

การพัฒนาระบบประเมินการใช้พลังงานจำเพาะในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบออนไลน์
โดยใช้เทคโนโลยี NB-IoT



ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน
มหาวิทยาลัยแม่โจ้
พ.ศ. 2566

การพัฒนาระบบประเมินการใช้พลังงานจำเพาะในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบออนไลน์
โดยใช้เทคโนโลยี NB-IoT



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน

สำนักบริหารและพัฒนาระบบสารสนเทศ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

พ.ศ. 2566

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้

การพัฒนาระบบประเมินการใช้พลังงานจำเพาะในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบออนไลน์
โดยใช้เทคโนโลยี NB-IoT

เกวลิน ยะติน

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน

พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร.ชวโรจน์ ใจสิน)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สรารุช พลวงษ์ศรี)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จงชัย มณีชูเกตุ)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

ประธานอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รจพรรณ นิรัญศิลป์)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

สำนักบริหารและพัฒนาวิชาการรับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร.ญาณิน โอภาสพัฒนกิจ)

รองอธิการบดี

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

ชื่อเรื่อง	การพัฒนาระบบประเมินการใช้พลังงานจำเพาะในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบออนไลน์โดยใช้เทคโนโลยี NB-IoT
ชื่อผู้เขียน	นางสาวเกวลิน ยะติน
ชื่อปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.ชวโรจน์ ใจสิน

บทคัดย่อ

ปัญหาของการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบหนาแน่นคือออกซิเจนละลายในน้ำ ปัจจุบันเกษตรกรใช้ระบบเติมอากาศเป็นหลัก ซึ่งระบบนี้ต้องการพลังงานไฟฟ้างานที่ต่อเนื่องและมีเสถียรภาพ หากผิดปกติจะทำให้สัตว์น้ำขาดออกซิเจนและเสียหายได้ ดังนั้นวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบประเมินการใช้พลังงานจำเพาะในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบออนไลน์โดยใช้เทคโนโลยี NB-IoT และประเมินค่าในการใช้พลังงานไฟฟ้าจำเพาะต่อผลผลิตที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าแบบร่วม

โดยระบบเลือกใช้โมดูลตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าทั้งชนิดกระแสสลับและกระแสตรง (PZEM016 และ PZEM017) ที่เชื่อมต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้าพื้นฐานและระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 2529Wp (จำนวน 9 แผง) ตามลำดับ โดยแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าทั้งสองจะจ่ายให้กับอินเวอร์เตอร์ SIEMENS รุ่น SINAMICS V20 ขนาด 380-480V 3 เฟส พิกัด 2.2kW เพื่อจ่ายพลังงานไฟฟ้าต่อไปยังโบลเวอร์เติมอากาศขนาด 3 hp ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ตรวจวัดได้ จะถูกประมวลผลด้วยตัวประมวลผล (ESP-32) และรายงานผลข้อมูลผ่านเครือข่าย NB ด้วยตัวส่งข้อมูล (Simcom 7020E) ไปยัง dashboard สำหรับรายงานผลและแอปพลิเคชัน LINE สำหรับกรณีแจ้งเตือน การดำเนินการทดลองแบ่งออกเป็น 4 ระยะ ในระยะการเพาะเลี้ยงที่ 1 ไม่มีการใช้ระบบเติมอากาศส่วนในระยะการเพาะเลี้ยงที่ 2 3 และ 4 เกษตรกรมีการเติมอากาศในช่วงเวลากลางวัน 9.00 – 17.00น. และกลางคืนใช้ไฟฟ้าพื้นฐานในช่วงเวลา 23.00-9.00น.

จากการทดลองพบว่ามีเหตุการณ์ไฟตก (แรงดันไฟฟ้าน้อยกว่า 205V) และไฟดับ ในระยะการเลี้ยงที่ 2 3 และ 4 พบว่ามีไฟตกจำนวน 40 163 และ 20 ครั้งตามลำดับ และไฟดับจำนวน 1 ครั้ง ซึ่งดับในการเลี้ยงปลาระยะที่ 2 17.29- 18.19 น. เมื่อพิจารณาการเลี้ยงปลาในระยะที่ 2 3 และ 4 มีการแจ้งเตือนทั้งหมด 15 27 และ 2 วัน ตามลำดับรวมทั้งหมดมีการแจ้งเตือน 44 วัน/รอบการเพาะเลี้ยงขณะที่การประเมินค่าในการใช้พลังงานไฟฟ้าจำเพาะต่อผลผลิตที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าแบบร่วมจากการใช้พลังงานไฟฟ้าในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในระยะที่ 2 3 และ 4 พบว่า

มีการใช้พลังงานไฟฟ้าคือ 1,382.1 1,374.6 และ 1,407.6 kWh ตามลำดับและมีค่าใช้จ่ายทางไฟฟ้าคือ 5,984.6 5,952.12 และ 6,095.1 บาท ตามลำดับ ดังนั้นในการเลี้ยง 1 รอบใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด 4,164.4 kWh/รอบ มีค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้คือ 18,031.8 บาท/รอบ และเกษตรกรซึ่งได้ผลผลิตคือ 5,450kg/รอบ สามารถสรุปได้ว่าการใช้พลังงานจำเพาะในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำคือ 0.76kWh/kg หรือกล่าวได้ว่าการใช้ปริมาณไฟฟ้า 0.76 kWhต่อการเลี้ยงปลา 1 kg

คำสำคัญ : เทคโนโลยี NB-IoT, การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ, ระบบตรวจวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าแบบออนไลน์, ระบบเติมอากาศ



Title	DEVELOPMENT OF ONLINE SPECIFIC ENERGY CONSUMPTION ASSESSMENT SYSTEM IN AQUACULTURE POND USING NB-IOT TECHNOLOGY
Author	Miss Kewwalin Yatin
Degree	Master of Engineering in Renewable Energy Engineering
Advisory Committee Chairperson	Associate Professor Dr. Chawaroj Jaisin

ABSTRACT

The problem of intensive aquaculture is the level of dissolved oxygen in the water. Currently, farmers rely mainly on aeration systems, which require continuous and stable electrical power. Any abnormality in the power supply can cause aquatic animals to suffer from oxygen deprivation and be harmed. Therefore, this research aims to develop an online reporting and notification system for aquaculture ponds using NB-IoT technology and to evaluate the specific energy consumption per product of the combined power consumption.

The system uses both AC and DC power measurement modules (PZEM016 and PZEM017) connected to the main power supply and the system of 2529 Wp solar panels (9 panels), respectively. The both of supply is connected to a Siemens inverter model SINAMICS V20, rated at 2.2 kW, which supplies electrical power to a 3 hp aeration blower. The data from the power measurement modules will be processed by the ESP-32 processor and the system reports the results via the NB network using a data transmitter (Simcom 7020E) to the dashboard for reporting and the LINE application for alerts. The experimental operation was divided into four phases: In cultivation phase 1, no aeration system was used. In phases 2, 3, and 4, farmers used aeration during the day from 9:00 to 17:00 and at night, with basic electricity supplied from 23:00 to 9:00.

Results from the experiment revealed occurrences of power outages (voltage less than 205V) and blackouts. In stages 2, 3, and 4, there were 40, 163, and 20 blackouts, respectively. Additionally, there was one blackout in fish farming phase 2 from 5:29 PM to 6:19 PM. When considering the fish farming phases 2, 3, and 4, a total of 15, 27, and 2 days of warnings were issued, respectively, resulting in a total of 44 days per culture cycle. During the estimation of specific energy consumption per product with combined electricity consumption in phases 2, 3, and 4, it was found that the electricity consumption was 1,382.1kWh, 1,374.6 kWh, and 1,407.6k kWh , respectively, while the electricity costs were 5,984.6 baht, 5,952.12 baht, and 6,095.1 baht, respectively. Thus, for a round of cultivation, the total electricity consumption was 4,164.4 kWh/cycle, with the energy cost totaling 18,031.8 baht/cycle and a yield of 5,450 kg/cycle. Based on these results, it can be concluded that the specific energy consumption in the aquaculture pond is 0.76 kWh/kg, meaning that 0.76 kWh of electricity was consumed per 1 kg of fish produced.

Keywords : NB-IoT technology, Aquaculture pond, Measurement system, Aeration system

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จไปได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับโอกาส การสนับสนุน ความช่วยเหลือ การชี้แนะแนวทางการความรู้ และคำปรึกษาจากผู้ให้การสนับสนุนดังนี้

ขอขอบพระคุณโครงการผลิตและพัฒนาศัทยภาพบัณฑิตทางด้านพลังงานทดแทนในกลุ่มประเทศอาเซียนที่ให้การศึกษานับสนุนในการทำวิจัยครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ดร. ศิรินุช จินดารักษ์ ที่ให้ความกรุณามาเป็นประธานกรรมการในการสอบป้องกันวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ตลอดจนได้ให้คำแนะนำในการแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความถูกต้องและสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น ขอขอบพระคุณ

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ดร.ชวโรจน์ ใจสิน อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่สละเวลาอันมีค่าให้ความรู้ คำปรึกษา และชี้แนะแนวทางการแก้ปัญหา รวมทั้งให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ตลอดมา อีกทั้งยังช่วยตรวจทานวิทยานิพนธ์ให้มีความถูกต้อง และสมบูรณ์มากขึ้น ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ดร. สราวุธ พลวงษ์ศรี และผู้ช่วยศาสตราจารย์ดร.ธงชัย มณีชูเกตุ ที่ให้ความกรุณาเป็นที่ปรึกษาร่วมในงานวิจัยนี้ ตลอดจนบุคลากรจากทั้งวิทยาลัยพลังงานทดแทน และบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้ที่ให้ความร่วมมือ และช่วยเหลือผู้วิจัยในด้านเอกสาร และการดำเนินการต่าง ๆ มาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ทำวิจัย ขอขอบพระคุณหน่วยวิจัยพลังงานและสิ่งแวดล้อมอัจฉริยะ(SEEU) ให้ความช่วยเหลืออุปกรณ์ในการทำวิจัย และขอขอบพระคุณนางวันดี ชีวา ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้สถานที่ทำวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา รวมถึงทุกคนในครอบครัวที่ได้ให้กำลังใจและทุนสนับสนุนวิทยานิพนธ์ตลอดจน พี่ เพื่อน น้อง ๆ SEEU Lab วิทยาลัยพลังงานทดแทน รวมไปถึงทุกคนที่มีส่วนในการช่วยเหลือ ให้กำลังใจ จึงทำให้การทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ซึ่งมีคุณค่ากับผู้วิจัยเป็นอย่างสูง

เกวลิน ยะดิน

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ช
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฐ
สารบัญรูป.....	ท
รายการสัญลักษณ์.....	1
สัญลักษณ์.....	1
อักษรย่อ.....	1
นิยามศัพท์เฉพาะ.....	2
บทที่ 1 ที่มาและความสำคัญ.....	4
วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	5
ขอบเขตการศึกษา.....	5
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี.....	6
2.1 เทคโนโลยี NB-IoT.....	6
2.1.1 สถาปัตยกรรมเครือข่าย NB IoT (NB IoT Network Architecture).....	7
2.1.2 โหมดการทำงานของ NB IoT (Modes of Operation of NB IoT).....	8
2.1.3 การใช้พลังงานต่ำของ NB IoT (Low Power Consumption Using NB IoT).....	9
2.2 อุปกรณ์ควบคุมและระบบตรวจวัด.....	11
2.2.1 โมดูลตรวจวัดพลังงานไฟฟ้า PZEM016.....	11

โปรโตคอลสื่อสาร.....	11
Functional block diagram PZEM016	14
2.2.2 โมดูลตรวจวัดพลังงานไฟฟ้า PZEM017	16
โปรโตคอลสื่อสาร.....	16
Functional block diagram PZEM017	18
2.2.3 โมดูล NB-IoT (AIS).....	19
2.2.5 การแจ้งเตือนสำหรับระบบตรวจวัด	22
2.2.6 การคำนวณสอบเทียบเครื่องมือวัด.....	23
2.3 โปรโตคอล Modbus	24
2.3.1 Modbus Message Framing	26
2.3.2 Modbus Poll.....	27
2.4 เทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์	31
2.4.1 การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์	31
2.4.2 การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์	32
2.5 ระบบเติมอากาศ.....	35
2.6 อินเวอร์เตอร์ (inverter)	36
2.7 การวิเคราะห์ค่าทางพลังงานไฟฟ้า	36
2.8 เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	37
บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	43
3.1 ศึกษาอุปกรณ์และการใช้พลังงานไฟฟ้าในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ	44
1. Laboratory scale (บ่อทดสอบระบบตรวจวัดต้นแบบ)	44
2. Commercial scale (บ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเชิงพาณิชย์).....	47
3.2 ออกแบบและพัฒนาระบบตรวจวัดและแจ้งเตือนทางพลังงานไฟฟ้า.....	50
3.2.1 ออกแบบระบบตรวจวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าร่วมในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ	50

1. การพัฒนาระบบตรวจวัด	51
2. การพัฒนาระบบแจ้งเตือน	54
3.2.2 การพัฒนา Platform แสดงผลการตรวจวัดผ่านเครือข่าย NB	57
3.2.3 การพัฒนาโปรแกรมระบบตรวจวัดและรายงานผล	58
1). การพัฒนาระบบตรวจวัด	58
2). การพัฒนาระบบแจ้งเตือน	64
3.3 สอบเทียบระบบตรวจวัดทางพลังงานไฟฟ้า และทดสอบการรับส่งของข้อมูล ผ่านเครือข่าย ของ NB IoT	65
3.3.1 สอบเทียบเครื่องมือวัด (Calibration).....	65
1. การทดสอบอุปกรณ์ตรวจวัดไฟฟ้ากระแสสลับ (PZEM016)	67
2. การทดสอบอุปกรณ์ตรวจวัดไฟฟ้ากระแสตรง (PZEM017).....	68
3.3.2 การทดสอบการรับส่งข้อมูลของบอร์ด NB	70
3.3.3 การทดสอบการรับส่งข้อมูลการแจ้งเตือนด้วยแอปพลิเคชัน Line	70
3.4 ติดตั้งระบบตรวจวัดและบันทึกผล.....	72
การติดตั้งระบบตรวจวัดในระดับ Laboratory scale (บ่อทดสอบ).....	73
การติดตั้งระบบตรวจวัดในระดับ Commercial scale (บ่อเพาะเลี้ยงเชิงพาณิชย์)	74
3.5 การวิเคราะห์ผลการใช้พลังงานไฟฟ้าและประเมินดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption : SEC)	76
บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิเคราะห์ผล.....	77
4.1 ผลการออกแบบและพัฒนาระบบตรวจวัดระบบตรวจวัดการใช้ไฟฟ้าในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ	77
4.2 ผลการทดสอบอุปกรณ์ตรวจวัดไฟฟ้ากระแสสลับและกระแสตรง.....	80
4.2.1 ผลการทดสอบอุปกรณ์ตรวจวัดไฟฟ้ากระแสสลับ (PZEM016)	80
1) การทดสอบความแม่นยำประเภทแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ	80
2) การทดสอบความแม่นยำประเภทกระแสไฟฟ้าสลับ	82

3) การทดสอบความแม่นยำประเภทกำลังไฟฟ้ากระแสสลับฟ้า	84
4) การทดสอบความเที่ยงตรงประเภทแรงดันไฟฟ้าสลับ.....	86
5) การทดสอบความเที่ยงตรงประเภทกระแสไฟฟ้าสลับ	88
6) การทดสอบความเที่ยงตรงประเภทกำลังไฟฟ้าสลับ	90
4.2.2 ผลการทดสอบอุปกรณ์ตรวจวัดไฟฟ้ากระแสตรง (PZEM017).....	92
1) การทดสอบความแม่นยำประเภทแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง	92
2) การทดสอบความแม่นยำประเภทกระแสไฟฟ้าตรง	94
3) การทดสอบความแม่นยำประเภทกำลังไฟฟ้ากระแสตรง.....	96
4) การทดสอบความเที่ยงตรงประเภทแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง.....	98
5) การทดสอบความเที่ยงตรงประเภทกระแสไฟฟ้ากระแสตรง.....	100
6) การทดสอบความเที่ยงตรงประเภทกำลังไฟฟ้ากระแสตรง	102
4.3 ผลการทดสอบการส่งข้อมูลของ NB.....	105
4.4 ผลการทดสอบระบบแจ้งเตือน	106
1. ผลแจ้งเตือนแรงดันไฟฟ้า.....	106
2. ผลแจ้งเตือนปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า.....	107
4.5 ผลการประเมินการใช้พลังงานไฟฟ้าแบบร่วมในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ	108
4.5.1 การใช้พลังงานแบบร่วมในบ่อทดสอบ (Laboratory Scale Lab).....	108
4.5.2 การใช้พลังงานแบบร่วมในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเชิงพาณิชย์ (Commercial Scale Lab)	111
4.6 ผลการแจ้งเตือนในไลน์	115
4.7 ดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าจำเพาะต่อผลผลิต (SEC)	116
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย	118
ภาคผนวก.....	120
ภาคผนวก ก การสร้าง platform เพื่อรองรับการรายงานผลข้อมูล	121

ภาคผนวก ข ตัวอย่างการคำนวณการสอบเทียบอุปกรณ์ตรวจวัด	129
การคำนวณค่าความแม่นยำ (Accuracy).....	129
การคำนวณค่าความเที่ยงตรง (Precision).....	129
การคำนวณกำลังไฟฟ้า	130
การคำนวณกำลังไฟฟ้า สำหรับ 3 phase.....	130
การคำนวณพลังงานไฟฟ้า	131
การคำนวณค่าดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าจำเพาะ.....	131
ภาคผนวก ค ผลงานทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์	132
การเผยแพร่งานวิจัยในการประชุมวิชาการระดับนานาชาติ	132
การเผยแพร่งานวิจัยในวารสารทางวิชาการ	143
บรรณานุกรม.....	145
ประวัติผู้วิจัย.....	149



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 คุณสมบัติการวัดค่าพารามิเตอร์ PZEM016	11
ตารางที่ 2 Input register address	12
ตารางที่ 3 ฟังก์ชันพารามิเตอร์ PZEM017.....	16
ตารางที่ 4 Input register address PZEM017	17
ตารางที่ 5 คุณสมบัติโมดูล NB IoT	20
ตารางที่ 6 การเปรียบเทียบของ Exclusive-OR.....	26
ตารางที่ 7 อุปกรณ์ไฟฟ้าในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ laboratory scale.....	46
ตารางที่ 8 อุปกรณ์ไฟฟ้าในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ commercial scale.....	49
ตารางที่ 9 อุปกรณ์ควบคุมในระบบตรวจวัด.....	53
ตารางที่ 10 สรุปค่าความแม่นยำและเที่ยงตรง PZEM016.....	104
ตารางที่ 11 สรุปค่าความแม่นยำและเที่ยงตรง PZEM017.....	104
ตารางที่ 12 การแจ้งเตือน Line	115
ตารางที่ 13 ปริมาณการใช้ไฟฟ้าในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ	117

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1 คุณสมบัติ NB-IoT	6
รูปที่ 2 สถาปัตยกรรม NB-IoT	7
รูปที่ 3 โหมดการทำงาน NB IoT	8
รูปที่ 4 PSM and eDRX modes to save power.....	10
รูปที่ 5 ไดอะแกรม PZEM016	15
รูปที่ 6 การนำ PZEM016 มาประยุกต์ใช้งานร่วมกับบอร์ด NB.....	15
รูปที่ 7 ไดอะแกรม PZEM017	18
รูปที่ 8 การนำ PZEM017 มาประยุกต์ใช้งานร่วมกับบอร์ด NB.....	18
รูปที่ 9 โมดูล NB IoT	19
รูปที่ 10 Generate token	22
รูปที่ 11 การกำหนดกลุ่มเป้าหมายและชื่อการแจ้งเตือน	22
รูปที่ 12 token Line Notify	23
รูปที่ 13 วงจรคำสั่งขอ-ตอบรับของ Master-Slave	25
รูปที่ 14 การคำนวณหา CRC ด้วยเว็บไซต์ออนไลน์	27
รูปที่ 15 Connection Modbus Poll	27
รูปที่ 16 การเชื่อมต่อโมดูล PZEM กับโปรแกรม Modbus Poll	28
รูปที่ 17 ตั้งค่า Read/Write Definition	29
รูปที่ 18 กำหนดพารามิเตอร์สำหรับการอ่านค่าและแสดงผล	30
รูปที่ 19 ผลแสดงบน Modbus Poll.....	30
รูปที่ 20 การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์	31
รูปที่ 21 ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ	32

รูปที่ 22 ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่าย.....	33
รูปที่ 23 ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน	34
รูปที่ 24 ระบบเติมอากาศที่ใช้ในการตรวจวัด.....	35
รูปที่ 25 บอร์ดเทอร์มินัลควบคุมส่วนกลางไร้สาย.....	38
รูปที่ 26 บอร์ดตรวจวัดอุณหภูมิแบบไร้สาย.....	38
รูปที่ 27 บอร์ดวงจรการประมวลผลข้อมูลเครื่องวัดออกซิเจนที่ละลายในน้ำและ PH แบบไร้สาย ...	38
รูปที่ 28 บอร์ดควบคุมไหลด์ไร้สาย.....	38
รูปที่ 29 บอร์ดไฟฟ้า	38
รูปที่ 30 แผนภาพฮาร์ดแวร์.....	39
รูปที่ 31 หน้าจอถือกอน.....	40
รูปที่ 32 หน้าการตรวจสอบ	40
รูปที่ 33 แผนภาพของโปรแกรมเซนเซอร์.....	41
รูปที่ 34 หน้าจอเริ่มต้นของการอินเตอร์เฟซเซิร์ฟเวอร์.....	41
รูปที่ 35 อินเตอร์เฟซการตรวจสอบสภาพแวดล้อม	41
รูปที่ 36 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	43
รูปที่ 37 แผนผังระบบตรวจวัดต้นแบบในบ่อทดสอบ	44
รูปที่ 38 แผนผังระบบตรวจวัดในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเชิงพาณิชย์	47
รูปที่ 39 การสื่อสารเชื่อมต่อบริเวณตรวจวัดพลังงานไฟฟ้า	50
รูปที่ 40 อัลกอริทึมระบบตรวจวัด.....	52
รูปที่ 41 การออกแบบการทำงานของระบบแจ้งเตือนแรงดันไฟฟ้า.....	55
รูปที่ 42 การออกแบบการทำงานของระบบแจ้งเตือนพลังงานไฟฟ้า	56
รูปที่ 43 Magellan Platform.....	57
รูปที่ 44 คำสั่งเฟรมเวิร์คของโมดูล PZEM.....	58
รูปที่ 45 การจัดเรียงคำสั่งเฟรมเวิร์ค	59

รูปที่ 46 อัลกอริทึมระบบตรวจวัด	61
รูปที่ 47 การแปลง byte อ่านค่าพารามิเตอร์.....	63
รูปที่ 48 การพัฒนาโปรแกรมระบบตรวจวัดส่วนรายงานผล.....	64
รูปที่ 49 Variac.....	65
รูปที่ 50 DC POWER SUPPLY.....	65
รูปที่ 51 มัลติมิเตอร์ UNI-T UT204+	66
รูปที่ 52 โหลดทดสอบไฟฟ้ากระแสสลับ (PZEM016).....	66
รูปที่ 53 โหลดทดสอบไฟฟ้ากระแสตรง (PZEM017).....	66
รูปที่ 54 สอบเทียบแรงดันไฟฟ้า PZEM016.....	67
รูปที่ 55 สอบเทียบกระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้า PZEM016.....	67
รูปที่ 56 สอบเทียบแรงดันไฟฟ้า PZEM017.....	68
รูปที่ 57 สอบเทียบกระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้า PZEM017.....	69
รูปที่ 58 วงจรการทดสอบระบบแจ้งเตือนไฟตกไฟดับ	71
รูปที่ 59 การทดสอบระบบแจ้งเตือนการใช้พลังงานไฟฟ้า	72
รูปที่ 60 การติดตั้งระบบตรวจวัดในระดับ Laboratory scale	73
รูปที่ 61 การติดตั้งระบบตรวจวัดในระดับ Commercial scale	74
รูปที่ 62 ไฟล์ Excel จากการดาวโหลดข้อมูลบนแพลตฟอร์ม Magellan.....	74
รูปที่ 63 จุดติดตั้งระบบตรวจวัด.....	75
รูปที่ 64 ระบบตรวจวัดต้นแบบ.....	77
รูปที่ 65 บอร์ด NB ตรวจวัดระดับ commercial scale	78
รูปที่ 66 หน้า dashboard แสดงผล	79
รูปที่ 67 เปอร์เซ็นต์ค่าความแม่นยำแรงดันไฟฟ้า PZEM016	81
รูปที่ 68 เปอร์เซ็นต์ค่าความแม่นยำกระแสไฟฟ้า PZEM016	83
รูปที่ 69 เปอร์เซ็นต์ค่าความแม่นยำกำลังไฟฟ้า PZEM016	85

รูปที่ 70	เปอร์เซ็นต์ค่าความเที่ยงตรงแรงดันไฟฟ้า PZEM016.....	87
รูปที่ 71	เปอร์เซ็นต์ค่าความเที่ยงตรงกระแสไฟฟ้า PZEM016.....	89
รูปที่ 72	เปอร์เซ็นต์ค่าความเที่ยงตรงกำลังไฟฟ้า PZEM016	91
รูปที่ 73	เปอร์เซ็นต์ค่าความแม่นยำแรงดันไฟฟ้า PZEM017	93
รูปที่ 74	เปอร์เซ็นต์ค่าความแม่นยำกระแสไฟฟ้า PZEM017	95
รูปที่ 75	เปอร์เซ็นต์ค่าความแม่นยำกำลังไฟฟ้า PZEM017	97
รูปที่ 76	เปอร์เซ็นต์ค่าความเที่ยงตรงแรงดันไฟฟ้า PZEM017.....	99
รูปที่ 77	เปอร์เซ็นต์ค่าความเที่ยงตรงกระแสไฟฟ้า PZEM017.....	101
รูปที่ 78	เปอร์เซ็นต์ค่าความเที่ยงตรงกำลังไฟฟ้า PZEM017	103
รูปที่ 79	ผลการส่งข้อมูลของบอร์ด NB	105
รูปที่ 80	ผลการส่งข้อมูลของบอร์ด NB รายชั่วโมง.....	105
รูปที่ 81	ผลการแจ้งเตือนแรงดันไฟฟ้า	106
รูปที่ 82	ทดสอบการแจ้งเตือนแรงดันไฟฟ้าบน Line	106
รูปที่ 83	ทดสอบการแจ้งเตือนพลังงานไฟฟ้าบน Line	107
รูปที่ 84	ผลการแจ้งเตือน.....	108
รูปที่ 85	ค่าพารามิเตอร์ Laboratory scale.....	110
รูปที่ 86	ค่าพารามิเตอร์ในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ.....	113
รูปที่ 87	การแจ้งเตือนบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำใน Line.....	115
รูปที่ 88	การใช้พลังงานไฟฟ้าใน 1 รอบการเพาะเลี้ยง	116

รายการสัญลักษณ์

สัญลักษณ์

X_{mean}	ค่าจากอุปกรณ์ตรวจวัด
X_t	ค่าจากอุปกรณ์อ้างอิงมาตรฐาน
X_i	ค่าการวัดที่ได้จากอุปกรณ์ตรวจวัดในแต่ละครั้ง
\bar{X}_i	ค่าเฉลี่ยที่ได้จากอุปกรณ์ตรวจวัดของการวัด
%Pre	เปอร์เซ็นต์ความเที่ยงตรงของการวัด
P_{load}	กำลังไฟฟ้าจ่ายไปยังโหลด (kW)
I_{load}	กระแสไฟฟ้าที่จ่ายไปยังโหลด (kW)
V_{load}	แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายไปยังโหลด (V)

อักษรย่อ

TTL	Time to live
GW	Gateway
CoAP	Constrained Application Protocol
IoT	Internet Of Things
AC	Alternating Current
DC	Direct Current
LPWAN	Low Power Wide Area Network
PF	Power Factor
UART	Universal Asynchronous Receiver Transmitter
UDP	User Datagram Protocol

นิยามศัพท์เฉพาะ

TTL	ระยะเวลาที่ package ถูกตั้งค่าให้อยู่ภายในเครือข่ายก่อนที่จะมีการหมดอายุที่เรียกว่าซีตจำกัดเวลาโดย router
CoAP	- เป็นโปรโตคอลที่รันบน UDP ซึ่งไม่มีการสร้างการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ปลายทางส่งข้อมูลได้เร็วมากแต่ไม่การันตีว่าข้อมูลจะถูกส่งไปยังปลายทางอย่างแน่นอนและถูกต้อง
HTTP	- CoAP ออกแบบมาสำหรับการแลกเปลี่ยนข้อมูลแบบ one-to-one เหมาะสำหรับแอปพลิเคชันแบบกระจายศูนย์ ที่มีอุปกรณ์อยู่บนเครือข่ายเดียวกันสามารถติดต่อกันได้โดยตรง โปรโตคอลที่เป็นรากฐานของ WWW และสามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้กับแอปพลิเคชันจำพวกไคลเอ็นต์/เซิร์ฟเวอร์ สำหรับส่งผ่านข้อมูลลักษณะของไฮเปอร์เท็กซ์ ข้อมูลที่ถูกเคลื่อนย้ายผ่านโปรโตคอลนี้อาจเป็น ข้อความธรรมดาๆ, ไฮเปอร์เท็กซ์, ภาพ, เสียง หรือข้อมูลที่ช่วยให้ผู้ใช้เข้าถึงอินเทอร์เน็ตได้
Gateway	จุดเชื่อมต่อของเครือข่ายทำหน้าที่เป็นทางเข้าสู่ระบบเครือข่ายต่างๆ
Cloud Server	เป็นการเชื่อมต่อกับเซิร์ฟเวอร์เสมือนหลาย ๆ เครื่องที่บรรจุซอฟต์แวร์และแอปพลิเคชันต่าง ๆ รวมถึงข้อมูลและการทำงานในลักษณะของ Web Hosting เอาไว้เพื่อให้คอมพิวเตอร์เครื่องอื่นสามารถเรียกใช้งานข้อมูล แอปพลิเคชันหรือซอฟต์แวร์ที่อยู่ใน cloud server มาใช้งานได้
UART	อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับและส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัสซึ่งเป็นส่วนหนึ่งในการสื่อสารอนุกรม

นิยามศัพท์เฉพาะ(ต่อ)

RS485	เป็นมาตรฐานที่รับ-ส่งข้อมูลในแบบที่เรียกว่า Half duplex คือสามารถรับและส่งข้อมูลได้ทีละอย่างเท่านั้นไม่สามารถทำทั้งสองอย่างได้ในเวลาเดียวกัน
RS232	เป็นมาตรฐานการส่งข้อมูลแบบอนุกรมสามารถรับส่งข้อมูลได้ในเวลาเดียวกัน
TX	ขาส่งข้อมูล
RX	ขารับข้อมูล
GND	ขาสัญญาณ Ground
AC	ไฟฟ้ากระแสตรง
DC	ไฟฟ้ากระแสสลับ
LPWAN	การเชื่อมต่อบนเครือข่ายในระยะทางไกลได้โดยใช้พลังงานต่ำ
UDP	เป็นโปรโตคอลหลักในอินเทอร์เน็ตที่เรียกว่า Datagram ซึ่งเป็นข้อมูลขนาดเล็กกว่าส่งผ่านเครือข่ายไปยังเครื่องปลายทางแต่ UDP จะไม่รับประกันความน่าเชื่อถือของข้อมูลแต่ส่งข้อมูลเร็ว
PF	ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

บทที่ 1

ที่มาและความสำคัญ

การจัดการฟาร์มเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ความสะอาดของน้ำเป็นปัจจัยที่สำคัญในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (เกวลิน, 2559) รวมไปถึงค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO) เป็นสิ่งบ่งบอกถึงสภาพน้ำที่เหมาะสมในการเลี้ยงสัตว์น้ำ ค่าอุณหภูมิ ความชื้น ความเข้มแสง และ pH ล้วนส่งผลต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเวลากลางคืน (Dupont et al., 2018) จะมีค่าออกซิเจนละลายในน้ำลดลงจึงทำให้สัตว์น้ำเครียด อ่อนแอ กินอาหารลดลง เติบโตช้า ติดโรคได้ง่าย และอาจจะทำให้สัตว์น้ำตายได้ดังนั้นระบบเติมอากาศจึงมีความจำเป็นเพื่อใช้ในการเพิ่มปริมาณออกซิเจนให้ละลายในน้ำเพียงพอสำหรับกระบวนการหายใจของสัตว์น้ำ (ศิริวรรณ, 2561) ในเวลากลางคืนจะมีการเปิดระบบเติมอากาศไว้เป็นระยะเวลานานหลายชั่วโมง จึงส่งผลเรื่องค่าไฟฟ้าทำให้เสียค่าไฟฟ้ามากเป็นการเพิ่มต้นทุนในการเพาะเลี้ยงสัตว์ของเกษตรกร และในกรณีไฟฟ้าดับจะเกิดปัญหาการขาดออกซิเจนของสัตว์น้ำซึ่งโดยปกติแล้วเกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์น้ำจะแก้ปัญหาได้ล่าช้าเนื่องจากการติดตามการทำงานของระบบไฟฟ้าของเครื่องเติมอากาศไม่เป็นระบบอัตโนมัติที่รวดเร็ว

ระบบตรวจวัดและแจ้งเตือนจึงมีบทบาทที่สำคัญในการช่วยดูแลสภาพน้ำที่เหมาะสม (Paulin et al., 2017) และยังสามารถช่วยจัดการด้านพลังงานไฟฟ้าภายในฟาร์มได้อีกด้วย โดยผลการตรวจวัดและวิเคราะห์ปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ รวมไปถึงระบบไฟฟ้าที่ส่งผลกระทบต่อการทำงานภายในฟาร์มจะถูกนำไปใช้ในการควบคุมที่เหมาะสม และยังสามารถแจ้งเตือนผ่านอุปกรณ์ด้วยระบบอินเทอร์เน็ตและสมาร์ตโฟน ด้วยเทคโนโลยี IoT ที่มีความทันสมัยและรวดเร็ว เพื่อให้ผู้ใช้งานทราบถึงสาเหตุของปัญหาต่างๆ ภายในฟาร์มเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำทำให้สามารถทำการแก้ไขปัญหาหรือปรับปรุงกระบวนการได้โดยเร็ว เพื่อลดปัญหาการตายของสัตว์น้ำ รวมถึงการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในฟาร์มเพื่อจัดการค่าใช้จ่ายทางไฟฟ้า โดยที่ผ่านมามีการนำเทคโนโลยี IoT มาประยุกต์ใช้ในระบบตรวจสอบคุณภาพน้ำในบ่อปลาเช่น การตรวจวัด pH, ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ และอุณหภูมิ มีการส่งข้อมูลแบบเรียลไทม์ตามโดย LoRa gateway ร่วมกับอินเทอร์เน็ต 3G

โดยงานวิจัยเล่มนี้ผู้วิจัยจึงได้มีแนวคิดที่จะพัฒนาออกแบบอุปกรณ์ตรวจวัดการใช้พลังงานทางไฟฟ้า ซึ่งในระบบการจัดการฟาร์มเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจะมีการตรวจวัดและประเมินการใช้พลังงานไฟฟ้าของบ่อปลา โดยระบบเติมอากาศใช้ไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับระบบไฟฟ้าพื้นฐานโดยการใช้ไฟฟ้าที่ถูกควบคุมด้วย Solar Hybrid Inverter โดยแปลงไฟฟ้า DC (จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์) ให้เป็นไฟฟ้า AC ส่งมายังโหลดเพื่อใช้งาน และเก็บข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้าเช่น ค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า พลังงานไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้า ไว้บน Cloud Server (Magellan Platform) ที่ใช้ร่วมกับเทคโนโลยี NB-IoT ซึ่งเป็นระบบโครงข่ายที่ใช้พลังงานต่ำ (Low Power Wide

Area Network : LPWAN) ที่ถูกพัฒนามาเพื่อให้อุปกรณ์ต่างๆ สามารถเชื่อมต่อเข้าหากันได้โดยผ่านเครือข่ายของสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่ มีการใช้พลังงานต่ำเป็นการช่วยลดการใช้พลังงานจากการส่งข้อมูล และมีระยะทางในการส่งข้อมูลสามารถส่งได้ไกลกว่า 10 กิโลเมตร ด้วยเทคโนโลยีนี้มีการนำมาใช้สำหรับบ่อปลาเพื่อแก้ไขปัญหาการขาดทุนของเกษตรกรผู้เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจากปัญหาการขาดออกซิเจนของสัตว์น้ำ และปัญหาค่าไฟฟ้าที่เกิดขึ้น ผ่านระบบ IoT โดยมีระบบการแจ้งเตือน

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อประเมิน พัฒนาระบบรายงานและการแจ้งเตือน การใช้พลังงานไฟฟ้าแบบรวมสำหรับบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ
2. เพื่อประเมินหาค่าดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าจำเพาะที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าแบบรวม

ขอบเขตการศึกษา

1. ออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์ตรวจวัดและแจ้งเตือนปริมาณการใช้ไฟฟ้าในบ่อเพาะเลี้ยงและส่งข้อมูลผ่านอุปกรณ์ NB
2. ทดสอบอุปกรณ์ตรวจวัดและส่งข้อมูลผ่านเครือข่าย NB และทดสอบการแจ้งเตือนการใช้พลังงานไฟฟ้าผ่านแอปพลิเคชัน LINE
3. ตรวจวัดประเมินหาค่าดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าจำเพาะของสัตว์น้ำที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าแบบรวมกันคือไฟฟ้าจากไฟฟ้าพื้นฐานและไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์
4. ตรวจวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าของบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอย่างน้อย 1 บ่อ
5. บ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำใช้ระบบเติมอากาศแบบหัวทราย

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

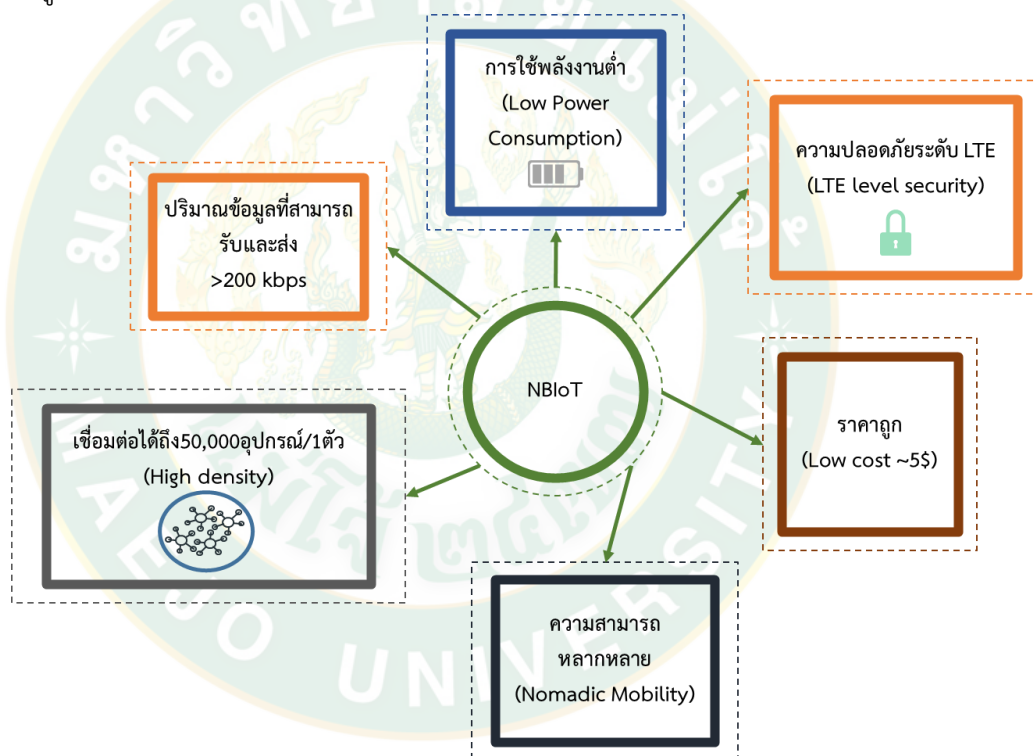
1. ระบบตรวจวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าแบบอัตโนมัติที่แสดงผลข้อมูลด้วยเทคโนโลยี NB-IoT บนแพลตฟอร์ม Magellan
2. ทำให้ทราบข้อมูลค่าพารามิเตอร์พลังงานไฟฟ้าได้อย่างรวดเร็วและสามารถแจ้งเตือนไปยังผู้ใช้งานให้ทราบปัญหาที่เกิดขึ้นในกรณีไฟดับหรือระบบเติมอากาศไม่ทำงานทำให้สามารถแก้ไขปัญหาได้ทันเวลา
3. ทำให้ทราบถึงปริมาณการใช้ไฟฟ้าต่อผลผลิตของการเพาะเลี้ยงโดยคำนวณกำไรหรือค่าใช้จ่ายทางพลังงานไฟฟ้าได้เบื้องต้นได้

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎี

2.1 เทคโนโลยี NB-IoT

NB-IoT (Popli et al., 2019) เป็นเทคโนโลยีล่าสุดที่ได้รับการระบุและสร้างมาตรฐานในช่วงเวลาสั้นๆ เพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้าหรือผู้ใช้บริการ สามารถรองรับการตลาดแอปพลิเคชัน IoT ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ที่มีการอินเตอร์เฟสคลื่นวิทยุอิสระนี้เชื่อมต่อกับ LTE ซึ่งแสดงให้เห็นถึงผสานข้อมูลสเปกในข้อกำหนด LTE ปัจจุบัน สามารถตอบสนองความต้องการของ mMTC (massive Machine Type Communication, การสื่อสารประเภทเครื่องขนาดใหญ่) โดยคุณสมบัติดังต่อไปนี้ (รูปที่ 1)



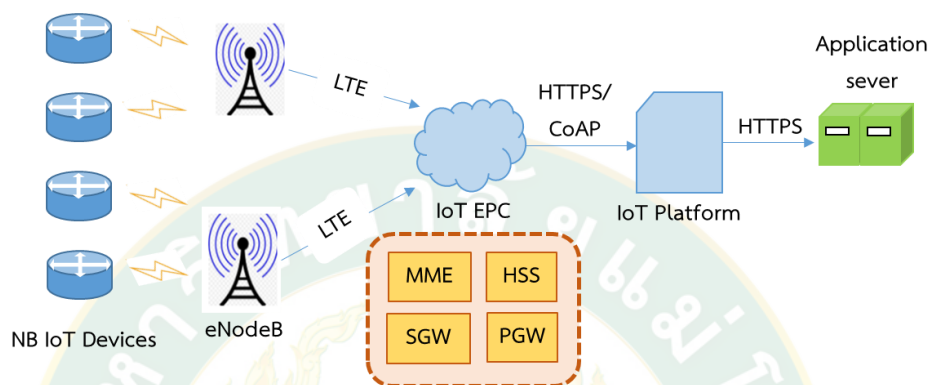
รูปที่ 1 คุณสมบัติ NB-IoT

- การออกแบบ NB IoT คือการยืดอายุการใช้งานแบตเตอรี่

เพื่ออายุการใช้งานแบตเตอรี่ที่ยาวนาน จากการใช้พลังงานลดลงโดยใช้ eDRX (การรับสัญญาณที่ไม่ต่อเนื่องเป็นเวลานาน) และคุณสมบัติ PSM (โหมดประหยัดพลังงาน) ในการรับสัญญาณที่ไม่ต่อเนื่องเป็นเวลานาน ในขณะที่ใน PSM ของอุปกรณ์ยังคงอยู่ในสถานะรับสัญญาณ

2.1.1 สถาปัตยกรรมเครือข่าย NB IoT (NB IoT Network Architecture)

สถาปัตยกรรม NB-IoT แสดงดังรูปที่ 2 NB-IoT ลดความซับซ้อนของสถาปัตยกรรม EPC เพื่อรองรับการส่งข้อมูลขนาดเล็กที่จำเป็นสำหรับแอปพลิเคชัน ในรูปแบบของ User Plane และการเพิ่มประสิทธิภาพ EPC ของ Control Plane



รูปที่ 2 สถาปัตยกรรม NB-IoT

อุปกรณ์ NB-IoT นี้หรืออุปกรณ์ของผู้ใช้จะสื่อสารกับ eNodeB หลังจากนั้น eNodeB จะเชื่อมต่อด้วย IoT evolved packet core (EPC) ที่ประกอบด้วย การให้บริการ GW, เครือข่ายข้อมูลแพ็คเก็ต GW, การจัดการการเคลื่อนไหว, เซิร์ฟเวอร์ Home Subscriber หลังจากนั้น eNodeB ถ่ายโอน NAS (non-access stratum) หรือข้อความส่งสัญญาณไปยัง EPC (สามารถรองรับการจัดการข้อมูลอย่างมีประสิทธิภาพ) โดยพื้นฐานแล้ว NAS เป็นโปรโตคอลที่ถ่ายโอนสัญญาณที่ไม่ใช่สัญญาณวิทยุระหว่างอุปกรณ์ของผู้ใช้และ MME ซึ่งมีข้อมูลสำหรับการจัดการเซสชันและ Mobility ต่อไปจะดำเนินการประมวลผล EPC แล้วค้นหาขั้นต่อไปไปยังแพลตฟอร์ม IoT แพลตฟอร์ม IoT ส่งข้อมูลไปยังเซิร์ฟเวอร์แอปพลิเคชันในรูปแบบที่รองรับ ข้อมูลนี้จะถูกประมวลผลโดยเซิร์ฟเวอร์แอปพลิเคชัน โดยมีสองวิธีในการส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ NB-IoT และเซิร์ฟเวอร์แอปพลิเคชัน โดยใช้ IP และไม่ใช่ IP อย่างไรก็ตามการไม่ใช่ IP ได้รับการรับรองมากกว่าเนื่องจากช่วยลดค่าใช้จ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้ และการส่งยังมีความปลอดภัยมากขึ้นเนื่องจากรองรับ IP เป้าหมายเพียงตัวเดียว

2.1.2 โหมดการทำงานของ NB IoT (Modes of Operation of NB IoT)

ผู้ให้บริการ NBloT มีโหมดมีรูปแบบการทำงานสามโหมด คือ standalone, in-band, และ guard band (รูปที่ 3)

- การทำงานโหมด standalone

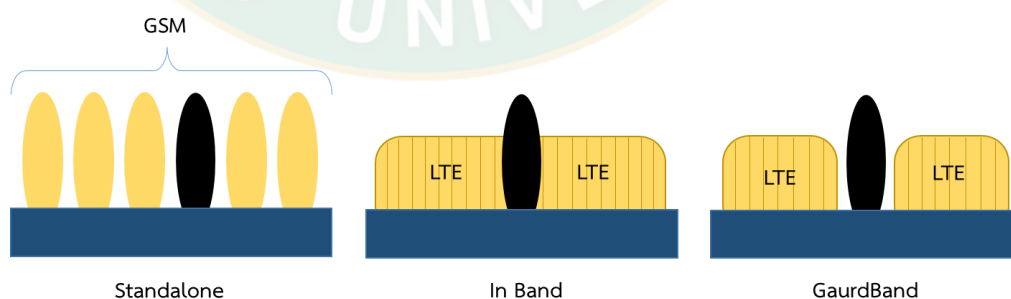
ในโหมดนี้คลื่นความถี่ที่แยกไว้สำหรับเทคโนโลยีการเข้าถึงวิทยุ เช่น GSM/UMTS หรือคลื่นความถี่เฉพาะ โดยจะปรับใช้สำหรับผู้ให้บริการ NB-IoT อย่างไรก็ตามสิ่งนี้จะทำให้ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการเพิ่มขึ้น เนื่องจากจำเป็นต้องมีการอัปเดตซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์สำหรับการปรับคลื่นความถี่ใหม่

- การทำงานโหมด In Band

ในโหมดนี้ NBloT จะถูกใช้สำหรับผู้ให้บริการ LTE การแชร์บล็อกทรัพยากรจะส่งผลให้ประสิทธิภาพของคลื่นความถี่มากขึ้น (การใช้คลื่นความถี่มีประสิทธิภาพมากขึ้น) ซึ่งจะทำให้มีกำลังการผลิตเพิ่มขึ้น LTE ในขณะที่โหมดการส่งใน uplink จะมีการแทรกแซงระหว่าง NB-IoT และ LTE (ช่องระหว่างผู้ให้บริการย่อย 3.75 kHz) แม้ว่าจะมีการรบกวนนี้สามารถลดลงได้โดยการกำหนดเวลาของผู้ใช้งาน ด้วยข้อกำหนด SNR ที่คล้ายกัน ใน NB-IoT และ LTE PRBs ที่ใกล้เคียง นอกจากนี้ยังเป็นวิธีที่ประหยัดค่าใช้จ่ายเนื่องจากไม่จำเป็นต้องมีการปรับเปลี่ยนฮาร์ดแวร์

- การทำงานโหมด guard band

ในโหมดนี้ ผู้ให้บริการ NB IoT จะอยู่ภายในแถบป้องกันของผู้ให้บริการ LTE เพื่อหลีกเลี่ยงสัญญาณรบกวน โหมดนี้ให้ downlink throughput ที่ดีกว่า เมื่อเทียบกับ in band เนื่องจากมีทรัพยากร downlink มาก ที่พร้อมใช้งานซึ่ง NB ของ AIS มีลักษณะการทำงานในรูปแบบ guard band

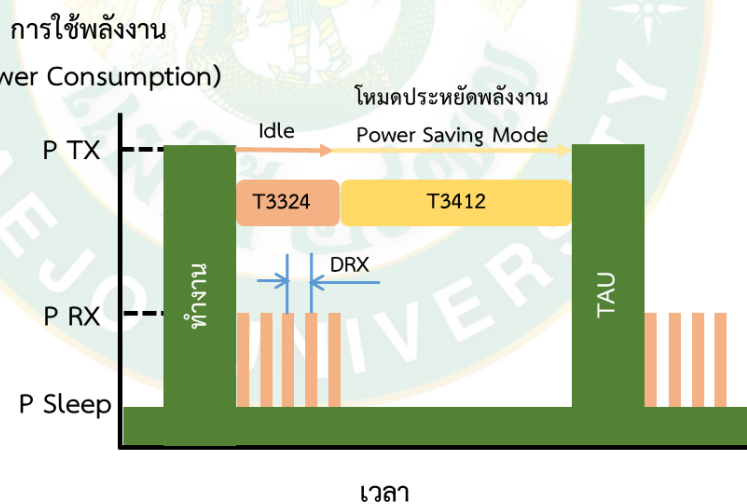


รูปที่ 3 โหมดการทำงานของ NB IoT

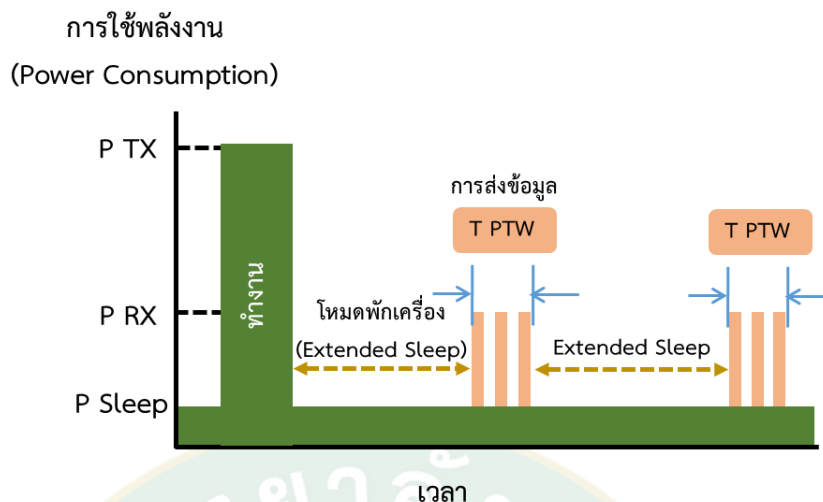
(<https://www.link-labs.com/blog/nb-iot-vs-lora-vs-sigfox>)

2.1.3 การใช้พลังงานต่ำของ NB IoT (Low Power Consumption Using NB IoT)

