COSEM เป็นการลดค่าใช้จ่ายในการจัดหาซอฟต์แวร์อ่านมิเตอร์ของแต่ละบริษัทผู้ผลิต รวมทั้งลดค่าใช้จ่ายในการจัดหาคอมพิวเตอร์หลายชุดสำหรับติดตั้งซอฟต์แวร์แต่ละชุด อีกทั้งการกำหนดมาตรฐาน OBIS Code สำหรับระบบมาตรวัดซื้อขายพลังงานไฟฟ้าของ กฟผ. จะทำให้การดูแลจัดการรวมทั้งการขยายระบบในอนาคตทำได้โดยง่าย
สามารถนำระบบให้บริการข้อมูลและจัดทำใบแจ้งค่าไฟฟ้าแบบเวลาจริงไปขยายผลใช้กับลูกค้ารายอื่นๆของ กฟผ. เพื่อเตรียมพร้อมสำหรับธุรกิจใหม่ที่จะเกิดขึ้นในอนาคตอันใกล้ โดยเฉพาะตลาดกลางพลังงานไฟฟ้า

วิธีการคำนวณพลังงานไฟฟ้าฐานในงานวิจัยที่มีความแม่นยำสูง แต่ก็มีความซับซ้อนสูงเช่นกัน จะไม่เหมาะกับผู้เข้าร่วมมาตรการตอบสนองด้านโหลดรายย่อยที่ไม่สามารถทำความเข้าใจการคำนวณ Baseline หาก กฟผ. ได้รับอนุญาตให้เป็นผู้รวบรวมโหลด (Load Aggregator) แล้วควร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

พัฒนาวิธีการคำนวณ Baseline ที่มีความแม่นยำสูงแต่ไม่ซับซ้อน เช่นการต่อยอดการคำนวณ Baseline ด้วยวิธีการ Regression Analysis โดยการหาแบบจำลองอื่น หรือเพิ่มตัวแปร เพื่อให้แบบจำลองมีความถูกต้องสูงมากขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บรรณานุกรม

1. กระทรวงพลังงาน, แผนแม่บทการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของประเทศไทย พ.ศ. *2558-2579*. 2015.
2. สำนักงานคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน, มาตรการความร่วมมือลดการใช้ไฟฟ้า (*Demand Response)* และ อัตรา *Demand Response.* 2016.
3. การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, รายงานจำหน่ายไฟฟ้า ปี *2559*, แผนกค่าไฟฟ้าลูกค้าตรง และไฟฟ้าสำรอง กองบริหารสัญญาขายไฟฟ้า ฝ่ายสัญญาซื้อขายไฟฟ้า, Editor. 2016.
4. Ramyar Rashed Mohassel, A.F., Farah Mohammadi, and Kaamran Raahemifar, *A survey on Advanced Metering Infrastructure.* Electrical Power and Energy Systems, 2014. **63**.
5. ผศ. ดร. วันเฉลิม โปรา, ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับมาตรอัจฉริยะ (*Smart Meter)* และ แนวทางการจัดทำข้อกำหนดเฉพาะมาตรอัจฉริยะ.
6. Sobeslav, J.H.a.V., *Analysis of communication protocols for smart metering.* ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. **10 No.3**.
7. สำนักนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน, การออกแบบกลไกราคาและสิ่งจูงใจ และการตอบสนองด้านโหลด, กระทรวงพลังงาน, Editor.
8. Shengwei Wanga, X.X.a.C.Y., *Building power demand response methods toward smart grid.* HVAC&R RESEARCH 2014. **20**(6).
9. Dodrill, K., *Demand Dispatch-Intelligent Demand for a More Efficient Grid*, O.o.E.D.a.E.R. National Energy Technology Laboratory (NETL), U.S. Department of Energy, Editor.
10. ENERNOC, *The Demand Response Baseline*, in *White Paper 2011*. 2011.
11. ENERNOC, *Energy Baseline Methodologies for Industrial Facilities*, in *REPORT E13-265*. 2013.
12. Companies, L.R.C.o.A.o.E.I., *Demand Response Measurement & Verification*. 2009.
13. Energy, U.S.D.o., *Energy Intensity Baselining and Tracking Guidance*. 2015.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

14. Mathieu, J.L., *Modeling, Analysis, and Control of Demand Response Resources*. 2012.
15. Dietrich, P.P.a.D., *Demand Side Management: Demand Response, Intelligent Energy Systems, and Smart Loads.* IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2011. **7**(3).
16. Grimm, C., *Evaluating Baselines for Demand Response Programs*, in *2008 AEIC Load Research Workshop*. 2008.
17. Hu, F.L.a.P., *A Baseline Model for Office Building Energy Consumption in Hot Summer and Cold Winter Region*, in *2009 International Conference on Management and Service Science*. 2009.
18. Javad Jazaeri, T.A., Robert Gordon, Miguel Brandao, Tim Hoban, Chris Seeling, *Baseline Methodologies for Small Scale Residential Demand Response*, in *2016 IEEE Innovative Smart Grid Technologies - Asia*. 2016.
19. KEMA, *PJM Empirical Analysis of Demand Response Baseline Methods*, in *PJM Markets Implementation Committee*. 2011.
20. Myung-Kyoon Lee, R.M.S.a.o., *Baseline Methodologies for Clean Development Mechanism Projects*. 2005.
21. NEEA, *Selecting an Energy Management Information System Guide for an Industrial Customer*.
22. R. Sharifi, S.H.F., and V. Vahidinasab, *Customer baseline load models for residential sector in a smart-grid environment.* ELSEVIER Energy Reports, 2016. **2**: p. 74-81.
23. Rijalul Fahmi Mustapa, N.Y.D., Ihsan Mohd Yassin, Atiqah Hamizah Mohd Nordin and Mohd Ezwan Mahadan, *Baseline energy modelling in an educational building campus for measurement and verification*, in *2017 International Conference on Electrical, Electronics and System Engineering (ICEESE)*. 2017.
24. toolkit, T.S.C., *GUIDELINE HOW TO CREATE A CONSUMPTION BASELINE*.
25. UNFCCC/CCNUCC, *Baseline and monitoring methodology AM0044: Energy efficiency improvement projects*, in *AM0044 / Version 01*.
26. Energy, O.o.E.E.R., *Steps to Develop a Baseline*, U.S.D.o. Energy, Editor.
27. Kirsch, J.H.a.D., *Machine Learning For Dummies*. 2018.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

28. Association, D.U., *Green Book - 8th edition: DLMS/COSEM, Architecture and Protocols*. 2014.
29. Association, D.U., *Blue Book - 8th edition: COSEM interface classes and OBIS identification system*. 2013.
30. Association, D.U., *White Book - 1st edition: COSEM Glossary of Terms*. 2003.
31. Pora, A.A.a.W., *Baseline Calculation of Industrial Factories for Demand Response Application*, in *2018 IEEE International Conference on Consumer Electronics - Asia (ICCE-Asia)*. 2018. p. 206 - 212.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นายอนุตร์ อรุณานันนท์
วัน เดือน ปี เกิด	17 พฤศจิกายน 2524
สถานที่เกิด	จ. น่าน
วุฒิการศึกษา	จบการศึกษาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ในปี 2547 และเป็นผู้ได้รับทุนการศึกษาด้านสมาร์ทกริดในโครงการความร่วมมือทางวิชาการระหว่าง กฟผ. กับจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เข้าศึกษาต่อหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2559
ผลงานตีพิมพ์	Baseline Calculation of Industrial Factories for Demand Response Application

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University