รายงานฉบับสมบูรณ์

พร้อมบทสรุปสำหรับผู้บริหาร

(Final Report)

โครงการวิจัยนำร่อง
การดำเนินงานด้านการจัดการกำลังไฟฟ้าสูงสุด
ในภาคประชาชน

เสนอ

สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน

กระทรวงพลังงาน

โดย

ศูนย์เชี่ยวชาญพิเศษเฉพาะด้านเทคโนโลยีไฟฟ้ากำลัง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เมษายน 2559

บทสรุปสำหรับผู้บริหาร

รายงานฉบับสมบูรณ์
โครงการวิจัยนำร่องการดำเนินงานด้านการจัดการกำลังไฟฟ้าสูงสุดในภาคประชาชน

---

1. บทนำ

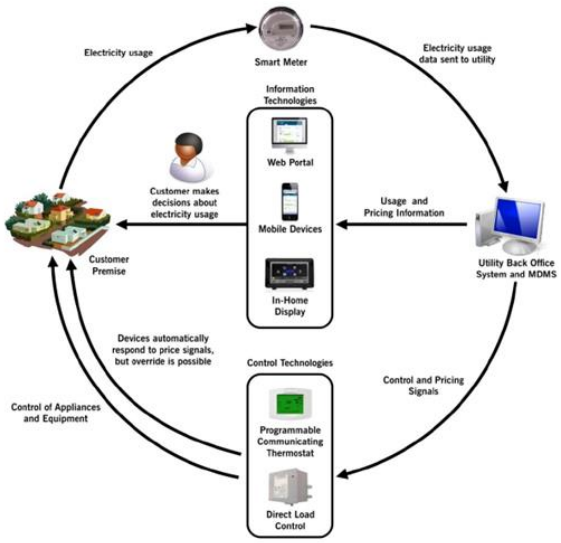
1.1 ที่มาและเหตุผล

ระบบไฟฟ้าของประเทศไทยในปัจจุบันได้เริ่มต้นพัฒนาก่อสร้างและใช้งานมาหลายทศวรรษ ตลอดช่วงระยะเวลาดังกล่าวก็ได้มีการปรับปรุง ก่อสร้าง/ขยายเพิ่มเติม มาเป็นลำดับ อย่างไรก็ดี หากการปรับปรุงระบบไฟฟ้าที่มีรูปแบบเดิมไม่สามารถตอบสนองต่อการเติบโตอย่างรวดเร็วของการใช้ไฟฟ้า จะส่งผลต่อความเสี่ยงที่จะเกิดความขัดข้องขึ้นในระบบไฟฟ้ามากยิ่งขึ้นตามไปด้วย ด้วยเหตุนี้ ประเทศไทยจึงจำเป็นต้องทำการพัฒนาระบบไฟฟ้าให้สามารถทำงานได้อย่างชาญฉลาดมากขึ้น โดยใช้ทรัพยากรให้น้อยลง มีประสิทธิภาพ มีความเชื่อถือได้ มีความปลอดภัย ยั่งยืน และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ซึ่งสามารถทำได้โดยการผนวกความสามารถของเทคโนโลยีระบบสื่อสารและเทคโนโลยีสารสนเทศในปัจจุบันให้ครอบคลุม ระบบผลิต ระบบส่ง ระบบจำหน่าย และผู้ใช้ไฟฟ้า กระบวนการพัฒนาเหล่านี้อาจเรียกรวมได้ว่า ระบบโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะหรือสมาร์ทกริด

กระทรวงพลังงาน ได้เล็งเห็นถึงปัญหาที่ประเทศไทยกำลังเผชิญ ไม่ว่าจะเป็นปัญหาต้นทุนการผลิตไฟฟ้าที่แพงขึ้น เนื่องจากความผันผวนของราคาเชื้อเพลิง ปัญหาการยอมรับของประชาชนต่อการสร้างโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่ รวมถึงกระแสของโลกที่ต้องการการปรับตัวเข้าสู่เศรษฐกิจคาร์บอนต่ำ จึงให้ความสำคัญการพัฒนาระบบไฟฟ้าของไทยไปสู่ระบบโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะของไทย (Smart Grid) เพื่อกำหนดเป็นนโยบายและทิศทางการดำเนินงานและกรอบการลงทุนของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง โดยเฉพาะแผนลงทุนของการไฟฟ้าทั้ง 3 แห่ง นอกจากนี้ ตามมติ กพช. เมื่อวันที่ 16 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2558 ได้เห็นชอบแผนแม่บทการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของประเทศไทย พ.ศ. 2558 - 2579 และมอบหมายให้กระทรวงพลังงาน กระทรวงมหาดไทย คณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย การไฟฟ้านครหลวง การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค และหน่วยงานอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องรับไปดำเนินการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดตามแผนแม่บทต่อไป ทั้งนี้ จะต้องคำนึงถึงความคุ้มค่าของการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดและให้มีผลกระทบต่อภาระค่าไฟฟ้าของประชาชนให้น้อยที่สุด และมอบหมายให้กระทรวงพลังงาน โดยสำนักงานนโยบายและแผนพลังงานและการไฟฟ้าทั้ง 3 แห่ง จัดทำแผนปฏิบัติการการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด เพื่อใช้ในการขับเคลื่อนการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด และให้นำเสนอคณะกรรมการบริหารนโยบายพลังงานพิจารณาอนุมัติในรายละเอียดต่อไป

สำนักงานนโยบายและแผนพลังงานจึงเห็นควรให้มีการดำเนินการนำร่องการนำเทคโนโลยีสมาร์ทกริด มาช่วยแก้ไขปัญหาการจัดการความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด ซึ่งเป็นปัญหาเร่งด่วนที่ประเทศไทยกำลังเผชิญกับเหตุการณ์ด้านการจัดหาไฟฟ้าอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะในปี พ.ศ. 2556 - 2557 ที่ผ่านมา ได้แก่ (1)

เหตุการณ์ปิดปรับปรุงท่อส่งก๊าซธรรมชาติแหล่งยาดานาเดือนเมษายน 2556 (2) เหตุการณ์ไฟฟ้าดับใน 14 จังหวัดภาคใต้ส่งผลกระทบต่อความมั่นคงด้านพลังงานไฟฟ้า (3) ปัญหาการหยุดซ่อมท่อก๊าซ JDA-A18 ที่มีผลกระทบต่อการจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้าในภาคใต้ในปี พ.ศ. 2557 โดยการนำร่องการปรับปรุงอุปกรณ์ควบคุมและการสื่อสารเพื่อลดความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดในภาคประชาชน เนื่องจากการจัดทำโปรแกรม Demand Response ในลักษณะขอความร่วมมือเหมือนที่ผ่านมา ไม่อาจสร้างความมั่นใจต่อการตอบสนองการลดความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ หากไม่มีโครงสร้างพื้นฐานของระบบ Advance Metering Infrastructure; AMI อันได้แก่ สมาร์ทมิเตอร์ ระบบสื่อสาร ระบบเทคโนโลยีการจัดการข้อมูล ระบบเทคโนโลยีและอุปกรณ์การควบคุมการใช้พลังงาน



รูปที่ 1 ตัวอย่างองค์ประกอบของระบบ AMI

ทั้งนี้ การนำเทคโนโลยีดังกล่าวมาปรับใช้ในประเทศไทยอาจจำเป็นต้องลงทุนอีกเป็นจำนวนมากจึงจำเป็นต้องดำเนินการศึกษาวิจัย รวมถึงนำร่องใช้งานการเทคโนโลยีดังกล่าว เพื่อพิจารณาถึงความเหมาะสมต่อบริบทและความพร้อมของโครงสร้างพื้นฐานของประเทศไทย และตอบสนองต่อการลดความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดของประเทศในระยะเวลารวดเร็ว

จากที่กล่าวข้างต้น ดำเนินการนำร่องการนำเทคโนโลยีสมาร์ทกริด มาช่วยแก้ไขปัญหาการจัดการความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดจึงมีความสำคัญอย่างมากในอนาคต อย่างไรก็ดี เนื่องจากเจ้าหน้าที่ สนพ. มีจำนวนจำกัด และการดำเนินการดังกล่าวจำเป็นต้องใช้ความรู้ความสามารถในหลากหลายด้าน เช่น ด้านเทคนิควิศวกรรมระบบไฟฟ้ากำลัง ด้านเทคนิคระบบสารสนเทศ และด้านเทคนิคระบบการจัดการพลังงาน ฯลฯ ด้วยเหตุนี้ ศูนย์เชี่ยวชาญพิเศษเฉพาะด้านเทคโนโลยีไฟฟ้ากำลัง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งมีประสบการณ์และความรู้ความเชี่ยวชาญในการศึกษา วิจัย และพัฒนาด้านระบบไฟฟ้ากำลัง ด้านเทคนิคระบบสารสนเทศ และด้านเทคนิคระบบการจัดการพลังงาน จึงมีความยินดีที่จะทำหน้าที่ ที่ปรึกษาเพื่อดำเนินการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลด้านวิชาการของโครงการวิจัยนำร่องการดำเนินงานด้านการจัดการกำลังไฟฟ้าสูงสุดในภาคประชาชน จัดทำระบบนำร่องการดำเนินงานด้านการจัดการกำลังไฟฟ้าสูงสุดในภาคประชาชน และเพื่อนำเสนอการจัดการและการลดความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดในกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัยของประเทศไทยในระยะสั้น ระยะปานกลาง และระยะยาว ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

1) เพื่อศึกษาถึงการเลือกใช้เทคโนโลยีสมาร์ทกริดที่สามารถช่วยการลดความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดที่เหมาะสมกับระบบไฟฟ้าของประเทศไทย โดยพิจารณาถึงประเด็นโครงสร้างพื้นฐานที่มีอยู่และความเหมาะสมของการลงทุนในอนาคต
2) เพื่อศึกษาพฤติกรรมการตอบสนองของความต้องการใช้ไฟฟ้าต่อคำสั่งการลดการใช้ไฟฟ้าอย่างอัตโนมัติจากระบบส่วนกลาง และสำรวจการยอมรับของผู้ใช้ไฟฟ้าต่อการนำเทคโนโลยีดังกล่าวมาใช้งานในกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัย โดยเน้นที่การปรับลดการใช้ไฟฟ้าจากเครื่องปรับอากาศ
3) เพื่อศึกษาวิเคราะห์ถึงปัญหาหรืออุปสรรคที่อาจจะเกิดขึ้นหากมีการขยายผลการนำเทคโนโลยีสมาร์ทกริดที่สามารถช่วยการลดความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดในกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัยมาใช้งานในอนาคต
4) เพื่อเปิดช่องทางให้ประชาชนเข้ามามีส่วนร่วมในการจัดการความต้องการไฟฟ้าสูงสุด ซึ่งมีส่วนช่วยเสริมความมั่นคงให้กับระบบไฟฟ้าของประเทศไทย
5) เพื่อให้ความรู้แก่ทุกภาคส่วนที่มีความสนใจสามารถเรียนรู้และทำความเข้าใจเกี่ยวกับเทคโนโลยีการจัดการความต้องการไฟฟ้าสูงสุดด้วยเทคโนโลยีสมาร์ทกริดในกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัยได้
6) เพื่อเป็นโครงการนำร่องสำหรับศึกษาความเหมาะสมของเทคโนโลยีสมาร์ทกริดเพื่อการจัดการและการลดความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดในกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัยของประเทศไทยในระยะสั้น ระยะปานกลาง และระยะยาว ต่อไป

1.3 ขอบเขตของการดำเนินงาน

1) ศึกษาและรวบรวมข้อมูลลักษณะการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัยของไทย โดยจะพิจารณาเปรียบเทียบฐานข้อมูลการศึกษาลักษณะการใช้ไฟฟ้า (Load Study) ของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัยที่เคยจัดทำโดยการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่าย และการใช้ไฟฟ้าในบ้านอยู่อาศัยกลุ่มตัวอย่างที่ทำการศึกษา
2) ศึกษา รวบรวมข้อมูลแนวทางการประเมินผลประโยชน์จากการลดความต้องการใช้ไฟฟ้าเพื่อนำไปใช้ในการพิจารณาประเมินผลประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการลดความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดในกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัย
3) ทบทวนและศึกษาเทคโนโลยีการลดความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดทั้งในและต่างประเทศ ได้แก่
    - เทคโนโลยี Smart meter
    - เทคโนโลยีควบคุม เช่น Direct Load Control
    - เทคโนโลยีข้อมูล เช่น Web Portal, In-house Display การสื่อสารผ่าน Device ต่างๆ
4) ศึกษาความเหมาะสมของโครงสร้างพื้นฐานด้านไฟฟ้าที่มีการใช้อยู่ในประเทศไทย
    - ระบบมิเตอร์ของการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่ายทั้ง 2 แห่ง
    - ระบบ/ช่องการสื่อสาร ระหว่างผู้ดูแลระบบและผู้ใช้ไฟฟ้า

5) วิเคราะห์สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ ภายในบ้านอยู่อาศัย เช่น ระบบแสงสว่าง ระบบปรับอากาศ และอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆ เป็นต้น และวิเคราะห์ผลกระทบของการใช้พลังงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าต่อการใช้ไฟฟ้าสูงสุดในภาคบ้านอยู่อาศัยในปัจจุบัน โดยอาศัยข้อมูลจากผลการศึกษาต่างๆ ที่เกี่ยวข้องที่จัดทำขึ้นในประเทศไทย
6) คัดเลือก/จัดซื้อ/พัฒนาอุปกรณ์ต้นแบบที่เหมาะสมในการลดความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดในภาคประชาชนโดยเฉพาะกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัย ซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์หลักๆ อย่างน้อยดังนี้

    6.1) Microcontroller Gateway จำนวนไม่น้อยกว่า 100 ชุด สำหรับเป็นตัวกลางในการสื่อสารระหว่างระบบควบคุมกลางและอุปกรณ์วัด/ควบคุมต่างๆ ภายในบ้าน
    6.2) Microcontroller Smart Meter จำนวนไม่น้อยกว่า 100 ชุด สำหรับ วัดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของจุดวัดเป้าหมาย ผ่านช่องทางไร้สาย
    6.3) Microcontroller Multi-Sensor จำนวนไม่น้อยกว่า 100 ชุด สำหรับ วัดค่าอุณหภูมิและความชื้นผ่านช่องทางไร้สาย
    6.4) ตัวควบคุมการทำงาน Compressor ของ Air-Conditioner จำนวนไม่น้อยกว่า 100 ชุด สำหรับควบคุมการทำงานของ Air-Conditioner ผ่านช่องทางไร้สาย
    6.5) Android-based Tablet สำหรับทำเป็น Home Display จำนวนไม่น้อยกว่า 100 ชุด
    6.6) อุปกรณ์คอมพิวเตอร์สำหรับศูนย์ควบคุมการใช้ไฟฟ้าและประมวลผลการวิจัย
    6.7) ชุดแสดงผลข้อมูลโครงการ ณ จุดใช้งานต่างๆ อย่างน้อย 2 จุด

7) วิเคราะห์ถึงปัญหาหรืออุปสรรคที่อาจจะเกิดขึ้นและศึกษาแนวทางเบื้องต้นสำหรับการขยายการดำเนินมาตรการตามเทคโนโลยีดังกล่าวสู่ภาคประชาชนในวงกว้าง
8) ประกาศรับสมัครและกำหนดคุณสมบัติผู้เข้าร่วมโครงการนำร่องสำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัย เพื่อจัดทำการนำร่องเทคโนโลยีการจัดการความต้องการไฟฟ้าสูงสุดในกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัยด้วยเทคโนโลยีสมาร์ทกริด โดยเปิดรับคัดเลือกครัวเรือนที่เข้าร่วมโครงการ จำนวนไม่น้อยกว่า 100 ครัวเรือน
9) ดำเนินการสำรวจพื้นที่และติดตั้งอุปกรณ์ที่พักอาศัยที่ได้รับคัดเลือก
10) ดำเนินการจัดทำแบบสอบถามและประเมินผลการดำเนินงานและการยอมรับของผู้ใช้ไฟฟ้า จำนวนไม่น้อยกว่า 100 ชุด โดยมีเนื้อหาครอบคลุมด้านพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้า ด้านการยอมรับของผู้ใช้ไฟฟ้า ต่อมาตรการจัดการความต้องการไฟฟ้าสูงสุด และปัญหาอุปสรรคในการนำเทคโนโลยีมาใช้งาน เพื่อสรุปผลและจัดทำแนวทางการพัฒนาและขยายผลการนำเทคโนโลยีสมาร์ทกริดมาลดความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดในกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัยของประเทศไทย ในระยะสั้น ระยะปานกลาง และระยะยาว
11) ดำเนินการพัฒนาระบบฐานข้อมูล และซอฟต์แวร์แสดงผลแบบ Web Application
12) ดำเนินการพัฒนาระบบฐานข้อมูล และซอฟต์แวร์แสดงผลบนอุปกรณ์พกพา
13) ที่ปรึกษาจะต้องรับผิดชอบค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่เกิดขึ้นจากการสื่อสารและเชื่อมต่อข้อมูล (ถ้ามี)รวมถึงค่าบำรุงรักษาระบบของโครงการที่ได้ติดตั้งและจัดเก็บรวบรวมข้อมูลที่ได้รับเป็นเวลาไม่น้อยกว่า 1.5 ปี นับตั้งแต่สัญญาจ้างได้สิ้นสุดลง โดยจะต้องส่งมอบข้อมูลที่ได้จัดเก็บให้แก่ผู้ว่าจ้างและส่งมอบวัสดุอุปกรณ์ที่ได้ติดตั้งภายหลังจากดำเนินการดังกล่าวแล้วเสร็จให้แก่สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน เพื่อใช้ประโยชน์ต่อไป

2. กรอบแนวคิดการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างเข้าร่วมโครงการวิจัยนำร่องการดำเนินงานด้านการจัดการกำลังไฟฟ้าสูงสุดในภาคประชาชน

ในหัวข้อนี้ จะกล่าวถึงผลสรุปแนวทางการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างเพื่อเข้าร่วมโครงการวิจัยนำร่องการดำเนินงานด้านการจัดการกำลังไฟฟ้าสูงสุดในภาคประชาชน โดยจะทำการคัดเลือกผู้เข้าร่วมโครงการให้กระจายตามภูมิภาคต่างๆ ของประเทศ เพื่อทดสอบความสามารถของระบบที่พัฒนาขึ้นว่าสามารถจัดการลดกำลังไฟฟ้าได้ตามที่ต้องการหรือไม่ ทั้งนี้ จะแบ่งพื้นที่เป้าหมายที่จะทำการติดตั้งระบบฯ ออกเป็น 5 เขตพื้นที่ คือ (1) ภาคเหนือ (2) ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (3) กรุงเทพฯ และปริมณฑล (4) ภาคกลางและตะวันออก และ (5) ภาคตะวันตกและใต้ โดยจะทำการคัดเลือกผู้เข้าร่วมโครงการวิจัยนำร่องรวมทั้งสิ้น 100 ราย

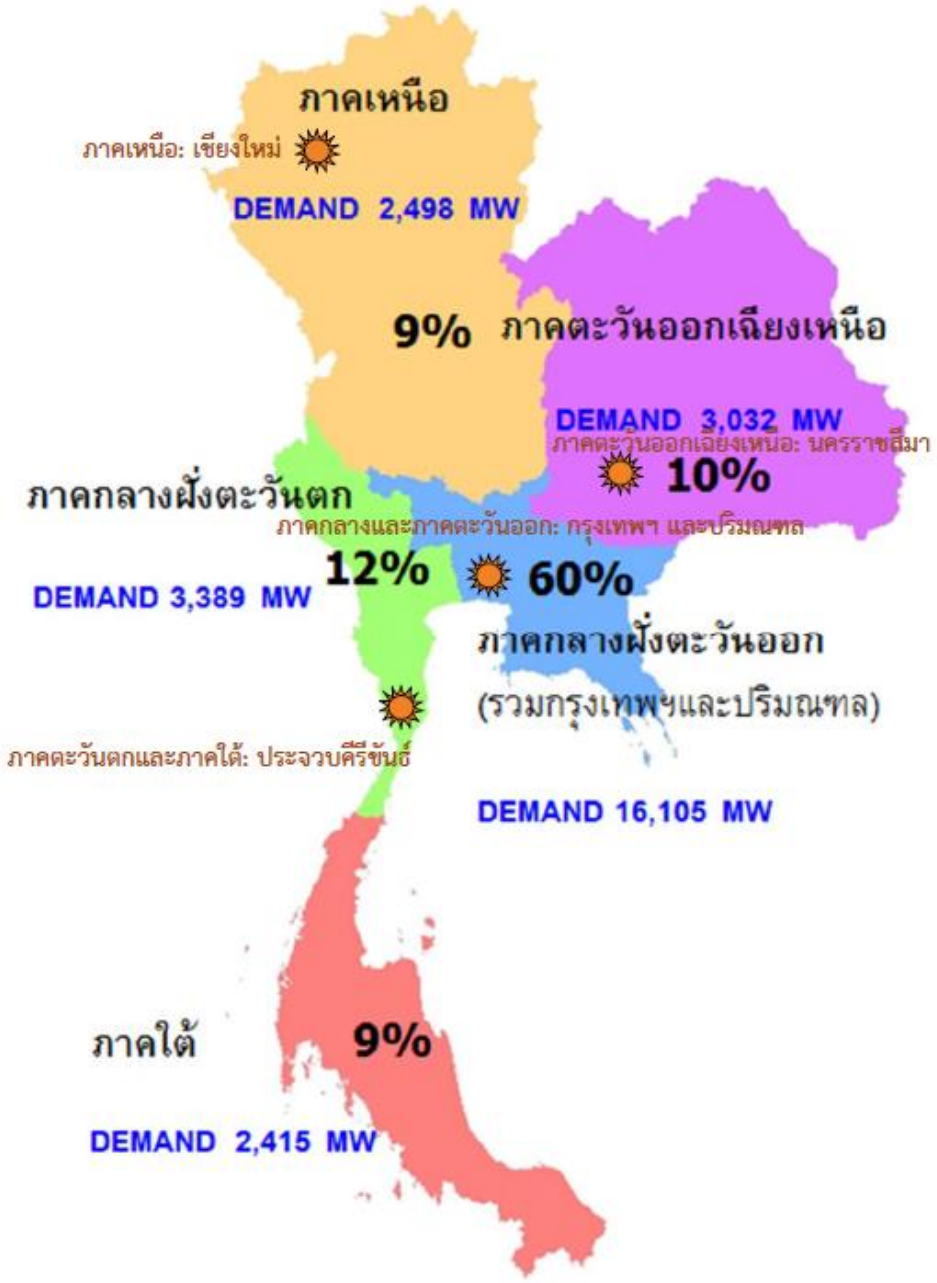
2.1 สรุปจังหวัดตัวอย่างเพื่อดำเนินโครงการวิจัยนำร่อง

จากข้อมูลความต้องการใช้ไฟฟ้าจากการสำรวจของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ณ สิ้นปี 2556 ที่แสดงดังรูปที่ 2 เมื่อแยกพิจารณาตามรายภูมิภาค จะพบว่า ปริมาณความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดสำหรับกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้าในเขต ภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลางและภาคตะวันออก และภาคตะวันตกและภาคใต้ คิดเป็น 9% 10% 60% และ 21% ตามลำดับ ทั้งนี้ จุดประสงค์หลักของโครงการนี้ คือ การศึกษาและทดสอบความเป็นไปได้และความเหมาะสมทางด้านเทคนิค (Technical Feasibility Study) ของโครงการนำร่องการจัดการกำลังไฟฟ้าสูงสุด อย่างไรก็ดี *แม้ว่าสัดส่วนของกลุ่มตัวอย่างที่กระจายตามภูมิภาคต่างๆ ของประเทศจะไม่ได้เกี่ยวข้องกับความสำเร็จของการดำเนินงานด้านการจัดการกำลังไฟฟ้าสูงสุดของโครงการก็ตาม* ในการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างเพื่อเข้าร่วมโครงการวิจัยนำร่องการดำเนินงานด้านการจัดการกำลังไฟฟ้าสูงสุดในภาคประชาชนก็จะพยายามคัดเลือกให้สัดส่วนของความต้องการใช้ไฟฟ้าจากกลุ่มตัวอย่างมีความใกล้เคียงกับสัดส่วนความต้องการใช้ไฟฟ้าโดยรวมของประเทศมากที่สุด

สำหรับการดำเนินการโครงการนำร่องฯ เมื่อพิจารณาจากระยะเวลาดำเนินโครงการและข้อจำกัดของการเดินทางประกอบกับเมื่อพิจารณาจากจำนวนตัวอย่างของผู้เข้าร่วมโครงการประเภทบ้านอยู่อาศัย จำนวน 100 ราย แล้ว จะสามารถประมาณการจำนวนกลุ่มตัวอย่างที่ต้องทำการคัดเลือกเพื่อติดตั้งและทดสอบระบบจัดการกำลังไฟฟ้าสูงสุดสำหรับแต่ละภูมิภาคได้เป็นดังตารางที่ 1 ทั้งนี้ จำนวนตัวอย่างของแต่ละจังหวัดอาจเปลี่ยนแปลงได้ตามความเหมาะสม เพื่อให้สอดคล้องกับเงื่อนไขและสภาวการณ์ปัจจุบัน

ตารางที่ 1: สรุปภูมิภาคและจำนวนตัวอย่างที่เข้าร่วมโครงการ

ภูมิภาค	จังหวัดตัวแทน	เป้าหมายตัวอย่างที่จะคัดเลือก (ราย)
ภาคเหนือ	เชียงใหม่	10
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	นครราชสีมา	10
กรุงเทพฯ และปริมณฑล	กรุงเทพฯ และจังหวัดข้างเคียง	50
ภาคกลางและภาคตะวันออก	ระยอง	10
ภาคตะวันตกและภาคใต้	ประจวบคีรีขันธ์	20



รูปที่ 2 ความต้องการใช้ไฟฟ้าจากการสำรวจของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ณ สิ้นปี 2556

2.2 เกณฑ์การคัดเลือกผู้เข้าร่วมโครงการ

ในการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่าง จำเป็นจะต้องคำนึงถึงคุณสมบัติของผู้เข้าร่วมโครงการด้วย เนื่องจากจะต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ ภายในที่อยู่อาศัยของผู้เข้าร่วมโครงการ เช่น มิเตอร์อัจฉริยะ เซนเซอร์เกตเวย์ อุปกรณ์ควบคุมการทำงานของเครื่องปรับอากาศ และแทปเลต (Tablet) ซึ่งใช้เป็นอุปกรณ์แสดงผลข้อมูลต่างๆ ภายในบ้าน ดังนั้น ผู้เข้าร่วมโครงการจะต้องมีความรู้ความเข้าใจในระดับหนึ่ง และต้องมีความคุ้นเคยต่อการใช้งานอุปกรณ์อิเลคทรอนิกส์และอุปกรณ์สื่อสารต่างๆ นอกจากนี้ ผู้เข้าร่วมโครงการจะต้องยินยอมให้ควบคุมการทำงานของเครื่องปรับอากาศที่เข้าร่วมโครงการในบางเวลา เพื่อทดสอบการจัดการกำลังไฟฟ้าสูงสุด เป็นต้น