การประหยัดพลังงานของอุปกรณ์ที่ใช้แบตเตอรี่เป็นปัจจัยสำคัญสำหรับการนำแอปพลิเคชัน LPWAN มาใช้ ซึ่งมี 2 คุณสมบัติหลักคือ โหมดประหยัดพลังงาน (PSM mode , Power Saving Mode) และโหมดรับสัญญาณ RX ไม่ต่อเนื่องแบบขยาย (Extended Discontinuous reception RX) เพื่อยืดอายุการใช้งานแบตเตอรี่ของอุปกรณ์ได้ถึงสิบปีหรือมากกว่ารูปที่ 4 (a) แสดงอุปกรณ์ในโหมด PSM ซึ่งจะเข้าสู่โหมด sleep และไม่สามารถรับสัญญาณใดๆ ได้ ในโหมดนี้ register ของอุปกรณ์ยังเชื่อมต่อกับเครือข่าย โดยที่โหมด PSM จำกัดพลังงานในการสร้างการเชื่อมต่อใหม่โดยไม่จำเป็นเมื่ออุปกรณ์เริ่มทำงาน ดังนั้นจะไม่เพียงแต่ส่งผลให้ประหยัดพลังงานแต่ยังช่วยลดความแออัดของเครือข่ายจากการเปิดใช้อุปกรณ์ที่ทำงานต่างกัน จึงเหมาะสำหรับการใช้งานที่ต้องการการส่งแบบเป็นระยะๆ (เช่น วันละครั้ง) อุปกรณ์สามารถสลับโหมด PSM โดยตัวจับเวลา 2 ตัวคือ T3324 ((ตัวตั้งเวลาใช้งาน, active timer) เวลาสูงสุดที่อุปกรณ์จะยังคงอยู่ในสถานะใช้งานอยู่คือ 186 นาที) และ T3412 (ตัวตั้งเวลาพักการใช้งาน, extended timer) เวลาพักเครื่องสูงสุดสำหรับอุปกรณ์คือ 413 วัน) ที่ต่อเข้ากับ TAU (tracking area update) คือพื้นที่การทำงานหลังการอัปเดต



(a) โหมดประหยัดพลังงาน (PSM mode)



(b) Extended DRX ใน Idle mode

รูปที่ 4 PSM and eDRX modes to save power

อย่างไรก็ตามโหมด PSM ขึ้นอยู่กับเครือข่ายที่สามารถยอมรับ, รองรับตัวจับเวลา นอกจากนี้ยังมีอีกอุปสรรคในการใช้โหมด PSM คืออุปกรณ์ไม่สามารถเข้าถึงโหมดนี้ได้เป็นเวลานานจึงต้องกำหนดค่าที่เหมาะสมระหว่างการตอบสนองและการให้อุปกรณ์อยู่ในโหมด PSM เพื่อให้ได้สมดุลที่ดีในการทำงานของอุปกรณ์

รูปที่ 4 (b) แสดงคุณสมบัติหลักอีกอย่างคือ eDRX คือการรับข้อมูลแบบไม่ต่อเนื่อง (Extended Discontinuous Reception) จะประหยัดพลังงานมากกว่าเมื่อเทียบกับโหมด PSM เนื่องจาก eDRX ช่วยลดระยะเวลาของอุปกรณ์ด้วยการสลับโหมดในโหมดรับข้อมูล (receiving mode) และการขยายรอบการสลับ (โหมดการพักเครื่อง, Extended Sleep) ใน idle มากกว่าโหมดการเชื่อมต่อ ในปัจจุบัน LTE สามารถขยายเวลาได้ 10.24 วินาที ในขณะที่ eDRX มีการขยายช่วงการสลับสำหรับเป็นนาทีกและชั่วโมง ดังนั้นการชิงโครโนซอร์ระหว่างเครือข่ายและอุปกรณ์ที่ใช้สามารถประหยัดพลังงานได้ถึง 43% โดยใช้ eDRX ด้วย PTW (Paging Transmission Window) ขนาดเล็ก การใช้พลังงานหลังจาก PTW ระหว่างโหมดการพักเครื่องจะต่ำมาก ดังนั้น eDRX จะประหยัดพลังงานมากขึ้นอีกจากคุณสมบัติที่มีความซับซ้อนน้อยลงลดค่าใช้จ่ายของช่องสัญญาณการวัดและยังช่วยลดการใช้พลังงานจึงยืดอายุการใช้งานแบตเตอรี่

2.2 อุปกรณ์ควบคุมและระบบตรวจวัด

ระบบตรวจวัดใช้โมดูลตรวจวัดที่สำคัญคือโมดูลตรวจวัดไฟฟ้ากระแสสลับ PZEM016 และโมดูลตรวจวัดไฟฟ้ากระแสตรง PZEM017 ส่วนควบคุมใช้โมดูล NB เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์เนื่องจากมีชิพ ESP32 นอกจากโมดูลตรวจวัดแล้วแล้วยังมีระบบแจ้งเตือนที่ทำงานร่วมกับระบบตรวจวัด

2.2.1 โมดูลตรวจวัดพลังงานไฟฟ้า PZEM016

โมดูลการสื่อสาร AC PZEM016 ส่วนใหญ่จะใช้สำหรับการวัดไฟฟ้ากระแสสลับ ในงานวิจัยนี้ใช้ตรวจวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าพื้นฐานที่จ่ายให้กับอินเวอร์เตอร์ที่ดึงไฟฟ้าพื้นฐานมาใช้ร่วมกับไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ โดยสามารถใช้วัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น แรงดันไฟฟ้า, กระแส, พลังงานที่ใช้งาน, ความถี่, กำลังไฟฟ้า (ดังตารางที่ 1) ช่วงการวัด 100A (หม้อแปลงไฟฟ้าภายนอก) และสื่อสารเชื่อมต่อด้วยด้วย RS485

ตารางที่ 1 คุณสมบัติการวัดค่าพารามิเตอร์ PZEM016

Function description	Measuring range
Voltage	80-260V
Current	0-100A
Starting measure current	0.02
Active Power	0-23kW
Starting measure power	0.4W
Power factor	0.00-1.00
Frequency	45Hz-65Hz
Active energy	0-9999kWh

โปรโตคอลสื่อสาร

1). Physical layer protocol

ใช้อินเทอร์เฟซการสื่อสาร RS485 ใช้ Baud rate คือ 9600, 8 data bits, 1 stop bit, no parity

2). Application layer protocol

ในเลเยอร์นี้ใช้โปรโตคอล Modbus เพื่อสื่อสารรองรับเฉพาะรหัสฟังก์ชัน (function code) เช่น 0x03 (Read Holding Register), 0x04 (Read Input Register), 0x41 (Calibration), 0x42

(Reset energy) ใช้สำหรับภายในเท่านั้น (Address เฉพาะ 0xF8 เท่านั้น) หลังจาก function code เพิ่ม 16 บิต รหัสผ่านเริ่มต้นคือ 0x3721 ช่วง address ของ slave คือ 0x01 ~ 0xF7 address 0x00 ถูกใช้เป็น broadcast address slave ไม่จำเป็นต้องตอบกลับ master address 0xF8 ใช้สำหรับ address ทั่วไป address นี้ใช้ได้เฉพาะในสภาพแวดล้อมแบบ single-slave และสามารถใช้สอบเทียบหรือดำเนินการอื่นๆได้

3). การอ่านผลวัด (Read the measurement result)

รูปแบบ command การอ่านของ master (8 ไบต์) มีลักษณะดังนี้ ส่วนการอ่านค่าพารามิเตอร์และรายละเอียดการอ่านค่าต่างๆ สามารถเลือกใช้ Input register address ได้จากตารางที่ 2

ตารางที่ 2 Input register address

Register Address	Description	Resolution
0x0000	Voltage value	1LSB correspond to 0.1V
0x0001	Current value low 16 bits	1LSB to correspond to 0.01A
0x0002	Current value high 16 bits	
0x0003	Power value low 16 bits	1LSB to correspond to 0.1W
0x0004	Power value high 16 bits	
0x0005	Energy value low 16 bits	1LSB correspond to 1Wh
0x0006	Energy value high 16 bits	
0x0007	Frequency value	1LSB correspond to 0.1Hz
0x0008	Power factor value	1LSB correspond to 0.01
0x0009	Alarm status	0xFFFF is alarm, 0x0000 is not alarm

รูปแบบ command การอ่านของ master

Slave Address	0x04	Register Address High Byte	Register Address Low Byte	Number of Registers High Byte	Number of Registers Low Byte	CRC Check High Byte	CRC Check Low Byte
---------------	------	----------------------------	---------------------------	-------------------------------	------------------------------	---------------------	--------------------

ส่วนรูปแบบ command การตอบกลับของ slave แบ่งออกเป็น 2 ประเภทดังนี้

การตอบกลับที่ถูกต้อง

Slave Address	0x04	Number of Bytes	Register 1 Data High Byte	Register 1 Data Low Byte	CRC Check High Byte	CRC Check Low Byte
---------------	------	-----------------	---------------------------	--------------------------	---------------------	--------------------

การตอบกลับที่ error

Slave address	0x84	Abnormal code	CRC check high byte	CRC check low byte
---------------	------	---------------	---------------------	--------------------

Abnormal code วิเคราะห์ว่ามีความผิดพลาดแล้วจะส่ง code ดังนี้ตอบกลับไป

0x01, Illegal function = การตั้งค่า function ไม่ถูกต้อง

0x02, Illegal address = การตั้งค่า Slave Address ไม่ถูกต้อง

0x03, Illegal data

0x04, Slave error

ตัวอย่างเช่น master ส่งคำสั่งต่อไปนี้ (CRC Check ถูกแทนที่ด้วย 0xHH และ 0xLL มีลักษณะตามด้านล่าง)

0x01 + 0x04 + 0x00 + 0x00 + 0x00 + 0x0A + 0xHH + 0xLL

ระบุว่า master ต้องอ่าน 10 register ที่ slave address 0x01 และ start address ที่ 0x0000

การตอบกลับที่ถูกต้องจาก slave มีลักษณะดังนี้

0x01 + 0x04 + 0x14 + 0x08 + 0x98 + 0x03 + 0xE8+0x00 + 0x00 +0x08 + 0x98+
0x00 + 0x00 + 0x00 + 0x00 + 0x00 + 0x00 + 0x01 + 0xF4 + 0x00 + 0x64 + 0x00 +
0x00 + 0xHH + 0xLL

จากข้อมูลเบื้องต้นแสดงให้เห็นว่า

แรงดันไฟฟ้าคือ 0x0898 มีการแปลงเป็นทศนิยม 2,200 แสดงค่าเป็น 220.0V

กระแสคือ 0x000003E8 มีการแปลงเป็นทศนิยม 1,000 แสดงค่าเป็น 1.000A

กำลังไฟฟ้าคือ 0x00000898 มีการแปลงทศนิยม 2,200 แสดงผลเป็น 220.0W

พลังงานคือ 0x00000000 มีการแปลงทศนิยม 0 แสดงผลเป็น 0Wh

ความถี่คือ 0x01F4 มีการแปลงทศนิยม 500 แสดงผลเป็น 50.0Hz

Power factor คือ 0x0064 มีการแปลงทศนิยม 100

การเตือน คือ 0x0000 แสดงว่าการแจ้งเตือนกระแสไฟเกินกว่าเกณฑ์

4). การรีเซ็ตพลังงาน(Reset energy)

ใช้ Software Reset รูปแบบคำสั่งของ master เพื่อรีเซ็ตการใช้พลังงานของ slave คือ (ทั้งหมด 4 ไบต์)

Slave Address	0x42	CRC Check High Byte	CRC Check Low Byte
---------------	------	---------------------	--------------------

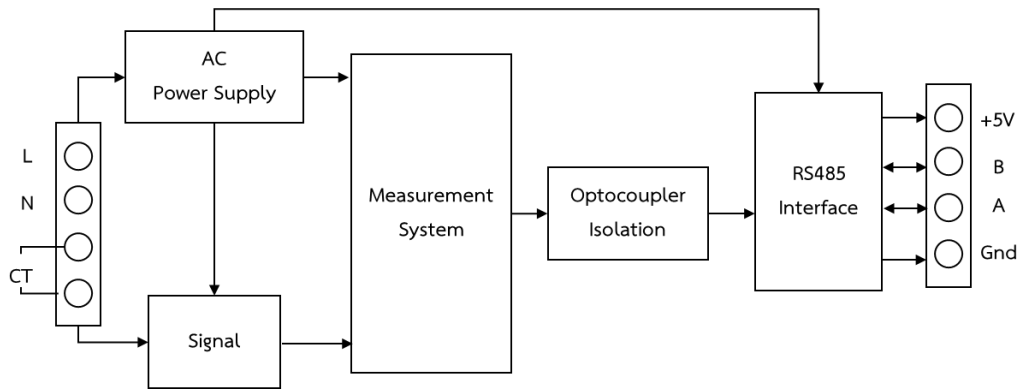
ส่วนการตอบกลับที่ถูกต้องจะมีลักษณะดังนี้

Slave Address	0x42	CRC Check High Byte	CRC Check Low Byte
---------------	------	---------------------	--------------------

หากการตอบกลับ error จะมีลักษณะดังนี้

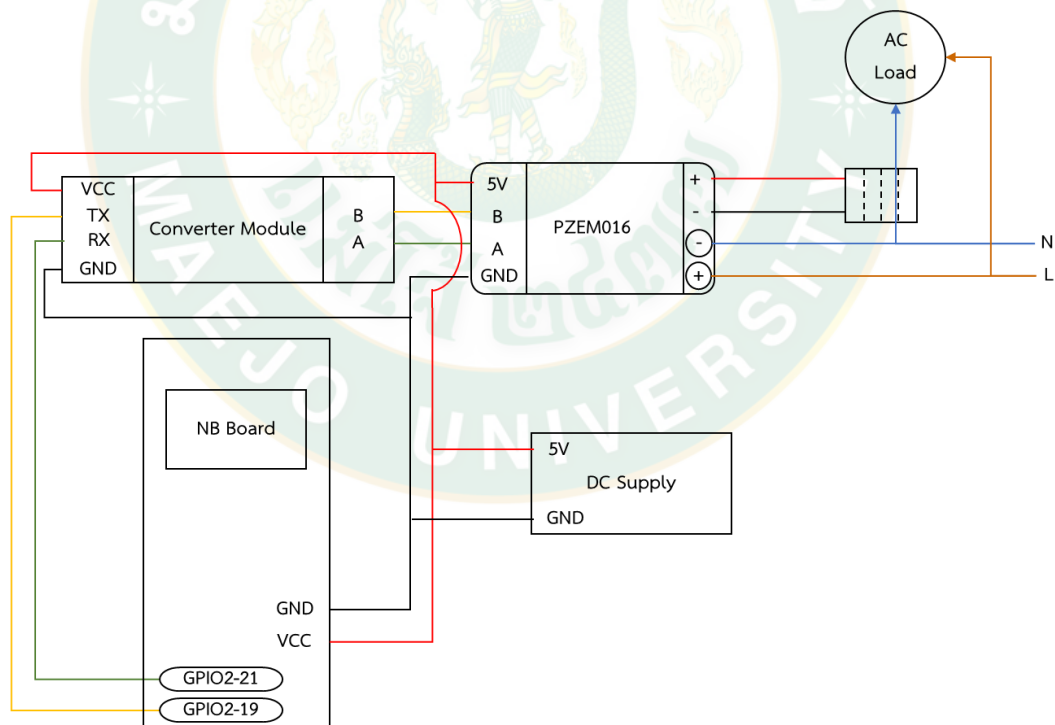
Slave Address	0xC2	Abnormal code	CRC Check High Byte	CRC Check Low Byte
---------------	------	---------------	---------------------	--------------------

Functional block diagram PZEM016



รูปที่ 5 ไดอะแกรม PZEM016

จากรูปที่ 5 หลังจากได้รับแหล่งจ่ายไฟฟ้าสลับแหล่งจ่ายไฟใช้แรงดันไฟ AC ให้เอาต์พุตแยกเป็น สองตัวคือหนึ่งจ่าย 3.3V ให้กับระบบตรวจวัด อีกทางหนึ่งคือจ่าย 5V ให้กับวงจรสื่อสาร 485 และวงจรภายนอก ซึ่งกำลังการเชื่อมต่อสื่อสาร 485 คือ (+5 V), และสามารถจ่ายกระแสเอาต์พุตคือ 100mA นอกจากนี้โมดูลยังสามารถทำงานในอุณหภูมิช่วง $-20^{\circ}\text{C} \sim +60^{\circ}\text{C}$ เมื่อนำ PZEM016 มาประยุกต์ใช้งานร่วมกับบอร์ด NB มีการลักษณะการเชื่อมต่อดังนี้



รูปที่ 6 การนำ PZEM016 มาประยุกต์ใช้งานร่วมกับบอร์ด NB

รูปที่ 6 แสดงการเชื่อมต่อของวงจรรูปกรณ์ตรวจวัด PZEM016 กับบอร์ด NB โดยตัวบอร์ด NB นั้นได้เชื่อมต่อับ converter module หรือโมดูลแปลงสัญญาณแปลงสัญญาณโดยมีการกำหนดขารับ-ส่งสัญญาณข้อมูลคือ GPIO21 และ GPIO19 เชื่อมต่อ TX RX ของโมดูลแปลงสัญญาณ RS485 ที่ได้รับจาก PZEM016 ที่สื่อสารด้วยสาย A+ B- ส่วนอีกฝั่งของ PZEM016 คือฝั่งตรวจวัดจากการที่ไฟฟ้าพื้นฐานจ่ายไฟให้โหลด ตรวจวัดจากการใช้ CT coil ขนาด 100A คล้องวัดสายไฟที่จ่ายไฟฟ้าให้กับโหลดและมีไฟเลี้ยงบอร์ดคือไฟฟ้ากระแสสลับ

2.2.2 โมดูลตรวจวัดพลังงานไฟฟ้า PZEM017

โมดูลตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าชื่อ PZEM รุ่น PZEM017 เป็นโมดูลที่ใช้ตรวจวัดพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงโดยนำมาใช้ในงานวิจัยนี้เพื่อตรวจวัดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยมีฟังก์ชันการใช้งานดังตารางที่ 3 และมีการส่งข้อมูลด้วยโปรโตคอล Modbus ใช้ RS485 อินเทอร์เน็ตพาสเวิร์ดแวร์ มีรูปแบบสั่งการดังนี้

ตารางที่ 3 ฟังก์ชันพารามิเตอร์ PZEM017

Function description	Measuring range
Voltage	80-260V
Current	0-100A
Starting measure current	0.02
Active Power	0-23kW
Starting measure power	0.4W
Power factor	0.00-1.00
Frequency	45Hz-65Hz
Active energy	0-9999kWh

โปรโตคอลสื่อสาร

ใช้การสื่อสารอินเทอร์เน็ตพาสเวิร์ด UART เป็น RS485 ใช้ Baud rate is 9600, 8 data bits, 2 stop bit, no parity แต่โปรโตคอล Application layer มีการรองรับ function code (0x03 Read Holding Register หรือ 0x04 Read Input Register) เช่นเดียวกับกับโมดูล PZEM016 รวมไปถึงรูปแบบคำสั่งการร้องขอของ master กับการตอบกลับของ slave และการรีเซ็ตพลังงาน (Reset energy) ที่ใช้ Software Reset เหมือนกัน นอกจากนี้การอ่านค่าพารามิเตอร์และรายละเอียดการอ่านค่าต่างๆ สามารถเลือกใช้ Input register address ได้จากตารางที่ 4

ตารางที่ 4 Input register address PZEM017

Register Address	Description	Resolution
0x0000	Voltage value	1LSB to correspond to 0.01V
0x0001	Current value	1LSB to correspond to 0.01A
0x0002	Power value low 16 bits	1LSB to correspond to 0.1W
0x0003	Power value high 16 bits	
0x0004	Energy value low 16 bits	1LSB to correspond to 1Wh
0x0005	Energy value high 16 bits	
0x0006	High voltage alarm status	0xFFFF สำหรับเตือน ถ้า 0x0000
0x0007	Low voltage alarm status	จะไม่เตือน

ตัวอย่างเช่น master ส่งคำสั่งต่อไปนี้ (CRC Check ถูกแทนที่ด้วย 0xHH และ 0xLL มีลักษณะตามด้านล่าง)

0x01 + 0x04 + 0x00 + 0x00 + 0x00 + 0x08 + 0xHH + 0xLL

ต้องระบุว่า master ว่าอ่าน 8 register ที่ slave address 0x01 และ start address ที่ 0x0000 การตอบกลับที่ถูกต้องจาก slave มีลักษณะดังนี้

0x01 + 0x04 + 0x10 + 0x27 + 0x10 + 0x00 + 0x64+0x03 + 0xE8 +0x00 + 0x00+
0x00 + 0x00 + 0x00 + 0x00 + 0x00 + 0x00 + 0x00 + 0x00 + 0xHH + 0xLL

จากข้อมูลเบื้องต้นแสดงให้เห็นว่า

แรงดันไฟฟ้าคือ 0x2710 มีการแปลงเป็นทศนิยม 2,200 แสดงค่าเป็น 220.0V

กระแสคือ 0x0064 มีการแปลงเป็นทศนิยม 1,000 แสดงค่าเป็น 1.000A

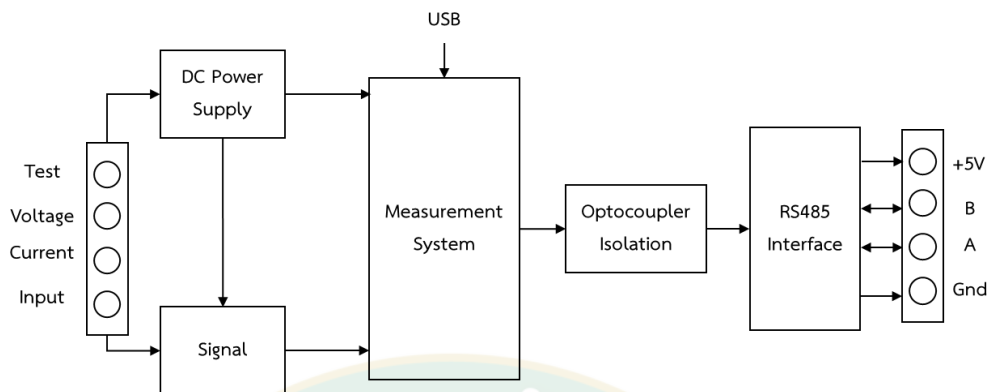
กำลังไฟฟ้าคือ 0x000003E8 มีการแปลงทศนิยม 2,200 แสดงผลเป็น 220.0W

พลังงานคือ 0x00000000 มีการแปลงทศนิยม 0 แสดงผลเป็น 0Wh

การเตือน High voltage คือ 0x0000 แสดงผลแจ้งเตือนเป็นแรงดันไฟฟ้าปัจจุบันมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์

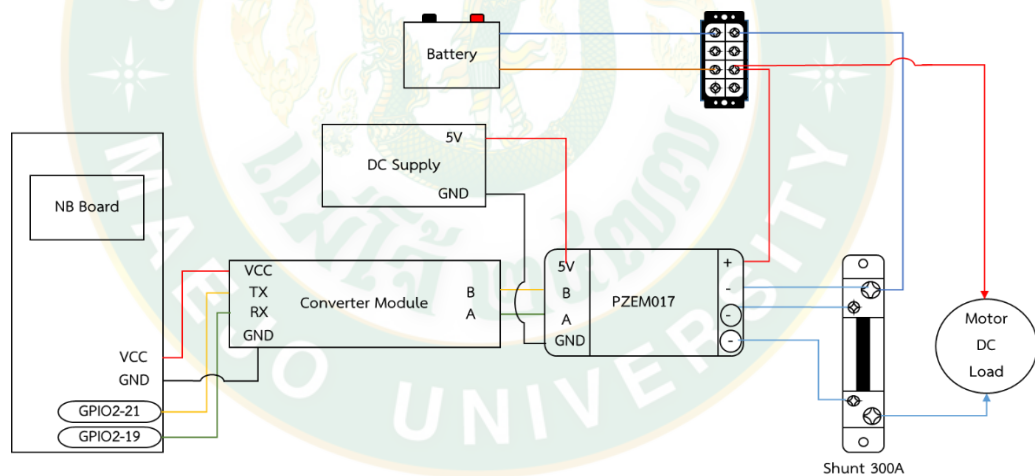
การเตือน Low voltage คือ 0x0000 แสดงผลแจ้งเตือนเป็นแรงดันไฟฟ้าปัจจุบันมีค่าสูงกว่าเกณฑ์

Functional block diagram PZEM017



รูปที่ 7 ไดอะแกรม PZEM017

เมื่อการทดสอบอินพุตเป็น $<7\text{ V}$ โพรตใช้พอร์ต USB เป็นแหล่งจ่ายไฟ (ห้ามใช้พอร์ต USB ของ PC อาจทำให้ PC เสียหายได้) เมื่อนำ PZEM017 มาประยุกต์ใช้งานร่วมกับบอร์ด NB มีการลักษณะการเชื่อมต่อดังนี้



รูปที่ 8 การนำ PZEM017 มาประยุกต์ใช้งานร่วมกับบอร์ด NB

จากรูปที่ 8 แสดงการเชื่อมต่อของวงจรรูปกรณ์ตรวจวัด PZEM017 กับบอร์ด NB โดยตัวบอร์ด NB นั้นได้เชื่อมต่อับ converter module หรือโมดูลแปลงสัญญาณแปลงสัญญาณโดยมีการกำหนดขารับ-ส่งสัญญาณข้อมูลคือ GPIO21 และ GPIO19 เชื่อมต่อ TX RX ของโมดูลแปลงสัญญาณ RS485 ที่ได้รับจาก PZEM017 ที่สื่อสารด้วยสาย A+ B- ซึ่ง PZEM017 ต้องมีไฟเลี้ยงบอร์ดคือไฟ 5V จากแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง (DC Supply) ส่วนอีกฝั่งของ PZEM017คือฝั่งตรวจวัดจากการที่แบตเตอรี่จ่ายไฟให้โหลด 1 คือการต่อไฟบวกจากแบตเตอรี่ที่เป็นแหล่งจ่ายเข้ากับ PZEM017 2.

ต่อไฟลบจากแบตเตอรี่เข้า PZEM017 โดยผ่าน shunt ขนาด300A จากการต่อวงจรอนุกรมสามารถตรวจวัดกระแสไฟฟ้าได้จากความต่างศักย์ไฟฟ้า

2.2.3 โมดูล NB-IoT (AIS)

ในงานวิจัยนี้ใช้โมดูล NB ของ AIS (รูปที่ 9) มีชิพ ESP32-WROOM-32 เป็นชิพประมวลผลคำสั่งและส่งไปยังคลาวด์เซิร์ฟเวอร์ซึ่งมีแพลตฟอร์มที่รองรับโมดูล NB นี้คือ Magellan สามารถแสดงผลข้อมูลเชื่อมต่อกับเครือข่ายของผู้ให้บริการแต่ละรายได้ทั้งโทรศัพท์และคอมพิวเตอร์ นอกจากนี้ตัวบอร์ดยังมีเซ็นเซอร์แสง อุณหภูมิและความชื้นเพื่อง่ายต่อการพัฒนานำไปประยุกต์ใช้งาน โดยมีคุณสมบัติดังตารางต่อไปนี้ (ตารางที่5)



รูปที่ 9 โมดูล NB IoT

(ที่มา : <https://store.ais.co.th/th/iot-devices/devio-nb-devkit-i.html>)

ตารางที่ 5 คุณสมบัติโมดูล NB IoT

(ที่มา : <https://store.ais.co.th/th/iot-devices/devio-nb-devkit-i.html>)

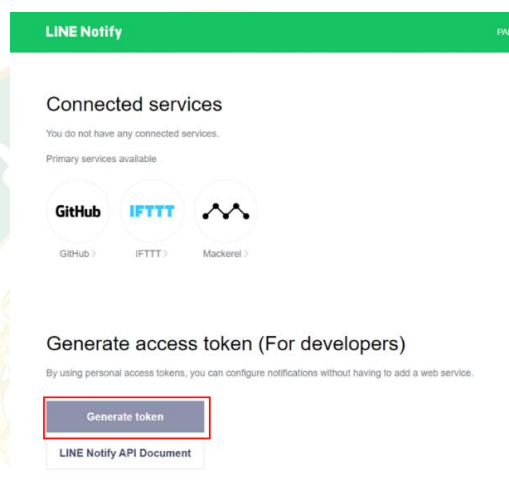
Microcontroller Unit	Cellular Communication	Sensors
Brand: Espressif	Brand: SIMCOM	
Model: ESP32	Modle: SIM7020E	
<input type="radio"/> CPU and Memory Specification <ul style="list-style-type: none"> • Xtensa single/dual-core-32bit LX6 microprocessor, up to 600 MIPS (200 MIPS for ESP32-S0WD, 400 MIPS for ESP32-D2WD) • ROM:448 KB • SRAM:520 KB • SRAM in RTC: 16KB • Clock Frequency: Up to 240 MHz 	<input type="radio"/> Network Technology <ul style="list-style-type: none"> • LTE Cat. NB1 (NB IoT) <input type="radio"/> Frequency <ul style="list-style-type: none"> • B1 (2100MHz) • B5 (850MHz) • B8 (900MHz) • B20 (800MHz) • B28 (700MHz) <input type="radio"/> Data Transmission <ul style="list-style-type: none"> • Uplink: 62.5 kbps • Downlink: 26.15 kbps 	<input type="radio"/> Ambient Light Sensors: <ul style="list-style-type: none"> • Brand: Vishay Semiconductors • Model: TEMT6000X01 • Interface Type: ADC
<input type="radio"/> WIFI 802.11 b/g/n <ul style="list-style-type: none"> • 802.11 n(2.4 GHz), up to 150 Mbps 	<input type="radio"/> Transmission Power (Maximum): 23dBm (200mW)	<input type="radio"/> Humidity Sensor & Temperature Sensor <ul style="list-style-type: none"> • Brand: Texas Instrument
<input type="radio"/> Bluetooth v4.2BR/EDR and BLE	<input type="radio"/> Protocol Stack: <ul style="list-style-type: none"> • TCP/UDP • LWM2M/CoAP* • MQTT/FTP/HTTPHT TPS*/SSL*/DTLS 	<ul style="list-style-type: none"> • Model: HDC1080 • Interface Type: I2C

Microcontroller Unit	Cellular Communication	Sensors
Brand: Espressif Model: ESP32	Brand: SIMCOM Model: SIM7020E <input type="radio"/> NB/IoT Module Certification <ul style="list-style-type: none"> ● CE/GCF ● RoHS/REACH <input type="radio"/> Antenna Specification <ul style="list-style-type: none"> ● Brand: FLEXA013 ● Working Frequency: 820-960/1710-2170 MHz ● Bandwidth: 140/460 MHz ● Connector type: IPEX 1 ● Gain (Maximum Direction): 2dB ● Polarization: Linear Polarization	
<input type="radio"/> Power Supply: microUSB Battery Connector Pitch 1.25mm SMT Type <input type="radio"/> Baud Rate 9600		

2.2.5 การแจ้งเตือนสำหรับระบบตรวจวัด

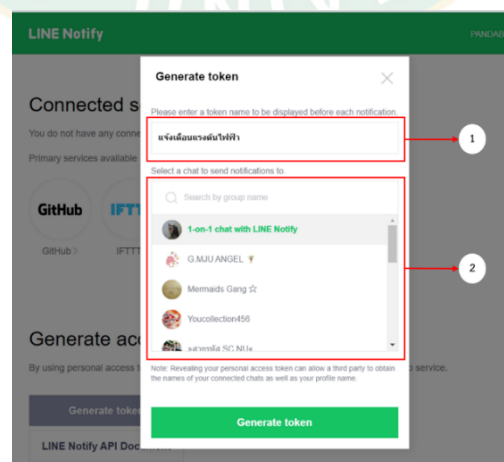
การแจ้งเตือนสำหรับระบบตรวจวัดการใช้พลังงานในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ในงานวิจัยนี้ได้นำแอปพลิเคชัน Line มาประยุกต์ใช้ในการแจ้งเตือนจากบอร์ด Nb ที่มีชิพ Esp32 สามารถสื่อสารผ่าน Line Notify ได้ โดยมีการสมัคร Line Notify เพื่อใช้ในการพัฒนาโปรแกรมระบบตรวจวัดดังนี้

- เข้าสู่ระบบด้วยบัญชีของ LINE ให้เรียบร้อยที่เว็บไซต์ <https://notify-bot.line.me/my/> จากนั้นให้คลิกที่ Generate Token (รูปที่ 10)



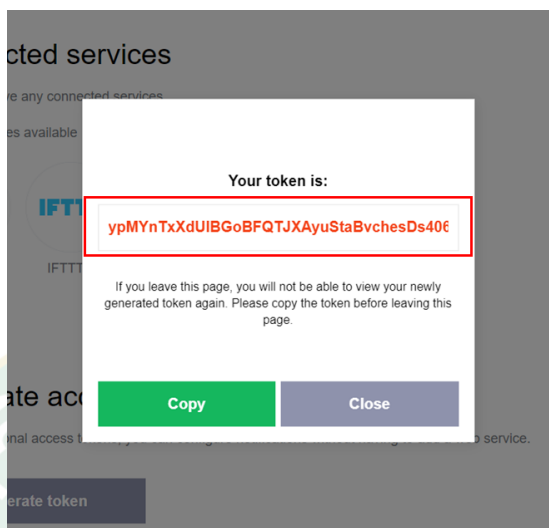
รูปที่ 10 Generate token

- ตั้งชื่อการแจ้งเตือนในช่องหมายเลข 1 พร้อมทั้งระบุกลุ่มเป้าหมายในหมายเลข 2 โดยที่ในงานวิจัยนี้ได้ระบุการแจ้งเตือนให้กับผู้วิจัยเอง (สามารถสร้างเป็นกลุ่มและแจ้งเตือนในกลุ่มได้) จากนั้นคลิก Generate token (รูปที่ 11)



รูปที่ 11 การกำหนดกลุ่มเป้าหมายและชื่อการแจ้งเตือน

- จะได้โทเค็น ypMYnTxXdUIBGoBFQTJXAyuStaBvchesDs406h9qbyb (รูปที่ 12) สำหรับมาใช้ในโค้ดสำหรับพัฒนาโปรแกรมการแจ้งเตือนในขั้นตอนต่อไปในโปรแกรม Arduino



รูปที่ 12 token Line Notify

2.2.6 การคำนวณสอบเทียบเครื่องมือวัด

จากเปอร์เซ็นต์ค่าความผิดพลาดของอุปกรณ์ตรวจวัด (พิมพ์เพ็ญ และนวนภัทรา, 2555) คำนวณโดยใช้ค่าความแตกต่างระหว่างค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดกับค่าที่แท้จริง (อุปกรณ์อ้างอิง) เรียกว่าค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์เมื่อนำมาคูณด้วย 100

- ความถูกต้องหรือค่าความแม่นยำ (Accuracy) คือค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถของเครื่องมือวัด (instrument) ในการอ่านค่าหรือแสดงค่าที่วัดได้เข้าใกล้ค่าจริงโดยการคำนวณได้จากสมการที่ 1

$$\% \text{ Acc} = \left(1 - \left| \frac{X_{\text{mean}} - X_t}{X_t} \right| \right) \times 100$$

สมการที่ 1

โดยที่ %Acc คือ เปอร์เซ็นต์ความแม่นยำของการวัด

X_{mean} คือ ค่าจากอุปกรณ์ตรวจวัด

X_t คือ ค่าจากอุปกรณ์อ้างอิงมาตรฐาน

- ความเที่ยงตรง (Precision) คือ เป็นค่าที่แสดงถึงความสามารถของเครื่องมือวัดในการแสดงค่าเดิมเมื่อทำการวัดหลายๆครั้งหรือความสามารถในการแสดงค่าซ้ำ (repeatability) ของเครื่องมือวัดภายใต้เงื่อนไขการวัดแบบเดิมโดยสามารถคำนวณค่าได้เปอร์เซ็นต์ค่าความเที่ยงตรงผิดพลาดดังนี้

$$\% \text{ Pre} = \left(1 - \left| \frac{X_i - \bar{X}_i}{\bar{X}_i} \right| \right) \times 100$$

สมการที่ 2

โดยที่ %Pre คือ เปอร์เซ็นต์ความเที่ยงตรงของการวัด

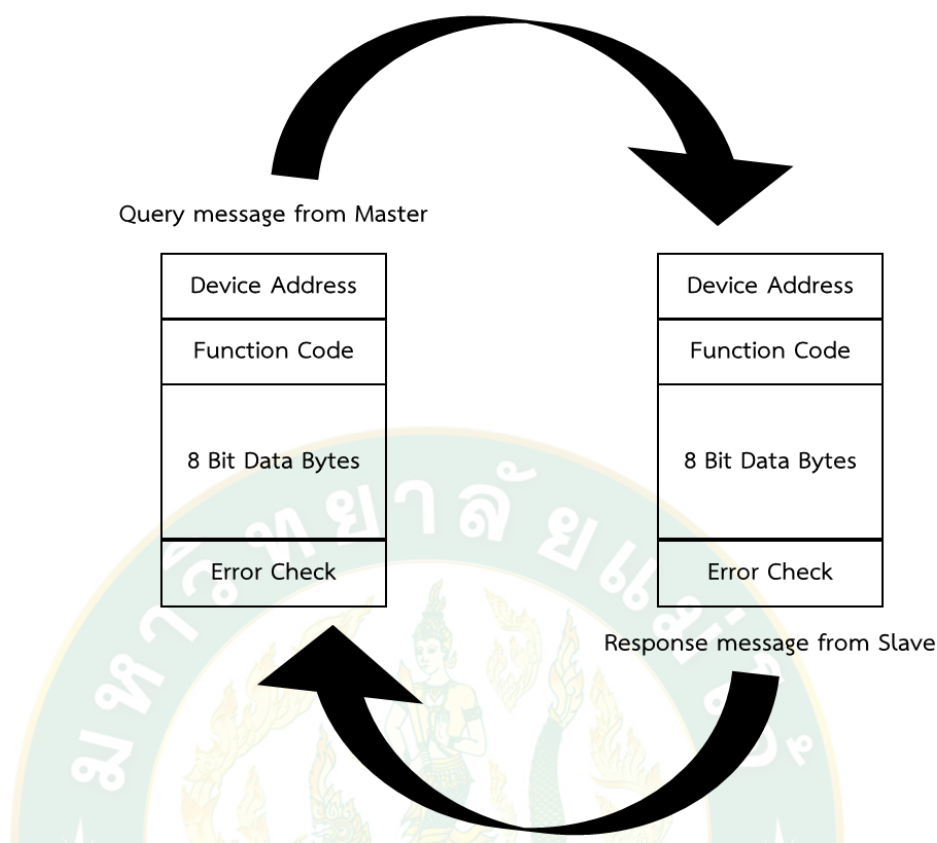
X_i คือ ค่าการวัดแต่ละครั้ง

\bar{X}_i คือ ค่าเฉลี่ยของการวัด

2.3 โพรโทคอล Modbus

MODBUS Protocol เป็นโครงสร้างการส่งข้อความใช้กันอย่างแพร่หลาย ในการสื่อสารแบบ Master-Slave ระหว่างอุปกรณ์อัจฉริยะ ชุดข้อมูล MODBUS ส่งจาก Master ไปยัง slave ประกอบด้วย address slave ชุดคำสั่ง (เช่น read register หรือ write register) ข้อมูล และ CRC check sum โพรโทคอล Modbus เป็นเพียงโครงสร้างการส่งข้อความโดยปกติใช้ RS232, RS422, และ RS485

รูปแบบการส่งข้อมูล Modbus (Popli et al., 2019) (รูปที่ 13) มีชุดข้อมูลโพรโทคอล Modbus ยังคงใช้การสื่อสารเครือข่ายแบบ Master-Slave ด้วยวิธีแบบ peer-to-peer อุปกรณ์ Master จะควบคุมการสร้างชุดข้อความ และรอการตอบกลับของ อุปกรณ์ Slave เมื่อ controller (Slave) ได้รับชุดข้อความจะตอบสนองและส่งกลับไปยังตัวควบคุมเริ่มต้น (Master)



รูปที่ 13 วงจรคำร้องขอ-ตอบรับของ Master-Slave

The Query (ฝั่งร้องขอ)

Function code ในส่วนคำถามหรือฝั่งร้องขอ มีการเรียก address อุปกรณ์ slave ที่ต้องการดำเนินงาน(ใช้งาน) data bytes จะบรรจุด้วยข้อมูลคือฟังก์ชันที่ slave ต้องการดำเนินงาน เช่น ฟังก์ชัน code 03 ร้องขอ slave ถึง read holding registers และตอบกลับไป (ฟังก์ชัน code 03 คือ read holding registers) data field เรียกข้อมูล slave ซึ่ง start register และจำนวน register ที่ต้องการอ่าน และerror check เพื่อตรวจสอบความสมบูรณ์ของข้อมูล

The Response (ฝั่งตอบรับ)

ถ้า slave ตอบรับข้อมูลปกติ function code ในการตอบรับจะตอบกลับ function code ใน query data bytes มีข้อมูลที่รวบรวมโดย slave เช่น ค่าหรือสถานะของ register หากตอบสนองผิดพลาด function code จะตอบสนองเป็นการตอบรับผิดพลาดและ data byte จะระบุ code ที่อธิบายความผิดพลาด error check จะตรวจสอบความผิดพลาดให้กับข้อมูลที่จะส่งไปยัง master (จะตรวจสอบความผิดพลาดให้ master ยืนยันความถูกต้องของข้อมูลยืนยันว่าเนื้อหาในข้อมูลถูกต้อง)

2.3.1 Modbus Message Framing

(ชาวโรจน์, 2562) ในโหมดการส่งข้อมูลแบบอนุกรม (RTU) Modbus message จะถูกวางโดยอุปกรณ์ส่งสัญญาณในชุดข้อมูลจากเริ่มต้นจนถึงสิ้นสุด อุปกรณ์ตอบรับจะเริ่มอ่านข้อมูลที่อยู่ที่ Address และกำหนด Address ของอุปกรณ์ใช้งานมีลักษณะการเชื่อมต่อเป็นเน็ตเวิร์คและยังส่งข้อมูลได้ในระยะไกล นอกจากนี้การสื่อสารแบบโปรโตคอล Modbus RS485 มีรูปแบบชุดข้อมูล 3 รูปแบบเป็นการนำชุดข้อมูลก่อนหน้ามารวมต่อกันคล้ายข้อความ (message) ซึ่งรูปแบบ message แบ่งเป็นฝั่งร้องขอ (query) และฝั่งตอบรับ (response)

รูปแบบที่ 1 Start bit + Data byte + Parity bit + Stop bit = 11บิตต่อชุดข้อมูล

Start	1	2	3	4	5	6	7	8	Par	Stop
-------	---	---	---	---	---	---	---	---	-----	------

รูปแบบที่ 2 Start bit + Data byte + 2 Stop bit = 11บิตต่อชุดข้อมูล

Start	1	2	3	4	5	6	7	8	Stop	Stop
-------	---	---	---	---	---	---	---	---	------	------

รูปแบบที่ 3 Start bit + Data byte + Stop bit = 10บิตต่อชุดข้อมูล

Start	1	2	3	4	5	6	7	8	Stop	
-------	---	---	---	---	---	---	---	---	------	--

ส่วน Cyclic Redundancy Checksum (CRC) เป็นวิธีตรวจจับข้อผิดพลาดจากการรับหรือส่งข้อมูลบนเครือข่าย วิธีการนี้สามารถตรวจจับข้อผิดพลาดได้มากถึง 99% สำหรับ CRC-32 บิต CRC สามารถตรวจสอบข้อมูลอย่างง่าย โดยใช้หลักการเปรียบเทียบของ Exclusive-OR คือการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนบิตทั้งสอง หากเป็นลอจิกเดียวกันจะได้ค่าเป็นลอจิก 0 แต่หากเป็นลอจิกต่างกันจะได้ผลลัพธ์เป็นลอจิก 1 ดังตารางที่ 6 นอกจากนี้ยังสามารถคำนวณ CRC ได้จากทางออนไลน์ซึ่งใช้เวลารวดเร็วกว่าดังรูปที่ 14

ตารางที่ 6 การเปรียบเทียบของ Exclusive-OR

First logic	Second logic	XOR output
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

lammertbies.nl/comm/info/crc-calculation

Interfacing Software About Sitemap

On-line CRC calculation and free library

About the Author: Lammert Bies is a dad, husband and ... in interconnecting computers, robots and humans. Was a G... on Mapmaker in 2017. [Bughunter](#) with Google. Currently sp...

