รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การคัดเลือกระบบอ่านค่าการผลิตไฟฟ้าจากโซลาร์รูฟท็อป เพื่อเชื่อมต่อกับระบบซื้อขายไฟฟ้าระหว่างผู้ใช้ไฟฟ้า

Selection of Solar Rooftop Online Metering System for P2P Energy Trading

นาย ฐานุพงศ์ จิรโอฬารพัฒน์

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ไฟฟ้า

คณะ วิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงงานสหกิจศึกษา: การคัดเลือกระบบอ่านค่าการผลิตไฟฟ้าจากโซลาร์รูฟท็อป เพื่อเชื่อมต่อกับระบบซื้อขายไฟฟ้าระหว่างผู้ใช้ไฟฟ้า

ชื่อนักศึกษา: ฐานุพงศ์ จิรโอฬารพัฒน์

คณะ: วิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชา: วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ที่ปรึกษา: ดร.สมภพ ผลไม้

ผู้นิเทศงาน: นายปิธน วิทยศรีเจริญ

สถานประกอบการ: บริษัท บีซีพีจี จำกัด (มหาชน)

บทคัดย่อ

บริษัท บีซีพีจี จำกัด (มหาชน) เป็นบริษัทประกอบธุรกิจผลิตและจำหน่ายไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน รวมถึงลงทุนในบริษัทที่ดำเนินธุรกิจผลิตและจำหน่ายไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนต่าง ๆ จากการที่ได้มาปฏิบัติโครงงานในแผนก พัฒนาธุรกิจองค์กร ซึ่งเป็นแผนกซึ่งทำหน้าที่พัฒนาธุรกิจในองค์กรให้มีความพร้อมที่จะเผชิญหน้ากับการเปลี่ยนแปลงใหม่ ทั้งยังหาความเป็นไปได้ใหม่ๆ ในการต่อยอดธุรกิจองค์กรณ์ให้พัฒนาก้าวหน้ามากขึ้นยิ่งไป ทั้งนี้เทคโนโลยีการซื้อขายพลังงานไฟฟ้าผ่านเทคโนโลยีบล็อกเชน เป็นเทคโนโลยีซึ่งจะมาปฏิวัติอุตสาหกรรมการบริโภคไฟฟ้าของประเทศไทย การได้มาทำสหกิจศึกษากับที่บริษัทนี้ผู้วิจัยได้มีส่วนช่วยในการใช้องค์ความรู้ในการคัดเลือกระบบการอ่านค่ามิเตอร์ที่เหมาะสมกับบริบทสถานที่ติดตั้ง เพื่อที่ต่อยอดโครงงานให้ก้าวยิ่งขึ้นต่อไป

ทั้งนี้สิ่งที่ผู้วิจัยได้กระทำไปนั้นส่งผลให้บริษัทเกิดผลประหยัดในด้านราคาของมิเตอร์ต่อตัวที่ติดตั้ง และลดค่าใช้จ่ายที่ไม่จำเป็นอื่น ๆ อันได้แก่ค่าแรงงานในการจดค่ามิเตอร์รายเดือน ซึ่งส่งผลต่อการเพิ่มค่าใช้จ่ายรายเดือน

คำสำคัญ : Solar Rooftop , Metering System , Peer to Peer Energy Trading

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Cooperative Title: Selection of Solar Rooftop Online Metering System for P2P Energy Trading

Student Intern Name: Thanupong Chiraoranpat

Faculty: Engineering Department: Electrical Energy Engineering

Advisor Name: Sompob Polmai

Mentor Name: Pithon Vithayasricharoen

Company: BCPG Public Company Limited.

Abstract

The BCPG Public Company Limited's business is to generate and sell electricity from renewable energy as well as investing in companies that generate and sell electricity from renewable energy. By attending an internship at Business Development division that works to develop and integrate business strategy on the corporation to face the new normal changing.

The Peer to Peer energy trading by blockchain technology will make new disruptive to the electric consuming industry in Thailand. During co-operative education, we are trained to be more skillful and must make a decision to select the metering system for a suitable context on the specific site as long as integrate next project on a corporation

These skills and procedures that are employed during the co-operative education contributes to save a meter price per unit for equipping and reduce the other expense for example the man-hour for recording the electricity billing which makes the long term and fixed cost of a monthly expense.

Keywords: Solar Rooftop, Metering System, Peer to Peer Energy Trading

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ตามที่ผู้วิจัย นายฐานุพงศ์ จิรโอฬารพัฒน์ ได้มาปฏิบัติงานสหกิจศึกษา ณ บริษัท บีซีพีจี จำกัด (มหาชน) ตั้งแต่วันที่ 6 เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2562 ถึงวันที่22 เดือน พฤศจิกายน พ.ศ. 2562 ส่งผลให้ผู้วิจัยได้รับความรู้และประสบการณ์ต่าง ที่มีคุณค่ามากมาย สำหรับรายงานสหกิจศึกษาฉบับนี้ สำเร็จลงได้ด้วยดี จากความช่วยเหลือและความร่วมมือสนับสนุนของหลายฝ่าย ดังนี้

1. คุณ ปิธน วิทยศรีเจริญ ตำแหน่ง ผู้จัดการอาวุโส ฝ่ายพัฒนาธุรกิจองค์กร
2. คุณ ณรงค์ คนขำ ตำแหน่ง ผู้จัดการอาวุโส สรรหาและพัฒนาบุคลากร

ขอขอบคุณ ดร.สมภพ ผลไม้ อาจารย์ที่ปรึกษาวิชาสหกิจศึกษา ที่ให้คำแนะนำ จัดหาตำแหน่งงานจากสถานประกอบการ คอยติดตามประเมินความก้าวหน้าของการปฏิบัติงานและคอยตรวจแก้ไขเล่มรายงานการปฏิบัติงานสหกิจศึกษาจนสำหรับลุล่วงไปได้ด้วยดี

นอกจากนี้ยังมีบุคคลท่านอื่น ๆ อีกที่ไม่ได้กล่าวไว้ ณ ที่นี้ ซึ่งให้ความกรุณาแนะนำในจัดทำรายงานสหกิจศึกษาฉบับนี้ ผู้วิจัยจึงใคร่ขอขอบพระคุณทุกท่านที่ได้มีส่วนร่วมในการให้ข้อมูลและให้ความเข้าใจเกี่ยวกับชีวิตของการปฏิบัติงาน รวมถึงเป็นที่ปรึกษาในการจัดทำรายงานฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์

นาย ฐานุพงศ์ จิรโอฬารพัฒน์
ผู้จัดทำรายงาน
วันที่ 11 มกราคม พ.ศ. 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II

กิตติกรรมประกาศ.....III

สารบัญ.....IV

สารบัญตาราง.....VI

สารบัญภาพ.....VII

บทที่ 1 *บทนำ* 1

วัตถุประสงค์การวิจัย 2

ขอบเขตการวิจัย 2

วิธีการดำเนินการวิจัย 2

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4

2.1 การส่งข้อมูลโดยใช้ MODBUS Protocol 4

2.2 การแปลงSerial RS485 ให้เป็น Ethernet LAN 6

2.3 ระบบ AMR (Automatic Meter Reading) 6

2.4 การออกแบบระบบมิเตอร์แบบ AMR โดยใช้ซอร์ฟแวร์และฮาร์ดแวร์แบบ Open Source 7

2.5 HTTP WebSocket 8

2.6 API (Application Programming Interface) 11

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 13

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน 13

3.2 อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง 14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1 Digital Power Meter (Smart Meter) 14
3.2.2 Converter RS485 to Ethernet/TCP/IP 15
3.2.3 Modem Router 16
3.3 การออกแบบและวางแผนการทำงาน 17
3.3.1 มิเตอร์ระบบ NB-IOT Communication 18
3.3.2 มิเตอร์ระบบ WI-FI Communication 20
3.3.3 มิเตอร์ระบบ Ethernet 22
3.4 วิเคราะห์และคัดเลือกระบบ เพื่อนำมาทดสอบจริง 24
3.4.1 เกณฑ์ด้านคุณสมบัติทางเทคนิคของระบบ 24
3.4.2 เกณฑ์ด้านราคาของแต่ละระบบ 24
บทที่ 4 ผลการวิจัย 25
ภาพรวม และบริบทของสถานที่ติดตั้ง 25
4.1 เกณฑ์ด้านคุณสมบัติทางเทคนิค 26
4.2 เกณฑ์ด้านราคา 31
4.2.1 ราคาประมาณของระบบมิเตอร์ NB-IOT 34
4.2.2 ราคาประมาณของระบบมิเตอร์จากระบบ Wi-Fi Communication 35
4.2.3 ราคาประมาณของ ระบบมิเตอร์ จากระบบ Ethernet 36
4.2.4 ราคาต่อหน่วยระบบมิเตอร์ WI-FI Communication 37
4.2.5 ราคาต่อหน่วยมิเตอร์จากระบบ Ethernet 39
4.2.6 ราคาต่อหน่วยมิเตอร์จากระบบ NB-IOT 40
4.3 สรุปการคัดเลือก 42
บทที่ 5 บทสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 43
บรรณานุกรม 48
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 ตารางสรุป ข้อมูล Data Rate 28

ตารางที่ 2 ตารางแสดงระยะเวลาการส่งข้อมูล ขนาด 22,240.00 kb แบบ Minimum Rate 30

ตารางที่ 3 ตารางแสดงระยะเวลาการส่งข้อมูล ขนาด 22,240.00 kb แบบ Maximum Rate 30

ตารางที่ 4 ตารางแสดงราคาประมาณของระบบมิเตอร์ WI-FI Communication 34

ตารางที่ 5 ตารางแสดงราคาประมาณของระบบมิเตอร์จากระบบ Ethernet..... 35

ตารางที่ 6 ตารางแสดงราคาประมาณของ ระบบมิเตอร์ จากระบบ Ethernet 36

ตารางที่ 7 ตารางแสดงราคาต่อหน่วยของมิเตอร์แต่ละระบบ..... 42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 1 การสื่อสารแบบ Modbus Protocol 4

รูปที่ 2 ลักษณะเฟรมข้อมูลของ MODBUS RTU 5

รูปที่ 3 ลักษณะข้อมูลแต่ละไบต์ของ MODBUS RTU 5

รูปที่ 4 แผนภาพแสดงหลักการเชื่อมต่อการส่งข้อมูลเข้าเซิร์ฟเวอร์ 6

รูปที่ 5 รูปแบบการทำงานของ PHP WebSocket 9

รูปที่ 6 เป็นการ Request ตามปกติ จะเห็นว่าสีที่แตกต่างกัน คือ Client ทำการเชื่อมต่อแต่ล่ะครั้งก็จะได้.. 10

รูปที่ 7 รูปแบบการทำงานของ WebSocket 10

รูปที่ 8 ภาพแสดงขั้นจอนการดำเนินงานสหกิจศึกษา 13

รูปที่ 9 รูปภาพผลิตภัณฑ์ Converter RS485 to Ethernet/TCP/IP 15

รูปที่ 10 ลักษณะจำเพาะผลิตภัณฑ์ Converter RS485 to Ethernet/TCP/IP 15

รูปที่ 11 ภาพผลิตภัณฑ์ Modem Router 16

รูปที่ 12 ลักษณะจำเพาะผลิตภัณฑ์ Modem Router 16

รูปที่ 13 แผนภาพแสดงระบบโซล่ารูฟท็อปของมิเตอร์ระบบ NB-IOT Communication 18

รูปที่ 14 แผนภาพแสดง System Architecture ของมิเตอร์ระบบ NB-IOT Communication 18

รูปที่ 15 แผนภาพแสดง System Architecture ของมิเตอร์ระบบ NB-IOT Communication หลังการปรับปรุง 19

รูปที่ 16 แผนภาพแสดงระบบโซล่ารูฟท็อปของมิเตอร์ระบบ WI-FI Communication 20

รูปที่ 17 แผนภาพแสดง System Architecture ของมิเตอร์ระบบ WI-FI Communication 20

รูปที่ 18 แผนภาพแสดงระบบโซล่ารูฟท็อปของมิเตอร์จากระบบ Ethernet 22

รูปที่ 19 แผนภาพแสดง System Architecture ของมิเตอร์จากระบบ Ethernet 22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 22 ข้อมูล Data Rate ในแต่ละวิธีการสื่อสาร (ในที่นี้เราเลือก WIFI และ Wireless Lan) 26

รูปที่ 23 ข้อมูล Data Rate โดยกใช้ NB-IoT 27

รูปที่ 24 ตัวอย่างขนาด File ข้อมูลที่รับส่งในระบบ 28

รูปที่ 25 กระบวนการแปลงค่าข้อมูล..... 29

รูปที่ 26 การคำนวณขนาดของข้อมูล..... 29

รูปที่ 27 ภาพแสดงราคาค่าใช้จ่ายแยกตามจำนวนเครื่อง ของมิเตอร์ระบบ WI-FI Communication 37

รูปที่ 28 ภาพแสดงมูลค่า ค่าใช้จ่ายด้าน Network คิดรวม 20 ปี ของแต่ละระบบ.....38

รูปที่ 29 ภาพแสดงมูลค่า ค่าใช้จ่ายระบบมิเตอร์ต่อหน่วย.....38

รูปที่ 30 ภาพแสดงราคาค่าใช้จ่ายแยกตามจำนวนเครื่อง ของมิเตอร์ระบบ Ethernet.....39

รูปที่ 31 ภาพแสดงราคาค่าใช้จ่ายแยกตามจำนวนเครื่อง ของมิเตอร์ระบบ NB-IOT.....40

รูปที่ 32 ภาพแสดงมูลค่า ค่าใช้จ่ายด้าน Network คิดรวม 20 ปี ของแต่ละระบบ.....41

รูปที่ 33 ภาพแสดงมูลค่า ค่าใช้ระบบมิเตอร์ต่อหน่วย.....41

รูปที่ 34 ภาพแสดงราคาค่าใช้จ่ายแยกตามจำนวนเครื่อง ของมิเตอร์ระบบ NB-IOT.....43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1 *บทนำ*

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ในปัจจุบัน การจัดการพลังงานเป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างยิ่งในยุคสมัยที่มีอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ ออกมาเพื่อตอบสนองความต้องการมนุษย์อย่างไม่มีที่สิ้นสุด เนื่องด้วยมนุษย์เราไม่สามารถทราบหน่วยวัดการใช้งานไฟฟ้าได้อย่างเป็นรูปธรรมได้ การติดตั้งมิเตอร์เพื่ออ่านค่านั้นจึงเป็นสิ่งจำเป็น ในการสร้างความตระหนักรู้ให้กับตัวผู้ใช้งานมากขึ้น

โดยเมื่อช่วงต้นปี 2562 ที่ผ่านมา บมจ.บีซีพีจี (BCPG) ได้ลงนามสัญญากรอบความร่วมมือโครงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคากับ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ กำลังการผลิตขั้นต่ำ 12 เมกะวัตต์ มุ่งหน้าสู่การเป็นมหาวิทยาลัยอัจฉริยะ (Smart University) จากการผลิตและซื้อขายไฟฟ้าจากพลังงานสะอาดภายในมหาวิทยาลัยด้วยเทคโนโลยีบล็อกเชน

การร่วมลงนามสัญญาดังกล่าว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่จะเป็นผู้รับซื้อไฟฟ้าจาก BCPG ซึ่งเป็นผู้ลงทุนพัฒนา ติดตั้ง และบริหารจัดการระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารภายในมหาวิทยาลัยเชียงใหม่จำนวนกว่า 150 อาคาร รวมถึงระบบกักเก็บพลังงาน (Energy Storage System) รวมกำลังการผลิตติดตั้งขั้นต่ำ 12 เมกะวัตต์ เป็นระยะเวลา 20 ปี โดยที่บริษัทใช้เทคโนโลยีบล็อกเชนมาบริหารจัดการไฟฟ้าที่ผลิตได้จากพลังงานสะอาดให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

นอกจากจะเป็นการนำนวัตกรรมมาเพิ่มมูลค่าให้กับการติดตั้งโซลาร์รูฟท็อปบนอาคารต่างๆ แล้ว การที่แต่ละอาคารสามารถซื้อขายไฟฟ้ากันเองภายในมหาวิทยาลัยทั้งหมดไม่มีไฟส่วนเกินหรือเหลือใช้ไม่กลายเป็นของเสียหรือสูญเปล่า ทำให้เกิดเศรษฐกิจหมุนเวียน หรือ Circular Economy อันเป็นแนวทางในการพัฒนาธุรกิจอย่างยั่งยืนขึ้น

สำหรับการมาทำสหกิจครั้งนี้ ตัวผู้ดำเนินการวิจัยได้รับผิดชอบในส่วนของการ ออกแบบระบบมิเตอร์ไฟฟ้า ให้มีคุณลักษณะอ่านข้อมูลแบบออนไลน์ได้ตามแต่ละช่วงเวลาที่ต้องการ ในกรอบราคาที่เหมาะสม และมีประสิทธิภาพ ที่ช่วยให้เราทราบและเข้าถึงข้อมูลได้สะดวกกว่าเดิม ทั้งยังเป็นการวางรากฐานที่ดี ในการดำเนินการระบบซื้อขายไฟฟ้าระหว่างผู้ใช้ไฟ การริเริ่มทำต้นแบบโรงไฟฟ้าแบบจำลอง (VPP : Virtual Power Plant) เพื่อสอดรับกับความต้องการผู้ใช้ไฟในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาการทำงานของระบบซื้อขายไฟฟ้าระหว่างผู้ใช้ไฟฟ้า
2. เพื่อออกแบบระบบขั้นต้นที่เชื่อมต่ออุปกรณ์วัดพลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ สู่คอมพิวเตอร์แม่ข่าย
3. เพื่อเป็นต้นแบบในการขยายผลสู่การนำไปใช้จริงกับโครงการ Smart City
4. เพื่อพัฒนาตัวผู้ดำเนินงานวิจัยให้มีความรู้ความสามารถในการเรียนรู้และเข้าใจบริบทการทำงานจริง

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1. ออกแบบต้นแบบการเชื่อมโยงระบบอ่านค่าจากอาคาร จำนวน 5 อาคาร เข้าสู่คอมพิวเตอร์แม่ข่าย จำนวน 1 เครื่อง
2. จำกัดงบประมาณในการดำเนินงาน อุปกรณ์และการพัฒนาไม่เกิน 50,000 บาท

1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาโครงการในอดีตที่มีรูปแบบ หรือแนวคิดที่ใกล้เคียง เพื่อนำมาเป็นองค์ความรู้ในการทำโครงงาน
2. ศึกษาเทคโนโลยีที่บริษัทจะนำมาใช้ในพื้นที่จริงเพื่อสามารถหาอุปกรณ์ที่จำเป็น มาใช้ร่วมกับเทคโนโลยีที่บริษัทเลือกใช้ได้
3. ร่างต้นแบบและออกแบบการทำงานของระบบของโครงงานนี้ เพื่อประเมินความเป็นไปได้
4. ประเมินโครงสร้างต้นทุนของอุปกรณ์ที่จำเป็นต้องใช้ในการดำเนินโครงงาน เพื่อควบคุมต้นทุนให้อยู่ในกรอบที่วางไว้
5. นำเสนอโครงงานต้นแบบ พร้อมรับ Feedback นำมาแก้ไข
6. แก้ไขโครงงาน และนำเสนอจนได้รูปแบบสุดท้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เป็นต้นแบบระบบอ่านค่าหน่วยไฟฟ้าแบบออนไลน์ พร้อมรายการอุปกรณ์ ที่เกี่ยวข้อง
2. สามารถขยายผลสู่การบริหารการจัดการ แลกเปลี่ยนพลังงานของกลุ่มอาคารกว่า 180 อาคาร ภายในพื้นที่โครงการของบริษัทได้จริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