เกณฑ์เบื้องต้นที่จะใช้ทำการคัดเลือกผู้เข้าร่วมโครงการ ประกอบด้วย

1. ความพร้อมของเครือข่ายระบบอินเทอร์เน็ตภายในบ้าน
2. ระดับความยินยอมให้ควบคุมการทำงานของเครื่องปรับอากาศที่เข้าร่วมโครงการ
3. ความรู้ความเข้าใจและการยอมรับของผู้เข้าร่วมโครงการเกี่ยวกับระบบจัดการพลังงาน/ระบบการจัดการกำลังไฟฟ้าสูงสุด
4. ความยุ่งยากของระบบไฟฟ้าภายในบ้านที่จะทำการติดตั้งระบบจัดการกำลังไฟฟ้าสูงสุด
5. ความคุ้นเคยของผู้เข้าร่วมโครงการต่อการใช้งานอุปกรณ์อิเลคทรอนิกส์และอุปกรณ์สื่อสารต่างๆ
6. คุณสมบัติอื่นๆ

โดยคณะผู้วิจัยได้ทำการกำหนดเกณฑ์การให้คะแนนในหัวข้อต่างๆ จากนั้น นำมาเรียงลำดับเพื่อคัดเลือกผู้เข้าร่วมโครงการให้ครบตามจำนวนที่กำหนดไว้สำหรับในแต่ละภูมิภาคต่อไป

ทั้งนี้ คณะผู้วิจัย ได้รวบรวมกลุ่มเป้าหมายในแต่ละจังหวัดได้ครบถ้วนตามที่กำหนดในตารางที่ 1 โดยอาศัยการประชาสัมพันธ์ และเก็บข้อมูลจากใบสมัครเพื่อให้คะแนนคัดเลือกความเหมาะสมในการเข้าร่วมโครงการ จากนั้นได้ทำการจัดสัมมนาขึ้นในจังหวัดเป้าหมายนั้น โดยในการสัมมนาได้อธิบายแนวคิดของการดำเนินโครงการจัดการกำลังไฟฟ้าสูงสุดแก่กลุ่มเป้าหมาย และนำเสนอถึงประโยชน์ที่จะได้รับและสิทธิในการควบคุมการใช้งานเครื่องปรับอากาศที่อาจจะเสียไปในบางเวลา รวมทั้งข้อดีและข้อด้อยของการเข้าร่วมโครงการอย่างชัดเจน และได้ทำการคัดเลือกผู้เข้าร่วมโครงการให้ครบตามจำนวนให้เสร็จสิ้นภายในวันสัมมนา โดยผู้เข้าร่วมโครงการทุกคนได้มีการลงนามรับรองในหนังสือยินดีเข้าร่วมโครงการแล้ว

2.3 แบบสอบถามเพื่อคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างเพื่อเข้าร่วมโครงการ

คณะผู้วิจัยได้จัดทำแบบสอบถามแบบมีโครงสร้าง (Structural Questionnaire) เพื่อใช้เป็นเครื่องมือหลักในการสำรวจข้อมูลของผู้เข้าร่วมโครงการ โดยแบบสอบถามดังกล่าวประกอบด้วยข้อคำถามแบบปลายปิด (Closed – end Question) และรายการรูปถ่ายที่ใช้ประกอบในการคัดเลือกผู้เข้าร่วมโครงการ ซึ่งโครงสร้างหรือเนื้อหาของแบบสอบถามที่ใช้ในการสำรวจความเห็น ประกอบด้วย

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม
ส่วนที่ 2 ข้อมูลเครื่องปรับอากาศภายในบ้าน
ส่วนที่ 3 ข้อมูลของบ้านอยู่อาศัย
ส่วนที่ 4 ลักษณะการติดตั้งเครื่องใช้ไฟฟ้าที่เกี่ยวข้องกับระบบ
ส่วนที่ 5 รายการรูปถ่ายที่ใช้ประกอบในการคัดเลือกผู้เข้าร่วมโครงการ

คำถามของแบบสอบถามในแต่ละส่วนมีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะเก็บรวบรวมข้อมูลพื้นฐานของอุปกรณ์และโครงสร้างของระบบไฟฟ้าภายในบ้านอยู่อาศัยของผู้เข้าร่วมโครงการฯ และใช้เพื่อประเมินความรู้ความเข้าใจและแนวโน้มของระดับความร่วมมือของผู้เข้าร่วมโครงการฯ เพื่อนำมาประเมินเป็นคะแนนความเหมาะสมต่อการเข้าร่วมโครงการ ทั้งนี้ วัตถุประสงค์ของการจัดทำแบบสอบถามในแต่ละส่วนมีรายละเอียดดังที่แสดงไว้ในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 วัตถุประสงค์ของแบบสอบถามแต่ละส่วนที่จะใช้ในการสำรวจข้อมูลของผู้เข้าร่วมโครงการ

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม
วัตถุประสงค์ เพื่อรวบรวมข้อมูลส่วนบุคคลของผู้ตอบแบบสอบถาม เช่น ทักษะความรู้เกี่ยวกับเทคโนโลยี ระดับความพร้อมในการเข้าร่วมโครงการ และความยินยอมให้ควบคุมการทำงานของเครื่องปรับอากาศที่เข้าร่วมโครงการ เป็นต้น
ส่วนที่ 2 ข้อมูลเครื่องปรับอากาศภายในบ้าน
วัตถุประสงค์ เพื่อให้สามารถพิจารณาความเหมาะสมของเครื่องปรับอากาศที่นำมาเข้าร่วมโครงการ และรวบรวมข้อมูลการปรับตั้งค่าการทำงานต่างๆ ของเครื่องปรับอากาศเพื่อประโยชน์ในการควบคุมบางช่วงเวลาได้
ส่วนที่ 3 ข้อมูลของบ้านอยู่อาศัย
วัตถุประสงค์ เพื่อรวบรวมคุณสมบัติทางเทคนิคของระบบไฟฟ้าภายในบ้าน และพิจารณาความพร้อมของระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ตในบ้านอยู่อาศัยของผู้เข้าร่วมโครงการ
ส่วนที่ 4 ลักษณะการติดตั้งเครื่องใช้ไฟฟ้าที่เกี่ยวข้องกับระบบ
วัตถุประสงค์ เพื่อรวบรวมข้อมูลตำแหน่งของอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ ภายในบ้านของผู้เข้าร่วมโครงการ และใช้เพื่อประกอบการประเมินความยุ่งยากของระบบไฟฟ้าในการติดตั้งระบบจัดการกำลังไฟฟ้าสูงสุด
ส่วนที่ 5 รายการรูปถ่ายที่ใช้ประกอบในการคัดเลือกผู้เข้าร่วมโครงการ
วัตถุประสงค์ เป็นข้อมูลเพิ่มเติมสำหรับการพิจารณาเบื้องต้น ให้คณะผู้วิจัยสามารถเข้าใจถึงรายละเอียดอุปกรณ์ต่างๆ และทราบถึงโครงสร้างการจัดวางอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในบ้าน เพื่อประโยชน์ในการวางแผนติดตั้งระบบจัดการกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้

2.4 วิธีการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างเพื่อเข้าร่วมโครงการ

ในการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่าง คณะผู้วิจัยได้จัดทีมงานเพื่อการประชาสัมพันธ์โครงการเคลื่อนที่ลงพื้นที่โดยจำแนกตามความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดสำหรับกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้ารายภาคต่างๆ ได้แก่ ภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ กรุงเทพฯ และปริมณฑล ภาคกลางและภาคตะวันออก และภาคตะวันตกและภาคใต้ โดยนำเสนอพื้นที่จัดกิจกรรมการประชาสัมพันธ์โครงการเคลื่อนที่ ณ ส่วนราชการและสถาบันการศึกษาในพื้นที่ต่างๆ

ทั้งนี้ รูปแบบการจัดกิจกรรมเพื่อการประชาสัมพันธ์โครงการเคลื่อนที่ ใช้วิธีการประชาสัมพันธ์เชิญชวนให้ความรู้ความเข้าใจแก่ผู้ใช้ไฟฟ้าในพื้นที่ผ่านสถานที่จัดกิจกรรมที่นำเสนอข้างต้น โดยได้ทำการแจกเอกสารแผ่นพับประชาสัมพันธ์โครงการ อธิบายรายละเอียดของโครงการแก่ผู้ที่สนใจ และจัดสัมภาษณ์ผู้ที่สนใจเพื่อกรอกใบสมัครเข้าร่วมโครงการฯ จากนั้น จะนำข้อมูลที่ได้รับมาคัดเลือกคุณสมบัติโดยเรียงตามลำดับคะแนนความเหมาะสม และเชิญผู้ที่มีคุณสมบัติครบถ้วนเข้าร่วมการจัดสัมมนาเพื่อสร้างความรู้ความเข้าใจต่อโครงการ และชี้แจงสิ่งที่จะได้รับและสิ่งที่จะต้องให้ความร่วมมือกับโครงการเพื่อเป็นข้อมูลตัดสินใจต่อไป

ในการจัดกิจกรรมเพื่อประชาสัมพันธ์โครงการและทำการคัดเลือกผู้สนใจเข้าร่วมโครงการนั้น จะประกอบไปกิจกรรมย่อย 3 ส่วน คือ

- การออกบูธประชาสัมพันธ์ในหน่วยงานราชการ
- สร้างความรู้ ความเข้าใจต่อนโยบาย แนวทางการดำเนินโครงการผ่านสื่อประชาสัมพันธ์และเจ้าหน้าที่โครงการ
- กรอกแบบสอบถามเพื่อนำมาสรุปผลการสมัครคัดเลือกเข้าร่วมโครงการ

ทั้งนี้ ก่อนการลงพื้นที่เพื่อประชาสัมพันธ์โครงการ ผู้วิจัยได้ทำการประสานกับสนพ./คณะกรรมการเพื่อพิจารณาเห็นชอบ/อนุมัติ แผนการจัดกิจกรรมตามกระบวนการที่แสดงไว้ในรูปที่ 3 แล้ว

รูปที่ 3 กระบวนการวางแผนการคัดเลือกผู้เข้าร่วมโครงการ

2.5 สรุปผลการดำเนินการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างเพื่อเข้าร่วมโครงการ

คณะผู้วิจัยได้ดำเนินการจัดกิจกรรมประชาสัมพันธ์โครงการเคลื่อนที่เพื่อรับสมัครคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างเพื่อเข้าร่วมโครงการใน 5 ภูมิภาค ดังนี้

1) พื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (อ.เมือง จ.นครราชสีมา) มีผู้สมัครเข้าร่วมจำนวน 30 ราย
2) พื้นที่ภาคใต้และตะวันตก (อ.หัวหิน จ.ประจวบคีรีขันธ์) มีผู้สมัครเข้าร่วมจำนวน 33 ราย
3) พื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล มีผู้สมัครเข้าร่วมจำนวน 93 ราย
4) พื้นที่ภาคกลางและตะวันออก (อ.เมือง จ.ระยอง) มีผู้สมัครเข้าร่วมจำนวน 41 ราย
5) พื้นที่ภาคเหนือ (อ.เมือง จ.เชียงใหม่) มีผู้สมัครเข้าร่วมจำนวน 14 ราย

2.6 สรุปผลการจัดสัมมนาคัดเลือกผู้เข้าร่วมโครงการ

คณะผู้วิจัยได้ดำเนินการจัดกิจกรรมสัมมนาคัดเลือกผู้เข้าร่วมโครงการใน 5 ภูมิภาค ซึ่งได้ผู้เข้าร่วมโครงการในแต่ละพื้นที่ครบตามที่ได้กำหนดไว้ ทั้งนี้ กิจกรรมสัมมนาดังกล่าว สรุปได้ดังนี้

1) พื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (โรงแรมปัญจดารา จังหวัดนครราชสีมา)
2) พื้นที่ภาคใต้และตะวันตก (โรงแรมจีหัวหินรีสอร์ทแอนด์มอลล์ จังหวัดประจวบคีรีขันธ์)
3) พื้นที่ภาคเหนือ (โรงแรมเชียงใหม่ออร์คิด จังหวัดเชียงใหม่)
4) พื้นที่ภาคกลางและตะวันออก (โรงแรมสตาร์ จังหวัดระยอง)
5) พื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล (โรงแรมดิเอมเมอรัลด์ กรุงเทพมหานคร)

2.7 การจัดทำแบบสอบถามเพื่อประเมินความเข้าใจก่อนการดำเนินงาน

คณะผู้วิจัยได้จัดทำแบบสอบถามเพื่อประเมินความเข้าใจก่อนการดำเนินงาน โดยจะรวบรวมข้อมูลสำคัญต่างๆ ที่เน้นทางด้านพฤติกรรมและทัศนคติการใช้ไฟฟ้า รวมถึงการสอบถามความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการจัดการกำลังไฟฟ้าสูงสุดในภาคประชาชนของผู้เข้าร่วมโครงการก่อนการติดตั้งระบบจัดการกำลังไฟฟ้าสูงสุดของโครงการ ทั้งนี้ แบบสอบถามดังกล่าว มีหัวข้อครอบคลุมมิติต่างๆ ดังต่อไปนี้

1) ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม
   - ระดับการศึกษา/อาชีพ
   - ช่องทางการสื่อสารกับสมาชิกภายในบ้าน
2) ข้อมูลทั่วไปของที่พักอาศัยที่เข้าร่วมโครงการ
   - ความเป็นเจ้าของและลักษณะที่พักอาศัยที่เข้าร่วมโครงการ
   - ประเภทของผู้ใช้ไฟฟ้าและลักษณะอัตราค่าไฟฟ้า
3) พฤติกรรมการอยู่อาศัยและการใช้ไฟฟ้าของผู้เข้าร่วมโครงการ
   - จำนวนสมาชิกในบ้านอยู่อาศัย
   - การกระจายตัวของอายุสมาชิกในบ้านอยู่อาศัย
   - พฤติกรรมการพักอาศัยของสมาชิกตามช่วงเวลาต่างๆ
   - ปริมาณการใช้ไฟฟ้าตามช่วงเวลา
4) พฤติกรรมการใช้เครื่องปรับอากาศภายในที่พักอาศัย
   - จำนวนเครื่องปรับอากาศภายในที่พักอาศัย
   - ระยะเวลาและช่วงเวลาการใช้เครื่องปรับอากาศ
   - ลักษณะการปรับอุณหภูมิและการตั้งค่าต่างๆ ของเครื่องปรับอากาศ
   - การทำความสะอาดเครื่องปรับอากาศ
5) ทัศนคติกับนโยบายการจัดการกำลังไฟฟ้าสูงสุดในภาคประชาชน
   - ความร่วมมือต่อมาตรการของภาครัฐ
   - การเปลี่ยนแปลงอุปกรณ์หรือการปรับพฤติกรรมเพื่อประหยัดพลังงาน
   - ความคิดเห็นที่มีต่อโครงการวิจัยนำร่องในครั้งนี้

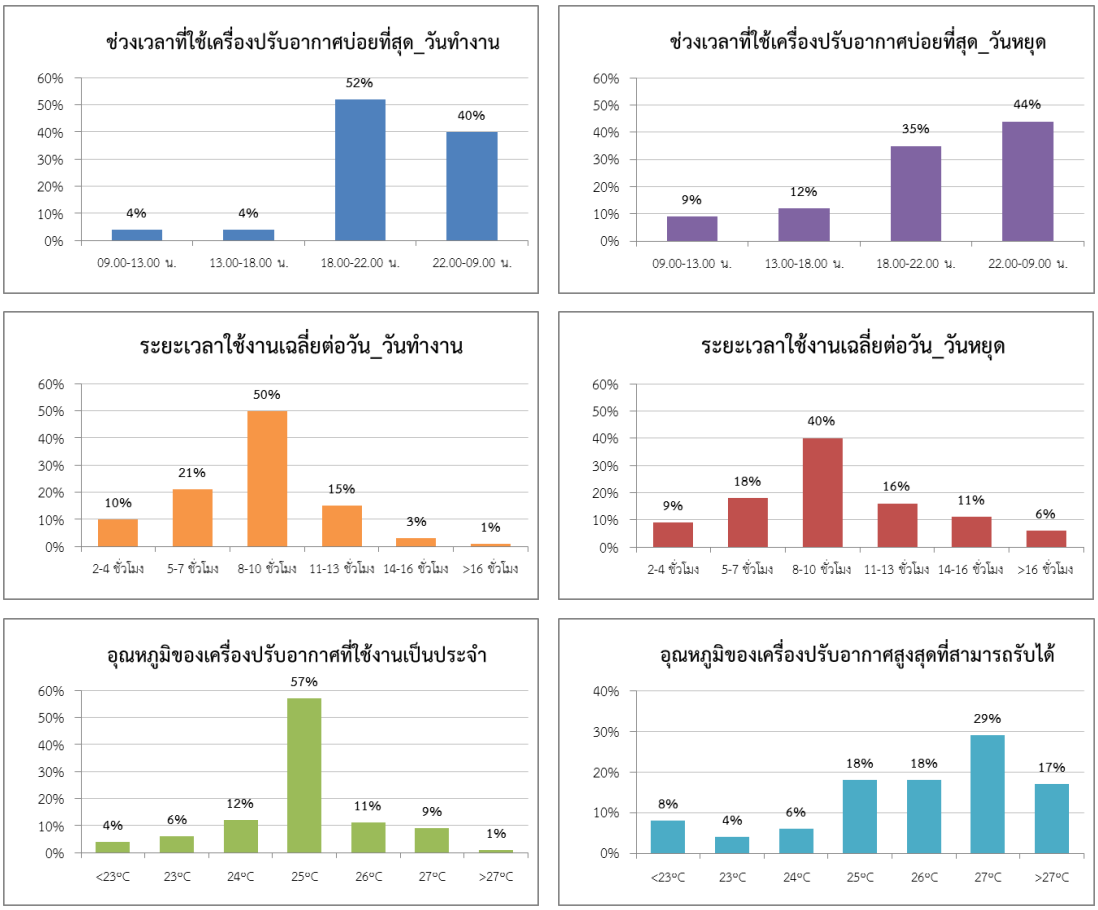
2.8 การจัดทำแบบสอบถามเพื่อประเมินความพึงพอใจของการดำเนินงานและการยอมรับของผู้ใช้ไฟฟ้า

คณะผู้วิจัยได้จัดทำแบบสอบถามเพื่อประเมินความพึงพอใจของการดำเนินงานและการยอมรับของผู้ใช้ไฟฟ้า โดยจะรวบรวมข้อมูลสำคัญต่างๆ ที่เน้นพฤติกรรมและทัศนคติระหว่างดำเนินโครงการ รวมถึงความพึงพอใจและการยอมรับของผู้เข้าร่วมโครงการหลังจากติดตั้งระบบจัดการกำลังไฟฟ้าสูงสุดของโครงการไปแล้ว ทั้งนี้ แบบสอบถามดังกล่าว มีหัวข้อครอบคลุมมิติดังต่อไปนี้

1) ข้อมูลการใช้งานอุปกรณ์และแอพพลิเคชั่นภายในที่พักอาศัย
   - ช่องทางการใช้งานอุปกรณ์
   - ความถี่ในการเข้าใช้งานอุปกรณ์
   - วัตถุประสงค์ในการเข้าใช้งานอุปกรณ์
2) ระดับความคิดเห็นของผู้เข้าร่วมโครงการเกี่ยวกับด้านเทคโนโลยี
   - ความรู้เข้าเข้าใจที่ได้รับเกี่ยวกับเทคโนโลยี
   - ความพึงพอใจเกี่ยวกับอุปกรณ์ต่างๆ
   - ระดับการยอมรับด้านเทคโนโลยี
3) ระดับความคิดเห็นของผู้เข้าร่วมโครงการเกี่ยวกับด้านการควบคุมเครื่องปรับอากาศ
   - ความเหมาะสมในการควบคุมเครื่องปรับอากาศจากส่วนกลาง
   - ความรู้สึกสะดวกสบาย ความปลอดภัย ภายหลังการติดตั้งอุปกรณ์
   - ผลกระทบที่เกิดขึ้นในการเข้าร่วมโครงการ
   - ระดับการยอมรับด้านการควบคุมเครื่องปรับอากาศ
4) ระดับความคิดเห็นของผู้เข้าร่วมโครงการเกี่ยวกับผลลัพธ์/ทัศนคติที่ได้รับจากโครงการ
   - ค่าไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปจากการเข้าร่วมโครงการ
   - ทัศนคติ/พฤติกรรมที่เปลี่ยนแปลงไปในการลดการใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน
   - ความเห็นต่อนโยบายลดความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดของภาครัฐในอนาคต
   - ความเห็นเกี่ยวกับการลงทุนติดตั้งอุปกรณ์ของท่านในอนาคต

2.9 ผลสำรวจจากแบบสอบถามประเมินความเข้าใจก่อนการดำเนินงาน

คณะผู้วิจัยฯ ได้ดำเนินการสำรวจข้อมูลจากผู้ที่เข้าร่วมโครงการวิจัยนำร่องการดำเนินงานด้านการจัดการกำลังไฟฟ้าสูงสุดในภาคประชาชนจำนวน 100 ราย ตามแบบสอบถามเพื่อประเมินความเข้าใจก่อนการดำเนินงาน และจัดทำผลการสำรวจข้อมูลดังกล่าว พบว่า ปริมาณการใช้เครื่องปรับอากาศสูงสุดของแต่ละวันจะอยู่ในช่วงเวลา 18.00-22.00 น. ในวันทำงาน และช่วงเวลา 22.00-09.00 น. ในช่วงวันหยุด โดยมีระยะเวลาการใช้งานเฉลี่ย 8-10 ชั่วโมงต่อวัน นอกจากนี้ การตั้งค่าอุณหภูมิโดยทั่วไปจะอยู่ที่ระดับ 25˚C และผู้เข้าร่วมโครงการมากกว่า 50% สามารถรับได้หากมีการควบคุมอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศที่สูงกว่า 25˚C แสดงได้ดังนี้

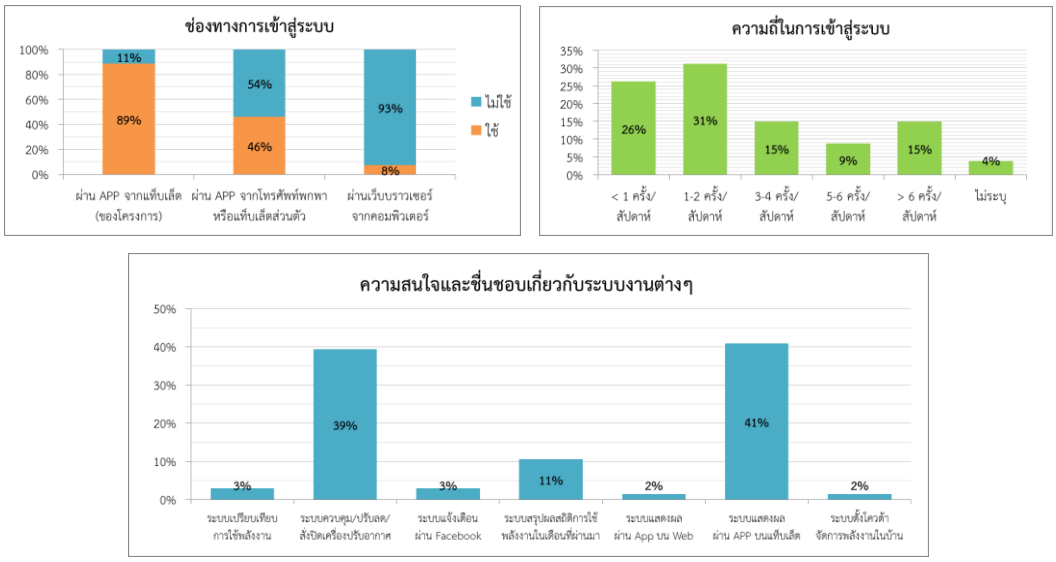


รูปที่ 4 ผลสำรวจเบื้องต้นจากแบบสอบถามประเมินความเข้าใจก่อนการดำเนินงาน

นอกจากนี้ ผู้เข้าร่วมโครงการส่วนใหญ่มีความเห็นที่ดีต่อโครงการวิจัยนำร่องในครั้งนี้ และมีเพียงส่วนน้อยมากที่มีความคิดเห็นขัดแย้ง แต่เฉพาะในส่วนของนโยบายภาครัฐและประเด็นเอกสารของโครงการมากกว่าที่จะเป็นสิ่งที่โครงการวิจัยนำร่องได้พัฒนาขึ้นมา

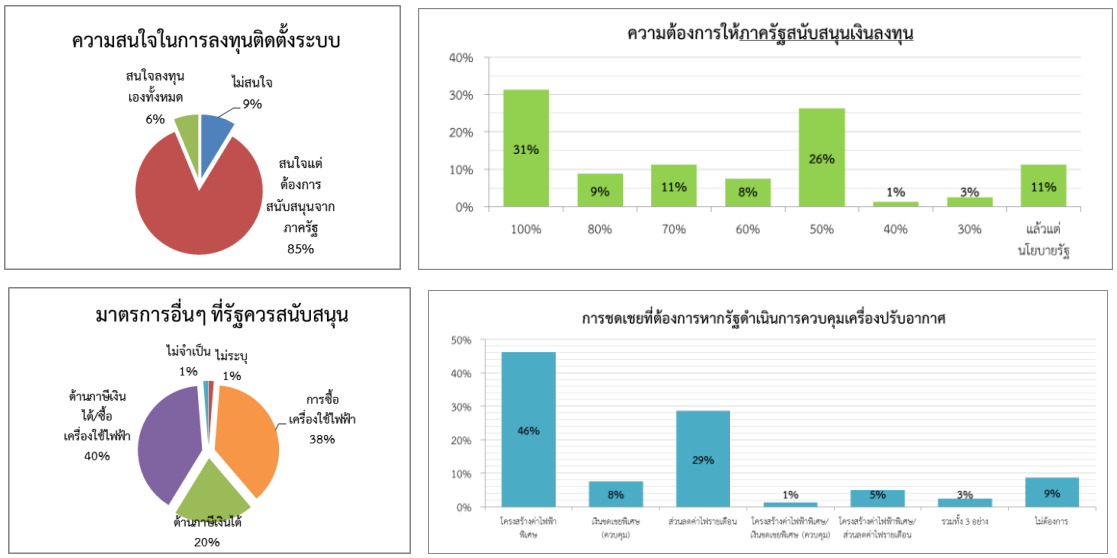
2.10 ผลสำรวจจากแบบสอบถามประเมินความพึงพอใจของการดำเนินงานและการยอมรับของผู้ใช้ไฟฟ้า

คณะผู้วิจัยฯ ได้ดำเนินการสำรวจข้อมูลจากผู้ที่เข้าร่วมโครงการวิจัยนำร่องการดำเนินงานด้านการจัดการกำลังไฟฟ้าสูงสุดในภาคประชาชนจำนวน 100 ราย ตามแบบสอบถามเพื่อประเมินความพึงพอใจและการยอมรับของผู้ใช้ไฟฟ้าภายหลังการดำเนินงาน พบว่าผู้ที่เข้าร่วมโครงการฯ ให้ความร่วมมือในการตอบแบบสอบถามกลับมาจำนวน 80 ราย สามารถสรุปผลการสำรวจข้อมูลดังกล่าว พบว่า การเข้าใช้งานส่วนใหญ่จะเข้าผ่านแอพพลิเคชั่นจากแท็บเล็ตของโครงการ โดยส่วนใหญ่มีการเข้าใช้งาน 1-2 ครั้ง/สัปดาห์ โดยระบบแสดงผลผ่านแอพพลิเคชั่นบนแท็บเล็ตและระบบควบคุมเครื่องปรับอากาศ เป็นส่วนที่ผู้เข้าร่วมโครงการให้ความสนใจและชื่นชอบมากที่สุด แสดงได้ดังนี้