- Introduction on CRC calculations
- Free CRC calculation routines for download

"0001" (hex)	
1 byte checksum	1
CRC-16	0xC0C1
CRC-16 (Modbus)	0x70C0
CRC-16 (Sick)	0x0100
CRC-CCITT (XModem)	0x1021
CRC-CCITT (0xFFFF)	0x0D2E
CRC-CCITT (0x1D0F)	0x94E1
CRC-CCITT (Kermit)	0x8911
CRC-DNP	0xA1C9
CRC-32	0x36DE2269

00 01 Calculate CRC

Input type: ASCII Hex

Introduction on CRC calculations

รูปที่ 14 การคำนวณหา CRC ด้วยเว็บไซต์ออนไลน์

2.3.2 Modbus Poll

โปรแกรม Modbus Poll เป็นโปรแกรมใช้สำหรับการจำลองการอ่านค่าของอุปกรณ์ด้วยโปรโตคอล Modbus โดยในงานวิจัยนี้ได้มีการนำมาใช้เพื่อทดลองการอ่านข้อมูลของโมดูล PZEM016 และ PZEM017 ซึ่งมีขั้นตอนทดสอบการอ่านค่าดังนี้

- หลังจากดาวโหลดและติดตั้งโปรแกรม Modbus Poll เมื่อเปิดโปรแกรมให้กด Connection เลือก Connect เพื่อเชื่อมต่อ

(รูปที่ 15)

Modbus Poll - [Mbpoll1]

File Edit Connection Setup Functions Display View Window Help

Connect... F3

Disconnect F4

Auto Connect >

Quick Connect F5

Address	Data
0	2250
1	0
2	0
3	5
4	0
5	85
6	0
7	500
8	100
9	0

Port 7: 9600-8-N-1

รูปที่ 15 Connection Modbus Poll

- หลังจากนั้นเลือกกำหนดพารามิเตอร์สำหรับการเชื่อมต่อ RS485 (Connection Setup) ดังนี้ (รูปที่ 16)

หมายเลข 1 Connection เลือกเป็น Serial Port

หมายเลข 2 Port เลือกหมายเลข Com Port ที่ใช้เชื่อมต่อ RS485 กับบอร์ดที่ใช้

หมายเลข 3 Baud rate เลือกเป็น 9600 Baud

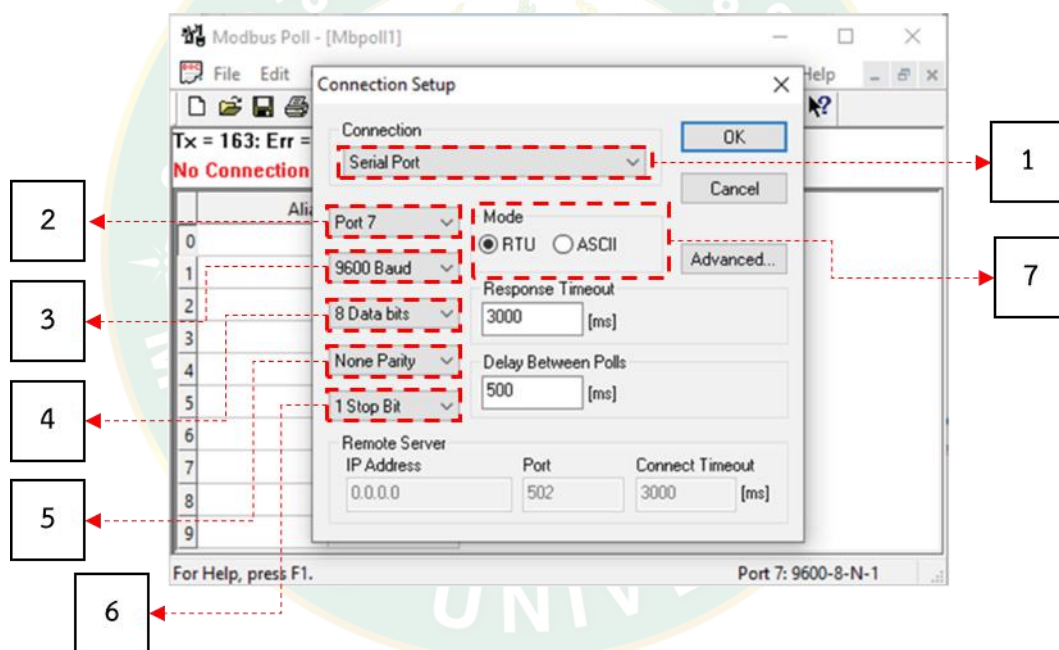
หมายเลข 4 Data เลือกเป็น 8 Bit Data bits

หมายเลข 5 Parity เลือกเป็น None Parity

หมายเลข 6 Stop Bit เลือกเป็น 1 Stop Bit

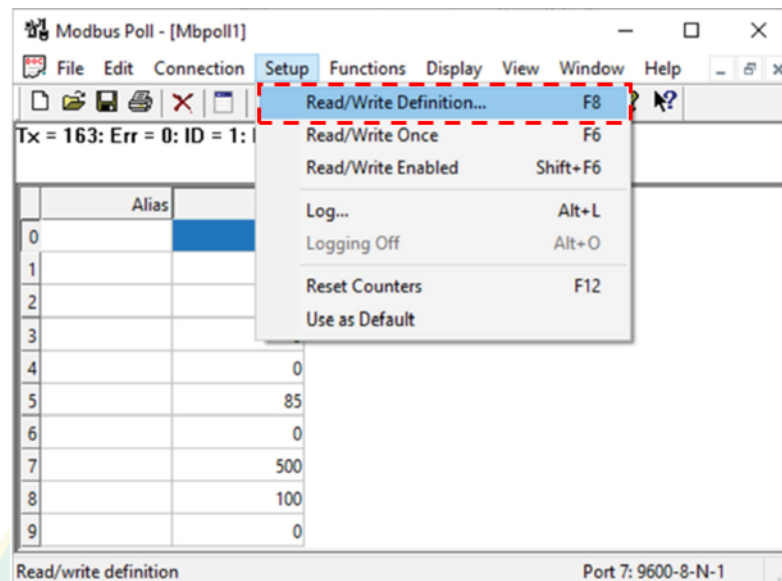
หมายเลข 7 Mode เลือกเป็น RTU

ส่วน Response Timeout กำหนดเป็น 3000ms และ Delay Between Poll กำหนดเป็น 500ms



รูปที่ 16 การเชื่อมต่อโมดูล PZEM กับโปรแกรม Modbus Poll

- จากนั้นตั้งค่าโปรแกรม Modbus Poll สำหรับอ่านโมดูล PZEM รูปที่ 17



รูปที่ 17 ตั้งค่า Read/Write Definition

- กำหนดพารามิเตอร์สำหรับการอ่านค่าและแสดงผล รูปที่ 18

หมายเลข 8 กำหนดหมายเลข Slave ID ของบอร์ดหรือโมดูล ในงานวิจัยนี้กำหนดให้ PZEM016 Slave ID= 1 และ PZEM017 Slave ID= 2

หมายเลข 9 เลือก Function เป็น 4 Read Input Registers

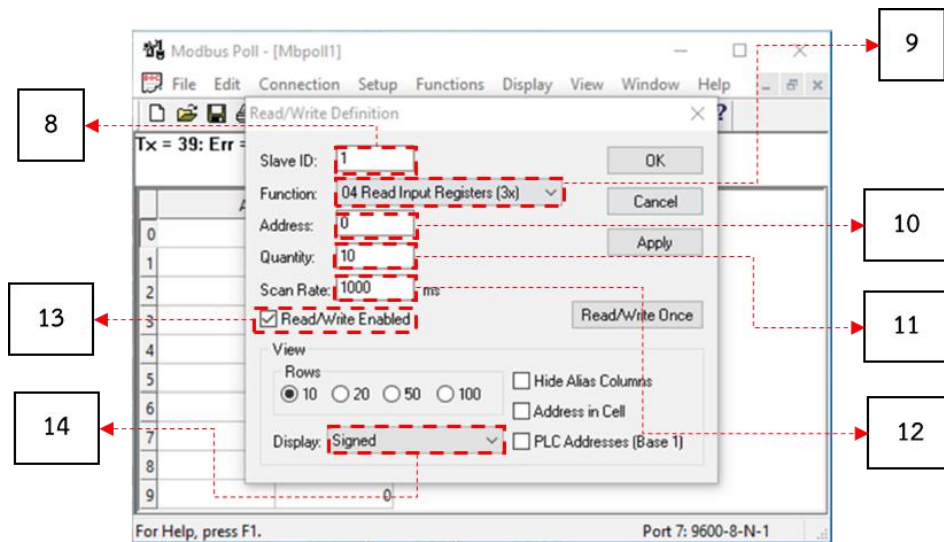
หมายเลข 10 กำหนด Address ในการอ่านเริ่มต้นเป็น 0

หมายเลข 11 กำหนด Quantity (จำนวนรีจิสเตอร์)ในการอ่าน โดยที่ PZEM016 = 10 และ PZEM017= 8

หมายเลข 12 กำหนดค่า Scan Rate = 1000mS

หมายเลข 13 เลือก Read/Write Enable

หมายเลข 14 เลือกการอ่านค่าเป็น Signed



รูปที่ 18 กำหนดพารามิเตอร์สำหรับการอ่านค่าและแสดงผล

เมื่อทดสอบการอ่านข้อมูลของโมดูล PZEM จะมีค่าแสดงผลขึ้นในคอลัมน์ดังรูปที่ 19 และยังสามารถเช็คการรับส่งข้อมูลได้จาก Test Center ในรูปแบบการใส่ชุดข้อมูลค่าที่ต้องการทราบในรูปแบบ hex number

Modbus Poll - Mbpoll2

Test Center

Enter hex numbers separated by ", " ". " or space

01 04 00 05 00 02

Open list Save list Clear Add to list Send

Add Check CRC LRC

```

000-Tx:01 04 00 00 00 01 31 CA
001-Rx:01 04 02 04 A9 7B 8E
002-Tx:01 04 00 01 00 01 60 0A
003-Rx:01 04 02 00 63 F9 19
004-Tx:01 04 00 02 00 02 D0 0B
005-Rx:01 04 04 00 74 00 00 BB 9E
006-Tx:01 04 00 03 00 02 81 CB
007-Rx:01 04 04 00 00 00 0D 3A 41
008-Tx:01 04 00 04 00 02 30 0A
009-Rx:01 04 04 00 0D 00 00 6A 47
010-Tx:01 04 00 05 00 02 61 CA
011-Rx:01 04 04 00 00 00 00 FB 84

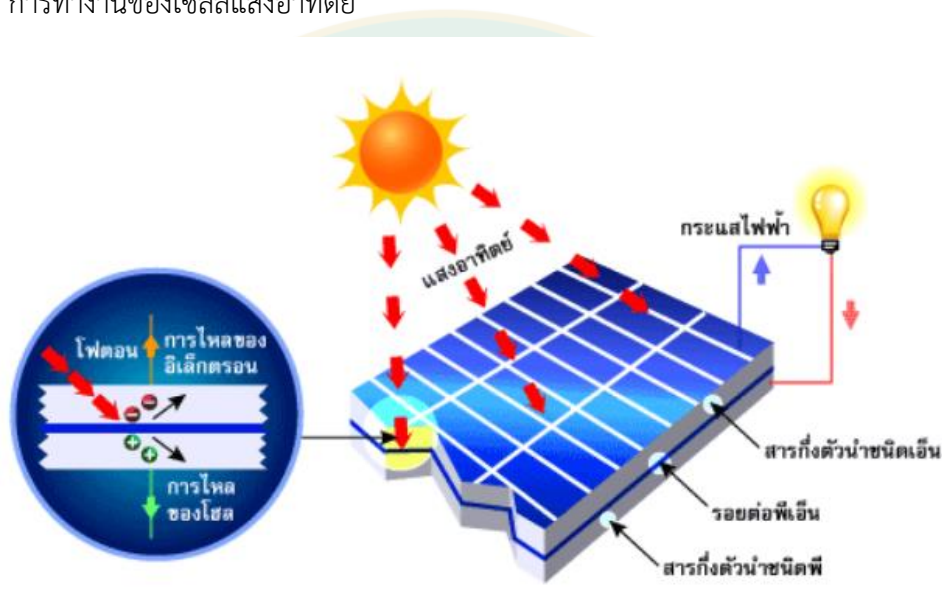
```

รูปที่ 19 ผลแสดงบน Modbus Poll

2.4 เทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์

(การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2564) เซลล์แสงอาทิตย์หรือโซลาร์เซลล์ (Solar Cell) เป็นอุปกรณ์ผลิตพลังงานไฟฟ้าเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง ซึ่งเป็นพลังงานที่ไม่ทำให้เกิดมลพิษขณะใช้งาน เซลล์แสงอาทิตย์ทำมาจากสารกึ่งตัวนำที่สามารถดูดกลืนพลังงานแสงอาทิตย์แล้วเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง และยังสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการผลิตไฟฟ้าได้หลากหลายรูปแบบโดยมีหลักการทำงานและดังนี้

2.4.1 การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์



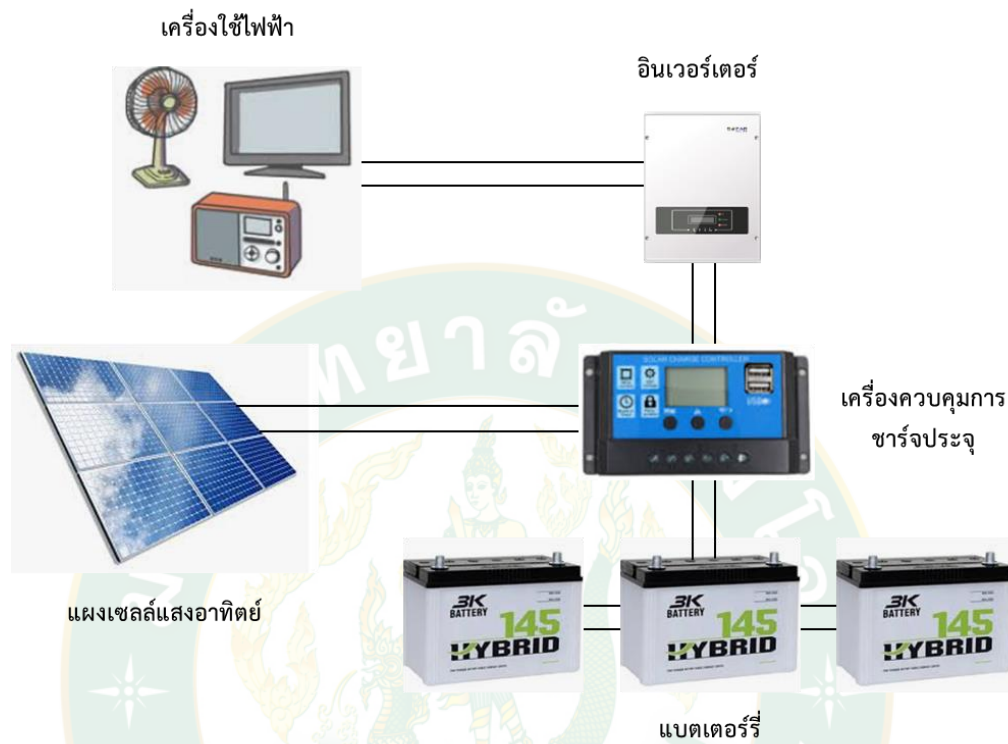
รูปที่ 20 การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์

(ที่มา : <http://www.leonics.co.th>)

รูปที่ 20 เมื่อมีแสงอาทิตย์ตกกระทบกับเซลล์แสงอาทิตย์ที่เป็นสารกึ่งตัวนำ จะทำให้เกิดการกระตุ้นของอิเล็กตรอน สร้างพาหะนำไฟฟ้าประจุลบ (อิเล็กตรอน) และประจุบวก (โฮล) โครงสร้างเซลล์แสงอาทิตย์แบบรอยต่อพีเอ็นจะทำหน้าที่สร้างสนามไฟฟ้าภายในเซลล์เพื่อแยกอิเล็กตรอนให้ไหลผ่านสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (n-type) ไปที่ขั้วลบหรือขั้วไฟฟ้าด้านหน้า และทำให้โฮลไหลผ่านสารกึ่งตัวนำชนิดพี (p-type) ไปที่ขั้วบวกหรือขั้วไฟฟ้าด้านหลัง ด้วยเหตุนี้ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าแบบกระแสตรงขึ้นที่ขั้วทั้งสอง เมื่อเราต่อเซลล์แสงอาทิตย์เข้ากับเครื่องใช้ไฟฟ้าก็จะมีกระแสไฟฟ้าไหลในวงจร

2.4.2 การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์

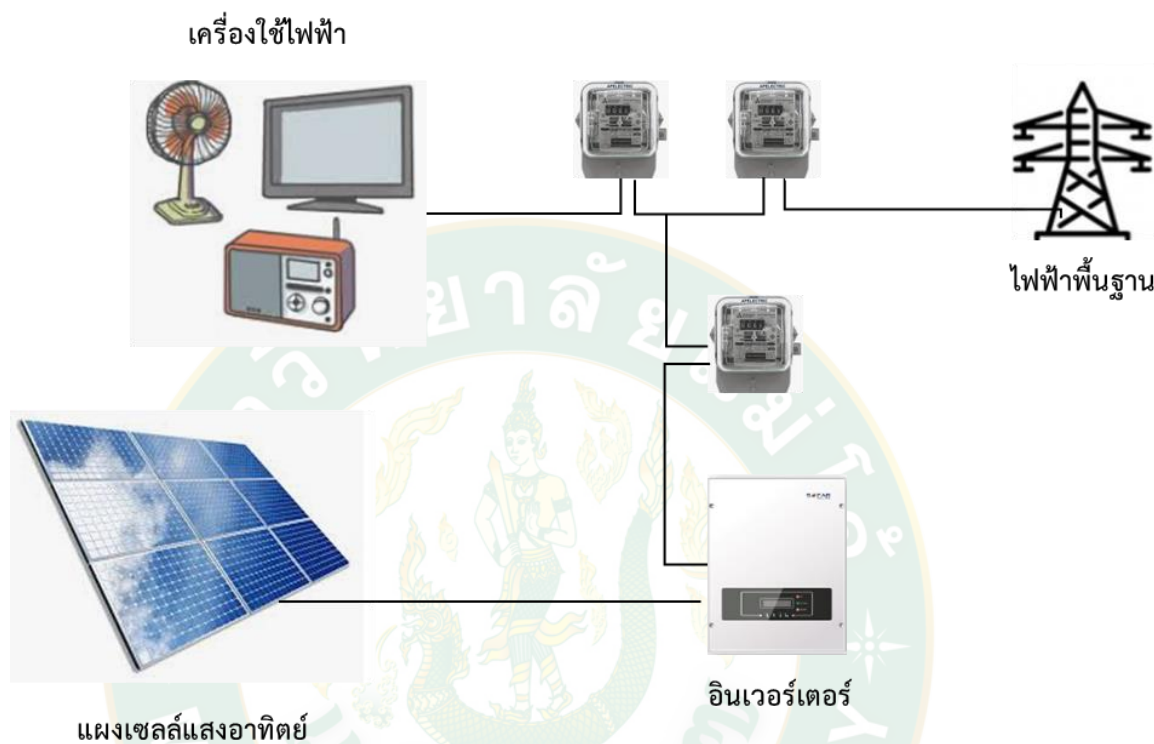
1. ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ (Photovoltaic Stand Alone System)



รูปที่ 21 ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ

(สำนักพัฒนาทรัพยากรบุคคลด้านพลังงาน, 2558) กล่าวว่าระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ (รูปที่21) ได้รับการออกแบบสำหรับใช้งานในพื้นที่ชนบทที่ไม่มีระบบจำหน่ายไฟฟ้าจากพลังงานไฟฟ้าพื้นฐานโดยมีหลักการทำงานแบ่งได้เป็น 2 ช่วงเวลา กล่าวคือ ช่วงเวลากลางวันเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับแสงแดดสามารถผลิตไฟฟ้าจ่ายให้แก่อุปกรณ์ทั้งหมดทั้งประจุพลังงานไฟฟ้าส่วนเกินไว้ในแบตเตอรี่พร้อมๆกัน ส่วนในช่วงกลางคืนเซลล์แสงอาทิตย์ไม่ได้รับแสงแดดจึงไม่สามารถผลิตไฟฟ้าได้จากช่วงเวลาดังกล่าว พลังงานที่สะสมจากแบตเตอรี่ที่เก็บไว้ในช่วงกลางวันจะถูกจ่ายให้แก่อุปกรณ์ จึงสามารถกล่าวได้ว่าระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระสามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าให้โหลดได้ทั้งกลางวันและกลางคืน อุปกรณ์ระบบที่สำคัญประกอบด้วย แผงเซลล์แสงอาทิตย์ อุปกรณ์ควบคุมการประจุแบตเตอรี่ แบตเตอรี่ และอินเวอร์เตอร์อุปกรณ์แปลงระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ Stand alone เป็นต้น

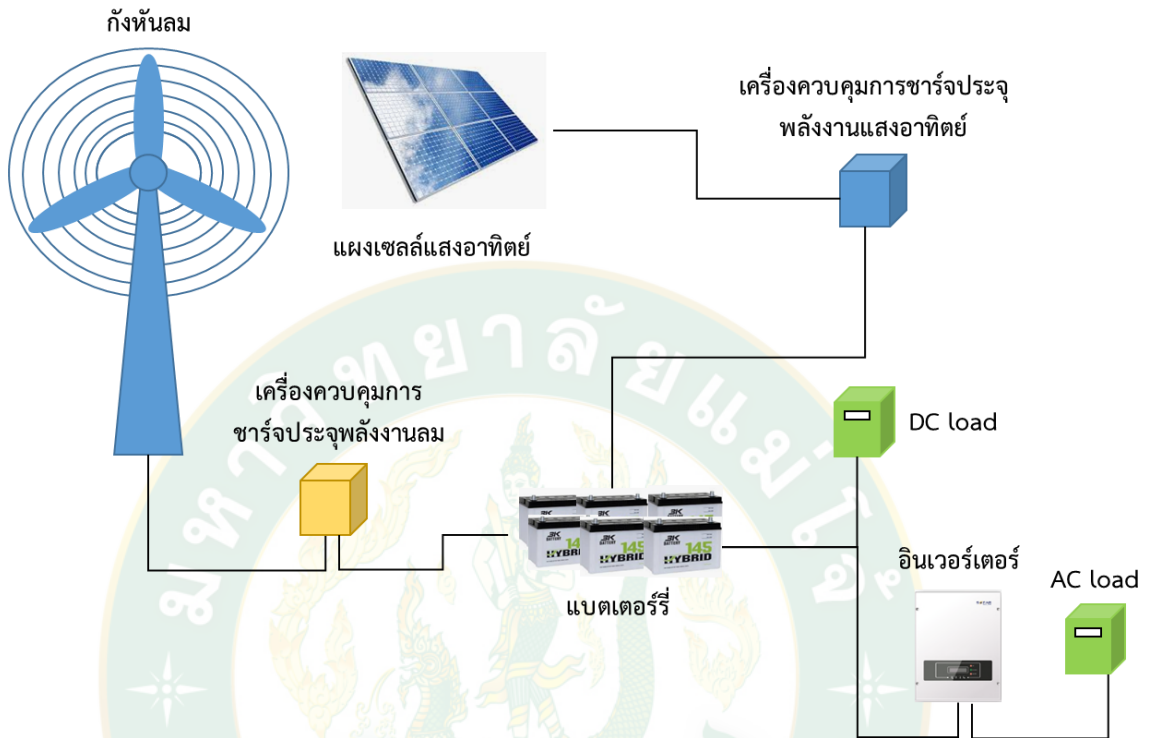
2. ระบบผลิตไฟฟ้าแสงอาทิตย์ด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่าย (Photovoltaic (PV) Grid Connected System)



รูปที่ 22 ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่าย

รูปที่ 22 เป็นระบบที่ถูกออกแบบสำหรับผลิตไฟฟ้าผ่านอุปกรณ์อินเวอร์เตอร์แปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับเข้าสู่ระบบจำหน่ายไฟฟ้าพื้นฐานโดยตรงมีหลักการทำงานแบ่งเป็น 2 ช่วงเวลาคือ ในช่วงเวลากลางวันเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับแสงแดดสามารถผลิตไฟฟ้าจ่ายให้แก่โหลดได้โดยตรง โดยผ่านอุปกรณ์อินเวอร์เตอร์แปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ และหากมีพลังงานไฟฟ้าส่วนที่เกินจะถูกจ่ายเข้าระบบจำหน่ายไฟฟ้าพื้นฐาน ส่วนในช่วงกลางคืนเซลล์แสงอาทิตย์ไม่สามารถผลิตไฟฟ้าได้ กระแสไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าพื้นฐานจะจ่ายให้แก่โหลดโดยตรงดังนั้น ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่ายจะเป็นการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้าในเขตเมืองหรือพื้นที่มีระบบจำหน่ายไฟฟ้าเข้าถึง อุปกรณ์ระบบที่สำคัญประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์อุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับชนิดต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าพื้นฐานเป็นต้น

3. ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน (Photovoltaic (PV) Hybrid System)

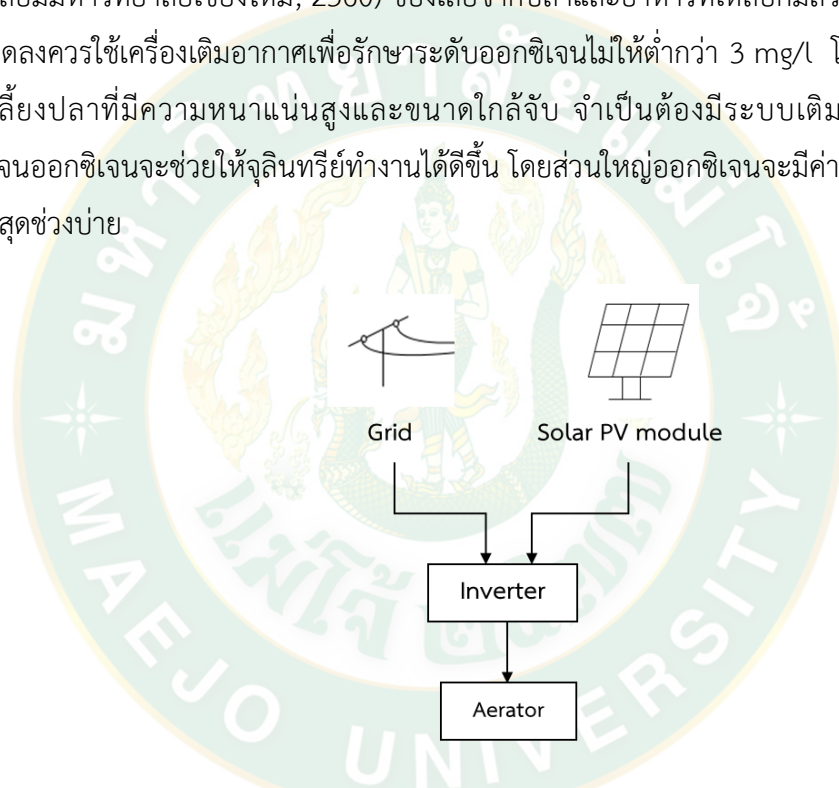


รูปที่ 23 ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน

รูปที่ 23 คือระบบถูกออกแบบสำหรับให้ทำงานร่วมกับอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าอื่นๆ เช่น ระบบเซลล์แสงอาทิตย์กับพลังงานลมและเครื่องยนต์ดีเซล หรือระบบเซลล์แสงอาทิตย์กับพลังงานลมและไฟฟ้าพลังงานน้ำ เป็นต้น โดยรูปแบบระบบจะขึ้นอยู่กับ การออกแบบตามวัตถุประสงค์เป็นกรณีเฉพาะเช่น ระบบเซลล์แสงอาทิตย์กับพลังงานลมและเครื่องยนต์ดีเซลมีหลักการทำงาน กล่าวคือ ในช่วงเวลากลางวันเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับแสงแดดสามารถผลิตไฟฟ้าได้จ่ายกระแสไฟฟ้าผ่านอุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับชนิด Multi-function ทำงานร่วมกับไฟฟ้าจากพลังงานลม จ่ายกระแสไฟฟ้าให้แกโหลดพร้อมทั้งทำงานประจุไฟฟ้าส่วนที่เกินไว้ในแบตเตอรี่ ในกรณีพลังงานลมต่ำไม่สามารถผลิตไฟฟ้าหรือเวลากลางคืนไม่มีไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ชุดแบตเตอรี่จะจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แกโหลด

2.5 ระบบเติมอากาศ

ออกซิเจนละลายน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเกิดจากการแพร่ของอากาศลงไปใต้น้ำจากการสังเคราะห์แสงของแพลงก์ตอนพืช สาหร่ายและพืชน้ำ ซึ่งสัตว์น้ำจะใช้ออกซิเจนเพื่อช่วยในการหายใจ โดยเฉพาะในเวลากลางคืนออกซิเจนจึงมีความจำเป็นอย่างมากหากออกซิเจนต่ำเกินไปจะทำให้สัตว์น้ำเครียด อ่อนแอ โตช้า ติดโรคได้ง่าย หรืออาจจะทำให้สัตว์น้ำตายหมดทั้งบ่อได้ ซึ่งปริมาณออกซิเจนในน้ำแต่ละบ่อจะแตกต่างกันไปตามขนาดบ่อและปริมาณสัตว์น้ำที่เลี้ยงในบ่อ การเลี้ยงปลาที่มีความหนาแน่นสูงและขนาดปลาที่โตขึ้นทำให้มีการใช้ออกซิเจนเพิ่มขึ้น (หน่วยวิจัยสังคมและสิ่งแวดล้อมมหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2560) ของเสียจากปลาและอาหารที่เหลือก็มีส่วนทำให้ออกซิเจนในบ่อลดลงควรใช้เครื่องเติมอากาศเพื่อรักษาระดับออกซิเจนไม่ให้ต่ำกว่า 3 mg/l โดยเฉพาะในบ่อที่มีการเลี้ยงปลาที่มีความหนาแน่นสูงและขนาดใกล้จับ จำเป็นต้องมีระบบเติมอากาศเพื่อผลิตออกซิเจนออกซิเจนจะช่วยให้จุลินทรีย์ทำงานได้ดีขึ้น โดยส่วนใหญ่ออกซิเจนจะมีค่าต่ำสุดเวลาเช้ามืดและสูงสุดช่วงบ่าย



รูปที่ 24 ระบบเติมอากาศที่ใช้ในการตรวจวัด

จากรูปที่ 24 ระบบเติมอากาศในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเดิมที่เครื่องเติมอากาศจะมีการใช้ไฟฟ้าจากพลังงานไฟฟ้าพื้นฐานเพียงอย่างเดียวจากนั้นเริ่มมีการพัฒนาให้มีการใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าวร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์เพิ่มมากขึ้นเพื่อช่วยลดการใช้งานจากพลังงานไฟฟ้าพื้นฐาน โดยระบบเติมอากาศที่ผู้วิจัยตรวจวัดการใช้พลังงานไฟฟ้านี้จะประกอบด้วย แหล่งจ่ายไฟฟ้าจากทั้ง 2 แหล่งคือ 1) แผงเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับใช้ผลิตไฟฟ้าซึ่งไฟฟ้าที่ผลิตได้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง (DC) 2) แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าพื้นฐาน (grid) นอกจากนี้ยังมีอินเวอร์เตอร์เป็นอุปกรณ์แปลงไฟฟ้ากระแสตรง (DC) จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) สำหรับจ่ายให้เครื่องเติม

2.6 อินเวอร์เตอร์ (inverter)

อินเวอร์เตอร์ในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำนี้ (commercial scale) คือรูปแบบโซล่าไฮบริด อินเวอร์เตอร์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้แปลงไฟฟ้ากระแสตรง (DC) จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) ซึ่งมีแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจากไฟฟ้าพื้นฐานจ่ายให้กับอินเวอร์เตอร์เพื่อทำงาน ขณะเดียวกันไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตได้จะถูกจ่ายไปยังโหลด หรืออุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า ภายในบ้าน (ไฟฟ้า 1 เฟสระบบกำลังขนาดเล็ก หรืออาจเข้ากับระบบ 3 phase ที่มีขนาดใหญ่กว่า) หรืออาจแปลงไฟฟ้าที่ผลิตได้ป้อนให้สายส่งเพื่อขายไฟให้การไฟฟ้า ปัจจุบันเครื่องจะตัดการทำงานทันทีที่ไฟฟ้าดับเพื่อป้องกันไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ผ่านไปยังสายไฟของการไฟฟ้า (สำนักพัฒนาทรัพยากรบุคคลด้านพลังงาน, 2555) โดยมีการคำนวณกำลังไฟฟ้างานที่ 3 เป็นกำลังไฟฟ้าที่จ่ายสำหรับ single phase หากจ่ายเป็นกำลังไฟฟ้าสำหรับ 3 phase ต้องคำนวณตั้งสมการที่ 4

$$P_{\text{load}} = I_{\text{load}} \times V_{\text{load}}$$

สมการที่ 3

โดยที่ P_{load} คือ กำลังไฟฟ้าจ่ายไปยังโหลด
 I_{load} คือ กระแสไฟฟ้าที่จ่ายไปยังโหลด
 V_{load} คือ แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายไปยังโหลด

$$P_{\text{load}} = I_{\text{load}} \times V_{\text{load}} \times \sqrt{3} \times \text{PF}$$

สมการที่ 4

ซึ่ง PF คือ ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (มีค่าเป็น 0.85)

2.7 การวิเคราะห์ค่าทางพลังงานไฟฟ้า

1. การวิเคราะห์ค่าพลังงานไฟฟ้าเป็นการคำนวณจากมอเตอร์ที่ใช้งานมีการใช้ไฟที่วัดเปิดใช้งานกี่ชั่วโมง สามารถคำนวณได้ว่าในแต่ละเดือนใช้ไฟฟ้าไปกี่หน่วย (การไฟฟ้านครหลวง, 2561) ตั้งสมการ 8

$$\text{พลังงานไฟฟ้า} = \text{กำลังไฟฟ้า (kW)} \times \text{ระยะเวลาในการใช้งาน (hr)}$$

สมการที่ 5

2. การวิเคราะห์ค่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะ (สรารุช และคณะ, 2562) จากประเมินการใช้พลังงานไฟฟ้าในบ่อเพาะเลี้ยงปลาร่วมกับปริมาณปลาที่ผลิตได้ต่อหน่วยการใช้ไฟฟ้าในการเพาะเลี้ยง

ปลาแต่ละรอบ และเพื่อคาดการณ์ค่าไฟฟ้าที่ใช้ในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในหนึ่งรอบ โดยจะมีการคำนวณดังนี้

$$\text{ดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะ} = \frac{\text{พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมดในหนึ่งรอบการเลี้ยง (kWh)}}{\text{น้ำหนักปลาทั้งหมดที่ผลิตได้ (kg)}}$$

สมการที่ 6

2.8 เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องนี้ได้ศึกษาการนำเทคโนโลยี IoT เช่น ZigBee LoRa WPAN มาประยุกต์ใช้กับระบบตรวจวัดต่างๆ ที่ดำเนินการด้วยเครือข่ายไร้สายที่สะดวกและง่ายต่อการใช้งานจำเป็นต่อการใช้งานอุปกรณ์ตรวจวัดจำพวกเซ็นเซอร์ที่มีความสามารถใช้ตรวจวัดควบคุมระบบอัตโนมัติ ติดตามผลการทำงานของระบบหรืออุปกรณ์ที่รองรับการทำงานด้วยเครือข่ายไร้สาย เก็บข้อมูลสำหรับวิเคราะห์ผล การจัดการการทำงานเพื่อลดการใช้พลังงานและต้นทุน

(Sung et al., 2014) ได้ศึกษาระบบตรวจวัดอัตโนมัติสำหรับสภาพแวดล้อมของฟาร์มเพาะเลี้ยงปลาที่ใช้เครือข่ายร่วมกับอุปกรณ์มือถือและรูปแบบการเก็บข้อมูลเรียลไทม์ของสภาพแวดล้อมฟาร์มระยะไกลในการควบคุมฟาร์มปลาด้วยเซนเซอร์ตรวจวัดออกซิเจนที่ละลายในน้ำ อุณหภูมิ ใช้โมดูล 8051การแปลงสัญญาณ A/D ข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดแบบเรียลไทม์จะบันทึกและแสดงผลผ่านสัญญาณเครือข่ายไร้สาย ZigBee ผ่านเครื่องส่งสัญญาณระยะไกลไปยังคอมพิวเตอร์ปลายทาง ซึ่งมีการใช้ Visual Basic 2010 ออกแบบฟังก์ชันอินเตอร์เฟซและโมดูลตรวจจับควบคุมระบบนี้ใช้พลังงานน้อย ค่าใช้จ่ายต่ำ ง่ายต่อการส่งข้อมูลด้วยเครือข่ายไร้สายประสิทธิภาพแหล่งจ่ายไฟสำคัญมากสำหรับอุตสาหกรรมเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยในระบบนี้ได้ทำให้มีการใช้พลังงานในตัวควบคุมกับการแปลงพลังงานจากแบตเตอรี่มาใช้ถ้าการจ่ายไฟหยุดชะงัก ระบบแบตเตอรี่มีการออกแบบให้มีการหลีกเลี่ยงการปลดปล่อยพลังงานของตัวเอง ซึ่งจะทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ลดลงพลังงานแสงอาทิตย์ถูกนำมาใช้สำหรับการชาร์จเมื่อใดก็ได้

(Paulin et al., 2017) ได้ทำระบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายตรวจวัดอัตโนมัติสำหรับสภาพแวดล้อมฟาร์มปลา ระบบนี้ช่วยให้ผู้ใช้งานทราบข้อมูลสภาพแวดล้อมของฟาร์มปลาทันทีที่ตรวจวัดได้และควบคุมข้อมูลสภาพแวดล้อมที่หลากหลายผ่านอุปกรณ์โทรศัพท์มือถือ ในระบบนี้ตรวจวัดอุณหภูมิ ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ค่า pH และระดับน้ำ ที่ใช้ร่วมกับโมดูลตรวจจับ(วัด) หน่วยประมวลผล MCU ใช้การบันทึกการตรวจจับสัญญาณทางกายภาพ เครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย ZigBee นำข้อมูลไปตรงการประมวลผลกลาง อินเตอร์เฟซ Raspberry Pi โอนข้อมูลไปยังอุปกรณ์ปลายทางของผู้ใช้งาน(โทรศัพท์มือถือ) อุปกรณ์ปลายทางใช้ควบคุมควบคุมสภาพแวดล้อมฟาร์มปลาทั้งหมด

MCU รุ่น MSP 430 ซึ่งใช้พลังงานต่ำ เป็นหลักของแต่ละการตรวจจับของสถานีปลายทางและสถานีกลาง สปริงของแหล่งจ่ายไฟสามารถสลับใช้พลังงานของแบตเตอรี่ แหล่งจ่ายไฟฟ้ามาตรฐานหรือพลังงานจากแบตเตอรี่ใช้แสงอาทิตย์ ระบบของ UPS ทั้งหมดเน้นไปที่การทำให้ปลอดภัย ราคาถูก การใช้พลังงานต่ำ ง่ายต่อการใช้งาน สำหรับการตรวจสอบสภาพแวดล้อมการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบไร้สาย โดยบอร์ดทำขึ้นเพื่อใช้ในระบบมีลักษณะดังนี้



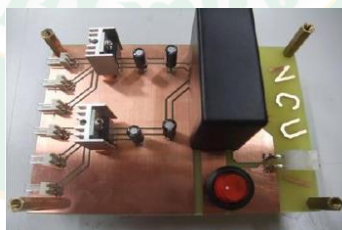
รูปที่ 25 บอร์ดเทอร์มินัลควบคุมส่วนกลางไร้สาย

รูปที่ 26 บอร์ดตรวจวัดอุณหภูมิแบบไร้สาย



รูปที่ 27 บอร์ดวงจรการประมวลผลข้อมูล
เครื่องวัดออกซิเจนที่ละลายในน้ำและ PH แบบ
ไร้สาย

รูปที่ 28 บอร์ดควบคุมโหลดไร้สาย



รูปที่ 29 บอร์ดไฟฟ้า

(J. H. Chen et al., 2015) ได้สร้างระบบตรวจสอบอัตโนมัติของเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายสำหรับฟาร์มปลาที่มีการจำลองสภาพแวดล้อม ระบบนี้ทำให้ผู้ใช้งานด้วยอุปกรณ์มือถือสามารถตรวจสอบข้อมูลสภาพแวดล้อมฟาร์มปลาได้ทันทีและควบคุมข้อมูลสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ค่าอุณหภูมิ ค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำค่า PH และระดับน้ำ มีการใช้โมดูลตรวจจับรวมในระบบตรวจวัดนี้ด้วยการประมวลผล MCU ใช้การจับสัญญาณการตรวจจับทางกายภาพ เครือข่ายไร้สาย ZigBee มีการส่งข้อมูลไปยังคอร์หน่วยประมวลผลกลาง อินเทอร์เน็ตโดย WIFI แล้วถ่ายโอนข้อมูลไปยังอุปกรณ์ปลายทาง

ของผู้ใช้งาน ผู้ใช้งานสามารถควบคุมสภาพแวดล้อมฟาร์มปลาทั้งหมดผ่านอุปกรณ์ปลายทางซอฟต์แวร์แอนดรอยด์ใช้การออกแบบการอินเตอร์เฟซอุปกรณ์ปลายทางของผู้ใช้งาน MCU รุ่น MSP430 ใช้พลังงานต่ำซึ่งเป็นคอร์แต่ละสถานีตรวจจับและสถานีกลาง แหล่งจ่ายไฟสามารถใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ แหล่งจ่ายไฟฟ้าฐานหรือแบตเตอรี่ที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ UPS ทำให้ระบบทั้งหมดมีความปลอดภัยในราคาที่ถูก การใช้พลังงานต่ำ มีคุณสมบัติที่ง่ายต่อการใช้งานด้วยอิสระภาพการทำงานในระดับสูงสำหรับระบบตรวจสอบสภาพแวดล้อมการเพาะพันธุ์ปลาแบบไร้สาย

ในส่วนของฮาร์ดแวร์ระบบได้ใช้ฟิร์มแวร์ MSP430 เป็นการประมวลผลของแต่ละโหนดการตรวจจับของคอร์ อินเตอร์เฟซเครือข่ายตรวจวัดแบบไร้สายใช้ ZigBee เป็นการอินเตอร์เฟซการสื่อสาร ในแต่ละเซนเซอร์และด้านการควบคุมมีการติดตั้งด้วยตัวรับส่งสัญญาณ ZigBee ไร้สาย และไมโครคอนโทรลเลอร์ MSP430 ใช้ระบบประมวลผลกลางที่มีการทำขึ้นเองควบคุมแต่ละเซนเซอร์และคอนโทรลเลอร์ ข้อมูลทั้งหมดถูกรวบรวมผ่านสถานีกลางที่มีการติดตั้งโมดูลส่งสัญญาณ WIFI การตรวจวัดข้อมูลสภาพแวดล้อมทั้งหมดจะถูกส่งไปยังอุปกรณ์ปลายทางของผู้ใช้งาน แหล่งจ่ายไฟสามารถปรับได้ขึ้นอยู่กับการทำงานที่ผู้ใช้งานตั้งค่าที่แตกต่างกัน หรือขึ้นกับสภาพแวดล้อมที่ตรวจวัด โดยระบบจะมีโครงสร้างดังรูปที่ 30



รูปที่ 30 แผนภาพฮาร์ดแวร์

การออกแบบซอฟต์แวร์ อุปกรณ์ปลายทาง (อุปกรณ์มือถือ) ใช้ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ในการตรวจสอบ ซอฟต์แวร์เตรียมการออกแบบโปรแกรม Windows ด้วยเครื่องมืออินเตอร์เฟซกราฟฟิกของผู้ใช้งานและเครื่องมือพัฒนาโปรแกรม ดึงเครื่องมือกราฟฟิกที่ต้องการดู ของเครื่องมือการใช้งานโปรแกรม ด้วยรูปแบบเดียวกับกระบวนการเขียนโปรแกรม Windows ประหยัดเวลาในการพัฒนาจากการเขียนแอปพลิเคชันช่วยเร่งความเร็วของการพัฒนาแอปพลิเคชัน คลิกที่แอปจะเข้าสู่หน้าจอเข้าสู่ระบบ (ดังรูป 31) จะต้องป้อนรหัสผ่านบัญชีเพื่อเข้าสู่หน้าการตรวจสอบในรูปที่ 32



รูปที่ 31 หน้าจอล็อกอิน



รูปที่ 32 หน้าการตรวจสอบ

นอกจากด้านการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแล้วยังมีการพัฒนานำเทคโนโลยี IoT มาใช้ในระบบตรวจวัดหรือควบคุมสภาพแวดล้อมด้านการเกษตรเช่น โรงเรือนที่ใช้การปลูกพืชที่อ่อนแอต่อสภาพแวดล้อมที่ต้องมีการควบคุมอุณหภูมิ ความชื้นหรือแม้แต่แสงแดด และปัจจัยอื่นๆที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช อีกทั้งยังสามารถช่วยป้องกันแมลงที่เป็นศัตรูพืช เพื่อให้ได้ผลผลิตที่ดีขึ้น

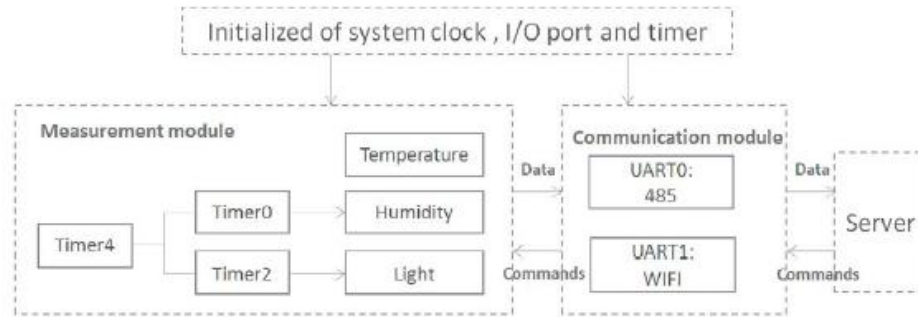
(Liang et al., 2018) เสนอวิธีการตรวจสอบแบบไดนามิกของสภาพแวดล้อมของโรงเรือนด้วย WIFI, และตระหนักถึงการตรวจสอบอุณหภูมิ ความชื้น ระยะไกลในโรงเรือนและความเข้มแสงผ่านเซ็นเซอร์โรงเรือนที่ได้รับการออกแบบและซอฟต์แวร์เซิร์ฟเวอร์ที่พัฒนาแล้ว ซึ่งโปรแกรมสำหรับตรวจวัดสภาพแวดล้อมโรงเรือนแบบไดนามิกจะมี ออกแบบเซนเซอร์โปรแกรม, การออกแบบของเซิร์ฟเวอร์โปรแกรม, การออกแบบซอฟต์แวร์ของเซนเซอร์และเซิร์ฟเวอร์ มีดังนี้

ออกแบบเซนเซอร์โปรแกรม

ออกแบบและกรอการทำงานจากระบบ ระบบการตรวจวัดด้วย WIFI มีการแปลงสัญญาณ TTL บนโมดูลเซนเซอร์ไปเป็นสัญญาณ WIFI ผ่านโมดูล WIFI หลังจากนั้นเครือข่ายจะเชื่อมต่อและส่งข้อมูลด้วยเซิร์ฟเวอร์ โมดูล WIFI ใช้โมดูล USB-WIFI232-A2 ซึ่งโมดูลนี้สามารถแปลงโปรโตคอลให้สำเร็จผ่านโมดูลนี้ อุปกรณ์ทางกายภาพสามารถเชื่อมต่อเครือข่าย WIFI ทำให้ดำเนินการควบคุมและจัดการสภาพแวดล้อมในโรงเรือนได้ โมดูล WIFI สามารถทำงานใน AP mode และ STA mode ที่เชื่อมต่อกับบอร์ดวงจรไฟฟ้าเซนเซอร์ในระบบ และสร้างการเชื่อมต่อกับเครือข่ายด้วยเซิร์ฟเวอร์ทำให้การสื่อสารระหว่างเซนเซอร์และเซิร์ฟเวอร์สำเร็จ

การออกแบบของเซิร์ฟเวอร์โปรแกรม

มีฟังก์ชันการดำเนินการโดยโปรแกรมเซิร์ฟเวอร์ที่สร้างการเชื่อมต่อเครือข่าย TCP ด้วยโมดูลเซนเซอร์ การส่งคำสั่งไปยังเซนเซอร์เป็นระยะๆ หลังจากนั้นมีการรับและบันทึกค่าสภาพแวดล้อมโดยเซนเซอร์โปรแกรมนี้เขียนใน Visual Basic 6.0 โครงสร้างเซิร์ฟเวอร์มีดังรูป 33



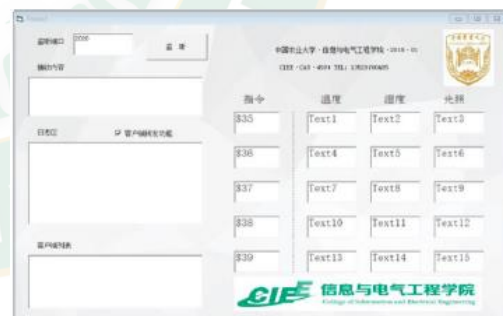
รูปที่ 33 แผนภาพของโปรแกรมเซนเซอร์

การออกแบบซอฟต์แวร์ของเซนเซอร์และเซิร์ฟเวอร์

การทำงานของเซนเซอร์ได้มีการออกแบบซอฟต์แวร์ของเซนเซอร์ซึ่งการออกแบบซอฟต์แวร์ใช้โปรแกรม SCM C8051F020 บนโมดูลเซนเซอร์ โดยฟังก์ชันต่างๆของเซนเซอร์ ส่วนประกอบของซอฟต์แวร์โมดูลเซนเซอร์จะมี ระบบการเริ่มต้น, การรับส่งข้อมูล, การตั้งค่าเวลา คำสั่งและการตอบสนอง ส่วนการออกแบบซอฟต์แวร์ของเซิร์ฟเวอร์ สร้างการเชื่อมต่อของเครือข่าย ลำดับแรกเพิ่มตัวควบคุม winsock สองตัวหนึ่งในนั้นใช้สัญญาณร้องขอตรวจวัดออนไลน์ การควบคุมนี้ถูกตั้งคล้ายกับอาเรย์แบบไดนามิกซอฟต์แวร์นี้สามารถเชื่อมต่อได้ถึง 15 ผู้ใช้งาน การเริ่มต้นของการอินเทอร์เน็ตเฟสซอฟต์แวร์ (ดังรูป 34) หลังจากนั้นสามวินาทีจะอินเทอร์เน็ตเฟสการตรวจวัดสภาพแวดล้อมอัตโนมัติ ดังรูป 35



รูปที่ 34 หน้าจอเริ่มต้นของการอินเทอร์เน็ตเฟส เซิร์ฟเวอร์



รูปที่ 35 อินเทอร์เน็ตเฟสการตรวจสภาพแวดล้อม

การทำงานของระบบขั้นแรกให้คอมพิวเตอร์ที่เซิร์ฟเวอร์กำลังทำงานอยู่เพิ่มลงในเราเตอร์ไร้สาย และทำแผนที่ IP ของเซิร์ฟเวอร์ไปยัง IP สาธารณะของเราเตอร์ จากนั้นกำหนดค่าโมดูล WIFI ในโหมด STA และเพิ่มลงในเราเตอร์ไร้สาย อัตราการถ่ายโอนข้อมูลถูกตั้งไว้ที่ 9600, และค่าของเครือข่ายถูกตั้งค่าเป็น TCP ผู้ใช้งาน IP ของเซิร์ฟเวอร์คือ IP สาธารณะที่วางแผนไปยังเราเตอร์ การตั้งค่าข้างต้นสามารถกำหนดค่าผ่านการกำหนดค่าหน้าเว็บหรือการกำหนดค่าคำสั่ง AT, หลังจาก

ติดตั้งเสร็จแล้วโมดูลเซ็นเซอร์จะเปิดทำงานและซอฟต์แวร์เซิร์ฟเวอร์จะทำงาน ในขณะนี้โมดูลเซ็นเซอร์สามารถส่งค่าขอเชื่อมต่อไปยังเซิร์ฟเวอร์ได้ หลังจากได้รับค่าขอเซิร์ฟเวอร์จะสร้างการเชื่อมต่อกับโมดูลเซิร์ฟเวอร์และส่งคำสั่งเป็นระยะ ๆ

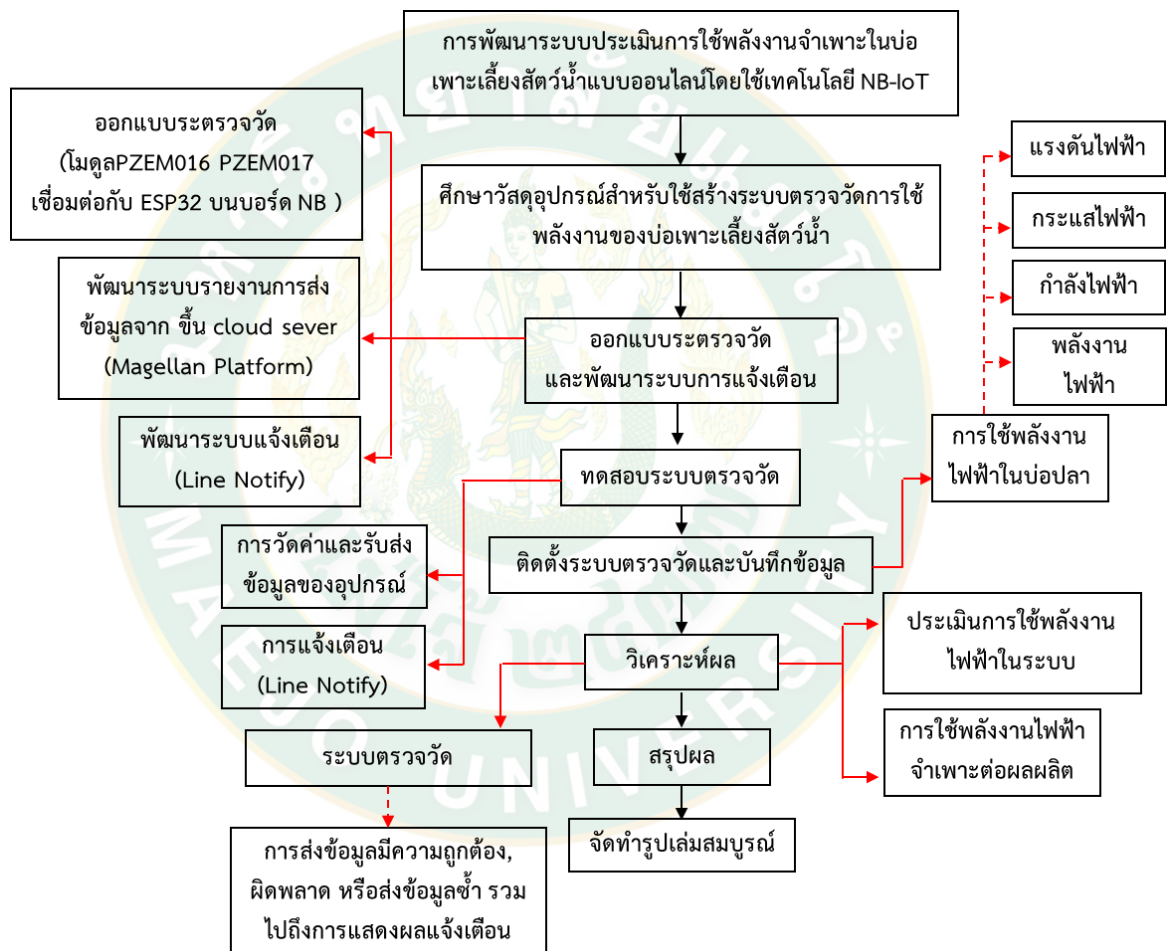
ระบบนี้ใช้การออกแบบการเก็บรวบรวมข้อมูลด้านสิ่งแวดล้อมในโรงเรียนภายใต้โมดูล WIFI จากผลการทดสอบข้างต้น โมดูลเซ็นเซอร์ทำงานต่อไปได้โดยไม่เกิดปัญหาหรือความผิดปกติ ซอฟต์แวร์เซิร์ฟเวอร์ทำงานต่อเนื่องโดยไม่หยุดชะงักและผิดปกติอื่น ๆ การเชื่อมต่อเครือข่ายระหว่างเซิร์ฟเวอร์และเซ็นเซอร์ไม่ได้ถูกขัดจังหวะและประสิทธิภาพในการส่งดี เนื่องจากมีเงาของอาคารในช่วงกลางวัน นอกจากนี้สามารถดูได้จากผลความชื้นและอุณหภูมิที่มีแนวโน้มจะเป็นสัดส่วนผกผันเป็นปกติในช่วงกลางวันโดยไม่มีฝนหรือหิมะ ดังนั้นระบบนี้จึงเป็นวิธีที่เป็นไปได้สำหรับการตรวจสอบอุณหภูมิของโรงเรียนแบบไร้สายจากระยะไกล ความชื้น, ความเข้มของแสงและข้อมูลด้านสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ ให้ความเสถียรและต้นทุนต่ำ เหมาะสำหรับการแก้ปัญหาการจัดการการผลิตโรงเรียน



บทที่ 3

ขั้นตอนการดำเนินงาน

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับระบบตรวจวัดไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าพื้นฐานร่วมกับระบบผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในบ่อเพาะเลี้ยง รวมถึงระบบการแจ้งเตือนค่าพลังงานไฟฟ้า และนำข้อมูลที่ได้มาประกอบพิจารณาการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบการเลี้ยงปลา โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยดังนี้ (รูปที่36)



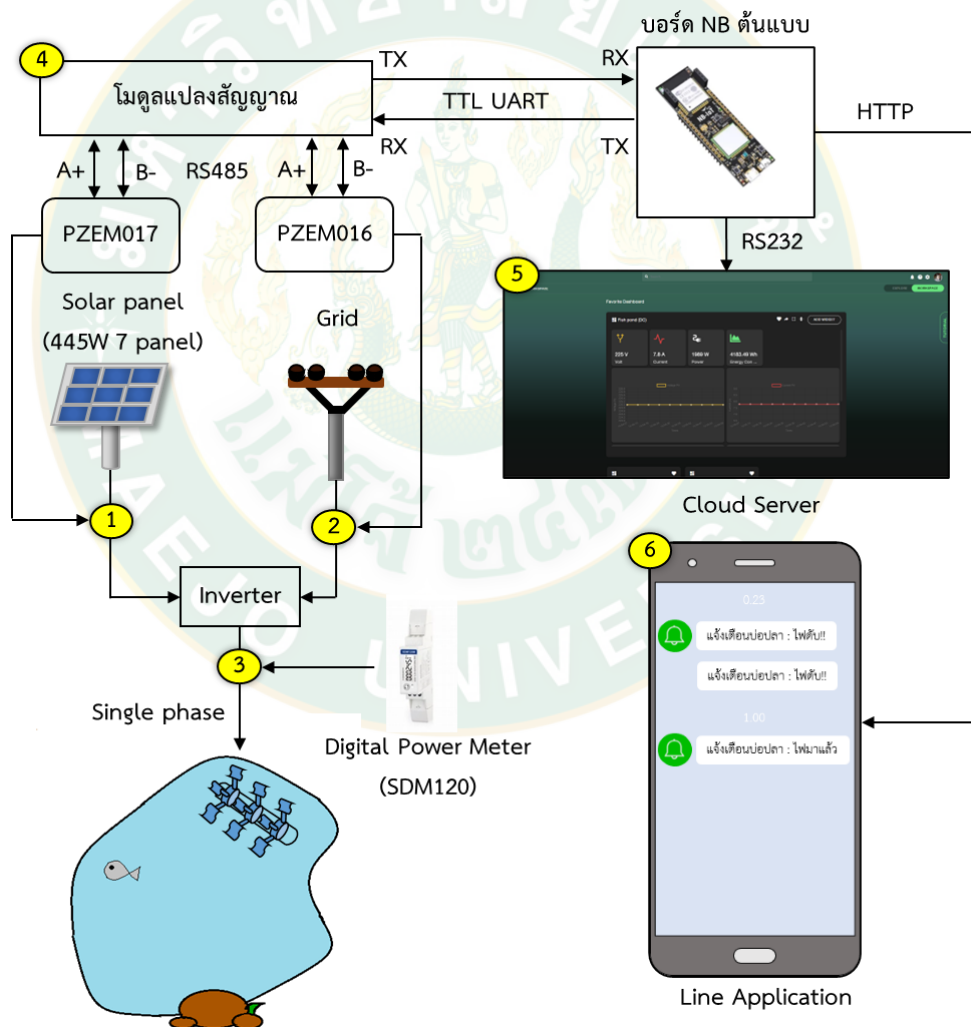
รูปที่ 36 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.1 ศึกษาอุปกรณ์และการใช้พลังงานไฟฟ้าในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

เป็นขั้นตอนในการศึกษาหาปัจจัยและความเหมาะสมสำหรับการนำไปพัฒนาและออกแบบระบบฯ สำหรับตรวจวัดพลังงานไฟฟ้า การศึกษาสามารถแบ่งออกเป็น 2 ระดับ ได้แก่ laboratory scale และ commercial scale โดยทั้งสองระบบแบบจะอาศัยหลักการทำงานที่คล้ายกัน แต่มีความแตกต่างกันในส่วนของอุปกรณ์ใช้งานในบางอย่าง ซึ่งจะได้อธิบายการทำงานในส่วนถัดไป

1. Laboratory scale (บ่อทดสอบระบบตรวจวัดต้นแบบ)

laboratory scale เป็นการศึกษาและพัฒนาระบบฯ ก่อนนำไปติดตั้งในบ่อเพาะเลี้ยงจริง ซึ่งบ่อทดสอบนี้มีอุปกรณ์และส่วนประกอบดังตารางที่ 7 และมีระบบตรวจวัดต้นแบบในบ่อทดสอบดังรูป



รูปที่ 37 แผนผังระบบตรวจวัดต้นแบบในบ่อทดสอบ

การศึกษาระบบพื้นฐานของบ่อทดสอบแสดงในรูปที่ 37 ซึ่งบ่อทดสอบประกอบด้วย แหล่งจ่ายไฟฟ้าร่วมคือระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 445W จำนวน 7 แผง (หมายเลข 1) ร่วมกับไฟฟ้าพื้นฐาน (หมายเลข 2) ขนาด single phase 2 สาย จ่ายไฟฟ้าไปยังอินเวอร์เตอร์ On-grid ขนาด 5,500W ที่ทำหน้าที่แปลงไฟฟ้าจากทั้งสองแหล่งจ่ายเป็นกำลังไฟฟ้า single phase สำหรับจ่ายโหลด (หมายเลข 3) (มอเตอร์ขนาด 2 hp) โดยมีเงื่อนไขการทำงานการเปิดเครื่องเต็ม อากาศในช่วงเวลา 9.00-17.00น.