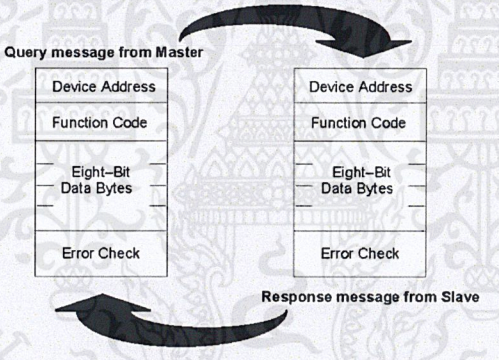
บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยจะเป็นการออกแบบระบบอ่านค่ามิเตอร์แบบออนไลน์ สิ่งที่จำเป็นที่ต้องชี้แจง จะประกอบด้วย องค์ความรู้เกี่ยวกับวิธีส่งข้อมูลโดยใช้ MODBUS Protocol เนื่องจากเราใช้ช่องทางนี้เป็นช่องทางสื่อสารหลัก การแปลงข้อมูลจากซีเรียลพอร์ต RS485 เป็น TCP/IP เนื่องจากตัวมิเตอร์ที่เลือกใช้ไม่มีพอร์ต สำหรับส่งข้อมูลเข้าระบบโดยตรง จึงต้องอาศัยตัวกลางในการแปลงข้อมูล

2.1 การส่งข้อมูลโดยใช้ MODBUS Protocol[1]

MODBUS Protocol มีการสื่อสารข้อมูลในลักษณะ Master/Slave ซึ่งเป็นการสื่อสารจากอุปกรณ์แม่ (Master) เพียงเครื่องเดียวไปยังอุปกรณ์ลูก (Slave) ได้หลาย ๆ เครื่อง โดยสามารถกำหนดหมายเลขอุปกรณ์ได้สูงสุด 255 เครื่อง

มีลักษณะการส่งข้อมูล 2 แบบ คือ ข้อมูลแบบแอสกี (ASCII) ซึ่งจะเรียกว่า MODBUS ASCII และข้อมูลแบบเลขฐานสอง (Binary) ซึ่งจะเรียกว่า MODBUS RTU ทำให้มีความแตกต่างในการกำหนดค่าพอร์ตสื่อสาร



รูปที่ 1 การสื่อสารแบบ Modbus Protocol

ซึ่งในการวิจัยนี้ เราเลือกใช้เป็น MODBUS RTU ในการเป็น Protocol สื่อสาร

สำหรับ MODBUS RTU นั้น เฟรมข้อมูลในโหมด RTU ประกอบด้วยข้อมูลแสดงตำแหน่งแอดเดรส 1 ไบต์, หมายเลขฟังก์ชัน 1 ไบต์, ข้อมูลที่ทำการรับส่งจำนวนมากสุดไม่เกิน 252 ไบต์ และรหัสตรวจสอบความ

---

[1] "PLC Protocol: การสื่อสารแบบ Modbus Protocol" เข้าถึงได้จาก : https://riverplus.com/2011/08/18/plc-protocol-%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%AA%E0%B8%B7%E0%B9%88%E0%B8%AD%E0%B8%AA%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B9%81%E0%B8%9A%E0%B8%9A-modbus-protocol/

(วันที่สืบค้นข้อมูล 28 ตุลาคม 2562)

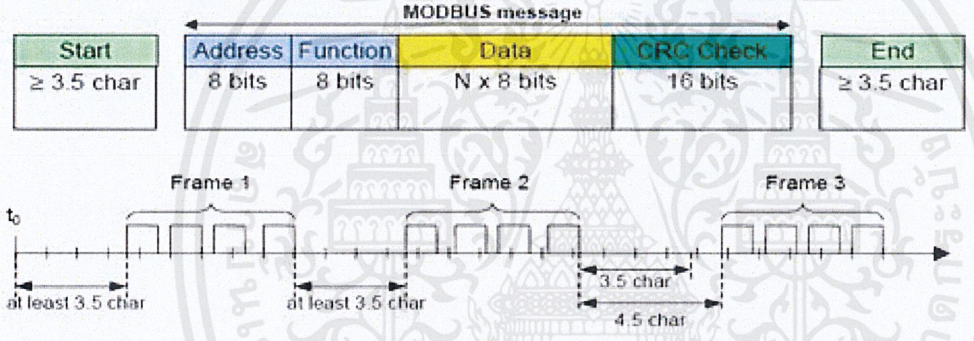
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถูกต้องของข้อมูลแบบ CRC (Cyclical Redundancy Checking) ขนาด 2 ไบต์ ค่า CRC นี้เป็นค่าที่คำนวณมาจากข้อมูลทุกไบต์ ไม่รวมบิต Start, Stop และ Parity Check

โดยที่ตัว Slave ตัวที่ส่งข้อมูลออกมาจะสร้างรหัส CRC แล้วส่งตามท้ายไบต์ข้อมูลออกมา หลังจากนั้นเมื่อ Master ได้รับเฟรมข้อมูลและถอดข้อมูลออกจากเฟรมแล้วจะทำการคำนวณค่า CRC ตามสูตรเดียวกับ Slave เพื่อทำการเปรียบเทียบค่า CRC ทั้ง 2 ค่าว่าตรงกันหรือไม่ หากไม่ตรงกันแสดงว่าเกิดความผิดพลาดในการรับส่งข้อมูลในโหมด RTU

การรับส่งข้อมูล 1 ไบต์ ไม่ว่าจะเป็นข้อมูลส่วนใดภายในเฟรมจะต้องทำการส่งบิตข้อมูลรวม 11 บิต คือ บิตเริ่มต้น (Start) 1 บิต, บิตข้อมูล 8 บิต, บิตตรวจสอบ Parity ของข้อมูล 1 บิตและบิตหยุด 1 บิต (Stop) 1 บิต หรือหากเลือกแบบไม่มีบิต Parity ก็จะเป็นแบบ Stop แทน 2 บิต

สำหรับการกำหนดให้มีบิต Parity นั้น สามารถเลือกเป็นแบบคู่ (Even Parity) หรือคี่ (Odd Parity) ก็ได้ และหากต้องการออกแบบให้สอดคล้องกับอุปกรณ์ที่มีใช้กันทั่วไปมากที่สุด ควรเลือกแบบคู่โดยที่สามารถปรับเปลี่ยนเป็นแบบคี่หรือไม่มีการตรวจสอบ Parity (No Parity) ได้ด้วย



รูปที่ 2 ลักษณะเฟรมข้อมูลของ MODBUS RTU

With Parity Checking

Start	1	2	3	4	5	6	7	8	Par	Stop

Without Parity Checking

Start	1	2	3	4	5	6	7	8	Stop	Stop

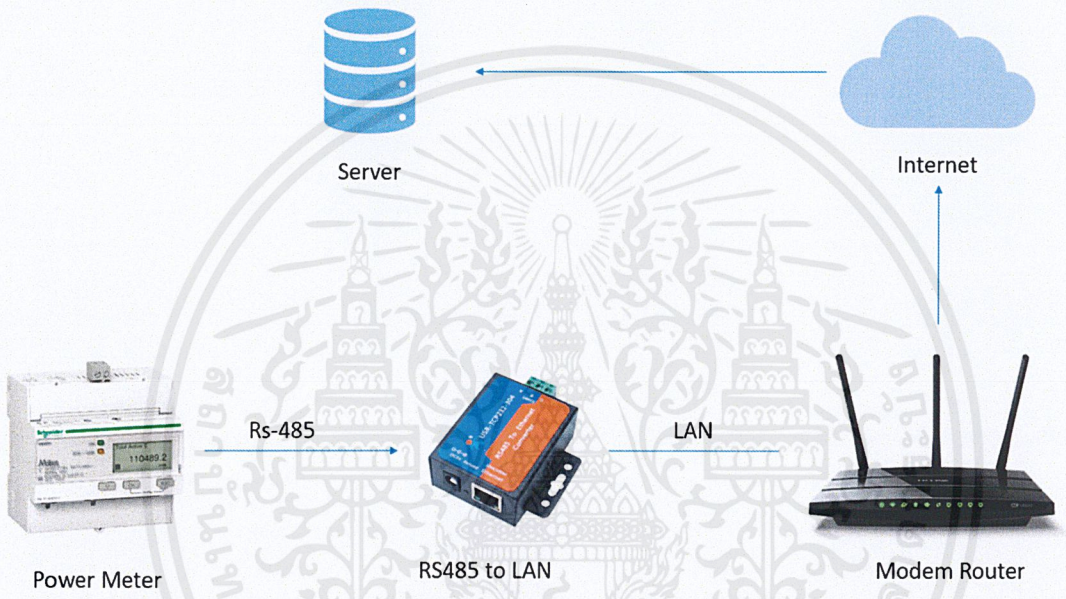
รูปที่ 3 ลักษณะข้อมูลแต่ละไบต์ของ MODBUS RTU

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การแปลงSerial RS485 ให้เป็น Ethernet LAN

เราจะมีการใช้อุปกรณ์ Converter ที่ช่วยแปลงสัญญาณจาก Serial RS485 เป็น Ethernet LAN เนื่องจากตัว Serial RS485 นั้น ไม่สามารถเสียบข้อมูลส่งเข้าอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ต ซึ่งในที่นี้เป็นตัวโมเด็ม

ดังนั้น เราจึงต้องมีอุปกรณ์ใช้แปลงสัญญาณเพื่อให้ส่งข้อมูลขึ้นไปได้



รูปที่ 4 แผนภาพแสดงหลักการเชื่อมต่อการส่งข้อมูลเข้าเซิร์ฟเวอร์

2.3 ระบบ AMR (Automatic Meter Reading)

ระบบ AMR คือระบบอ่านหน่วยมิเตอร์ไฟฟ้าแบบอัตโนมัติโดยผ่านสื่อกลางต่างๆ จากนั้นจะนำข้อมูลที่อ่านได้ทั้งหมด มาเก็บไว้ที่ส่วนกลาง โดยระบบ AMR จะทำการอ่านข้อมูลผ่านอุปกรณ์และโครงข่ายไร้สาย โดยจะให้ส่งข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้ากลับมาที่ฐานข้อมูล ทุกๆ 15 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 การออกแบบระบบมิเตอร์แบบ AMR โดยใช้ซอร์ฟแวร์และฮาร์ดแวร์แบบ Open Source [2]

ในระบบนี้ AMR ใช้ WIFI เป็นโปรโตคอลสื่อสารในการส่งข้อมูลในการทำ Remote Sever ข้อมูลที่ส่งผ่านนี้ถูกทำให้สำเร็จผลในช่วงเวลาที่ระบุจำเพาะเสมือนกับแพ็คข้อมูลซึ่งรวมทุกสิ่งทุกอย่างที่ผู้ใช้ระบบ AMR ต้องการ ระยะเวลาที่ข้อมูลถูกส่งไปนั้นจะถูกระบุในฮาร์ดแวร์ ที่ถูกตั้งค่าพารามิเตอร์จากผู้ใช้งานอีกทีหนึ่ง แพ็คข้อมูลส่งผ่าน WIFI Protocol ภายใต้กรอบของ HTML ซึ่งเป็นเครื่องมือในการแสดงการเลือกข้อมูลสู่อุปกรณ์ที่เราเลือก

ผู้ใช้งานสามารถที่จะดูการแสดงข้อมูลจากอุปกรณ์ใดๆ ก็ได้ ที่มีการเชื่อมต่อกับช่องทางสื่อสาร WIFI ได้ (อาทิ โทรศัพท์เคลื่อนที่ , แท็ปเล็ต คอมพิวเตอร์พกพา และอื่นๆ) และ HTML ผ่านภาษา Script

เนื่องด้วยคุณลักษณะของ WIFI Protocol ซึ่งส่งข้อมูลได้ไม่จำกัดผ่านช่องทางการสื่อสาร นั้นมีการตั้งค่าที่ทำได้ง่าย และรวดเร็ว มีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการที่น้อย ทั้งหลายนี้ จึงเป็นเหตุผลที่ Protocol สื่อสารนี้เป็นที่ถูกเลือกสำหรับ ระบบ AMR

สำหรับข้อมูลของค่ากระแส และแรงดัน จะถูกเก็บในอุปกรณ์ที่ติดตั้งในสายกำลังไฟฟ้า (Power Cables) โดยใช้ หม้อแปลงวันแรงดัน (CMT : Current Measurement Transformer) ข้อมูลนี้จะถูกเปลี่ยนค่าเป็นสัญญาณ อนาล็อก และดิจิตอล ผ่านอุปกรณ์วัดลำดับท่าอง ซึ่งอยู่ในระบบของสมาร์ทมิเตอร์

ข้อมูลที่ได้นั้นจะถูกคำนวณผ่านเจ้าตัว Arduino Uno R3 และส่งข้อมูลไปที่ WIFI Router โดยใช้โมดูล ENC28J60 ในการส่งค่าให้ Router และ Router นี้ก็นำข้อมูล ส่งเข้าเครือข่าย Wifi

อุปกรณ์ใดๆ ที่มีเบราเซอร์ที่มีการติดตั้ง HTML 1.0 และเชื่อมต่อกับ เครือข่าย WIFI สามารถเห็นข้อมูลนั้นได้ ณ ช่วงเวลานั้น

แต่อย่างไรก็ตามตัวเซอร์เวอร์ที่ใช้เก็บรักษาข้อมูลลงในฮาร์ดไดร์ฟซึ่งในที่นี้คือคอมพิวเตอร์ซึ่งเชื่อมต่อ WIFI ในการประยุกต์เก็บข้อมูลนี้ผ่านสัญญาณเครือข่าย จะเก็บมันผ่าน ไฟล์ .txt เพื่อให้สะดวกต่อการดำเนินการถัดไป

---

[2] "Designing Automatic Meter Reading System Using Open Source Hardware and Software" เข้าถึงได้จาก : **International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)** Vol. 7, No. 6, December 2017, pp. 3282~3291

(วันที่สืบค้นข้อมูล 31 ตุลาคม 2562)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 HTTP WebSocket[3]

WebSocket ผู้วิจัยมองว่าเป็นหนึ่งในตัวช่วยที่สำคัญในการช่วยบรรลุเป้าประสงค์ที่วางไว้ ซึ่งคือ การส่งข้อมูลเข้ากับเซิร์ฟเวอร์ได้แบบ ณ ขณะหนึ่ง กอปรกับเราใช้กับอุปกรณ์ที่เป็นมิเตอร์เพียงแค่ให้ตัวมิเตอร์ส่งข้อมูลตามที่กำหนด หลักการของ WebSocket หากอธิบายในภาษาของผู้วิจัย สิ่งนี้ทำงานโดยการที่ตัวเซิร์ฟเวอร์ส่งข้อมูลเพื่อตรวจสอบว่าอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อนั้นยังทำงานอยู่หรือไม่ หากทำงานก็ส่งค่ากลับมา ซึ่งเป็นกระบวนการที่วนซ้ำทำให้เราได้รับข้อมูลอย่างทันท่วงที คำอธิบายต่อจากนี้ คือคำอธิบายที่ตัวผู้วิจัยหยิบยกมาจากแหล่งข้อมูลอ้างอิงอื่นที่น่าเชื่อถือได้ ท่านสามารถดูแหล่งข้อมูลอ้างอิงต้นทาง ได้จากส่วน บรรณานุกรม

WebSocket คือมาตราฐานการส่งผ่านข้อมูลแบบ simulate full duplex หรือการจำลองการส่งข้อมูลไปกลับพร้อม ๆกันได้ระหว่าง client กับ server ด้วยการเชื่อมต่อแบบ tcp บนมาตราฐาน http/https

WebSocket คือ Protocol สำหรับการรับส่งข้อมูลแบบ Real-time Communication ที่สื่อสารกันได้สองทางระหว่าง Client อย่างเช่น Browser และ Server บน TCP ที่เปิดค้างไว้ทำให้ไม่ต้องสร้าง Connection ใหม่กันทุกครั้งที่ต้องการรับส่งข้อมูลระหว่างกัน ซึ่ง WebSocket นี้มักถูกใช้งานใน Application ประเภท Chat, Collaboration, Multiplayer Game และระบบ Financial Trading

หน้าที่ของ WebSocket คือ การรัน Service ที่ทำหน้าที่เป็น Protocol ที่ฝั่ง Server เมื่อมี Client ทำการเชื่อมต่อเข้ามา Services นี้จะติดตาม Client ไปอย่างใกล้ชิด เพื่อตรวจสอบว่า Client ทำการเชื่อมต่อและพร้อม รับ-ส่ง ข้อมูลให้ตลอดเวลา โดยที่ไม่จำเป็นว่าฝั่ง Client มีการ Request หรือไม่ ฉะนั้นเมื่อฝั่ง Server มีข้อมูลมาใหม่ๆ ตัว Services นี้ก็จะทำหน้าที่ Push ข้อมูลเพื่อส่งให้กับทุกๆ Client ที่เชื่อมต่ออยู่ในขณะนั้น ซึ่งมันเองสามารถที่จะตรวจสอบได้ว่า มี Client อะไรบ้างที่กำลังทำการเชื่อมต่ออยู่

---

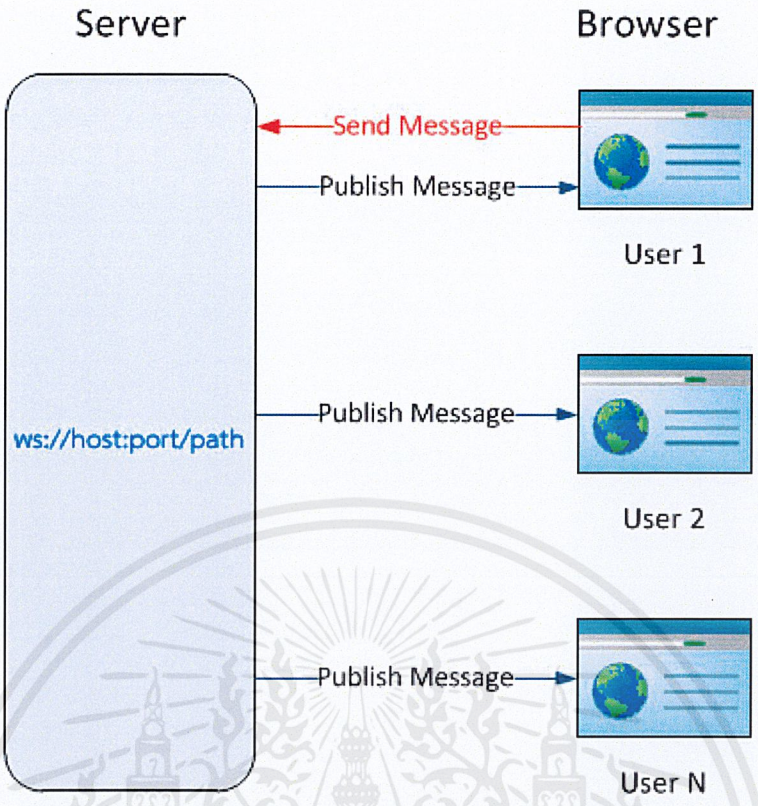
3 "Amazon CloudFront ประกาศรองรับ WebSocket Protocol แล้ว" เข้าถึงได้จาก : https://www.techtalkthai.com/amazon-cloudfront-now-supports-websocket-protocol/