รูปที่ 5 ผลสำรวจเบื้องต้นจากแบบสอบถามประเมินความพึงพอใจและการยอมรับ

นอกจากนี้ ผู้เข้าร่วมโครงการยังมีความสนใจที่จะลงทุนติดตั้งอุปกรณ์ในอนาคต แต่ต้องการการสนับสนุนจากภาครัฐ ในสัดส่วนที่แตกต่างกันออกไป นอกจากนี้ ยังเห็นว่าภาครัฐควรออกมาตรการอื่นๆ นอกเหนือจากเงินลงทุนการติดตั้งอุปกรณ์ ซึ่งส่วนใหญ่มีความต้องการทั้งด้านภาษีเงินได้และส่วนลดในการซื้อเครื่องใช้ไฟฟ้าแบบประหยัดพลังงาน รวมถึงการชดเชยในด้านการกำหนดโครงสร้างราคาค่าไฟฟ้าแบบพิเศษ มาตรการส่วนลดค่าไฟฟ้ารายเดือน และเงินชดเชยในกรณีมีการควบคุมเครื่องปรับอากาศ แสดงได้ดังนี้



รูปที่ 6 ผลสำรวจความสนใจลงทุนติดตั้งอุปกรณ์ในอนาคต

ทั้งนี้ ผู้ที่เข้าร่วมโครงการส่วนใหญ่จะเกิดการเรียนรู้ภายใต้โครงการนำร่องในครั้งนี้ ก่อให้เกิดทัศนคติที่ดีในการวางแผน/เปลี่ยนแปลงพฤติกรรมการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ อย่างเหมาะสมและจำเป็น เพื่อให้ปริมาณการใช้ไฟฟ้าหรือค่าไฟฟ้าไม่เกินเป้าหมายที่ตั้งไว้ และเห็นถึงความสำคัญของการใช้พลังงาน และเกิดความตระหนักรู้ในการช่วยประเทศชาติประหยัดพลังงานมากยิ่งขึ้น

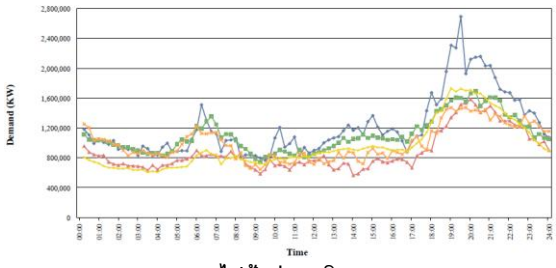
3. ผลการศึกษาและรวบรวมข้อมูลลักษณะการใช้ไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัยของไทย

ในหัวข้อนี้ ได้ทำการรวบรวมข้อมูลลักษณะการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัยในแต่ละภูมิภาคของไทยที่จัดทำโดยการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคและการไฟฟ้านครหลวง เพื่อใช้ศึกษาพฤติกรรมและใช้เป็นข้อมูลในการกำหนดแนวทางลดความต้องการใช้ไฟฟ้าและการบริหารจัดการการใช้ไฟฟ้าในกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัย นอกจากนี้ ในบทนี้ ยังรวบรวมข้อมูลสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์กลุ่มต่างๆ ภายในบ้านอยู่อาศัยซึ่งแบ่งออกเป็น เครื่องปรับอากาศ (Air-conditioner) ระบบแสงสว่าง (Lighting) และอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆ ที่รับไฟจากเต้ารับ (Outlet) โดยอาศัยข้อมูลตัวอย่างที่รวบรวมได้จากระบบบริหารจัดการพลังงานในอาคารที่ติดตั้งที่ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

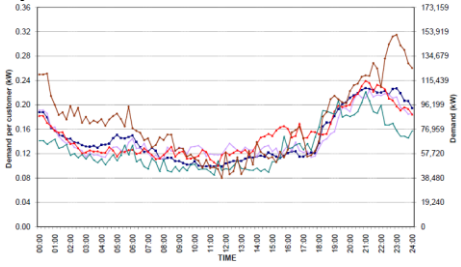
3.1 ลักษณะการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัยของไทย

คณะผู้วิจัยได้ศึกษาและรวบรวมข้อมูลลักษณะการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัยของไทย โดยการรวบรวมข้อมูลลักษณะการใช้ไฟฟ้าตลอดทั้งปีจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคและการไฟฟ้านครหลวง เพื่อนำมาวิเคราะห์ให้เห็นลักษณะการใช้ไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาของวันและฤดูกาล และจะนำไปเปรียบเทียบกับลักษณะการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าในบ้านอยู่อาศัยของกลุ่มตัวอย่างจำนวน 100 ครัวเรือนหลังจากติดตั้งระบบจัดการกำลังไฟฟ้าสูงสุดในภายหลังต่อไป ทั้งนี้ การรวบรวมข้อมูลลักษณะการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัย จะแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มประเภทบ้านอยู่อาศัย น้อยกว่า 150 หน่วยต่อเดือน และ กลุ่มประเภทบ้านอยู่อาศัย มากกว่า 150 หน่วยต่อเดือน ซึ่งตัวอย่างลักษณะการใช้ไฟฟ้ารายวันแสดงได้ดังนี้

ประเภท 1 บ้านอยู่อาศัย <150 หน่วย/เดือน (ข้อมูล ณ เดือนเมษายน 2557)

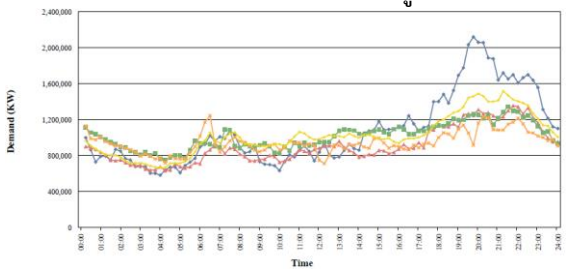


การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

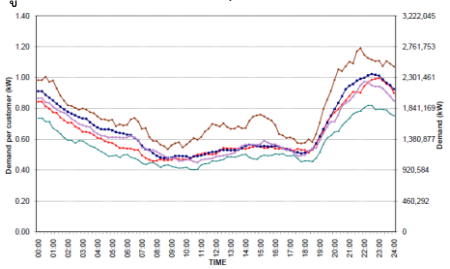


การไฟฟ้านครหลวง

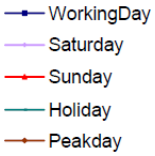
ประเภท 2 บ้านอยู่อาศัย >150 หน่วย/เดือน (ข้อมูล ณ เดือนเมษายน 2557)



การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค



การไฟฟ้านครหลวง



จากลักษณะการใช้ไฟฟ้าของกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัย ทั้งประเภทที่ใช้ไฟฟ้าน้อยกว่า 150 หน่วยต่อเดือนและประเภทใช้ไฟฟ้ามากกว่า 150 หน่วยต่อเดือน จะพบว่า ผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัยโดยปกติจะมีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดจะอยู่ในช่วงหัวค่ำถึงเที่ยงคืนคือ อยู่ในช่วงเวลา 20.00-22.00 น. ตลอดทั้งปี แต่อย่างไรก็ตาม ลักษณะการใช้ไฟฟ้ายังมีความแตกต่างกันในแต่ละวันหรือแต่ละเดือนขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง อาทิเช่น ฤดูกาล สภาพภูมิอากาศ วันหยุดเทศกาลต่างๆ หรือขึ้นกับลักษณะเฉพาะตามภูมิภาคของประเทศ เป็นต้น ซึ่งจะส่งผลให้ความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงขึ้นหรือต่ำลง แต่ลักษณะการใช้ไฟฟ้าในแต่ละวันยังคงมีรูปแบบใกล้เคียงเดิมหรือแตกต่างจากเดิมไม่มากนัก เนื่องจากพฤติกรรมของผู้ใช้ไฟฟ้าในแต่ละประเภทสะท้อนกับการดำเนินชีวิตปกติอยู่แล้ว

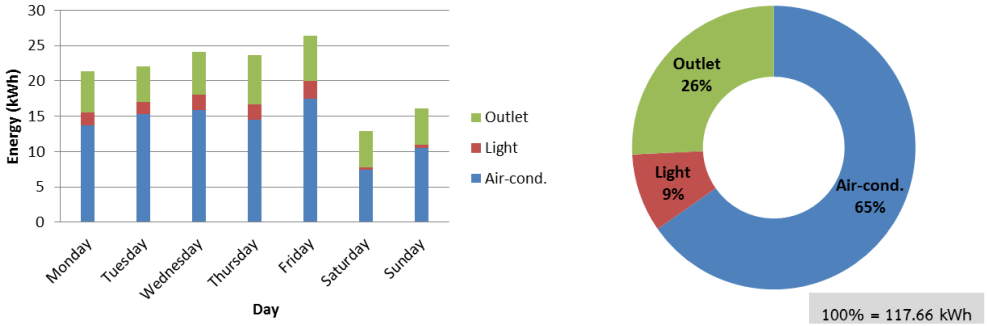
เนื่องจากผลการศึกษาลักษณะความต้องการใช้ไฟฟ้าที่จัดทำโดยการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่ายทั้งสองแห่งแสดงเฉพาะความต้องการใช้ไฟฟ้ารวมของบ้านอยู่อาศัยแต่ละหลัง ไม่ได้แสดงรายละเอียดถึงสัดส่วนของการใช้พลังงานจากอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละประเภทภายในบ้าน ดังนั้น ในหัวข้อต่อไป จะนำเสนอข้อมูลสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ ภายในอาคาร ที่รวบรวมมาจากระบบจัดการพลังงานภายในอาคารภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เพื่อใช้ประกอบการวิเคราะห์การจัดการความต้องการใช้ไฟฟ้าของบ้านอยู่อาศัยในรายละเอียด

3.2 ข้อมูลสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ ภายในอาคาร จากระบบจัดการพลังงานภายในอาคารภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ระบบจัดการพลังงานภายในอาคารของภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ดำเนินการภายใต้โครงการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีระบบโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะเพื่อบริหารจัดการการใช้พลังงานของอาคารหรือเรียกชื่อย่อว่า CU-BEMS ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน สำนักนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน ประจำปีงบประมาณ 2556 เพื่อพัฒนาต้นแบบของระบบบริหารจัดการการใช้พลังงานของอาคารในอนาคต โดยได้มีการตรวจวัดค่าพลังงานในพื้นที่ของอาคารทั้งในระดับชั้น พื้นที่ และห้องต่างๆ โดยเฉพาะในระดับห้อง โครงการดังกล่าวได้กำหนดรูปแบบของห้องไว้ 7 รูปแบบตามที่แสดงในแอปพลิเคชั่นของระบบ คือ Meeting room, Other room, Corridor area, Lecture room, Lab, Room และ Student room จำแนกตามลักษณะการใช้งาน โดยห้องแต่ละรูปแบบจะถูกตรวจวัดและจัดเก็บการใช้พลังงานจาก 3 อุปกรณ์หลัก คือ เครื่องปรับอากาศ (Air-conditioner) ระบบไฟแสงสว่าง (Lighting) และปลั๊กไฟ (Outlet) ซึ่งสามารถนำข้อมูลดังกล่าวมาแสดงผลเป็นกราฟบ่งบอกลักษณะการใช้พลังงานของห้องแต่ละรูปแบบได้

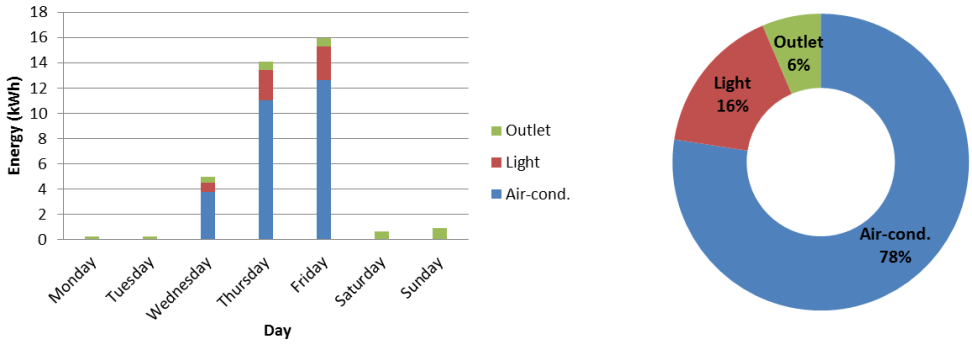
ทั้งนี้ ลักษณะการใช้พลังงานของห้องต่างๆ ในภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในบางรูปแบบ สามารถเทียบได้กับลักษณะการใช้พลังงานของบ้านอยู่อาศัยบางประเภทได้ ดังนั้น ทางคณะผู้วิจัยจึงนำข้อมูลสัดส่วนการใช้พลังงานจากระบบจัดการพลังงานภายในอาคารดังกล่าวมาใช้เทียบเคียงกับลักษณะการใช้พลังงานของบ้านอยู่อาศัยเพื่อแสดงให้เห็นถึงสัดส่วนของความต้องการการใช้พลังงานของ 3 อุปกรณ์หลักคือ เครื่องปรับอากาศ ระบบไฟแสงสว่าง และปลั๊กไฟ โดยทำการจำแนกไปตามห้องในรูปแบบต่างๆ คือ

- **<u>การใช้พลังงานของห้องประเภท Lab</u>** ซึ่งเทียบได้กับบ้านอยู่อาศัยโดยทั่วไป ซึ่งมีการใช้งานตลอดทั้งวัน รวมถึงกลางคืน



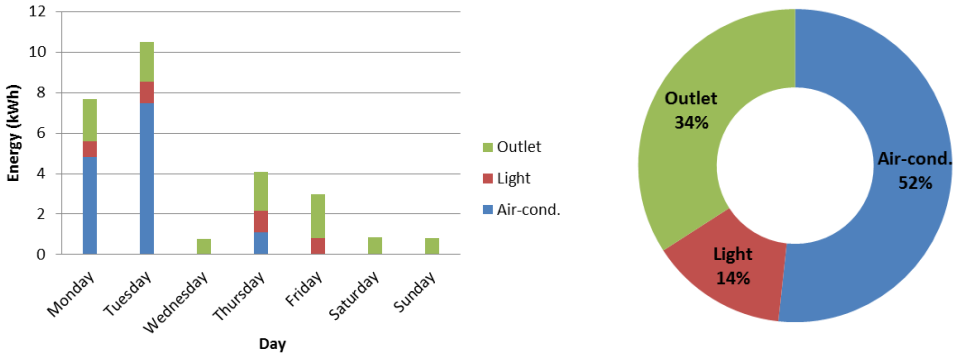
รูปที่ 7 ตัวอย่างการเปรียบเทียบการใช้พลังงานรายวันและสัดส่วนการใช้พลังงานของห้องประเภท Lab

- **<u>การใช้พลังงานของห้องประเภท Meeting room</u>** ซึ่งเทียบได้กับบ้านอยู่อาศัยประเภทที่ใช้งานส่วนใหญ่ในตอนกลางวัน



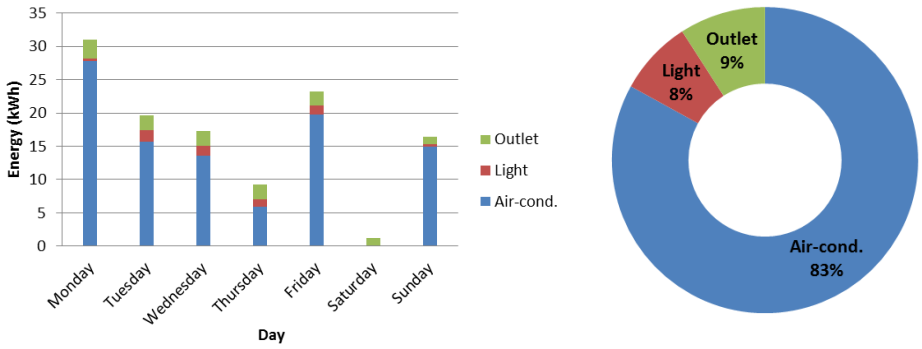
รูปที่ 8 ตัวอย่างการเปรียบเทียบการใช้พลังงานรายวันและสัดส่วนการใช้พลังงานของห้องประเภท Meeting room

- **<u>การใช้พลังงานของห้องประเภท Room</u>** ซึ่งเทียบได้กับบ้านอยู่อาศัยประเภทคอนโด ซึ่งกลางวันไม่ค่อยมีการใช้งาน แต่ใช้งานช่วงกลางคืนเป็นหลัก



รูปที่ 9 ตัวอย่างการเปรียบเทียบการใช้พลังงานรายวันและสัดส่วนการใช้พลังงานของห้องประเภท Room

– **<u>การใช้พลังงานของห้องประเภท Student room</u>** ซึ่งเทียบได้กับบ้านอยู่อาศัยประเภท Home office ซึ่งผู้อยู่อาศัยมีลักษณะการใช้ไฟฟ้าคล้ายสถานที่ทำงาน มีการเปิดใช้งานเครื่องปรับอากาศทุกตัวเกือบตลอดทั้งวัน และมีการใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าทั่วไป



รูปที่ 10 ตัวอย่างการเปรียบเทียบการใช้พลังงานรายวันและสัดส่วนการใช้พลังงานของห้องประเภท Student room

จากข้อมูลสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในห้องรูปแบบต่างๆ ซึ่งเทียบเคียงได้กับบ้านอยู่อาศัยที่รวบรวมมาจากระบบจัดการพลังงานภายในอาคารภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในช่วงเดือน พฤษภาคม – กรกฎาคม 2558 จะพบว่า อุปกรณ์หลักที่ใช้พลังงานไฟฟ้าในสัดส่วนสูงที่สุด คือ เครื่องปรับอากาศ ดังนั้น จากข้อมูลลักษณะการใช้ไฟฟ้าที่ได้จากการศึกษาของการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่ายทั้งสองแห่ง และข้อมูลสัดส่วนการใช้ไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ ภายในอาคาร จึงอาจสรุปได้ว่า หากต้องการบริหารจัดการกำลังไฟฟ้าสูงสุดในบ้านอยู่อาศัย จะต้องทำการควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศในช่วงหัวค่ำนั่นเอง

3.3 ข้อมูลลักษณะความต้องการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัยของกลุ่มตัวอย่างที่ดำเนินการในโครงการ

ในขั้นต้น คณะผู้วิจัยได้ทำการติดตั้งระบบจัดการกำลังไฟฟ้าสูงสุดให้กับทีมงานวิจัย จำนวน 10 หลัง เพื่อทดสอบต้นแบบของอุปกรณ์และแอพพลิเคชั่นต่างๆ ที่พัฒนาขึ้น ซึ่งบ้านอยู่อาศัยกลุ่มดังกล่าวมีลักษณะเป็นบ้านอยู่อาศัยที่มีการใช้ไฟฟ้ามากกว่า 150 หน่วย/เดือน โดยมีลักษณะแตกต่างกันทั้งขนาดพื้นที่ใช้สอยและจำนวนผู้อยู่อาศัย ทั้งนี้ บ้านอยู่อาศัยทั้งหมดอยู่ในเขตพื้นที่ภาคกลาง และมีรายละเอียดต่างๆ ดังต่อไปนี้

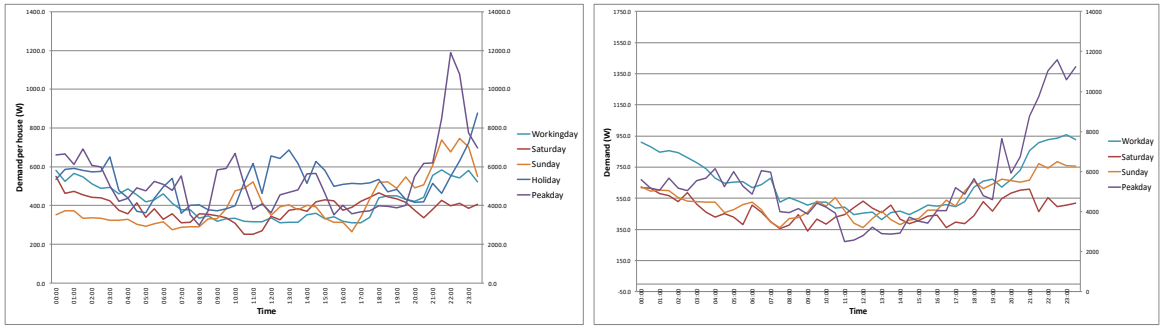
ตารางที่ 3 รายละเอียดของกลุ่มบ้านตัวอย่าง 10 หลัง

บ้านที่	ประเภท	ผู้อาศัย	ช่วงเวลาที่มีคนอยู่	เครื่องปรับอากาศ	ขนาดมิเตอร์
1	ห้องปฏิบัติการ	5-10 คน	ตลอดเวลา	2 เครื่อง	60A
2	บ้านเดี่ยว	1 คน	หัวค่ำถึงเช้า	1 เครื่อง	15(45)A
3	คอนโดมิเนียม	2 คน	หัวค่ำถึงเช้า	1 เครื่อง	15(45)A
4	คอนโดมิเนียม	2 คน	หัวค่ำถึงเช้า	3 เครื่อง	30(100)A
5	คอนโดมิเนียม	2 คน	หัวค่ำถึงเช้า	2 เครื่อง	15(45)A
6	บ้านเดี่ยว	2 คน	หัวค่ำถึงเช้า	1 เครื่อง	15(45)A
7	บ้านเดี่ยว	8 คน	ตลอดเวลา	3 เครื่อง	15(45)A
8	ตึกแถว	4 คน	ตลอดเวลา	2 เครื่อง	15(45)A
9	คอนโด	1 คน	หัวค่ำถึงเช้า	1 เครื่อง	15(45)A
10	บ้านเดี่ยว	9 คน	ตลอดเวลา	3 เครื่อง	30(100)A

3.3.1 ข้อมูลลักษณะความต้องการใช้กำลังไฟฟ้าของบ้านตัวอย่างในโครงการ

ในการติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบกับบ้านตัวอย่างทั้ง 10 หลัง ผู้วิจัยได้เริ่มทยอยติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ ตั้งแต่ช่วงปลายเดือน กันยายน 2558 และติดตั้งแล้วเสร็จครบทั้ง 10 หลัง ประมาณกลางเดือนตุลาคม 2558 ซึ่งข้อมูลที่รวบรวมได้จากระบบ สามารถนำมาจัดการและนำเสนอในรูปแบบของลักษณะความต้องการใช้ไฟฟ้า (Load Profile) เช่นเดียวกับผลการศึกษาของการไฟฟ้านครหลวงและการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยแบ่งตามประเภทของวัน ได้แก่ วันที่มีการใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุด วันทำงานปกติ วันเสาร์ วันอาทิตย์ และวันหยุดพิเศษของเดือนตุลาคม และเดือนพฤศจิกายน ดังรูปที่ 8

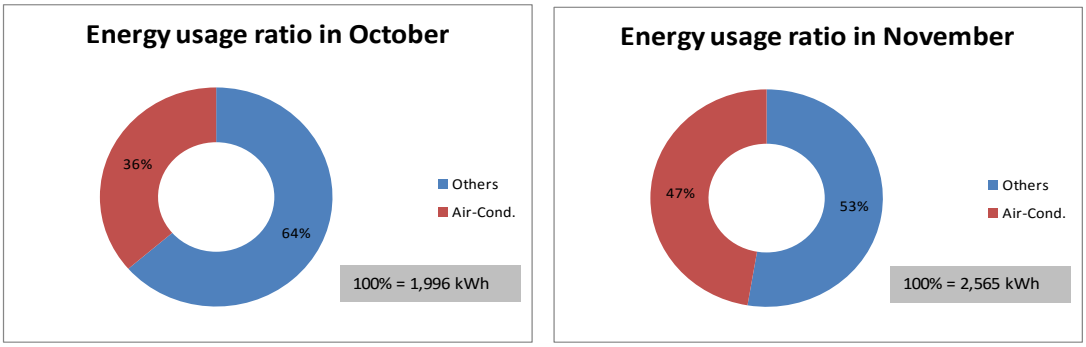
จากข้อมูลการใช้กำลังไฟฟ้าของบ้านตัวอย่างทั้ง 2 เดือน จะพบว่า ช่วงเวลาที่มีการใช้กำลังไฟฟ้าสูงจะเป็นช่วงเวลาที่ใกล้เคียงกันคือเกิดขึ้นในช่วงเวลา 20.00 - 23.00 น. ซึ่งเมื่อทำการเปรียบเทียบกับข้อมูลการใช้ไฟฟ้าในเดือนเดียวกันของปี 2557 จากผลการศึกษาของ กฟน. และ กฟภ. (ภาคกลาง) ที่แสดงในหัวข้อที่ 3.1 จะพบว่า ช่วงเวลาที่มีการใช้กำลังไฟฟ้าสูง คือ 20.00-22.00 น. ซึ่งผลลัพธ์ทั้งสองมีความสอดคล้องกัน



รูปที่ 11 ข้อมูลการการใช้กำลังไฟฟ้าในรูปแบบ Load Profile ของเดือนตุลาคมและพฤศจิกายน 2558

3.3.2 ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละเดือน โดยแบ่งตามประเภทของอุปกรณ์

นอกจากข้อมูลภาพรวมการใช้พลังงานไฟฟ้าของบ้านตัวอย่างในแต่ละวันเดือนแล้ว ระบบที่ติดตั้ง ยังสามารถแยกวิเคราะห์สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ โดยแบ่งเป็นเครื่องปรับอากาศ 1 เครื่องในบ้านที่มีการใช้งานเป็นประจำ และอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆ ที่เหลือภายในบ้าน ดังแสดงในรูปที่ 9

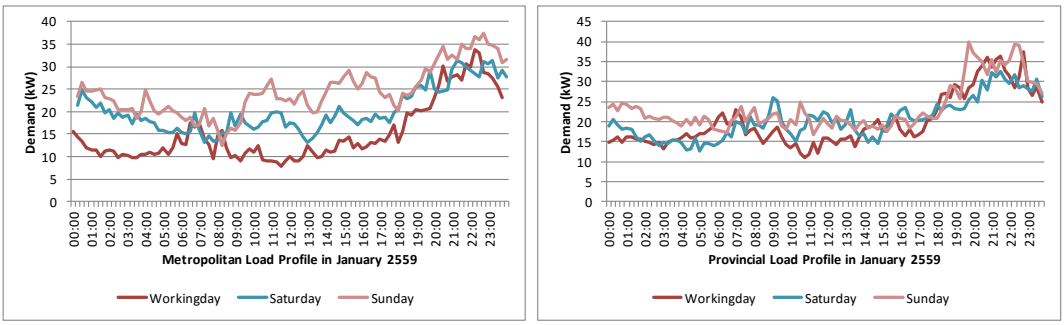


รูปที่ 12 ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าแบ่งตามประเภทอุปกรณ์ของเดือนตุลาคมและพฤศจิกายน 2558

จากข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าของบ้านตัวอย่างทั้ง 10 หลัง จะพบว่า สัดส่วนพลังงานไฟฟ้าจากการใช้งานเครื่องปรับอากาศ คิดเป็นปริมาณ 36% – 47 % ของการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดภายในบ้าน

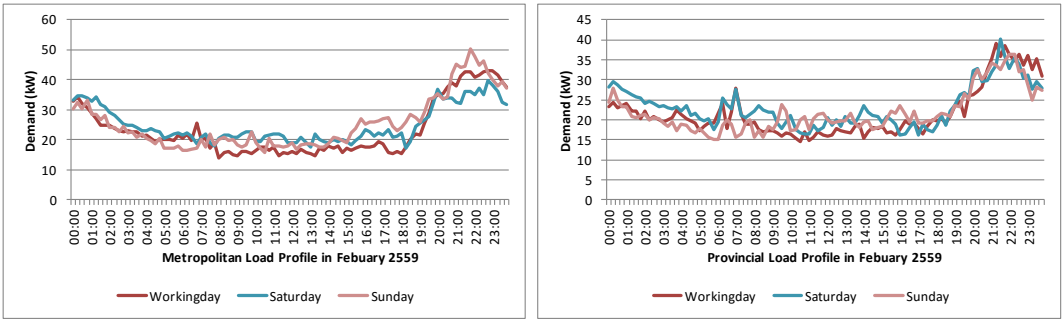
3.3.3 ข้อมูลลักษณะความต้องการใช้กำลังไฟฟ้าของบ้านอยู่อาศัยในโครงการทั้งหมด

ในการติดตั้งอุปกรณ์กับบ้านผู้เข้าร่วมโครงการ ผู้วิจัยได้เริ่มดำเนินการติดตั้งให้กับผู้เข้าร่วมโครงการตั้งแต่ช่วงเดือนธันวาคมเป็นต้นมา โดยมีการทยอยติดตั้งจนครบ 108 หลังในช่วงต้นเดือนมีนาคม 2559 ซึ่งข้อมูลที่รวบรวมได้จากระบบ สามารถนำมาจัดการและนำเสนอในรูปแบบของลักษณะความต้องการใช้ไฟฟ้า (Load Profile) เช่นเดียวกับผลการศึกษาของการไฟฟ้านครหลวงและการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยแบ่งตามประเภทของวัน ได้แก่ วันทำงานปกติ วันเสาร์ และวันอาทิตย์ ของเดือนมกราคม ถึงเดือนมีนาคม ดังนี้



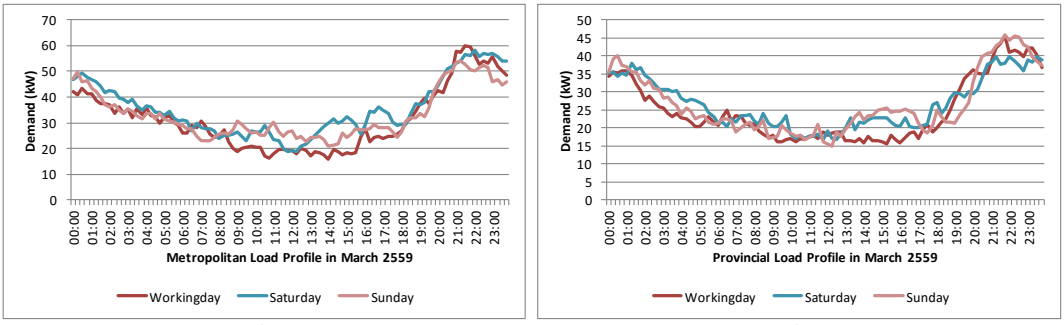
(กฟน.) (กฟภ.)