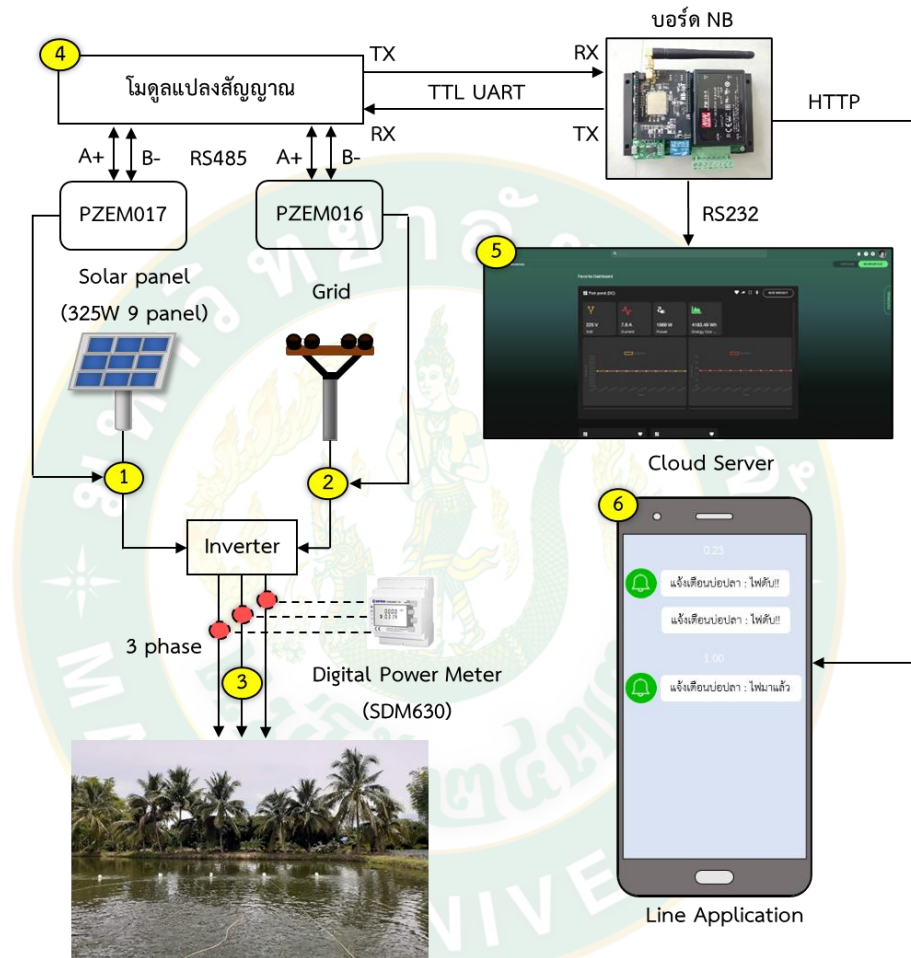
ดังนั้นระบบตรวจวัดที่ต้องการพัฒนาจะถูกติดตั้งเพิ่มทั้งจุดวัดที่หมายเลข 1 (ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์) เลือกใช้งานอุปกรณ์ตรวจวัดไฟฟ้ากระแสตรงรุ่น PZEM017 และ จุดวัดที่หมายเลข 2 (ระบบไฟฟ้าพื้นฐาน) เลือกใช้งานอุปกรณ์ตรวจวัดไฟฟ้ากระแสสลับรุ่น PZEM016 และจุดวัดที่หมายเลข 3 จากอินเวอร์เตอร์จ่ายไฟฟ้า single phase ไปยังเครื่องเต็ม อากาศเลือกใช้ digital power meter (SDM120) สำหรับวัดตรวจวัดการใช้พลังงานของเครื่องเต็ม อากาศ จากนั้นส่งข้อมูลอาศัยตัวแปลงสัญญาณ (หมายเลข 4) จากชนิดสัญญาณ RS485 ให้เป็น ระดับ สัญญาณ TTL เพื่อส่งต่อไปบอร์ด NB ต้นแบบเพื่อประมวลผลและส่งข้อมูลรูปแบบสัญญาณ RS232 ไปยังระบบ cloud server (หมายเลข 5) เพื่อแสดงผล รวมถึงแจ้งเตือนจากบอร์ด NB ต้นแบบที่เชื่อมต่อกับ WiFi ที่ส่งข้อมูลแบบ HTTP ไปยังแอปพลิเคชัน LINE (หมายเลข 6) ในกรณีที่ เกิดเหตุไฟฟ้าขัดข้อง

ตารางที่ 7 อุปกรณ์ไฟฟ้าในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ laboratory scale

laboratory scale			
อุปกรณ์	คุณสมบัติ	รูป	จุดที่ติดตั้ง
แผงเซลล์ แสงอาทิตย์ ขนาด 445W	<ul style="list-style-type: none"> - risen solar technology - รุ่น RSM 144-7-445MDG - Monocrystalline 166x83 mm. - Voltage at Pmax 41.25V - Current at Pmax 10.08A - Open circuit Voltage (Voc) 49.60 - Short circuit Current (Isc) 11.40 - Efficiency 75% 	 <p>(ที่มา : https://en.risenenergy.com)</p>	หมายเลข1
อินเวอร์เตอร์ On-grid ยี่ห้อ SOFAR รุ่น 5KTLM-G2	<p><u>Input DC</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Max. Input power 5500 w - Max. Input voltage 600V <p><u>Output AC</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Max. AC power 5000V/A - Max. output current 22.8A - Nominal frequency 50/60Hz <p><u>Performance</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Max. efficiency 98% <p><u>การสื่อสาร</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - RS485, WIFI/GPRS, SD card 		จุดที่รับไฟฟ้าจาก หมายเลข 1และ2
มอเตอร์ ยี่ห้อ VSK	<ul style="list-style-type: none"> - รุ่น YCL100L-4 - 220V 9.5A - Power 2 hp - Single Phase 1450/min 		มอเตอร์ที่รับ ไฟฟ้า single phase จาก อินเวอร์เตอร์
Digital Power Meter รุ่น SDM120	<ul style="list-style-type: none"> - 1 phase - 176-276 Vac - 0.25-45 A - Modbus RS485 		ไฟฟ้าที่ออกจาก อินเวอร์เตอร์ หมายเลข3

2. Commercial scale (บ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเชิงพาณิชย์)

commercial scale เป็นการศึกษาและพัฒนาระบบฯ สำหรับบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเชิงพาณิชย์ ซึ่งเป็นบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจริงของเกษตรกร ระบบมีอุปกรณ์และส่วนประกอบดังตารางที่ 8 และมีระบบตรวจวัดที่พัฒนาจากระบบต้นแบบสำหรับใช้ในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำจริงรูปที่ 38



รูปที่ 38 แผนผังระบบตรวจวัดในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเชิงพาณิชย์


การศึกษาระบบพื้นฐานของบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเชิงพาณิชย์ของเกษตรกร (บ่อปลา) แสดงในรูปที่ 38 ซึ่งบ่อเพาะเลี้ยงนี้ประกอบด้วยแหล่งจ่ายไฟฟ้าร่วมคือระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 325W จำนวน 9 แผง (หมายเลข 1) ร่วมกับไฟฟ้าพื้นฐาน (หมายเลข 2) ขนาด single phase 2 สาย จ่ายไฟฟ้าไปยังไฮบริดอินเวอร์เตอร์ขนาด 2.2 kW ที่ทำหน้าที่แปลงไฟฟ้าจากทั้งสองแหล่งจ่ายเป็นกำลังไฟฟ้า 3 phase 3 สาย สำหรับจ่ายโหลด (หมายเลข 3) (มอเตอร์ขนาด 1.6kW) โดยมีเงื่อนไขการทำงานจะอาศัยไหมมิ่งการปฏิบัติงานของเกษตรกรเป็นหลัก (ปรียานุช, 2565) ดังนี้

1.) การเปิดเครื่องเติมอากาศในช่วงเวลากลางวันคือ 9.00-17.00น. 2.) การเปิดเครื่องเติมอากาศในช่วงเวลาเวลากลางคืนคือ 23.00-9.00น.

ดังนั้นระบบตรวจวัดที่ต้องการพัฒนาจะถูกติดตั้งเพิ่มทั้งจุดวัดที่หมายเลข 1 (ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์) เลือกใช้งานอุปกรณ์ตรวจวัดไฟฟ้ากระแสตรงรุ่น PZEM017 และ จุดวัดที่หมายเลข 2 (ระบบไฟฟ้าพื้นฐาน) เลือกใช้งานอุปกรณ์ตรวจวัดไฟฟ้ากระแสสลับรุ่น PZEM016 และจุดวัดที่หมายเลข 3 จากไฮบริดอินเวอร์เตอร์จ่ายไฟฟ้า 3 phase ไปยังเครื่องเติมอากาศเลือกใช้ digital power meter (SDM630) สำหรับวัดตรวจวัดการใช้พลังงานของเครื่องเติมอากาศ จากนั้นส่งข้อมูลอาศัยตัวแปลงสัญญาณ (หมายเลข 4) จากชนิดสัญญาณ RS485 ให้เป็นระดับ TTL เพื่อส่งต่อไปบอร์ด NB ดันแบบเพื่อประมวลผลและส่งข้อมูลรูปแบบสัญญาณ RS232 ไปยังระบบ cloud server (หมายเลข 5) เพื่อแสดงผล รวมถึงแจ้งเตือนจากบอร์ด NB ดันแบบที่เชื่อมต่อ WiFi และส่งข้อมูลแบบ HTTP ไปยังแอปพลิเคชัน LINE (หมายเลข 6) ในกรณีที่เกิดเหตุไฟฟ้าขัดข้อง

การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำของเกษตรกรในบ่อนี้คือการเพาะเลี้ยงปลาแรกเริ่มปล่อยลงบ่อเพาะเลี้ยงจำนวน 9,290 ตัว มีระยะเวลาการเลี้ยงทั้งหมด 4 เดือน (พ.ค.-ส.ค.) ได้ผลผลิต 5,450 kg/รอบ ที่มีการใช้เครื่องเติมอากาศในช่วงเวลา 9.00-17.00น. และ 23.00-9.00น. ในระยะการเลี้ยงที่ 2-4 โดยการใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าวร่วมคือไฟฟ้าพื้นฐานและไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

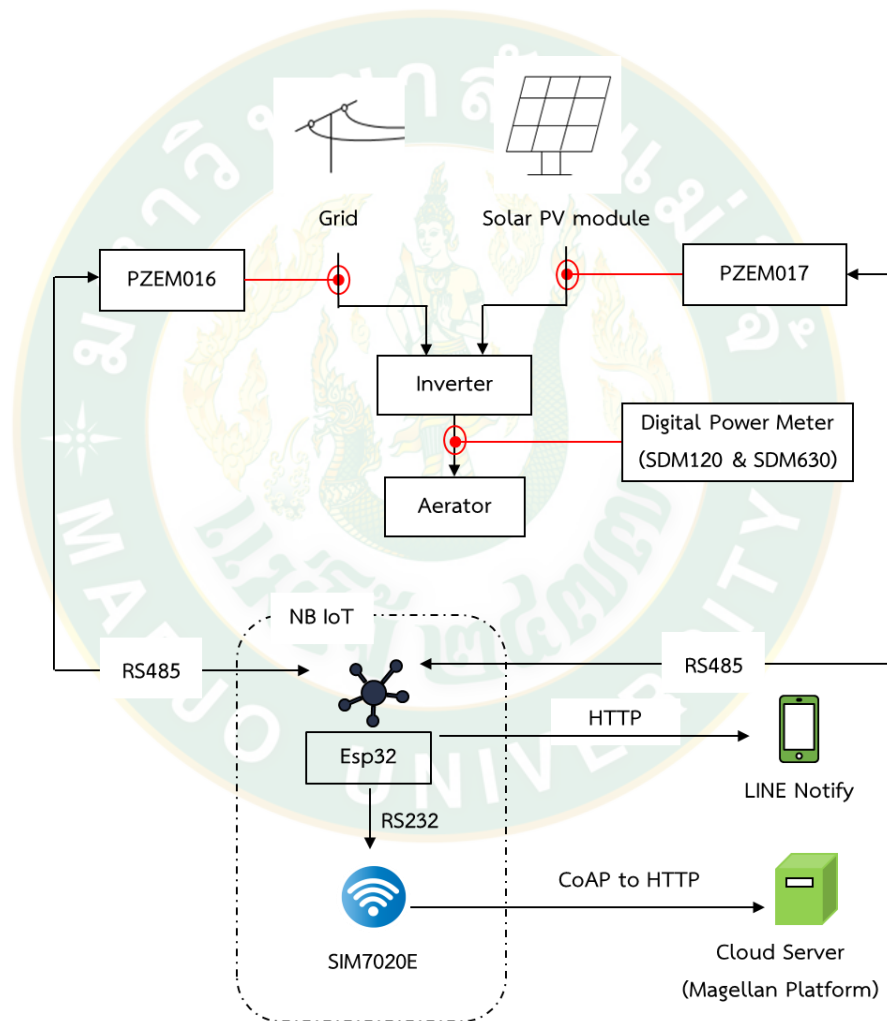
ตารางที่ 8 อุปกรณ์ไฟฟ้าในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ commercial scale

commercial scale			
อุปกรณ์	คุณสมบัติ	รูป	จุดติดตั้ง
แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ASTRONERGY ขนาด 325W	<ul style="list-style-type: none"> - รุ่น CHSM6612P-325 - Polycrystalline - Voltage at Pmax 37.11V - Current at Pmax 8.77A - Open circuit Voltage (Voc) 45.67V - Short circuit Current (Isc) 9.48A 	 <p>(ที่มา : https://unbound-solar.com/1977425/astronergy-solar/solar-panels/)</p>	หมายเลข 1
ไฮบริดอินเวอร์เตอร์ ยี่ห้อ SIEMENS	<ul style="list-style-type: none"> - รุ่น SINAMICS V20 - 3 phase 5.6A - Power 2.2 kW, 3hp - Voltage 380-480V 		จุดที่รับไฟฟ้า จากหมายเลข 1 และ 2
มอเตอร์เติมอากาศ ยี่ห้อ Norvax	<ul style="list-style-type: none"> - 3 phase - 50 Hz 1.6 kW 2890/min - 60 Hz 2.05 kW 3450/min 		มอเตอร์ที่รับ ไฟฟ้า 3 phase จากอินเวอร์ เตอร์
Digital Power Meter รุ่น SDM630	<ul style="list-style-type: none"> - 3 phase - 173-500Vac - Modbus RS485 		ไฟฟ้าที่ออกจาก อินเวอร์เตอร์ หมายเลข 3

3.2 ออกแบบและพัฒนาระบบตรวจวัดและแจ้งเตือนทางพลังงานไฟฟ้า

การออกแบบและพัฒนาระบบแบ่งเป็น 3 ส่วน ประกอบด้วย 1.) การออกแบบระบบตรวจวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าร่วมในบ่อเพาะเลี้ยงคือพลังงานไฟฟ้าพื้นฐานและพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ 2.) การพัฒนาระบบรายงานผลโดยใช้เทคโนโลยี NB IoT 3.) พัฒนาระบบการแจ้งเตือนด้วยแอปพลิเคชัน LINE โดยทั้ง 3 ส่วน มีรายละเอียดดังนี้

3.2.1 ออกแบบระบบตรวจวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าร่วมในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ



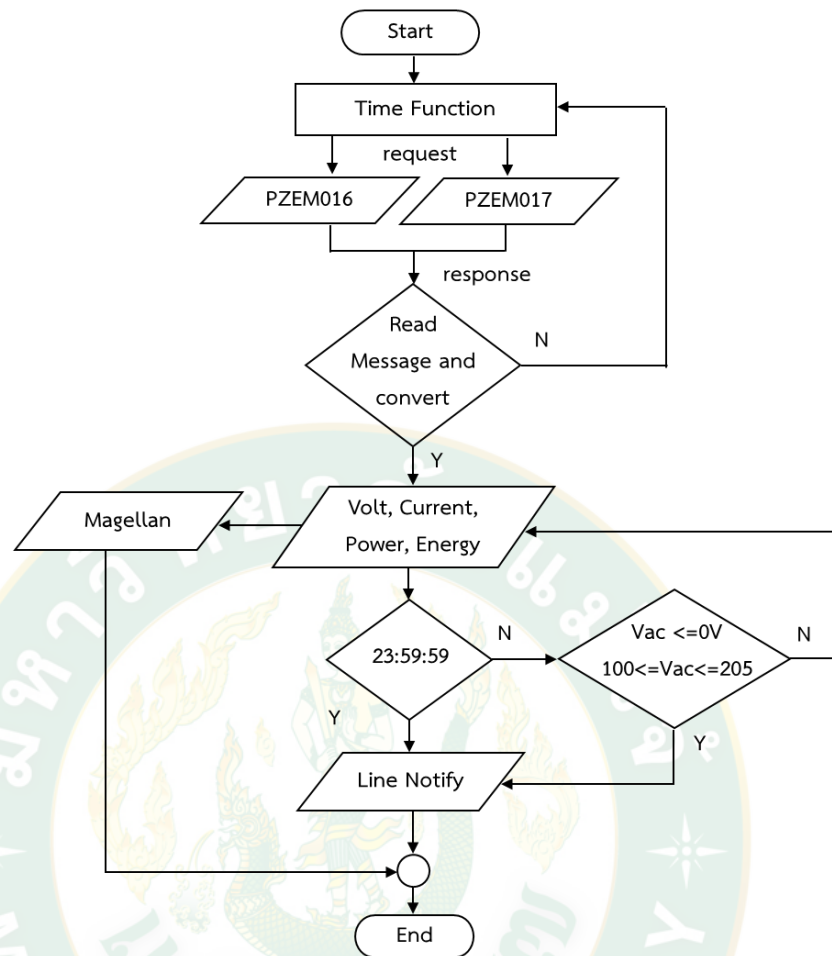
รูปที่ 39 การสื่อสารเชื่อมต่อบริษัทตรวจวัดพลังงานไฟฟ้า

จากการใช้เครื่องเติมอากาศในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำและบ่อทดสอบมีลักษณะการใช้ไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายร่วมที่เหมือนคือการใช้ไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับไฟฟ้าพื้นฐานจ่ายไปยังโหลดผ่านอินเวอร์เตอร์ซึ่งแตกต่างกันที่อินเวอร์เตอร์ไฟฟ้าที่จ่ายไปยังโหลด โดยที่บ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำใช้

ไฮบริดอินเวอร์เตอร์จ่ายไฟฟ้า 3 phase ไปยังโหลดในขณะที่บ่อดทดสอบใช้อินเวอร์เตอร์ on-grid สำหรับจ่ายไฟฟ้า 1 single phase ไปยังโหลด โดยมีรายละเอียดจากรูปที่ 39 แสดงการออกแบบระบบตรวจวัดมีแหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบร่วมแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้มาจากระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (DC) ในส่วนนี้เลือกใช้อุปกรณ์ตรวจวัดคือ PZEM017 ซึ่งมีคุณสมบัติที่สามารถวัดแรงดันไฟฟ้าได้ที่ 0.05-300V กระแสไฟฟ้า 0.2-300A กำลังไฟฟ้าสูงสุด 90kW ฯลฯ ขณะที่ระบบไฟฟ้าพื้นฐาน (AC) ได้เลือกใช้ PZEM-016 ซึ่งมีคุณสมบัติที่สามารถวัดแรงดันไฟฟ้าได้ที่ 80-260V กระแสไฟฟ้า 0-100A กำลังไฟฟ้าสูงสุด 23kW ฯลฯ ข้อมูลทางไฟฟ้าที่อ่านได้จากโมดูลทั้งสองจะถูกแปลงสัญญาณจาก RS485 โดยโมดูลแปลงสัญญาณเป็นสัญญาณ TTL เพื่อส่งข้อมูลไปประมวลผลยังบอร์ดประมวลผล (NB IoT) ที่ใช้ตัวประมวลผลเป็น ESP32 และแปลงสัญญาณสื่อสารเครือข่าย NB ด้วยชิพ SIM7020E ผ่านระบบ RS232 และข้อมูลที่ประมวลผลได้จากระบบตรวจวัดพลังงานไฟฟ้า จะถูกส่งไปยัง Platform ที่รองรับการสื่อสารผ่านเครือข่าย NB ได้ และส่วนสุดท้ายตรวจวัดที่ตำแหน่งจากอินเวอร์เตอร์ไปยังเครื่องเติมอากาศด้วย digital power meter ซึ่งในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำใช้ SDM630 สำหรับตรวจวัดไฟฟ้า 3 phase จากไฮบริดอินเวอร์เตอร์ที่จ่ายไฟฟ้าไปยังโหลด และบ่อดทดสอบใช้ SDM120 สำหรับตรวจวัดไฟฟ้า single phase จากอินเวอร์เตอร์ on-grid ที่จ่ายไฟฟ้าไปยังโหลด

1. การพัฒนาระบบตรวจวัด

การเปิดเครื่องเติมอากาศในช่วงกลางวันนั้นสามารถลดการใช้ไฟฟ้าพื้นฐาน (grid) ได้จากไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ โดยปกติแล้วเกษตรกรส่วนใหญ่จะเติมอากาศในช่วงเวลากลางคืนเพื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนที่เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการใช้ชีวิตของสัตว์น้ำ (Summerfelt, 1998) ในช่วงเวลากลางคืนเป็นช่วงเวลาสำหรับพักผ่อนของเกษตรกรหากเกิดปัญหาขัดข้องกับระบบไฟฟ้าของเครื่องเติมอากาศในช่วงเวลาดังกล่าวอาจเกิดการแก้ไขปัญหาล่าช้าและเกิดการสูญเสียผลผลิตได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบระบบตรวจวัดค่าทางไฟฟ้าและพัฒนาระบบแจ้งเตือนสามารถแจ้งเตือนไปยังเกษตรกรผู้ใช้งานแก้ไขปัญหาได้ทันที โดยใช้อุปกรณ์ตรวจวัด PZEM016 ตรวจวัดระบบไฟฟ้าพื้นฐาน รวมไปถึงพัฒนาอัลกอริทึมระบบตรวจวัดและแจ้งเตือน (รูปที่ 40) นอกจากนี้ยังได้พัฒนาระบบแสดงผลบน cloud server ที่สามารถดูข้อมูลการใช้พลังงานทางไฟฟ้าได้ผ่านอินเทอร์เน็ตแบบออนไลน์ ซึ่งอุปกรณ์ควบคุมในระบบตรวจวัดมีลักษณะดังตารางที่ 9 ที่ใช้ในการตรวจวัดทั้งบ่อดทดสอบและบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจริง



รูปที่ 40 อัลกอริทึมระบบตรวจวัด

รูปที่ 40 แสดงอัลกอริทึมของระบบตรวจวัดโดยให้มีคำสั่งเริ่มการทำงานภายใต้ Time Function ที่มีการกำหนดให้ส่งข้อมูลทุก 5 นาที เมื่ออุปกรณ์ NB ที่มีชิพประมวลผล ESP32 (master) ส่งข้อความร้องขอข้อมูลจากนั้น PZEM016 และ PZEM017 (slave) ที่ตรวจวัดไฟฟ้ากระแสสลับและไฟฟ้ากระแสตรง จากนั้น NB จะอ่านและแปลงชุดข้อความโดยเป็นเงื่อนไขการอ่าน หากไม่สามารถอ่านได้ NB จะเริ่มส่งคำร้องขอข้อมูลอีกครั้ง หากอ่านได้จะอ่านค่าเป็นค่าพารามิเตอร์ (แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้า) จากนั้นมีเงื่อนไขการแจ้งเตือนแรงดันไฟฟ้าที่ตรวจวัดได้จาก PZEM016 โดยมีเงื่อนไขของไฟตกและไฟดับหากเข้าเงื่อนไขการแจ้งเตือนจะแจ้งเตือนไปยัง Line Notify หากไม่เข้าเงื่อนไขจะเข้าสู่การตรวจวัดแบบเดิม รวมไปถึงการแจ้งเตือนการใช้พลังงานในแต่ละวันจะแจ้งเตือนไปยัง Line Notify และจากการอ่านค่าพารามิเตอร์แล้วจะส่งข้อมูลไปแสดงผลยัง Magellan

ตารางที่ 9 อุปกรณ์ควบคุมในระบบตรวจวัด

อุปกรณ์	คุณสมบัติ	รูป	การนำไปใช้งาน
โมดูลแปลง สัญญาณ RS 485	<ul style="list-style-type: none"> - ช่วงการจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่ 3.0V-30V จำกัดที่ 33V - ใช้ได้กับสัญญาณ 3.3V และ 5.0V - มีความสามารถในการป้องกันการรบกวน - มีไฟแสดงสถานะ RXD, TXD ทำให้สามารถมองเห็นการรับและส่งได้จากเงื่อนไขการรับ 		<ul style="list-style-type: none"> - บ่อทดสอบระบบตรวจวัดต้นแบบ
PZEM016 ยี่ห้อ PEACEFAIR	<ul style="list-style-type: none"> - Voltage 80~260V, Current 0~100A, Active power 0~23kW, Power factor: 0.00~1.00, Frequency 45Hz~65Hz, Active energy 0~9999.99kWh - Communication RS485 interface **รายละเอียดเพิ่มเติมแสดงในหัวข้อ 2.2.1 		<ul style="list-style-type: none"> - บ่อทดสอบระบบตรวจวัดต้นแบบ - บ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเชิงพาณิชย์
PZEM017 ยี่ห้อ PEACEFAIR	<ul style="list-style-type: none"> - Voltage 0.05-300V, Current: 0.02-300A (shunt 300A), Power 0.2-90 kW, Energy Consumption 0-9999kWh - Communication Interface RS485 Interface *** รายละเอียดเพิ่มเติมอ่านได้ในหัวข้อ 2.2.2 		<ul style="list-style-type: none"> - บ่อทดสอบระบบตรวจวัดต้นแบบ - บ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเชิงพาณิชย์
บอร์ด NB ต้นแบบ	<ul style="list-style-type: none"> - ชนิดหน่วยประมวลผล single-/dual-core 32-bit LX6 microprocessor(s), up to 600 MIPS - หน่วยความจำตัวเครื่อง 448 KB, RAM 520 KB - Wi-Fi 802.11 b/g/n 2.4GHz, up to 150 Mbps - Bluetooth V4.2 BR Uplink : 62.5 kbps; Downlink: 26.15 kbps 		<ul style="list-style-type: none"> - บ่อทดสอบระบบตรวจวัดต้นแบบ
บอร์ด NB ที่ พัฒนา	<p>บอร์ด NB ถูกพัฒนาร่วมกันกับอุปกรณ์ประเภทแบบสอดขาใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP8266-12F เป็นชิพประมวลผลหลักและติดต่อกับชิพของ Quectel เพื่อร้องขอในการอ่านและส่งข้อมูลขึ้นไปยัง cloud server</p>		<ul style="list-style-type: none"> - บ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเชิงพาณิชย์

*หมายเหตุ ตัวแปร V คือแรงดันไฟฟ้า

2. การพัฒนาระบบแจ้งเตือน

จากการใช้งานของเครื่องเติมอากาศในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมี 2 ช่วงเวลาคือ 9.00-17.00น. ในช่วงเวลากลางวันซึ่งมีการใช้ไฟฟ้าพื้นฐานร่วมกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์หากเกิดไฟดับสามารถใช้ไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้แต่ช่วงเวลากลางคืน 23.00-9.00น. หากไฟดับเกษตรกรต้องแก้ไขทันทีหากล่าช้าอาจส่งผลให้ปลาน้ำจืดหรือชาวอดออกซิเจนตายได้โดยปกติแล้วออกซิเจนจะลดลงในช่วงเวลากลางคืนซึ่งทั้งสองช่วงเวลาก็อาจเกิดไฟตกได้เช่นเดียวกัน ระบบแจ้งเตือนสามารถแจ้งเตือนไปยังเกษตรกรเพื่อลดการสูญเสียสัตว์น้ำจากเหตุการณ์ไฟดับ หรือแจ้งเตือนไฟตก ที่เป็นสาเหตุทำให้อุปกรณ์ในระบบไม่สามารถทำงานได้เต็มประสิทธิภาพทำให้วงจรภายในเกิดการเสียหายและอายุการใช้งานของอุปกรณ์สั้นลง จากการแจ้งเตือนเกษตรกรสามารถแก้ไขปัญหาได้ทันทั่วทั้ง ซึ่งการพัฒนาาระบบแจ้งเตือนสำหรับบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจะตรวจวัดการใช้ไฟฟ้าพื้นฐานเป็นหลักจะมี 2 รูปแบบ คือ 1.) การแจ้งเตือนแรงดันไฟฟ้าในกรณีที่มีเหตุไฟฟ้าขัดข้องคือการแจ้งเตือนสถานะไฟดับไฟตก และมีการแจ้งเตือนใน Line ทันทีเมื่อสถานการณ์ทางไฟฟ้ากลับมาปกติ 2.) การแจ้งเตือนพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ระหว่างวัน โดยจะมีการแจ้งเตือนทุกๆ เทียบคืนของแต่ละวัน ซึ่งอัลกอริทึมของระบบแจ้งเตือนมีดังนี้

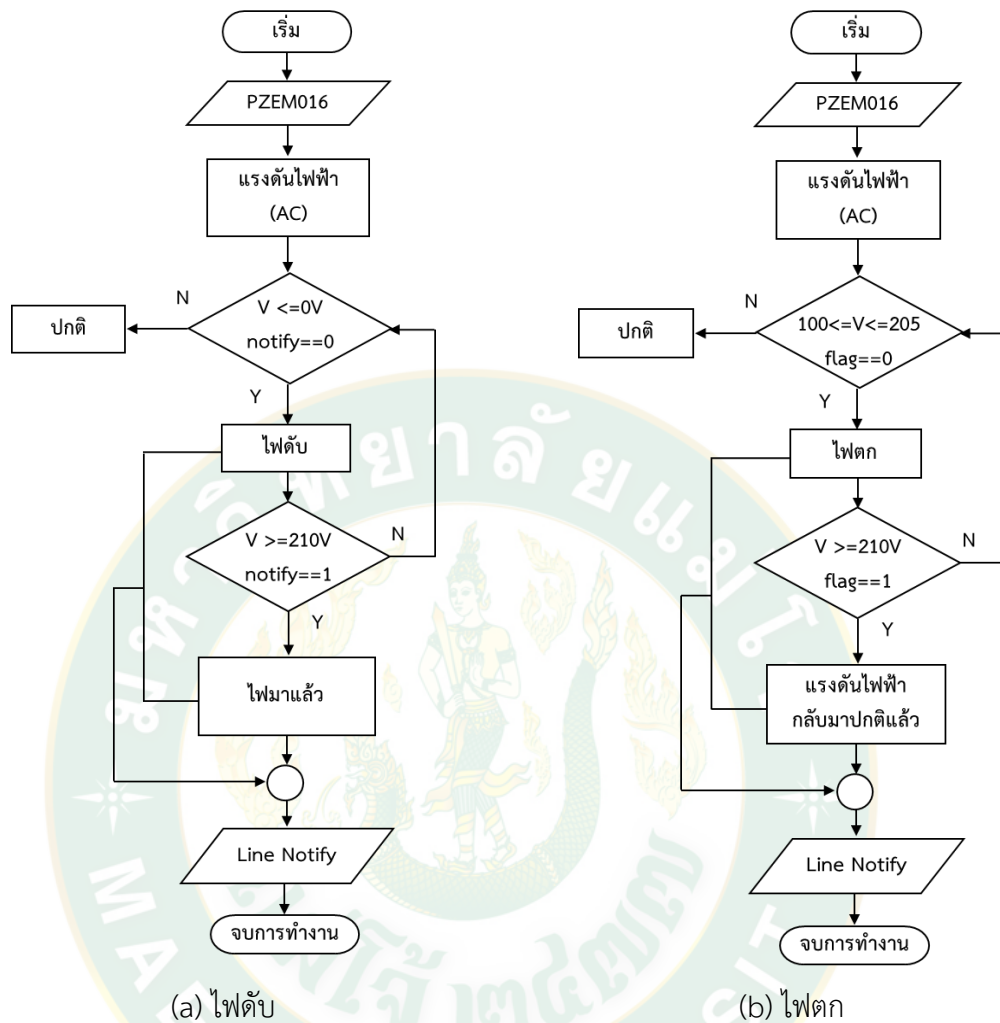
2.1 การแจ้งเตือนแรงดันไฟฟ้า

รูปแบบไฟฟ้าดับ

มีเงื่อนไขดังนี้ 1.) $V \leq 0$ และ $notify == 0$ คือเหตุการณ์ไฟดับได้มีการกำหนดแรงดันไฟฟ้าถ้าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0V มีสถานะเป็นไฟดับโดยการกำหนดตัวแปร $notify$ เท่ากับ 0 2.) $V \geq 210V$ และ $notify == 1$ คือเหตุการณ์ไฟติดได้มีการกำหนดแรงดันไฟฟ้าถ้ามากกว่าหรือเท่ากับ 210V มีสถานะเป็นไฟมาแล้วโดยการกำหนดตัวแปร $notify$ เท่ากับ 1 มีการทำงานดังนี้

รูปแบบไฟฟ้าตก

ในบ่อเพาะเลี้ยงจากการตรวจวัดไฟฟ้า 3 phase ที่ออกจากอินเวอร์เตอร์ส่งไปยังโหนด (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2553) จากแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับช่วง 220-240V โดยเฉลี่ยแรงดันไฟฟ้าที่ 230V คิดเป็นไฟตกที่ 10% 207V ในที่นี้จึงให้แจ้งเตือน 205V เมื่อเหตุการณ์ไฟตกใกล้เคียงกับ 207V มีเงื่อนไขดังนี้ 1.) $100 \leq V \leq 205$ และ $flag == 0$ คือเหตุการณ์ไฟตกได้มีการกำหนดแรงดันไฟฟ้ามากกว่า 100V และน้อยกว่าหรือเท่ากับ 205V มีสถานะเป็นไฟตกโดยการกำหนดตัวแปร $flag$ เท่ากับ 0 2.) $V \geq 210V$ และ $flag == 1$ คือเหตุการณ์แรงดันไฟฟ้ากลับมาปกติได้มีการกำหนดแรงดันไฟฟ้าถ้ามากกว่าหรือเท่ากับ 210V มีสถานะแรงดันไฟฟ้ากลับมาปกติโดยการกำหนดตัวแปร $flag$ เท่ากับ 1 มีการทำงานดังนี้



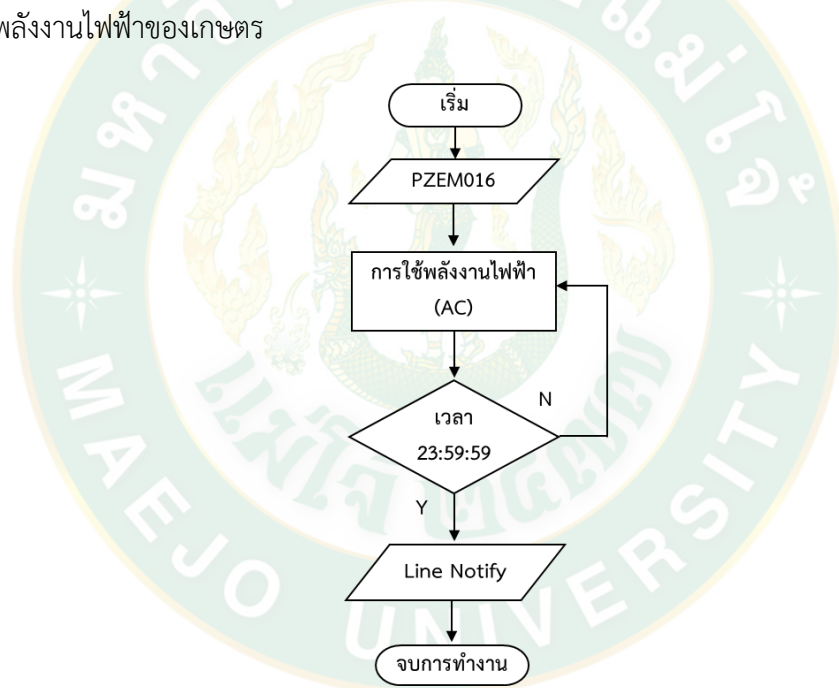
รูปที่ 41 การออกแบบการทำงานของระบบแจ้งเตือนแรงดันไฟฟ้า

รูปที่ 41 (a) แสดงการทำงานรูปแบบไฟดับเริ่มจากการตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าพื้นฐานแล้วจะเข้าสู่เงื่อนไขแรกคือเช็คสถานะของแรงดันไฟฟ้ามีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0V หรือไม่ถ้าไม่เข้าเงื่อนไข แสดงว่าแรงดันไฟฟ้ายังปกติคืออยู่ หากเข้าเงื่อนไขจะเป็นสถานะไฟดับทันทีและแจ้งเตือนไปยัง Line และให้เป็นสถานะ notify == 1 จากนั้นจะมีการเช็คเงื่อนไขที่สอง เนื่องจากมีสถานะของ notify == 1 ที่เป็นของสถานะไฟติดรออยู่ หากแรงดันไฟฟ้ามีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 210V จะมีการแจ้งเตือนไฟมาแล้วไปยัง Line ทันทีและติดสถานะ notify == 0 ไว้รอหากเกิดแรงดันไฟฟ้าดับอีกครั้งจะพร้อมแจ้งเตือนไฟดับทันที ส่วนรูปที่รูปที่ 41 (b) แสดงการทำงานรูปแบบไฟตกเริ่มจากการตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าพื้นฐานแล้วจะเข้าสู่เงื่อนไขแรกคือเช็คสถานะของแรงดันไฟฟ้ามีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 100V และน้อยกว่าหรือเท่ากับ 205V หรือไม่ถ้าไม่เข้าเงื่อนไขแสดงว่าแรงดันไฟฟ้าปกติ หากเข้า

เงื่อนไขจะเป็นสถานะไฟดับตกทันทีและแจ้งเตือนไปยัง Line แรงดันไฟฟ้าน้อยกว่า 205V และให้ติดสถานะเป็น flag == 1 จากนั้นจะมีการเช็คเงื่อนไขที่สองเนื่องจากมีสถานะของ flag == 1 ที่เป็นของสถานะของแรงดันไฟฟ้ากลับมาปกติรออยู่ หากแรงดันไฟฟ้ามีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 210V จะมีการแจ้งเตือนแรงดันไฟฟ้ากลับมาปกติแล้วแล้วไปยัง Line ทันทีและติดสถานะ flag== 0 ไว้รอหากเกิดแรงดันไฟฟ้าตกอีกครั้งจะพร้อมแจ้งเตือนไฟตกทันที

2.2 การแจ้งเตือนการใช้พลังงานไฟฟ้า

จากการใช้ไฟฟ้าพื้นฐานในแต่ละวันเกษตรกรสามารถวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายทางไฟฟ้าได้จากการแจ้งเตือนปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละวัน โดยกำหนดเวลาการส่งข้อมูลจากการตรวจวัดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่เวลา 23:59:59 น. จากการติดตามพฤติกรรม การใช้พลังงานไฟฟ้าของเกษตรกร

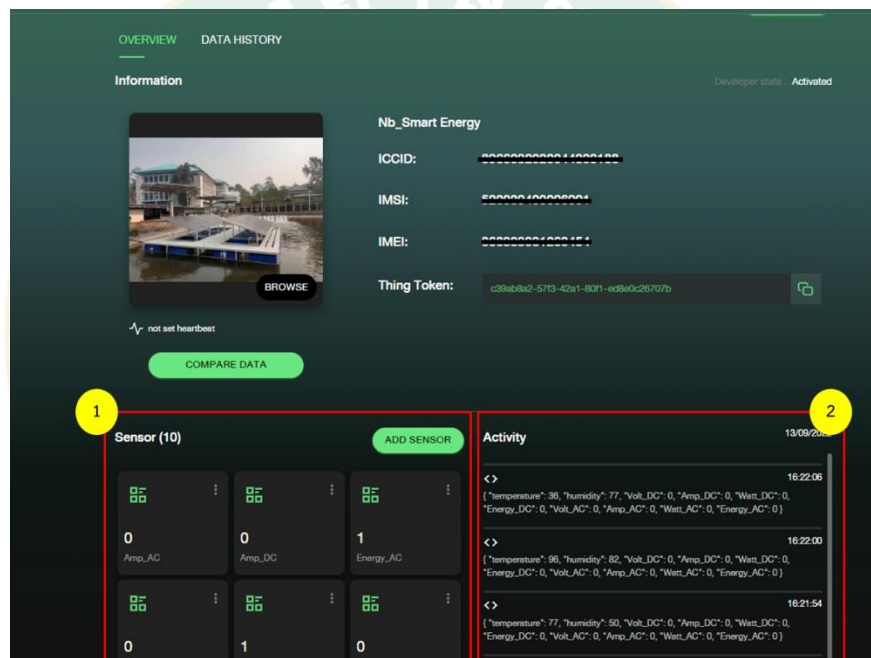


รูปที่ 42 การออกแบบการทำงานของระบบแจ้งเตือนพลังงานไฟฟ้า

จากรูปที่ 42 แสดงอัลกอริทึมการตรวจวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละวันจากการตรวจวัดของ PZEM016 มีการกำหนดเงื่อนไขของเวลาคือ 23:59:59 น. หากไม่เข้าเงื่อนไขให้ตรวจวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อไป หากเข้าเงื่อนไขจึงมีการแจ้งเตือนไปยัง Line

3.2.2 การพัฒนา Platform แสดงผลการตรวจวัดผ่านเครือข่าย NB

การพัฒนากระบวนงานผลผ่านเครือข่าย NB ของ AIS ซึ่งเป็นบอร์ดประมวลผลในการทดลองได้อาศัย Magellan Platform สำหรับรองรับการแสดงผล ซึ่งเป็นแพลตฟอร์มที่รองรับบนเครือข่ายของ AIS การส่งข้อมูลต่างๆ จะใช้ UDP Protocol ที่เป็นตัวกลางในการรับส่งซึ่งเหมาะที่จะนำมาประยุกต์ใช้ในการรับ-ส่งข้อมูลขนาดเล็ก ซึ่งมีความเหมาะสมกับเครือข่าย NB และมีค่าบริการไม่แพงมากไฟฟ้า โดยมีขั้นตอนการใช้งานอย่างละเอียดในภาคผนวก ก. ขณะที่การรับ-ส่งข้อมูลค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าจากการตรวจวัด ได้มีการออกแบบโครงสร้างการส่งข้อมูลจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำขึ้นไปยัง platform มีลักษณะดังนี้



รูปที่ 43 Magellan Platform

รูปที่ 43 แสดงหน้าของอุปกรณ์ NB ที่สร้างสำหรับโปรเจกตรวจวัดค่าพลังงานทางไฟฟ้าในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำซึ่งหมายเลข 1 คือค่าพารามิเตอร์ที่ต้องการแสดงข้อมูลหรือค่าพารามิเตอร์อื่นๆที่ใช้ อุปกรณ์ NB หมายเลขนั้นๆในการรับข้อมูล หมายเลข 2 แสดงข้อความรูปแบบสตริงที่ส่งขึ้นมายัง cloud server

3.2.3 การพัฒนาโปรแกรมระบบตรวจวัดและรายงานผล

ในส่วนของการพัฒนาโปรแกรมระบบตรวจวัดและรายงานผล แบ่งออกเป็น 2 ส่วนสำคัญคือ

1). การพัฒนาระบบตรวจวัด

การอ่านค่าจากอุปกรณ์ตรวจวัด (PZEM016 และ PZEM017) โดยกำหนด ค่าพารามิเตอร์ที่ต้องการข้อมูลซึ่งจะมีค่าพารามิเตอร์ทั้ง AC และ DC คือ แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า และพลังงานไฟฟ้า ก่อนพัฒนาอัลกอริทึมเริ่มจากการสร้างคำสั่งเฟรมเวิร์คดังรูปที่ 44 (Framework instruction) ของ PZEM ทั้ง 2 ที่มีโครงสร้างคำสั่งเป็นแบบ MODBUS RTU ที่เป็นการนำชุดข้อมูลก่อนหน้ามารวมต่อกันคล้ายข้อความ (message) ซึ่งมีการจัดเรียงรูปแบบ message (รูปที่ 45) มีลักษณะดังนี้ ซึ่งรายละเอียดและโครงสร้างอัลกอริทึมแสดงในรูปที่ 46

```

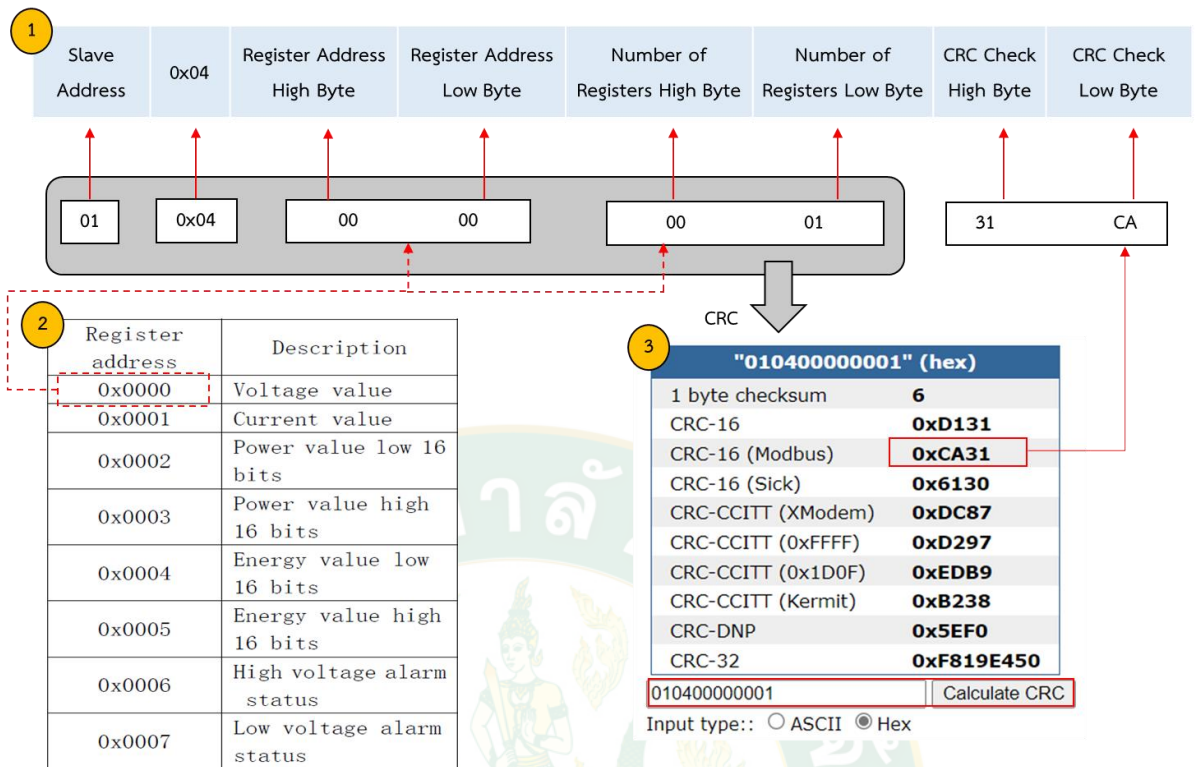
sketch_mar05a §
1 int ac_command[] = {0x01, 0x04, 0x00, 0x00, 0x00, 0x07, 0xB1, 0xC8};
2 int dc_command[] = {0x01, 0x04, 0x00, 0x00, 0x00, 0x06, 0x70, 0x08};
3
4
5

```

Framework instruction

รูปที่ 44 คำสั่งเฟรมเวิร์คของโมดูล PZEM

รูปที่ 44 คือชุดคำสั่งเฟรมเวิร์คของค่าพารามิเตอร์จากอุปกรณ์ตรวจวัดทั้ง PZEM016 และ PZEM017 ซึ่งได้จากการจัดเรียงคำสั่งเฟรมเวิร์คดังรูปที่ 45 ที่นำไปพัฒนาอัลกอริทึม