"WebSocket คืออะไร" เข้าถึงได้จาก : https://volraton.wordpress.com/2015/05/20/websocket-%E0%B8%84%E0%B8%B7%E0%B8%AD%E0%B8%AD%E0%B8%B0%E0%B9%84%E0%B8%A3/

"WebSocket ตอนที่ 1 : WebSocket คืออะไร การรับส่งข้อมูลแบบ Real Time ด้วย PHP" เข้าถึงได้จาก : https://www.thaicreate.com/php/php-websockets-real-time.html

(วันที่สืบค้นข้อมูล 5 พฤศจิกายน 2562)

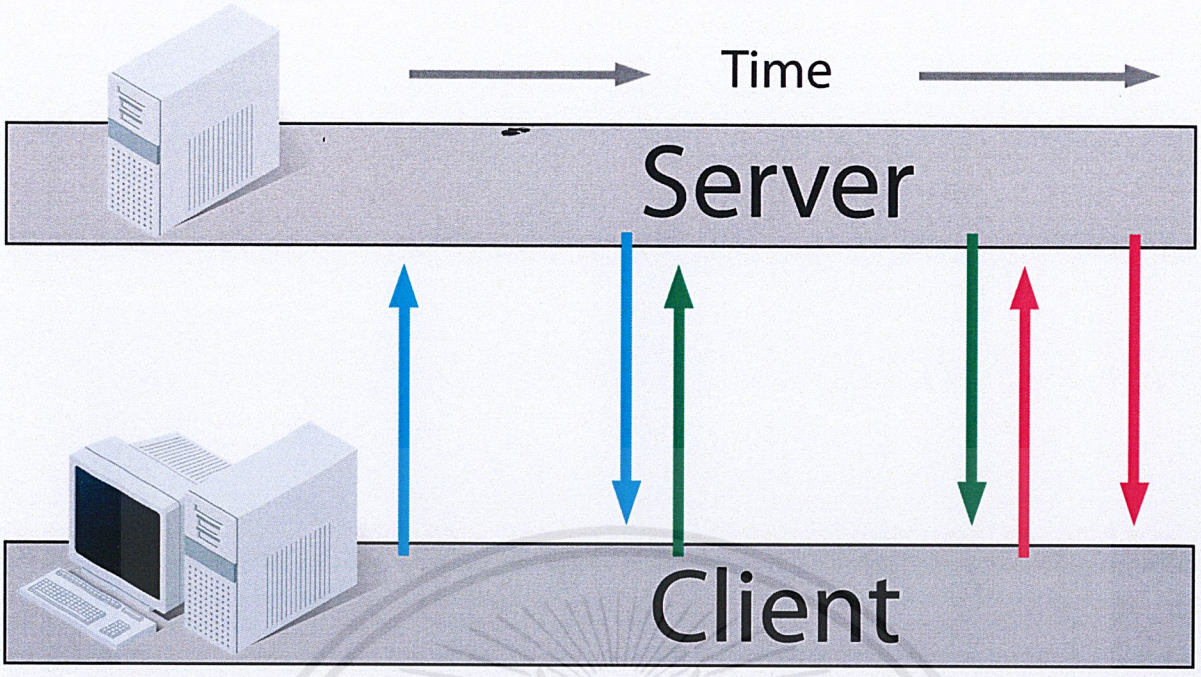
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5 รูปแบบการทำงานของ PHP WebSocket

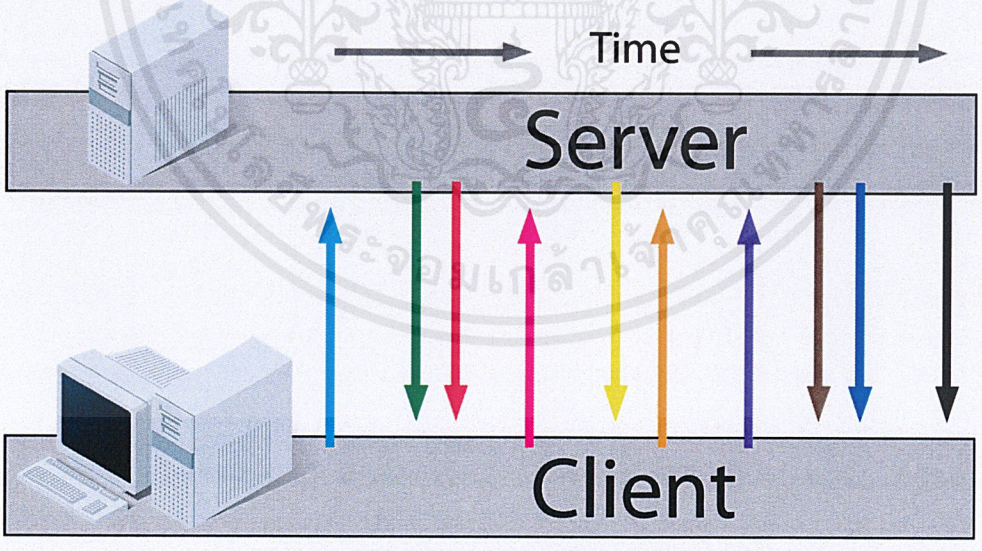
ซึ่งแตกต่างกับการ Request จาก Client โดยทั่วๆ ไป ที่เราจะต้องใช้ Client ทำการ Request ส่ง Post หรือ Get ไปยัง Server และ Server ก็จะทำการ Response ค่ากลับมา และ Server ก็จะไม่มีทางรู้ว่า Client ได้ทำการปิดการเชื่อมต่อไปแล้วหรือยัง ซึ่งจะรู้ได้แค่อย่างเดียวว่า Session ได้ Timeout ไปแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6 เป็นการ Request ตามปกติ จะเห็นว่าสีที่แตกต่างกัน คือ Client ทำการเชื่อมต่อแต่ล่ะครั้งก็จะได้ Response กลับมา 1 ครั้งเท่านั้น

การทำงานของ WebSocket จะต่างกันเมื่อมี Client ใดๆ ทำการเชื่อมต่อไปยัง Server ในฝั่งของ Server จะมี Services ที่ทำงานอยู่ตลอดเวลา ซึ่งจะส่ง Push หรือ Response กลับไปยังทุก ๆ Client ที่เชื่อมต่ออยู่ในขณะนั้น ซึ่ง Client ก็จะได้รับค่าพร้อมกันหมด



รูปที่ 7 รูปแบบการทำงานของ WebSocket

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 API (Application Programming Interface)[4]

API เป็นชุดคำสั่งที่อนุญาติให้ซอร์ฟแวร์สามารถสื่อวารถึงกันและกันได้ รวมถึงเป็นช่องทางการเชื่อมต่อโปรแกรมประยุกต์ของเรา กับโปรแกรมประยุกต์จากแหล่งอื่น หรืออาจเป็น การเชื่อมระบบการทำงาน เข้ากับระบบปฏิบัติการ

ตัวอย่างที่เห็นเด่นชัดคือ Google Maps API บริการนี้ช่วยให้เราสามารถนำข้อมูลของ Google Maps ที่ทาง Google ให้บริการมาใช้กับเว็บไซต์ ของบริษัทฯหรือเว็บไซต์ห้างร้านต่างๆ เพื่อเป็นอีกช่องทางที่ให้ลูกค้าทราบบริษัทฯ หรือห้างร้านนั้นอยู่ที่ใด

ปัจจุบันนี้ API ถูกใช้งานใน application เพื่อใช้สื่อสารกับ User โดยการนำเอา API ไปใช้งานมีดังนี้

2.6.1 Libraries and frameworks[5]

API จะถูกใช้เป็น software library ซึ่งเขียนขึ้นตาม document ในรูปบบภาษา program ที่ต่างกันออกไป ตามความเหมาะสมกับงาน เพื่อเอาไปทำเป็น framework ให้กับระบบใช้ในการสื่อสารหากัน

2.6.2 Operating Systems

API จะถูกใช้งานในการสื่อสารระหว่าง application และ operating system เช่น POSIX หรือ มาตราฐานการสือสารของ OS ที่ใช้ API เป็น command line เพื่อควบคุมการทำงานของ OS

---

4 "API คืออะไร" เข้าถึงได้จาก :

https://www.mindphp.com/%E0%B8%84%E0%B8%B9%E0%B9%88%E0%B8%A1%E0%B8%B7%E0%B8%AD/73-%E0%B8%84%E0%B8%B7%E0%B8%AD%E0%B8%AD%E0%B8%B0%E0%B9%84%E0%B8%A3/2038-api-%E0%B8%84%E0%B8%B7%E0%B8%AD%E0%B8%AD%E0%B8%B0%E0%B9%84%E0%B8%A3.html

(วันที่สืบค้นข้อมูล 5 พฤศจิกายน 2562)

5 "API คืออะไร" เข้าถึงได้จาก : https://saixiii.com/what-is-api/

(วันที่สืบค้นข้อมูล 5 พฤศจิกายน 2562)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.3 Remote APIs

Remote APIs ทำไว้ให้ developer สามารถเข้าควบคุมทรัพยากรผ่านทาง protocol เพื่อให้มีมาตราฐานการสือสารเดียวกัน แม้เป็นคนละ technology เช่น Database API สามารถอนุญาตให้ developer เข้ามาดึงข้อมูลใน database หลากหลายชนิดได้ ผ่าน function เดียวกัน เพราะฉะนั้น remote API จึงถูกใช้บ่อยในงาน maintenance โดยทำงานที่ฝั่ง client ให้ไปดึงข้อมูลจาก server กลับลงมาทำงาน

2.6.4 Web APIs

นิยมใช้กันมากในปัจจุบัน เพราะอยู่ในกลุ่มของ HTTP และขยายออกไปสู่รูปแบบ XML และ JSON ซึ่งโดนรวมแล้วก็คืออยู่บน web service เช่น

- SOAP (Simple Object Access Protocol) ใช้ XML format ส่งข้อมูล
- REST (Representational State Transfer) สามารถใช้ XML หรือ JSON format ส่งข้อมูล

2.6.5 ประโยชน์ของ API

- สามารถรับส่งข้อมูลข้าม Server ได้
- ไม่จำเป็นต้องเข้าหน้าเว็บหลัก ก็มีข้อมูลของเว็บหลักได้ จากการดึง API

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

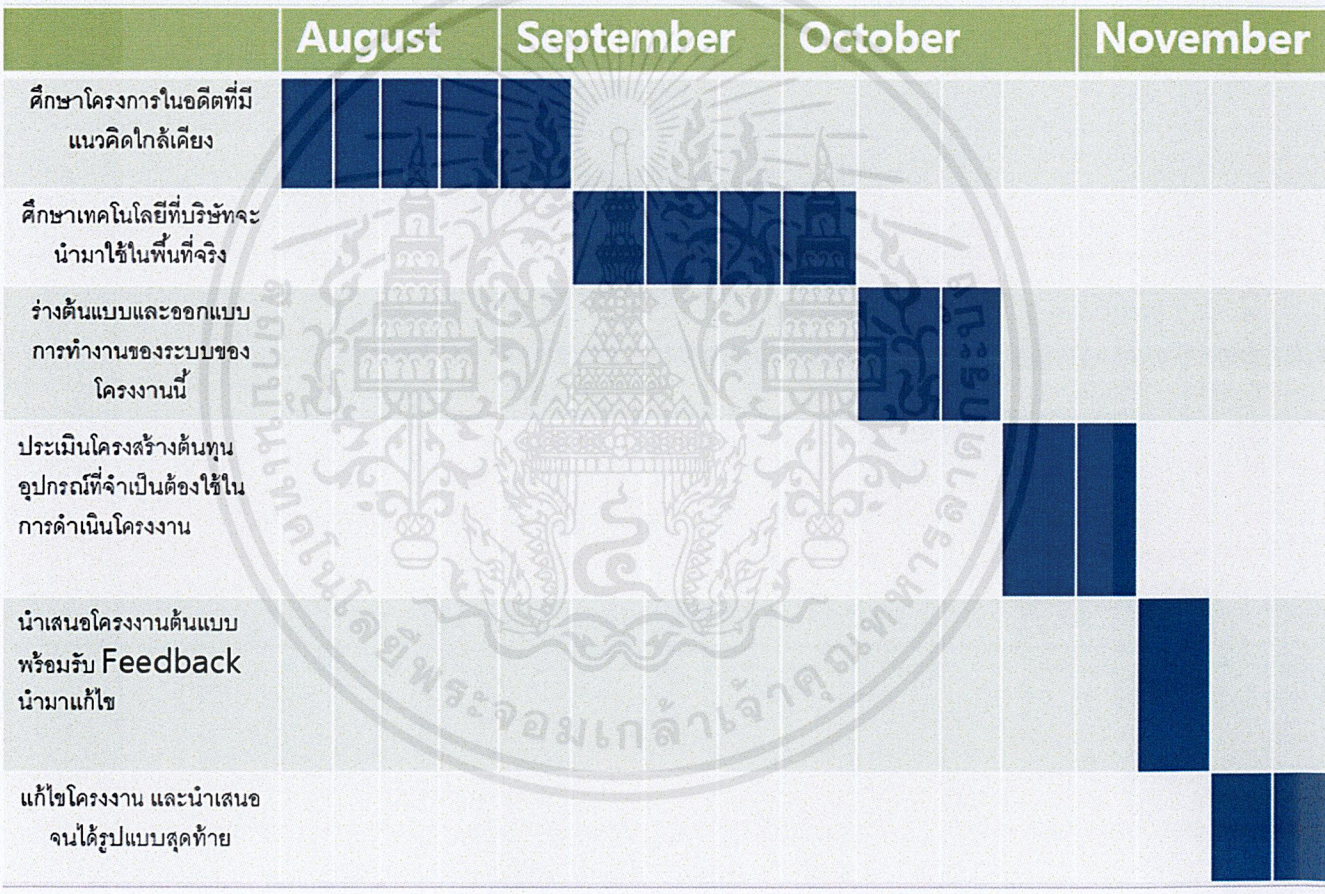
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

สำหรับขั้นตอนการดำเนินงานตามที่ผู้วิจัยได้วางแผนไว้มีดังต่อไปนี้

- ร่างต้นแบบและออกแบบการทำงานของระบบ เพื่อประเมินความเป็นไปได้
- ประเมินโครงสร้างต้นทุนของอุปกรณ์ที่จำเป็นต้องใช้ในการดำเนินงาน เพื่อควบคุมต้นทุนให้อยู่ในกรอบที่วางไว้
- นำเสนอโครงงานต้นแบบ พร้อมรับฟังการตอบรับ เพื่อนำมาแก้ไขในลำดับถัดไป
- แก้ไขโครงงานและนำเสนอเพื่อให้ได้รูปแบบสุดท้าย

มีการแสดงแผนการดำเนินงานตามช่วงเวลาได้ดังต่อไปนี้



รูปที่ 8 ภาพแสดงขั้นจอนการดำเนินงานสหกิจศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง

สำหรับอุปกรณ์ที่จำเป็นต่องานวิจัยครั้งนี้ จะประกอบไปด้วย

3.2.1 Digital Power Meter (Smart Meter)

โดยมีคุณลักษณะดังนี้

1. เป็นมิเตอร์ 3-Phases
2. สามารถวัดหาค่า กำลังไฟฟ้า (kW) พลังงานไฟฟ้า (kWh)
3. อ่านข้อมูลได้แบบ Bidirectional หรือ อ่านได้ทั้งขาเข้า (Import) และขาออก (Export)
4. มี Accuracy Rate 1.0
5. เชื่อมต่อข้อมูลไฟฟ้าดังกล่าวขึ้นคอมพิวเตอร์แม่ข่ายได้ โดยส่งข้อมูล ทุกๆ 15 นาที
6. มีช่องส่งสัญญาณเป็น RS485 เชื่อมต่อโดยใช้ MODBUS Protocol
7. (เสริม) สามารถส่งข้อมูลเข้าฐานข้อมูลโดยตรงได้ โดยไม่ต้องผ่านอุปกรณ์ Converter

ที่มาขอความต้องการลักษณะจำเพาะเหล่านี้เริ่มต้นมาจาก ลักษณะอาคารที่จะนำไปติดตั้งนั้น ต้องการทราบกำลังผลิตขาเข้า จากพลังงานแสงอาทิตย์ และกำลังผลิตขาออก จากส่วนต่างกำลังไฟฟ้าที่ใช้จริง หักลบด้วยกำลังไฟฟ้าผลิต ส่วนที่เลือก Accuracy Rate 0.5 เนื่องจากเราต้องการให้ค่าข้อมูลที่ได้มีค่าคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด นอกจากนี้ ในการซื้อขายพลังงาน เราจำเป็นต้องมีมิเตอร์ที่มีหน่วยวัดที่แม่นยำมากกว่ามิเตอร์ปกติด้วย ส่วนการส่งข้อมูลทุกๆ 15 นาที นี้เป็นมาตรฐานของมิเตอร์ทั่วๆ ไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 Converter RS485 to Ethernet/TCP/IP[6]

อุปกรณ์นี้ใช้เพื่อแปลงสัญญาณข้อมูลที่ได้จาก Digital Power Meter เป็นรูปแบบข้อมูลที่ส่งเข้าเซิร์ฟเวอร์ได้ ที่ต้องทำแบบนี้เนื่องจากว่า ข้อมูลที่ส่งออกจาก Digital Power Meter ส่วนใหญ่จะผ่านออกมาจากซีเรียล RS485 ซึ่งซีเรียลนี้เราไม่สามารถส่งเข้ากับตัวส่งข้อมูลของเราได้ เราจึงต้องมีการแปลงข้อมูลให้เข้ากันได้ก่อน นี่จึงเป็นเหตุผลที่ต้องใช้ Converter นี้