รูปที่ 13 ข้อมูลการการใช้กำลังไฟฟ้าในรูปแบบ Load Profile ของเดือนมกราคม 2559



(กฟน.) (กฟภ.)

รูปที่ 14 ข้อมูลการการใช้กำลังไฟฟ้าในรูปแบบ Load Profile ของเดือนกุมภาพันธ์ 2559



(กฟน.) (กฟภ.)

รูปที่ 15 ข้อมูลการการใช้กำลังไฟฟ้าในรูปแบบ Load Profile ของเดือนมีนาคม 2559

จากข้อมูลการใช้กำลังไฟฟ้าของบ้านตัวอย่างทั้ง 3 เดือน จะพบว่า ช่วงเวลาที่มีการใช้กำลังไฟฟ้าสูง จะเป็นช่วงเวลาที่ใกล้เคียงกันคือเกิดขึ้นในช่วงเวลา 21.00 - 23.00 น. ซึ่งเมื่อทำการเปรียบเทียบกับข้อมูลการใช้ไฟฟ้าในเดือนเดียวกันของปี 2557 จากผลการศึกษาของ กฟน. และ กฟภ. ที่แสดงในหัวข้อที่ 3.1 จะพบว่าช่วงเวลาที่มีการใช้กำลังไฟฟ้าสูง คือ 20.00 – 22.00 น. ซึ่งผลลัพธ์ทั้งสองมีความสอดคล้องกัน

3.3.4 สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าแต่ละเดือนตามประเภทของอุปกรณ์ของบ้านอยู่อาศัยในโครงการทั้งหมด

หลังจากเริ่มดำเนินการติดตั้งอุปกรณ์ในบ้านที่เข้าร่วมโครงการแล้ว สามารถนำข้อมูลมาแยกวิเคราะห์ตามประเภทของอุปกรณ์ได้แก่เครื่องปรับอากาศจำนวน 1 เครื่อง และอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆทั้งหมดรวมกัน โดยแบ่งกลุ่มบ้านตามพื้นที่ให้บริการของ กฟน. และ กฟภ. แสดงได้ดังนี้

รูปที่ 16 ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าแบ่งตามประเภทอุปกรณ์ของเดือนมกราคม-มีนาคม 2559

จากข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าของบ้านที่เข้าร่วมโครงการทั้งหมด 108 หลัง จะพบว่า สัดส่วนพลังงานไฟฟ้าจากการใช้งานเครื่องปรับอากาศของบ้านอยู่อาศัยในเขตของการไฟฟ้านครหลวงและการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคมีค่าใกล้เคียงกัน โดยคิดเป็นปริมาณอย่างต่ำ 25% – 36 % ของการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดภายในบ้าน ซึ่งนับว่าเป็นปริมาณที่ค่อนข้างสูง ทั้งนี้ ข้อมูลที่แสดงเป็นเพียงข้อมูลที่ได้จากเครื่องปรับอากาศเพียงเครื่องเดียวในบ้านเท่านั้น ซึ่งในบางบ้านอยู่อาศัยอาจมีเครื่องปรับอากาศมากกว่า 1 เครื่องที่มีการใช้งานเป็นประจำก็ได้ ดังนั้น หากภาครัฐต้องการส่งเสริมการลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าลง ทางเลือกที่มีความเหมาะสมและน่าจะเห็นผลได้มากที่สุด ก็คือ การพยายามปรับลักษณะการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศให้มีประสิทธิภาพและมีความเหมาะสมมากที่สุด นั่นเอง

4. ผลการศึกษาเทคโนโลยีการลดความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดและแนวทางการประเมินผลประโยชน์จากการลดความต้องการใช้ไฟฟ้า

ในหัวข้อนี้ ได้กล่าวถึงเทคโนโลยีและวิธีการต่างๆ ที่มีในปัจจุบันที่สามารถช่วยลดปริมาณความต้องการใช้ไฟฟ้า รวมทั้งแนวโน้มการนำเทคโนโลยี Smart Grid มาใช้ในการลดความต้องการไฟฟ้าสูงสุด นอกจากนี้ยังเสนอแนวทางการประเมินผลประโยชน์จากการลดความต้องการใช้ไฟฟ้า เพื่อนำมาวิเคราะห์ความคุ้มค่าจากการลดความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดอีกด้วย

4.1 เทคโนโลยีการลดความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุด

4.1.1 หลักการพื้นฐานการลดความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด

การดำเนินนโยบายด้านพลังงานไฟฟ้าของไทยแบ่งออกเป็น ด้านการบริหารจัดการด้านการผลิตไฟฟ้า (Supply-Side Management; SSM) ซึ่งก็คือ การวางแผนก่อสร้างและจัดหาแหล่งผลิตไฟฟ้าเพื่อสนองความต้องการของผู้ใช้ และด้านการบริหารจัดการด้านการใช้ไฟฟ้า (Demand-Side Management; DSM) ซึ่งเกี่ยวข้องกับ มาตรการที่ปรับเปลี่ยนปริมาณ และ/หรือ ลักษณะของการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้า (end-use) โดยมีวัตถุประสงค์หลัก คือ เพื่อปรับการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าให้สมดุลกับการผลิตไฟฟ้าผ่านเทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพหรืออาจเป็นการปรับเปลี่ยนแบบแผนการใช้ไฟฟ้าด้วยวิธีการจัดการบริหารความต้องการใช้ไฟฟ้า และวัตถุประสงค์อีกด้านหนึ่ง คือ การสร้างเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (Energy Conservation) นั่นเอง

อย่างไรก็ดี DSM สามารถถูกใช้เพื่อวัตถุประสงค์ในการหลีกเลี่ยงหรือชะลอการสร้างโรงไฟฟ้าใหม่ออกไปได้ โดยเป็นทางเลือกที่มีค่าใช้จ่ายต่ำกว่า ในขณะที่ข้อจำกัดทางด้านการผลิตเป็นเรื่องเร่งด่วนยังสามารถใช้ DSM เพื่อดำรงความสามารถของระบบ (หลีกเลี่ยงการ brownouts) หรือทำให้กำลังผลิตของระบบสามารถให้บริการต่อผู้ใช้ไฟฟ้ารายใหม่ได้มากขึ้น หรือสรุปได้ว่า **DSM เป็นทางเลือกที่มีค่าใช้จ่ายต่ำที่สุดในการบริหารจัดการความต้องการไฟฟ้าสูงสุด (Peak Demand)** นั่นเอง

มาตรการที่ใช้ในการจัดการความต้องการไฟฟ้าสูงสุดโดยกระบวนการ DSM ประกอบด้วย มาตรการต่างๆ ที่มีวัตถุประสงค์ที่จะส่งเสริมและสนับสนุน ผู้ใช้ไฟฟ้ากลุ่มเป้าหมายให้ปรับปรุงแนวทางการใช้ไฟฟ้าให้สอดคล้องกับความต้องการของกิจการไฟฟ้า ในขณะที่ผู้ใช้ไฟฟ้ายังคงได้รับคุณประโยชน์รวมทั้งความพึงพอใจเท่าเดิมหรือดีกว่าเดิม เช่น เพิ่มความมั่นคงของระบบ ลดค่าใช้จ่ายของกิจการไฟฟ้าและผู้ใช้ไฟฟ้า ลดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างโรงไฟฟ้าและระบบไฟฟ้า รวมทั้งลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ในการพัฒนาและผลิตไฟฟ้า เป็นต้น

4.1.2 แนวคิดการจัดการความต้องการใช้ไฟฟ้า

แนวคิดของการจัดการความต้องการใช้ไฟฟ้าภายในบ้านอยู่อาศัย จะเป็นแนวคิดที่ส่งเสริมให้ผู้ใช้ไฟฟ้าเกิดการจัดการกับความต้องการใช้ไฟฟ้าและลดความต้องการใช้ไฟฟ้า โดยภาพรวมของ DSM Program จะประกอบไปด้วยกิจกรรม 2 รูปแบบ ดังนี้

(1) การเลื่อนช่วงเวลาความต้องการใช้ไฟฟ้า (Load Shifting)

คือการจัดการโอนย้ายความต้องการใช้ไฟฟ้าระหว่างช่วงที่มีการใช้ไฟฟ้าสูง (Peak) ไปยังช่วงที่มีการใช้ไฟฟ้าที่ไม่ใช่ช่วงพีค (off-peak) หรือ ช่วงความต้องการใช้ไฟฟ้าพีควิกฤต (critical peak demand) (โดยปกติจะอยู่ที่ประมาณ 20-50 ชั่วโมง ในแต่ละปี) หรือช่วงพีครายวัน (ความต้องไฟฟ้าสูงสุดที่เกิดขึ้นใน 24 ชั่วโมง การเลื่อนช่วงเวลาความต้องการไฟฟ้าสูงสุดจะช่วยทำให้ลักษณะการใช้ไฟฟ้ามีความสม่ำเสมอมากขึ้น

(2) การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานและการอนุรักษ์พลังงาน (Energy Efficiency and energy conservation)

การอนุรักษ์พลังงานคือการส่งเสริมให้ผู้ใช้ไฟฟ้าลดการใช้ไฟฟ้าเพื่อประหยัดค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน เช่น การปรับลดอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศ เป็นต้น ส่วนการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน จะช่วยให้ผู้ใช้ไฟฟ้าใช้พลังงานน้อยลงในขณะที่ยังคงกิจกรรมต่างๆในระดับเดิม เช่น การทดแทนเครื่องปรับอากาศเก่าด้วยเครื่องปรับอากาศใหม่ที่มีประสิทธิภาพสูงกว่า

4.1.3 การใช้เทคโนโลยี Smart Grid ในการลดความต้องการไฟฟ้าสูงสุด

แม้ว่าจะมีเทคโนโลยีในการจัดการความต้องการใช้ไฟฟ้าหลายประเภทตามที่ได้กล่าวไว้แล้วข้างต้นนั้น แต่ความสำเร็จในการลดความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดเหล่านี้จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องได้รับความร่วมมือจากผู้ใช้ไฟฟ้าและการออกแบบโครงการในการจูงใจผู้บริโภค อย่างไรก็ดีหลายประเทศในปัจจุบันเริ่มมีการนำเทคโนโลยี Smart grid มาใช้สนับสนุนการจัดการความต้องการใช้ไฟฟ้ามากขึ้น โดยการนำระบบ AMI (Advance Meter Infrastructure) มาใช้ร่วมกับมาตรการการลดความต้องการใช้ไฟฟ้า ดังนี้

- การใช้ AMI ร่วมกับโปรแกรมอุดหนุนทางการเงิน (เช่น การควบคุมโหลดโดยตรง หรือ Direct Load Control Program)
- การใช้ AMI ร่วมกับระบบของผู้ใช้ไฟฟ้า (เช่น ระบบข้อมูลการใช้พลังงานและระบบอำนวยความสะดวกการควบคุมการใช้พลังงานของผู้ใช้ไฟฟ้า)
- การใช้ AMI ร่วมกับ อัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลา
- การใช้ AMI พร้อมกับระบบของผู้ใช้ไฟฟ้า และ อัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลา

AMI คือระบบในการตรวจวัด รวบรวม วิเคราะห์การใช้ไฟฟ้า และสื่อสารกับอุปกรณ์วัด เช่น มิเตอร์ไฟฟ้า มิเตอร์ก๊าซ มิเตอร์ความร้อน มิเตอร์น้ำ หรือการสื่อสารควบคุมตามความต้องการหรือตามตารางเวลาที่กำหนด ซึ่งระบบ AMI จะประกอบด้วย ฮาร์ดแวร์ ซอฟท์แวร์ ระบบสื่อสาร ระบบการแสดงผลการใช้ไฟฟ้า ระบบการควบคุมการใช้ไฟฟ้า ระบบการจัดการข้อมูลการใช้ไฟฟ้า

ทั้งนี้ภาครัฐในหลายประเทศมีการลงทุนหรือให้ผู้จำหน่ายไฟฟ้าปรับเปลี่ยนโครงสร้างพื้นฐานไปเป็น AMI ซึ่งเป็นจุดสำคัญที่สุดในการปรับเปลี่ยนสู่ระบบ “Smart Grid” ทั้งนี้ AMI สามารถขยายขอบข่ายระบบ Automatic meter reading (AMR) ให้สามารถสื่อสารสองทิศทางได้และสามารถส่งคำสั่งโดยตรงไปยังบ้านอยู่อาศัยเพื่อตรวจสอบราคาและอัตราค่าไฟฟ้าในขณะนั้น และการดำเนินการควบคุมและตอบสนองความต้องการการใช้ไฟฟ้า หรือการระงับการใช้ไฟฟ้าจากระยะไกล (remote service disconnects)

เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายเป็นองค์ประกอบที่สำคัญมากในการสื่อสารข้อมูลการทำงานจากเครื่องวัดหลายพันเครื่องในพื้นที่สู่ศูนย์การรวบรวมข้อมูล

4.1.4 นโยบายการจัดการความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดของไทยที่เกี่ยวข้องกับผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัย

นโยบายการจัดการความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดที่เกี่ยวข้องกับผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัย คือ มาตรการคิดค่าไฟฟ้าแบบอัตราก้าวหน้า ซึ่งเป็นการคิดค่าไฟฟ้าที่แปรตามจำนวนหน่วยการใช้งานของผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีอัตราค่าบริการไฟฟ้าต่อหน่วยแพงขึ้นในลักษณะขั้นบันได ทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้าที่ใช้ไฟฟ้าในปริมาณมากต้องจ่ายค่าไฟฟ้าต่อหน่วยที่แพงกว่าคนที่ใช้ไฟน้อย และผลจากค่าไฟฟ้าที่แพงขึ้นนี้มีแนวโน้มที่จะทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้าใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยลงเพื่อประหยัดค่าใช่จ่าย และส่งผลให้มีการใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบลดลงอีกด้วย

ประโยชน์ของมาตรการคิดค่าไฟฟ้าแบบอัตราก้าวหน้าต่อการลดความต้องการไฟฟ้าสูงสุด

(1) ก่อให้เกิดความตระหนักในการใช้พลังงานไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าให้น้อยลงเพื่อประหยัดค่าใช้จ่าย ทำให้มีส่วนช่วยในการลดการใช้พลังงานจากระบบไฟฟ้า และเป็นการช่วยลดค่าความต้องการไฟฟ้าสูงสุดของระบบไฟฟ้าทางอ้อม

(2) ส่งผลให้เกิดการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นเนื่องจากผู้ใช้ไฟฟ้าต้องการใช้ปริมาณไฟฟ้าให้มีปริมาณต่ำๆ ที่มีอัตราค่าบริการไฟฟ้าราคาถูกกว่า ทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้าจะใช้ไฟฟ้าเมื่อยามจำเป็นเท่านั้น

(3) เมื่อผู้ใช้ไฟฟ้ามีปริมาณการใช้ไฟฟ้าลดลงทำให้ระบบไฟฟ้าไม่จำเป็นต้องผลิตไฟฟ้าเพื่อมารองรับความต้องการไฟฟ้าสูงสุดที่มากเกินไป และยังส่งผลให้ค่าตัวประกอบโหลด (Load Factor) ของทั้งระบบดีขึ้นอีกด้วย

4.2 แนวทางการประเมินผลประโยชน์จากการลดความต้องการใช้ไฟฟ้าของประเทศไทย

แนวทางและผลการวิเคราะห์เบื้องต้นสำหรับผลประโยชน์ที่เกิดจากการลดความต้องการใช้ไฟฟ้าของประเทศไทย จะพิจารณาจากการประมาณการต้นทุนผลิตไฟฟ้าหน่วยสุดท้ายสำหรับระบบผลิตไฟฟ้าของประเทศไทยในปัจจุบันซึ่งประกอบโรงไฟฟ้าซึ่งใช้เชื้อเพลิงเชิงพาณิชย์หลายประเภท เช่น น้ำมันเตา ถ่านหินลิกไนท์ ถ่านหินบิทูมินัส ก๊าซธรรมชาติ น้ำมันดีเซล ไฟฟ้าที่นำเข้าจากต่างประเทศ ฯลฯ เพื่อนำมาวิเคราะห์ช่วงเวลาที่เหมาะสมในการออกนโยบายหรือมาตรการต่างๆ และผลประโยชน์ที่ได้รับจากการลดความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดของประเทศไทย โดยมีสมมติฐานว่าเมื่อมีการลดความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุด พลังงานไฟฟ้าที่หายไปจะเป็นไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเชื้อเพลิงเชิงพาณิชย์หน่วยสุดท้ายของระบบ ทั้งนี้ ในการพิจารณาว่าไฟฟ้าที่ผลิตหน่วยสุดท้ายจะมาจากเชื้อเพลิงชนิดใดจะพิจารณาจากต้นทุนการผลิตไฟฟ้า และแนวทางการจัดหาไฟฟ้าตามแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศเป็นหลัก

นอกจากนี้ ผลประโยชน์ส่วนหลักและเป็นส่วนสำคัญที่สุดที่เกิดจากการจัดการความต้องการไฟฟ้าสูงสุดคือผลประโยชน์ที่เกิดจากการหลีกเลี่ยงต้นทุนการก่อสร้างโรงไฟฟ้า (Avoided Capacity Benefit) ดังตัวอย่างการแสดงผลประโยชน์และต้นทุนในการดำเนินการของรัฐแคลิฟอร์เนีย ซึ่งชี้ให้เห็นว่าผลประโยชน์ในการหลีกเลี่ยงการก่อสร้างโรงไฟฟ้าเป็นผลประโยชน์หลัก (Majority) จากการดำเนินมาตรการจัดการความต้องการไฟฟ้าสูงสุดผ่านมาตรการ Demand Response

ซึ่งข้อมูลในแผน PDP2015 พบว่า ได้กำหนดให้มีการก่อสร้างโรงไฟฟ้ากังหันแก๊สเพื่อใช้เป็นโรงไฟฟ้าที่จ่ายในช่วงโหลดสูง (Peaking Plant) อยู่ทั้งสิ้น 1,000 MW โดยโรงไฟฟ้าประเภทนี้มีเงินลงทุนอยู่ที่ 304 USD/kW ทั้งนี้ หากคิดเงินลงทุนเฉลี่ย ณ ปี 2569 ซึ่งเป็นช่วงกลางแผน PDP2015 โดยกำหนดสมมติฐานให้เงินลงทุนก่อสร้างมีการเติบโตตามเงินเฟ้อเฉลี่ยปีละ 2% จะพบว่า จะต้องใช้เงินลงทุน 370 USD/kW หรือประมาณ 13,320 บาท/kW (ณ อัตราแลกเปลี่ยน 36 บาท/USD) โดยคิดเป็นเงินลงทุนทั้งสิ้น 13,320 ล้านบาท อย่างไรก็ดี สำหรับกรณีของประเทศไทยที่มีสัดส่วนกำลังผลิตสำรองอยู่ในระดับสูงในปัจจุบัน การสั่งเดินเครื่องโรงไฟฟ้าในขั้นปฏิบัติการ อาจไม่ได้มีการสั่งเดินเครื่องโรงไฟฟ้ากังหันแก๊ส แต่อาจมีการใช้โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมมาทำการจ่ายไฟฟ้าในช่วงที่มีความต้องการไฟฟ้าสูงสุดต่อเนื่องเป็นระยะเวลาหลายปีแทน ดังนั้น มูลค่าต้นทุนที่หลีกเลี่ยงได้จริงอาจจะเพิ่มขึ้นจากการเปลี่ยนมาพิจารณาต้นทุนการก่อสร้างโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมแทน ซึ่งมีเงินลงทุนสูงกว่า 2.5 เท่าได้ ทำให้มูลค่าต้นทุนการหลีกเลี่ยงการก่อสร้างโรงไฟฟ้าอาจสูงขึ้นเป็นกว่า 33,000 ล้านบาท หรือ 33,000 บาท/kW ทั้งนี้ ต้นทุนดังกล่าวสามารถใช้เป็นพื้นฐานในการกำหนดนโยบายในการส่งเสริมการใช้อุปกรณ์ประเภท Direct Load Control (DLC) หรือมาตรการด้าน Demand Response (DR) อื่นๆ ต่อไปได้

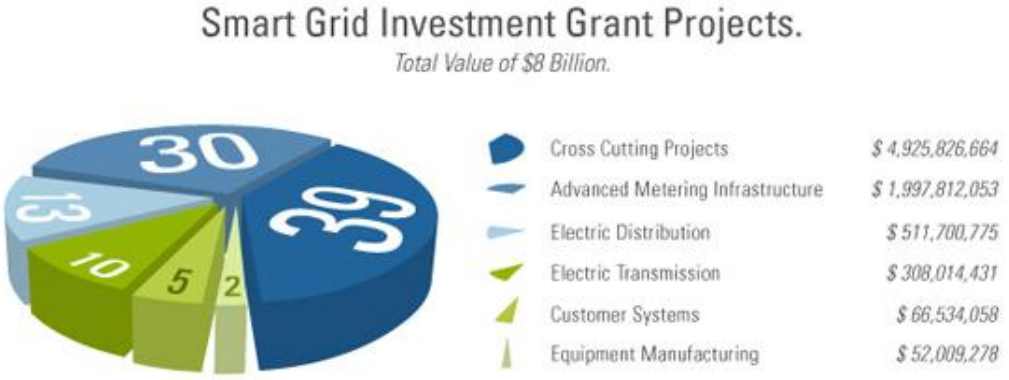
4.3 การวิเคราะห์โครงสร้างพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับการจัดการกำลังไฟฟ้าสูงสุดของประเทศไทย

ในหัวข้อนี้ จะกล่าวถึงการวิเคราะห์ความเหมาะสมของโครงสร้างพื้นฐานด้านไฟฟ้าที่มีการใช้อยู่ในประเทศไทย โดยจะอ้างอิงจากแนวทางการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานทางด้านไฟฟ้าเพื่อรองรับเทคโนโลยีต่างๆ ที่ทันสมัยและมีการดำเนินการจริงแล้วในต่างประเทศ เพื่อเป็นแนวคิดต้นแบบในการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานของประเทศไทยต่อไปในอนาคต จากนั้น จะทำการวิเคราะห์การลงทุนโครงสร้างพื้นฐานของหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการจัดการกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Demand Response) ของไทยในช่วงที่ผ่านมา

4.3.1 การลงทุนโครงสร้างพื้นฐานด้านไฟฟ้าในต่างประเทศ

แม้ว่าปัจจุบันประเทศไทยจะมีการประกาศแผนแม่บทการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์กริดของประเทศไทย พ.ศ. 2558-2579 แล้วก็ตาม แต่ก็ยังถือได้ว่าประเทศไทยยังอยู่ในช่วงเริ่มต้นของการลงทุนด้านโครงสร้างพื้นฐานด้านสมาร์ดกริดเท่านั้น ทั้งนี้ การลงทุนโครงสร้างพื้นฐานด้านสมาร์กริดจะต้องใช้เงินลงทุนสูงมาก จากข้อมูลของประเทศสหรัฐอเมริกาซึ่งได้จัดทำ The Smart Grid Investment Grant (SGIG) program ตั้งแต่ปี 2007 ภายใต้กฎหมาย Energy Independence and Security Act นั้น พบว่า มีการลงทุนทางด้านสมาร์ทกริดไปแล้วมากกว่า 8,000 ล้านเหรียญสหรัฐ หรือกว่า 288,000 ล้านบาท โดยกว่า 60% เป็นการลงทุนกับโครงการนำร่องการสาธิตและส่งเสริมเทคโนโลยีสมาร์ทกริดต่างๆ และมากกว่า 25% เป็นการลงทุนทางด้าน Advance Metering Infrastructure หรือ AMI

ทั้งนี้ จากการดำเนินงานโครงการและทำการพิจารณาเปรียบเทียบกับโครงสร้างพื้นฐานต่างๆ ที่มีความจำเป็นต่อระบบสมาร์ดกริดในส่วนของมาตรการ Demand Response จะพบว่า อุปกรณ์ที่เป็นโครงสร้างพื้นฐานที่จำเป็นสำหรับระบบสมาร์ดกริดในส่วนของมาตรการ Demand Response ควรจะต้องมีการลงทุนใน 2 ส่วนหลัก ประกอบด้วย ระบบ AMI และระบบส่วนของผู้ใช้ไฟฟ้า (Customer Systems)