รูปที่ 45 การจัดเรียงคำสั่งเฟรมเวิร์ค

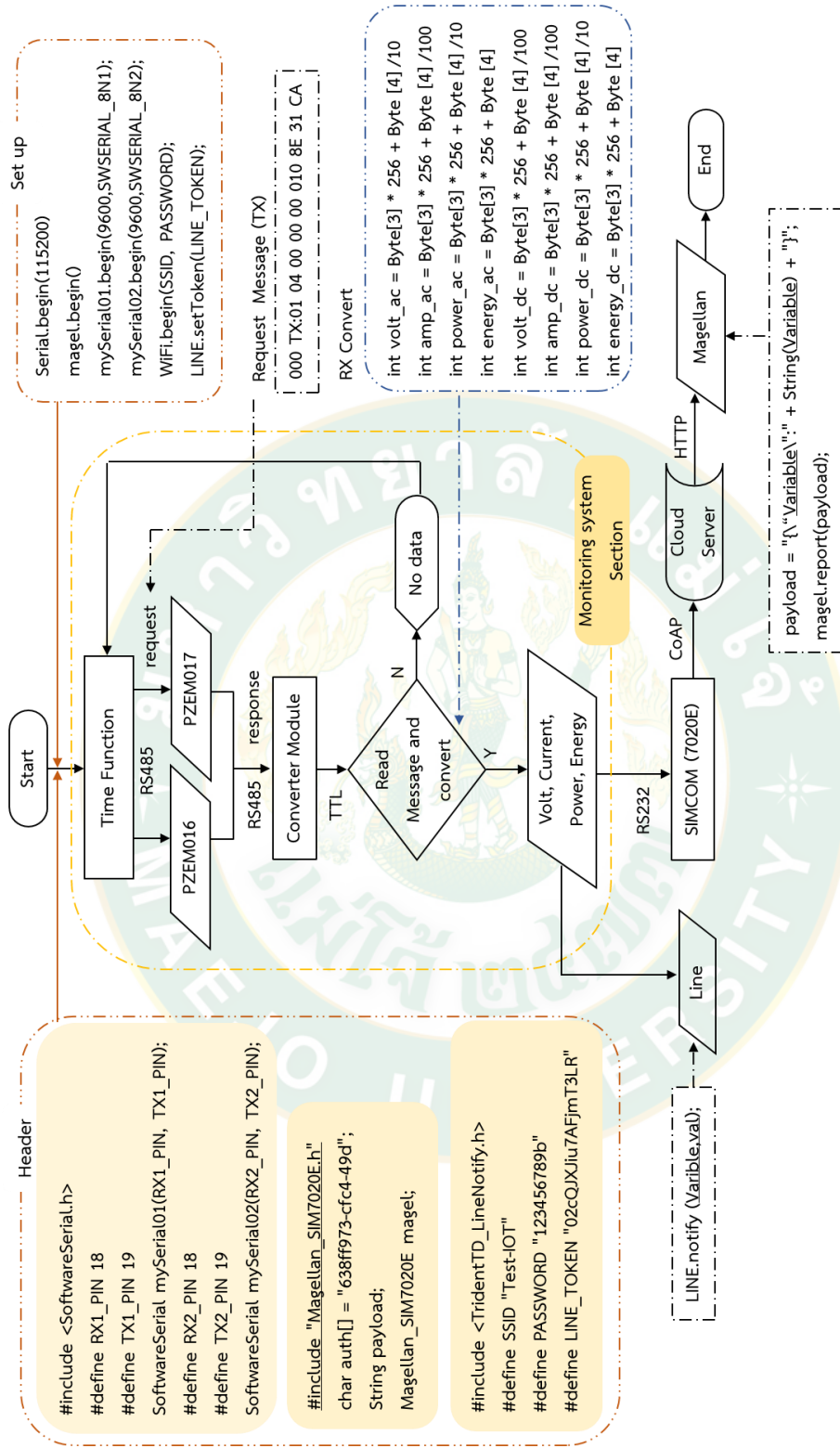
จากรูปที่ 45 แสดงการจัดเรียงโครงสร้างของชุดคำสั่งข้อมูลในการอ่านค่าพารามิเตอร์ของโมดูล PZEM โดยยึดรูปแบบของข้อมูลของ MODBUS RTU เป็นหลัก (หมายเลข 1) จากตารางหมายเลข 1 การสร้างชุดคำสั่งประกอบไปด้วย

- 1) Slave address คือ 0x01 เป็น address ของโมดูล PZEM017 เมื่อมีการโมดูลในการตรวจวัด 2 ตัวขึ้นไปจึงต้องมีการกำหนดให้ไม่ซ้ำกันฉะนั้น PZEM016 จึงได้กำหนด Slave address คือ 0x02
- 2) Function code ใช้ 0x04 ซึ่งโมดูล PZEM ได้มีการกำหนดให้เป็นฟังก์ชันการอ่านค่าจากการตรวจวัด
- 3) Register address คือ address ของ Register จากตารางในหมายเลข 2 ที่สามารถระบุว่าการอ่านค่าอะไรบ้าง จากการเลือกอ่าน voltage value 0x0000 00 แรกเป็น high byte 00 ถัดมาคือ low byte หากอ่าน current value 0x0001 สองตัวแรก (00) คือ high byte สองตัวหลัง (01) คือ low byte
- 4) Number of register คือจำนวน register ที่ต้องการอ่าน ในงานวิจัยนี้เลือกอ่านเป็นแต่ละ register ไม่ได้อ่านรวมกันทั้งหมดทีเดียว 8 register (0x08) จึงอ่านเป็น 0x01

5) CRC check ได้จากการนำชุดตัวเลขจากขั้นตอน 1.) ถึง 4.) นำมาคำนวณหา CRC online จาก <https://www.lammertbies.nl/comm/info/crc-calculation> ในหมายเลข 3 นำชุดตัวเลขกรอกในช่อง Calculate CRC เลือกเป็นโหมด Hex จากนั้นจะได้ CRC-16 (Modbus) 0xCA31 CA คือ high byte 31 คือ low byte เมื่อนำมาเรียงเป็นชุดคำสั่งจะได้ชุดคำสั่งเฟรมเวิร์ค ดังรูปที่ 44

หลังจากจัดเรียงชุดคำสั่งสำหรับนำมาใช้งานแล้วจะนำมาใช้พัฒนาในอัลกอริทึมจะมีขั้นตอนการดำเนินงานดังรูปที่ 46



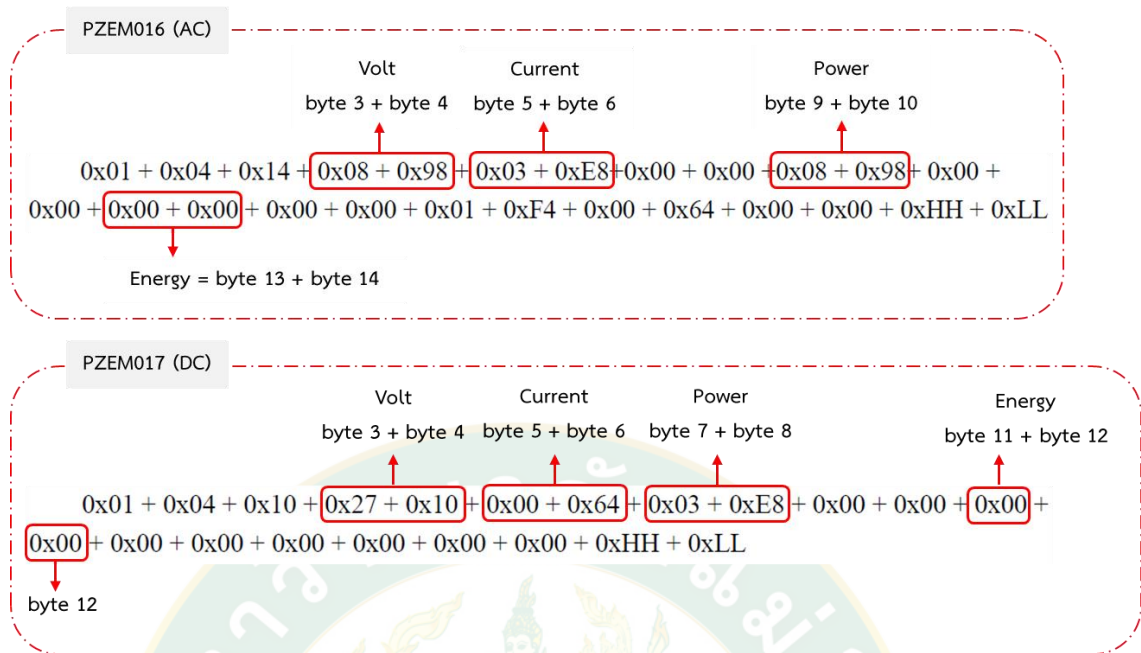


รูปที่ 46 อัลกอริทึมระบบตรวจวัด

จากรูปที่ 46 แสดงอัลกอริทึมการทำงานของโปรแกรมในส่วนตรวจวัด (monitoring system section) เริ่มจาก ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 (master) ส่งคำร้องขอข้อมูลไปยัง PZEM (slave) จากนั้นจะตอบกลับ(ส่งข้อมูล) ไปยังโมดูลแปลงสัญญาณที่เชื่อมต่อกับ master แล้ว master จะอ่านข้อมูลค่าพารามิเตอร์ (แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้า) และแสดงผลไปยัง Magellan หากมีการแจ้งเตือนจะส่งข้อมูลไปยัง Line โดยในอัลกอริทึมนี้มีการเรียกใช้ทั้งหมด 3 Library คือ

- 1.) EspSoftwareSerial Library สำหรับพอร์ทอนุกรมเทียมใช้สื่อสารข้อมูล โดยมีคำสั่งเรียกใช้งานคือ #include <SoftwareSerial.h> จากนั้นกำหนดขารับส่งข้อมูลด้วยคำสั่ง #define RX1_PIN 18 #define TX1_PIN 19 และกำหนดให้ทำงานด้วยคำสั่ง SoftwareSerial mySerial01(RX1_PIN, TX1_PIN); ซึ่งใช้ทั้งหมด 2 ชุดสำหรับ PZEM016 และ PZEM017
- 2.) AIS_SIM7020E_AIP Library สำหรับส่งข้อมูลขึ้น cloud server โดยมีคำสั่งเรียกใช้ Library คือ #include "Magellan_SIM7020E.h" คำสั่งเรียก Token ของอุปกรณ์ NB คือ char auth[] = "638ff973-cfc4-49d"; คำสั่งการส่งข้อมูลตามรูปแบบของ NB (String payload;) และคำสั่งการทำงานของ Library (Magellan_SIM7020E magel;)
- 3.) TridentTD_Lineotify Library สำหรับการแจ้งเตือนใช้แจ้งเตือนไปยัง Line มีคำสั่งเรียกใช้งานคือ #include <TridentTD_LineNotify.h> และมีการกำหนดคำสั่งของชื่อ Wifi คือ #define SSID "Test-IOT" รหัสผ่าน #define PASSWORD "123456789b" รวมไปถึง Line token ด้วยคำสั่ง #define LINE_TOKEN "02cQJXmTosjHuVYi3LR"

ทั้งหมดนี้อยู่ในส่วนของ Header นอกจากเรียกใช้งาน Library แล้วในส่วนของ set up ยังมีคำสั่งสำคัญที่กำหนดการทำงานเริ่มต้นของอัลกอริทึมมีดังนี้ baud rate ของบอร์ด NB (115200bps) คำสั่งการทำงานการทำงานของ NB คือ magel.begin(); การตั้งค่า baud rate ของ PZEM เช่น mySerial01.begin(9600,SWSERIAL_8N1); รวมไปถึงการเรียกใช้ Line token สำหรับเตรียมแจ้งเตือนโดยใช้คำสั่ง LINE.setToken(LINE_TOKEN);

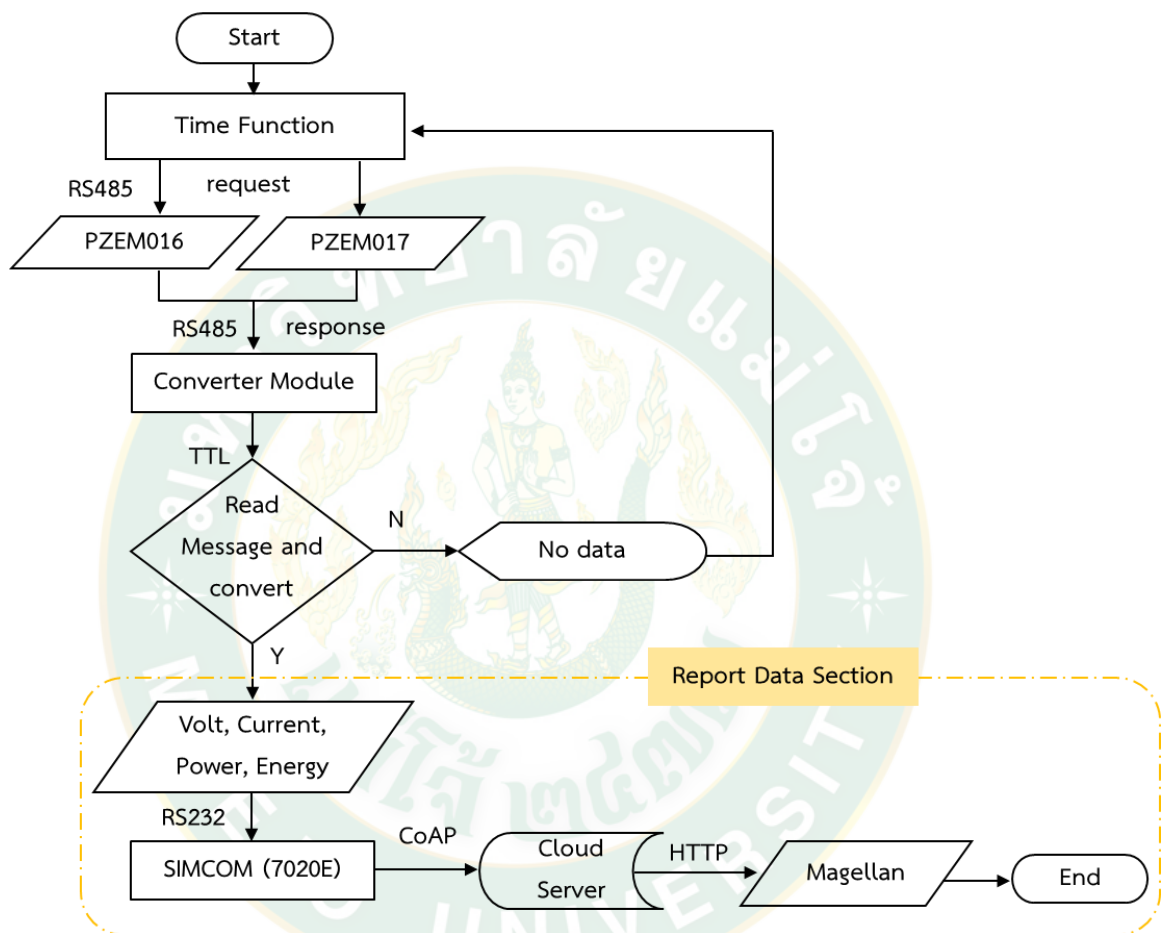


รูปที่ 47 การแปลง byte อ่านค่าพารามิเตอร์

หลังจากอัลกอริทึมเริ่มทำงาน Master จะร้องขอข้อมูลที่ตรวจวัดได้จาก Slave ด้วย Request Message จำนวน 8 bytes ซึ่งเป็นชุดคำสั่งให้อ่านค่าพารามิเตอร์ที่มีการจัดเรียงคำสั่ง frame work ในรูปที่ 40 เมื่อ Slave ได้รับคำสั่งขอจะตอบกลับโดยส่งข้อมูลกลับไป Master จากนั้น Master จะได้รับชุดข้อมูลตอบกลับ (RX) โดยการอ่านค่าของพารามิเตอร์แต่ละตัวจะอ่านที่ byte ต่างกันเช่น การอ่านค่าแรงดันไฟฟ้าของ PZEM 017 อ่านที่ byte 3 และ 4 ส่วนกระแสไฟฟ้า อ่านที่ byte 5 และ 6 ฯลฯ ซึ่งมีรายละเอียดดังรูปที่ 47 ซึ่งต้องแปลงข้อมูลตามรูปแบบของ Slave โดยนำค่าที่ได้มา /10หรือ/100 ขึ้นอยู่กับว่าอ่านค่าพารามิเตอร์ตัวใด จากนั้นเมื่อได้ข้อมูลจากการแปลงแล้วจะส่งไปยังเว็บแสดงผล Magellan โดยใช้รูปแบบการส่งข้อมูลคือ payload = "{“Variable\":" + String (Variable) + "}" ; และ magel.report (payload); ที่เป็นรูปแบบการรายงานข้อมูลของ NB โดยเฉพาะ หากมีการแจ้งเตือนตามเงื่อนไขการแจ้งเตือน (รูปที่46) ซึ่งการแจ้งเตือนใช้คำสั่ง LINE.notify (Variable,val); ที่แจ้งเตือนเป็นอักขระหรือจำนวนตัวเลข

2). การพัฒนาระบบแจ้งเตือน

การรายงานผลเป็นการรายงานผลบน Magellan Platform ที่รองรับการส่งข้อมูลด้วยโปรโตคอล CoAP ของบอร์ด NB (<https://magellan.ais.co.th/>) ด้วยโดยที่มีคำสั่งการอ่านจากทาง Magellan ด้วยโปรโตคอล HTTP ซึ่งมีอัลกอริทึมของการรายงานผลดังนี้



รูปที่ 48 การพัฒนาโปรแกรมระบบตรวจวัดส่วนรายงานผล

จากรูปที่ 48 แสดงรายละเอียดของการส่งข้อมูล (report data section) ขยายความของอัลกอริทึมก่อนหน้า (รูป46) ซึ่งอัลกอริทึมของระบบตรวจวัดนั้นได้มีการเริ่มทำงานภายใต้เงื่อนไขของเวลา (Time Function) เมื่อ ESP32 (Master) ส่งคำสั่งขอยัง PZEM (Slave) เมื่อได้รับคำสั่งขอจะตอบกลับส่งชุดข้อมูลกลับไป Master ผ่านโมดูลแปลงสัญญาณโดยแปลงสัญญาณ RS485 เป็น TTL หากไม่สามารถอ่านค่าได้จะแสดง no data บน serial monitor หากอ่านค่าได้จะแสดงผลและส่งข้อมูล (ค่าพารามิเตอร์) ไปยังชิพ SIMCOM ขึ้น cloud server ด้วยโปรโตคอล CoAP จากนั้น cloud server ส่งข้อมูลแสดงผลบน Magellan platfotm ด้วยโปรโตคอล HTTP

3.3 สอบเทียบระบบตรวจวัดทางพลังงานไฟฟ้า และทดสอบการรับส่งข้อมูล ผ่านเครือข่ายของ NB IoT

3.3.1 สอบเทียบเครื่องมือวัด (Calibration)

คือการทดสอบเครื่องมือที่ได้พัฒนาขึ้นมาเปรียบเทียบกับเครื่องมืออ้างอิง เพื่อทดสอบความน่าเชื่อถือว่ามีค่าใกล้เคียงกับมาตรฐานที่อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้หรือไม่ โดยแบ่งการทดสอบคือ 1. การทดสอบอุปกรณ์ตรวจวัดไฟฟ้ากระแสสลับ (PZEM016) 2. การทดสอบอุปกรณ์ตรวจวัดไฟฟ้ากระแสสลับ (PZEM017) ซึ่งมีอุปกรณ์สำหรับการทดสอบดังนี้

1. Variac

เครื่องมือสำหรับปรับแรงดันไฟฟ้า AC ที่รับเข้ามา 220 VAC ให้ได้ขนาดแรงดัน 0-250V ตามที่ต้องการได้เหมาะสำหรับใช้งานกับโหลดหรืออุปกรณ์ไฟฟ้ามีคุณสมบัติดังนี้



รูปที่ 49 Variac

- ยี่ห้อ viva รุ่น TDGC2
- Phase:single
- Input voltage 110/220V
- ความถี่50/60Hz
- Output voltage 0-250V
- ความแม่นยำของแรงดันไฟฟ้า 220V±3%, 110V±6%

2. DC POWER SUPPLY UNI-T UTP1306S



รูปที่ 50 DC POWER SUPPLY

- Output current 0-6A
- Output Power 192W
- ความแม่นยำ แรงดันไฟฟ้า<0.5% + 5mV กระแสไฟฟ้า<0.2% + 3mA

3. Clamp power meter



รูปที่ 51 มัลติมิเตอร์ UNI-T UT204+

- AC current (A) $600A \pm(2.5\%+5)$
- AC voltage (V) $600V \pm(0.8\%+5)$
- DC current (A) $600A \pm(2.5\%+5)$
- DC voltage (V) $600V \pm(0.5\%+2)$
- Resistance (Ω) $60M\Omega \pm(0.8\%+2)$

4. โหลดทดสอบไฟฟ้ากระแสสลับ (PZEM016)



รูปที่ 52 โหลดทดสอบไฟฟ้ากระแสสลับ (PZEM016)

- หลอดไฟ AC ขนาด 100W
- กาน้ำร้อนขนาดขนาด กำลังไฟ 600W 220V 50Hz
- พัดลมขนาด 50W 0.2A
- ไมโครเวฟ LG 220V 800W

5. โหลดทดสอบไฟฟ้ากระแสตรง (PZEM017)



รูปที่ 53 โหลดทดสอบไฟฟ้ากระแสตรง (PZEM017)

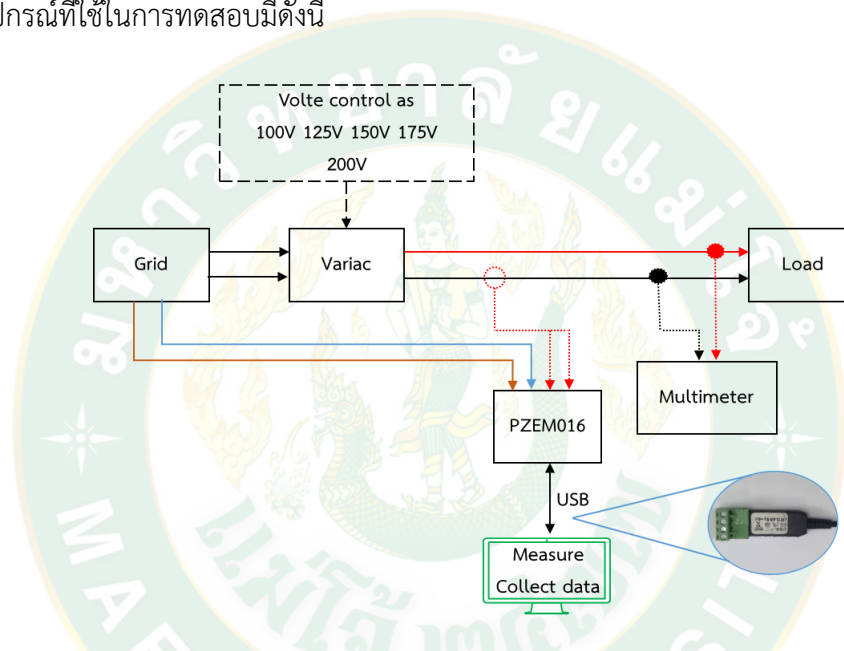
- ปั๊มยักซ์เกชตร 150psi 12V 3A (ปั๊ม A)
- ปั๊ม SEAFLO 12V 0.7A (ปั๊ม B)
- L Geared DC Motor 12V 0.85A

1. การทดสอบอุปกรณ์ตรวจวัดไฟฟ้ากระแสสลับ (PZEM016)

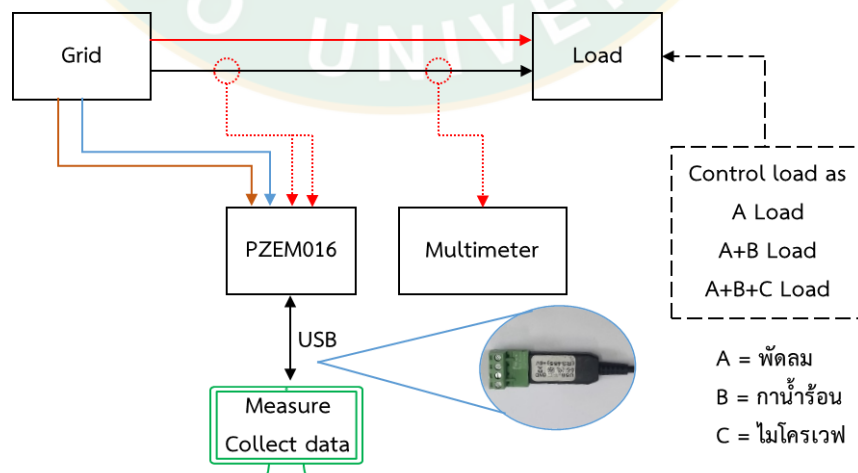
หลังจากการออกแบบอุปกรณ์ตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าแล้วจึงได้มีการนำมาทดสอบเทียบกับอุปกรณ์ตรวจวัดมาตรฐานเพื่อดูความเที่ยงตรงและความแม่นยำในการรับส่งข้อมูลก่อนที่จะนำไปใช้งานโดยจะมีการทดสอบดังนี้

1) แรงดันไฟฟ้าโดยกำหนดแรงดันไฟฟ้า 5 ระดับแรงดันแต่ละระดับจะทำการเก็บข้อมูลจำนวน 5 ครั้ง การวางแผนการทดสอบแสดงดังรูปที่ 54

2) กระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าทดสอบโดยการเพิ่มจำนวนโหลดตั้งแต่ 1-3 ตัว ดังรูปที่ 55 ส่วนอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบมีดังนี้



รูปที่ 54 สอบเทียบแรงดันไฟฟ้า PZEM016

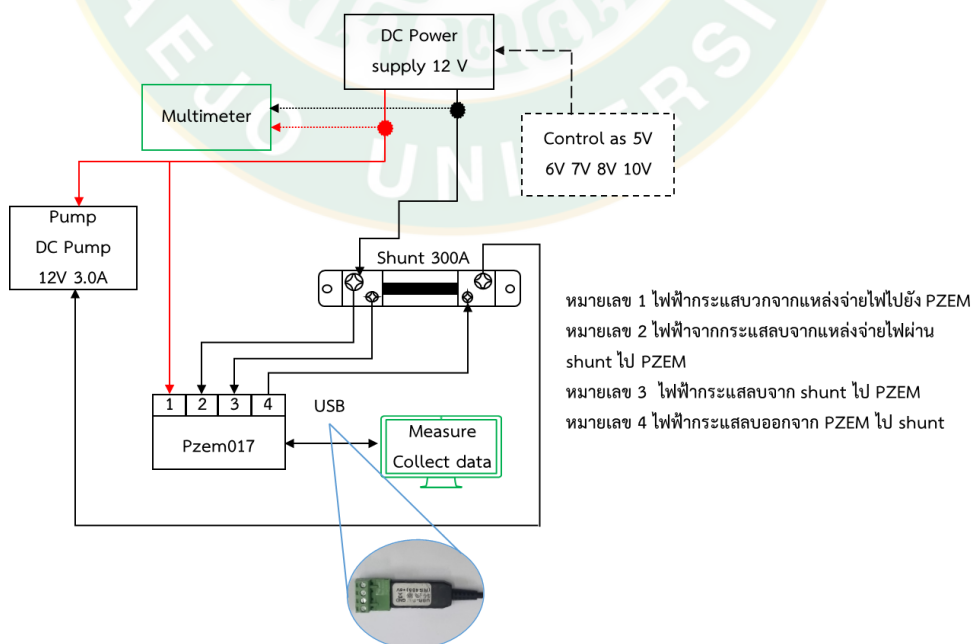


รูปที่ 55 สอบเทียบกระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้า PZEM016

จากรูปที่ 54 สอบเทียบการตรวจวัดค่าแรงดันไฟฟ้าของอุปกรณ์ตรวจวัด PZEM016 โดยมีแหล่งจ่ายไฟคือไฟฟ้าพื้นฐาน (grid) ไปยังโหลดซึ่งโหลดคือหลอดไฟ AC ขนาด 100W 1 หลอด โดยผ่าน variac ที่สามารถปรับแรงดันไฟฟ้าได้โดยในการทดลองจะปรับแรงดันไฟฟ้าที่ 100V 125V 150V 175V และ 200V จากนั้นเก็บข้อมูลโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวัด PZEM016 ใช้ CT coil 100A คล้องวัดสายไฟและไฟเลี้ยงจากไฟฟ้าพื้นฐาน และใช้มัลติมิเตอร์ UNI-T UT204+ (รูปที่ 51) เพื่อตรวจวัดแรงดันไฟฟ้า ส่วนรูปที่ 55 มีลักษณะเช่นเดียวกันโดยสอบเทียบกระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้า โดยจ่ายไฟฟ้าพื้นฐานให้โหลด 3 เงื่อนไข เงื่อนไขแรก A Load คือ โหลด 1 ตัว (พัดลม) เงื่อนไขต่อไปคือ A+B Load คือ โหลด 2 ตัว (พัดลม+กาน้ำร้อน) และเงื่อนไขที่ 3 A+B+C Load คือ โหลดจำนวน 3 ตัว (พัดลม+กาน้ำร้อน+ไมโครเวฟ) จากนั้นเก็บข้อมูลค่าพารามิเตอร์ของแต่ละชนิดที่เงื่อนไขละ 5 ครั้ง

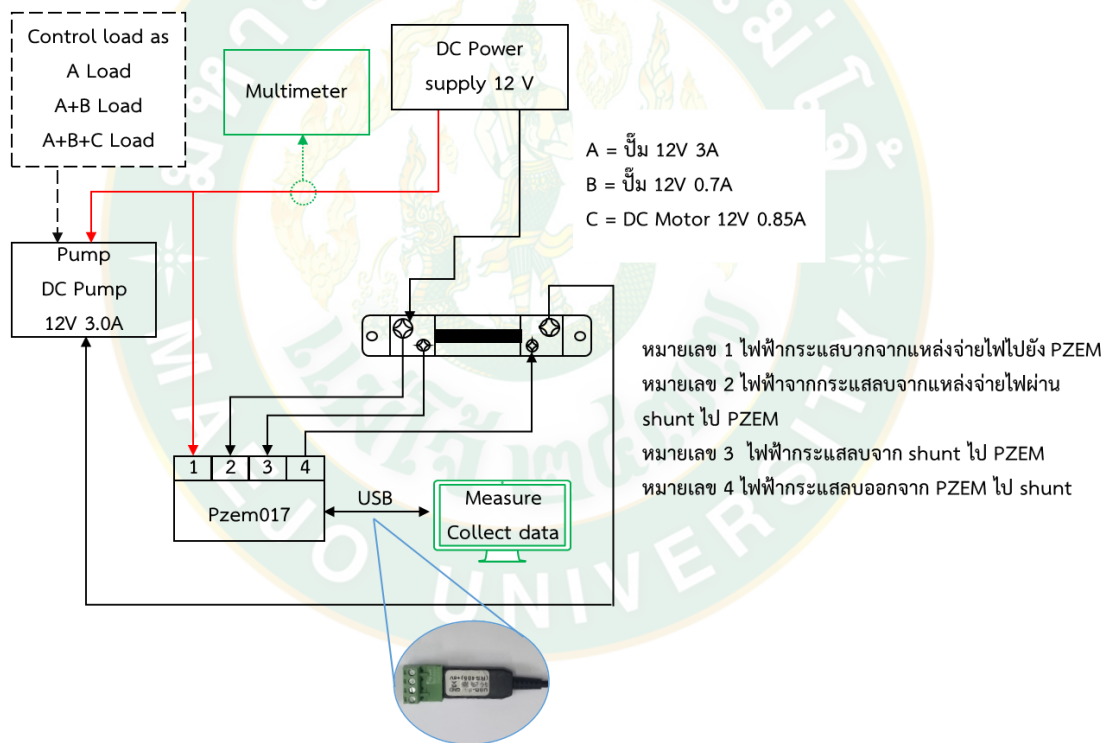
2. การทดสอบอุปกรณ์ตรวจวัดไฟฟ้ากระแสตรง (PZEM017)

อุปกรณ์ตรวจวัด PZEM017 เป็นอุปกรณ์ตรวจวัดพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงที่สามารถตรวจพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ในสอบเทียบนี้จะตรวจวัดความแม่นยำและความเที่ยงตรงของอุปกรณ์เช่นเดียวกับ PZEM016 ซึ่ง 1). มีการปรับแรงดันไฟฟ้า DC ที่ 5 ระดับแรงดันระดับแรงดันละ 5 ครั้งจากนั้นบันทึกข้อมูลแรงดันไฟฟ้ามีการสอบเทียบดังรูปที่ 56 และ 2). การสอบเทียบกระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าการจ่ายไฟฟ้า DC ให้กับโหลดและเพิ่มจำนวนโหลดดังรูปที่ 57 จากนั้นบันทึกข้อมูลที่เงื่อนไขละ 5 ครั้ง



รูปที่ 56 สอบเทียบแรงดันไฟฟ้า PZEM017

จากรูปที่ 56 เป็นการสอบเทียบแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ PZEM017 และ ฉซึ่งประกอบด้วย แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (UNI-T UTP1306s) จ่ายไฟให้กับโหลดคือมอเตอร์ DC ขนาด 12V 3A โดยแหล่งจ่ายไฟฟ้าถูกกำหนดให้จ่ายแรงดันไฟฟ้า 5V 6V 7V 8V และ 10V ให้แก่โหลดผ่าน shunt ขนาด 300A ไปยังอุปกรณ์ตรวจวัด PZEM017 ซึ่งหมายเลข 1 คือไฟฟ้ากระแสบวกที่ได้จากแหล่งจ่ายไฟ DC หมายเลข 2 เป็นไฟฟ้ากระแสลบจากแหล่งจ่ายไฟ DC ผ่าน shunt เข้ามายัง PZEM หมายเลข 3 ก็มีลักษณะเช่นเดียวกันคือต่อสายไฟจาก shunt มายัง PZEM และหมายเลข 4 คือไฟฟ้ากระแสลบที่ออกจาก PZEM ไปยัง shunt และจ่ายเข้าสู่ปั๊มทดสอบจากการต่อวงจรอนุกรมสามารถตรวจวัดกระแสไฟฟ้าได้จากความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ผ่าน shunt 300A เมื่อ PZEM ตรวจวัดได้จะแสดงข้อมูลผ่านโปรแกรม Modbuspoll บนคอมพิวเตอร์ที่เชื่อมต่อกับ USB ของ PZEM017 จากนั้นเก็บข้อมูลค่าพารามิเตอร์ของแต่ละชนิดที่เงื่อนไขละ 5 ครั้ง



รูปที่ 57 สอบเทียบกระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้า PZEM017

รูปที่ 57 เป็นการสอบเทียบกระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าของ PZEM017 มีลักษณะเช่นเดียวกับรูปที่ 56 ที่มีแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (UNI-T UTP1306s) จ่ายไฟให้กับโหลดคือมอเตอร์ DC ผ่าน shunt ขนาด 300A ไปยังอุปกรณ์ตรวจวัด PZEM017 ซึ่งหมายเลข 1 คือไฟฟ้ากระแสบวกที่ได้จากแหล่งจ่ายไฟ DC หมายเลข 2 เป็นไฟฟ้ากระแสลบจากแหล่งจ่ายไฟ DC ผ่าน shunt เข้ามายัง PZEM หมายเลข 3 ก็มีลักษณะเช่นเดียวกันคือต่อสายไฟจาก shunt มายัง PZEM และหมายเลข 4

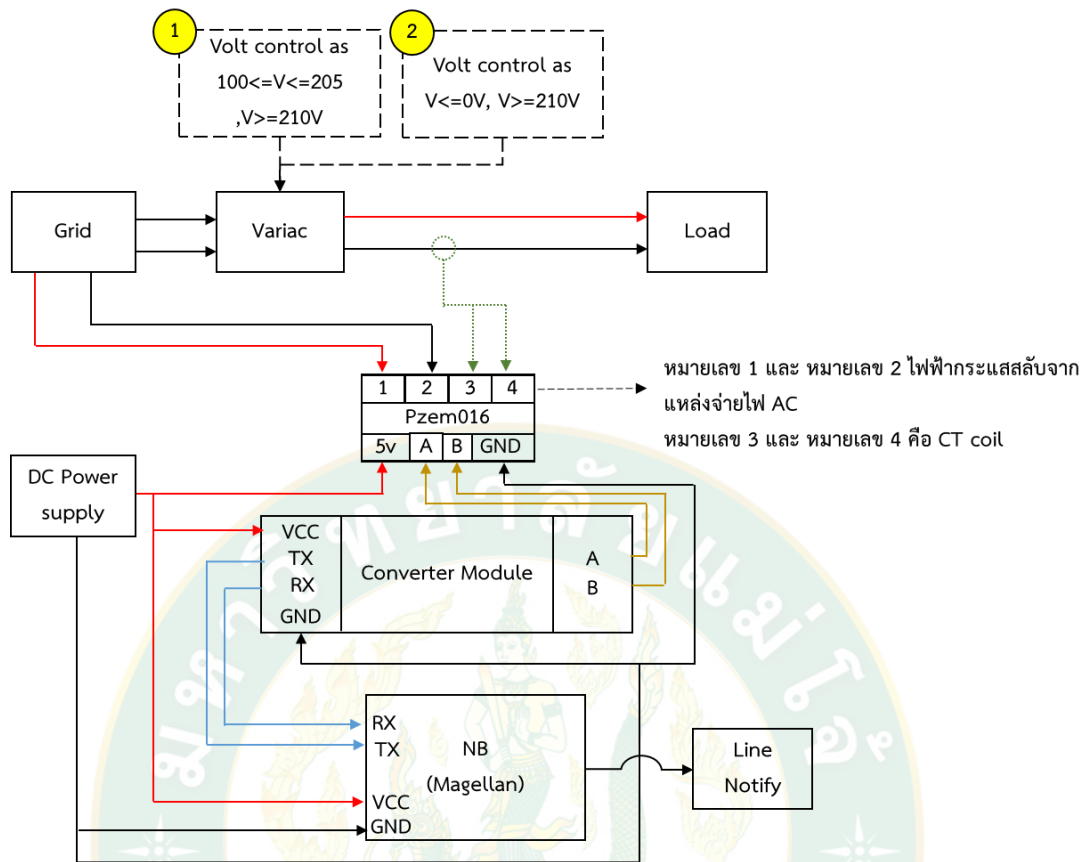
คือไฟฟ้ากระแสลบที่ออกจาก PZEM ไปยัง shunt และจ่ายเข้าสู่ป้อนทดสอบ เพียงแต่การจ่ายไฟฟ้ากระแส DC ให้โหลดมี 3 เงื่อนไข เริ่มจากเงื่อนไขแรก A Load คือ โหลด 1 ตัว (ป้อน A 12V 3A) ต่อไปคือ A+B Load คือ โหลด 2 ตัว (ป้อน A 12V 3A + ป้อน B 12V 0.7A) และ A+B+C Load คือ โหลดจำนวน 3 ตัว (ป้อน A 12V 3A + ป้อน B 12V 0.7A + L Geared DC Motor 12V 0.85A) ซึ่งการตรวจวัดใช้ทั้ง PZEM017 และใช้มัลติมิเตอร์เพื่อสอบเทียบโดยการเก็บข้อมูลค่าพารามิเตอร์ของแต่ละชนิดที่เงื่อนไขละ 5 ครั้ง

3.3.2 การทดสอบการรับส่งข้อมูลของบอร์ด NB

การทดสอบบอร์ด NB ให้มีการรับส่งข้อมูลขึ้นบน web server โดยกำหนดให้มีการส่งข้อมูลทุก ๆ 2 นาทีไปยัง cloud sever ของ Magellan ที่เว็บไซต์ <https://magellan.ais.co.th/> โดยกำหนดให้ส่งตัวเลขตั้งแต่ 0-30 ทุก 2 นาทีเริ่มจากเลข 0 จนถึงเลข 30 แล้วซ้ำต่อไปเรื่อย ๆ เป็นเวลา 2 วัน

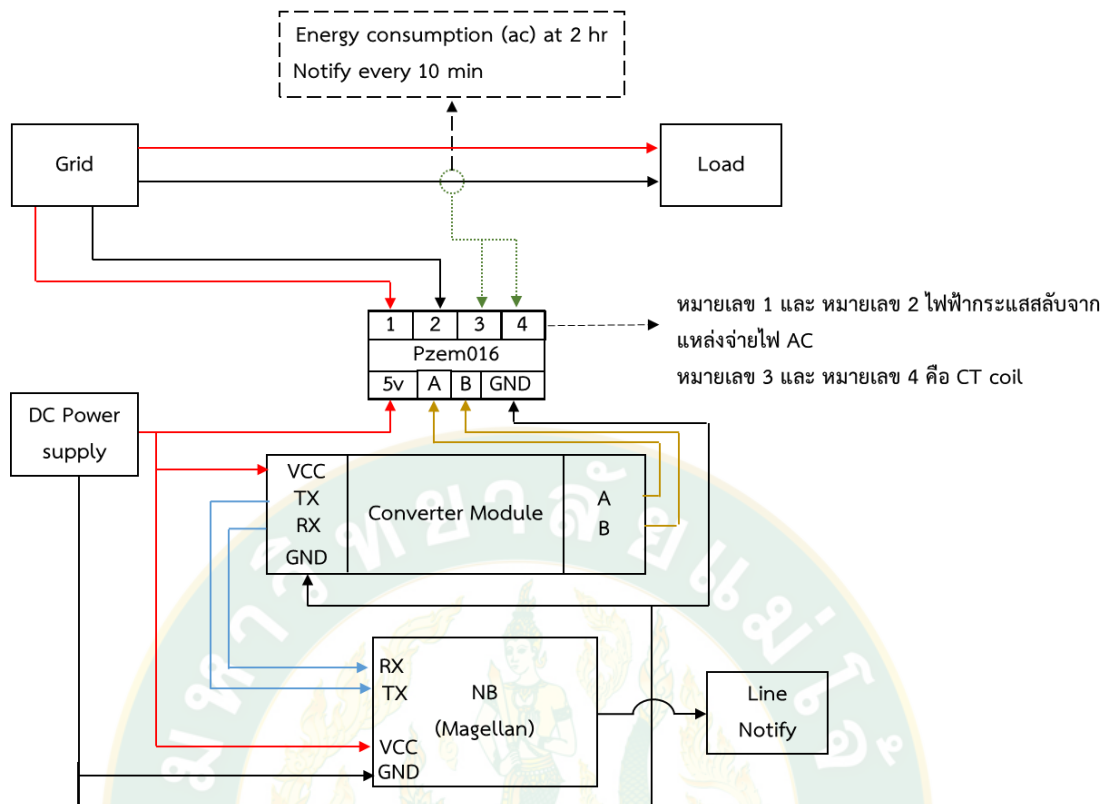
3.3.3 การทดสอบการรับส่งข้อมูลการแจ้งเตือนด้วยแอปพลิเคชัน Line

การทดสอบระบบแจ้งเตือนจะทดสอบการส่งข้อมูลแจ้งเตือนในแอปพลิเคชัน Line โดยจะทดสอบการแจ้งเตือนค่าแบ่งเป็น 2 ส่วนดังนี้ 1.) แรงดันไฟฟ้าจากแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจากการกำหนดค่าแรงดันไฟฟ้าและจำลองสถานการณ์ไฟดับเพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการแจ้งเตือนในแอปพลิเคชัน Line (รูปที่ 58) 2.) การใช้พลังงานไฟฟ้าไปยังแอปพลิเคชัน Line (รูปที่ 59) ซึ่งมีลักษณะการทดลองดังต่อไปนี้



รูปที่ 58 วงจรการทดสอบระบบแจ้งเตือนไฟตกไฟดับ

การทดสอบการแจ้งเตือนจากระบบที่ 58 จะมีการจ่ายไฟฟ้าพื้นฐาน (grid) ให้กับ variac เพื่อจ่ายไฟฟ้าให้โหลด โดยมีการปรับแรงดันเป็น 2 กรณีคือ 1.) ทดสอบที่เงื่อนไขไฟตก 10 ครั้ง 2.) ทดสอบที่เงื่อนไขไฟดับ 10 ครั้ง โดยทดสอบวัดผลจากการให้แจ้งเตือนไปยังแอปพลิเคชัน Line โดย NB จากการตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าของ PZEM016 ที่มีไฟเลี้ยงบอร์ดคือไฟฟ้าพื้นฐาน (ช่องหมายเลข 1 และ 2) โดยใช้ CT coil คล้องวัดสายไฟที่จ่ายไปยังโหลด (ช่องหมายเลข 3 และ 4) อีกฝั่งของ PZEM016 จะเชื่อมต่อกับโมดูลแปลงสัญญาณ (converter module) ด้วยสาย A+ B- ส่งข้อมูลไปยังบอร์ด NB ด้วย ขา TX RX จากการเชื่อมต่อนี้จะแจ้งเตือนไปยังแอปพลิเคชัน Line



รูปที่ 59 การทดสอบระบบแจ้งเตือนการใช้พลังงานไฟฟ้า

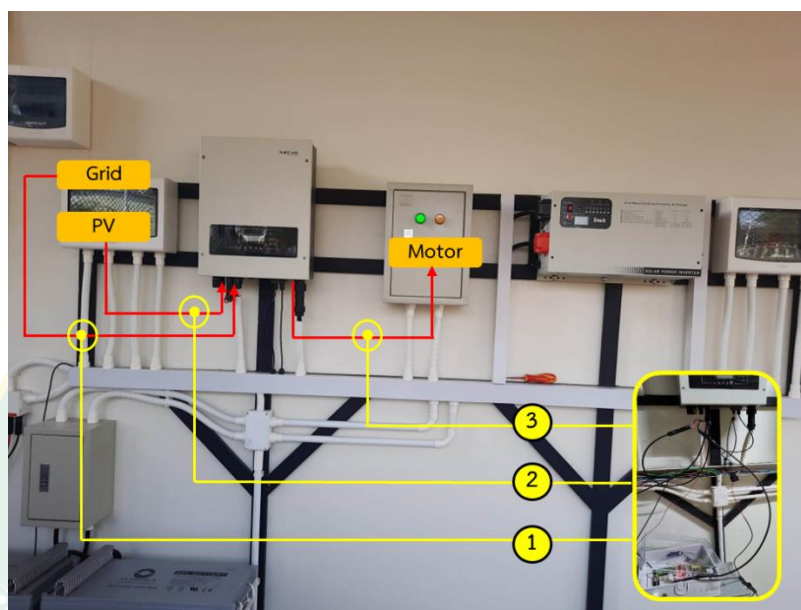
รูปที่ 59 แสดงการทดสอบการแจ้งเตือนการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยทดลองให้โหลด (พัดลมขนาด 50W 0.23A) มีการใช้ไฟฟ้าพื้นฐาน (grid) เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นใช้ PZEM016 ตรวจสอบการใช้พลังงานของพัดลมและส่งการแจ้งเตือนไปยังแอปพลิเคชัน Line ด้วย ESP32 ที่อยู่บนบอร์ด NB ซึ่งการเชื่อมต่อมีลักษณะเดียวกับรูปที่ 58

3.4 ติดตั้งระบบตรวจวัดและบันทึกผล

ติดตั้งและทดสอบระบบตรวจวัดและบันทึกข้อมูลแบ่งออกเป็นการตรวจวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าในบ่อทดสอบระบบตรวจวัด (laboratory scale) และบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเชิงพาณิชย์ (commercial scale) โดยวัดค่าพารามิเตอร์ทางพลังงานไฟฟ้าคือแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้า ส่วนการแจ้งเตือนและรายงานผลอยู่ในส่วนของ commercial scale

การติดตั้งระบบตรวจวัดในระดับ Laboratory scale (บ่อทดสอบ)

การใช้พลังงานไฟฟ้าในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่มีแหล่งจ่ายไฟฟ้าทั้งสองแห่งคือไฟฟ้าพื้นฐานและไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งเป็นจุดที่ต้องตรวจวัด (Yatin and Jaisin, 2022) โดยระบบตรวจวัดจะถูกติดตั้งและมีจุดตรวจวัดดังรูปที่ 60



รูปที่ 60 การติดตั้งระบบตรวจวัดในระดับ Laboratory scale

รูปที่ 60 หมายเลข 1 คือการตรวจวัดค่าทางไฟฟ้าพื้นฐานโดย PZEM 016 ใช้ CT coil ขนาด 100A คล้องวัดกระแสไฟฟ้า และวัดแรงดันไฟฟ้าจากการเชื่อมต่อกับสาย L N จากแหล่งจ่ายไฟเป็นจุดที่จ่ายไฟฟ้าพื้นฐานก่อนเข้าอินเวอร์เตอร์ หมายเลข 2 คือการเชื่อมต่อจากไฟฟ้ากระแสตรง (+) มายัง PZEM017 และจ่ายกระแสไฟฟ้า (-) ผ่าน shunt 300A ไปยังอินเวอร์เตอร์ซึ่งจุดนี้เป็นจุดที่จ่ายไฟฟ้ากระแสตรงจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ก่อนเข้าอินเวอร์เตอร์ หลังจากนั้นอินเวอร์เตอร์จะจ่ายไฟฟ้าไปยังมอเตอร์ที่จุดตรวจวัดหมายเลข 3 ข้อมูลที่ถูกบันทึกประกอบด้วยค่าพารามิเตอร์คือแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าพลังงานไฟฟ้าที่สามารถดาวน์โหลดได้จาก cloud server

การติดตั้งระบบตรวจวัดในระดับ Commercial scale (บ่อเพาะเลี้ยงเชิงพาณิชย์)

ระบบตรวจวัดในระดับ Commercial scale มีจุดตรวจวัดที่ลักษณะเดียวกับ Laboratory scale และมีการติดตั้งดังรูปที่ 61



รูปที่ 61 การติดตั้งระบบตรวจวัดในระดับ Commercial scale

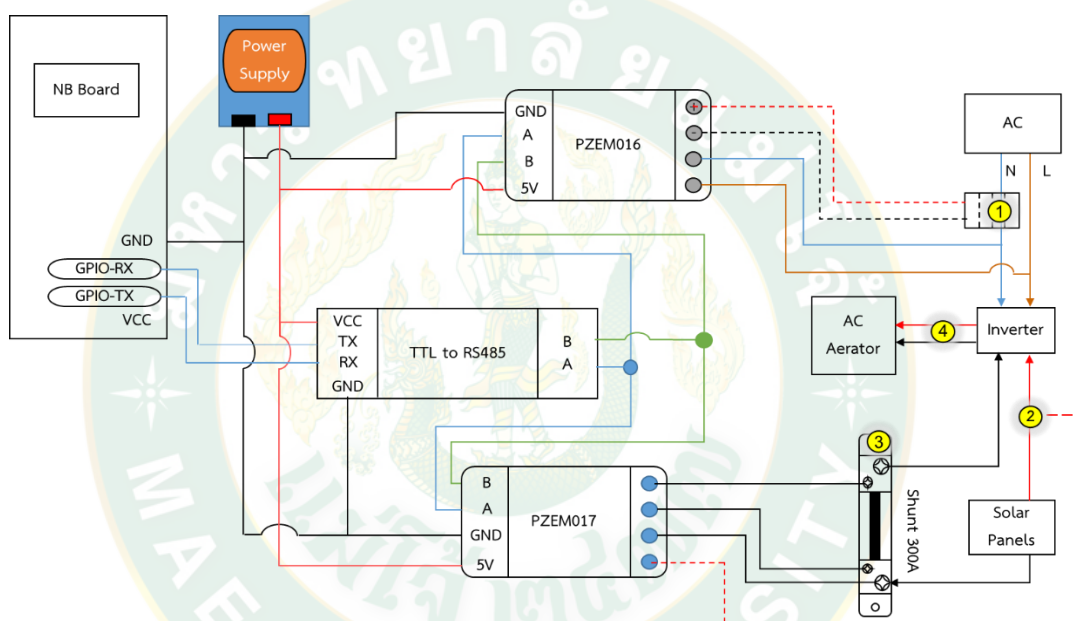
DateTime	Sensors
4/11/2022 0:41	{"Volt_AC":228.7}
4/11/2022 0:41	{"Amp_AC":0.15}
4/11/2022 0:41	{"Watt_AC":338.48}
4/11/2022 0:41	{"Energy_AC":0.21}
4/11/2022 0:41	{"Volt_DC":0.74}
4/11/2022 0:41	{"Amp_DC":0.15}
4/11/2022 0:41	{"Watt_DC":21.9}
4/11/2022 0:41	{"Energy_DC":0.21}
4/11/2022 0:42	{"Volt_AC":228.5}
4/11/2022 0:42	{"Amp_AC":0.15}
4/11/2022 0:42	{"Watt_AC":338.18}
4/11/2022 0:42	{"Energy_AC":0.21}
4/11/2022 0:42	{"Volt_DC":0.74}
4/11/2022 0:42	{"Amp_DC":0.15}