รูปที่ 9 รูปภาพผลิตภัณฑ์ Converter RS485 to Ethernet/TCP/IP

Introduction of RS485 Ethernet Converter
USR-TCP232-304 is a low-cost serial RS485 Ethernet converter, which can realize bidirectional transparent transmission between RS485 and local Ethernet or Internet. It is integrated with TCP/IP protocol.
Features of RS485 Ethernet Converter
Support DHCP, automatically obtain an IP address and query IP address through serial setting protocol
Support DNS function
Set parameters through webpage
Upgrade firmware via network
Auto-MDI/MDIX, RJ45 port with 10/100Mbps
Serial port baud rate from 600 bps to 230.4 Kbps, Check bit of None, Odd, Even, Mark and Space
Work mode: TCP Server, TCP Client, UDP Client, UDP Server, HTTPD Client
Support virtual serial port and provide corresponding software USR-VCOM
Heartbeat package mechanism to ensure connection is reliable, put an end to dead link
User-defined registration package mechanism, check connection status and use as custom packet header
Under TCP Server mode, Client number ranges from 1 to 16; default number is 4
The global unique MAC address bought from IEEE, user can define MAC address Restore factory default
Across the gateway, switches, routers
Can work in LAN, also can work in the Internet (external network)
Provide PC TCP/IP socket programming example such as VB,C++,Delphi,Android and IOS
Support customization
Application Field of RS485 Ethernet Converter
Industrial data transmission, industrial automation
security and protection monitoring, public security
Smart home, power control, environmental monitoring, intelligent agriculture
Door check on work attendance system, POS system, rice selling system
Building automation system, power monitoring, self-service banking system, telecom machine room monitoring

รูปที่ 10 ลักษณะจำเพาะผลิตภัณฑ์ Converter RS485 to Ethernet/TCP/IP

---

6 รูปภาพผลิตภัณฑ์ Converter RS485 to Ethernet/TCP/IP เข้าถึงได้จาก : https://www.amazon.com/Serial-Ethernet-Converter-Webpage-Supported/dp/B07GB737KN/ref=pd_cp_23_2/143-9914568-8805555?_encoding=UTF8&pd_rd_i=B07GB737KN&pd_rd_r=c62289a1-8d78-44fb-bed7-df5c92a5a1b8&pd_rd_w=OVlaM&pd_rd_wg=bfB1T&pf_rd_p=0e5324e1-c848-4872-bbd5-5be6baedf80e&pf_rd_r=WBPKE74RHQGTC4BXXCQZ&psc=1&refRID=WBPKE74RHQGTC4BXXCQZ

(วันที่สืบค้นข้อมูล : 31 ตุลาคม 2562)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 Modem Router[7]

อุปกรณ์นี้ใช้ในการเชื่อมต่อข้อมูลโดยรับข้อมูลที่แปลงแล้วจากตัว Converter เข้าสู่ระบบเครือข่ายไร้สาย

รูปที่ 11 ภาพผลิตภัณฑ์ Modem Router

รายละเอียดสินค้า

- ประเภท : WIRELESS VDSL/ADSLMODEM ROUTER
- สำหรับ : เชื่อมต่อNETWORK WIRELESSVDSL/ADSL
- SUPERFAST WI-FI 300MBPS(2.4GHz.)AND 867MBPS(5GHz) SPEED S,ARE IDEAL
- สี : BLACK
- การรับประกัน : LIMITED LIFETIME
- FOR ONLINEVERSATILE CONNECTIVITY WITH DSL,EWAN,AND USB PORT ,THE ARCHER VR400SUPERIOR RANGE THREE HIGH GAIN A NTENNAS PROVIDE STABLE WIRELESSBEAMFORMING TECHNOLO GY CONCENTRATES SIGNAL STRENGTH IN THE DIRECTION OF

Archer VR400 ปลดล็อคศักยภาพของการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตของคุณโดยให้ความเร็วของ 2 คลื่นความถี่สัญญาณ Wi-Fi ถึง 1.2Gbps , 300Mbps บนความถี่ 2.4GHz และ 867Mbps บนความถี่ 5GHz, นอกจากนี้ยังมีการจำกัดความล่าช้าและบัฟเฟอร์จากความชำนาญในด้านการออนไลน์อีกด้วย เพื่อเพิ่มการใช้งานอินเตอร์เน็ตได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ เครื่องไมเด็มมีเฉพาะสองเครือข่าย Wi-fi (VDSL/ADSL) ที่สนับสนุนอุปกรณ์มากขึ้นและลดสัญญาณรบกวนแบบไร้สายเพื่อสร้างการเชื่อมต่อที่มีเสถียรภาพให้คุณ

รูปที่ 12 ลักษณะจำเพาะผลิตภัณฑ์ Modem Router

---

[7] รูปภาพผลิตภัณฑ์ Modem Router เข้าถึงได้จาก : https://www.powerbuy.co.th/th/tplink-modem-router-ac1200-wireless-vdsladsl-tplink-archer-vr400-%E0%B8%AD%E0%B8%B8%E0%B8%9B%E0%B8%81%E0%B8%A3%E0%B8%93%E0%B9%8C%E0%B9%80%E0%B8%AA%E0%B8%A3%E0%B8%B4%E0%B8%A1%E0%B8%AA%E0%B8%B3%E0%B8%AB%E0%B8%A3%E0%B8%B1%E0%B8%9A%E0%B8%84%E0%B8%AD%E0%B8%A1%E0%B8%9E%E0%B8%B4%E0%B8%A7%E0%B9%80%E0%B8%95%E0%B8%AD%E0%B8%A3%E0%B9%8C-228783

(วันที่สืบค้นข้อมูล : 31 ตุลาคม 2562)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การออกแบบและวางแผนการทำงาน

ในการวิจัยนี้ ตัวผู้วิจัยได้ออกแบบระบบมิเตอร์ออกมา 3 ระบบ โดยแต่ละรูปแบบจะแตกต่างกันตามหลักการการส่งข้อมูลเข้าสู่ระบบ โดยตัวผู้วิจัยได้กำหนดกลุ่มมิเตอร์ทั้งหมด 2 กลุ่ม ได้แก่ คือ กลุ่มมิเตอร์ที่มีความสามารถในการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์แม่ข่ายได้เอง โดยกลุ่มมิเตอร์นี้ มีทั้งหมด 2 ระบบ ได้แก่ระบบ NB-IOT Communication และ Wi-Fi Communication กับอีกกลุ่มหนึ่งคือ กลุ่มมิเตอร์ธรรมดาที่สามารถอ่านค่าตัวแปรที่เราต้องการได้ และมีช่องส่งสัญญาณ ในการส่งข้อมูลให้อุปกรณ์อื่นส่งข้อมูลขึ้นคอมพิวเตอร์แม่ข่าย

แต่ทั้งนี้ทั้งนั้น สิ่งที่มิเตอร์ทั้ง 3 ระบบนี้ มีคุณสมบัติพื้นฐานตรงกันคือ

- เป็นมิเตอร์แบบ 3 เฟส
- อ่านค่า kW ,kWh ได้แบบ Bidirectional
- มี Accuracy Class 1.0 หรือ ดีกว่า
- สามารถอ่านข้อมูลได้ทุก 15 นาที

สิ่งที่ทำให้มิเตอร์ของทั้ง 3 ระบบ ต่างกัน คือวิธีการส่งข้อมูล ดังนี้

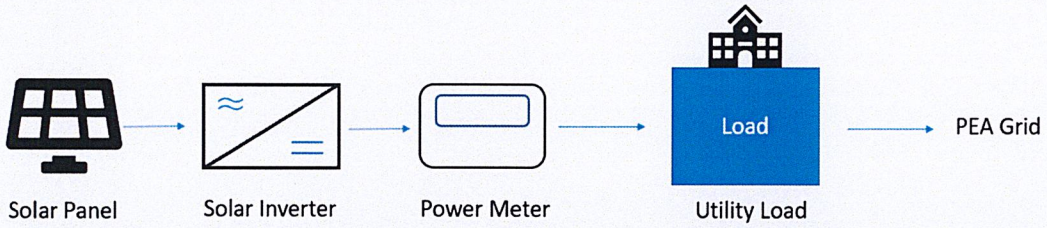
1. การส่งข้อมูลโดย Narrow Band หรือ NB-IOT Communication
2. การส่งข้อมูลโดย Wi-Fi หรือ Wi-Fi Communication
3. การส่งข้อมูลโดยอาศัย ระบบ Ethernet ผ่านอุปกรณ์ PLC ในระบบ Zero Export

นอกจากนี้ระบบมิเตอร์แต่ละชนิดก็มี System Architecture ที่แตกต่างกัน เป็นเหตุค่าใช้จ่ายต่อเครื่องต่างกันตัวผู้วิจัย จึงใช้กระบวนการคัดเลือกมิเตอร์ที่ตอบจุดประสงค์ เหมาะสมต่อสถานที่ติดตั้ง พร้อมลดต้นทุนค่าใช้จ่าย ในโครงงานของบริษัท

ทั้งนี้ทุกระบบที่ตัวผู้วิจัยยกมา ล้วนสามารถบรรลุจุดประสงค์ของการวิจัยได้ทุกกรณี หากแต่ต่างกันตามบริบทต่อสถานที่ติดตั้ง

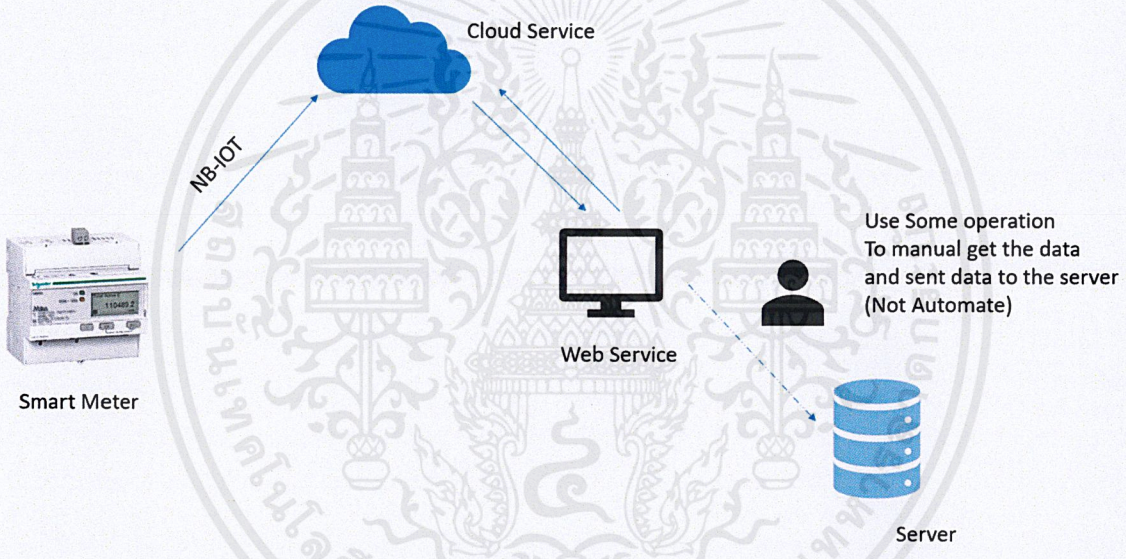
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1 มิเตอร์ระบบ NB-IOT Communication



รูปที่ 13 แผนภาพแสดงระบบโซล่ารูฟท็อปของมิเตอร์ระบบ NB-IOT Communication

สำหรับมิเตอร์ที่มีการส่งข้อมูลโดยใช้เครือข่าย NB-IoT วิธีนี้ เป็นวิธีที่เราอ่านค่าจากมิเตอร์โดยตรง และส่งค่าไปที่ระบบ มีรูปแบบ System Architecture ดังต่อไปนี้



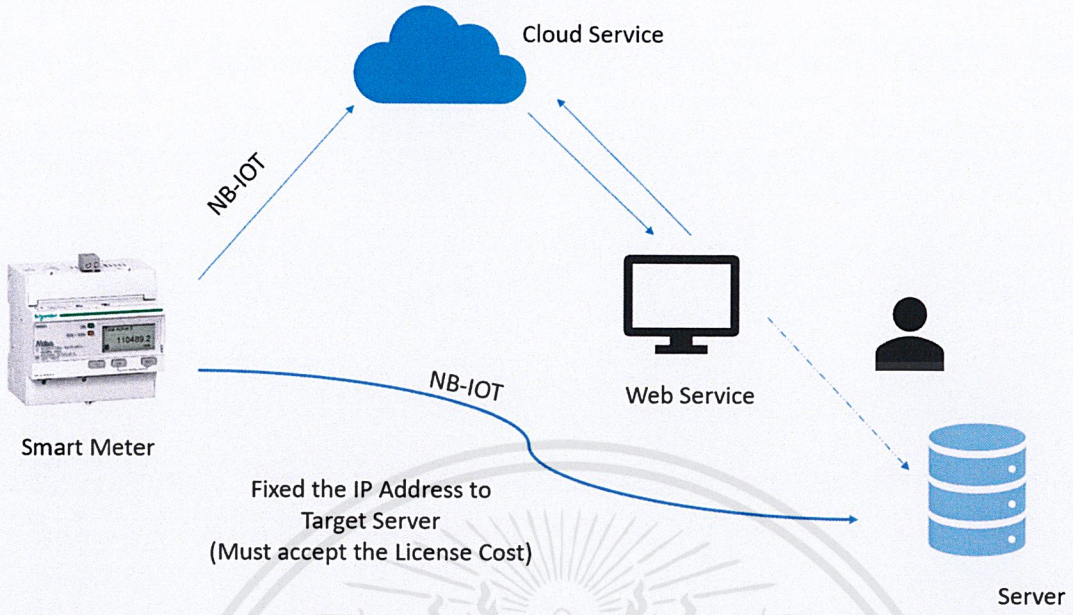
รูปที่ 14 แผนภาพแสดง System Architecture ของมิเตอร์ระบบ NB-IOT Communication

คำอธิบายลำดับขั้นตอนการทำงานของระบบ

- ขั้นตอนแรก Smart Meter ส่งข้อมูลขึ้น Cloud Server
- จากนั้น เพื่อทำการตรวจสอบข้อมูล เราต้องเข้า Website เพื่อดูค่าข้อมูล (AMR)
- และท้ายที่สุด หากเราต้องการข้อมูลนั้น เข้าสู่เซิร์ฟเวอร์ของเรา เราก็คัดลอกข้อมูลดิบ ส่งตรงเข้า Server ของเราอีกทีหนึ่ง

แต่กระนั้นแล้ว สำหรับวิธีนี้ เราก็มีตัวเลือกอีกทาง คือการขอ Modify ที่ตัว Smart Meter ให้เขาตั้ง IP Address ให้ตรงกับ เซิร์ฟเวอร์ของเรา โดยตรงส่วนนี้ อาจต้องเสียค่าดำเนินงาน ในการซื้อลิขสิทธิของตัวเซิร์ฟเวอร์ ซึ่งจะออกมาเป็นดังรูปภาพนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



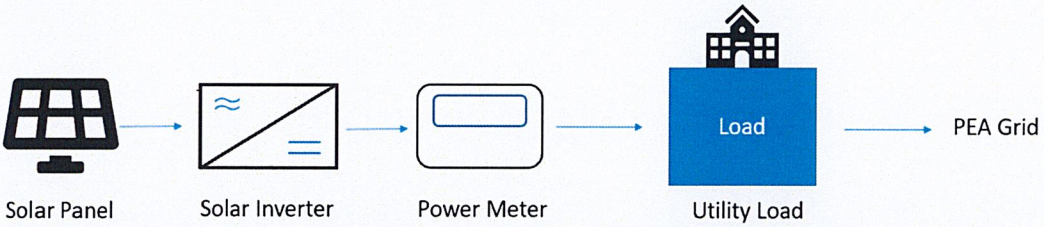
รูปที่ 15 แผนภาพแสดง System Architecture ของมิเตอร์ระบบ NB-IOT Communication หลังการปรับปรุง

สรุปคุณสมบัติ ของมิเตอร์ระบบ NB-IOT

- เป็น Monitoring System
- มีช่องทางการสื่อสารแบบ NB-IoT
- มีค่าดำเนินการรายเดือนจำนวน 20-30 บาท ต่อตัว
- สามารถส่งข้อมูลเข้าเซิร์ฟเวอร์ได้ แต่มีค่าใช้จ่ายในการจดลิขสิทธิ ซึ่งเป็นรายจ่ายที่เกิดขึ้นเพียงครั้งเดียว

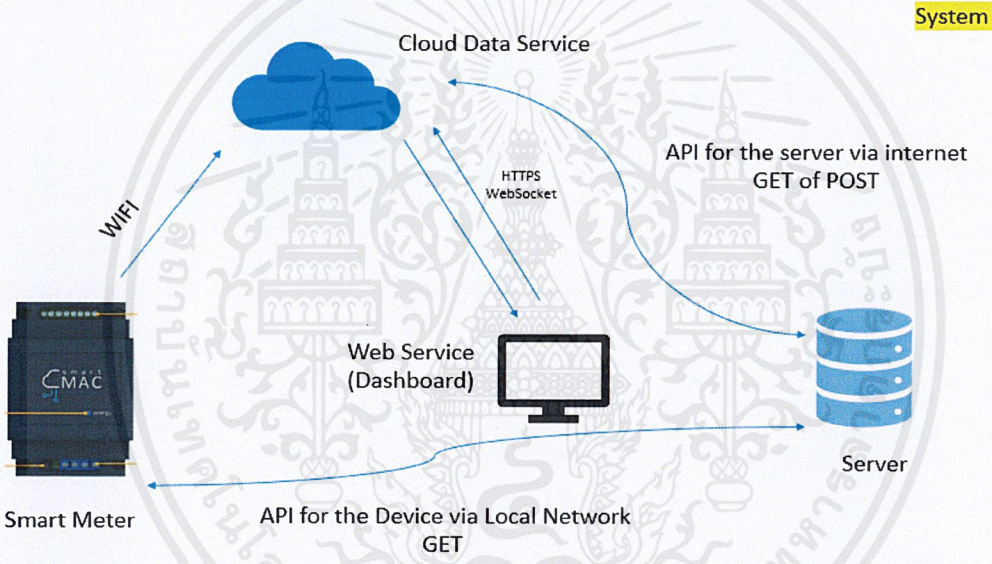
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 มิเตอร์ระบบ WI-FI Communication



รูปที่ 16 แผนภาพแสดงระบบโซล่ารูฟท็อปของมิเตอร์ระบบ WI-FI Communication

สำหรับมิเตอร์ที่มีการส่งข้อมูลโดยใช้เครือข่าย Wi-Fi วิธีนี้เราสามารถอ่านค่าจากมิเตอร์โดยตรงและส่งค่าไปที่ระบบเช่นเดียวกับแบบ NB-IoT แต่มีรายละเอียดปลีกย่อยต่างกัน โดยจะมีรูปแบบ System Architecture ดังต่อไปนี้



รูปที่ 17 แผนภาพแสดง System Architecture ของมิเตอร์ระบบ WI-FI Communication

คำอธิบายลำดับขั้นตอนการทำงานของระบบ

- ขั้นตอนแรก หลังจากติดตั้งตัว Meter และทำการตั้งค่า Wi-Fi แล้ว
- มิเตอร์จะส่งข้อมูล ไปเก็บที่คลาวด์ของทางผู้ให้บริการ
- จากนั้น เราก็เข้าเว็บไซต์ของผู้ให้บริการ เพื่อดูข้อมูลต่างๆ โดยหลักการ การดึงข้อมูลนี้ จะใช้ WebSocket ในการส่งข้อมูล ณ ชั่วขณะเวลาหนึ่ง และแสดงผลให้ผู้ใช้งานโดยใช้รูปแบบ Dashboard สำหรับแสดงค่าข้อมูล
- นอกจากนี้ ตัวคลาวด์ของผู้ให้บริการยังมี API ให้กับ ผู้ใช้งานคนอื่นๆ ด้วย
- โดยสิ่งนี้ ได้สร้างความแตกต่างระหว่าง วิธีนี้กับมิเตอร์ระบบ NB-IOT คือเราสามารถสั่งให้ Server ของเรารับข้อมูลนี้ได้ทันทีที่เราต้องการ ผ่านกระบวนการ Rest API นั่นเอง