รูปที่ 17 แผนการลงทุนโครงสร้างพื้นฐานด้านสมาร์กริด

4.3.2 การลงทุนโครงสร้างพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับการจัดการกำลังไฟฟ้าสูงสุดของไทย

สำหรับประเทศไทยนั้น การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเป็นหน่วยงานที่มีการดำเนินงานด้านสมาร์ทกริดในประเทศไทยเป็นหน่วยงานแรกๆ และปัจจุบันได้จัดทำกรอบแผนโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะตามแผนพัฒนาระบบไฟฟ้าในช่วงแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 11 โดยมีวงเงินลงทุนรวมกว่า 13,645 ล้านบาท ประกอบด้วย 5 แผนงานย่อย อันได้แก่

- โครงการพัฒนาโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะ ระยะที่ 1 วงเงินลงทุน 4,860 ล้านบาท
- โครงการติดตั้งระบบมิเตอร์อัจฉริยะ ระยะที่ 1 วงเงินลงทุน 5,350 ล้านบาท
- แผนงานปรับปรุงระบบไฟฟ้ารองรับผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมากจากพลังงานหมุนเวียน วงเงินลงทุน 2,700 ล้านบาท
- โครงการพัฒนาระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานหมุนเวียนบนพื้นที่ เกาะกูด เกาะหมาก จ.ตราด วงเงินลงทุน 225 ล้านบาท
- โครงการพัฒนาระบบโครงข่ายไฟฟ้าแบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็กมาก (MICRO GRID) ที่ อ.แม่สะเรียง จ.แม่ฮ่องสอน วงเงินลงทุน 330 ล้านบาท

โดยในแผนงานระยะที่ 1 นั้น มีส่วนงานที่มีความเกี่ยวข้องกับการลงทุนระบบ AMI ได้แก่ โครงการพัฒนาโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะ ระยะที่ 1 และโครงการติดตั้งระบบมิเตอร์อัจฉริยะ ระยะที่ 1 โดยมีเป้าหมายการติดตั้งระบบ Smart meter แก่ผู้ใช้ไฟฟ้ากว่า 1,450,000 ราย ก่อนดำเนินการขยายผลทั่วประเทศต่อไป

4.3.3 แนวโน้มการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐาน และการพัฒนาเทคโนโลยีการจัดการกำลังไฟฟ้าสูงสุด

จากข้อมูลการลงทุนพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานเพื่อรองรับการจัดการกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่กล่าวถึงในหัวข้อที่ผ่านมา จะพบว่า ความสำเร็จของการพัฒนาเทคโนโลยีดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับระบบการเชื่อมต่อข้อมูลจากส่วนกลางไปยังผู้ใช้ซึ่งโดยทั่วไปก็คือ ระบบโครงสร้างพื้นฐานด้านมิเตอร์ขั้นสูง (Advanced Metering Infrastructure; AMI) และระบบเชื่อมต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าภายในบ้านที่ชาญฉลาด (Smart Appliances)

สำหรับในโครงการนี้ เนื่องจากปัจจุบัน การไฟฟ้าทั้งสามแห่งยังไม่ได้มีการลงทุนโครงสร้างพื้นฐานระบบ AMI คณะผู้วิจัยจึงต้องสร้างช่องทางเชื่อมต่อโครงข่ายเลียนแบบ AMI ชั่วคราว ส่วนสำหรับระบบเชื่อมต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าภายในบ้านที่ชาญฉลาดนั้น เนื่องจากปัจจุบัน ประเทศไทยก็ไม่ได้มีกฎเกณฑ์หรือมาตรการเพื่อกระตุ้นหรือบังคับให้ผู้ผลิตอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ ผลิตอุปกรณ์ที่เอื้อต่อการเชื่อมต่อข้อมูลทางไฟฟ้าที่จำเป็นและเข้ากันได้ (Interoperability) กับระบบ AMI อย่างไรก็ดี แนวโน้มการการพัฒนาเทคโนโลยีการจัดการกำลังไฟฟ้าสูงสุดในอนาคตอาจไม่จำเป็นต้องยุ่งยากมากเท่านี้ หรือต้องมีการลงทุนสูงเท่านี้ เนื่องจากโครงสร้างพื้นฐานต่างๆ ที่จำเป็นมีแนวโน้มที่จะเกิดขึ้นเองจากแรงขับเคลื่อนต่างๆ ในอนาคต ซึ่งอาจสรุปได้ดังนี้

- การพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานของระบบสื่อสารสารสนเทศ
- การพัฒนาโครงสร้างระบบเชื่อมต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าภายในบ้านที่ชาญฉลาด
- การพัฒนาระบบ Smart Home ของ APPLE และ GOOGLE

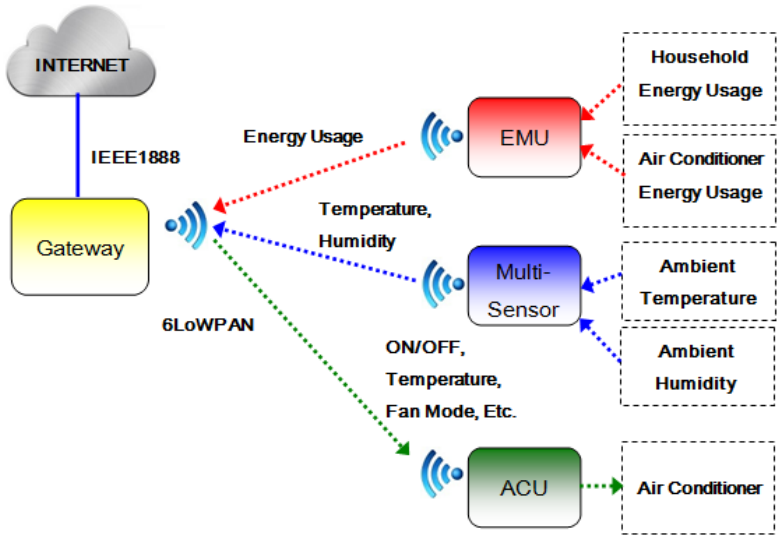
4.3.4 ข้อเสนอแนะในการลงทุนด้านเทคโนโลยีการจัดการกำลังไฟฟ้าสูงสุดของไทย

สำหรับการลงทุนของประเทศไทยเพื่อรองรับการจัดการกำลังไฟฟ้าสูงสุดนั้น ก็จะมีทิศทางที่คล้ายกับโครงสร้างการดำเนินงานภายใต้ SGIG ของสหรัฐอเมริกาเช่นเดียวกัน กล่าวคือโครงสร้างพื้นฐานต่างๆ ที่มีความจำเป็นต่อระบบสมาร์ทกริดในส่วนของมาตรการ Demand Response ควรจะต้องมีการลงทุนใน 2 ส่วนหลัก ประกอบด้วย ระบบ AMI และระบบส่วนของผู้ใช้ไฟฟ้า (Customer Systems) โดยควรมีการดำเนินการดังนี้

- ระบบ AMI (ตั้งแต่มิเตอร์ขึ้นไป) นั้น เป็นส่วนที่ต้องลงทุนโดยรัฐ หรือผู้จำหน่ายไฟฟ้า
- ระบบส่วนของผู้ใช้ไฟฟ้า (หลังจากมิเตอร์ไฟฟ้าถึงอุปกรณ์ไฟฟ้า) เป็นส่วนที่ผู้ใช้ไฟฟ้าเป็นผู้ลงทุนเอง
- ส่วนของภาคอุตสาหกรรมการผลิตอุปกรณ์ไฟฟ้า ภาครัฐควรมีส่วนกำหนดนโยบายในการผลักดัน

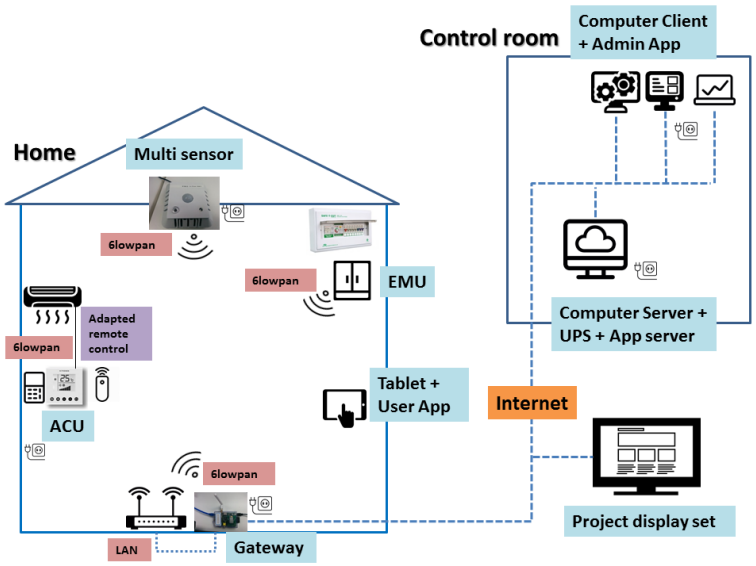
5. การพัฒนาฮาร์ดแวร์ต้นแบบสำหรับระบบจัดการกำลังไฟฟ้าสูงสุดในภาคประชาชน

ระบบจัดการกำลังไฟฟ้าสูงสุดในภาคประชาชนจะมีการพัฒนาฮาร์ดแวร์ ขึ้นมาใช้งานภายในบ้านอยู่อาศัย (Home) ซึ่งประกอบไปด้วย มัลติเซนเซอร์ มิเตอร์อัจฉริยะ ตัวควบคุมการทำงานของเครื่องปรับอากาศ และเกตเวย์ตามมาตรฐาน IEEE1888 ซึ่งอุปกรณ์แต่ละตัว จะมีการทำงานที่สัมพันธ์กันดังนี้



รูปที่ 18 ภาพรวมความสัมพันธ์การทำงานของอุปกรณ์ภายในบ้าน

ในโครงการนี้มีการติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการสังเกตลักษณะการใช้กำลังไฟฟ้าและการควบคุมจากส่วนกลาง และมีการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆภายในบ้านอยู่อาศัย 100 หลัง เพื่อตรวจวัดค่ากำลังไฟฟ้าในแต่ละบ้านและตรวจวัดสภาพแวดล้อมเพื่อสังเกตผลกระทบที่เกิดจากการดำเนินการตามโครงการนี้ แสดงภาพรวมการติดตั้งส่วนประกอบต่างๆของโครงการ ดังนี้



รูปที่ 19 แนวคิดตำแหน่งการติดตั้งและการสื่อสารกันระหว่างอุปกรณ์

ทั้งนี้ อุปกรณ์สำหรับส่วนกลางจะติดตั้งที่สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน และห้อง server ชั้น 13 ตึก 4 คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ส่วนอุปกรณ์ต่างๆที่ติดตั้งในบ้าน 100 หลัง จะถูกติดตั้งกระจายไปทั่วประเทศไทย แบ่งพื้นที่การติดตั้งออกเป็น 5 พื้นที่หลักๆ พร้อมกับเลือกจังหวัดตัวอย่างนำร่องในการติดตั้งอุปกรณ์ดังนี้ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 2 ทั้งนี้ ตามโครงสร้างของระบบ มีอุปกรณ์ที่จะต้องนำไปติดตั้งเพื่อให้ระบบสามารถดำเนินการได้ดังนี้

1) <u>มัลติเซนเซอร์ และตัวควบคุมเครื่องปรับอากาศ</u> พร้อมกับตัวแปลงไฟฟ้า (adapter)

ทำหน้าที่ในการตรวจวัดสภาพแวดล้อมของห้องที่ทำการติดตั้งระบบ โดยจะตรวจวัดค่าอุณหภูมิและความชื้น และใช้ในการส่งค่าควบคุมเครื่องปรับอากาศ โดยจะมีหลอด LED ส่งค่าคำสั่งของระบบเพื่อควบคุมการทำงานของเครื่องปรับอากาศ ซึ่งมาจากทั้งส่วนกลางและผู้ใช้ภายในบ้านเป็นคนสั่งควบคุม

รูปที่ 20 รูปมัลติเซนเซอร์และตัวควบคุมเครื่องปรับอากาศ พร้อมตัวอย่างการติดตั้ง

2) <u>มิเตอร์อัจฉริยะ</u>

ทำหน้าที่ในการตรวจวัดค่ากำลังไฟฟ้า โดยโครงการนี้จะตรวจวัดค่ากำลังไฟฟ้ารวมของบ้านอยู่อาศัยและค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ 1 เครื่องของบ้านหลังนั้น

รูปที่ 21 รูปภาพมิเตอร์อัจฉริยะ พร้อมตัวอย่างการติดตั้ง

3) <u>เกตเวย์ตามมาตรฐาน IEEE1888</u> พร้อมกับตัวแปลงไฟ(adapter)

ทำหน้าที่ในการรับ-ส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ภายในบ้านกับระบบส่วนกลาง ซึ่งถูกพัฒนาตามมาตรฐาน IEEE1888 โดยเกตเวย์จะทำหน้าที่รับค่าจากมัลติเซนเซอร์, ตัวควบคุมเครื่องปรับอากาศ และมิเตอร์อัจฉริยะ แล้วส่งค่าต่อไปเก็บยังหน่วยเก็บข้อมูลของระบบ พร้อมกับทำหน้าที่รับคำสั่งจากระบบ ส่งต่อไปยังตัวควบคุมเครื่องปรับอากาศเพื่อควบคุมการทำงานของเครื่องปรับอากาศต่อไป

รูปที่ 22 รูปภาพของเกตเวย์

4) <u>แท็บเล็ต</u> พร้อมอุปกรณ์ครบชุด

ทำหน้าที่เป็นส่วนแสดงผลข้อมูลการใช้กำลังไฟฟ้าของโครงการและภายในบ้านของผู้ใช้งาน และเป็นส่วนให้ผู้ใช้ภายในบ้านสามารถควบคุมการทำงานของเครื่องปรับอากาศในบ้านได้อีกด้วย

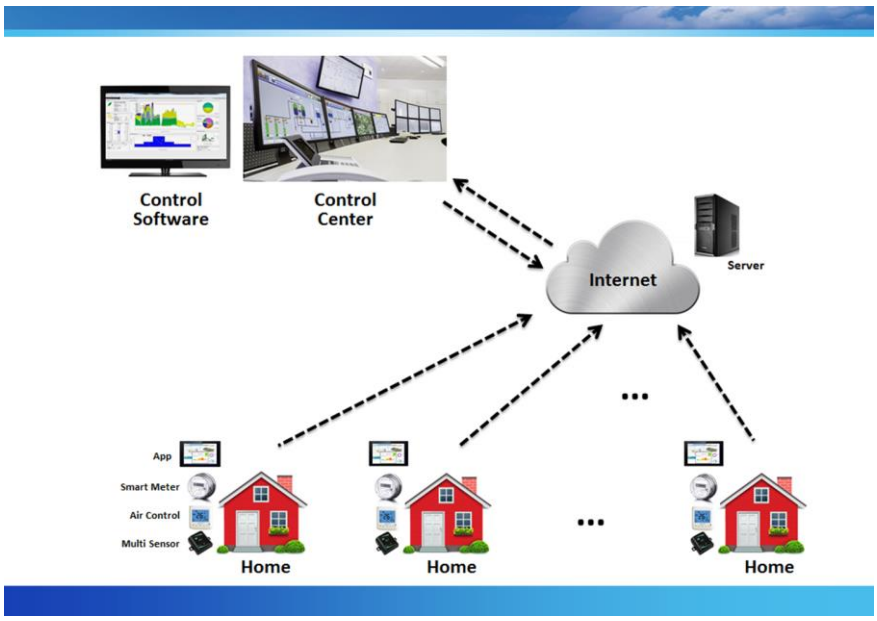
รูปที่ 23 รูปภาพแท็บเล็ตของโครงการ

6. การพัฒนาแอปพลิเคชั่นสำหรับระบบบริหารจัดการความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดในโครงการ

6.1 ภาพรวมการทำงานของระบบ

6.1.1 แนวคิดต้นแบบ

แนวคิดเบื้องต้นของระบบจัดการกำลังไฟฟ้าสูงสุดในภาคประชาชนที่พัฒนาขึ้น ซึ่งประกอบด้วยการพัฒนาด้านฮาร์ดแวร์และซอฟท์แวร์ จะสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 24



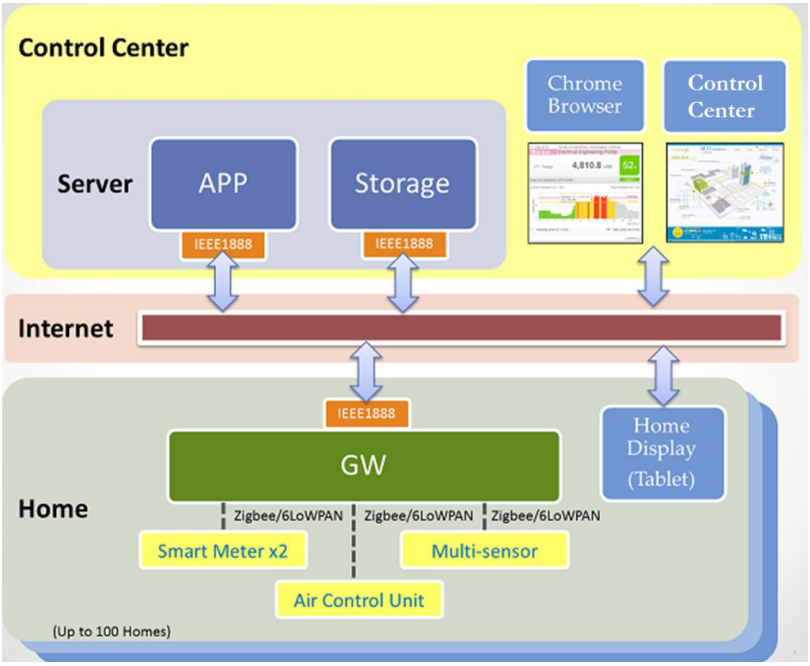
รูปที่ 24 แนวคิดต้นแบบของระบบจัดการกำลังไฟฟ้าสูงสุดในภาคประชาชน

สำหรับจุดประสงค์หลักของโครงการนี้ คือ การสร้างระบบบริหารจัดการกำลังไฟฟ้าสูงสุดของบ้านจำนวน 100 หลัง ซึ่งระบบจะต้องสามารถตรวจสอบสถานะความต้องการใช้ไฟฟ้าโดยรวมของบ้านทั้ง 100 หลัง หรือจำเพาะแต่ละหลังได้ และต้องสามารถควบคุมการทำงานของเครื่องปรับอากาศภายในบ้านแต่ละหลัง เพื่อให้สามารถลดความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดในสภาวะที่ระบบต้องการได้ เพื่อให้มีความสามารถดังกล่าว ระบบที่พัฒนาขึ้น ต้องมีองค์ประกอบ 4 ส่วนหลัก คือ

1) อุปกรณ์ตรวจวัดและควบคุมอัตโนมัติ
2) ระบบฐานข้อมูลและแอปพลิเคชั่น
3) ศูนย์ควบคุมและสั่งการ
4) การเชื่อมโยงผ่านระบบเทคโนโลยีสารสนเทศ (อินเทอร์เน็ต)

6.1.2 ประยุกต์ใช้งานตามมาตรฐาน IEEE1888

ระบบบริหารจัดการกำลังไฟฟ้าสูงสุดของบ้าน 100 หลังนี้ โครงสร้างและส่วนประกอบในการพัฒนาระบบจะประยุกต์ใช้มาตรฐาน IEEE1888 ทำให้โครงสร้างระบบมีลักษณะดังรูปที่ 25



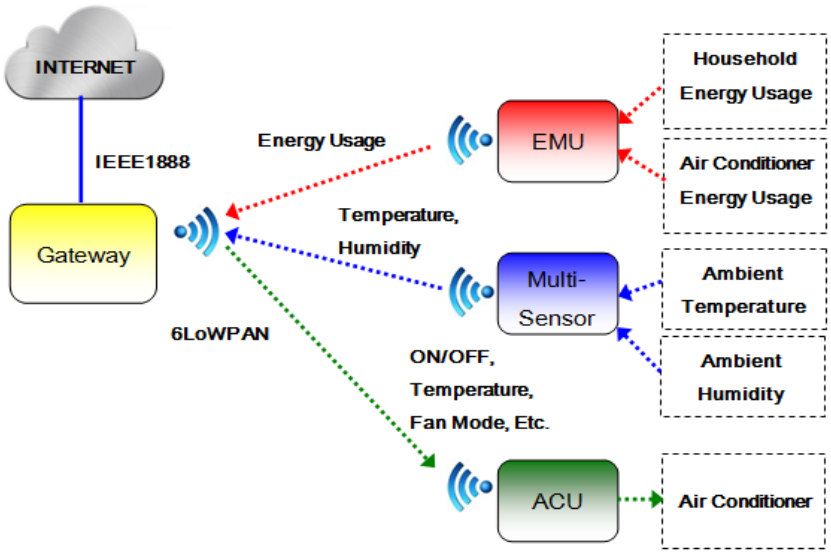
รูปที่ 25 แนวคิดโครงสร้างระบบจัดการกำลังไฟฟ้าสูงสุดในภาคประชาชน โดยอ้างอิงมาตรฐาน IEEE1888

6.1.3 ภาพรวมความสัมพันธ์การทำงานของอุปกรณ์ภายในบ้าน

ในแต่ละครัวเรือนที่เข้าร่วมโครงการนั้น จะมีการติดตั้งอุปกรณ์ดังต่อไปนี้

1) Gateway
2) Energy Meter Unit (EMU)
3) Multi-Sensor
4) Air Control Unit (ACU)

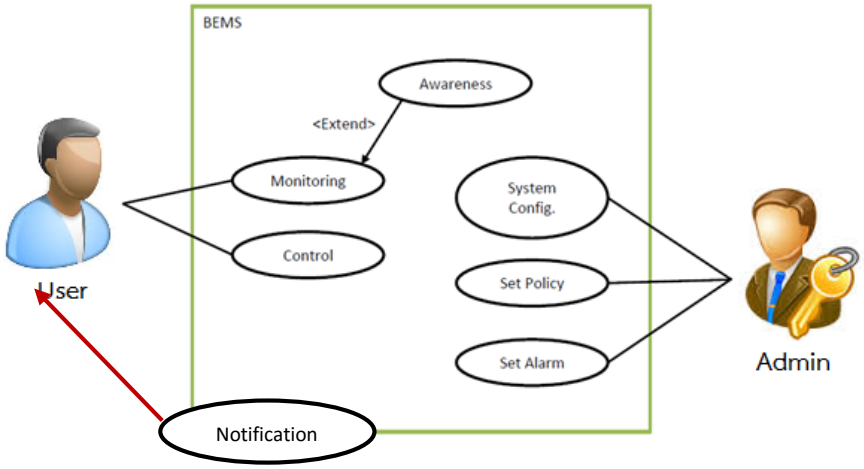
ซึ่งจะมีการทำงานที่สัมพันธ์กันดังรายละเอียดในรูปด้านล่างนี้



รูปที่ 26 ภาพรวมความสัมพันธ์การทำงานของอุปกรณ์ภายในบ้าน

6.1.4 แผนภาพแสดงการทำงานของผู้ใช้ระบบ (Use case diagram)

การออกแบบระบบจะเริ่มที่การกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างผู้ใช้ระบบ (User) กับระบบย่อย (Subsystem) ภายในระบบบริหารจัดการกำลังไฟฟ้าสูงสุดของบ้าน 100 หลัง ซึ่งในที่นี้ ผู้ใช้ระบบจะมีอยู่สองกลุ่มคือ กลุ่มผู้ใช้ (User) และกลุ่มผู้ดูแล (Admin) โดยแผนภาพที่ออกแบบจะทำให้เห็นถึงหน้าที่การทำงานของระบบโดยคร่าว ซึ่งสามารถแสดงในรูปที่ 27



รูปที่ 27 แผนภาพแสดงการทำงานของผู้ใช้ระบบบริหารจัดการพลังงานภายในโครงการนี้

จากรูป ผู้ใช้ระบบ (User) สามารถที่จะดูข้อมูลต่างๆในระบบ (Monitoring) โดยสามารถตั้งค่าบางส่วนของข้อมูลที่แสดงผลซึ่งจะมีการแทรกส่วนกระตุ้นความสนใจผู้ใช้ (Awareness) เช่น การใช้สีและการแสดงผลแจ้งเตือน การใช้สัญลักษณ์ (Icon) แจ้งเตือน เป็นต้น ส่วนผู้ดูแลระบบ (Admin) นั้น สามารถที่จะปรับตั้งค่าการทำงานของระบบ (System Configuration) รวมถึงยังสามารถปรับแก้นโยบายในการจำกัดการใช้พลังงานสูงสุด (Set Policy) และปรับตั้งเกณฑ์การแจ้งเตือนไปสู่ผู้ใช้ (Set Alarm) ได้

6.1.5 ภาพรวมการเชื่อมโยงหน้าเว็บและการเข้าถึงข้อมูลของระดับผู้ใช้

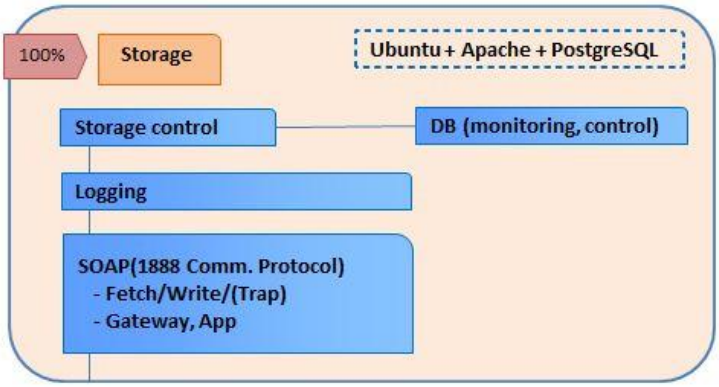
ในส่วนการออกแบบเว็บแอปพลิเคชั่น ทีมพัฒนาออกแบบระบบเป็น 2 ส่วนหลักๆคือ

1) ส่วนต่อประสานผู้ใช้ - หน้า 1-7 ในรูป
2) ส่วนตั้งค่าของผู้ดูแลระบบ – หน้า 8 ในรูป ซึ่งเมื่อเข้าไปแล้วจะมีหน้าย่อยภายในอีกชั้น

สำหรับในส่วนต่อประสานผู้ใช้ แบ่งออกเป็น 7 หน้าหลักด้วยกัน ตามตัวเลขในรูป 21 โดยใน 7 หน้าดังกล่าว ยังแบ่งเป็น กลุ่มหน้าสำหรับดูค่าในระบบ (สีเขียว) และหน้าสำหรับควบคุม (สีน้ำเงิน) โดยฟังก์ชันการควบคุมหลักคือหน้า 5 ที่แบ่งออกเป็น 5 โหมดควบคุมย่อย (P5-1 ถึง P5-5) สำหรับผู้กำหนดนโยบายจากส่วนกลางทำการควบคุมความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดในบ้านทั้ง 100 หลัง สำหรับเจ้าของบ้านแต่ละหลัง ก็สามารถควบคุมเครื่องปรับอากาศในบ้านตนเองได้ผ่านหน้าควบคุมบน Tablet ภายในบ้าน (P4-2)