รูปที่ 62 ไฟล์ Excel จากการดาวน์โหลดข้อมูลบนแพลตฟอร์ม Magellan

การติดตั้งระบบตรวจวัดในรูปที่ 61 มีการติดตั้งระบบตรวจวัดในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำสำหรับตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจะมีการเชื่อมต่อสายไฟฟ้าเพื่อวัดค่าพารามิเตอร์จากทั้งไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ก่อนจ่ายให้กับอินเวอร์เตอร์และวัดการใช้ไฟฟ้าพื้นฐานด้วยการนำ CT coil คล้องสายไฟฟ้าที่จ่ายไปยังโหลด เมื่อบอร์ด NB ได้รับข้อมูลจะส่งข้อมูลไปยังเว็บเซิร์ฟเวอร์บน

แพลตฟอร์ม Magellan และสามารถดาวน์โหลดข้อมูลจากการตรวจวัดเป็นไฟล์ Excel comma separated values files ได้ดังรูปที่ 62 ด้านซ้ายคือไฟล์ที่ดาวน์โหลดข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้ามาจากเว็บไซต์ <https://magellan.ais.co.th/> ส่วนด้านขวาคือไฟล์ที่ดาวน์โหลดมาจะมีบอกวันเดือนปี และเวลา (หมายเลข1)และช่อง sensors ในหมายเลข 2 คือค่าพารามิเตอร์ที่ต้องการข้อมูล

ซึ่งการติดตั้งระบบตรวจวัดทั้งสองแบบที่ติดตั้งในบ่อเพาะเลี้ยงจะมีจุดติดตั้งที่เหมือนกันทั้ง 3 จุดตรวจวัดคือ 1.ไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 2.ไฟฟ้าพื้นฐานก่อนเข้าอินเวอร์เตอร์ และ 3 ไฟฟ้าจากอินเวอร์เตอร์ที่จ่ายให้โหลดซึ่งมีรายละเอียดดังรูป



รูปที่ 63 จุดติดตั้งระบบตรวจวัด

จากรูปที่ 63 แสดงจุดตรวจวัดที่เหมือนกันของบ่อทดสอบและบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมีลักษณะที่เหมือนกันทั้ง 3 จุดคือ 1. จุดติดตั้งระบบตรวจวัดไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ 2.จุดติดตั้งระบบตรวจวัดไฟฟ้าพื้นฐานก่อนเข้าอินเวอร์เตอร์ 3.จุดตรวจวัดไฟฟ้าจากอินเวอร์เตอร์ที่จ่ายไปยังโหลด โดยที่หมายเลข 1 คือ จุดที่ตรวจวัดไฟฟ้าพื้นฐานตรวจวัดด้วย PZEM016 โดยใช้ CT coil ขนาด 100A คล้องวัดสายไฟ ส่วนหมายเลข 2 และหมายเลข 3 เป็นจุดตรวจวัดไฟฟ้ากระแสตรงที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตรวจวัดด้วย PZEM017 โดยที่หมายเลข 2 ไฟฟ้ากระแสของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่จ่ายมายัง shunt ขนาด 300A เชื่อมต่อมายัง PZEM017 และหมายเลข 2 คือ ไฟฟ้ากระแสบวกของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จ่ายมายัง PZEM017 จากที่บ่อทดสอบและบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมีอุปกรณ์อินเวอร์เตอร์และมอเตอร์เติมอากาศที่ต่างกัน ในหมายเลข 4 จึงมีการตรวจวัดที่ใช้ digital power meter ที่ต่างกันดังนี้ หมายเลข 4 ในบ่อทดสอบระบบตรวจวัดใช้ digital power

meter รุ่น SDM120 ในการตรวจวัดไฟฟ้าจากอินเวอร์เตอร์ที่จ่ายให้กับโหลดเนื่องจากอินเวอร์เตอร์เป็นชนิด on-grid ที่จ่ายไฟฟ้าขนาด single ให้กับมอเตอร์ ส่วนหมายเลข 4 ในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำใช้ digital power meter รุ่น SDM630 เนื่องจากอินเวอร์เตอร์เป็นชนิดไฮบริดอินเวอร์เตอร์ที่จ่ายไฟฟ้าขนาด 3 phase ให้กับมอเตอร์ หลังจากการตรวจวัดแล้วจะเป็นส่วนการส่งข้อมูลที่มีการอธิบายมาแล้วในก่อนหน้านี้

3.5 การวิเคราะห์ผลการใช้พลังงานไฟฟ้าและประเมินดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะ (Specific Ennergy Consumption : SEC)

การวิเคราะห์ผลการใช้พลังงานไฟฟ้าตามช่วงเวลาการใช้งานของระบบเดิมอากาศของเกษตรกรที่เปิดเครื่องเดิมอากาศเวลา 9.00 – 17.00น. ในช่วงเวลากลางวันและ 23.00 – 9.00น. ในเวลากลางคืน ซึ่งมีการใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าพื้นฐานร่วมกับระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ 1 รอบการเพาะเลี้ยง 4 ระยะการเลี้ยงคือ พ.ค.62 - ส.ค.62 ที่บ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอยู่ในเขตบริเวณหมู่บ้านทุ่งยาว อ.สันทราย จ.เชียงใหม่ โดยจะมีการวิเคราะห์ดังนี้

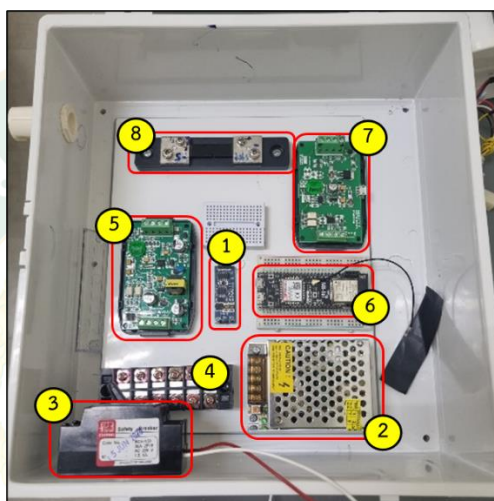
- 1). ระบบตรวจวัดทางพลังงานไฟฟ้า วิเคราะห์ความถูกต้องของการรับส่งข้อมูล, ความผิดพลาด (Error) ของการรับส่งข้อมูลความถูกต้องในการแสดงผลบน Platform รวมไปถึงการแจ้งเตือนผ่าน LINE Notify
- 2). ด้านการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยประเมินการใช้พลังงานไฟฟ้าแบบร่วมในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่มีแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับไฟฟ้าพื้นฐาน จากการตรวจวัดระดับส laboratory scale (บ่อทดสอบระบบตรวจวัดต้นแบบ) และ commercial scale (บ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจริง)
- 3). การวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าของบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าแบบร่วมเพื่อประเมินการใช้พลังงานไฟฟ้าจำเพาะต่อผลผลิต

บทที่ 4

ผลการวิจัยและวิเคราะห์ผล

4.1 ผลการออกแบบและพัฒนาระบบตรวจวัดระบบตรวจวัดการใช้ไฟฟ้าในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

จากการออกแบบระบบและอุปกรณ์ตรวจวัดเพื่อใช้งานได้จัดทำเป็นระบบตรวจวัดต้นแบบใช้ตรวจวัดในระดับ laboratory scale ซึ่งทางด้านในประกอบไปด้วยอุปกรณ์ต่างๆ รูปที่ 64 ซึ่งได้มีการพัฒนาเป็นบอร์ดบอร์ด NB ที่มีขนาดลดลงเพื่อใช้สำหรับตรวจวัดระดับ commercial scale ดังรูปที่ 65



รูปที่ 64 ระบบตรวจวัดต้นแบบ

หมายเลข 1 คือ โมดูลแปลงสัญญาณ

หมายเลข 2 คือ switching power supply ขนาด 5V 4A แปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรง 5V เพื่อจ่ายให้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ภายในกล่อง

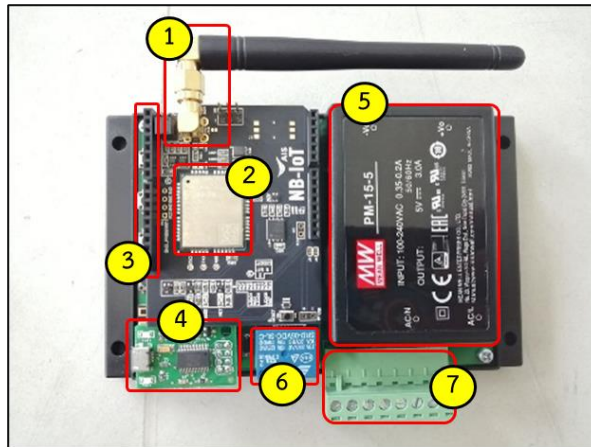
หมายเลข 3 คือ เบรกเกอร์ป้องกัน ไฟลัดวงจรสามารถปิดวงจรได้อัตโนมัติ ถ้ามีกระแสไหลผ่านเกินกว่าค่าที่กำหนดกระแสได้ถึง 30A ไฟ 200-240V 50/60Hz

หมายเลข 4 คือ เทอร์มินอล ทนกระแสได้ 25 A แรงดันไฟฟ้า 600 V รองรับสายไป 0.5-2.5 ตร.ม.

หมายเลข 5 คือ อุปกรณ์ตรวจวัดไฟฟ้ากระแสสลับ PZEM016 วัดไฟฟ้าจากไฟฟ้าพื้นฐานด้วย CT coil

หมายเลข 6 คือ บอร์ด NB ส่งข้อมูลจากการตรวจวัดที่ผ่านการแปลงข้อมูลจาก RS485 เป็น HTTP ส่งไปยังเว็บเซิร์ฟเวอร์ให้แสดงผล

หมายเลข 7 คือ อุปกรณ์ตรวจวัด PZEM017 และ shunt สำหรับตรวจวัดไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 65 บอร์ด NB ตรวจสอบระดับ commercial scale

หมายเลข 1 คือ คอนเนคเตอร์สายอากาศของ NB Board

หมายเลข 2 คือ ชิพประมวลผล NB ยี่ห้อ Quectel รุ่น BC95

หมายเลข 3 คือ Tact สวิตช์

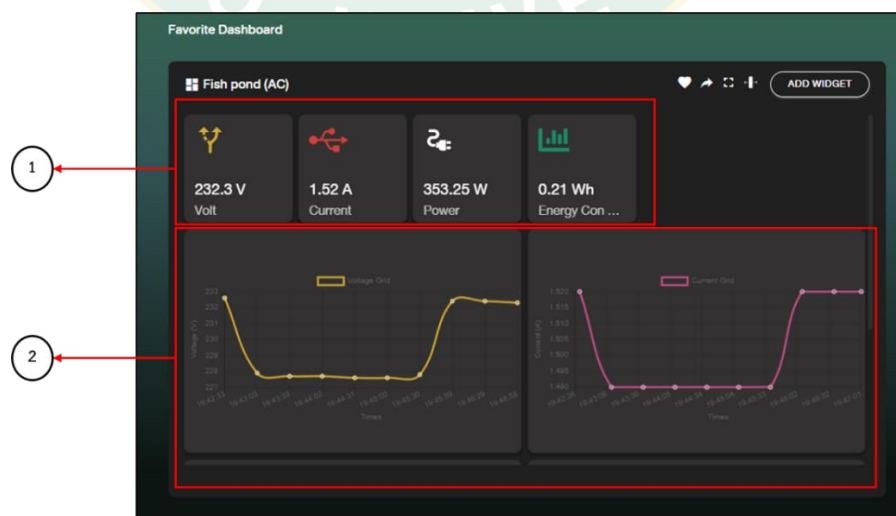
หมายเลข 4 คือ ชิพประมวลผล ESP8266-12F

หมายเลข 5 คือ โมดูล Rectifier 220 VAC to 5 VDC

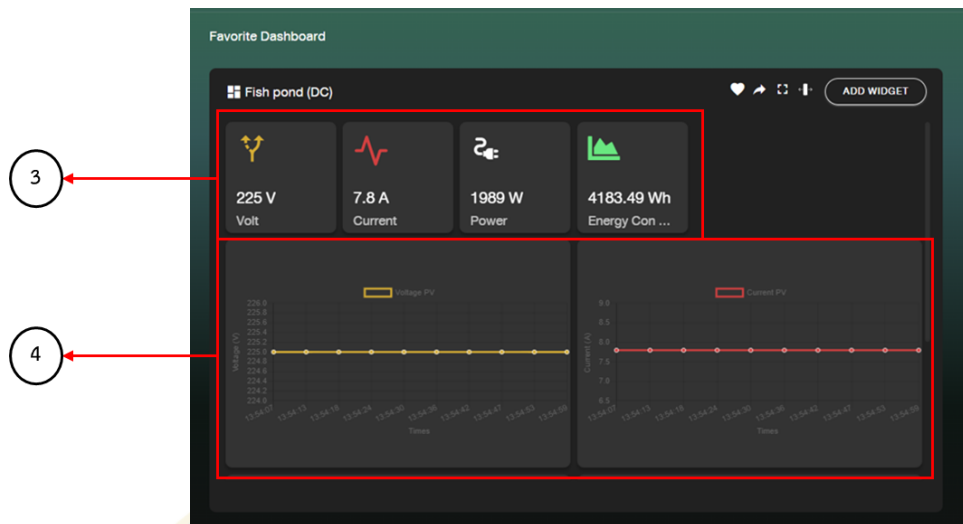
หมายเลข 6 คือ วงจรขั้วเบเรย์

หมายเลข 7 คือ ซ็อกเก็ตเชื่อมต่ออุปกรณ์เอาร์ทพุทภายนอกและ RS485

นอกจากการออกแบบระบบตรวจวัดแล้วยังมีการพัฒนาระบบรายงานผล ขณะที่ผลการการออกแบบ และพัฒนาระบบรายงานผลระบบตรวจวัดแสดงดังรูปที่ 66



(a) Dashboard ระบบตรวจวัดค่าทางไฟฟ้าพื้นฐาน



(b) Dashboard ระบบตรวจวัดไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

รูปที่ 66 หน้า dashboard แสดงผล

รูปที่ 66 แสดงหน้า dashboard สำหรับใช้แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการตรวจวัดทั้งไฟฟ้ากระแสสลับและกระแสตรง โดยหน้า dashboard ที่ได้พัฒนาขึ้นสามารถแสดงผลได้ดังต่อไปนี้ Dashboard แสดงผลไฟฟ้ากระแสสลับ (a) ประกอบด้วยหมายเลข 1 คือค่าพารามิเตอร์ที่ต้องการแสดงผลเป็นตัวเลขประกอบไปด้วย แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า และพลังงานไฟฟ้า ของ PZEM016 ส่วนหมายเลข 2 คือการจัดแสดงผลในรูปแบบของกราฟเพื่อดูแนวโน้มหรือการเปลี่ยนแปลงโดยรวมของค่าพารามิเตอร์ ส่วน Dashboard แสดงผลไฟฟ้ากระแสตรง ประกอบด้วยหมายเลข 3 คือค่าพารามิเตอร์ที่ต้องการแสดงผลเป็นตัวเลขประกอบไปด้วย แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า และพลังงานไฟฟ้าของ PZEM017 และหมายเลข 4 คือการจัดแสดงผลในรูปแบบของกราฟเพื่อดูแนวโน้มหรือการเปลี่ยนแปลงโดยรวมของค่าพารามิเตอร์เช่นเดียวกับหมายเลข 3

4.2 ผลการทดสอบอุปกรณ์ตรวจวัดไฟฟ้ากระแสสลับและกระแสตรง

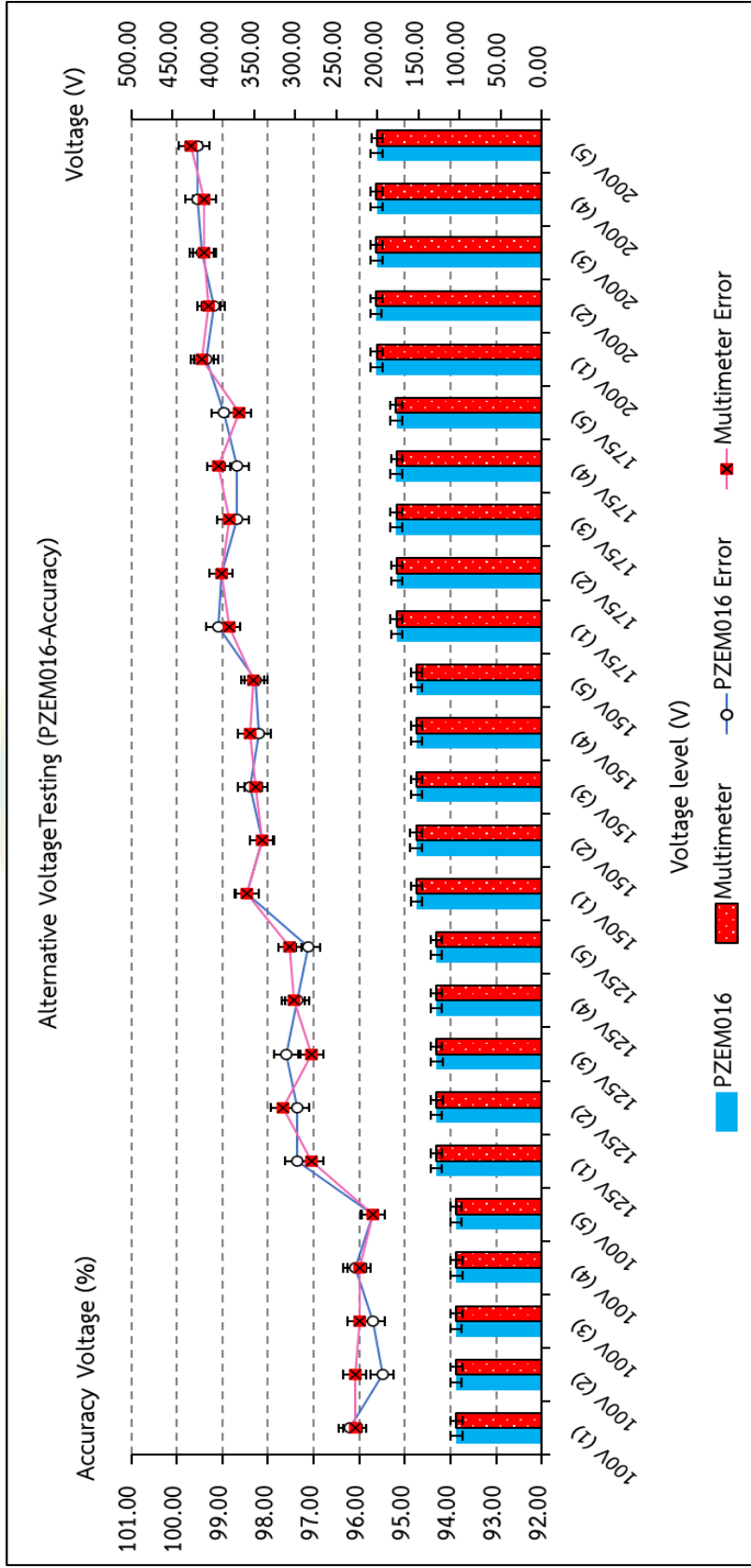
ผลการทดสอบเทียบการอ่านค่าของอุปกรณ์ตรวจวัดทางด้านพลังงานไฟฟ้า PZEM เทียบกับค่าที่อ่านได้จากอุปกรณ์ตรวจวัดอ้างอิงที่มีมาตรฐานการวัด โดยจะหาค่าความแม่นยำและความเที่ยงตรงของอุปกรณ์ตรวจวัดทางพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ (PZEM016) กับกระแสตรง (PZEM017) เทียบกับอุปกรณ์ตรวจวัดอ้างอิงคือมัลติมิเตอร์ (UNI-T UT204+)

4.2.1 ผลการทดสอบอุปกรณ์ตรวจวัดไฟฟ้ากระแสสลับ (PZEM016)

แบ่งประเภทผลการทดสอบได้ดังนี้

1) การทดสอบความแม่นยำประเภทแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ

มีเงื่อนไขทดสอบที่ระดับแรงดัน 100V 120V 150V 175V และ 200V ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 67 พบว่าเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำของอุปกรณ์ตรวจวัดไฟฟ้ากระแสสลับ (PZEM016) มีค่าความแม่นยำเฉลี่ยคือ 95.84 97.36 98.29 98.89 และ 99.42% ตามลำดับ ส่วนอุปกรณ์ตรวจวัดมัลติมิเตอร์มีเปอร์เซ็นต์ค่าความแม่นยำเฉลี่ยคือ 95.98 97.34 98.32 98.89 และ 99.45% ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ (Variac) ซึ่งจะเห็นได้ว่าอุปกรณ์ทั้งสองมีผลความแม่นยำที่ใกล้เคียงกัน จึงสามารถสรุปได้ว่าอุปกรณ์ทั้งสองสามารถตรวจวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับได้ไม่ต่างกัน

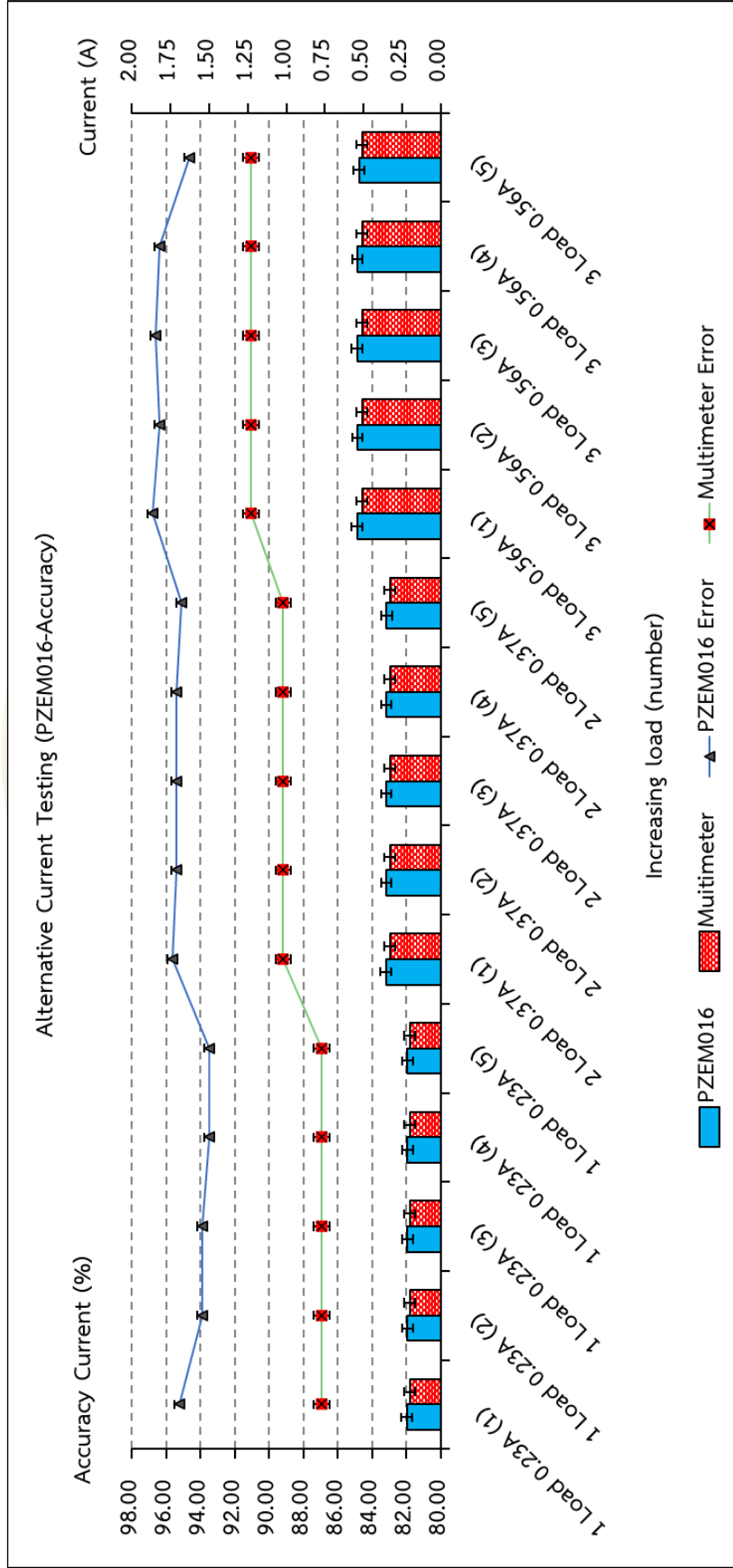


รูปที่ 67 เปรียบเทียบค่าความแม่นยำแรงดันไฟฟ้า PZEM016

2) การทดสอบความแม่นยำประเภทกระแสไฟฟ้าสลับ

มีเงื่อนไขทดสอบโดยการเพิ่มจำนวนโหลดจากโหลด 1 ตัวไปจนถึง โหลด 3 ตัว ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 68 พบว่าเปอร์เซ็นต์ค่าความแม่นยำของอุปกรณ์ตรวจวัดไฟฟ้ากระแสสลับ (PZEM016) มีค่าเฉลี่ยคือ 94.00 95.41 และ 96.18% ตามลำดับ ส่วนอุปกรณ์ตรวจวัดมัลติมิเตอร์มีเปอร์เซ็นต์ค่าความแม่นยำเฉลี่ยคือ 86.96 89.19 และ 91.07% ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับโหลดไฟฟ้ากระแสสลับซึ่งจะเห็นได้ว่าอุปกรณ์ทั้งสองมีผลความที่ใกล้เคียงกัน จึงสามารถสรุปได้ว่าอุปกรณ์ทั้งสองสามารถตรวจวัดกระแสไฟฟ้าสลับได้ไม่ต่างกัน



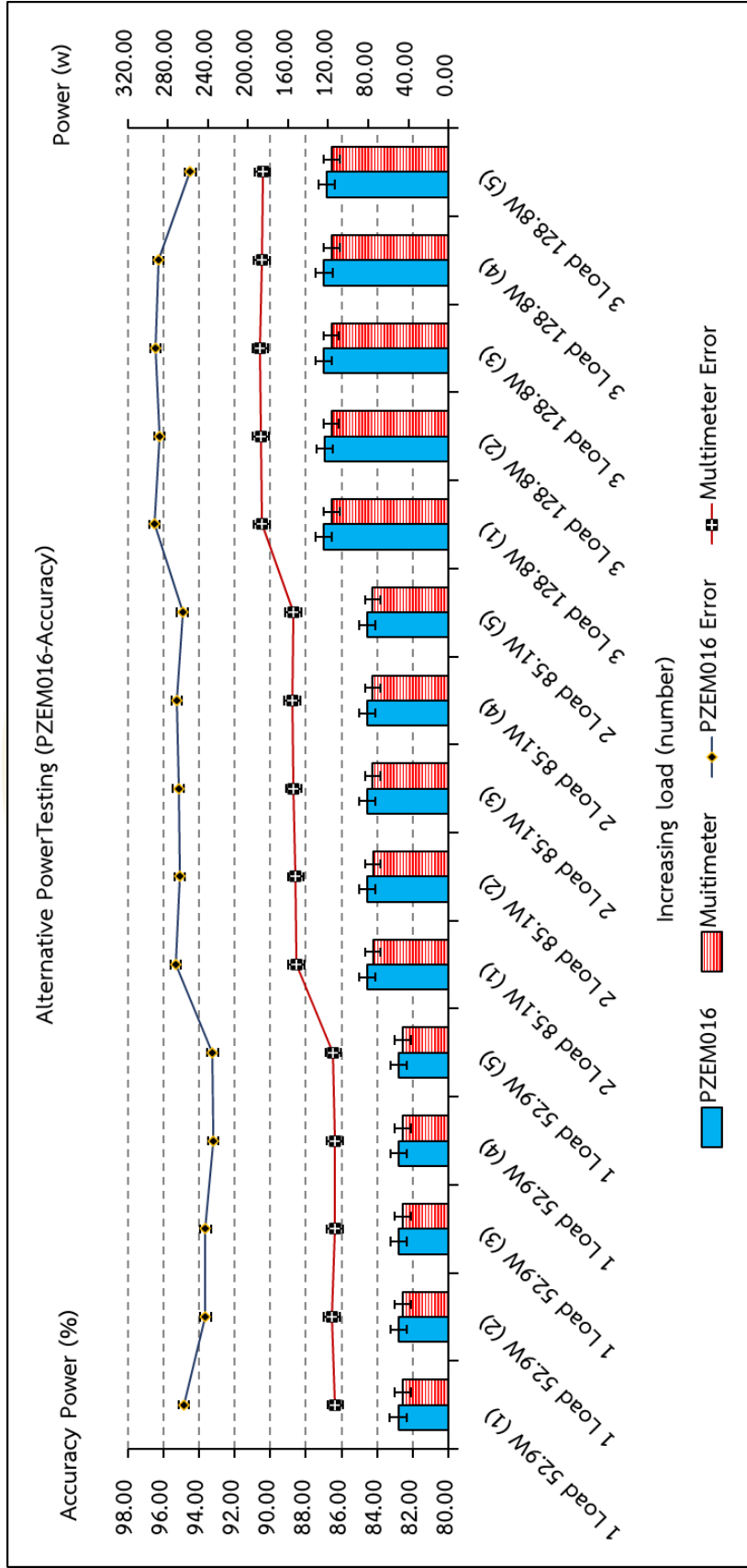


รูปที่ 68 เปรียบเทียบค่าความแม่นยำการกระแสไฟฟ้า PZEM016

3) การทดสอบความแม่นยำประเภทกำลังไฟฟ้ากระแสสลับฟ้า

มีเงื่อนไขทดสอบโดยการเพิ่มจำนวนโหลดจากโหลด 1 ตัวไปจนถึง โหลด 3 ตัว ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 69 พบว่าเปอร์เซ็นต์ค่าความแม่นยำของอุปกรณ์ตรวจวัดไฟฟ้ากระแสสลับ (PZEM016) มีค่าเฉลี่ยคือ 93.71 95.14 และ 95.98% ตามลำดับ ส่วนอุปกรณ์ตรวจวัดมัลติมิเตอร์มีเปอร์เซ็นต์ค่าความแม่นยำเฉลี่ยคือ 86.43 88.65 และ 90.49% ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับโหลดไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าอุปกรณ์ทั้งสองมีผลความแม่นยำที่ใกล้เคียงกัน จึงสามารถสรุปได้ว่าอุปกรณ์ทั้งสองสามารถตรวจวัดกำลังไฟฟ้ากระแสสลับได้ไม่ต่างกัน



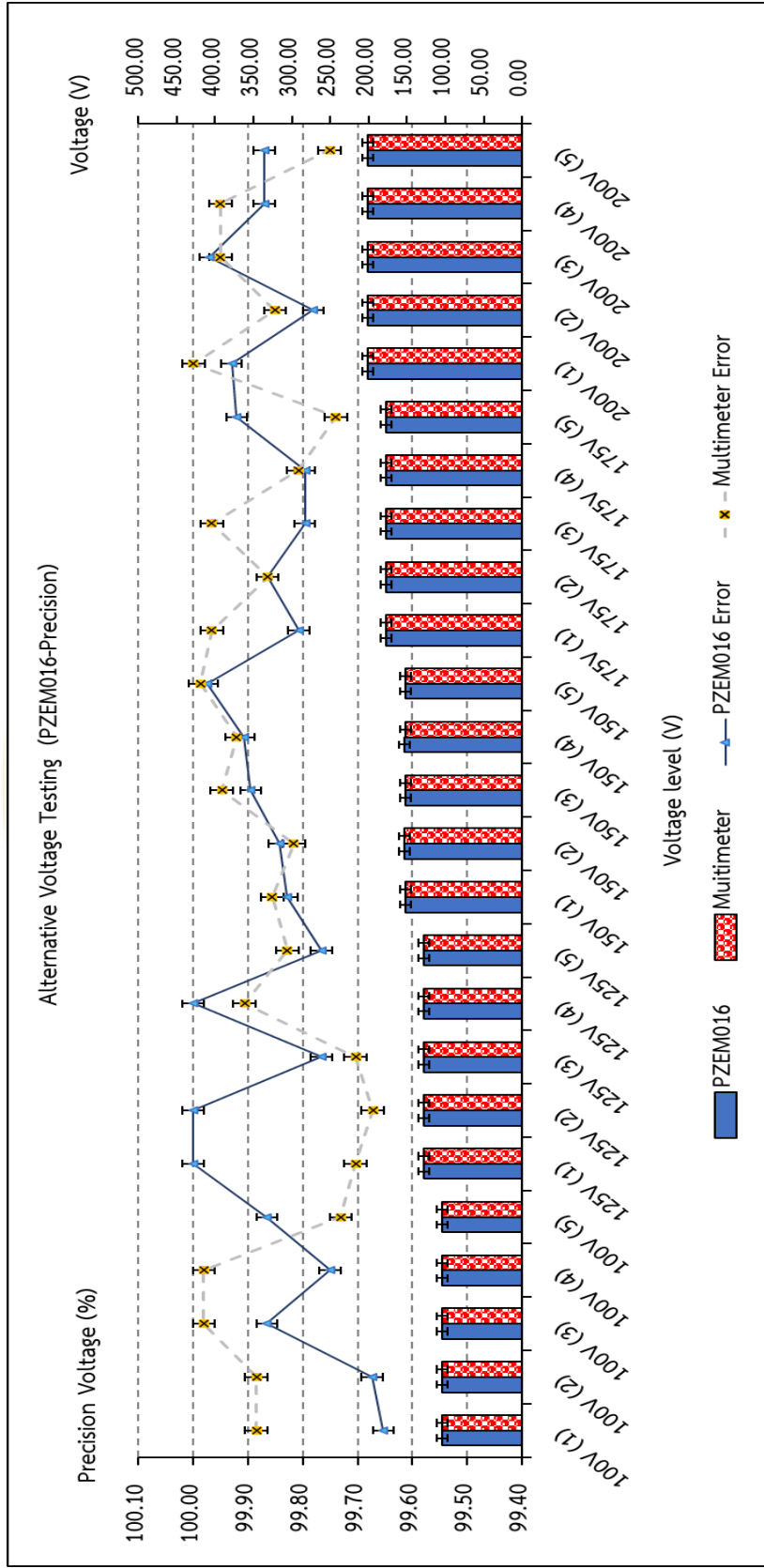


รูปที่ 69 เปรียบเทียบค่าความแม่นยำกำลังไฟฟ้า PZEM016

4) การทดสอบความเที่ยงตรงประเภทแรงดันไฟฟ้าสลับ

มีเงื่อนไขทดสอบที่ระดับแรงดัน 100V 120V 150V 175V และ 200V ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 70 พบว่าเปอร์เซ็นต์ค่าความเที่ยงตรงของอุปกรณ์ตรวจวัดไฟฟ้ากระแสสลับ (PZEM016) มีค่าเฉลี่ยคือ 99.76 99.91 99.89 99.84 และ 99.88% ตามลำดับ ส่วนอุปกรณ์ตรวจวัดมัลติมิเตอร์มีเปอร์เซ็นต์ค่าความเที่ยงตรงเฉลี่ยคือ คือ 99.89 99.76 99.91 99.87 และ 99.90%ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ (Variac) ซึ่งจะเห็นได้ว่าอุปกรณ์ทั้งสองมีผลความเที่ยงตรงที่ใกล้เคียงกัน จึงสามารถสรุปได้ว่าอุปกรณ์ทั้งสองสามารถตรวจวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับได้ไม่ต่างกัน



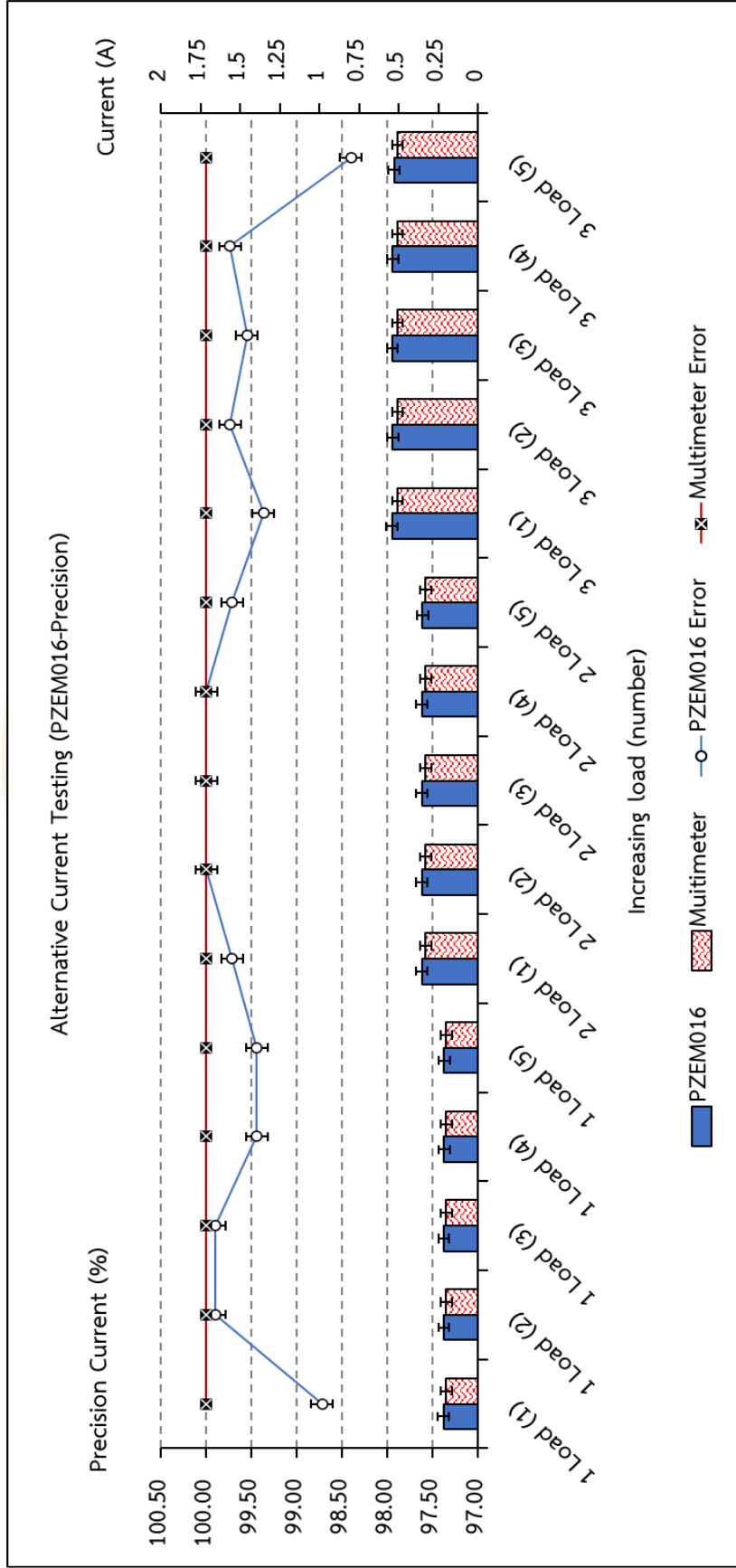


รูปที่ 70 เปรียบเทียบค่าความเที่ยงตรงแรงดันไฟฟ้า PZEM016

5) การทดสอบความเที่ยงตรงประเภทกระแสไฟฟ้าสลับ

มีเงื่อนไขทดสอบโดยการเพิ่มจำนวนโหลดจากโหลด 1 ตัวไปจนถึง โหลด 3 ตัว ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 71 พบว่าเปอร์เซ็นต์ค่าความเที่ยงตรงของอุปกรณ์ตรวจวัดไฟฟ้ากระแสสลับ (PZEM016) มีค่าเฉลี่ยคือ 99.48 99.89 และ 99.36% ตามลำดับ ส่วนอุปกรณ์ตรวจวัดมัลติมิเตอร์มีเปอร์เซ็นต์ค่าความเที่ยงตรงเฉลี่ยคือ 100.00% ทุกเงื่อนไข เมื่อเปรียบเทียบกับโหลดไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าอุปกรณ์ทั้งสองมีผลเที่ยงตรงที่ใกล้เคียงกัน จึงสามารถสรุปได้ว่าอุปกรณ์ทั้งสองสามารถตรวจวัดกระแสไฟฟ้าสลับได้ไม่ต่างกัน



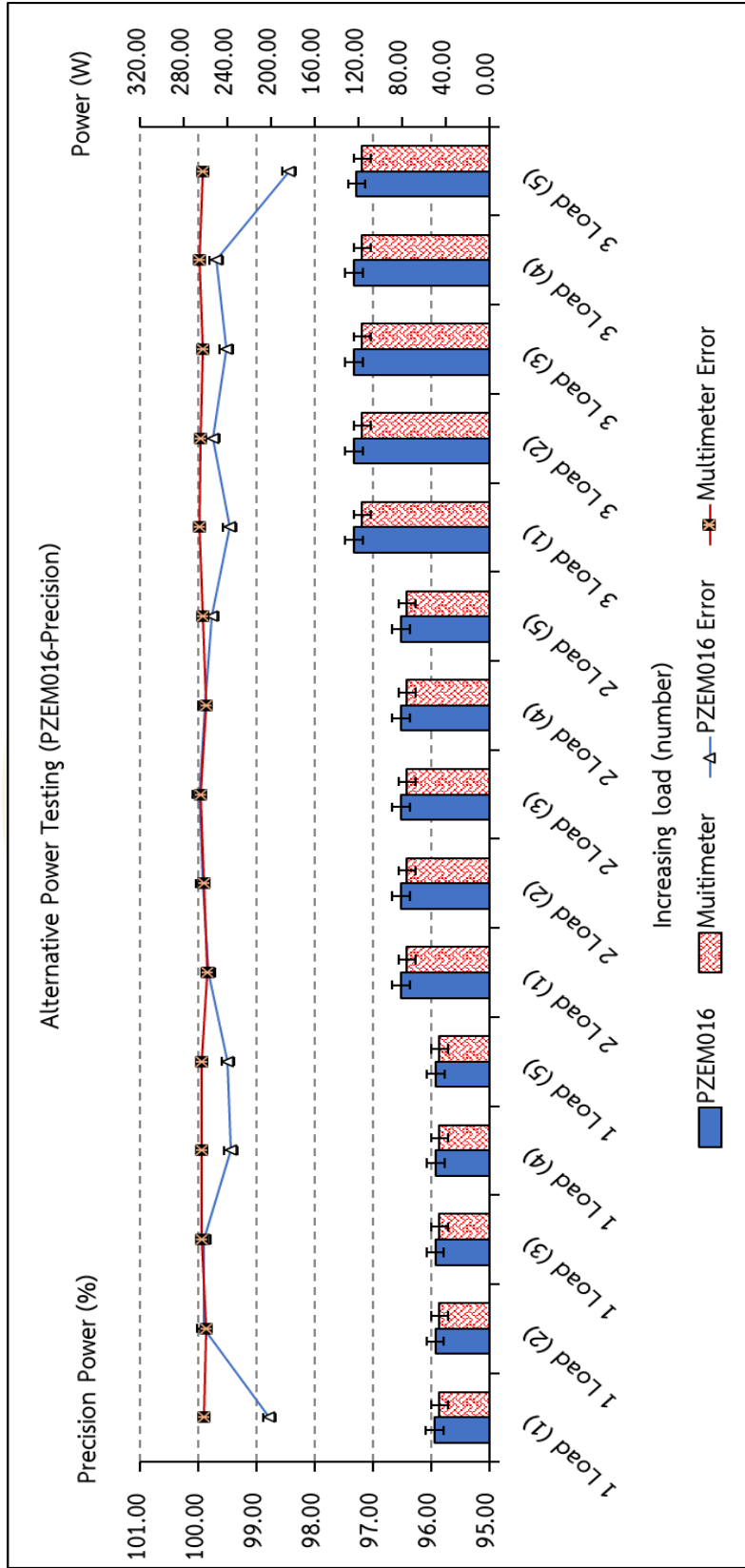


รูปที่ 71 เปรียบเทียบค่าความเที่ยงตรงกระแสไฟฟ้า PZEM016

6) การทดสอบความเที่ยงตรงประเภทกำลังไฟฟ้าสลับ

มีเงื่อนไขทดสอบโดยการเพิ่มจำนวนโหลดจากโหลด 1 ตัวไปจนถึง โหลด 3 ตัว ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 72 พบว่าเปอร์เซ็นต์ค่าความเที่ยงตรงของอุปกรณ์ตรวจวัดไฟฟ้ากระแสสลับ (PZEM016) มีค่าเฉลี่ยคือ 99.51 99.88 และ 99.38% ตามลำดับ ส่วนอุปกรณ์ตรวจวัดมัลติมิเตอร์ มีเปอร์เซ็นต์ค่าความเที่ยงตรงเฉลี่ยคือ 99.93 99.91 และ 99.96% ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับ โหลดไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าอุปกรณ์ทั้งสองมีผลความเที่ยงตรงที่ใกล้เคียงกัน จึงสามารถสรุปได้ว่าอุปกรณ์ทั้งสองสามารถตรวจวัดกำลังไฟฟ้ากระแสสลับได้ไม่ต่างกัน





รูปที่ 72 เปรียบเทียบค่าความเที่ยงตรงกำลังไฟฟ้า PZEM016

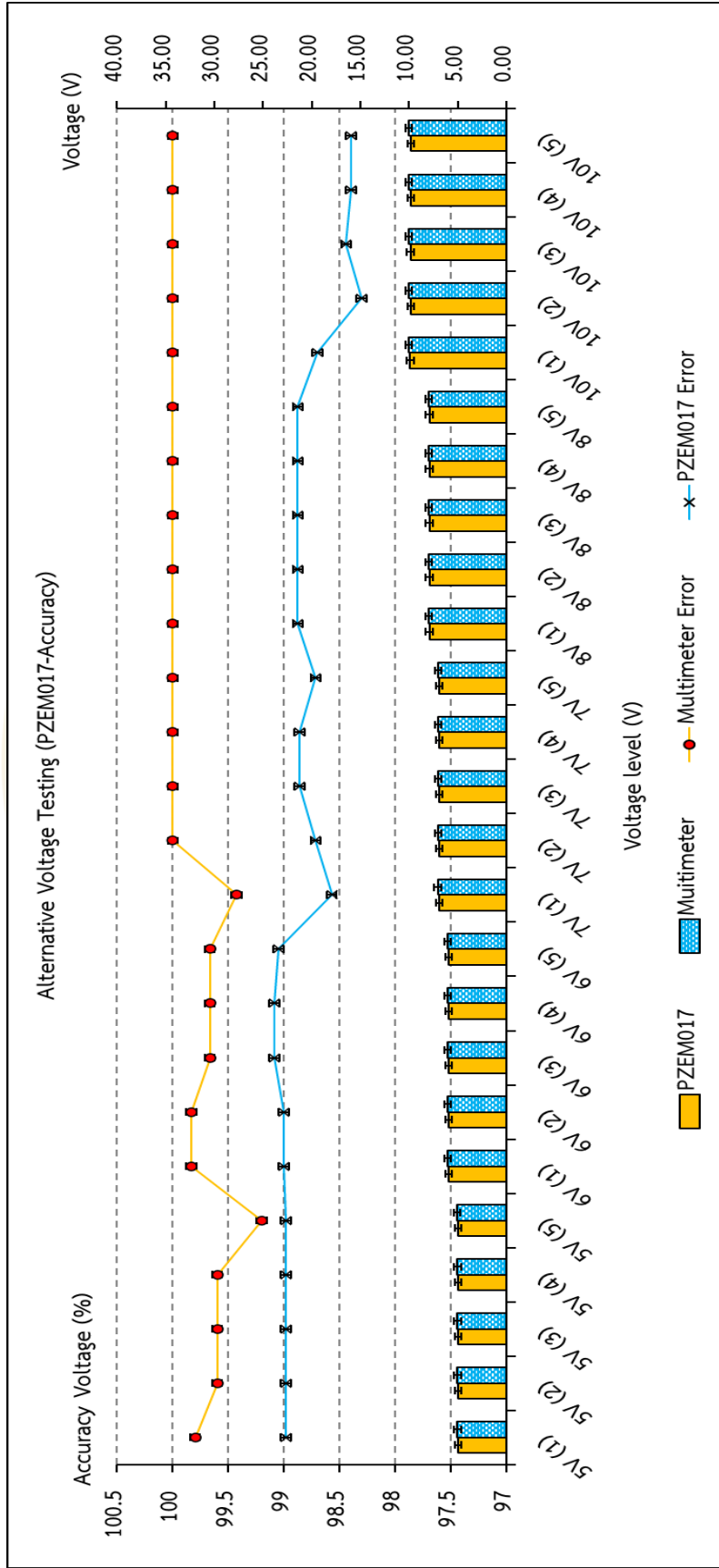
4.2.2 ผลการทดสอบอุปกรณ์ตรวจวัดไฟฟ้ากระแสตรง (PZEM017)

แบ่งประเภทผลการทดสอบได้ดังนี้

1) การทดสอบความแม่นยำประเภทแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

มีเงื่อนไขทดสอบที่ระดับแรงดันคือ 5V 6V 7V 8V และ 10V ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 73 พบว่าเปอร์เซ็นต์ค่าความแม่นยำของอุปกรณ์ตรวจวัดไฟฟ้ากระแสตรง (PZEM017) มีค่าเฉลี่ยคือ 98.98 99.04 98.74 98.88 และ 98.45% ตามลำดับ ส่วนอุปกรณ์ตรวจวัดมัลติมิเตอร์มีเปอร์เซ็นต์ค่าความแม่นยำเฉลี่ยคือ 99.56 99.73 99.89 100.00 และ 100.00% ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงซึ่งจะเห็นได้ว่าอุปกรณ์ทั้งสองมีผลความแม่นยำที่ใกล้เคียงกัน จึงสามารถสรุปได้ว่าอุปกรณ์ทั้งสองสามารถตรวจวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงได้ไม่ต่างกัน



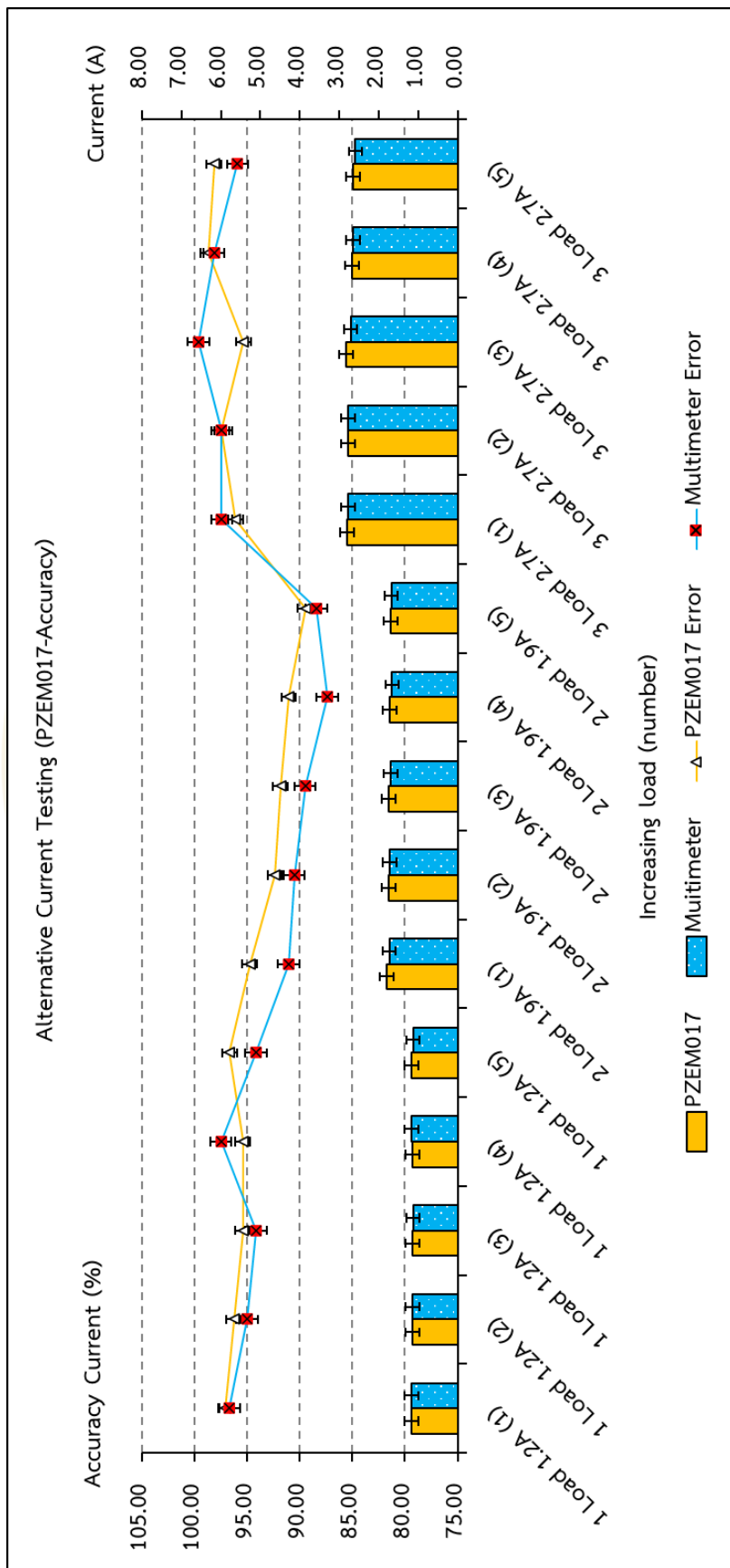


รูปที่ 73 เปรือให้เห็นค่าความแม่นยำแรงดันไฟฟ้า PZEM017

2) การทดสอบความแม่นยำประเภทกระแสไฟฟ้าตรง

มีเงื่อนไขทดสอบโดยการเพิ่มจำนวนโหลดจากโหลด 1 ตัวไปจนถึง โหลด 3 ตัว ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 74 พบว่าเปอร์เซ็นต์ค่าความแม่นยำของอุปกรณ์ตรวจวัดไฟฟ้ากระแสตรง (PZEM017) มีค่าเฉลี่ยคือ 96.17 91.89 และ 97.15% ตามลำดับ ส่วนอุปกรณ์ตรวจวัดมัลติมิเตอร์มีเปอร์เซ็นต์ค่าความแม่นยำเฉลี่ยคือ 95.50 89.37 และ 97.70% ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับโหลดไฟฟ้ากระแสตรงซึ่งจะเห็นได้ว่าอุปกรณ์ทั้งสองมีผลความแม่นยำที่ใกล้เคียงกัน จึงสามารถสรุปได้ว่าอุปกรณ์ทั้งสองสามารถตรวจวัดกระแสไฟฟ้าตรงได้ไม่ต่างกัน