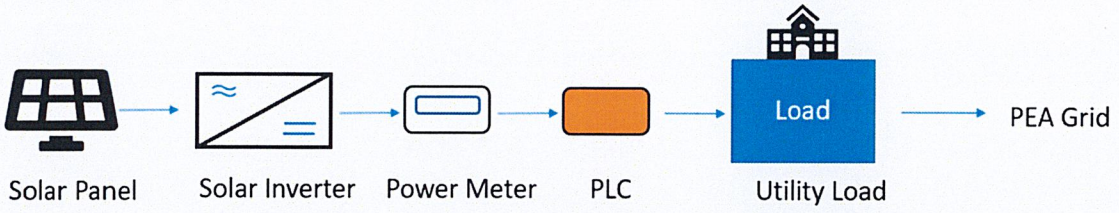
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปคุณสมบัติ ของมิเตอร์จากระบบ Wi-Fi Communication

- **เป็น Monitoring System**
- มีช่องทางการสื่อสารโดยใช้ Wi-Fi
- มี API ในการดึงข้อมูลเข้าเซิร์ฟเวอร์ได้ทันที
- มีค่าดำเนินการรายปี ต่อ 1 ไอดี ประมาณ 1,000-1,500 บาท (1 ไอดี สามารถดูข้อมูลได้ 100 เครื่องพร้อมกัน)

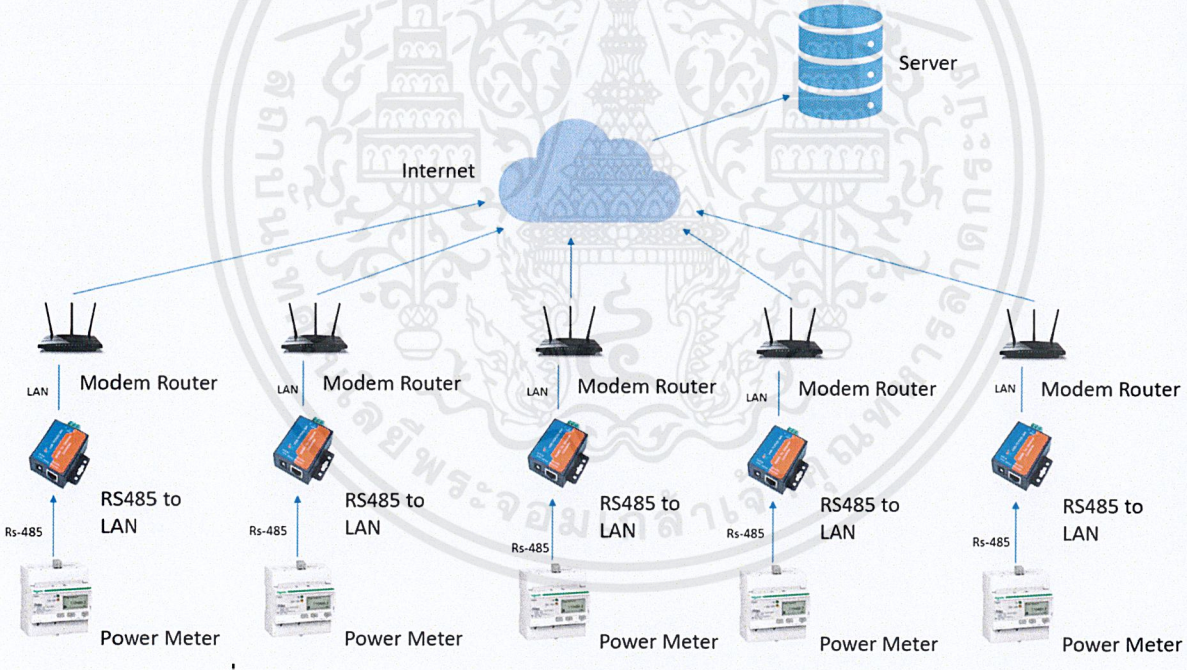
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 มิเตอร์ระบบ Ethernet



รูปที่ 18 แผนภาพแสดงระบบโซล่ารูฟท็อปของมิเตอร์จากระบบ Ethernet

สำหรับมิเตอร์นี้จะมีการส่งข้อมูลโดยผ่านช่องส่งสัญญาณจาก RS-485 ที่ตัวมิเตอร์ เข้าสู่ตัว PLC จากระบบ Ethernet และนำขนข้อมูลเข้าคอมพิวเตอร์แม่ข่ายต่อไป ทั้งนี้ระบบนี้มีรูปแบบ System Architecture ดังต่อไปนี้



รูปที่ 19 แผนภาพแสดง System Architecture ของมิเตอร์จากระบบ Ethernet

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำอธิบายลำดับขั้นตอนการทำงานของระบบ

- ขั้นตอนแรก หลังจากที่เราทำการติดตั้ง Power Meter แล้ว เราก็ใส่อุปกรณ์ RS485 to Lan Converter เพื่อแปลงสัญญาณข้อมูลนี้เข้าอุปกรณ์ PLC
- จากนั้นก็ทำการตั้งค่าตัวอุปกรณ์ PLC นี้ โดยตั้งการส่งข้อมูลขาออกไปที่คอมพิวเตอร์แม่ข่ายของเรา

สรุปคุณสมบัติ ของมิเตอร์จากระบบ Ethernet

- **เป็น Control System**
- มีช่องทางการสื่อสารโดยใช้ Modbus RTU ผ่าน RS485
- มีค่าดำเนินการติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มเติม ในที่นี้คือตัว PLC ที่นำมาติดตั้ง
- ค่าดำเนินการนี้เป็นรายจ่ายเพียงครั้งเดียว

หมายเหตุ

- ในกรณีของโครงงานวิจัยนี้ อุปกรณ์ PLC นี้เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ร่วมกับระบบ Zero Export อยู่แล้ว **ค่าใช้จ่ายด้านอุปกรณ์นี้จึงไม่กระทบต่อค่าใช้จ่ายในโครงงาน**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 วิเคราะห์และคัดเลือกระบบ เพื่อนำมาทดสอบจริง

สำหรับขั้นตอนนี้ ทางผู้วิจัยได้แบ่งเกณฑ์ในการคัดเลือกระบบออกเป็น 2 เกณฑ์ อันได้แก่

1) เกณฑ์ด้านคุณสมบัติทางเทคนิคของระบบ

2) เกณฑ์ด้านเศรษฐศาสตร์

3.4.1 เกณฑ์ด้านคุณสมบัติทางเทคนิคของระบบ

ในการวิจัยนี้ เรามีระบบทั้งสิ้น 3 ระบบซึ่งต่างกันที่วิธีการส่งข้อมูล อันได้แก่ NB-IOT Communication ,WIFI Communication และ Ethernet สิ่งที่สร้างความแตกต่างในการส่งข้อมูลของ 3 ระบบนี้ คือ ความเร็วในการขนส่งข้อมูล หรือ Data Rate ดังนั้น ตัวผู้วิจัยจึงใช้การทดสอบด้านระยะเวลาสำหรับการขนส่งข้อมูล

หากระบบใดสามารถขนส่งข้อมูลได้ตามที่เรากำหนดในกรอบเกณฑ์ได้ ระบบนั้นจะอยู่ในการคัดเลือกของเรา

3.4.2 เกณฑ์ด้านราคาของแต่ละระบบ

ในการวิจัยนี้ ตัวผู้ดำเนินงานวิจัยจะแยกรายละเอียดแต่ละอุปกรณ์มาวิเคราะห์ราคาต่อหน่วย มาทำเป็น BOQ หรือ Balance of Quantities จากนั้นก็หาระบบที่มีความประหยัดและตอบโจทย์กับงบประมาณและสภาพแวดล้อมของสถานที่ติดตั้งมากที่สุด

นอกจากนี้แล้ว อีกปัจจัยหนึ่งที่ผู้วิจัยเลือกใช้คือเรื่องความคุ้มทุนในกรณีที่ ติดตั้งในปริมาณมาก จะมีประโยชน์อะไรหากว่าเราติดตั้งจำนวนมากแล้ว ไม่ก่อให้เกิดความคุ้มทุนในระยะยาว

ทั้ง 2 เกณฑ์นี้ จึงเป็นเกณฑ์ที่ผู้วิจัยตั้งไว้ในการคัดเลือกระบบที่ดีแท้สุด แม้ว่าระบบทั้ง 3 นี้จะมีจุดมุ่งหมายเดียวกัน คือการส่งข้อมูล แต่ท้ายที่สุดแล้ว ระบบที่ตอบจุดประสงค์ของบริบทสถานที่ เป็นสิ่งที่ผู้วิจัยและบริษัทคาดหวังมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4 ผลการวิจัย

ภาพรวม และบริบทของสถานที่ติดตั้ง

เนื่องจากสถานที่สำหรับติดตั้งระบบนี้เป็นมหาวิทยาลัยที่มีโครงสร้างไฟฟ้าเป็นแบบPrivate Grid หรือมี Grid แยกออกมาต่างหาก และใน 1 Grid นี้ จะแบ่งเป็น Feeder ย่อย จำนวน 5 Feeder โดยจะแบ่งตามวิทยาเขตนั้นๆ

ในแต่ละวิทยาเขตนั้นจะมีคณะซึ่งแตกต่างกันไป ส่งผลให้การใช้ไฟฟ้าของแต่ละ Feeder จะมีความแตกต่างเฉพาะแห่ง

การคัดเลือกระบบอ่านมิเตอร์นั้น นอกจากสามารถส่งข้อมูลขึ้นสู่เซิร์ฟเวอร์ได้แล้ว ยังต้องรองรับการส่งข้อมูลพร้อมกันกว่า 150 ตึก ในอนาคต ทั้งยังมีความเที่ยงตรงด้านข้อมูล เนื่องจากโครงการนี้เป็นต้นแบบการซื้อขายไฟฟ้าซึ่งมีกำลังผลิตติดตั้งขั้นต่ำ 12 MW ทั้งนี้ตัวผู้วิจัยได้ทำการทดสอบหากำลังผลิตติดตั้งรายปี โดยใช้โปรแกรม PVSyst ได้ข้อสรุปการผลิตไฟฟ้ารายปีเป็น 16,955 MWh หรือ คิดเป็นมูลค่ารายได้ เป็นจำนวน 54,828,033.83 บาท ต่อปี

จากที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 ทางผู้วิจัยได้แบ่งเกณฑ์ในการคัดเลือกระบบออกเป็น 2 เกณฑ์ อันได้แก่ 1) เกณฑ์ด้านคุณสมบัติทางเทคนิคของระบบ 2)เกณฑ์ด้านเศรษฐศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1 เกณฑ์ด้านคุณสมบัติทางเทคนิค

ในการวิจัยนี้ เรามีระบบทั้งสิ้น 3 ระบบซึ่งต่างกันที่วิธีการส่งข้อมูล อันได้แก่ NB-IOT,WIFI,LAN สิ่งที่สร้างความแตกต่างในการส่งข้อมูลของ 3 ระบบนี้ คือ ความเร็วในการขนส่งข้อมูล หรือ Data Rate ซึ่งมีข้อมูลดังต่อไปนี้

Protocol	Main Characteristics	Data Rate	Transmission Range
UART	Low power requirement, wired	20Kbpts-20Mbps	Up to 1000m
SPI	Low power requirement, wired	20Mbpts	Up to 100m
I2C	low power requirement	100kbps-3.4 Mbps	Few meters
CAN	Many wired devices	Up to 1Mbps	Up to 40m
Zigbee	Energy saving, very short range	20 Kbps to 250 Kbps	10 to 20m
Bluetooth	Cable replacement	1 Mbps	10 to 100m
Wireless Access Points (Routers)	Data Networking, Local Area Network	6-54 Mbps	120m outdoors
Wireless LAN	Data Networking, Local Area	1- 11 Mbps	140m outdoors
Wi-Fi	Data Networking, Local Area Network	6- 54 Mbps	140m outdoors
Antennas	Data Networking, Local Area Network	15-150 Mbps	250m outdoors
WiMAX	Metropolitan Area Network	2 to 75 Mbps)	Up to 35 miles (56 Km
Cellular 3G	Wide Area Network Connectivity. Digital, packet switched for data	144 Kbps (mobile) to 42 Mbps (stationary)	Few KMs
Cellular 4G/LTE	Same as 3G	300 Mbps to 1 Gbps	Several KMs
Satellite	Wide Area Network	10 Mbps (upload) and 1 Gbps (download)	Satellite can cover 100's of Km's to entire earth

รูปที่ 20 ข้อมูล Data Rate ในแต่ละวิธีการสื่อสาร (ในที่นี้เราเลือก WIFI และ Wireless Lan)[8]

[8] ข้อมูล Data Rate ในแต่ละวิธีการสื่อสาร เข้าถึงได้จาก : https://www.researchgate.net/รูปที่/CPS-Communication-Protocols-Main-Characteristics-Data-Rate-Transmission-Range_tbl1_324652989

(วันที่สืบค้นข้อมูล : 31 ตุลาคม 2562)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Specifications:

```
Communication Module: Quectel BC95-B8
Network Technology: LTE Cat. NB1 (NB-IoT)
Frequency: Band 8 (900MHz)
Data transmission: (Single tone)
        o Downlink 24 kbps
        o Uplink 15.625 kbps
Protocol stack
        o UDP
        o CoAP
Serial Communication (UART)
        Hardware Serial
        o RX : PIN0
        o TX : PIN1
        Software Serial
        o RX : PIN8
        o TX : PIN9
สามารถเชื่อมต่อกบั Raspberry Pi ผา่นทาง USB และสามารถเลอืกใช้ผา่นทาง UART ได้
Additional Feature:
        o NB-IoT Module Reset Button
        o Power Status LED
        o UART from Computer or Raspberry Pi USB
NB-IoT Module Certification
        o NBTC, CE, CCC,
SIM-Card Slot for True NB-IoT
```

รูปที่ 21 ข้อมูล Data Rate โดยกใช้ NB-IoT[9]

[9] ข้อมูลของ Data Rate ด้วยการใช้วิธีสื่อสารแบบ NB-IoT เข้าถึงได้จาก : https://github.com/trueiot/True-NB-IoT-Board

(วันที่สืบค้นข้อมูล : 31 ตุลาคม 2562)

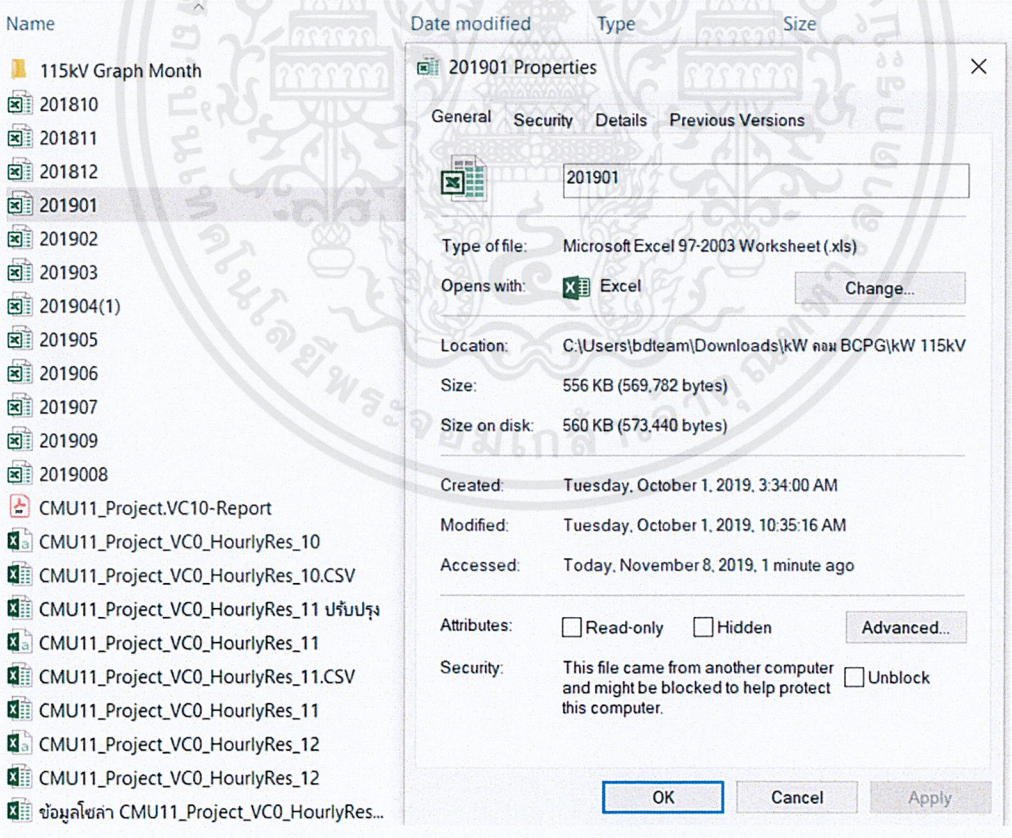
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำมาแยกค่า Data Rate เป็นค่าต่ำสุดและสูงสุดแล้ว จะได้ข้อมูลสรุปผลดังนี้

Communication and Data Rate	Min	Max
NB-IoT	15.625kbps	24kbps
LAN	1Mbps	11Mbps
WIFI	6Mbps	54Mbps

ตารางที่ 1 ตารางสรุป ข้อมูล Data Rate

โดยปัจจัยแรกที่ต้องการทดสอบนี้ คือ ความสามารถในการส่งข้อมูลของแต่ละวิธี ว่าสามารถส่งข้อมูลได้ตามเวลา 15 นาที ที่เราตั้งไว้ได้หรือไม่ โดยใช้การเทียบ ระยะเวลาในการส่งข้อมูล กับข้อมูลตัวอย่าง โดยเราได้กำหมดใช้ File ข้อมูลตัวอย่าง ซึ่งมีขนาดเป็น 556 KB (569,782 bytes) ไฟล์ตัวอย่างนี้ ตัวผู้วิจัยได้หยิบมาจากขนาดของไฟล์ข้อมูล AMR จากดิจิตอลมิเตอร์ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค



รูปที่ 22 ตัวอย่างขนาด File ข้อมูลที่รับส่งในระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นแปลงข้อมูลจากหน่วย Bytes เป็น Bits โดย 1 Byte = 8 Bits

กำหนดขนาดของข้อมูล	556	KB	(Kilobyte)
(แปลงข้อมูลจาก Bytes เป็น Bit)	4448	Kb	(1KB = 8Kb)