6.2 โครงสร้างระบบฐานข้อมูล

6.2.1 ส่วนประกอบภายใน



รูปที่ 28 แผนภาพแสดงฟังก์ชันการทำงานหลักของ Storage

รายละเอียดขั้นตอนการทำงานของ Storage เป็นดังนี้

1. ส่วน Platform ระบบจะทำงานบนระบบปฏิบัติการ Linux (Ubuntu)
2. Storage ถูกพัฒนาในรูปแบบ Web Service โดยสามารถเข้าถึงได้ผ่าน IEEE1888 Network protocol (สื่อสารกับ Gateway, APP, Mobile APP (Tablet))
3. Storage Control ทำหน้าที่ควบคุม Module ย่อยแต่ละ Module ให้ทำงานประสานกันได้

Storage ถูกทำให้พร้อมใช้งานอยู่ในรูปแบบของ SDK ซึ่งพัฒนาและเผยแพร่โดยมหาวิทยาลัยโตเกียว โดยทางทีมพัฒนามีประสบการณ์การติดตั้งและใช้งาน Storage มาแล้วจากโครงการ CU-BEMS และในปัจจุบันก็ได้ติดตั้งตัวทดสอบขึ้นใช้ภายในอยู่แล้ว ส่วนที่เหลือคือ รอติดตั้งบนเครื่องที่จะใช้งานจริง โดย ณ ปัจจุบัน อยู่ในช่วงการจัดซื้อระบบเครื่องแม่ข่าย เพื่อติดตั้ง Storage

6.2.2 โครงสร้างข้อมูลบน IEEE1888 Storage

อธิบายโครงสร้าง ข้อมูลของ IEEE1888 Storage

1. การเก็บ Data เก็บ 3 Field หลัก คือ Point ID, Time, Value
2. หลักการนำไปใช้ประโยชน์ คือ แต่ละค่า Point ID จะมีชุดข้อมูล Value ที่เปลี่ยนไปตาม Time เสมือนเก็บกราฟเอาไว้ เวลาต้องการใช้งานก็ดึงค่าชุดข้อมูลในช่วงเวลาที่ต้องการออกไป Process เช่น App ดึงค่า Energy รายนาทีที่เก็บไว้ใน Storage ไปรวมเป็นค่าพลังงานที่ใช้รายเดือน และแสดงผล เป็นต้น
3. Gateway ส่งข้อมูลเข้า Storage ด้วยคำสั่ง IEEE1888 Write และ อ่านข้อมูลได้ด้วยคำสั่ง IEEE1888 Fetch สามารถดึงเป็นช่วงเวลาได้ ดึงครั้งละหลาย Point ID ได้

6.2.3 โครงสร้างข้อมูลที่ใช้อ้างอิง (Point ID) ในโครงการ

โครงสร้างของ Point ID ที่ออกแบบมาใช้ในโครงการนี้ แบ่งเป็น 8 ระดับด้วยกัน เพื่อให้ง่ายแก่การแบ่งแยกกลุ่มบ้านตามพื้นที่, ความเข้าใจเมื่ออ่าน Point ID, เพื่อให้สามารถแยกข้อมูล monitor, control, status ออกจากกันได้ง่าย และเพื่อเป็น Key ในระบุชนิดอุปกรณ์และข้อมูล

6.3 ฟังก์ชันการทำงานของระบบบริหารจัดการความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดในโครงการ

ฟังก์ชันการทำงานนี้ เป็นจุดประสงค์หลักของการดำเนินโครงการ โดยจะเป็นส่วนที่ใช้ตรวจสอบและแสดงผลปริมาณความต้องการกำลังไฟฟ้าและพลังงานของระบบ และเป็นส่วนที่จะใช้ในการดำเนินการจัดการกำลังไฟฟ้าสูงสุดซึ่งในโครงการนี้ได้ออกแบบให้สามารถควบคุมการทำงานของเครื่องปรับอากาศได้ 5 โหมด ประกอบไปด้วย

(1) ความสามารถในการ Monitor แสดงข้อมูลเพื่อช่วยวิเคราะห์แยกข้อมูลตามลักษณะทางกายภาพและข้อมูลตามช่วงเวลา รวมถึงสามารถแสดงผลเปรียบเทียบข้อมูลได้
(2) ความสามารถในการบริหารจัดการกำลังไฟฟ้าสูงสุด มีโหมดควบคุมทั้ง 5 โหมด ดังนี้
   - โหมด 1 – เพิ่มหรือลดอุณหภูมิทุกบ้าน ทีละ 1 องศา
   - โหมด 2 – ตั้งค่าอุณหภูมิทุกบ้านให้เท่ากัน
   - โหมด 3 – ลดระดับการใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุดลงสู่ค่าเป้าหมาย
   - โหมด 4 – เฝ้าระวังไม่ให้การใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุดเกินค่าเป้าหมาย
   - โหมด 5 – ปิดการทำงานคอมเพรสเซอร์ฉุกเฉิน (ทุกบ้าน)
(3) ผลการจำลองการควบคุมกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อทดสอบประสิทธิผลของการจัดการกำลังไฟฟ้าสูงสุดสำหรับโหมด 3 และโหมด 4 ว่าสามารถควบคุมกำลังไฟฟ้าให้ลดลงมาอยู่ในช่วงค่าที่ต้องการได้หรือไม่ ระบบสั่งการได้อย่างมีเสถียรภาพหรือไม่ และผลตอบสนองเวลาจริงเป็นอย่างไร เป็นต้น รวมถึงทำการวิเคราะห์ผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นกับเจ้าของบ้านซึ่งอาจมีผลทำให้เกิดการไม่ไว้วางใจระบบได้
(4) ผลการปรับปรุงระบบการควบคุมเครื่องปรับอากาศหลังจากทดสอบการทำงานจริง จากผลการทดสอบจริงเต็มระบบในช่วง 16 มีนาคม 59 ถึง 12 เมษายน 59 ทีมงานได้ทำการปรับแก้สูตรการคำนวณโดยละเอียดอีกครั้ง (Fine tune) โดยจุดประสงค์เพื่อให้การควบคุมเครื่องปรับอากาศให้เปลี่ยนเป็น Fan mode ทำการเผื่อไม่เยอะจนเกินไป พร้อมกับรองรับลักษณะการเปิดใช้งานเครื่องปรับอากาศของผู้ใช้ในระบบด้วย

6.4 ฟังก์ชันการทำงานของระบบบริหารจัดการพลังงานของบ้านอยู่อาศัยในโครงการ

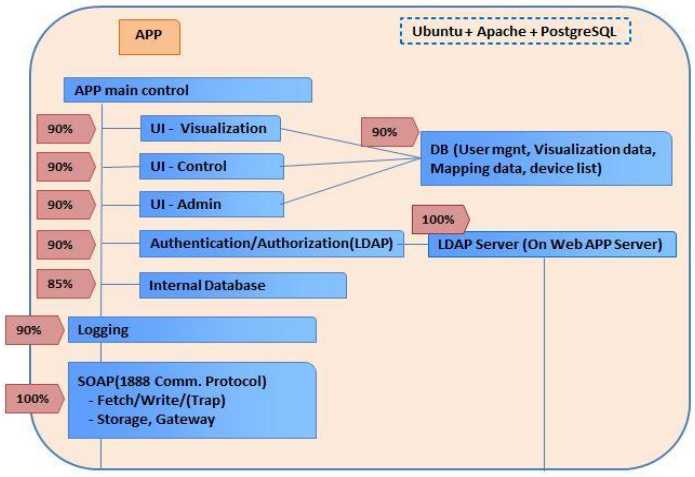
ในโครงการนี้ เพื่อให้ผู้เข้าร่วมโครงการได้ใช้ประโยชน์จากอุปกรณ์ที่ติดตั้งได้อย่างเต็มที่ และเพื่อเป็นการพัฒนาเทคโนโลยีเกี่ยวกับการบริหารจัดการพลังงานของบ้านอยู่อาศัย (Home Energy Management System; HEMS) เพิ่มเติม นอกจากนี้ เพื่อเป็นการจูงใจให้ประชาชนทั่วไปสนใจที่จะเข้าร่วมโครงการ ผู้วิจัยได้พัฒนาฟังก์ชั่นการทำงานของระบบบริหารจัดการพลังงานของบ้านอยู่อาศัย (HEMS) เพิ่มขึ้นด้วย โดย HEMS ที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วย

1) ความสามารถในการ monitor การใช้พลังงานในบ้านอยู่อาศัย
2) ความสามารถในการตั้งโควต้าในการใช้พลังงานของบ้านอยู่อาศัย
3) ความสามารถในการแจ้งเตือนปริมาณการใช้พลังงานผ่านทาง Facebook message
4) ความสามารถในการควบคุมการทำงานของเครื่องปรับอากาศที่เข้าร่วมโครงการ
5) ความสามารถในการสรุปการใช้พลังงานของบ้านอยู่อาศัยในเดือนที่ผ่านมา
6) ความสามารถในการแจ้งเตือนการล้างเครื่องปรับอากาศ

รูปที่ 29 หน้าแสดงผลตามฟังก์ชั่นต่างๆ ที่ได้จัดทำขึ้น

6.5 ความก้าวหน้าของการพัฒนาซอฟแวร์แสดงผลแบบ Web Application

6.5.1 การออกแบบส่วนประกอบภายใน



รูปที่ 30 แผนภาพแสดงฟังก์ชันการทำงานหลักของ APP

ประกอบด้วย

1. ส่วน Platform ระบบจะทำงานโดยใช้ระบบปฏิบัติการ Linux (Ubuntu)
2. APP จะถูกพัฒนาในรูปแบบ Web Application โดยสามารถเข้าถึงได้ผ่าน Browser (ทดสอบบน Chrome Browser ซึ่งสามารถติดตั้งได้โดยง่ายทั้งบน Windows, Linux, และ Mobile Devices)
3. APP Main control ทำหน้าที่ควบคุม Module ย่อยแต่ละ Module ให้ทำงานประสานกันได้
4. บริหารจัดการข้อมูลต่างๆด้วย PostgreSQL Database
5. Logging ส่วนบันทึกการทำงานของระบบ สำหรับการตรวจสอบย้อนหลังในกรณีที่เกิดปัญหาขึ้นกับส่วนต่างๆในระบบ
6. SOAP (IEEE1888 Communication Protocol) ส่วนควบคุมการสื่อสารด้วย IEEE1888 Protocol

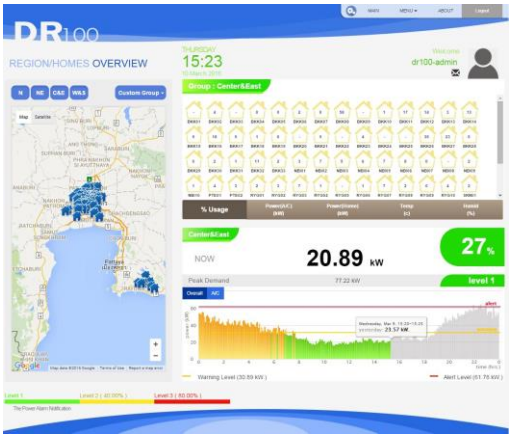
6.5.2 การออกแบบหน้า Web Application

ทีมวิจัยได้ออกแบบหน้าเว็บใช้งานสำหรับเฝ้าสังเกตผลการดำเนินงานของระบบ และควบคุมการทำงานของระบบให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ของโครงการ แบ่งออกเป็น 7 หน้าดังนี้ (ค่า % ในกล่องเครื่องหมายลูกศรบ่งบอกถึงระดับความก้าวหน้าของหน้าเว็บ)

- หน้า 1 หน้าแสดงผลกำลังไฟฟ้ารวมของบ้านทุกหลังในโครงการ (Status Overview)
- หน้า 2 หน้าแสดงกำลังไฟฟ้าเปรียบเทียบของแต่ละพื้นที่ในโครงการ (Area Overview)
- หน้า 3 หน้าแสดงข้อมูลรายละเอียดและการใช้ไฟฟ้าในแต่ละพื้นที่ (Area/Homes Overview)
- หน้า 4 หน้าแสดงข้อมูลรายละเอียดและการควบคุมเครื่องปรับอากาศในแต่ละบ้าน (Home Section)
- หน้า 5 หน้าสำหรับควบคุมการทำงานของเครื่องปรับอากาศจากส่วนกลาง (Demand Control Center)
- หน้า 6 หน้าแสดงกำลังไฟฟ้าเพื่อติดตามผลการควบคุมของโหมดควบคุมอัตโนมัติอย่างใกล้ชิด (Real Time Monitor)
- หน้า 7 หน้าแสดงสถานะการถูกควบคุมของบ้านทุกหลังในโครงการ(Demand Control Status)

รูปที่ 31 หน้าแสดงผลรวมการใช้พลังงานของบ้านทุกหลังในโครงการ

รูปที่ 32 หน้าแสดงกำลังไฟฟ้าเปรียบเทียบของแต่ละพื้นที่ในโครงการ



รูปที่ 33 หน้าแสดงรายละเอียดของข้อมูลและการใช้ไฟฟ้าในแต่ละพื้นที่

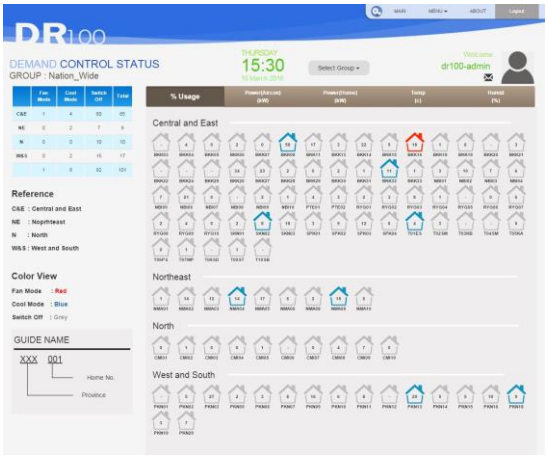
รูปที่ 34 หน้าแสดงข้อมูลรายละเอียดและการควบคุมเครื่องปรับอากาศในแต่ละบ้าน

รูปที่ 35 หน้าแสดงการควบคุมการทำงาน
ของเครื่องปรับอากาศภายในบ้าน

รูปที่ 36 หน้าแสดงสรุปการใช้พลังงาน
ของเดือนที่ผ่านมา

รูปที่ 37 หน้าแสดงการควบคุมการทำงานของ
เครื่องปรับอากาศ

รูปที่ 38 หน้าแสดงกำลังไฟฟ้าเพื่อติดตามผล
การควบคุมของโหมดควบคุมอัตโนมัติอย่างใกล้ชิด



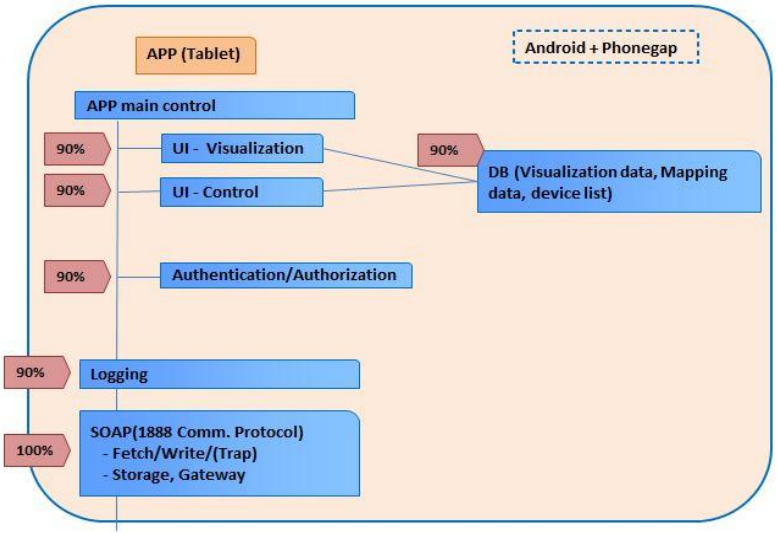
รูปที่ 39 หน้าแสดงสถานะการถูกควบคุมของบ้านทุกหลังในโครงการ

6.6 ซอฟแวร์แสดงผลบนอุปกรณ์พกพาที่ใช้ระบบปฏิบัติการ Android

การพัฒนาซอฟฟ์แวร์แสดงผลบนอุปกรณ์พกพา จะมีโครงสร้างการออกแบบเช่นเดียวกับซอฟฟ์แวร์แสดงผลแบบ Web Application เพียงแต่จะทำการพัฒนาบนโครงสร้างระบบปฏิบัติการ Android และมีการปรับรูปแบบการแสดงผลให้เหมาะสมกับการควบคุมด้วยนิ้วสัมผัสแทนการใช้เมาส์

6.6.1 การออกแบบส่วนประกอบภายใน

โครงสร้างของส่วนประกอบภายในซอฟฟ์แวร์แสดงผลบนอุปกรณ์พกพาสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 40 ซึ่งจะมีลักษณะคล้ายกับซอฟฟ์แวร์แสดงผลแบบ Web Application

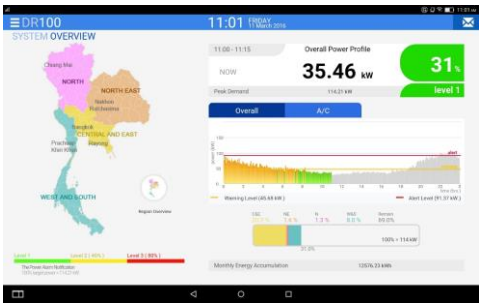


รูปที่ 40 แผนภาพแสดงฟังก์ชันการทำงานหลักของ Tablet APP

6.6.2 การออกแบบแอปพลิเคชั่นสำหรับอุปกรณ์พกพา

ในการออกแบบแอปพลิเคชั่นสำหรับอุปกรณ์พกพา จะใช้ชุดพัฒนาที่เรียกว่า Phone Gap ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการออกแบบรูปภาพบนแอปพลิเคชั่นเป็นหลัก จากนั้น จึงนำมาปรับให้เข้ากับขนาดหน้าจอของอุปกรณ์พกพาขนาดต่างๆ และปรับการแสดงผลเมนูให้เหมาะกับอุปกรณ์พกพาและลักษณะการใช้งานด้วยนิ้วสัมผัส ในส่วนนี้ต้องใช้ข้อมูลจากหน้าเว็บเบื้องต้นในหัวข้อข้างต้น มาปรับให้เข้ากับหน้าจอของอุปกรณ์พกพา ความก้าวหน้าในส่วนนี้จึงอยู่ในระยะการออกแบบเบื้องต้น เป็นดังนี้

- หน้า 1 หน้าแสดงผลกำลังไฟฟ้ารวมของบ้านทุกหลังในโครงการ (Status Overview)
- หน้า 2 หน้าแสดงกำลังไฟฟ้าเปรียบเทียบของแต่ละพื้นที่ในโครงการ (Area Overview)
- หน้า 3 หน้าแสดงข้อมูลรายละเอียดและการใช้ไฟฟ้าในแต่ละพื้นที่ (Area/Homes Overview)
- หน้า 4 หน้าแสดงข้อมูลรายละเอียดและการควบคุมเครื่องปรับอากาศในแต่ละบ้าน
- หน้า 5 หน้าสำหรับควบคุมการทำงานของเครื่องปรับอากาศจากส่วนกลาง
- หน้า 6 หน้าแสดงกำลังไฟฟ้าเพื่อติดตามผลการควบคุมของโหมดควบคุมอัตโนมัติอย่างใกล้ชิด
- หน้า 7 หน้าแสดงสถานการณ์ถูกควบคุมของบ้านทุกหลังในโครงการ



รูปที่ 41 หน้าแสดงผลรวมการใช้พลังงาน
ของบ้านทุกหลังในโครงการ สำหรับอุปกรณ์พกพา

รูปที่ 42 หน้าแสดงกำลังไฟฟ้าเปรียบเทียบ
ของแต่ละพื้นที่ในโครงการ สำหรับอุปกรณ์พกพา

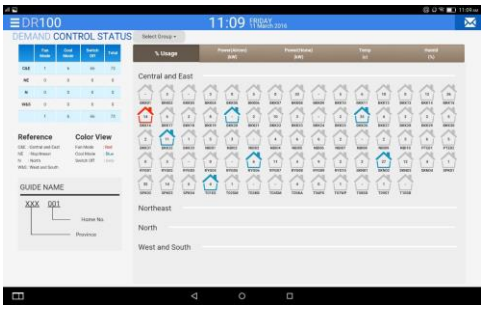
รูปที่ 43 หน้าแสดงรายละเอียดของข้อมูล
และการใช้ไฟฟ้าในแต่ละพื้นที่

รูปที่ 44 หน้าแสดงข้อมูลรายละเอียด
และการควบคุมเครื่องปรับอากาศในแต่ละบ้าน

รูปที่ 45 หน้าแสดงการควบคุมการทำงาน
ของเครื่องปรับอากาศภายในบ้าน

รูปที่ 46 หน้าแสดงสรุปการใช้พลังงาน
ของเดือนที่ผ่านมา

รูปที่ 47 หน้าแสดงการควบคุมการทำงาน
ของเครื่องปรับอากาศ



รูปที่ 48 หน้าแสดงสถานะการถูกควบคุม
ของบ้านทุกหลังในโครงการ

7. ผลการทดสอบระบบที่พัฒนาขึ้น

7.1 ผลการทดสอบฮาร์ดแวร์ที่พัฒนาขึ้น

ฮาร์ดแวร์ที่พัฒนาขึ้นในโครงการนั้น หลังจากที่ได้มีการพัฒนาต้นแบบเป็นที่เรียบร้อยแล้ว จำเป็นที่จะต้องมีการทดสอบและบันทึกผลการทดสอบ เพื่อให้แน่ใจว่า ในขั้นตอนการผลิตเป็นจำนวนมาก จะได้อุปกรณ์ที่มีคุณสมบัติตามที่ต้องการ

7.1.1 ผลการทดสอบมัลติเซนเซอร์

หลังจากที่ได้ทำการออกแบบพัฒนาฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ในระดับล่างเสร็จแล้ว ส่วนที่เป็นหัวใจหลักและจำเป็นที่จะต้องมีการทดสอบของมัลติเซนเซอร์ก็คือ ไอซีวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (SHT21) โดยทางคณะผู้วิจัย ได้มีการส่งอุปกรณ์ตัวอย่างไปทดสอบที่ บริษัท เทคโนโลยีอินสตรูเมนท์ จำกัด (TIC) ซึ่งมีบริการสอบเทียบเครื่องมือวัดในส่วนของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ โดยมีเงื่อนไขทดสอบดังนี้

- สภาพแวดล้อม: เป็นระบบปิดภายในตู้ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นมาตรฐาน
- การทดสอบอุณหภูมิ: ทดสอบที่อุณหภูมิระหว่าง 20 ~ 35 °C โดยบันทึกค่าทุกช่วงละ 3 °C ที่ความชื้นสัมพัทธ์คงที่ 50% RH
- การทดสอบความชื้นสัมพัทธ์: ทดสอบที่ความชื้นสัมพัทธ์ระหว่าง 20 ~ 80 %RH โดยบันทึกค่าทุกช่วงละ 10% RH ที่อุณหภูมิคงที่ 25 °C

จากผลการทดสอบ ทำให้ทางคณะผู้วิจัยทราบถึงสมรรถนะของ ไอซีวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (SHT21) ซึ่งเมื่อเทียบกับอุปกรณ์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (Hygrometer) ส่วนใหญ่ที่มีขายในท้องตลาด เช่น DIGICON TH-02, HTC-1 เป็นต้น จะมีค่าความแม่นยำในการวัดอุณหภูมิอยู่ที่ ±1.0 °C และการวัดความชื้นสัมพัทธ์อยู่ที่ ±5 % RH จึงนับได้ว่า มัลติเซนเซอร์ที่พัฒนาขึ้นมีความแม่นยำและสามารถนำมาใช้ได้เทียบเท่ากับสินค้าที่มีขายในเชิงพาณิชย์

7.1.2 ผลการทดสอบมิเตอร์อัจฉริยะ

หลังจากที่ได้ทำการออกแบบพัฒนาฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ในระดับล่างเสร็จแล้ว ทางคณะผู้วิจัยจะต้องทดสอบว่าผลที่ได้ตรงกับที่ได้ออกแบบไว้หรือไม่ ทั้งนี้ เพื่อช่วยให้มั่นใจว่าจะได้มิเตอร์อัจฉริยะที่มีคุณสมบัติตามที่ได้ออกแบบไว้ เมื่อนำมิเตอร์อัจฉริยะที่พัฒนาขึ้นไปทำการทดสอบความแม่ยำในการวัดพลังงานไฟฟ้าตามมาตรฐาน IEC 62053-11 ที่กำหนดถึงความคลาดเคลื่อนในการวัดพลังงานไฟฟ้าของมิเตอร์ที่ยอมรับได้ โดยจากการทดสอบนั้น มิเตอร์ที่ออกแบบสามารถวัดพลังงานอยู่ในระดับ Accuracy Class 2.0 ซึ่งมีความแม่นยำเทียบเท่ามิเตอร์ตามมาตรฐานของการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่ายของประเทศไทย และเมื่อการทดสอบมิเตอร์เสร็จสิ้นแล้ว คณะผู้วิจัยได้นำมิเตอร์ทั้งหมดไปทำการติดตั้งวัดพลังงานไฟฟ้าตามบ้านของผู้เข้าร่วมโครงการ มิเตอร์ทั้งหมดก็สามารถวัดพลังงานไฟฟ้าแล้วส่งข้อมูลพลังงานไฟฟ้าไปเก็บยังสตอเรจของโครงการโดยผ่านทางเกตเวย์ตามมาตรฐาน IEEE1888 ได้อย่างถูกต้อง

7.1.3 ผลการทดสอบตัวควบคุมการทำงานของเครื่องปรับอากาศ

หลังจากที่ได้ทำการออกแบบพัฒนาฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ในระดับล่างเสร็จแล้ว ส่วนที่เป็นหน้าที่หลักของตัวควบคุมการทำงานของเครื่องปรับอากาศก็คือ ส่วนของการขับหลอด IR LED ที่จะต้องขับสัญญาณที่มีรูปร่างเหมือนกับสัญญาณที่รีโมทควบคุมเครื่องปรับอากาศทำการส่งไปยังภาครับของเครื่องปรับอากาศ

ทางคณะผู้วิจัย มีกิจกรรมที่ต้องดำเนินการ เพื่อที่จะสามารถควบคุมเครื่องปรับอากาศตามบ้าน ได้ตามเป้าหมายดังนี้

- การบันทึกข้อมูลสัญญาณ Infrared ต้นแบบ โดยอาศัย Universal A/C Remote กับเครื่องเก็บบันทึกข้อมูล Infrared อัตโนมัติ ตามรุ่นและยี่ห้อเครื่องปรับอากาศที่เข้าร่วมในโครงการ
- การทดสอบและปรับแต่งวงจรขับ IR LED เพื่อให้ได้ระยะการส่งตามที่ต้องการ

จากการติดตั้งตัวควบคุมการทำงานของเครื่องปรับอากาศในบ้านของผู้เข้าร่วมโครงการ พบว่า ตัวควบคุมการทำงานของเครื่องปรับอากาศที่สร้างขึ้น สามารถสั่งงานควบคุมเครื่องปรับอากาศได้จากส่วนกลางโดยผ่านทางเกตเวย์ตามมาตรฐาน IEEE1888 ได้เหมือนกับการสั่งงานด้วยรีโมทของเจ้าของบ้านทุกประการ