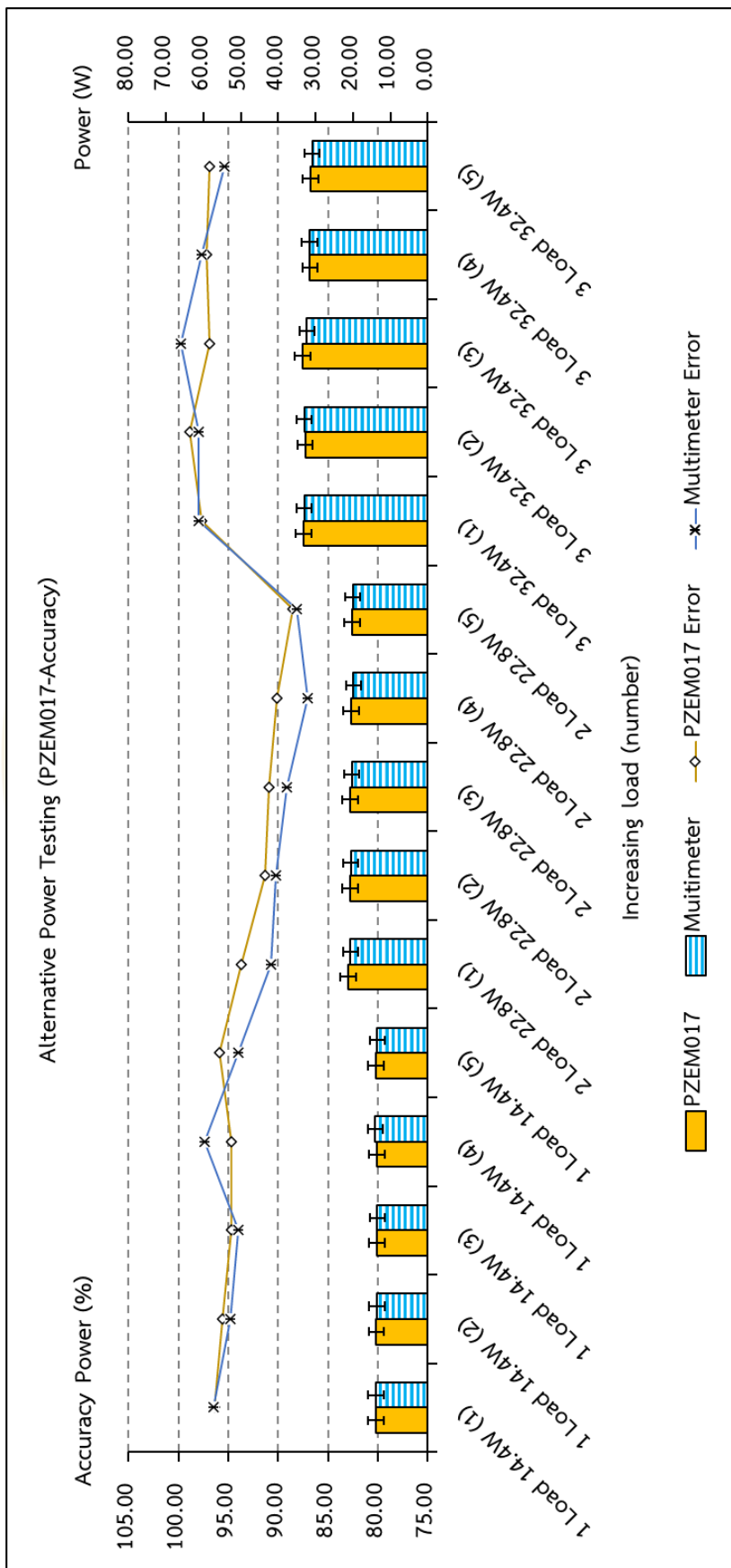


รูปที่ 74 เปรียบเทียบค่าความแม่นยำกระแสไฟฟ้า PZEM017

3) การทดสอบความแม่นยำประเภทกำลังไฟฟ้ากระแสตรง

มีเงื่อนไขทดสอบโดยการเพิ่มจำนวนโหลดจากโหลด 1 ตัวไปจนถึง โหลด 3 ตัว ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 75 พบว่าเปอร์เซ็นต์ค่าความแม่นยำของอุปกรณ์ตรวจวัดไฟฟ้ากระแสตรง (PZEM017) มีค่าเฉลี่ยคือ 95.46 90.94 และ 97.49% ตามลำดับ ส่วนอุปกรณ์ตรวจวัดมัลติมิเตอร์มีค่าเปอร์เซ็นต์ค่าความแม่นยำเฉลี่ยคือ 95.34 89.07 และ 97.76% ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับโหลดไฟฟ้ากระแสตรงซึ่งจะเห็นได้ว่าอุปกรณ์ทั้งสองมีผลความแม่นยำที่ใกล้เคียงกัน จึงสามารถสรุปได้ว่าอุปกรณ์ทั้งสองสามารถตรวจวัดกำลังไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าตรงได้ไม่ต่างกัน



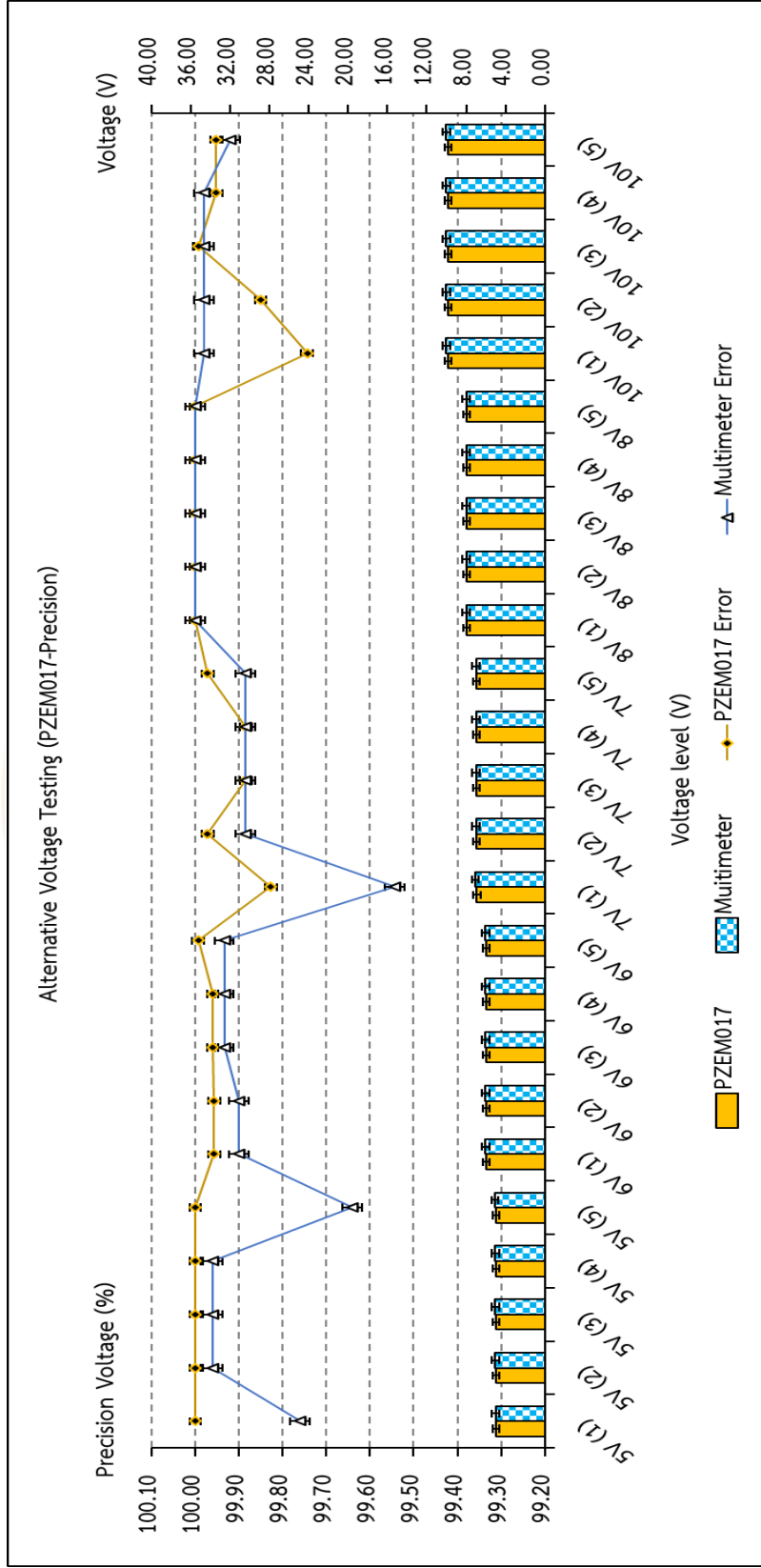


รูปที่ 75 เปรียบเทียบค่าความแม่นยำกำลังไฟฟ้า PZEM017

4) การทดสอบความเที่ยงตรงประเภทแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

มีเงื่อนไขทดสอบที่ระดับแรงดัน 5V 6V 7V 8V และ 10V ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 76 พบว่าเปอร์เซ็นต์ค่าความเที่ยงตรงของอุปกรณ์ตรวจวัดไฟฟ้ากระแสตรง (PZEM017) มีค่าเฉลี่ยคือ 100.00 99.96 99.91 100.00 และ 99.90% ตามลำดับ ส่วนอุปกรณ์ตรวจวัดมัลติมิเตอร์ มีเปอร์เซ็นต์ค่าความเที่ยงตรงเฉลี่ยคือ 99.86 99.92 99.82 100.00 และ 99.97% ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ (Variac) ซึ่งจะเห็นได้ว่าอุปกรณ์ทั้งสองมีผลความเที่ยงตรงที่ใกล้เคียงกัน จึงสามารถสรุปได้ว่าอุปกรณ์ทั้งสองสามารถตรวจวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับได้ไม่ต่างกัน



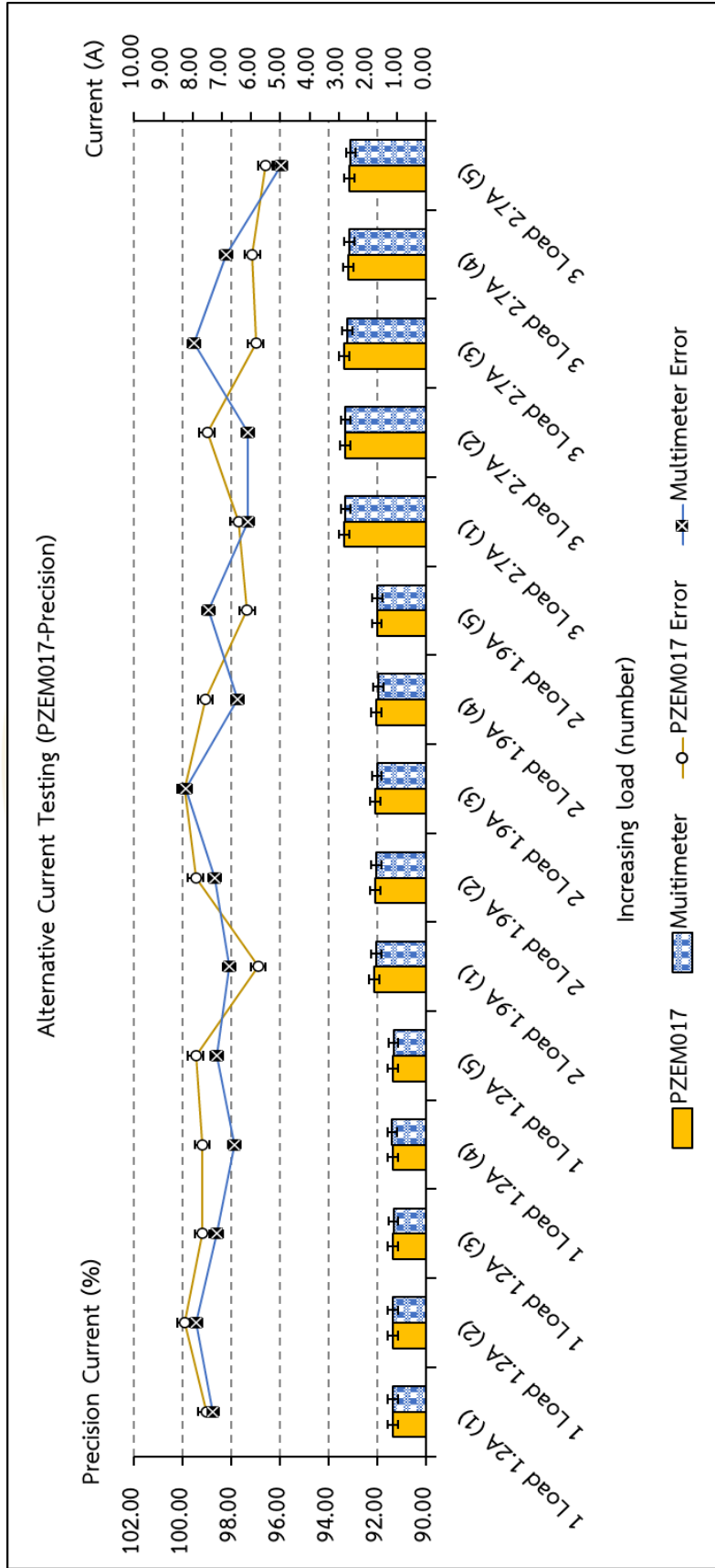


รูปที่ 76 เปรียบเทียบค่าความเที่ยงตรงแรงดันไฟฟ้า PZEM017

5) การทดสอบความเที่ยงตรงประเภทกระแสไฟฟ้ากระแสตรง

มีเงื่อนไขทดสอบโดยการเพิ่มจำนวนโหลดจากโหลด 1 ตัวไปจนถึง โหลด 3 ตัว ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 77 พบว่าเปอร์เซ็นต์ค่าความเที่ยงตรงของอุปกรณ์ตรวจวัดไฟฟ้ากระแสตรง (PZEM017) มีค่าเฉลี่ยคือ 99.38 98.56 และ 97.51% ตามลำดับ ส่วนอุปกรณ์ตรวจวัดมัลติมิเตอร์มีเปอร์เซ็นต์ค่าความเที่ยงตรงเฉลี่ยคือ 98.67 98.68 และ 97.69% ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับ โหลดไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งจะเห็นได้ว่าอุปกรณ์ทั้งสองมีผลความเที่ยงตรงใกล้เคียงกัน จึงสามารถสรุปได้ว่าอุปกรณ์ทั้งสองสามารถตรวจวัดกระแสไฟฟ้าตรงได้ไม่ต่างกัน



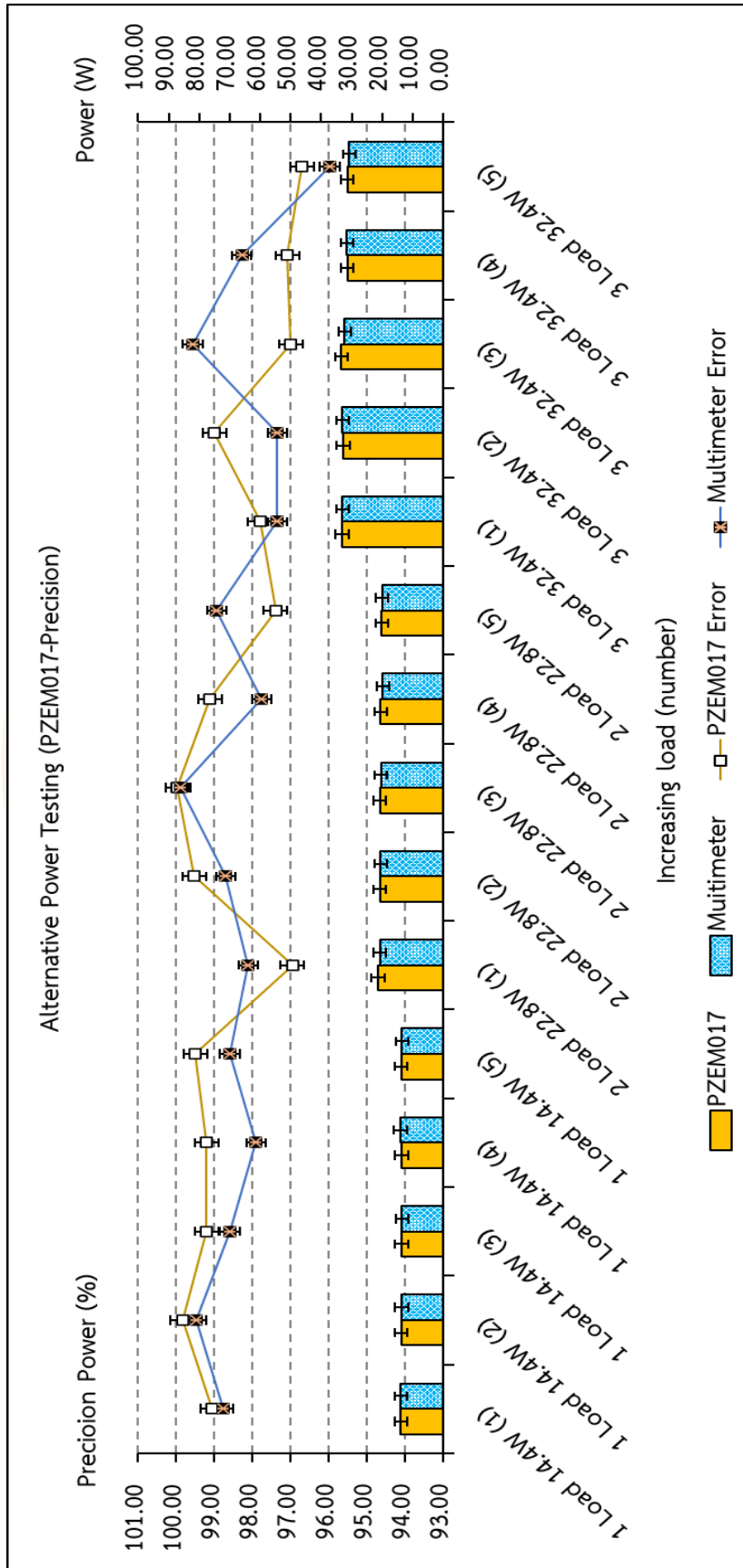


รูปที่ 77 เปรียบเทียบค่าความเที่ยงตรงกระแสไฟฟ้า PZEM017

6) การทดสอบความเที่ยงตรงประเภทกำไฟฟ้ากระแสตรง

มีเงื่อนไขทดสอบโดยการเพิ่มจำนวนโหลดจากโหลด 1 ตัวไปจนถึง โหลด 3 ตัว ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 78 พบว่าเปอร์เซ็นต์ค่าความเที่ยงตรงของอุปกรณ์ตรวจวัดไฟฟ้ากระแสตรง (PZEM017) มีค่าเฉลี่ยคือ 99.36 98.60 และ 97.52% ตามลำดับ ส่วนอุปกรณ์ตรวจวัดมัลติมิเตอร์ มีเปอร์เซ็นต์ค่าความเที่ยงตรงเฉลี่ยคือ 98.67 98.68 และ 97.71% ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับ โหลดไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งจะเห็นได้ว่าอุปกรณ์ทั้งสองมีผลความเที่ยงตรงที่ใกล้เคียงกัน จึงสามารถสรุปได้ว่าอุปกรณ์ทั้งสองสามารถตรวจวัดกำลังไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าตรงได้ไม่ต่างกัน





รูปที่ 78 เปรียบเทียบค่าความเที่ยงตรงกำลังไฟฟ้า PZEM017

จากการทดสอบอุปกรณ์ตรวจวัดของอุปกรณ์ PZEM016 PZEM017 ร่วมกับอุปกรณ์ตรวจวัดมัลติมิเตอร์ทดสอบความแม่นยำและเที่ยงตรงแต่ละค่าพารามิเตอร์สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 10 แสดงค่าความแม่นยำและความเที่ยงตรงของ PZEM016 จากการตรวจวัดทุกค่าพารามิเตอร์โดยเฉลี่ยแล้ว PZEM016 มีค่าความแม่นยำ 96.03% และมีค่าความเที่ยงตรง 99.67% ขณะเดียวกันมัลติมิเตอร์มีค่าความแม่นยำ 91.03% และมีค่าความเที่ยงตรง 99.93 % ซึ่งอุปกรณ์ทั้งสองมีความสามารถในการตรวจวัดที่ยอมรับได้เนื่องจากมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 10% ส่วนตารางที่ 11 แสดงค่าความแม่นยำและความเที่ยงตรงของ PZEM017 จากการตรวจวัดทุกค่าพารามิเตอร์โดยเฉลี่ยแล้ว PZEM017 มีค่าความแม่นยำ 96.17% และมีค่าความเที่ยงตรง 98.98% ขณะเดียวกันมัลติมิเตอร์มีค่าความแม่นยำ 96.03% และมีค่าความเที่ยงตรง 98.87 % ซึ่งอุปกรณ์ทั้งสองมีความสามารถในการตรวจวัดที่ยอมรับได้เนื่องจากมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 10% (Fernando, 2010) สำหรับการวัดที่ไม่ต้องการความเข้มงวดมากนัก

ตารางที่ 10 สรุปค่าความแม่นยำและเที่ยงตรง PZEM016

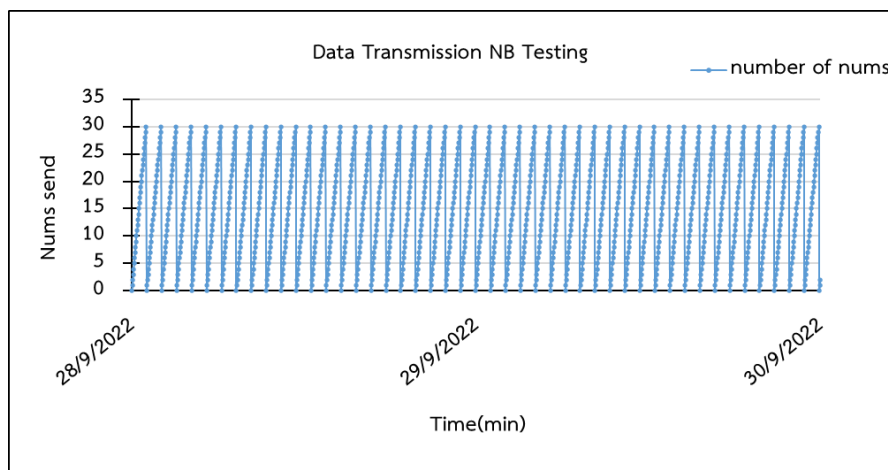
การทดสอบ	ความแม่นยำ (%)		ความเที่ยงตรง (%)		
	ค่าพารามิเตอร์	PZEM016	มัลติมิเตอร์	PZEM016	มัลติมิเตอร์
แรงดันไฟฟ้า		97.96	98.00	99.86	99.8
กระแสไฟฟ้า		95.19	89.07	99.58	100.00
กำลังไฟฟ้า		94.94	90.49	99.59	99.93
ทุกค่าพารามิเตอร์		96.03	91.86	99.67	99.93

ตารางที่ 11 สรุปค่าความแม่นยำและเที่ยงตรง PZEM017

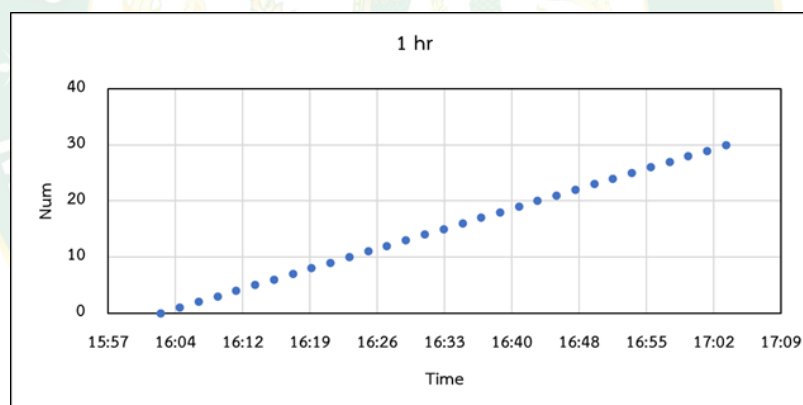
การทดสอบ	ความแม่นยำ (%)		ความเที่ยงตรง (%)		
	ค่าพารามิเตอร์	PZEM017	มัลติมิเตอร์	PZEM017	มัลติมิเตอร์
แรงดันไฟฟ้า		98.82	99.84	99.95	99.91
กระแสไฟฟ้า		95.07	94.19	98.48	98.35
กำลังไฟฟ้า		94.63	94.06	98.49	98.35
ทุกค่าพารามิเตอร์		96.17	96.03	98.98	98.87

4.3 ผลการทดสอบการส่งข้อมูลของ NB

การทดสอบการส่งข้อมูลของบอร์ด NB กำหนดให้ส่งตัวเลขจาก 0-30 ทุก 2 นาทีไปยัง web server ที่รองรับการแสดงผลของบอร์ด NB AIS คือ Magellan platform



รูปที่ 79 ผลการส่งข้อมูลของบอร์ด NB



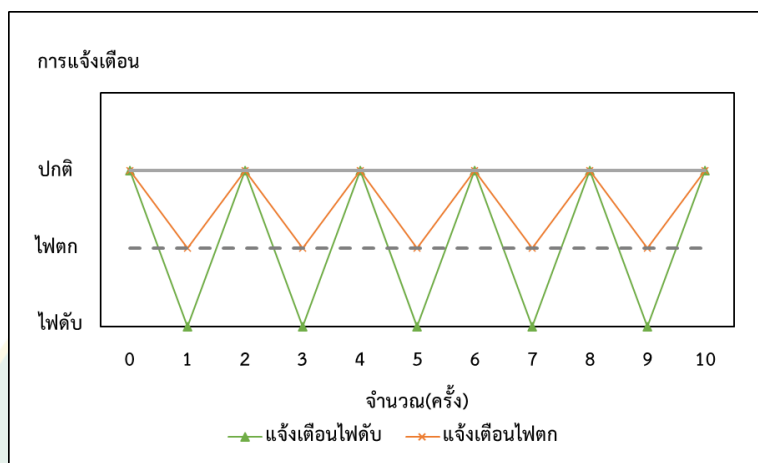
รูปที่ 80 ผลการส่งข้อมูลของบอร์ด NB รายชั่วโมง

จากรูปที่ 79 คือผลการส่งข้อมูลของบอร์ด NB โดยกำหนดให้มีการส่งตัวเลขจากเลข 1 ถึง 30 โดยมีการส่งค่าทุก 2 นาที ตั้งแต่วันที่ 28 เวลา 16:03 น.เป็นต้นไปเป็นระยะเวลา 2 วันพบว่ามีการส่งข้อมูลครบทุกตัวเลขตั้งแต่ 0-30 (แกน Y) แต่ระยะเวลาในการส่งมีความคลาดเคลื่อน เช่น ข้อมูลต้องถูกส่งในเวลา 16:33 น. แต่ข้อมูลถูกส่งที่ 16:34 น. จากการวิเคราะห์โดยปกติในระยะเวลา 24 ชม. ต้องการส่งข้อมูลทั้งหมดเป็นจำนวน 1440 ครั้ง แต่จำนวนที่มีการส่งข้อมูลจริงคือ 1429 ครั้ง มีความคลาดเคลื่อน 11 ครั้งคิดเป็น 0.76% จะเห็นได้อย่างชัดเมื่อดูจากรูปที่ 80 ที่แสดงการส่งข้อมูลเป็นรายชั่วโมงหากสังเกตตำแหน่งของจุดเมื่อดูจากจากระยะเวลาการส่งข้อมูล (แกน X) จะมีระยะของช่องว่างที่ไม่สม่ำเสมอที่แสดงว่าการส่งข้อมูลมีการ delay

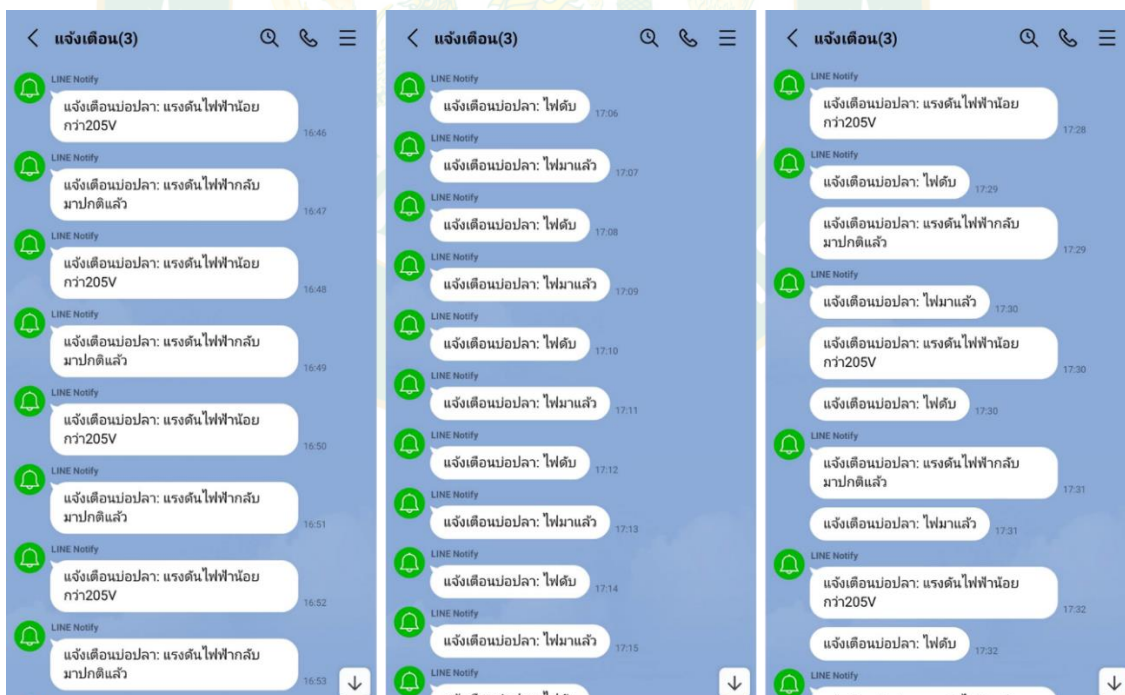
4.4 ผลการทดสอบระบบแจ้งเตือน

การทดสอบการแจ้งเตือนโดยเริ่มจากพัฒนาในส่วนซอฟต์แวร์บนโปรแกรม Arduino ให้มีการสื่อสารจากบอร์ด NB ไปยังแอปพลิเคชัน Line ผ่าน WiFi มีผลดังนี้

1. ผลแจ้งเตือนแรงดันไฟฟ้า



รูปที่ 81 ผลการแจ้งเตือนแรงดันไฟฟ้า



รูปที่ 82 ทดสอบการแจ้งเตือนแรงดันไฟฟ้าบน Line

รูปที่ 81 แสดงการแจ้งเตือนแรงดันไฟฟ้ามีการแจ้งเตือน 2 แบบคือแจ้งเตือนไฟตกและไฟดับ เริ่มจากจำลองสถานการณ์ไฟฟ้ามาปกติและทำให้เกิดไฟดับโดยปรับ variac ที่ 0 เพื่อให้แจ้งเตือน

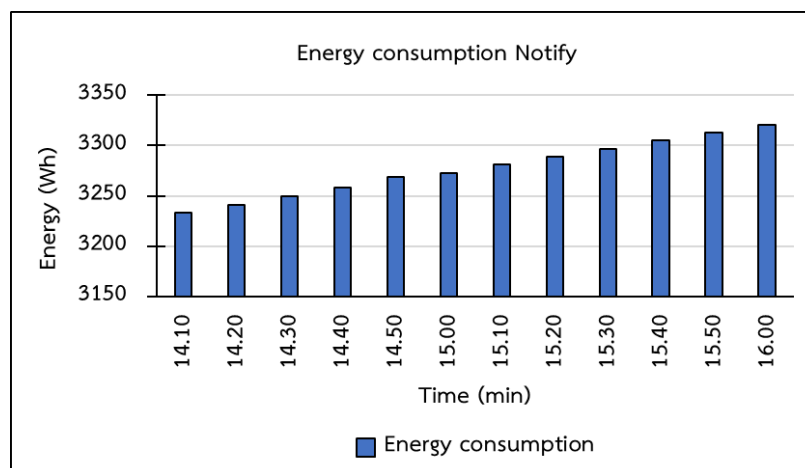
ไฟดับและปรับ variac ที่ 220V เพื่อให้แฉ่งเต็อนไฟฟ้ามาแล้ว ส่วนเหตุการณ์ไฟตกจะปรับ variac ให้ น้อยกว่า 205V แต่มากกว่า 100V เพื่อให้เกิดการแฉ่งเต็อนแรงดันไฟฟ้าน้อยกว่า 205V ถือว่าเป็นไฟ ตกและปรับ variac มากกว่า 210V เพื่อให้แฉ่งเต็อนว่าแรงดันไฟฟ้ากลับมาปกติ ซึ่งจะทดสอบทั้ง 2 เหตุการณ์ขัดข้องสลับกับเหตุการณ์ปกตอย่างละ 10 ครั้ง พบว่าการแฉ่งเต็อนระหว่างไฟตก (แรงดันไฟฟ้าน้อยกว่า 205V) 5 ครั้ง และแรงดันไฟฟ้ากลับมาปกติ 5 ครั้งมีการแฉ่งเต็อนอย่าง แม่นยำ 100% ตามการปรับ variac ส่วนการแฉ่งเต็อนไฟดับ 5 ครั้ง และไฟติด 5 ครั้ง ก็มีการแฉ่ง เต็อนแม่นยำตามการปรับ variac เช่นเดียวกันซึ่งมาลักษณะดังรูปที่ 82

2. ผลแฉ่งเต็อนปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า

ทดสอบการแฉ่งเต็อนค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยการทดสอบให้จ่ายไฟฟ้าพื้นฐานไปยังโหลดไฟฟ้า กระแสสลับ จากสร้างอัลกอริทึมที่กำหนดให้แฉ่งเต็อนทุก 10 นาทีส่งค่าพลังงานไฟฟ้าแฉ่งเต็อนไปยัง Line เป็นระยะเวลา 2 ชม. มีการแฉ่งเต็อนดังรูปที่ 83



รูปที่ 83 ทดสอบการแฉ่งเต็อนพลังงานไฟฟ้าบน Line



รูปที่ 84 ผลการแจ้งเตือน

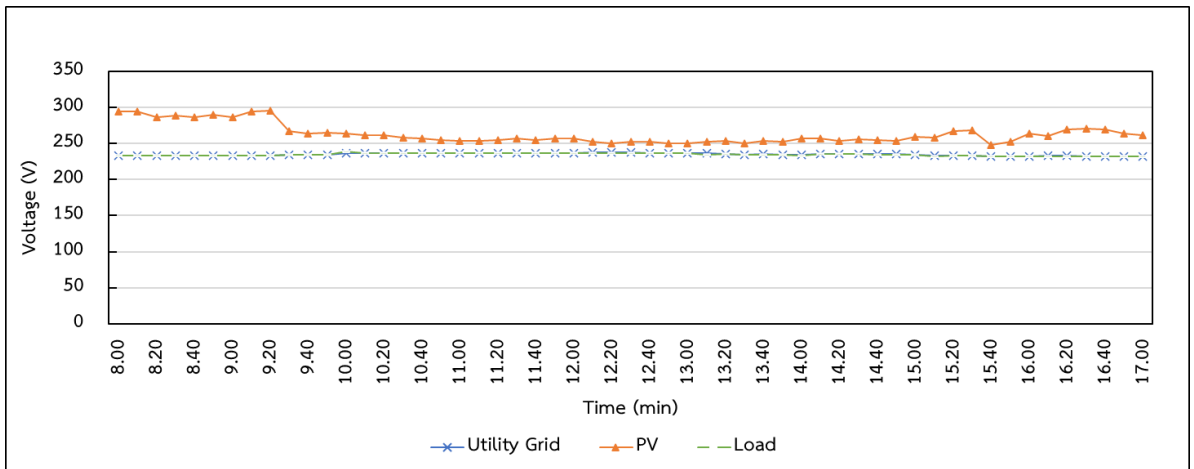
รูปที่ 84 แสดงผลการแจ้งเตือนค่าที่กำหนดให้ส่งข้อมูลเป็นพลังงานไฟฟ้าทุก 10 นาทีเป็นระยะเวลา 2 ชม. พบว่ามีการส่งข้อมูลตรงตามที่กำหนดจากการพัฒนาในส่วนของซอฟต์แวร์มีอัลกอริทึมการอ่านข้อมูลถูกต้องและเที่ยงตรง 100%

4.5 ผลการประเมินการใช้พลังงานไฟฟ้าแบบร่วมในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

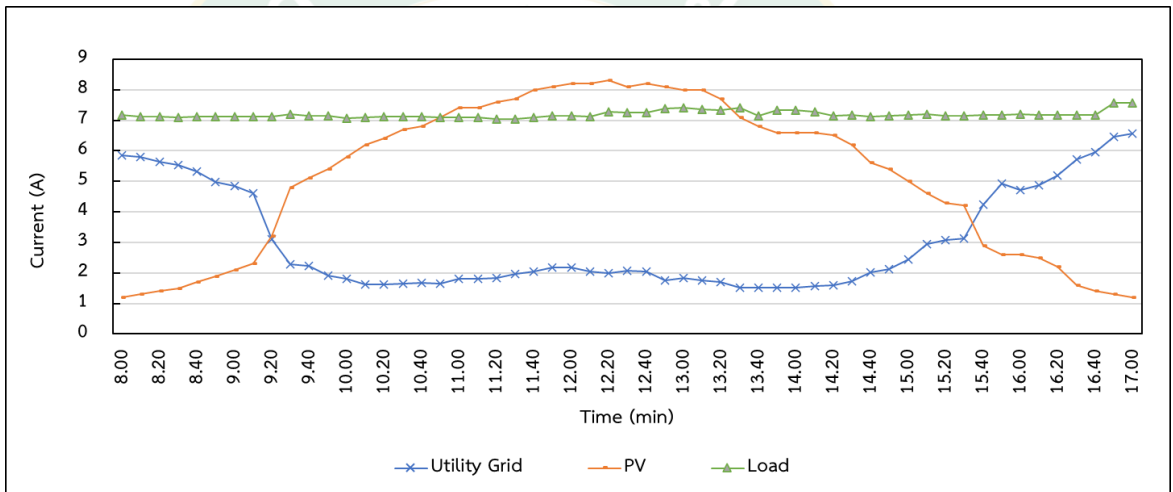
การประเมินการใช้พลังงานของระบบเติมอากาศในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำโดยมีแหล่งจ่ายไฟฟ้าร่วมกันระหว่างไฟฟ้าพื้นฐานกับระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งได้มีการทดสอบตรวจวัดแบบ Laboratory Scale ในพื้นที่วิทยาลัยพลังงานทดแทน ก่อนนำไปตรวจวัดจริง (commercial scale lab)

4.5.1 การใช้พลังงานแบบร่วมในบ่อทดสอบ (Laboratory Scale Lab)

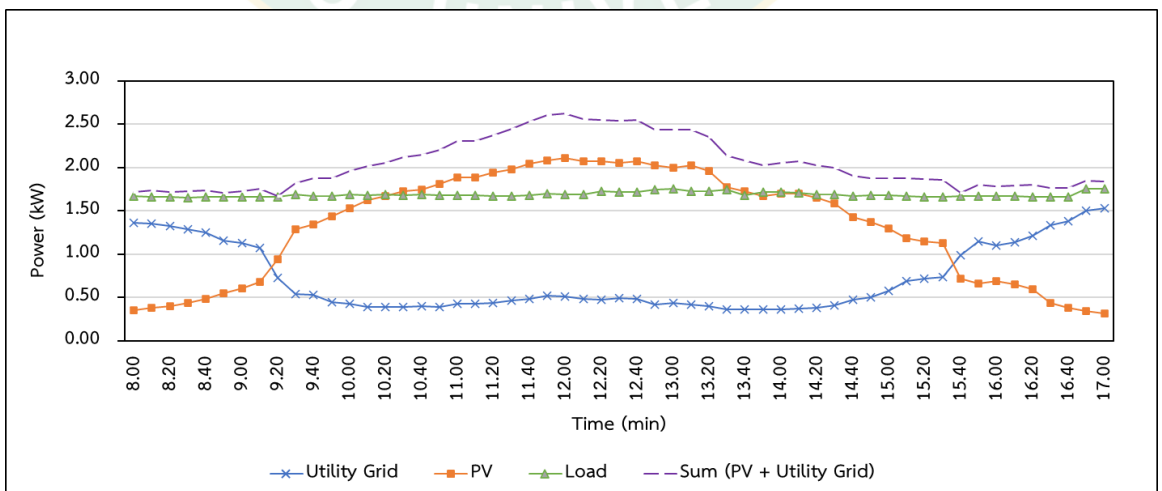
เป็นการตรวจวัดโดยมีแหล่งจ่ายไฟฟ้าร่วมกันคือไฟฟ้าพื้นฐานกับระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แผงอาทิตย์ที่มีแผงขนาด 2800Wp 7 แผง (แผงละขนาด 445W) จ่ายไปยังมอเตอร์ขนาด 1.5kW กระแส 9.5A ผ่านอินเวอร์เตอร์ SOFAR รุ่น 5KTLM-G2 ขนาด 5500W จากการตรวจวัดแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้ามีลักษณะดังนี้



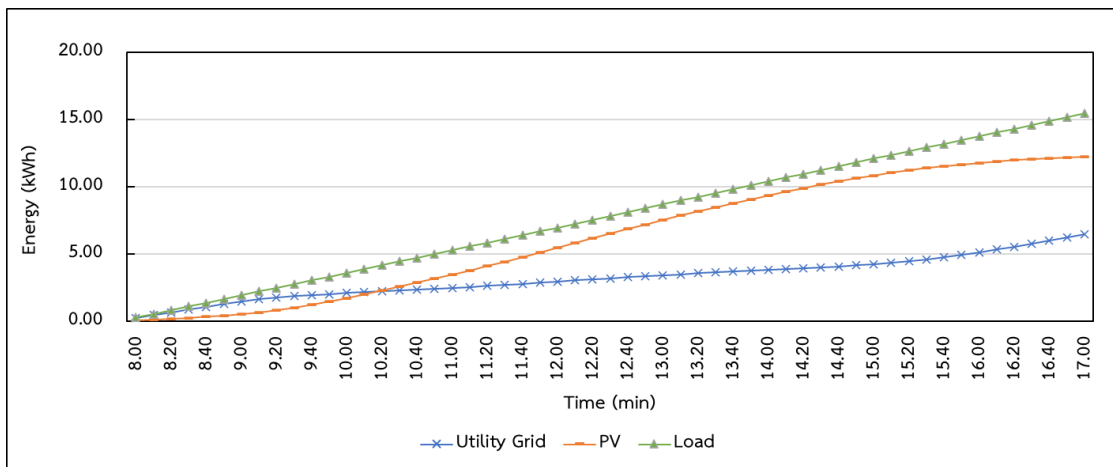
(a) แรงดันไฟฟ้า Laboratory scale



(b) กระแสไฟฟ้า Laboratory scale



(c) กำลังไฟฟ้า Laboratory scale



(d) พลังงานไฟฟ้า Laboratory scale

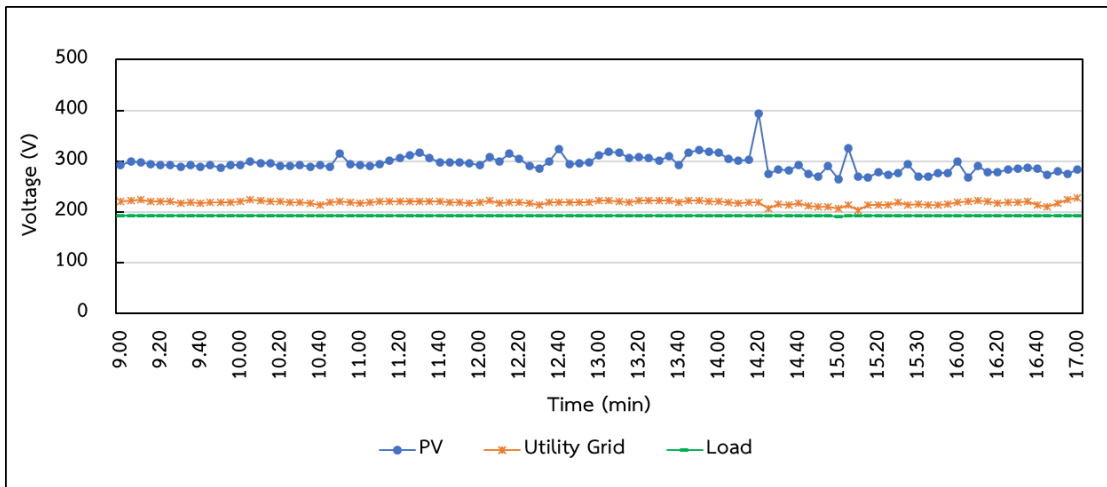
รูปที่ 85 ค่าพารามิเตอร์ Laboratory scale

จากรูปที่ 85 แสดงค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าของบ่อทดสอบ (Laboratory scale lab) จากการใช้แหล่งจ่ายจ่ายไฟฟ้าพื้นฐานร่วมกับไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์จ่ายไฟฟ้า single phase ผ่านอินเวอร์เตอร์ไปยังโหลด (มอเตอร์ 2 hp) พบว่า รูปที่ 85 (a) ช่วงเวลา 8.00-9.20น. ยังเป็นช่วงที่ใช้แรงดันไฟฟ้าจากไฟฟ้าพื้นฐาน (Utility Grid) ประมาณ 230V ขณะนั้นแรงดันไฟฟ้าจากแผง (PV) มีค่าประมาณ 280-290V ซึ่งยังไม่มีการดึงไฟฟ้าจากแผงไปใช้งานเนื่องจากค่าความเข้มแสงไม่เพียงพอต่อการผลิตกระแสไฟฟ้า จากนั้นช่วงเวลา 9.20-15.20 แผงเซลล์แสงอาทิตย์เริ่มผลิตกระแสไฟฟ้าจากค่าความเข้มแสงที่เพิ่มขึ้นทำให้อินเวอร์เตอร์ดึงไฟฟ้าจากแผงไปจ่ายให้กับโหลด ค่าแรงดันไฟฟ้า (PV) ส่วนใหญ่จะลดลงมาอยู่ในช่วง 250-260V ส่วนแรงดันไฟฟ้าพื้นฐาน (Utility grid) มีค่าในช่วง 232-238V มีลักษณะเช่นเดียวกับกับแรงดันไฟฟ้าของโหลด (Load) ที่มีค่าในช่วง 231-239V ซึ่งแรงดันไฟฟ้าทั้งสองชนิดมีค่าแรงดันไฟฟ้าที่ค่อนข้างคงที่ตลอดการใช้งานใน 1 วัน รูปที่ 85 (b) แสดงการใช้กระแสไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าพื้นฐานร่วมกับไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์โดยที่กระแสไฟฟ้าจากไฟฟ้าพื้นฐานจะแปรผกผันกับกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เนื่องจากช่วงเวลาที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ไม่สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้หากค่าความเข้มแสงน้อยจะมีการดึงกระแสไฟฟ้าจากไฟฟ้าพื้นฐานจ่ายให้กับโหลด จากช่วงเวลา 8.00น.-9.20น. มีการใช้กระแสไฟฟ้าจากไฟฟ้าพื้นฐาน (Utility Grid) 5.84A เริ่มลดลงเรื่อย ๆ จนถึง 3.1A ที่เวลา 9.20น. และจะเพิ่มขึ้นอีกครั้งที่เวลา 15.40น. เป็นเวลาที่ค่าความเข้มแสงเริ่มหมดไปจึงมีการดึงกระแสไฟฟ้าพื้นฐานกลับมาใช้อีกครั้ง จากการที่กระแสไฟฟ้าพื้นฐานไม่ลดลงถึง 0 เพราะอินเวอร์เตอร์ดึงไฟฟ้าพื้นฐานมาใช้เป็นไฟเลี้ยงสำหรับตัวมันเอง ขณะเดียวกันกระแสไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ (PV) เริ่ม