รูปที่ 23 กระบวนการแปลงค่าข้อมูล

จากนั้นทำการจำลองสถานการณ์ ว่าหากเราส่งข้อมูลพร้อมๆ กัน จะมีขนาดของข้อมูลทั้งหมดเป็นเท่าไร โดยการนำจำนวนข้อมูล คูณด้วย ขนาดของข้อมูลตัวอย่าง ซึ่งในที่นี้ เรากำหนดขนาดข้อมูลตัวอย่างเป็น 4,448 kb และ ทางผู้วิจัยได้กำหนด ให้มีการส่งข้อมูล 5 ข้อมูล พร้อมกัน โดยมีขนาดเป็น 22,240 kb

ทั้งนี้การคิดการส่งข้อมูลพร้อมกัน 5 ข้อมูลนี้ มีจุดประสงค์เพื่อเป็นการเผื่อเวลา หากเกิดความไม่เสถียรของการส่งข้อมูล เช่น หากมิเตอร์ระบบ NB-IoT ขนส่งข้อมูล ใช้เวลาส่งข้อมูล 1 ข้อมูล ขนาด 4,448 kb ใช้เวลา 4.7 นาที หากช่วงการส่งข้อมูล พบปัญหาในช่วงนาทีที่ 4.0 สิ่งนี้เป็นสาเหตุให้เราต้องส่งข้อมูลใหม่ตั้งแต่เริ่มต้น โดยหากเกิดปัญหานี้ต้องใช้เวลา 4.7 นาที ในกรอบ 15 นาที ที่ตั้งไว้มาทดแทน

นอกจากนี้การกำหนดกรอบสำหรับ 5 ข้อมูลนี้ จึงเป็นเหมือนการเผื่อข้อมูลสำหรับ 1 ชั่วโมงด้วยนั่นเอง

กำหนดขนาดของข้อมูล	556.00	KB	(Kilobyte)
(แปลงข้อมูลจาก Bytes เป็น Bit)	4,448.00	Kb	(1KB = 8Kb)
จำนวนข้อมูลที่ส่ง ต่อ หนึ่งช่วงเวลา	5.00	**ข้อมูล**	
รวมขนาดข้อมูลเป็น	22,240.00	Kb	

รูปที่ 24 การคำนวณขนาดของข้อมูล

เมื่อนำขนาดข้อมูลที่ใช้ส่งมาหารอัตราการส่งข้อมูลตามแต่ละวิธีแล้วจะได้ค่าระยะเวลา ออกมาดังตารางต่อไปนี้ โดยข้อมูลที่ได้มาตอนแรก จะได้หน่วยเวลาเป็นวินาที เราจะทำการแปลงให้หน่วยเป็นนาที โดยการหารด้วย 60 ก็จะได้ข้อมูลในการเปรียบเทียบค่าเวลา โดยตัวผู้ทำการวิจัยได้แบ่งเป็น 2 กรณี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีแรกเป็นการคิดกรณีที่ค่า Data Rate น้อยที่สุด ได้ข้อมูลดังต่อไปนี้

Communication	Minimum Data Rate	ระยะเวลาที่ใช้ส่งข้อมูล (วินาที)	ระยะเวลาที่ใช้ส่งข้อมูล (นาที)
NB-IoT	15.625kbps	1423.36	23.72
LAN	1Mbps	22.24	0.37
WIFI	6Mbps	3.71	0.06

ตารางที่ 2 ตารางแสดงระยะเวลาการส่งข้อมูล ขนาด 22,240.00 kb แบบ Minimum Rate

กรณีที่สอง เป็การคิดที่ค่า Data Rate มากที่สุด ได้ข้อมูลดังต่อไปนี้

Communication	Maximum Data Rate	ระยะเวลาที่ใช้ส่งข้อมูล (วินาที)	ระยะเวลาที่ใช้ส่งข้อมูล (นาที)
NB-IoT	24kbps	926.67	15.44
LAN	11Mbps	2.02	0.03
WIFI	54Mbps	0.41	0.01

ตารางที่ 3 ตารางแสดงระยะเวลาการส่งข้อมูล ขนาด 22,240.00 kb แบบ Maximum Rate

จากข้อมูลที่ได้นี้ ทำให้เราสรุปได้ว่า หากเราเลือกใช้มิเตอร์ที่ใช้การส่งข้อมูลแบบ NB-IoT จะไม่สามารถส่งข้อมูลได้ภายใน 15 นาที ตามที่เราต้องการได้

แต่กระนั้นแล้ว เราจึงเปลี่ยนมาใช้เกณฑ์ สำหรับการส่งข้อมูลขนาด 24 ชั่วโมง หรือ 97 ข้อมูล (431,456 kb) สำหรับระยะเวลาการส่งขอมูล 8 ชั่วโมง หรือส่งในช่วงเวลากลางคืนซึ่งเป็นช่วงที่ระบบโซล่ารูฟท็อปไม่ทำงาน

Communication	Maximum Data Rate	ระยะเวลาที่ใช้ส่งข้อมูล (วินาที)	ระยะเวลาที่ใช้ส่งข้อมูล (นาที)
NB-IoT	24kbps	17,977.33	299.62
LAN	11Mbps	39.22	0.65
WIFI	54Mbps	7.99	0.13

จากตารางที่แสดงนี้ พบว่า มิเตอร์ระบบ NB-IOT สามารถส่งข้อมูลได้ราว 5 ชั่วโมง ก่อนเวลา 8 ชั่วโมงที่เราวางไว้ได้ หากเรามีพื้นที่ติดตั้งที่ไม่กังวลเรื่องเวลามากนัก ระบบนี้สามารถตอบโจทย์ท่านได้

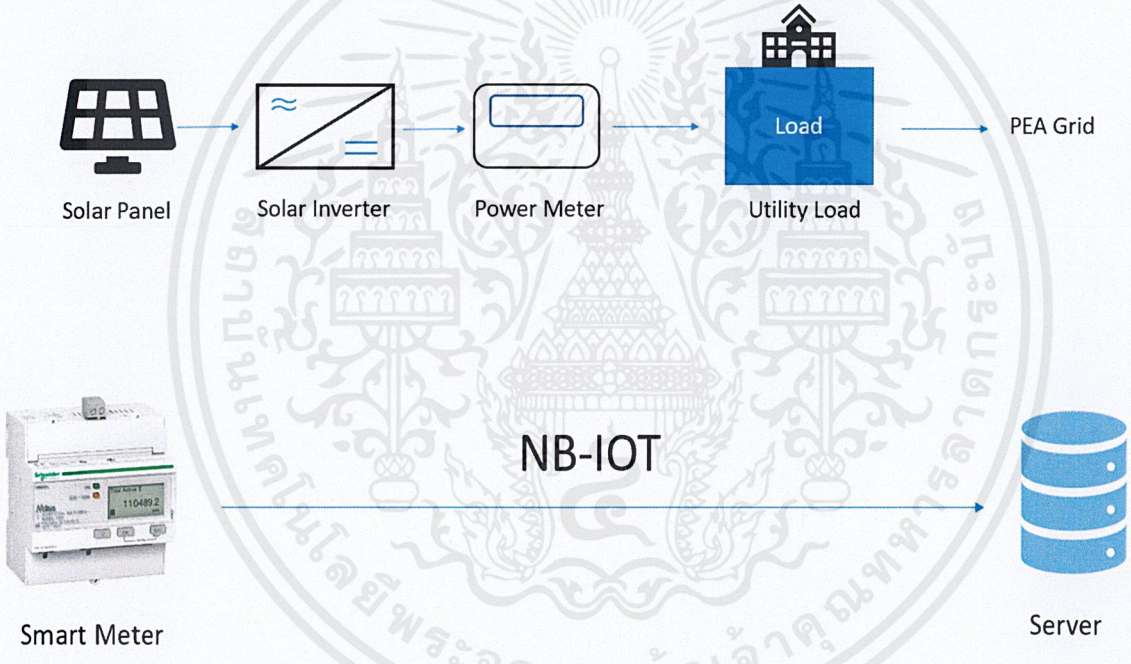
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 เกณฑ์ด้านราคา

ก่อนที่จะแยกเป็นราคาของแต่ละระบบ ตัวผู้ดำเนินงานวิจัย จะขอแยกรายละเอียด แต่ละอุปกรณ์ของทั้ง 3 ระบบ ก่อน

มิเตอร์จากระบบ NB-IOT มีอุปกรณ์ ดังต่อไปนี้

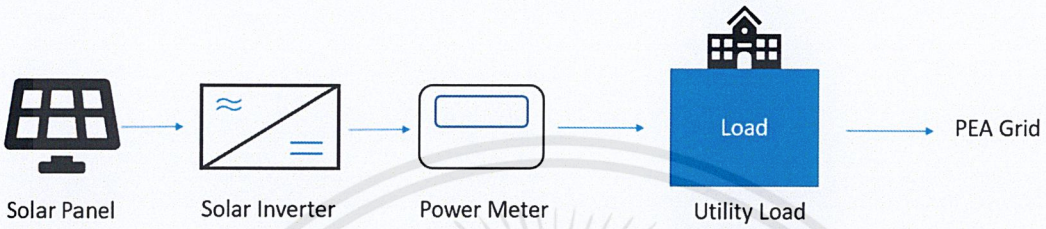
- สมาร์ทมิเตอร์ 1 เครื่อง
- ซิมการ์ด 1 ชิ้น
- รางปีกนกพร้อมสกรู 1 ชุด

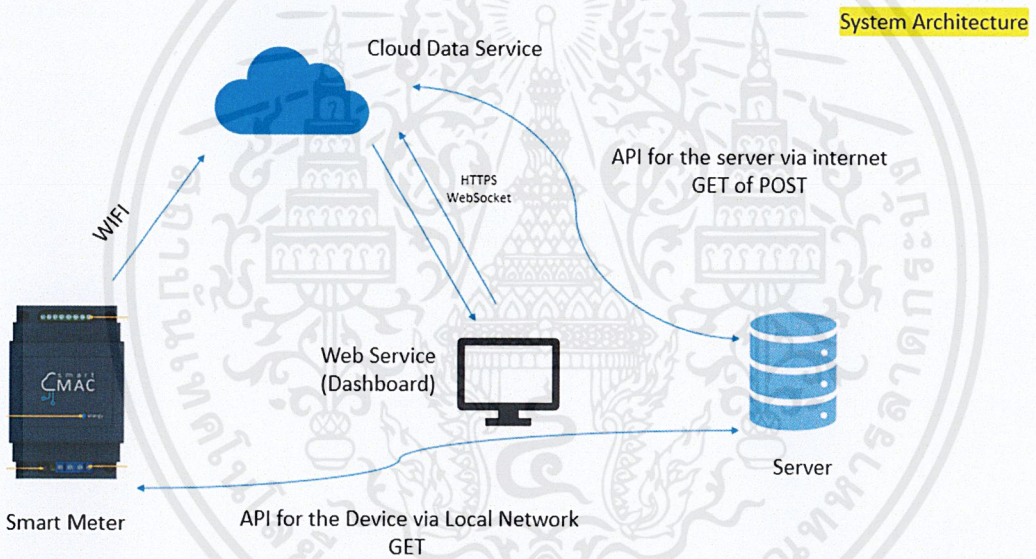


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มิเตอร์ WIFI Communication มีอุปกรณ์ ดังต่อไปนี้

- สมาร์ทมิเตอร์ 1 เครื่อง
- รางปีกนกพร้อมสกรู 1 ชุด
- Current Transformers 3 ชุด

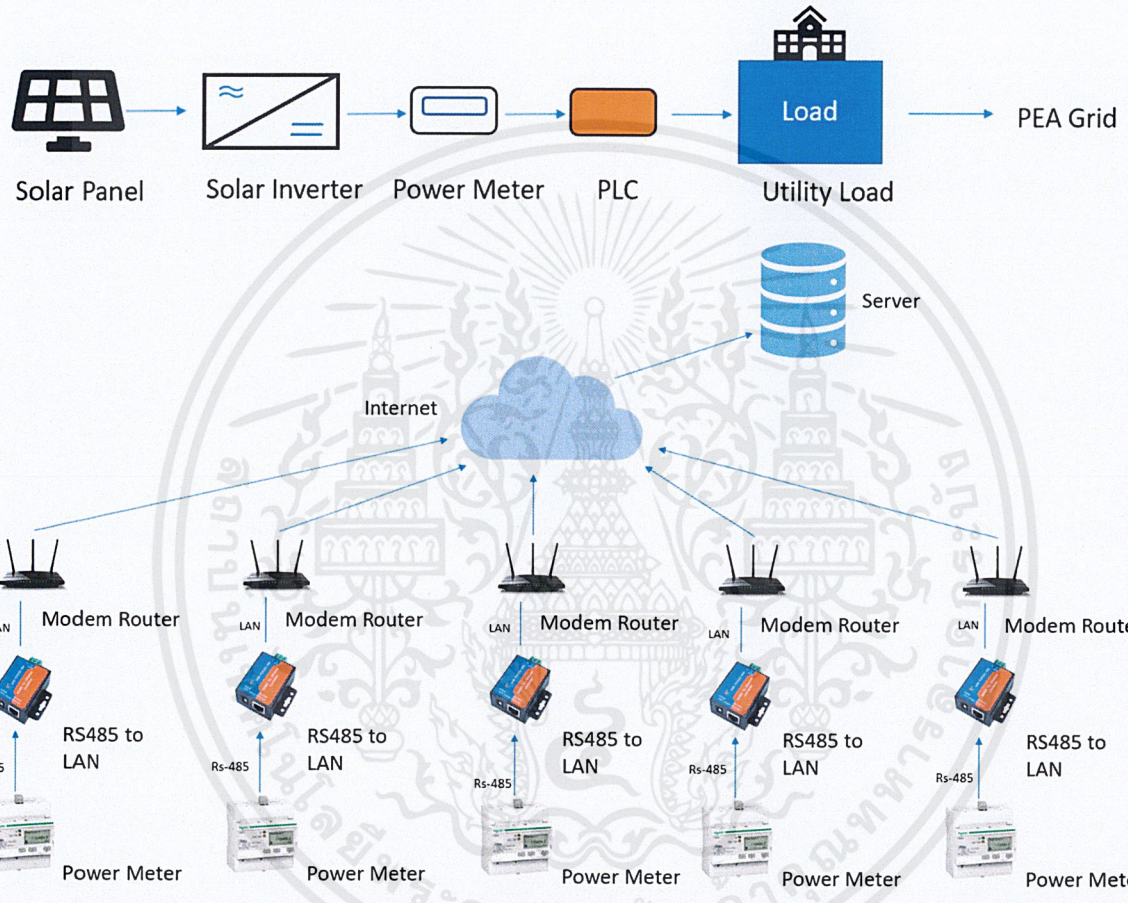




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มิเตอร์จากระบบ Ethernet มีอุปกรณ์ ดังต่อไปนี้

- สมาร์ทมิเตอร์ 1 เครื่อง
- รางปีกนกพร้อมสกรู 1 ชุด
- PLC Kit 1 ชุด
- สาย LAN
- Modem Router 1 เครื่อง



เมื่อผู้วิจัยทราบอุปกรณ์ที่จำเป็นแล้ว ผู้วิจัยก็ได้ทำการศึกษาว่า ณ สถานที่ติดตั้งมีอุปกรณ์ใดอยู่ก่อนแล้วบ้างพบว่า ตัว Modem Router นั้น คือสิ่งที่มีอยู่แล้ว ดังนั้น ผู้วิจัยจึงไม่เติม Modem Router เข้าไปในรายการอุปกรณ์ที่ต้องจัดหา จากนั้น ตัวผู้วิจัยจำการประเมินราคาคร่าวๆ ของแต่ละระบบ โดยกำหนดค่าอัตราแลกเปลี่ยนเงินตรา USD/THB = 30.5291 บาท ต่อ ดอลลาร์สหรัฐฯ [10]

---

[10] ข้อมูลค่าสกุลเงินดอลลาร์-ไทย จาก ธนาคารแห่งประเทศไทย ประจำวันที่ 11 พฤศจิกายน พ.ศ.2562 เข้าถึงได้จาก : https://www.bot.or.th/thai/_layouts/application/exchangerate/exchangerate.aspx วันที่สืบค้น : 11 พฤศจิกายน พ.ศ.2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1 ราคาประมาณของระบบมิเตอร์ NB-IOT

ลำดับ	รายการ	จำนวน	หน่วย	ค่าวัสดุ		รวมเงิน	หมายเหตุ
				ราคาต่อหน่วย	จำนวนเงิน		
HARDWARE							
1	สมาร์ทมิเตอร์	1	เครื่อง	6,200	6,200	6,200	บาท , มี Accuracy Class 0.5
2	รางปีกนก พร้อมสกรู	1	ชุด	40	40	40	บาท
3	ซิมการ์ด	1	ชิ้น	150	150	150	บาท
SOFTWARE							
4	ค่าใช้จ่ายเครือข่าย	1	หน่วย	288	288	288	บาท
รวมเป็นจำนวนเงิน						6,678	บาท

ตารางที่ 4 ตารางแสดงราคาประมาณของระบบมิเตอร์ WI-FI Communication

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ราคาประมาณของระบบมิเตอร์จากระบบ Wi-Fi Communication

ลำดับ	รายการ	จำนวน	หน่วย	ค่าวัสดุ		รวมเงิน	หมายเหตุ
				ราคาต่อหน่วย	จำนวนเงิน		
HARDWARE							
1	ชุดสมาร์ทมิเตอร์	1	ชุด	$180	5,495.24	5,495.24	$1 = 30.5291
1.1	สมาร์ทมิเตอร์	1	เครื่อง				
1.2	Current Transformer	5	ชุด				
2	รางปีกนกพร้อมสกรู	1	ชุด	40	40	40	บาท
SOFTWARE							
3	ช่องทางสื่อสาร (Wi-Fi)	รวมอยู่ในสารสนเทศพื้นฐานของสถานที่ติดตั้งแล้ว					WI-FI
4	แพ็คเกจใช้งาน	1	ชุด	$34	1,038	1,038	$1 = 30.5291 1 ชุด ต่อ 100 เครื่อง
5	ค่าพัฒนา API	1	ทีม	100,000	100,000	100,000	บาท
รวมเป็นจำนวนเงิน						106,573.24	

ตารางที่ 5 ตารางแสดงราคาประมาณของระบบมิเตอร์จากระบบ Ethernet

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 ราคาประมาณของ ระบบมิเตอร์ จากระบบ Ethernet

ลำดับ	รายการ	จำนวน	หน่วย	ค่าวัสดุ		รวมเงิน	หมายเหตุ
				ราคาต่อหน่วย	จำนวนเงิน		
HARDWARE							
1	PLC Kit	1	ชุด	มีอยู่ในระบบ Solar Roof อยู่แล้ว			มีระบบ Zero Export อยู่ในตัวด้วย
2	สมาร์ทมิเตอร์	1	เครื่อง	4,500	4,500	4,500	บาท , มี Accuracy Class 0.5
3	รางปีกนก พร้อมสกรู	1	ชุด	40	40.00	40	บาท
SOFTWARE							
4	Communication (สาย LAN เหมาจ่าย)	1	เส้น	1,500	1,500	1,500	สาย LAN 5 เส้น 10 เมตร
5	ค่าพัฒนาซอร์ฟแวร์	1	ทีม	100,000	100,000	100,000	บาท
รวมเป็นจำนวนเงิน						106,040	