7.1.4 ผลการทดสอบเกตเวย์ตามมาตรฐาน IEEE1888

เกตเวย์ตามมาตรฐาน IEEE1888 จะมีหน้าที่หลักเป็นตัวกลางในการรับและส่งข้อมูลไปยังอุปกรณ์อื่นๆ ภายในบ้าน ซึ่งหลังจากที่ได้ทำการออกแบบพัฒนาฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ในระดับล่างเสร็จแล้ว การทดสอบการทำงานของ เกตเวย์ตามมาตรฐาน IEEE1888 จะอาศัยการตรวจสอบข้อมูลผลลัพธ์ที่เก็บอยู่ใน Storage ของแต่ละอุปกรณ์เพื่อเป็นเครื่องยืนยันการทำงานของเกตเวย์ที่สร้างขึ้น

ทั้งนี้ การทำงานของเกตเวย์ตามมาตรฐาน IEEE1888 ซึ่งมีหน้าที่ในการเป็นทางผ่านของข้อมูลเพื่อเชื่อมอุปกรณ์ภายในบ้านเข้ากับระบบส่วนกลางดังจะเห็นได้จากข้อมูลที่ถูกบันทึกไว้ภายใน Storage ซึ่งผลการทำงานดังกล่าวข้างต้นยืนยันได้ว่าเกตเวย์ตามมาตรฐาน IEEE1888 ที่สร้างขึ้น สามารถทำงานได้อย่างถูกต้องครบถ้วนตามที่ทางคณะผู้วิจัยได้ทำการออกแบบไว้

7.2 ผลการทดสอบแอพพลิเคชั่นที่พัฒนาขึ้น

ซอฟแวร์ที่พัฒนาขึ้นในโครงการนั้น หลังจากที่ได้มีการพัฒนาเป็นที่เรียบร้อยแล้ว จำเป็นที่จะต้องมีการทดสอบและบันทึกผลการทดสอบเพื่อให้แน่ใจว่าซอฟแวร์ทำงานได้ตรงตามจุดประสงค์ที่ต้องการ

7.2.1 การเก็บค่า Temperature และ Humidity จากมัลติเซนเซอร์เข้าสู่ storage

การทดสอบการเก็บข้อมูลของมัลติเซนเซอร์ในระบบจริงนั้น เริ่มจากการติดตั้งอุปกรณ์จริงที่พื้นที่ติดตั้ง และทดสอบใช้งาน โดยจะมีการไหลของข้อมูลเป็นดังนี้

รูปที่ 49 การไหลของข้อมูลจากมัลติเซนเซอร์ไปแสดงผลที่ Client

โดยทีมวิจัยได้ทำการทดสอบนี้กับมัลติเซนเซอร์ทุกตัวในระบบหลังติดตั้งเพื่อยืนยันการทำงานของอุปกรณ์และความเรียบร้อยของระบบแล้ว

7.2.2 การเก็บค่าพลังงานเข้า Storage

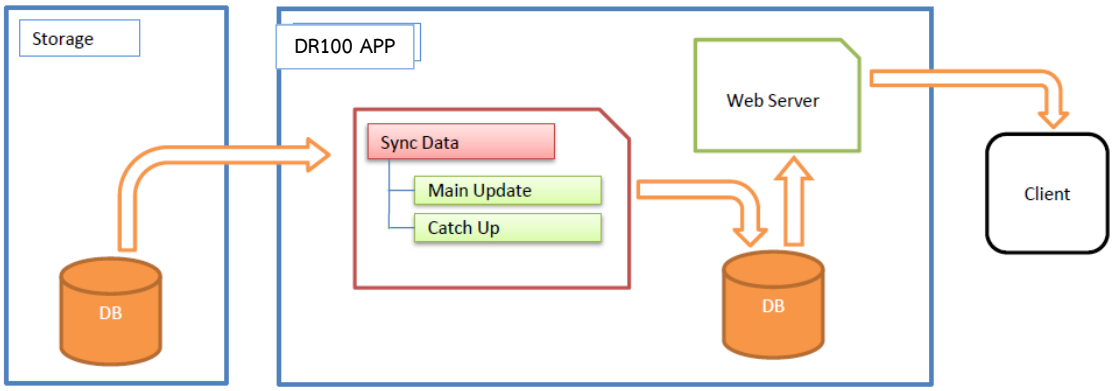
การทดสอบการเก็บข้อมูลของพลังงานในระบบจริงนั้น เริ่มจากการติดตั้งอุปกรณ์จริงที่พื้นที่ติดตั้งและทดสอบใช้งาน โดยจะมีการไหลของข้อมูลเป็นดังรูป (EMU = Energy Measurement Unit)

รูปที่ 50 การไหลของข้อมูลจาก EMU ไปแสดงผลที่ Client

สำหรับตัวอุปกรณ์วัดพลังงาน (EMU) จะถูกติดตั้งอยู่ข้างตู้ควบคุมไฟ (MDB) ของบ้าน และติดตั้งอยู่ข้างเบรคเกอร์แอร์ (ในกรณีที่เบรคเกอร์แอร์อยู่แยกจากตู้ควบคุมไฟของบ้าน) มีลักษะเป็นดังรูปด้านล่าง โดยในการวัดพลังงานนั้น จะต้องมีการต่อสายแรงดัน เข้ามาด้วย โดยทีมวิจัยได้ทำการทดสอบนี้กับจุดวัดพลังงานทุกจุดในระบบหลังติดตั้งเพื่อยืนยันการทำงานของอุปกรณ์และความเรียบร้อยของระบบแล้ว

7.2.3 การทดสอบการแสดงผลของแอปพลิเคชั่น

เมื่อทดสอบข้อมูลของ Sensor แต่ละตัวแล้ว ทีมพัฒนาได้ทำการทดสอบการนำข้อมูลมาประมวลผลและแสดงผลให้ผู้ใช้ทราบของ APP เป็นขั้นตอนถัดมา ซึ่งสำหรับกลไกการทำงานของฝั่ง APP นั้นคือ จะดึงค่าจะ Storage มาพักไว้ในฐานข้อมูลภายในตัว APP เอง ก่อนที่จะนำไปแสดงผลในหน้าต่างๆ ที่ผู้ใช้เรียกใช้



รูปที่ 51 กลไกที่ APP ดึงค่าจาก Storage มาแสดงผลที่ Client

โดยการทดสอบ ประกอบไปด้วย

1. การทดสอบการแสดงผลในหน้าต่อประสานผู้ใช้
   - กำลังไฟฟ้ารวมของการใช้ไฟรวมทั้งบ้านและเฉพาะเครื่องปรับอากาศของทั้งโครงการ
   - กำลังไฟฟ้ารวมของการใช้ไฟแยกรายเขตพื้นที่
   - กำลังไฟฟ้ารวมในเขตพื้นที่ และแยกรายบ้านในเขตพื้นที่นั้น
   - ข้อมูลรายละเอียดของแต่ละบ้าน
   - หน้าแสดงกำลังไฟฟ้าเพื่อติดตามผลการควบคุมของโหมดควบคุมอัตโนมัติอย่างใกล้ชิด

2. หน้าแสดงสถานะการถูกควบคุมของบ้านทุกหลังในโครงการ
3. ความเร็วในการแสดงผล (นับจากเปิดหน้าเว็บ)
4. ความถูกต้องของฐานข้อมูลภายใน
5. การตั้งค่า Highlight Policy
   - ตั้งค่า Power
   - ตั้งค่า Energy ในโครงการนี้ เจ้าของบ้านสามารถสามรถทำการตั้ง Highlight policy ของ energy ของบ้านตัวเองได้

7.2.3 การทดสอบการควบคุมเครื่องปรับอากาศ

ดำเนินการโดยไปที่บ้านที่จะทำการควบคุม (ทดสอบที่บ้าน BKK11) เปิดหน้าจอควบคุมแอร์(Home section ส่วน control) และทดลองส่งค่าควบคุมในทุกส่วน แล้วทำการทดสอบการเปลี่ยนค่าที่ตั้งแล้วตรวจสอบผลที่การทำงานของเครื่องปรับอากาศ ได้ผลดังนี้

1. Set Temperature ตั้งค่าได้ เครื่องปรับอากาศมีเสียงติ๊ด และเริ่มทำความเย็น
2. Fan Speed ตั้งค่าได้ เครื่องปรับอากาศมีเสียงติ๊ด และความแรงของพัดลมเปลี่ยนตาม
3. Mode ตั้งค่าได้ เครื่องปรับอากาศมีเสียงติ๊ด และการทำงานของ Compressor เปลี่ยนตาม
4. Power ตั้งค่าได้ เครื่องปรับอากาศมีเสียงติ๊ด และแอร์ปิดเปิดตามคำสั่ง

ซึ่งผลการทดสอบทั้งหมดนี้ ทำให้สรุปได้ว่าการควบคุมที่หน้าจอควบคุมบนเว็บ สามารถสั่งการอุปกรณ์เครื่องปรับอากาศเป้าหมายได้จริง

7.2.4 การทดสอบการส่งข้อความแจ้งเตือนทางเครือข่ายสังคม Facebook

ดำเนินการโดยเพิ่มรายชื่อผู้ใช้ใหม่ และลงทะเบียนให้ผู้ใช้ดังกล่าวรับข้อความแจ้งเตือนทาง Facebook (ใช้ Facebook Account และ Add Friend กับ Facebook Account ของระบบ DR100 ชื่อ “โครงการบ้านร้อยหลัง สนพ”) จากนั้นตั้งค่าเกณฑ์การแจ้งเตือน (Highlight Setting) ให้เหมาะสมทั้งด้าน Energy และ Power ซึ่งระบบสามารถส่งค่าแจ้งเตือนไปให้ผู้ใช้ที่ลงทะเบียนไว้ผ่าน Facebook Message เมื่อมีค่าในระบบตรงตามเงื่อนไขของการแจ้งเตือน

7.3 ผลการทดสอบการควบคุมความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุด

7.3.1 การเตรียมการ

เพื่อทำให้การทดสอบควบคุมจากส่วนกลางสามารถดำเนินการได้ ระบบจำเป็นต้องใช้ข้อมูลพารามิเตอร์รวมถึงการเตรียมการเพิ่มเติมอีกพอสมควร โดยในส่วนแรก คือ การทดสอบยืนยันการสั่งการ Fan mode จากการทดสอบในบ้านจริงทั้ง 108 หลัง พบว่า Universal remote ต้นแบบที่ใช้ มีความคลาดเคลื่อนบ้าง นั่นคือ สั่งงาน Fan mode ไม่ได้ในเครื่องปรับอากาศบางยี่ห้อ บางรุ่น ทางทีมพัฒนาจึงทำการแก้ไขโดยแทนที่จะสั่ง Fan mode จะใช้วิธีสั่ง Cool mode ที่อุณหภูมิ 30 องศา ซึ่งเป็นอุณหภูมิสูงสุดที่รีโมทควบคุมเครื่องปรับอากาศสามารถตั้งค่าได้ไปแทน นอกจากนี้ พารามิเตอร์อีก 3 ตัวที่จำเป็นต่อการทดสอบคือ

P_{min} = ค่ากำลังไฟฟ้าตัวแทนตอนที่ compressor ทำงานด้วย Fan mode

P_{max} = ค่ากำลังไฟฟ้าตัวแทนตอนที่ compressor ทำงานเต็มที่

$P_{standby}$ = ค่ากำลังไฟฟ้าที่เครื่องปรับอากาศใช้เมื่อทำงานในสถานะ Stand by (สั่งปิดเครื่องปรับอากาศโดยไม่ได้ปิดเบรคเกอร์)

7.3.2 ผลการทดสอบควบคุมโหมด 1 และ 2

ส่วนกลางสามารถส่งสัญญาณเข้าไปควบคุมบ้านทั้ง 108 หลังได้ ทั้งโหมด 1 (สั่งเพิ่มหรือลดอุณหภูมิเท่าๆกันทุกหลัง) และโหมด 2 (สั่งตั้งค่าอุณหภูมิห้องให้เป็นค่าเดียวกันทุกหลัง) ในการทดสอบบางครั้ง พบว่ามีบางบ้านที่สั่งรอบเดียวไม่สำเร็จบ้าง ปัญหานี้ถูกแก้ไขแล้ว ด้วยการใส่ระบบการสั่งควบคุมซ้ำ (Retry) ให้กับทุกคำสั่งการควบคุม

7.3.3 ผลการทดสอบการใช้ฟังก์ชั่น Real Time Monitor

ส่วนกลางสามารถสั่งให้ระบบเพิ่มความถี่ในการส่งค่าจากทุกนาทีเป็นทุก 10 วินาทีได้ เพื่อจุดประสงค์ในการตรวจสอบสถานะการใช้พลังงานอย่างใกล้ชิด โดยการทดสอบได้ดำเนินการกับกลุ่มบ้านตัวอย่างในเขตกรุงเทพและปริมณฑล พบว่าระบบสามารถนำค่าที่ส่งมาทุกๆ 10 วินาทีของบ้านทั้งหมดมาแสดงผลบนหน้าจอได้ และผู้ใช้งานสามารถใช้การแสดงผลที่หน้าจอนี้ติดตามการทำงานของระบบอย่างใกล้ชิดได้เป็นอย่างดี

7.3.4 ผลการทดสอบการใช้ฟังก์ชั่น Demand Control Status

จากการทดสอบใช้งาน พบว่าการแสดงผลในหน้า Demand Control Status ช่วยให้การตรวจสอบสถานะการควบคุมบ้าน และคำสั่งที่ออกไปจากระบบได้โดยง่ายและตรงกับจุดประสงค์ที่ได้ออกแบบไปในเบื้องต้น ทำให้ฟังก์ชั่นนี้ช่วยเป็นตัวเสริมการควบคุมให้สามารถดำเนินไปอย่างมีประสิทธิภาพตรวจสอบสถานะคำสั่งและสถานะระบบในจุดต่างๆทำได้โดยง่าย โดยเฉพาะในโหมดที่ต้องสั่งการอย่างต่อเนื่อง นั่นคือ โหมด 3 โหมด 4 และ โหมด 5 นั้น การแสดงผลในหน้า Demand Control Status จะมีบทบาทสำคัญเป็นอย่างมาก

7.3.5 ผลการทดสอบควบคุมโหมด 3

การทดสอบที่ดำเนินการไปแล้ว ได้ดำเนินการสั่งควบคุมการทำงานของเครื่องปรับอากาศทุกเครื่องในระบบในช่วง 21:58 ถึง 22:13 โดยจากผลการทดสอบ พบว่าสามารถดำเนินการควบคุมโหมด 3 (การลดปริมาณความต้องการไฟฟ้าสูงสุดในกลุ่มบ้านเป้าหมาย) ได้ด้วยดี

จากผลการทดสอบ จะเห็นว่า เมื่อสั่งให้ระบบควบคุมการลดความต้องการใช้ไฟฟ้าลงไป 8 kW จากเริ่มต้นระบบมีการใช้ไฟฟ้า 48 kW จะพบว่าตลอดการควบคุม 15 นาที ความต้องการใช้ไฟฟ้ารวมของเครื่องปรับอากาศถูกควบคุมไปอยู่ที่รอบๆ ค่าเป้าหมาย 40 kW ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ดีมาก แต่อาจยังมีปัญหาเล็กน้อยในบางช่วงที่ค่า Power ของระบบพุ่งขึ้นสูงเกินค่า Power เป้าหมาย (P-target) เนื่องจาก มีเครื่องปรับอากาศใหม่เปิดเข้ามาเพิ่มเติมเข้ามา แต่เมื่อระบบที่พัฒนาขึ้นตรวจจับได้ ก็มีการควบคุมให้ความต้องการใช้ไฟฟ้าโดยรวมลดกลับมาอยู่รอบๆ ค่าความต้องการใช้ไฟฟ้าเป้าหมายได้

7.3.6 ผลการทดสอบควบคุมโหมด 4

การทดสอบที่ดำเนินการไปแล้ว ได้ดำเนินการสั่งควบคุมการทำงานของเครื่องปรับอากาศทุกเครื่องในระบบในช่วง 21:07 ถึง 22:47 โดยจากผลการทดสอบ พบว่าสามารถดำเนินการควบคุมโหมด 4 (การควบคุมปริมาณความต้องการไฟฟ้าสูงสุดไม่ให้เกินกำหนด) ได้ด้วยดี

จากผลการทดสอบ จะเห็นว่า เริ่มต้นระบบมีการใช้ไฟฟ้า 37.5 kW และเมื่อสั่งให้ระบบควบคุมความต้องการใช้ไฟฟ้าให้ไม่เกิน 41 kW จะพบว่าตลอดการควบคุม 40 นาที ความต้องการใช้ไฟฟ้ารวมของเครื่องปรับอากาศถูกควบคุมไปอยู่ที่รอบๆ ค่าเป้าหมาย 41 kW ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ดีมาก แต่อาจยังมีปัญหาเล็กน้อยในบางช่วงที่ค่า Power ของระบบพุ่งขึ้นสูงเกินค่า Power เป้าหมาย (P-target) เนื่องจาก มีเครื่องปรับอากาศใหม่เปิดเข้ามาเพิ่มเติมเข้ามา แต่เมื่อระบบที่พัฒนาขึ้นตรวจจับได้ ก็มีการควบคุมให้ความต้องการใช้ไฟฟ้าโดยรวมลดกลับมาอยู่รอบๆ ค่าความต้องการใช้ไฟฟ้าเป้าหมายได้

7.3.7 ผลการทดสอบควบคุมโหมด 5

ผลการทดสอบโหมด 5 (สั่งปิดคอมเพรสเซอร์ฉุกเฉินทั้งระบบ) กับกลุ่มบ้านตัวอย่างจำนวน 9 หลัง ได้ผลคือ ระบบมีการถามรหัสผ่านสำหรับผู้ควบคุมพิเศษ และสามารถสั่งงาน Fan mode กับเครื่องปรับอากาศทุกตัวที่เปิดใช้งานอยู่ในกลุ่มเป้าหมายได้ ทำให้ระบบได้กำลังไฟฟ้าสูงสุดเท่าที่จะทำได้กับกลุ่มเป้าหมายคืนมาในระยะเวลาที่ต้องการ

8. ปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้นและแนวทางการขยายผลการดำเนินมาตรการตามเทคโนโลยีการลดความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดสู่ภาคประชาชนในวงกว้าง

8.1 ปัญหาและอุปสรรคทางที่พบในการดำเนินงานที่ผ่านมา

ในการดำเนินงานโครงการที่ผ่านมาตลอดระยะเวลา 12 เดือน คณะผู้วิจัยได้พบปัญหาและอุปสรรคต่างๆ ทั้งทางด้านเทคนิค การสื่อสารกับภาคประชาชน และการประสานงานขอความร่วมมือจากผู้เข้าร่วมโครงการ ปัญหาหลายๆ ปัญหาโดยเฉพาะปัญหาทางด้านเทคนิคได้รับการแก้ไขปรับปรุงไปแล้วเกือบทั้งหมด ดังนั้น คณะผู้วิจัยจึงได้รวบรวมปัญหาต่างๆ ที่พบ เพื่อเป็นข้อมูลให้กับผู้ที่จะพัฒนาโครงการที่มีลักษณะคล้ายกันในอนาคตไว้เป็นข้อมูลอ้างอิง

8.1.1 ปัญหาทางด้านเทคนิคที่พบในการทดสอบการควบคุมและการแก้ไข

- การควบคุมโหมด 1 และ 2
- ฟังก์ชั่น Real Time Monitor
- ฟังก์ชั่น Demand Control Status
- การควบคุมโหมด 3 และ 4

8.1.2 ข้อจำกัดทางด้านเทคโนโลยี

- **ฝั่งระบบส่วนกลาง**
  - ขนาดของฐานข้อมูลและทรัพยากรที่จะรองรับระบบมีจำกัด
  - ระบบยังเปลืองพื้นที่เก็บข้อมูล
  - เทคนิคการจัดการกับข้อผิดพลาดที่เกิดระหว่างการติดตามสถานะ/ควบคุมยังต้องการการพัฒนาเพิ่ม
  - ปริมาณลูกข่ายที่ระบบรับได้มีจำกัด
  - ข้อจำกัดจากการออกแบบโครงสร้างระบบ
  - ข้อจำกัดจากการออกแบบและเขียนโปรแกรม
- **ฝั่งระบบในบ้าน**
  - ความเสถียรของอุปกรณ์ในระบบยังสามารถพัฒนาเพิ่มได้
  - การจัดการระบบเมื่อเกิดความผิดพลาดยังสามารถพัฒนาเพิ่มได้
  - ความรวดเร็วในการตอบสนองคำสั่งจากส่วนกลางยังค่อนข้างช้า
  - ตำแหน่งที่ติดตั้งอุปกรณ์ก็เป็นจุดที่ต้องคำนึง

8.1.3 ข้อจำกัดทางด้านโครงสร้างพื้นฐาน

- ความต่อเนื่องและความเสถียรของระบบเครือข่าย
- ความเร็วโครงข่ายที่เจ้าของบ้านเลือกใช้
- การเลือกสภาพแวดล้อมให้กับเครื่องแม่ข่าย

8.2 แนวทางการขยายผลทางด้านเทคนิคที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินการตามเทคโนโลยีการลดความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดสู่ภาคประชาชนในวงกว้าง

ในการขยายผลการดำเนินการนั้น คณะผู้วิจัยมองการใช้งานระบบในขนาดใหญ่ นั่นคือ มีบ้านในระบบจำนวนมาก โดยมองโจทย์ไว้ที่ 100,000 – 1,000,000 หลัง โดยเป้าหมายคือให้ระบบสามารถทำการควบคุมติดตามผลจากส่วนกลางได้ สำหรับประโยชน์ต่อฝั่งเจ้าของบ้านเป็นเป้าหมายอันดับรองลงไป เมื่อพิจารณาตามนี้ คณะผู้วิจัยมีข้อเสนอเกี่ยวกับแนวทางการขยายผลการดำเนินการของโครงการ แบ่งตามหมวดหมู่ได้ 6 หมวดหมู่ ดังนี้

8.2.1 ด้านโครงสร้างระบบ

- สำหรับเรื่องมาตรฐานการสื่อสารและแพลตฟอร์ม เห็นว่าสามารถใช้มาตรฐานเปิด IEEE1888 ที่ได้นำมาประยุกต์ใช้แล้วในโครงการนี้เป็นศูนย์กลางการสื่อสารได้
- แนะนำการใช้โครงสร้างแบบกระจายศูนย์ (Distributed Server) โดยมีการแบ่ง server (ในที่นี้หมายรวมถึงฐานข้อมูลและแอพปลิเคชั่น) เป็นระดับๆ โ
- ความยืดหยุ่นในการปรับขนาดระบบ การออกแบบระบบตามระดับชั้นข้างต้น มีข้อดีคือสามารถเพิ่มหรือลดขนาดของระบบได้ง่าย รวมถึงการออกแบบก็สามารถที่จะมุ่งเป้าไปที่จุดมุ่งหมายของ server ในแต่ละระดับได้ นอกจากนี้ ยังช่วยให้สามารถก้าวข้ามผ่านข้อจำกัดทางด้านทรัพยากรที่จะนำมาใช้ต่อ server 1 ตัวด้วย

8.2.2 การจัดสภาพแวดล้อมให้กับเครื่องแม่ข่าย

- ในการจัดสภาพแวดล้อมให้กับเครื่องแม่ข่าย ปัจจัยที่จำเป็นต้องพิจารณา คือ ความเสถียรของระบบไฟ ระบบดูแลสภาพแวดล้อม (อุณหภูมิ,ความชื้น) ความเสถียรของระบบเครือข่าย และการบำรุงรักษาตามเวลา เมื่อพิจารณาเรื่องความคุ้มค่าในการดำเนินการจัดเตรียมสิ่งทั้งหมดแล้ว ทางคณะผู้วิจัยเห็นว่าควรใช้บริการ Datacenter ที่มีให้บริการแพร่หลายในท้องตลาดมากกว่าที่จะจัดเตรียมสิ่งต่างๆ ด้วยตนเอง เนื่องจากระบบต้องใช้ปริมาณ server เยอะ

8.2.3 เกี่ยวกับระบบส่วนกลาง

- เบื้องต้นควรพิจารณาจำนวนบ้านสูงสุดที่จะควบคุมได้ต่อ 1 หน่วยย่อย (Server ย่อย) โดยคำแนะนำ ณ ตอนนี้จากคณะผู้วิจัย คือ ไม่เกิน 1,000 หลังต่อ 1 server ย่อย
- พัฒนาเครื่องมือในการติดตามผลสำหรับบ้านจำนวนมากแบบอัตโนมัติ หรือ ติดตามผลในภาพรวมระดับกว้าง เช่น ระดับภูมิภาค เพิ่มเติมจากที่มีอยู่เดิมในโครงการนำร่อง โดยใช้แนวทางที่โครงการนำร่องได้เริ่มต้นไว้แล้ว

- พัฒนาเครื่องมือช่วยเหลือในการควบคุมแบบอัตโนมัติ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการควบคุม และเพื่อลดภาระผู้ดูแลระบบในการควบคุม โดยเฉพาะในกรณีที่ระบบไม่สามารถสั่งการได้ปกติ (Error handling tools)
- พัฒนาเครื่องมือช่วยเหลือในการควบคุมแบบ Manual ซึ่งจำเป็นสำหรับกรณีที่ระบบอัตโนมัติทำงานไม่สำเร็จ

8.2.4 เกี่ยวกับระบบภายในบ้าน

- พัฒนาระบบแก้ปัญหาอัตโนมัติ (Self-Recovery) เช่น เมื่อ network ใช้ไม่ได้ เมื่อสั่งงานไม่ได้ เมื่ออุปกรณ์สื่อสารกับ Gateway ไม่ได้ เป็นต้น (ส่วนใหญ่ได้ดำเนินการไปแล้วในโครงการนำร่องนี้)
- จัดเตรียมทีมงานและขั้นตอนการติดตั้ง โดยต้องคำนึงว่าเป็นการติดตั้งระบบ ไม่ใช่การติดตั้งอุปกรณ์ ดังนั้นส่วนสำคัญคือ การตรวจสอบผลการติดตั้งว่าข้อมูลเข้าระบบจริง และทำงานราบรื่นทุกฟังก์ชั่นในระบบ
- พิจารณาและประเมินแนวทางในการเปลี่ยนไปใช้ความถี่ไร้สายในย่าน 900MHz แทนย่าน 2.4GHz ในตัวอุปกรณ์ปัจจุบัน เพื่อหลีกเลี่ยงผลกระทบจากสัญญาณ WiFi ภายในบ้านและ WiFi สาธารณะ
- เนื่องจากพบว่าเครื่องปรับอากาศบางรุ่นบางยี่ห้อ ไม่สามารถควบคุม Fan mode ได้ ทางส่วนกลางจึงควรทดสอบยืนยันที่หน้างานก่อนติดตั้ง (สามารถดำเนินการได้เลยหน้างาน)
- เพิ่มช่องทางการควบคุม เป็นผ่าน Wifi ด้วย เนื่องจากในอนาคตอันใกล้ การควบคุมเครื่องปรับอากาศผ่าน Wifi จะเริ่มมีแพร่หลายมากขึ้น (ณ ปัจจุบัน พบว่าเริ่มมีขายในท้องตลาดแล้วอย่างน้อย 3 เจ้า และได้มีโอกาสคุยกับผู้ผลิตเครื่องปรับอากาศรายใหญ่ของไทยเจ้าหนึ่งที่ส่ง solution ดังกล่าวออกขาย ได้ข้อมูลว่ามีความเป็นไปได้ที่จะควบคุมเครื่องปรับอากาศด้วยวิธีดังกล่าว)