ตารางที่ 6 ตารางแสดงราคาประมาณของ ระบบมิเตอร์ จากระบบ Ethernet

จากการทำตารางสรุปราคา พบว่าต้นทุนของระบบ Wi-Fi Communication และ Ethernet นั้นเกินกว่างบประมาณที่ตั้งไว้ที่ 50,000 บาท ยกเว้นแบบ NB-IOT ด้วยเหตุนี้ ผู้วิจัยจึงได้หาสัดส่วนจำนวนมิเตอร์ที่เพียงพอกับงบประมาณ เมื่อถัวเฉลี่ยราคามิเตอร์ต่อตัว โดยตัวผู้วิจัยได้กำหนดระบบที่มีทั้งหมด 131 ตึก ซึ่งได้ผลดังตารางต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4 ราคาต่อหน่วยระบบมิเตอร์ WI-FI Communication

จากรูปด้านล่างนี้ ทำให้เราทราบว่า ระบบมิเตอร์ Wi-Fi Communication นั้น มีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งรวมสำหรับมิเตอร์ 131 เครื่อง อยู่ที่ 827,192.16 บาท

		HardWare				SoftWare	ค่าใช้จ่ายรายปี		Fixed Cost		Total Cost
Quantities	Cost Per Unit	Cost	Meter Cost	Equipment Cost	Cost	Package		Develop		
						Q	Cost	Q	Cost	
1	106,573.23	5,535.24	5,495.24	40.00	101,037.99	1:100'	1037.989	1	100,000.00	106,573.23
11	14,720.51	60,887.62	60,447.62	440.00	101,037.99	1:100'	1037.989	1	100,000.00	161,925.61
21	10,346.57	116,240.00	115,400.00	840.00	101,037.99	1:100'	1037.989	1	100,000.00	217,277.99
31	8,794.53	171,592.38	170,352.38	1,240.00	101,037.99	1:100'	1037.989	1	100,000.00	272,630.37
41	7,999.58	226,944.76	225,304.76	1,640.00	101,037.99	1:100'	1037.989	1	100,000.00	327,982.75
51	7,516.38	282,297.14	280,257.14	2,040.00	101,037.99	1:100'	1037.989	1	100,000.00	383,335.13
61	7,191.60	337,649.52	335,209.52	2,440.00	101,037.99	1:100'	1037.989	1	100,000.00	438,687.51
71	6,958.31	393,001.90	390,161.90	2,840.00	101,037.99	1:100'	1037.989	1	100,000.00	494,039.89
81	6,782.62	448,354.28	445,114.28	3,240.00	101,037.99	1:100'	1037.989	1	100,000.00	549,392.27
91	6,645.55	503,706.66	500,066.66	3,640.00	101,037.99	1:100'	1037.989	1	100,000.00	604,744.65
101	6,545.89	559,059.04	555,019.04	4,040.00	102,075.98	1:100'	2075.979	1	100,000.00	661,135.02
111	6,454.84	614,411.42	609,971.42	4,440.00	102,075.98	1:100'	2075.979	1	100,000.00	716,487.40
121	6,378.84	669,763.80	664,923.80	4,840.00	102,075.98	1:100'	2075.979	1	100,000.00	771,839.78
131	6,314.44	725,116.18	719,876.18	5,240.00	102,075.98	1:100'	2075.979	1	100,000.00	827,192.16

รูปที่ 25 ภาพแสดงราคาค่าใช้จ่ายแยกตามจำนวนเครื่อง ของมิเตอร์ระบบ WI-FI Communication

นอกจากนยงมคาเชจายสาหรบ Network ซงเปนคาเชจายรายป เดยทางผวจยเดเชวธ Time Value of Money เพอหามลคาของคาเชจายดาน Network ทเราตองจาย ในอนาคตอีก 20 ปีข้างหน้า และนำค่าใช้จ่ายตั้งแต่ปีที่ 1 ถึง 20 มาหาเป็นค่าใช้จ่ายต่อเครื่อง มีการคำนวณโดยใช้โปรแกรม Excel มีสูตรคำนวณดังนี้

$$\text{มูลค่าในปัจจุบัน} = \text{มูลค่าอนาคต} \times (1+ \text{อัตราตอบแทน})\ \text{^ระยะเวลา}$$

ตัวผู้วิจัยกำหนดขอบเขตเวลาไว้ที่ 20 ปี และใช้อัตราผลตอบแทนที่ 3% ในการคำนวณค่าใช้จ่ายสำหรับ Network ของมิเตอร์ 131 เครื่อง

Selected Used Inflation Rate	Quantities = 131 3%			
		WI-FI Communication	Ethernet	NB-IOT
	Network Cost per Year	2,076.00	-	37,728.00
Calculate Overall Price		(ค่าใช้จ่ายรายปี 1,038 บาท ต่อ 100 เครื่อง)		
Years				
1		2,138.28	-	38,859.84
2		2,202.43	-	40,025.64
3		2,268.50	-	41,226.40
4		2,336.56	-	42,463.20
5		2,406.65	-	43,737.09
6		2,478.85	-	45,049.21
7		2,553.22	-	46,400.68
8		2,629.81	-	47,792.70
9		2,708.71	-	49,226.48
10		2,789.97	-	50,703.28
11		2,873.67	-	52,224.38
12		2,959.88	-	53,791.11
13		3,048.68	-	55,404.84
14		3,140.14	-	57,066.99
15		3,234.34	-	58,778.99
16		3,331.37	-	60,542.36
17		3,431.31	-	62,358.64
18		3,534.25	-	64,229.39
19		3,640.28	-	66,156.28
20		3,749.49	-	68,140.96
	Overall Add-On	57,456.38	-	1,044,178.45

รูปที่ 26 ภาพแสดงมูลค่า ค่าใช้จ่ายด้าน Network คิดรวม 20 ปี ของแต่ละระบบ

จากการคำนวณด้วยโปรแกรม Excel พบว่า มิเตอร์ระบบ WI-FI Communication มีค่า Network Cost รวมอยู่ที่ 57,456.38 บาท

จากนั้น เมื่อนำราคาค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง มารวมกับค่า Network จะได้ค่าใช้จ่ายรวมเป็น 884,648.54 บาท นำมาหารด้วย 131 เพื่อหาคาเฉลี่ยต่อเครื่องเป็น 6,753.04 บาท

	WI-FI Communication	Ethernet	NB-IOT
Investment Cost on 131 Units	827,192.16	891,240.00	869,578.00
Overall Add-On	57,456.38	-	1,044,178.45
Overall Price	884,648.54	891,240.00	1,913,756.45
For Per Unit	6,753.04	6,803.36	14,608.83

รูปที่ 27 ภาพแสดงมูลค่า ค่าใช้จ่ายระบบมิเตอร์ต่อหน่วย

4.2.5 ราคาต่อหน่วยมิเตอร์จากระบบ Ethernet

จากรูปด้านล่างนี้ ทำให้เราทราบว่า มิเตอร์จากระบบ Ethernet นั้น มีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งรวมสำหรับระบบมิเตอร์ 131 เครื่อง อยู่ที่ 891,240.00 บาท

		HardWare			SoftWare			Fixed Cost		Total Cost
Quantities	Cost Per Unit	Cost	Meter Cost	Equipment Cost	Cost	LAN Q	LAN Cost	Develop Q	Develop Cost	
1	106,040.00	4,540.00	4,500.00	40.00	101,500.00		1500	1	100,000.00	106,040.00
11	15,130.91	49,940.00	49,500.00	440.00	116,500.00		16500	1	100,000.00	166,440.00
21	10,801.90	95,340.00	94,500.00	840.00	131,500.00		31500	1	100,000.00	226,840.00
31	9,265.81	140,740.00	139,500.00	1,240.00	146,500.00		46500	1	100,000.00	287,240.00
41	8,479.02	186,140.00	184,500.00	1,640.00	161,500.00		61500	1	100,000.00	347,640.00
51	8,000.78	231,540.00	229,500.00	2,040.00	176,500.00		76500	1	100,000.00	408,040.00
61	7,679.34	276,940.00	274,500.00	2,440.00	191,500.00		91500	1	100,000.00	468,440.00
71	7,448.45	322,340.00	319,500.00	2,840.00	206,500.00		106500	1	100,000.00	528,840.00
81	7,274.57	367,740.00	364,500.00	3,240.00	221,500.00		121500	1	100,000.00	589,240.00
91	7,138.90	413,140.00	409,500.00	3,640.00	236,500.00		136500	1	100,000.00	649,640.00
101	7,030.10	458,540.00	454,500.00	4,040.00	251,500.00		151500	1	100,000.00	710,040.00
111	6,940.90	503,940.00	499,500.00	4,440.00	266,500.00		166500	1	100,000.00	770,440.00
121	6,866.45	549,340.00	544,500.00	4,840.00	281,500.00		181500	1	100,000.00	830,840.00
131	6,803.36	594,740.00	589,500.00	5,240.00	296,500.00		196500	1	100,000.00	891,240.00

รูปที่ 28 ภาพแสดงราคาค่าใช้จ่ายแยกตามจำนวนเครื่อง ของมิเตอร์ระบบ Ethernet

ทั้งนี้ ระบบมิเตอร์แบบ Ethernet นั้น ไม่มีค่าใช้จ่ายในด้าน Network ดังนั้น แล้ว ราคาระบบรวม จึงนำราคาต้นทุนค่าติดตั้ง มาหารด้วยจำนวนตัวเครื่อง 131 เครื่องได้ โดยระบบนี้ มีราคามิเตอร์ต่อระบบอยู่ที่ 6,803.36 บาท

4.2.6 ราคาต่อหน่วยมิเตอร์จากระบบ NB-IOT

จากรูปด้านล่างนี้ ทำให้เราทราบว่า มิเตอร์จากระบบ NB-IOT นั้น มีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งรวมสำหรับระบบมิเตอร์ 131 เครื่อง อยู่ที่ 869,578.00 บาท

ทั้งนี้ ตัวผู้วิจัยขออธิบายสาเหตุที่ราคามีขนาดมากเนื่องจาก มิเตอร์ระบบ NB-IOT นี้มีค่าใช้จ่าย Network 224 บาทต่อเครื่อง ต่อปี

Quantities	Cost Per Unit	HardWare Cost	Meter Cost	Sim Cost	SoftWare Cost	Communication NB-IOT Q	Communication NB-IOT Cost	ค่าใช้จ่ายรายปี Network Q	ค่าใช้จ่ายรายปี Network Cost	Total Cost
1	6,638.00	4,650.00	4,500.00	150.00	1,988.00	1700		12	288	6,638.00
11	6,638.00	51,150.00	49,500.00	1,650.00	21,868.00	18700			3168	73,018.00
21	6,638.00	97,650.00	94,500.00	3,150.00	41,748.00	35700			6048	139,398.00
31	6,638.00	144,150.00	139,500.00	4,650.00	61,628.00	52700			8928	205,778.00
41	6,638.00	190,650.00	184,500.00	6,150.00	81,508.00	69700			11808	272,158.00
51	6,638.00	237,150.00	229,500.00	7,650.00	101,388.00	86700			14688	338,538.00
61	6,638.00	283,650.00	274,500.00	9,150.00	121,268.00	103700			17568	404,918.00
71	6,638.00	330,150.00	319,500.00	10,650.00	141,148.00	120700			20448	471,298.00
81	6,638.00	376,650.00	364,500.00	12,150.00	161,028.00	137700			23328	537,678.00
91	6,638.00	423,150.00	409,500.00	13,650.00	180,908.00	154700			26208	604,058.00
101	6,638.00	469,650.00	454,500.00	15,150.00	200,788.00	171700			29088	670,438.00
111	6,638.00	516,150.00	499,500.00	16,650.00	220,668.00	188700			31968	736,818.00
121	6,638.00	562,650.00	544,500.00	18,150.00	240,548.00	205700			34848	803,198.00
131	6,638.00	609,150.00	589,500.00	19,650.00	260,428.00	222700			37728	869,578.00
141	6,638.00	655,650.00	634,500.00	21,150.00	280,308.00	239700			40608	935,958.00
150	6,638.00	697,500.00	675,000.00	22,500.00	298,200.00	255000			43200	995,700.00
160	6,638.00	744,000.00	720,000.00	24,000.00	318,080.00	272000			46080	1,062,080.00
170	6,638.00	790,500.00	765,000.00	25,500.00	337,960.00	289000			48960	1,128,460.00
180	6,638.00	837,000.00	810,000.00	27,000.00	357,840.00	306000			51840	1,194,840.00
190	6,638.00	883,500.00	855,000.00	28,500.00	377,720.00	323000			54720	1,261,220.00
200	6,638.00	930,000.00	900,000.00	30,000.00	397,600.00	340000			57600	1,327,600.00

รูปที่ 31 ภาพแสดงราคาค่าใช้จ่ายแยกตามจำนวนเครื่อง ของมิเตอร์ระบบ NB-IOT

ในการคำนวณหาค่าใช้จ่ายสำหรับ Network ซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายรายปี ทางผู้วิจัยได้ใช้วิธี Time Value of Money เพื่อหามูลค่าของค่าใช้จ่ายด้าน Network ที่เราต้องจ่ายในอนาคตอีก 20 ปีข้างหน้า และนำค่าใช้จ่ายตั้งแต่ปีที่ 1 ถึง 20 มาหาเป็นค่าใช้จ่ายต่อเครื่อง มีการคำนวณโดยใช้โปรแกรม Excel มีสูตรคำนวณดังนี้

$$\text{มูลค่าในปัจจุบัน} = \text{มูลค่าอนาคต} \times (1 + \text{อัตราตอบแทน})^{\text{ระยะเวลา}}$$

Selected Used Inflation Rate	Quantities = 131
	3%

		WI-FI Communication	Ethernet	NB-IOT
	Network Cost per Year	2,076.00	-	37,728.00
		(ค่าใช้จ่ายรายปี 1,038 บาท ต่อ 100 เครื่อง)		
Calculate Overall Price	Years			
	1	2,138.28	-	38,859.84
	2	2,202.43	-	40,025.64
	3	2,268.50	-	41,226.40
	4	2,336.56	-	42,463.20
	5	2,406.65	-	43,737.09
	6	2,478.85	-	45,049.21
	7	2,553.22	-	46,400.68
	8	2,629.81	-	47,792.70
	9	2,708.71	-	49,226.48
	10	2,789.97	-	50,703.28
	11	2,873.67	-	52,224.38
	12	2,959.88	-	53,791.11
	13	3,048.68	-	55,404.84
	14	3,140.14	-	57,066.99
	15	3,234.34	-	58,778.99
	16	3,331.37	-	60,542.36
	17	3,431.31	-	62,358.64
	18	3,534.25	-	64,229.39
	19	3,640.28	-	66,156.28
	20	3,749.49	-	68,140.96
	Overall Add-On	57,456.38	-	1,044,178.45

รูปที่ 32 ภาพแสดงมูลค่า ค่าใช้จ่ายด้าน Network คิดรวม 20 ปี ของแต่ละระบบ

ตัวผู้วิจัยกำหนดขอบเขตเวลาไว้ที่ 20 ปี และใช้อัตราผลตอบแทนที่ 3% ในการคำนวณค่าใช้จ่ายสำหรับ Network ของมิเตอร์ 131 เครื่อง

จากการคำนวณด้วยโปรแกรม Excel พบว่า มิเตอร์ระบบ NB-IOT มี Network Cost รวมอยู่ที่ 1,044,178.45 บาท

จากนั้น เมื่อนำราคาค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง จำนวน 869,578.00 บาท รวมกับค่า Network จะได้ค่าใช้จ่ายรวมเป็น 1,913,756.45 บาท นำมาหารด้วย 131 เพื่อหาค่าเฉลี่ยต่อเครื่องเป็น 14,608.83 บาท

	WI-FI Communication	Ethernet	NB-IOT
Investment Cost on 131 Units	827,192.16	891,240.00	869,578.00
Overall Add-On	57,456.38	-	1,044,178.45
Overall Price	884,648.54	891,240.00	1,913,756.45
For Per Unit	6,753.04	6,803.36	14,608.83

รูปที่ 33 ภาพแสดงมูลค่า ค่าใช้ระบบมิเตอร์ต่อหน่วย

4.3 สรุปการคัดเลือก

หลังจากที่ผู้วิจัยได้ใช้เกณฑ์ด้านราคาวิเคราะห์แล้ว ได้ข้อมูลราคาต่อเครื่องดังตารางต่อไปนี้

	WI-FI Communication		Ethernet		NB-IOT
Investment Cost on 131 Units	827,192.16		891,240.00		869,578.00
Accumulate Network Cost Over 20 Years	57,456.38		-		1,044,178.45
Overall Price	884,648.54		891,240.00		1,913,756.45
For Per Unit	6,753.04		6,803.36		14,608.83

ตารางที่ 7 ตารางแสดงราคาต่อหน่วยของมิเตอร์แต่ละระบบ

ท้ายที่สุดแล้ว จากการคัดเลือกระบบทั้งหมดนี้ ตัวผู้วิจัยได้ตัดสินใจเลือก “**มิเตอร์ระบบ Ethernet**” ด้วยเหตุผลเรื่องราคา ที่ถูกกว่า มิเตอร์ จากระบบ NB-IOT และ Wi-Fi Communication

ทั้งนี้ ตัวผู้วิจัย ขอเน้นย้ำว่าระบบมิเตอร์ทั้ง 3 ระบบนี้ สามารถตอบจุดประสงค์ของงานวิจัยนี้ นั่นคือ การเชื่อมต่อข้อมูลไฟฟ้าเข้ากับคอมพิวเตอร์แม่ข่ายได้ทั้งสิ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5 บทสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการใช้มิเตอร์แต่ละระบบ

สำหรับการวิจัยหัวข้อ “การคัดเลือกระบบอ่านค่าการผลิตไฟฟ้าจากโซลาร์รูฟท็อป เพื่อเชื่อมต่อระบบซื้อขายไฟฟ้าระหว่างผู้ใช้ไฟฟ้า” ได้ข้อสรุปว่า โครงการนี้มีการเลือกใช้ ระบบมิเตอร์ไฟฟ้าระบบ Ethernet จากเหตุผลด้านราคา และความเหมาะสมต่อบริบทสถานที่ ที่ติดตั้ง

แต่ทั้งนี้ทั้งนั้น ทั้งมิเตอร์ระบบ NB-IOT Communication , Wi-Fi Commutation และมิเตอร์จากระบบ Ethernet ล้วนมีข้อดี และจุดเด่นที่แตกต่างกันไป

การใช้มิเตอร์เครือข่ายการสื่อสาร NB-IOT Communication

เหมาะสำหรับการใช้งาน ที่มีการส่งข้อมูลที่ไม่มาก เนื่องจากค่าอัตราการส่งข้อมูลหรือ Data Rate มีค่าน้อยกว่าระบบอื่นๆ ที่ใช้ในการวิจัยพอสมควร ดังนั้น หากสถานที่ติดตั้งต้องการส่งข้อมูลทีละน้อยๆ ระบบนี้จะตอบโจทย์จุดประสงค์ที่สุดในด้านราคา