8.2.5 การจัดกำลังคนในการปฏิบัติการ

- ระบบไม่สามารถทำงานด้วยตัวเองได้ 100% ยังจำเป็นต้องมีคนเข้ามาช่วยตรวจสอบ และกำกับดูแลการทำงานอยู่ เนื่องจากเป็นระบบที่ซับซ้อน รายละเอียดเยอะ ดังนั้น จึงควรจัดเตรียมผู้เชี่ยวชาญระบบไว้ในกรณีฉุกเฉิน และอาจเข้าร่วมการควบคุมทุกครั้ง
- จัดเตรียมแนวทางการดำเนินงานเมื่อเกิดเหตุฉุกเฉินเตรียมพร้อมไว้ เนื่องจากความซับซ้อนของระบบ เมื่อเกิดเหตุต่างๆจะได้ตอบสนองได้ทันท่วงที และมีการปรับปรุงเพิ่มเติมเนื้อหา/กรณีใหม่ๆอยู่เสมอ

8.2.6 การดูแลบำรุงรักษาระบบ

- จัดเตรียมขั้นตอนและแบบฟอร์มสำหรับดูแลรักษาระบบ สำหรับทั้งส่วนกลาง และระดับบ้าน
- จัดหาทีมงานสำหรับบำรุงรักษาระบบ ทั้งเรื่องดูแลเครื่องแม่ข่าย ดูแลแก้ปัญหาในบ้าน และบำรุงรักษาระบบตามช่วงเวลา รวมถึงทีมงานที่พร้อมออกไปตรวจสอบปัญหา ณ ที่บ้านด้วย

8.3 ข้อจำกัดทางด้านระเบียบหรือกฎเกณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับการขยายผลการดำเนินการตามเทคโนโลยีการลดความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดสู่ภาคประชาชนในวงกว้าง

ในหัวข้อนี้จะนำเสนอการเตรียมความพร้อมด้านระเบียบหรือกฎเกณฑ์ รวมถึงนโยบายของภาครัฐสำหรับแนวทางการขยายการดำเนินมาตรการตามเทคโนโลยีการลดความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดสู่ภาคประชาชนในวงกว้าง โดยมาตรการตามเทคโนโลยีการลดความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดดังกล่าวเป็นส่วนหนึ่งของแผนอนุรักษ์พลังงาน (EEP2015) พ.ศ.2558-2579 ทั้งนี้ คณะผู้วิจัยได้ดำเนินการจัดทำประเด็นที่เกี่ยวข้องและมีความจำเป็นสำหรับการเตรียมความพร้อมในการขยายการดำเนินมาตรการสู่ประชาชนในวงกว้าง สรุปได้ดังนี้

8.3.1 ประสบการณ์การดำเนินการตอบสนองด้านโหลดในประเทศไทย

- ปี 2539-ปัจจุบัน : มาตรการอัตราค่าไฟฟ้าประเภทที่สามารถงดจ่ายไฟฟ้าได้ (Interruptible Rate)
- วันที่ 8-10 มกราคม 2557 โครงการนำร่อง Thailand Demand Response : ทดสอบกลไกการดำเนินการตอบสนองด้านโหลด
- วันที่ 10-20 เมษายน 2558 โครงการความร่วมมือลดการใช้ไฟฟ้า (Demand Response) ครั้งที่ 1/2558 : มาตรการอัตราค่าไฟฟ้าส่วนลดช่วงวิกฤต (Peak Time Rebate)

8.3.2 แนวทางการเตรียมความพร้อมในการขยายการดำเนินมาตรการสู่ประชาชนในวงกว้าง

โดยแบ่งออกเป็น 2 ช่วงเวลา ได้แก่ ระยะเตรียมการ และระยะสั้น ดังนี้

- <u>การเตรียมความพร้อมในช่วงระยะที่ 1 (ระยะเตรียมการ ในช่วงปี พ.ศ. 2559-2560)</u> ในช่วงนี้จะเป็นการเตรียมการด้านนโยบายต่างๆ เพื่อรองรับการขับเคลื่อนการพัฒนามาตรการตามเทคโนโลยีการลดความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดไปทั้งระบบ เช่น
  - การกำหนดนโยบายและทิศทางของ Demand Response ของประเทศให้ชัดเจน
  - การกำหนดหน่วยงานหลักที่รับผิดชอบให้เป็นไปเป้าหมายที่กำหนด
  - การกำหนดรูปแบบการเชื่อมต่อโครงข่ายสื่อสารของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง
  - การสนับสนุนการศึกษาวิจัยและประชาสัมพันธ์ให้ความรู้ในส่วนที่เกี่ยวข้อง
- <u>การเตรียมความพร้อมในช่วงระยะที่ 2 (ระยะสั้น ในช่วงปี 2561-2564)</u> ในช่วงนี้จะเป็นระยะของการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานต่างๆ ที่จำเป็นสำหรับการเปลี่ยนผ่านไปสู่ระบบไฟฟ้ายุคใหม่ ทั้งนี้ กิจกรรมการลงทุน/พัฒนาที่ควรดำเนินการในช่วงระยะนี้จะเป็นการผสมผสานนโยบายขับเคลื่อนจากภาครัฐ และการลงทุนของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง รวมถึงภาคเอกชน เช่น
  - การสนับสนุน/ปรับปรุงโครงสร้างมาตรการตอบสนองการใช้ไฟฟ้า Demand Response (DR) ทั้งมาตรการทางด้านราคา และมาตรการการสร้างแรงจูงใจ
  - การพัฒนาระบบการตอบสนองด้านโหลดไปสู่ระบบสั่งการแบบอัตโนมัติ โดยดำเนินการให้สอดคล้องกับแผน Smart Grid
  - ขยายผลจากโครงการนำร่องและกำหนดเป็นโยบายและทิศทางของประเทศต่อไป
  - การออกมาตรการสนับสนุนให้ภาคเอกชนเกิดการวิจัยและพัฒนา
  - การกำหนดนโยบายสนับสนุน/จูงใจให้ภาคผู้ใช้ไฟฟ้าตั้งแต่ภาคครัวเรือน อาคารพาณิชย์ และโรงงานอุตสาหกรรม (เทคโนโลยี HEMS/BEMS/FEMS)

8.3.3 การสนับสนุน/ปรับปรุงโครงสร้างมาตรการตอบสนองการใช้ไฟฟ้า Demand Response (DR)

ควรดำเนินการปรับปรุงมาตรการตอบสนองการใช้ไฟฟ้า (Demand Response) 2 รูปแบบ คือ มาตรการทางด้านราคา (Price based options) และมาตรการการสร้างแรงจูงใจ (Incentive based options) เพื่อขยายสำหรับการขยายการดำเนินมาตรการตามเทคโนโลยีการลดความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดสู่ภาคประชาชนในวงกว้าง ได้แก่

- มาตรการทางด้านราคา (Price based options) อาทิเช่น
  - อัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาการใช้ (TOU) ที่มีความหลากหลายมากขึ้น
  - อัตราค่าไฟฟ้าช่วงวิกฤต (Critical Peak Pricing)
  - อัตราค่าไฟฟ้าส่วนลดช่วงวิกฤต (Peak time rebate)
  - อัตราค่าไฟฟ้าสะท้อนต้นทุนตามช่วงเวลา (Real Time Pricing; RTP)
- มาตรการการสร้างแรงจูงใจ (Incentive based options) อาทิเช่น
  - การควบคุมระดับการใช้โดยตรง (Direct Load Control)
  - การหยุดจ่ายกระแสไฟฟ้าชั่วคราว (Interruptible Services)
  - มาตรการรับซื้อความต้องการใช้ไฟฟ้า (Demand Bidding/Buyback Programs)
  - มาตรการจัดการความต้องการใช้ไฟฟ้าวิกฤต (Emergency demand response Programs)

8.3.4 แนวทางการพัฒนาบทบาทของผู้รวบรวมปริมาณความต้องการไฟฟ้า (Load Aggregator)

สามารถแบ่งออกเป็น 3 บทบาท ดังนี้

(1) บทบาทด้านนโยบายและการจัดการ (Policy & Administration)

- การพัฒนาหน่วยงานและบุคลากรเพื่อให้บริการในการดำเนินการตอบสนองด้านโหลด
- การดำเนินการกิจกรรมการตลาดไปยังกลุ่มเป้าหมายผู้ใช้ไฟฟ้า ให้เข้าร่วมดำเนินการตอบสนองด้านโหลด
- การกำหนดเป้าหมายและทำสัญญากับผู้ใช้ไฟฟ้าที่ร่วมดำเนินการมาตรการตอบสนองด้านโหลด และดำเนินการมาตรการตอบสนองด้านโหลดกับผู้ใช้ไฟฟ้าที่เป็นเครือข่ายเข้าร่วมดำเนินการ
- การติดตามดูแลการดำเนินการตอบสนองด้านโหลดของผู้ใช้ไฟฟ้าอย่างต่อเนื่อง
- การพัฒนากระบวนการการจ่ายค่าตอบแทนแก่ผู้ใช้ไฟฟ้าที่ร่วมดำเนินการ
- การช่วยเหลือแนะนำให้คำปรึกษาแก่ผู้ใช้ไฟฟ้าเพื่อให้สามารถดำเนินการมาตรการตอบสนองด้านโหลดได้อย่างมีประสิทธิภาพ

(2) บทบาทด้านการดำเนินการ (System Implementation)

- การติดตั้งระบบสั่งการตอบสนองด้านโหลด (Demand Response Dispatching Client) ซึ่งรับคำสั่งจากระบบศูนย์สั่งการตอบสนองด้านโหลดลูกข่ายและสั่งการต่อไปยังผู้ใช้ไฟฟ้าที่เข้าร่วมดำเนินการ
- การติดตั้งระบบตรวจวัดติดตามข้อมูลการใช้ไฟฟ้า (Demand Monitoring) เพื่อติดตามสถานะการดำเนินการของผู้ใช้ไฟฟ้าที่เข้าร่วมดำเนินการ

(3) บทบาทด้านการปฏิบัติการตอบสนองด้านโหลด (Operation)

- การรวบรวมปริมาณความต้องการไฟฟ้าจากผู้ใช้ไฟฟ้า เพื่อให้สามารถตอบสนองต่อคำสั่งร้องขอได้ตามปริมาณและเงื่อนไขที่กำหนดในข้อตกลง ซึ่งได้ทำไว้กับผู้จำหน่ายไฟฟ้า
- การรับคำสั่งร้องขอการตอบสนองด้านโหลดจากผู้จำหน่ายไฟฟ้า และกระจายคำสั่งร้องขอไปยังผู้ใช้ไฟฟ้าที่อยู่ในเครือข่ายดูแลรับผิดชอบ
- การตรวจติดตามผลการตอบสนองด้านโหลดและส่งข้อมูลกลับไปยังผู้จำหน่ายไฟฟ้า
- การประเมินผลการดำเนินการเพื่อจ่ายค่าตอบแทนให้กับผู้ใช้ไฟฟ้าซึ่งเป็นคู่สัญญา
- การรวบรวมผลการดำเนินการเพื่อเรียกค่าตอบแทนจากผู้จำหน่ายที่เป็นคู่สัญญา

8.3.5 แนวทางการปรับปรุงระเบียบหรือกฎเกณฑ์ที่เกี่ยวข้อง

การปรับปรุงระเบียบหรือกฎเกณฑ์ที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำไปสู่การขยายผลการดำเนินมาตรการตามเทคโนโลยีการลดความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดสู่ภาคประชาชนในวงกว้างนั้น จะต้องมีการดำเนินการดังต่อไปนี้

(1) การปรับปรุงและกำหนดมาตรฐานการเชื่อมต่อและทำงานร่วมกันระหว่างอุปกรณ์ต่างๆ ได้แก่ ระบบข้อมูลและสารสนเทศ การเชื่อมต่อระบบไฟฟ้า (Grid Code) การติดต่อโครงข่ายสื่อสารและแลกเปลี่ยนข้อมูล รวมถึงมาตรฐานอุปกรณ์และระบบต่างๆ เช่น มิเตอร์อัจฉริยะ (AMI) ระบบเครือข่าย (Server/Gateway) ระบบซอฟต์แวร์และฐานข้อมูล (Software/Database) ระบบความเป็นส่วนตันและความปลอดภัย เป็นต้น

(2) การปรับปรุงแนวทางการพัฒนาอุปกรณ์และระบบ Demand Response ในอนาคตของประเทศไทยให้เป็นไปในทิศทางเดียวกัน ให้สอดคล้องกับนโยบาย ระเบียบหรือกฎเกณฑ์ที่ภาครัฐกำหนด เช่น มิเตอร์อัจฉริยะ (AMI) ระบบเครือข่าย (Server/Gateway) ระบบซอฟต์แวร์และฐานข้อมูล (Software/Database) เป็นต้น

(3) การปรับปรุงระเบียบหรือกฎเกณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับการเชื่อมโยงและการกำกับดูแลที่มีอยู่ในปัจจุบัน เพื่อให้สามารถรองรับมาตรการ Demand Response หรือการจัดการลดความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุด ได้แก่ การปรับปรุงกฎระเบียบการเชื่อมโยงข้อมูลระหว่างหน่วยงานที่เกี่ยวข้องทั้งฝ่ายผลิต จำหน่าย และผู้ใช้ไฟฟ้า การปรับปรุงกฎระเบียบเกี่ยวกับ พรบ.อนุรักษ์พลังงาน การปรับปรุงกฎระเบียบกลไกการกำกับดูแลการสั่งการ DR การออกกฎระเบียบให้ใบอนุญาตและกำกับดูแล Load Aggregator การปรับปรุงกฎระเบียบการเปิดเผยและความปลอดภัยข้อมูล การออกกฎเกณฑ์การตรวจวัดและพิสูจน์ผลการดำเนินมาตรการ รวมถึงการปรับปรุงระเบียบและกฎเกณฑ์ด้านโครงสร้างราคาค่าไฟฟ้าให้สอดคล้องกับสภาวะปัจจุบันและมีความเหมาะสมและเป็นธรรมต่อผู้ใช้ไฟฟ้า

(4) การปรับปรุงและบูรณาการแผนการดำเนินงานและการลงทุนของหน่วยงานต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนามาตรการ Demand Response หรือ Smart Grid ของประเทศไทย ทั้งการวางแผนการลงทุนโครงสร้างพื้นฐาน การดำเนินโครงการนำร่องและสาธิต การศึกษาและวิจัยพัฒนาอุปกรณ์หรือระบบต่างๆ

(5) การปรับปรุงระเบียบ กฎเกณฑ์และมาตรการที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาองค์ความรู้สำหรับบุคลากรในประเทศให้เข้าถึงเทคโนโลยีที่ทันสมัย รวมถึงพัฒนาองค์กรในประเทศ อาทิเช่น ออกแบบมาตรการสนับสนุนทางด้านภาษีและการเงิน รวมถึงการพัฒนากระบวนการ กฎระเบียบเพื่อสนับสนุนและเพื่อจูงใจให้ภาคเอกชนเกิดการพัฒนาธุรกิจและการผลิตอุปกรณ์ในประเทศ

9. สรุปผลการดำเนินงานที่ผ่านมา และสิ่งที่จะดำเนินการต่อไป

9.1 สรุปผลการดำเนินงานที่ผ่านมา

เมื่อพิจารณาแผนงานโครงการซึ่งครอบคลุมระยะเวลา 12 เดือน คือ ตั้งแต่วันที่ 23 เมษายน 2558 ถึงวันที่ 22 เมษายน พ.ศ.2559 ดังแสดงในตารางที่ 4 นั้น จะพบว่ากิจกรรมการดำเนินงานของโครงการแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มหลัก คือ

- การศึกษารวบรวมข้อมูลลักษณะการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัยของไทย การประเมินผลประโยชน์จากการลดความต้องการใช้ไฟฟ้าเพื่อนำไปใช้ในการพิจารณาประเมินผลประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการลดความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดในกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัย
- การพัฒนาระบบจัดการกำลังไฟฟ้าสูงสุด ซึ่งประกอบไปด้วยฮาร์ดแวร์อุปกรณ์ต่างๆ และซอฟต์แวร์เพื่อใช้ในการเข้าถึงข้อมูลและควบคุมกำลังไฟฟ้าสูงสุดจากเครื่องปรับอากาศในบ้านอยู่อาศัย พร้อมทั้งดำเนินการตั้งตั้งระบบที่พัฒนาขึ้นให้กับกลุ่มผู้เข้าร่วมโครงการ
- การศึกษาวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้จากการติดตั้งระบบที่พัฒนาขึ้นกับกลุ่มบ้านอยู่อาศัยตัวอย่าง ซึ่งประกอบด้วยผลการเปรียบเทียบลักษณะการใช้ไฟฟ้าที่ได้จากโครงการและจากที่จัดทำโดยการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ผลการประเมินการดำเนินงานและการยอมรับของผู้ใช้ไฟฟ้าต่อมาตรการจัดการความต้องการไฟฟ้าสูงสุดและปัญหาอุปสรรคในการใช้งานเทคโนโลยี พร้อมทั้งปัญหาหรืออุปสรรคที่อาจจะเกิดขึ้นสำหรับการขยายการดำเนินมาตรการตามเทคโนโลยีดังกล่าวสู่ภาคประชาชนในวงกว้าง

ตลอดระยะเวลา 12 เดือนของการดำเนินโครงการที่ผ่านมา คณะผู้วิจัยได้ดำเนินการศึกษาวิจัยครอบคลุมกิจกรรมทั้ง 3 กลุ่ม ครบถ้วนสมบูรณ์แล้ว

9.2 ข้อเสนอแนะ

9.2.1 ด้านเทคนิคและการดำเนินงานด้าน DR

- ขยายผลการดำเนินโครงการสู่การนำไปใช้จริง
- ขยายผลสู่การควบคุมโหลดลักษณะอื่นๆ
- กำหนดแนวทางการพัฒนา Load Aggregator จากเทคโนโลยีภายใต้โครงการ

9.2.2 ด้านนโยบายอื่นๆที่เกี่ยวข้อง

- ควรมีการศึกษาวิจัยด้านพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าและการตอบสนองต่อมาตรการการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้า (Consumer behavior Study)
- ควรมีการกำหนดรูปแบบการศึกษาประโยชน์จากการดำเนินมาตรการด้าน DR (Framework for Evaluating the Cost-Effectiveness of Demand Response)
- การผลักดันกฎหมายการลงทุนด้านสมาร์ทกริด

9.3 แผนการดำเนินงานเก็บข้อมูลและดูแลระบบหลังจากจบโครงการ

9.3.1 การเก็บข้อมูล

เนื่องจากหลังจากจบโครงการแล้ว คณะผู้วิจัยจะต้องทำการดูแลระบบและเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อส่งให้กับทางสำนักงานนโยบายและแผนพลังงานอย่างต่อเนื่องอีก เป็นเวลา 18 เดือน ดังนั้น คณะผู้วิจัย จึงได้นำเสนอรูปแบบการสรุปผลข้อมูลที่จะนำส่งตามรายละเอียดในหัวข้อนี้ โดยจะดำเนินการและจัดส่งภายในสัปดาห์แรกของทุกๆ เดือน นับจาก พฤษภาคม 2559 ไปจนถึงเดือนตุลาคม 2560 โดยทีมงานจะได้พัฒนาโปรแกรมสำหรับรวบรวมข้อมูลอัตโนมัติขึ้นมาเพื่อช่วยแบ่งเบาภาระการเก็บข้อมูล โดยมีจุดประสงค์ของการเก็บข้อมูลคือได้ข้อมูลภาพรวมการใช้พลังงานของระบบ รวมถึงข้อมูลการใช้พลังงานราย 15 นาที ในรูปแบบไฟล์ Excel เพื่อให้สามารถนำไปใช้วิเคราะห์ต่อได้โดยง่าย

9.3.2 การดูแลระบบ

ในการดูแลรักษาระบบ จะมีการดำเนินการในหลายลักษณะดังนี้

- การ Stand by รับแจ้งเหตุขัดข้องจากเจ้าของบ้าน ผ่านช่องทางหลักคือ Facebook Fanpage “DR100” message และ Line “DR100Admin”
- การเข้าไปตรวจเช็คสถานะระบบด้วยวิธี Remote monitoring โดยทำเดือนละครั้ง และทำรายงานผลส่งทุกเดือน
- การส่งช่างหรือวิศวกรเข้าไปดูแลในกรณีที่จำเป็น

ดังนั้น ในทุกเดือนจะมีการรายงานผลการดูแลรักษาระบบ โดยคณะผู้วิจัยจะดำเนินการจัดส่งรายงานดังกล่าวภายในสัปดาห์แรกของแต่ละเดือน เป็นเวลา 18 เดือน นับจาก พฤษภาคม 2559 ไปจนถึงเดือนตุลาคม 2560 โดยทีมงานจะได้พัฒนาโปรแกรมสำหรับรวบรวมข้อมูลอัตโนมัติขึ้นมาเพื่อช่วยแบ่งเบาภาระการเก็บข้อมูล

9.4 รายการครุภัณฑ์ที่ได้ดำเนินการจัดซื้อระหว่างการดำเนินโครงการในช่วงที่ผ่านมา

โครงการวิจัยนำร่องการดำเนินงานด้านการจัดการกำลังไฟฟ้าสูงสุดในภาคประชาชน มีรายการครุภัณฑ์ที่ต้องทำการ คัดเลือก/จัดซื้อ/พัฒนา อุปกรณ์ต้นแบบที่เหมาะสมในการลดความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดในภาคประชาชนโดยเฉพาะกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัย ตามที่กำหนดในข้อเสนอโครงการทางด้านเทคนิค ดังนี้

(1) Microcontroller Gateway จำนวนไม่น้อยกว่า 100 ชุด
(2) Microcontroller Smart Meter จำนวนไม่น้อยกว่า 100 ชุด
(3) Microcontroller Multi-Sensor จำนวนไม่น้อยกว่า 100 ชุด
(4) ตัวควบคุมการทำงาน Compressor ของ Air-Conditioner จำนวนไม่น้อยกว่า 100 ชุด
(5) Android-based Tablet สำหรับทำเป็น Home Display จำนวนไม่น้อยกว่า 100 ชุด
(6) Computer จำนวนไม่น้อยกว่า 5 ชุด
(7) Computer Server รวมระบบ UPS จำนวนไม่น้อยกว่า 2 ชุด
(8) ชุดแสดงผลข้อมูลโครงการ ณ จุดใช้งานต่างๆ อย่างน้อย 2 จุด

สำหรับการดำเนินงานตลอดระยะเวลา 12 เดือนที่ผ่านมา ทางโครงการฯ ได้ทำการคัดเลือก/จัดซื้อ/พัฒนา/ส่งมอบ (บางส่วน) ครุภัณฑ์และอุปกรณ์ต้นแบบครบถ้วน ตามเงื่อนไขที่กำหนดเรียบร้อยแล้ว

ตารางที่ 4 : แผนงานโครงการภายใต้ระยะเวลาการดำเนินโครงการทั้งหมด 12 เดือน

รายการ	เดือน											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. ศึกษาและรวบรวมข้อมูลลักษณะการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัยของไทย โดยจะพิจารณาเปรียบเทียบฐานข้อมูลการศึกษาลักษณะการใช้ไฟฟ้า (Load Study) ของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัยที่เคยจัดทำโดยการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่าย และการใช้ไฟฟ้าในบ้านอยู่อาศัยกลุ่มตัวอย่างที่ทำการศึกษา												
2. ศึกษา รวบรวมข้อมูลแนวทางการประเมินผลประโยชน์จากการลดความต้องการใช้ไฟฟ้าเพื่อนำไปใช้ในการพิจารณาประเมินผลประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการลดความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดในกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัย												
3. ทบทวนและศึกษาเทคโนโลยีการลดความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดทั้งในและต่างประเทศ												
4. ศึกษาความเหมาะสมของโครงสร้างพื้นฐานด้านไฟฟ้าที่มีการใช้อยู่ในประเทศไทย												
5. วิเคราะห์สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ ภายในบ้านอยู่อาศัย เช่น ระบบแสงสว่าง ระบบปรับอากาศ และอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆ และวิเคราะห์ผลกระทบของการใช้พลังงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าต่อการใช้ไฟฟ้าสูงสุดในภาคบ้านอยู่อาศัยในปัจจุบัน โดยอาศัยข้อมูลจากผลการศึกษาต่างๆ ที่เกี่ยวข้องที่จัดทำขึ้นในประเทศไทย												
6. คัดเลือก/จัดซื้อ/พัฒนาอุปกรณ์ต้นแบบที่เหมาะสมในการลดความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดในภาคประชาชนโดยเฉพาะกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัย												
6.1 Microcontroller Gateway จำนวนไม่น้อยกว่า 100 ชุด												
6.2 Microcontroller Smart Meter จำนวนไม่น้อยกว่า 100 ชุด												
6.3 Microcontroller Multi-Sensor จำนวนไม่น้อยกว่า 100 ชุด												
6.4 ตัวควบคุมการทำงานของ Air-Conditioner จำนวนไม่น้อยกว่า 100 ชุด												
6.5 Android-based Tablet จำนวนไม่น้อยกว่า 100 ชุด												
6.6 อุปกรณ์คอมพิวเตอร์สำหรับศูนย์ควบคุมการใช้ไฟฟ้าและประมวลผลการวิจัย												
6.7 ชุดแสดงผลข้อมูลโครงการ ณ จุดใช้งานต่างๆ อย่างน้อย 2 จุด												
7. วิเคราะห์ถึงปัญหาหรืออุปสรรคที่อาจจะเกิดขึ้นและศึกษาแนวทางเบื้องต้นสำหรับการขยายการดำเนินมาตรการตามเทคโนโลยีดังกล่าวสู่ภาคประชาชนในวงกว้าง												
8. ประกาศรับสมัครและกำหนดคุณสมบัติผู้เข้าร่วมโครงการนำร่องสำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัย เพื่อจัดทำการนำร่องเทคโนโลยีการจัดการความต้องการไฟฟ้าสูงสุดในกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัยด้วยเทคโนโลยีสมาร์ทกริด โดยเปิดรับคัดเลือกครัวเรือนที่เข้าร่วมโครงการ จำนวนไม่น้อยกว่า 100 ครัวเรือน												
9. ดำเนินการสำรวจพื้นที่และติดตั้งอุปกรณ์ที่พักอาศัยที่ได้รับคัดเลือกตามข้อ 8.												
10. ดำเนินการจัดทำแบบสอบถามและประเมินผลการดำเนินงานและการยอมรับของผู้ใช้ไฟฟ้า จำนวนไม่น้อยกว่า 100 ชุด โดยมีเนื้อหาครอบคลุมด้านพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้า ด้านการยอมรับของผู้ใช้ไฟฟ้า ต่อมาตรการจัดการความต้องการไฟฟ้าสูงสุด และปัญหาอุปสรรคในการนำเทคโนโลยีมาใช้งาน เพื่อสรุปผลและจัดทำแนวทางการพัฒนาและขยายผลการนำเทคโนโลยีสมาร์ทกริดมาลดความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดในกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัยของประเทศไทย ในระยะสั้น ระยะปานกลาง และระยะยาว												
11. ดำเนินการพัฒนาระบบฐานข้อมูล และซอฟต์แวร์แสดงผลแบบ Web Application												
12. ดำเนินการพัฒนาระบบฐานข้อมูล และซอฟต์แวร์แสดงผลบนอุปกรณ์พกพา												
13. รายงานสรุปแนวทางการศึกษา/รายงานผลการดำเนินงาน												