โดยหากคำนวณราคาแล้ว ตัวมิเตอร์ระบบ NB-IOT มีราคาต่อหน่วยอยู่ที่ 6,638 บาท โดยราคานี้เนื่องจากไม่มีค่าใช้จ่ายในการพัฒนาโปรแกรมเลย หากแต่มีค่าใช้จ่ายเครือข่ายรายปี จำนวน 288 บาท ต่อ 1 ปี ต่อ 1 เครื่อง

Quantities	Cost Per Unit	HardWare Cost	Meter Cost	Sim Cost	SoftWare Cost	Communication NB-IOT Q	Communication NB-IOT Cost	ค่าใช้จ่ายรายปี Network Q	ค่าใช้จ่ายรายปี Network Cost	Total Cost
1	6,638.00	4,650.00	4,500.00	150.00	1,988.00	1700		12	288	6,638.00
11	6,638.00	51,150.00	49,500.00	1,650.00	21,868.00	18700			3168	73,018.00
21	6,638.00	97,650.00	94,500.00	3,150.00	41,748.00	35700			6048	139,398.00
31	6,638.00	144,150.00	139,500.00	4,650.00	61,628.00	52700			8928	205,778.00
41	6,638.00	190,650.00	184,500.00	6,150.00	81,508.00	69700			11808	272,158.00
51	6,638.00	237,150.00	229,500.00	7,650.00	101,388.00	86700			14688	338,538.00
61	6,638.00	283,650.00	274,500.00	9,150.00	121,268.00	103700			17568	404,918.00
71	6,638.00	330,150.00	319,500.00	10,650.00	141,148.00	120700			20448	471,298.00
81	6,638.00	376,650.00	364,500.00	12,150.00	161,028.00	137700			23328	537,678.00
91	6,638.00	423,150.00	409,500.00	13,650.00	180,908.00	154700			26208	604,058.00
101	6,638.00	469,650.00	454,500.00	15,150.00	200,788.00	171700			29088	670,438.00
111	6,638.00	516,150.00	499,500.00	16,650.00	220,668.00	188700			31968	736,818.00
121	6,638.00	562,650.00	544,500.00	18,150.00	240,548.00	205700			34848	803,198.00
131	6,638.00	609,150.00	589,500.00	19,650.00	260,428.00	222700			37728	869,578.00
141	6,638.00	655,650.00	634,500.00	21,150.00	280,308.00	239700			40608	935,958.00
150	6,638.00	697,500.00	675,000.00	22,500.00	298,200.00	255000			43200	995,700.00
160	6,638.00	744,000.00	720,000.00	24,000.00	318,080.00	272000			46080	1,062,080.00
170	6,638.00	790,500.00	765,000.00	25,500.00	337,960.00	289000			48960	1,128,460.00
180	6,638.00	837,000.00	810,000.00	27,000.00	357,840.00	306000			51840	1,194,840.00
190	6,638.00	883,500.00	855,000.00	28,500.00	377,720.00	323000			54720	1,261,220.00
200	6,638.00	930,000.00	900,000.00	30,000.00	397,600.00	340000			57600	1,327,600.00

รูปที่ 34 ภาพแสดงราคาค่าใช้จ่ายแยกตามจำนวนเครื่อง ของมิเตอร์ระบบ NB-IOT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้มิเตอร์เครือข่ายการสื่อสาร Wi-Fi Commutation

ระบบนี้เหมาะสำหรับสถานที่ ที่มีการติดตั้งจำนวนมาก เนื่องจากค่าใช้จ่ายด้าน Network รายปีคิดเป็นอัตราคงที่ ทุก 100 เครื่อง สามารถดูข้อมูลผ่านทาง Web Socket ของทางผู้จำหน่ายได้ทันที นอกจากนี้หากต้องการให้ส่งค่าข้อมูลไปที่คอมพิวเตอร์แม่ข่ายส่วนตัว ท่านสามารถเขียน API สั่งการได้ทันที

แต่ถึงกระนั้นข้อเสียของมิเตอร์นี้ คือการที่เขาไม่มีหน้าจอ LCD สำหรับดูค่าข้อมูล ณ ที่ติดตั้งได้ ปัญหานี้อาจส่งผลให้การดำเนินงานกับหน่วยงานอย่างการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคได้ ทั้งนี้เนื่องจากสถานที่ติดตั้งนั้นเป็นระบบ Private Grid ซึ่งวิธีการคิดค่าไฟฟ้านั้น ทางการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมดเป็นบิล 1 ใบ หากมีการคิดค่าไฟฟ้าจากการไฟฟ้าแยกบิลตามสถานที่ต่างๆ ในมหาวิทยาลัย ตัวผู้วิจัยอาจไม่เลือกมิเตอร์นี้ เข้ามาพิจารณาในระบบทั้ง 4 ระบบ

การใช้มิเตอร์ในการส่งข้อมูลร่วมกับเครือข่ายการสื่อสาร จากระบบ Ethernet

ระบบมิเตอร์นี้เป็นระบบที่ตัววิจัยได้เลือกสำหรับการนำมาใช้ในงานวิจัย แม้ตัวมิเตอร์นั้นจะไม่สามารถส่งข้อมูลได้โดยตรงเหมือนกับ มิเตอร์ NB-IOT และ Wi-Fi Communication แต่ทางผู้วิจัยได้ก็ได้นำ PLC จากระบบ Zero Export ซึ่งเป็นระบบสั่งการ มาร่วมใช้ในการสั่งการมิเตอร์ธรรมดานี้ ให้ส่งค่าข้อมูลไปที่คอมพิวเตอร์แม่ข่ายตามที่เราต้องการได้ผ่านระบบ Ethernet โดยอุปกรณ์สาย LAN

วิธีการดำเนินการติดตั้งของระบบมิเตอร์รูปแบบนี้ มีขั้นตอนที่เชื่อมโยงกับระบบอื่นๆ ในระบบด้วย การติดตั้งจึงไม่เรียบง่ายเหมือนมิเตอร์ของ 2 ระบบ ที่ได้กล่าวไปก่อนหน้านี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซื้อขายแลกเปลี่ยนพลังงานระหว่างผู้ใช้ไฟ (Peer-to-Peer Energy Trading)

เป็นการที่ผู้ใช้ไฟซึ่งสามารถในการผลิตไฟฟ้าด้วยตนเอง (Prosumer) จากแหล่งพลังงานทางเลือก มาทำการแลกเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเหลือใช้ กับผู้ใช้ไฟรายอื่น (Consumer) ใกล้เคียงผ่านกริดไฟฟ้า

ในขณะเดียวกัน การที่ผู้ใช้ไฟซึ่งสามารถผลิตไฟฟ้าได้เอง จะเป็นส่วนหนึ่งของเครือข่ายนี้ ตัวผู้ใช้ต้องรับรู้ถึง “ความต้องการใช้ไฟ” จากผู้ใช้ไฟรายอื่นด้วยเช่นกัน ดังนั้นแล้วเครือข่ายการซื้อขายไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพนั้น จึงประกอบด้วย การมีระบบทำสัญญาซื้อขายที่ตอบจุดประสงค์การใช้งาน และการมีฐานข้อมูลที่ให้ข้อมูลความต้องการใช้ไฟฟ้าแก่สมาชิกในเครือข่ายให้ทันท่วงที

ระบบการอ่านมิเตอร์และส่งข้อมูลขึ้นคอมพิวเตอร์แม่ข่ายที่ผู้วิจัยได้มีส่วนร่วมนั้น เป็นส่วนหนึ่งของระบบฐานข้อมูล ซึ่งระบบฐานข้อมูลนี้เป็นหัวใจหลักที่สำคัญของการซื้อขายแลกเปลี่ยนพลังงานระหว่างผู้ใช้ไฟ การกำเนิดของการซื้อขายเลือกเปลี่ยนไฟฟ้าระหว่างผู้ใช้งานนี้จะช่วยต่อยอดและยกระดับธุรกิจไฟฟ้าให้ยั่งยืน สร้างผลิตภาพแก่ระบบเศรษฐกิจได้ในอนาคต

ระบบการทำสัญญาซื้อขาย : เทคโนโลยีกระจายศูนย์

ระบบ Blockchain นี้เป็นเทคโนโลยีกระจายศูนย์ เป็นระบบที่ไม่มีตัวกลางควบคุมระบบระบบ เปิดโอกาสให้ผู้มีส่วนร่วมในระบบสามารถตรวจสอบการทำรายการของสมาชิกได้อย่างโปร่งใส

มีการกระจายข้อมูลในระบบให้แก่สมาชิกในระบบทุกคนในระบบ (เราจะเรียกสมาชิกที่อยู่ในระบบนี้ว่า Node) โดยสมาชิกที่อยู่ในระบบนี้จะครอบครองสมุดบัญชีซึ่งมีการอัพเดตข้อมูลทุกครั้ง เมื่อมีรายการในระบบเกิดขึ้น ทั้งนี้การที่ทุกคนมีบัญชีที่อัพเดตข้อมูลเหมือนกันหมดนี้ เสมือนกับเป็นการป้องกันการปลอมแปลงข้อมูลจากภายนอก

เราตั้งข้อสังเกตุว่าระบบจะมีความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น หากมีสมาชิกในระบบมากขึ้น เสมือนกับมีคนมาช่วยยืนยันความถูกต้องของรายการเดินบัญชีนั่นเอง การยืนยันความถูกต้องของรายการเดินบัญชี ระหว่างที่มีการทำสัญญาในระบบ หรือระหว่าง Node กับ Node จะมีคนที่มายืนยันความถูกต้องอยู่เสมอ ซึ่งผู้ที่ทำหน้าที่นี้จะเรียกว่า Consensus Node

หลังจากมีการทำรายการแล้ว ตัวระบบจะคิดสมการทางคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อน ซึ่งเป็นหน้าที่ของ Consensus Node ในการแก้ไขสมการนี้ เมื่อแก้ไขสมการได้สำเร็จ จะเป็นการยืนยันรายการที่เกิดขึ้น รายการที่เกิดขึ้นนี้จะถูกเก็บใส่ไว้ในกล่องข้อมูล จากนั้นกล่องข้อมูลนี้ ก็จะถูกส่งให้คนอื่นในระบบเป็นผู้เก็บข้อมูล และเมื่อมีการทำรายการต่อไปจะมีการอ้างอิงข้อมูลกล่องก่อนหน้านี้เสมอ จากนั้นจะมีการยืนยันความถูกต้อง และถ้ามีการทำรายการอีก จะมีการยืนยันกล่องข้อมูลก่อนหน้าไปเรื่อยๆ ก็เสมือนมีกล่องมาเรียงต่อกัน จึงเป็นที่มาของคำว่า “Blockchain” นั่นเอง

ด้วยคุณสมบัติที่ต้องมีการอ้างอิงข้อมูลของ Block นี้ จึงทำให้การโจรกรรมข้อมูล หรือการปลอมแปลงข้อมูลนั้น ต้องทำการ Hack ระบบพร้อมๆ กันทุก Block เพื่อทำการเปลี่ยนแปลงข้อมูลทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การซื้อขายแลกเปลี่ยนพลังงานกับระบบ Blockchain

ในการซื้อขายแลกเปลี่ยนพลังงานนั้น สมาชิกในระบบสามารถร่างสัญญาเงื่อนไขธุรกรรมได้ทันที โดยไม่ต้องอาศัยตัวกลาง โดยกำหนดว่าจะส่งพลังงานที่ผลิตให้เป็นหน่วยสกุลเงินของระบบ Blockchain โดยการทำสัญญาจะเสร็จสิ้นทันที เมื่อมีผู้สนองสัญญาหรือพร้อมที่จะจ่ายเงินตามที่กำหนด

บทบาทของระบบมิเตอร์ในการซื้อขายแลกเปลี่ยนพลังงาน

ระบบมิเตอร์ที่ตัวผู้วิจัยได้คัดเลือกมานั้น เป็นระบบที่สามารถส่งข้อมูลได้แบบทันทีทันใด การที่ได้รับข้อมูลแบบทันทีนี้ เป็นสิ่งสำคัญที่ทำให้ระบบการแลกเปลี่ยนพลังงานสามารถดำเนินไปได้อย่างที่ควรจะเป็น

ปัจจุบันมิเตอร์ที่มีคุณสมบัติเพียบพร้อมนั้นยังมีมูลค่าที่สูงเกินไป หน้าที่ของผู้วิจัยคือการค้นหามิเตอร์และออกแบบระบบเพื่อให้สอดรับต่อวัตถุประสงค์โครงการซื้อขายแลกเปลี่ยนพลังงาน ในงบประมาณที่พอเหมาะที่เหมาะสม โดยราคาอ้างอิงนั้นทางบริษัทอ้างอิงจากราคามิเตอร์จากโครงการ โซลาร์ภาคประชาชน[11] ซึ่งมีมูลค่าต่อตัวอยู่ที่ 8,500 บาท

ข้อเสนอแนะในโครงงานสหกิจศึกษา

สำหรับตัวผู้วิจัยแล้ว ผู้วิจัยได้รับสาระความรู้มากกว่าที่วาดหวังไว้จากตอนมาฝึก ในการมาทำสหกิจศึกษานี้ ผู้วิจัยได้เห็นระบบการทำงานที่มีความกดดัน ได้สัมผัสถึงความเข้มข้นของชีวิตการทำงาน ทั้งนี้ยังประมาณขีดความสามารถทางด้านวิชาการ จากการมาทำงานจริง ว่าเราต้องใช้องค์ความรู้ใดจึงสามารถทำงานได้อย่างไม่วิตก สร้างความตระหนักรู้ว่าในโลกของการทำงานนั้น สิ่งที่เราได้รับการสั่งสอนในรั้วมหาลัยนั้น ยังมีอะไรให้เราต้องศึกษาอีกมาก ทั้งเรื่องการแก้ปัญหาเฉพาะหน้า การบริหารความกดดัน การบริหารความผิดหวัง และการจัดการตนเองในอีกหลายมิติชีวิตการทำงาน

การได้มาทำสหกิจศึกษาตลอดช่วงเวลา 1 เทอม การศึกษานี้ นับว่าเป็นช่วงเวลาที่ไม่สูญเปล่าเลยสำหรับตัวผู้วิจัย การได้เห็นว่าโลกธุรกิจพลังงานทดแทนปัจจุบันเขาแข่งขันกันอย่างไร ใช้เทคโนโลยีใด เป็นเรื่องที่สร้างความตระหนักรู้ให้ศึกษามากขึ้นยิ่งขึ้นไป

---

11 ข้อมูลจากข่าวโซลาร์ภาคประชาชน เข้าถึงได้จาก : https://www.thebangkokinsight.com/182035/

(วันที่สืบค้นข้อมูล : 16 ธันวาคม 2562)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

"PLC Protocol: การสื่อสารแบบ Modbus Protocol" เข้าถึงได้จาก : https://riverplus.com/2011/08/18/plc-protocol-%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%AA%E0%B8%B7%E0%B9%88%E0%B8%AD%E0%B8%AA%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B9%81%E0%B8%9A%E0%B8%9A-modbus-protocol/

(วันที่สืบค้นข้อมูล 28 ตุลาคม 2562)

"Designing Automatic Meter Reading System Using Open Source Hardware and Software" เข้าถึงได้จาก : **International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)** Vol. 7, No. 6, December 2017, pp. 3282~3291

(วันที่สืบค้นข้อมูล 31 ตุลาคม 2562)

"Amazon CloudFront ประกาศรองรับ WebSocket Protocol แล้ว" เข้าถึงได้จาก : https://www.techtalkthai.com/amazon-cloudfront-now-supports-websocket-protocol/

"WebSocket คืออะไร" เข้าถึงได้จาก : https://volraton.wordpress.com/2015/05/20/websocket-%E0%B8%84%E0%B8%B7%E0%B8%AD%E0%B8%AD%E0%B8%B0%E0%B9%84%E0%B8%A3/

"WebSocket ตอนที่ 1 : WebSocket คืออะไร การรับส่งข้อมูลแบบ Real Time ด้วย PHP" เข้าถึงได้จาก : https://www.thaicreate.com/php/php-websockets-real-time.html

(วันที่สืบค้นข้อมูล 5 พฤศจิกายน 2562)

"API คืออะไร" เข้าถึงได้จาก : https://www.mindphp.com/%E0%B8%84%E0%B8%B9%E0%B9%88%E0%B8%A1%E0%B8%B7%E0%B8%AD/73-%E0%B8%84%E0%B8%B7%E0%B8%AD%E0%B8%AD%E0%B8%B0%E0%B9%84%E0%B8%A3/2038-api-%E0%B8%84%E0%B8%B7%E0%B8%AD%E0%B8%AD%E0%B8%B0%E0%B9%84%E0%B8%A3.html

(วันที่สืบค้นข้อมูล 5 พฤศจิกายน 2562)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

"API คืออะไร" เข้าถึงได้จาก : https://saixiii.com/what-is-api/

(วันที่สืบค้นข้อมูล 5 พฤศจิกายน 2562)

รูปภาพผลิตภัณฑ์ Converter RS485 to Ethernet/TCP/IP เข้าถึงได้จาก : https://www.amazon.com/Serial-Ethernet-Converter-Webpage-Supported/dp/B07GB737KN/ref=pd_cp_23_2/143-9914568-8805555?_encoding=UTF8&pd_rd_i=B07GB737KN&pd_rd_r=c62289a1-8d78-44fb-bed7-df5c92a5a1b8&pd_rd_w=OVlaM&pd_rd_wg=bfB1T&pf_rd_p=0e5324e1-c848-4872-bbd5-5be6baedf80e&pf_rd_r=WBPKE74RHQGTC4BXXCQZ&psc=1&refRID=WBPKE74RHQGTC4BXXCQZ

(วันที่สืบค้นข้อมูล : 31 ตุลาคม 2562)

ข้อมูล Data Rate ในแต่ละวิธีการสื่อสาร เข้าถึงได้จาก : https://www.researchgate.net/รูปที่/CPS-Communication-Protocols-Main-Characteristics-Data-Rate-Transmission-Range_tbl1_324652989

(วันที่สืบค้นข้อมูล : 31 ตุลาคม 2562)

ข้อมูลของ Data Rate ด้วยการใช้วิธีสื่อสารแบบ NB-IoT เข้าถึงได้จาก : https://github.com/trueiot/True-NB-IoT-Board

(วันที่สืบค้นข้อมูล : 31 ตุลาคม 2562)

ข้อมูลค่าสกุลเงินดอลลาร์-ไทย จาก ธนาคารแห่งประเทศไทย ประจำวันที่ 11 พฤศจิกายน พ.ศ.2562 เข้าถึงได้จาก : https://www.bot.or.th/thai/_layouts/application/exchangerate/exchangerate.aspx

ข้อมูลจากข่าวโซลาร์ภาคประชาชน เข้าถึงได้จาก : https://www.thebangkokinsight.com/182035/

(วันที่สืบค้นข้อมูล : 16 ธันวาคม 2562)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้