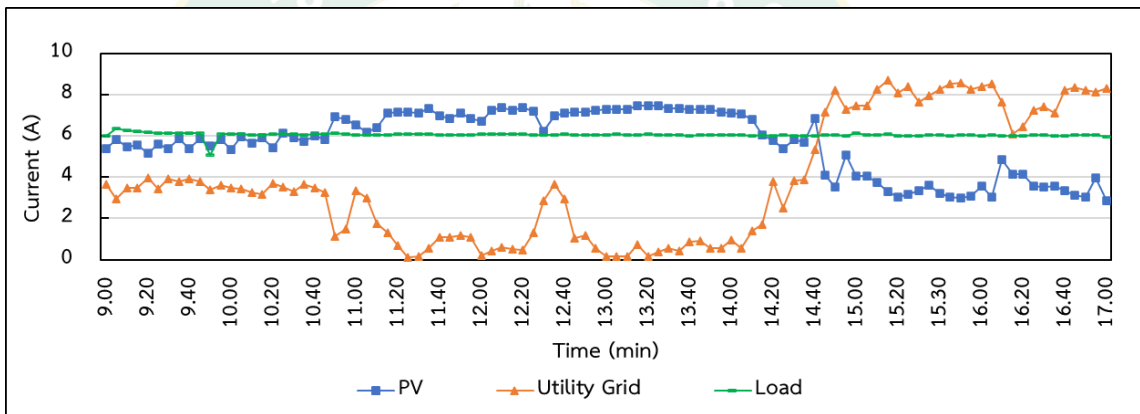
จาก 1.4A เพิ่มขึ้นจนถึง 3.3A ที่เวลา 9.20น. เมื่อค่าความเข้มแสงเพิ่มขึ้นจึงมีการดึงกระแสไฟจาก เซลล์แสงอาทิตย์มาใช้แทนไฟฟ้าพื้นฐานและจะมีกระแสที่ผลิตได้สูงสุดในช่วงเที่ยงของวันที่มีค่าความเข้มแสงมากและลดลงอีกครั้งในช่วงเย็นจนกระทั่งเวลา 15.40น. กระแสไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าเพียง 2.9A ตรงกันข้ามกับไฟฟ้าพื้นฐานที่เริ่มถูกดึงกระแสไฟฟ้าไปจ่ายให้โหลดเพิ่มขึ้น ส่วนกระแสไฟฟ้าของโหลด (Load) มีการใช้กระแสไฟฟ้าที่คงที่ประมาณ 7A ทั้งนี้กระแสไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายร่วมทั้งสองที่ผลิตได้เพียงพอต่อการใช้งานของโหลด รูปที่ 85 (c) แสดงกำลังไฟฟ้าที่มีพฤติกรรมการทำงานคล้ายกับกระแสไฟฟ้า ที่มีการไฟฟ้าพื้นฐานร่วมกับไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ โดยที่กำลังไฟฟ้าจากไฟฟ้าพื้นฐานจะแปรผกผันกับกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เนื่องจากช่วงเวลาที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ไม่สามารถผลิตไฟฟ้าได้หากค่าความเข้มแสงน้อยจะมีการดึงไฟฟ้าจากไฟฟ้าพื้นฐานจ่ายให้กับโหลด จากช่วงเวลา 8.00น.-9.20น. มีกำลังไฟฟ้าจากไฟฟ้าพื้นฐาน (Utility Grid) 1.36kW เริ่มลดลงเรื่อย ๆ จนถึง 0.72kW ที่เวลา 9.20น. และจะเพิ่มขึ้นอีกครั้งที่เวลา 15.40น. เป็นเวลาที่ค่าความเข้มแสงเริ่มหมดไปจึงมีการดึงไฟฟ้าพื้นฐานกลับมาใช้อีกครั้ง ขณะเดียวกันกำลังไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ (PV) เริ่มจาก 0.35kW เพิ่มขึ้นจนถึง 1.28kW ที่เวลา 9.20น. เมื่อค่าความเข้มแสงเพิ่มขึ้นกำลังไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นและผลิตได้สูงสุดในช่วงเที่ยงของวันที่มีค่าความเข้มแสงมากและลดลงอีกครั้งในช่วงเย็นจนกระทั่งเวลา 15.40น. มีการใช้กำลังไฟฟ้าเพียง 0.72kW ตรงกันข้ามกับกำลังไฟฟ้าพื้นฐานที่เริ่มถูกใช้จ่ายให้โหลดเพิ่มขึ้น ส่วนกำลังไฟฟ้าของโหลด (Load) มีกำลังไฟฟ้าคงที่ประมาณ 1.6-1.7kW ทั้งนี้กำลังไฟฟ้าไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายร่วมทั้งสอง (Sum PV + Utility Grid) ที่ผลิตได้เพียงพอต่อการใช้งานของโหลด รูปที่ 85 (d) มีการใช้พลังงานไฟฟ้าที่สะสมเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจากการใช้ระบบเติมอากาศซึ่งพลังงานไฟฟ้าโหลด (Load) มีการใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุด รองลงมาคือพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ (PV) และพลังงานไฟฟ้าจากไฟฟ้าพื้นฐาน (Utility Grid) คือ 15.45 12.22 และ 6.50kWh

4.5.2 การใช้พลังงานแบบรวมในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเชิงพาณิชย์ (Commercial Scale Lab)

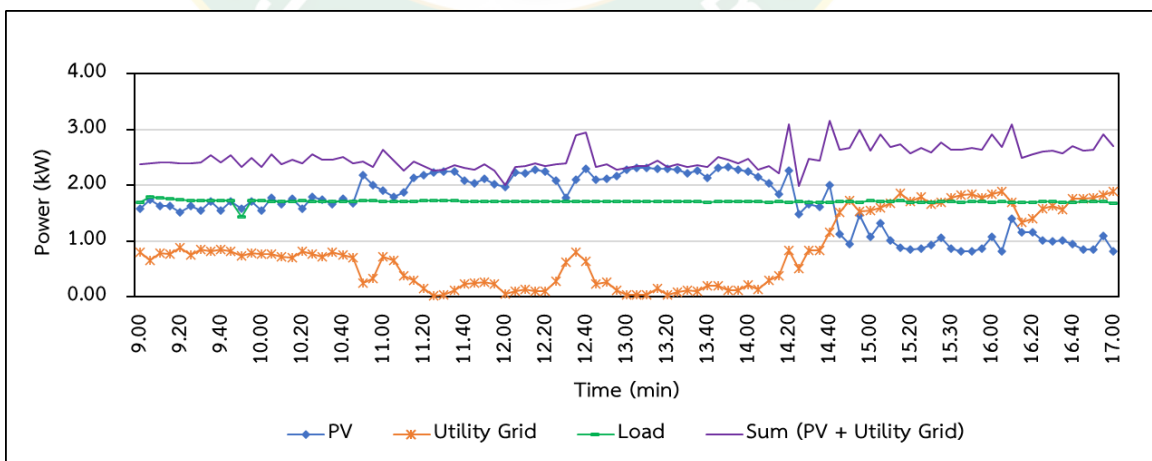
เป็นการตรวจวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำโดยมีแหล่งจ่ายไฟฟ้าร่วมกันคือไฟฟ้าพื้นฐานกับระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีแผงขนาด 325W 9 แผง จ่ายไฟฟ้า 3 phase ไปยังมอเตอร์ขนาด 3 hp ผ่านไฮบริดอินเวอร์เตอร์ Siemen รุ่น SINAMICS V20 ขนาด 2.2kW ซึ่งเกษตรกรมีการใช้ระบบเติมอากาศแบบรวมในช่วงกลางวัน 9.00 – 17.00น. ในขณะที่กลางคืนใช้พลังงานไฟฟ้าพื้นฐานเพียงอย่างเดียว



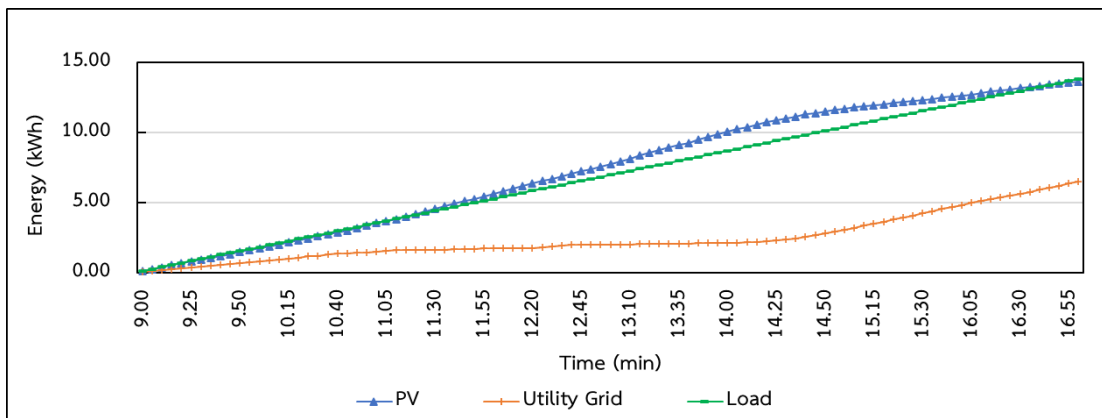
(a) แรงดันไฟฟ้าในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ



(b) กระแสไฟฟ้าในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ



(c) กำลังไฟฟ้าในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ



(d) พลังงานไฟฟ้าในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

รูปที่ 86 ค่าพารามิเตอร์ในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

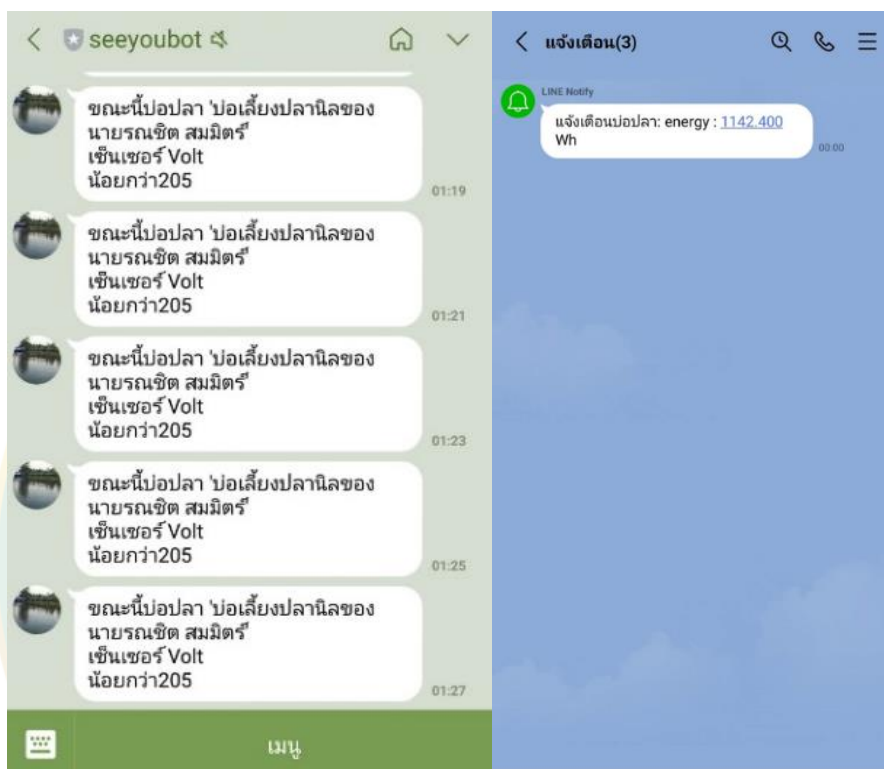
จากรูปที่ 86 แสดงค่าพารามิเตอร์ของบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (Commercial scale lab) จากการใช้แหล่งจ่ายจ่ายไฟฟ้าพื้นฐานร่วมกับไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์จ่ายไฟฟ้า 3 phase ผ่านไฮบริดอินเวอร์เตอร์ไปยังโหลด (มอเตอร์) พบว่า รูปที่ 86 (a) แรงดันไฟฟ้าจากไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ (PV) มีค่าประมาณ 280-300V ในช่วงเวลา 9.00-14.00น. แรงดันไฟฟ้าค่อนข้างคงที่หลังจากนี้การผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไม่ค่อยมีเสถียรภาพจากค่าความเข้มแสงเริ่มหมดไปจนไม่สามารถผลิตไฟฟ้าได้ ขณะเดียวกันแรงดันไฟฟ้าจากไฟฟ้าพื้นฐาน (Utility Grid) ค่อนข้างคงที่ประมาณ 218V เช่นเดียวกับกับแรงดันไฟฟ้าของโหลด (Load) ที่มีค่าคงที่ 192V รูปที่ 86 (b) แสดงการใช้กระแสไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าพื้นฐานร่วมกับไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์โดยที่กระแสไฟฟ้าจากไฟฟ้าพื้นฐานจะแปรผกผันกับกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เนื่องจากช่วงเวลาที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ไม่สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้หากค่าความเข้มแสงน้อยจะมีการดึงกระแสไฟฟ้าจากไฟฟ้าพื้นฐานจ่ายให้กับโหลด จากช่วงเวลา 9.00น.มีการใช้กระแสไฟฟ้าจากไฟฟ้าพื้นฐาน (Utility Grid) 3.64A เริ่มลดลงเรื่อย ๆ จนถึง 1.14A ที่เวลา 10.40น. และจะเพิ่มขึ้นอีกครั้งที่เวลา 14.40น. เป็นเวลาที่ค่าความเข้มแสงเริ่มหมดไปจึงมีการดึงกระแสไฟฟ้าพื้นฐานกลับมาใช้อีกครั้ง ขณะเดียวกันกระแสไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ (PV) เริ่มจาก 5.3A เพิ่มขึ้นจนถึง 6A ที่เวลา 10.40น. เมื่อค่าความเข้มแสงเพิ่มขึ้นจึงมีการดึงกระแสไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้แทนไฟฟ้าพื้นฐานมากขึ้น และจะมีกระแสที่ผลิตได้สูงสุดในช่วงเที่ยงของวันที่มีค่าความเข้มแสงมากและลดลงอีกครั้งในช่วงเวลา 14.40น. กระแสไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าลดลงจนถึง 4A ตรงกันข้ามกับไฟฟ้าพื้นฐานที่เริ่มถูกดึงกระแสไฟฟ้าไปจ่ายให้โหลดเพิ่มขึ้น ส่วนกระแสไฟฟ้าของโหลด (Load) มีการใช้กระแสไฟฟ้าที่คงที่ประมาณ 6A ทั้งนี้กระแสไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายทั้งสองที่ผลิตได้เพียงพอต่อการใช้งานของโหลด รูป

ที่ 86 (c) แสดงกำลังไฟฟ้าที่มีพฤติกรรมการทำงานคล้ายกับกระแสไฟฟ้า ที่มีการไฟฟ้าพื้นฐานร่วมกับไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์โดยที่กำลังไฟฟ้าจากไฟฟ้าพื้นฐานจะแปรผกผันกับกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เนื่องจากช่วงเวลาที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ไม่สามารถผลิตไฟฟ้าได้หากค่าความเข้มแสงน้อยจะมีการดึงไฟฟ้าจากไฟฟ้าพื้นฐานจ่ายให้กับโหลดจากช่วงเวลา 9.00น.-10.40น. มีกำลังไฟฟ้าจากไฟฟ้าพื้นฐาน (Utility Grid) 0.8kW เริ่มลดลงเรื่อย ๆ จนถึง 0.7kW ที่เวลา 11.20น. และจะเพิ่มขึ้นอีกครั้งที่เวลา 14.20น. เป็นเวลาที่ค่าความเข้มแสงเริ่มหมดไปจึงมีการดึงไฟฟ้าพื้นฐานกลับมาใช้อีกครั้งขณะเดียวกันกำลังไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ (PV) เริ่มจาก 1.57kW เพิ่มขึ้นจนถึง 2.18kW ที่เวลา 10.40น. เมื่อค่าความเข้มแสงเพิ่มขึ้นกำลังไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นและผลิตได้สูงสุดในช่วงเที่ยงของวันที่มีค่าความเข้มแสงมากและลดลงอีกครั้งในช่วงเย็นจนกระทั่งเวลา 14.40น. มีการใช้กำลังไฟฟ้าเพียง 1kW ตรงกันข้ามกับกำลังไฟฟ้าพื้นฐานที่เริ่มถูกใช้จ่ายให้โหลดเพิ่มขึ้น ส่วนกำลังไฟฟ้าของโหลด (Load) มีกำลังไฟฟ้าคงที่ประมาณ 1.7kW ทั้งนี้กำลังไฟฟ้าไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายรวมทั้งสอง (Sum PV + Utility Grid) ที่ผลิตได้เพียงพอต่อการใช้งานของโหลดและเพิ่มขึ้นตามการผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ รูปที่ 85 (d) มีการใช้พลังงานไฟฟ้าที่สะสมเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจากการใช้ระบบเติมอากาศซึ่งพลังงานไฟฟ้าโหลด (Load) มีการใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุด รองลงมาคือพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ (PV) และพลังงานไฟฟ้าจากไฟฟ้าพื้นฐาน (Utility Grid) คือ 13.82 13.65 และ 6.53kWh

4.6 ผลการแจ้งเตือนในไลน์

การใช้พลังงานในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำใน 1 (4เดือน) รอบการเพาะเลี้ยงสัตว์ซึ่งมีการใช้ไฟฟ้าสำหรับการเติมอากาศในบ่อเพาะเลี้ยงของเกษตรกรมีการเริ่มใช้ไฟฟ้าจากระยะเลี้ยงปลาที่ 2 – 4 ทั้งหมด 3 เดือนเนื่องจากระยะเวลาการเลี้ยงปลาแรกไม่มีการใช้ระบบเติมอากาศซึ่งมีการแจ้งเตือนดังรูปที่

87



รูปที่ 87 การแจ้งเตือนบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำใน Line

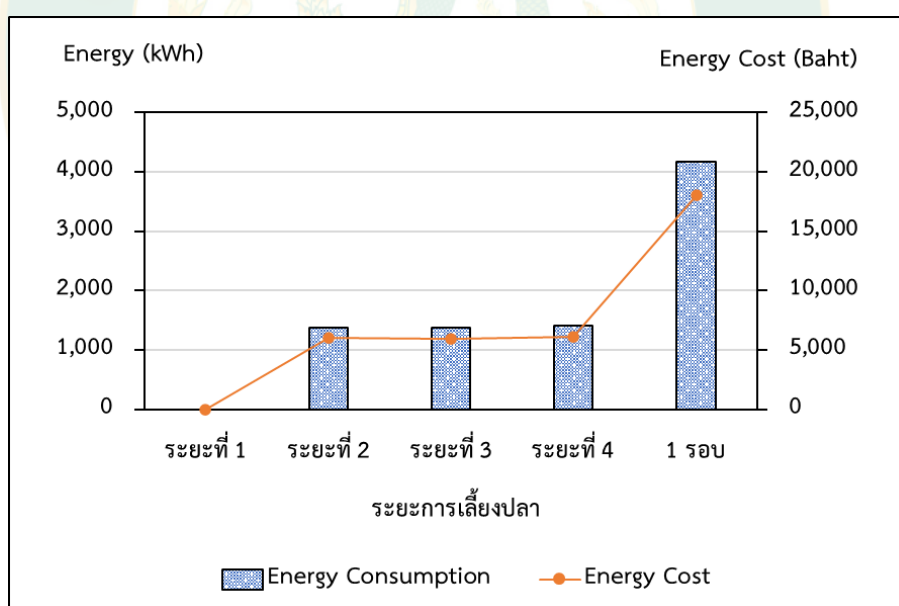
ตารางที่ 12 การแจ้งเตือน Line

รอบการเลี้ยงปลา (4 ระยะ)	การแจ้งเตือน		
	จำนวนวันไฟฟ้าขัดข้อง	ไฟตก (ครั้ง)	ไฟดับ (ครั้ง)
ระยะที่ 1 (พ.ค.)	-	-	-
ระยะที่ 2 (มิ.ย.)	15	40	1
ระยะที่ 3 (ก.ค.)	27	163	0
ระยะที่ 4 (ส.ค.)	2	20	0
รวม	44	223	1

จากตารางที่ 12 จากการแจ้งเตือนในของบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจากการกำหนดเงื่อนไข แรงดันไฟฟ้าคือ 1).แรงดันไฟฟ้ามากกว่า 100V และน้อยกว่า 205V (ไฟตก) และ 2).แรงดันไฟฟ้า น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0V (ไฟดับ) ซึ่งในระยะที่ 1 ไม่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าส่วนในระยะที่ 2 ระยะที่ 3 และระยะที่ 4 ที่มีการใช้ไฟฟ้าพบว่ามีไฟตกจำนวน 40 163 และ 20 ครั้งตามลำดับ และไฟดับ จำนวน 1 ครั้ง ซึ่งดับในการเลี้ยงปลาในระยะที่ 2 17.29- 18.19 น. เมื่อพิจารณาการเลี้ยงปลาในระยะที่ 2 3 และ 4 มีการแจ้งเตือนทั้งหมด 15 27 และ 2 วัน ตามลำดับรวมทั้งหมดมีการแจ้งเตือน 44 วัน/ รอบการเพาะเลี้ยง

4.7 ดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าจำเพาะต่อผลผลิต (SEC)

ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่มีการใช้ไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าพื้นฐานร่วมกับระบบผลิตไฟฟ้า จากเซลล์แสงอาทิตย์ในระยะที่ 1 ไม่มีการใช้เครื่องเติมอากาศ ระยะที่ 2 3 และ 4 ในช่วงเวลา กลางวันเปิดเครื่องเติมอากาศเวลา 9.00-17.00น. ส่วนกลางคืนใช้ไฟฟ้าพื้นฐานตามระยะการเลี้ยง ปลาที่ 2 จะเปิดเครื่องเติมอากาศ 23.00- 17.00น. ระยะที่ 3 และ 4 นั้นใช้เครื่องเติมอากาศเวลา 23.00-9.00 น. ซึ่งมีการใช้พลังงานในการเพาะเลี้ยง 1 รอบดังนี้



รูปที่ 88 การใช้พลังงานไฟฟ้าใน 1 รอบการเพาะเลี้ยง

จากรูปที่ 88 มีการใช้พลังงานไฟฟ้าในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำทั้งหมด 4 ระยะคือระยะที่ 1 2 3 และ 4 ซึ่งมีการใช้พลังงานไฟฟ้าคือ 0 1,382.1 1,374.6 และ 1,407.6kWh (ตามลำดับโดยมีการใช้ พลังงานไฟฟ้าต่อวันดังตารางที่ 13 และมีค่าไฟฟ้าในแต่ละระยะการเลี้ยงคือ 0 5,984.6 5,952.12 และ 6,095.1 บาท ตามลำดับซึ่งในการเลี้ยง 1 รอบใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด 4,164.4 kWh/รอบ มี

ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้คือ 18,031.8 บาท/รอบ (ปริยานุช, 2565) (ค่าไฟฟ้าจากระบบพื้นฐาน 4.33 บาท/kWh)

บ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในงานวิจัยนี้ได้มีการเพาะเลี้ยงปลาเริ่มจากระยะแรกคือจำนวน 9,290 ตัว ในระยะการเพาะเลี้ยงปลา 4 ระยะ ซึ่งระยะที่ 1 ไม่มีการใช้พลังงานไฟฟ้า ระยะที่ 2 3 และ 4 ใช้งานเครื่องเติมอากาศของเกษตรกรแบ่งออกเป็น 2 ช่วงเวลาคือ 9.00-17.00น. และ 23.00- 17.00น. ทั้งหมดเป็นระยะ 18 ชั่วโมง/วัน ได้ผลผลิตคือ 5,450kg/รอบ เดิมทีบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำใช้ไฟฟ้าพื้นฐานเป็นแหล่งพลังงาน มีดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะ คือ 0.76 kWh/kg เมื่อนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้ร่วมกับไฟฟ้าพื้นฐานเป็นแหล่งจ่ายไฟ มีดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าพื้นฐานจำเพาะคือ 0.53 kWh/kg (ใช้ไฟฟ้าพื้นฐานกลางวัน+กลางคืน) และมีดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์จำเพาะคือ 0.23 kWh/kg ซึ่งในช่วงเวลากลางวัน (ช่วงเวลาคือ 9.00-17.00น.) มีดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าพื้นฐานจำเพาะเพียง 0.11 kWh/kg เท่านั้น ซึ่งแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถช่วยผลิตไฟฟ้าในช่วงเวลาดังกล่าวได้ประมาณ 70% และมีการใช้พลังงานไฟฟ้าพื้นฐานเพียง 30% เท่านั้น

ตารางที่ 13 ปริมาณการใช้ไฟฟ้าในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

ระยะเวลาการเลี้ยงปลา	ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าใน (kWh)			รวมทั้งหมด
	กลางวัน		กลางคืน	
	PV	Grid	Grid only	
ระยะที่ 1	-	-	-	-
ระยะที่ 2	13.65/day (409.59/month)	6.53/day (195.83/month)	25.89/day (776.7/month)	46.07/day (1382.12/month)
ระยะที่ 3	14.19/day (425.61/month)	6.53/day (196.01/month)	25.10/day (753/month)	45.82/day (1374.62/month)
ระยะที่ 4	14.84/day (445.31/month)	6.53/day (195.83/month)	25.55/day (766.5/month)	46.93/day (1407.64/month)

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

การพัฒนาระบบประเมินการใช้พลังงานจำเพาะในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบออนไลน์โดยใช้เทคโนโลยี NB-IoT สามารถสรุปผลการวิจัยตามหัวข้อที่ได้ศึกษาดังนี้

1) ความแม่นยำและเที่ยงตรงของเครื่องมือวัดกับอุปกรณ์อ้างอิงมาตรฐาน (มัลติมิเตอร์ UNI-T UT204+) ก่อนนำมาใช้งาน พบว่าค่าความแม่นยำของPZEM016 มีเปอร์เซ็นต์ค่าความแม่นยำเฉลี่ยคือ 96.03% เมื่อสอบเทียบกับมัลติมิเตอร์มีเปอร์เซ็นต์ค่าแม่นยำเฉลี่ยคือ 91.86% และ PZEM017 มีเปอร์เซ็นต์ค่าความแม่นยำเฉลี่ยคือ 96.17% เมื่อสอบเทียบกับมัลติมิเตอร์มีเปอร์เซ็นต์ค่าความแม่นยำ 96.03% ส่วนความเที่ยงตรง PZEM016 มีเปอร์เซ็นต์ค่าความเที่ยงตรงเฉลี่ยคือ 99.67% และ PZEM017 มีเปอร์เซ็นต์ค่าความเที่ยงตรงเฉลี่ยคือ 98.98% อุปกรณ์ตรวจวัด PZEM016 และ PZEM017 มีเปอร์เซ็นต์ค่าความคลาดเคลื่อนน้อยทั้งในความแม่นยำและเที่ยงตรงอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ไม่เกิน 10%

2) การทดสอบการส่งข้อมูลของ NB พบว่าระยะเวลาในการส่งข้อมูลมีความคลาดเคลื่อนเล็กน้อย เช่น ต้องการส่งข้อมูลทั้งหมดเป็นจำนวน 1440 ครั้ง แต่จำนวนที่มีการส่งข้อมูลจริงคือ 1429 ครั้ง มีความคลาดเคลื่อน 11 ครั้งคิดเป็น 0.76% ในขณะเดียวกันการแจ้งเตือนไปยัง Line ถูกต้องและแม่นยำ 100%

3) รายงานผลและแจ้งเตือนด้วยแอปพลิเคชัน Line ร่วมกับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ซึ่งมีระยะเวลาการเพาะเลี้ยง 4 ระยะ โดยที่ระยะที่ 1 ไม่มีการใช้ระบบเติมอากาศส่วนในระยะการเลี้ยงที่ 2 3 และ 4 นั้นเกษตรกรมีการใช้เครื่องเติมอากาศในช่วงกลางวัน 9.00 – 17.00น. และกลางคืนใช้ไฟฟ้าพื้นฐานในช่วงเวลา 23.00-9.00น. ซึ่งในตลอดระยะเวลาการเพาะเลี้ยง 1 รอบ (4 ระยะการเพาะเลี้ยง) พบว่ามีเหตุการณ์ไฟตก (แรงดันไฟฟ้าน้อยกว่า 205V) และไฟดับ ในระยะการเลี้ยงที่ 2 3 และ 4 มีไฟตกจำนวน 40 163 และ 20 ครั้งตามลำดับ และไฟดับจำนวน 1 ครั้ง ซึ่งดับในการเลี้ยงปลาในระยะที่ 2 17.29- 18.19 น. เมื่อพิจารณาการเลี้ยงปลาในระยะที่ 2 3 และ 4 มีการแจ้งเตือนทั้งหมด 15 27 และ 2 วัน ตามลำดับรวมทั้งหมดมีการแจ้งเตือน 44 วัน/รอบการเพาะเลี้ยง

4) การใช้พลังงานไฟฟ้าในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในระยะที่ 2 3 และ 4 มีการใช้พลังงานไฟฟ้าคือ 1,382.1 1,374.6 และ 1,407.6kWh ตามลำดับและมีค่าใช้จ่ายทางไฟฟ้าคือ 5,984.6 5,952.12 และ 6,095.1 บาท ตามลำดับ และในการเลี้ยง 1 รอบใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด 4,164.4 kWh/รอบ มีค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้คือ 18,031.8 บาท/รอบ เกษตรกรซึ่งได้ผลผลิตคือ 5,450kg/รอบ ดังนั้นการใช้พลังงานจำเพาะในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำคือ 0.76kWh/kg หรือกล่าวได้ว่าการใช้ปริมาณไฟฟ้า 0.76

kWh ต่อการเลี้ยงปลา 1 kg จากการนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้ร่วมกับไฟฟ้าพื้นฐานเป็นแหล่งจ่ายไฟ มีดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าพื้นฐานจำเพาะคือ 0.53 kWh/kg (ใช้ไฟฟ้าพื้นฐานกลางวัน+ กลางคืน) และมีดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์จำเพาะคือ 0.23 kWh/kg ซึ่งในช่วงเวลากลางวัน (ช่วงเวลาคือ 9.00-17.00น.) มีดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าพื้นฐานจำเพาะเพียง 0.11 kWh/kg เท่านั้น ซึ่งแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถช่วยผลิตไฟฟ้าในช่วงเวลาดังกล่าวได้ประมาณ 70% และมีการใช้พลังงานไฟฟ้าพื้นฐานเพียง 30% เท่านั้น





ภาคผนวก

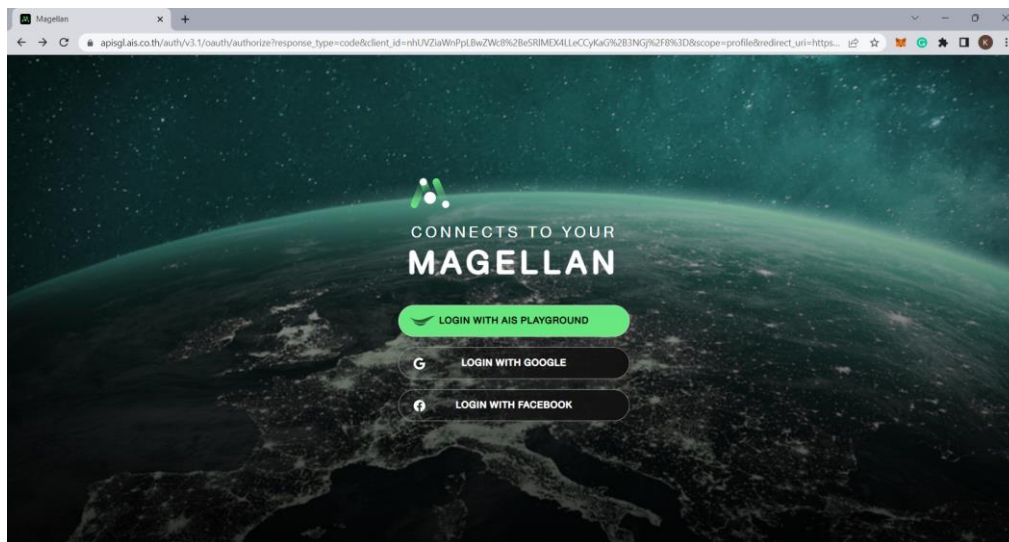
ภาคผนวก ก

การสร้าง platform เพื่อรองรับการรายงานผลข้อมูล

ขั้นตอนการพัฒนา NB สำหรับใช้ในการการรายงานผลค่าพารามิเตอร์มีดังต่อไปนี้

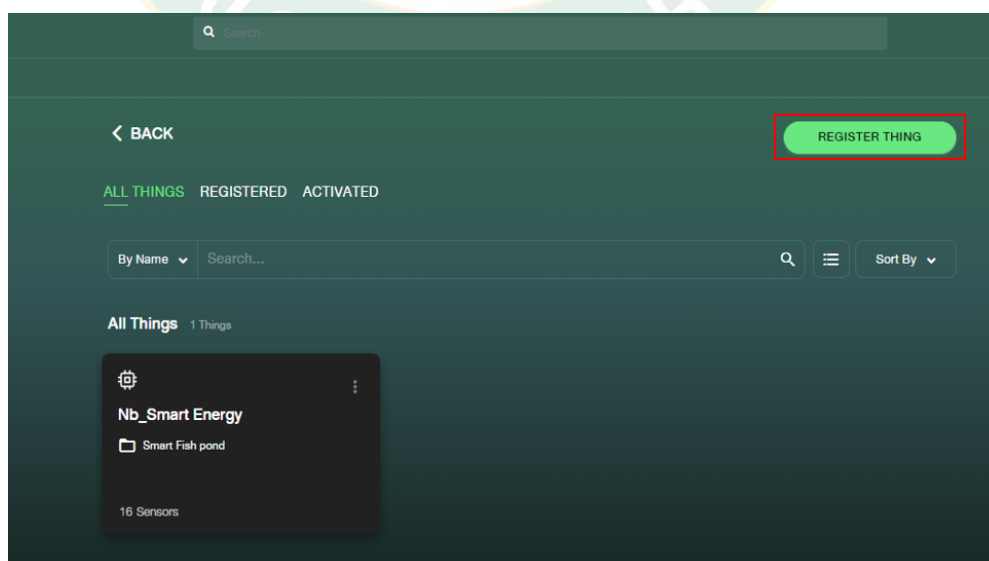
1. การลงทะเบียนเข้าใช้งาน Magellan Platform

เริ่มจาก login ที่ <https://magellan.ais.co.th/> ด้วย Account ที่ต้องการใช้งาน (รูปก.1)



รูป ก.1 หน้า login website

จากนั้นคลิกไปที่ MY THINGS และกด REGISTER THING เพื่อลงทะเบียนอุปกรณ์เพื่อใช้งาน New Magellan ครั้งแรก (รูปก.2)



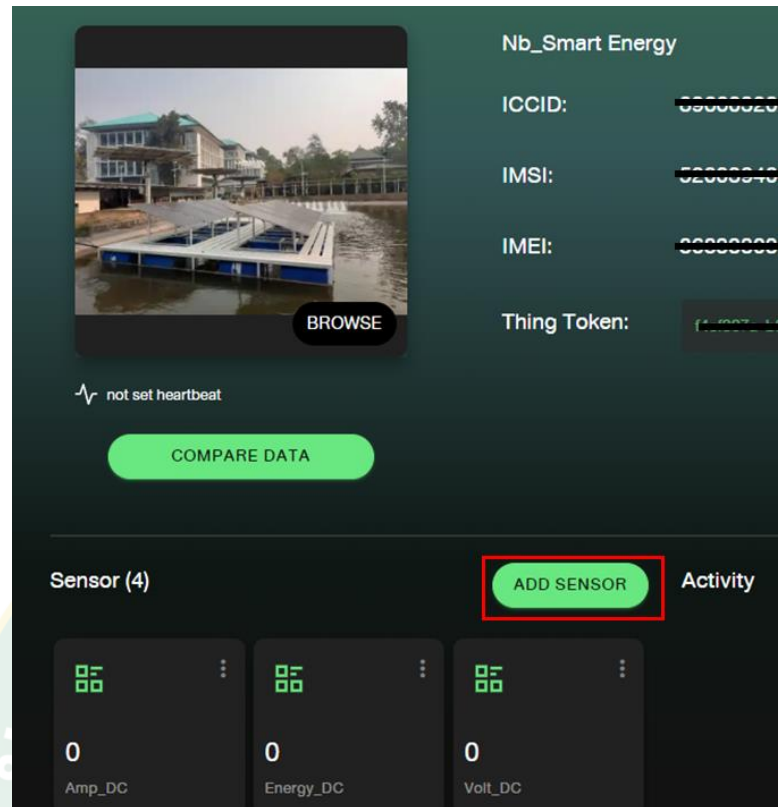
รูป ก.2 ขั้นตอนการลงทะเบียนอุปกรณ์

ในส่วนของการลงทะเบียนอุปกรณ์ (รูปก.3) หมายเลข 1 คือส่วนที่ต้องกรอกข้อมูล Serial number ของอุปกรณ์ ลงในช่อง ICCID ข้อมูล IMEI และ IMSI ของอุปกรณ์โดยสามารถสามารถดูได้บนกล่องอุปกรณ์ หมายเลข 2 คือ การกำหนดชื่ออุปกรณ์และคำอธิบายอื่นของอุปกรณ์ตามต้องการ ส่วนในหมายเลข 3 สามารถอัปโหลดภาพหรือโปรเจกต์ที่ทำหรือสแกนคิวอาร์โค้ดเพื่อเพิ่มอุปกรณ์ (Things)

รูป ก.3 กำหนดค่าต่างๆ ของอุปกรณ์

2. การเพิ่มเซ็นเซอร์ใช้งาน

ผู้ใช้งานสามารถเพิ่มเซ็นเซอร์ที่ต้องการตรวจวัดได้นอกเหนือจากเซ็นเซอร์วัดความชื้น อุณหภูมิ แสงที่ติดมากับบอร์ด NB โดยคลิกที่ ADD SENSOR ในรูปก.4 (a) จากนั้นค่าต่างๆของเซ็นเซอร์ในรูปก.4 (b) โดยหมายเลข 1 คือการกำหนดชื่อ หมายเลข 2 คือค่าเริ่มต้นของเซ็นเซอร์ หมายเลข 3 คือชนิดของเซ็นเซอร์ หมายเลข 4 คือชนิดของข้อมูลอินพุต



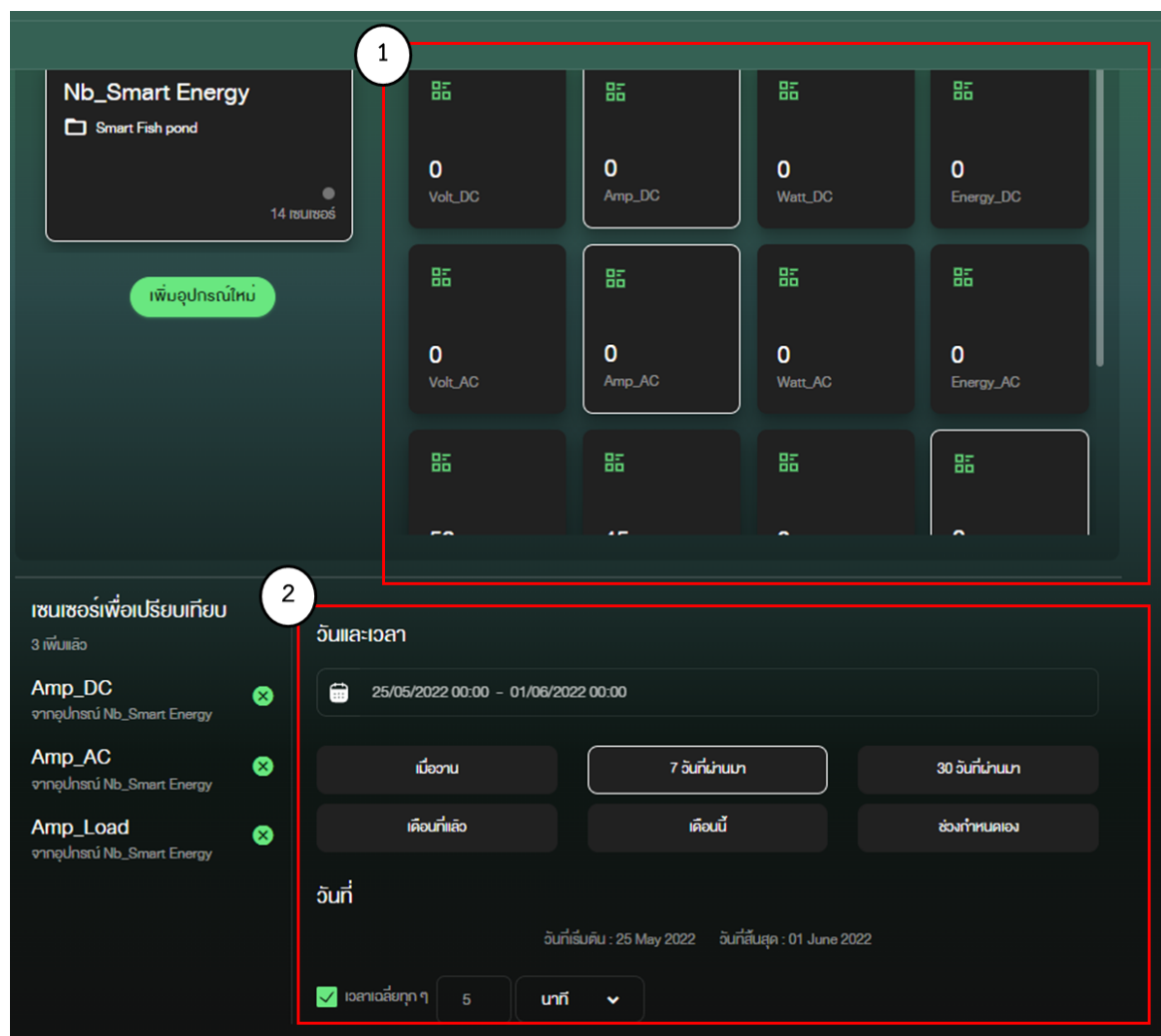
(a)

(b)

รูป ก.4 การเพิ่มเซ็นเซอร์

3. การโหลดข้อมูลจากแพลตฟอร์ม Magellan

เมื่อผู้ใช้งานสามารถเก็บข้อมูลจากการรายงานผลหรือแสดงผลได้จากการดาวน์โหลดข้อมูลจากเว็บเซิร์ฟเวอร์จากรูปก.5 โดยเลือกค่าพารามิเตอร์ที่ต้องการเก็บข้อมูลจากหมายเลข 1 และวันเวลาที่ต้องการข้อมูลจากหมายเลข 2

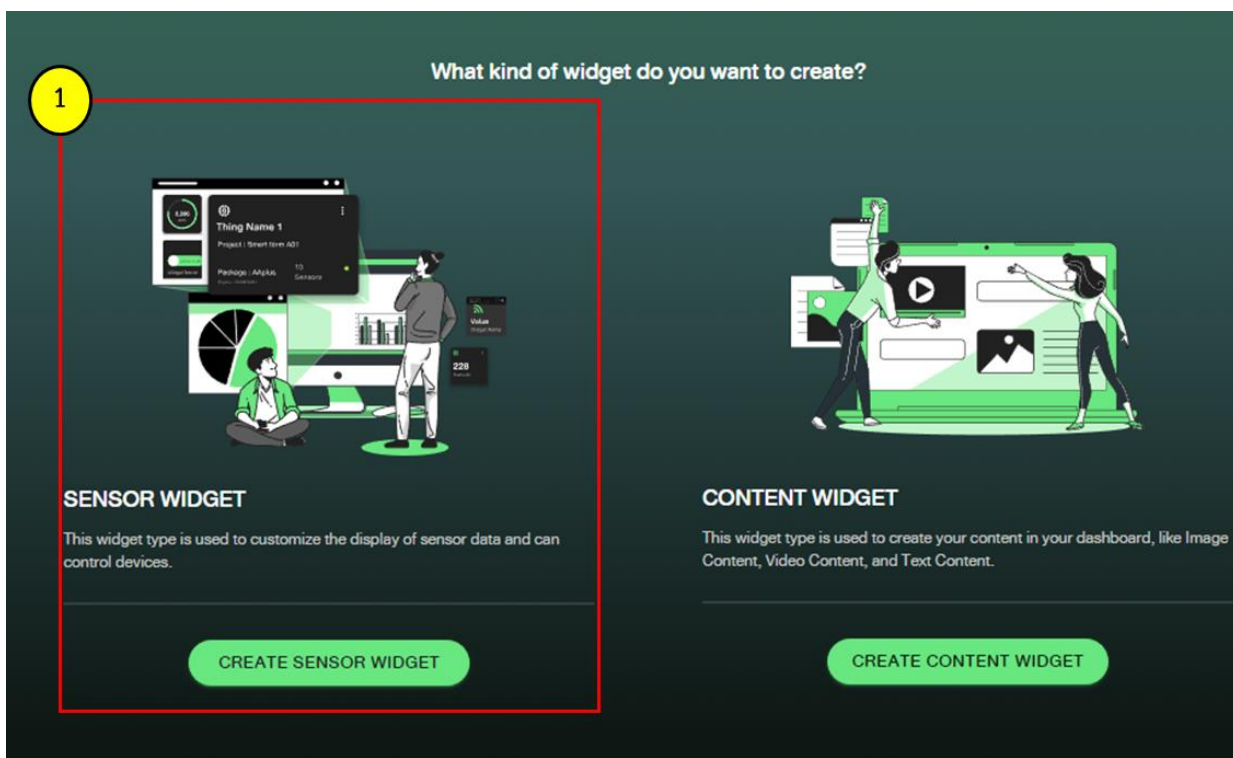


รูป ก.5 การดาวน์โหลดข้อมูลจากแพลตฟอร์ม Magellan

4. การสร้าง Dashboard

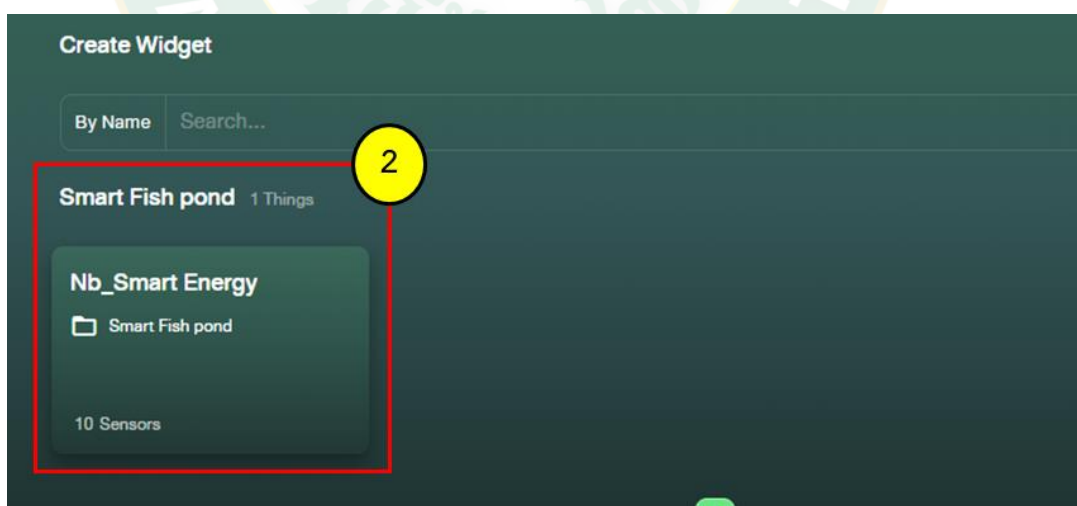
การแสดงผลของค่าพารามิเตอร์ในแพลตฟอร์มของ Magellan สามารถทำได้ 2 แบบ คือการแสดงผลหรือรายอย่างผลอย่างเดียว และการคอนโทรลอุปกรณ์ควบคุม โดยการสร้าง dashboard สำหรับแสดงผลบนแพลตฟอร์ม Magellan เริ่มจากล็อกอินเข้าระบบที่เว็บไซต์ <https://magellan.ais.co.th/> โดยงานวิจัยนี้ใช้ dashboard สำหรับแสดงผลหรือรายงานผลเท่านั้น

- เริ่มจากหมายเลข 1 การเลือกลักษณะของ dashboard เป็นรูปแบบการรายงานผล (รูปก.6)



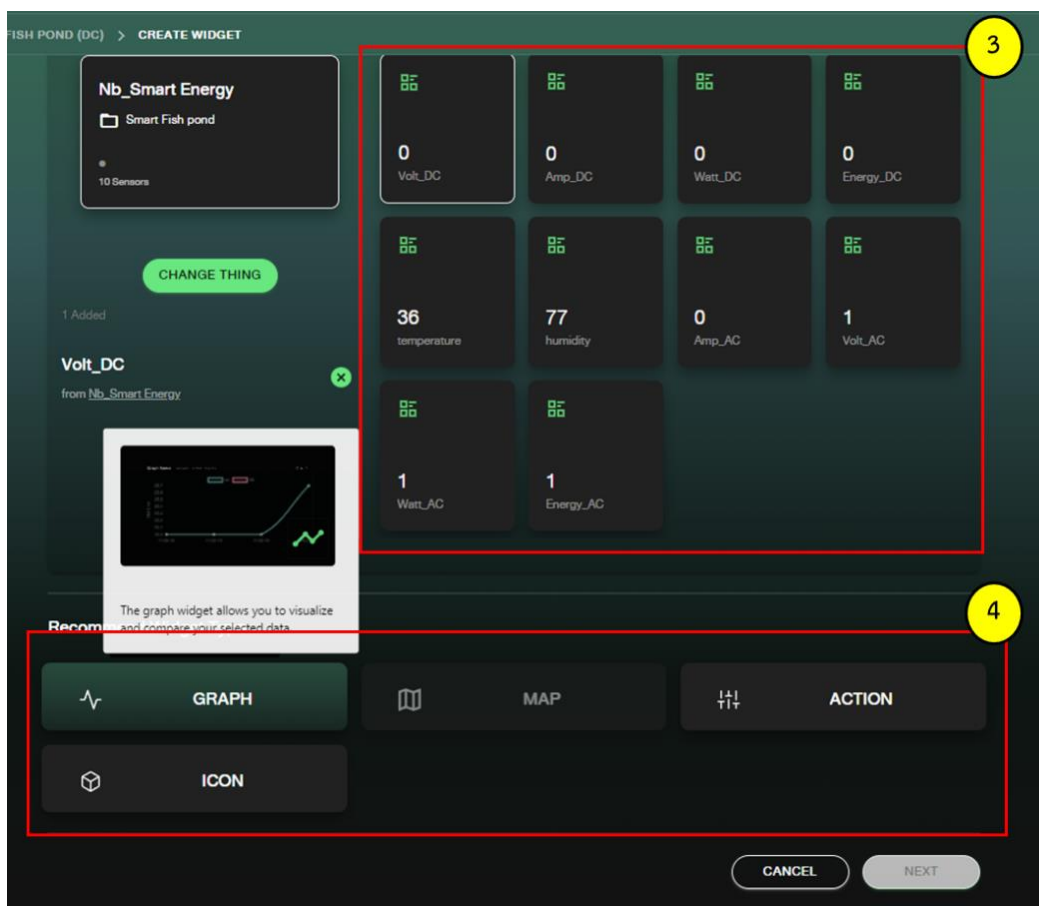
รูป ก.6 การเลือกลักษณะแดชบอร์ด

- จากนั้นหมายเลข 2 เลือกบอร์ด NB ที่ต้องการใช้ (รูปก.7)



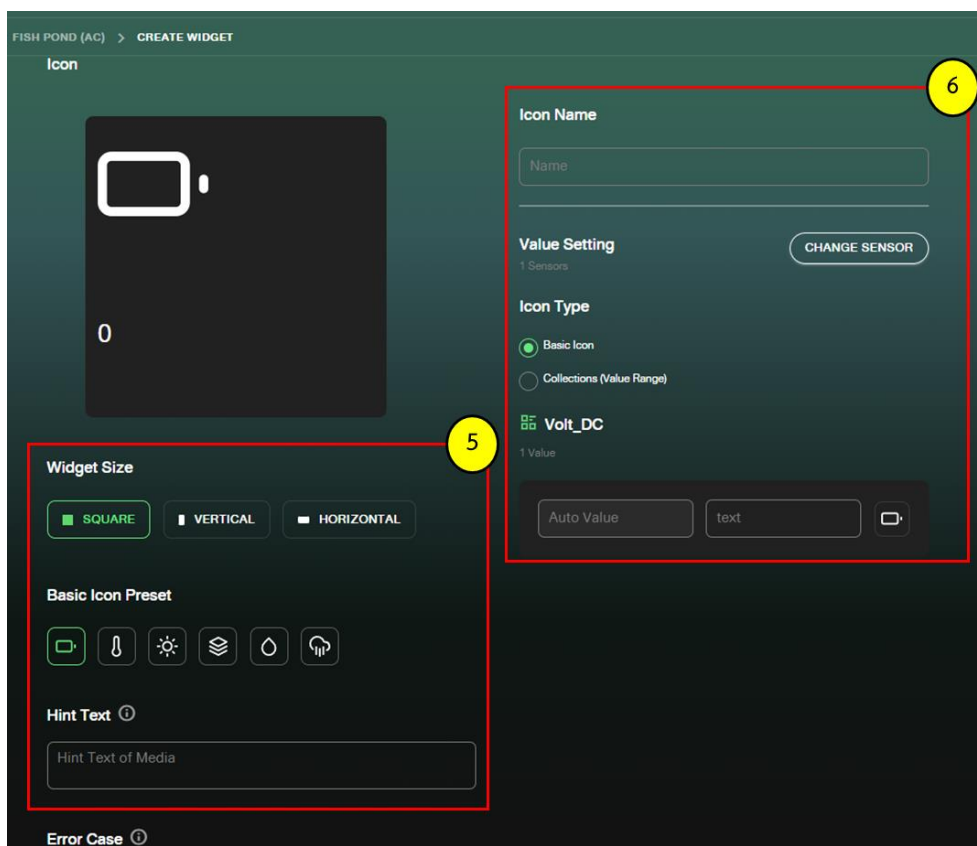
รูป ก.7 การเลือก things แสดงผลบน dashboard

- เมื่อคลิกเข้ามาแล้วเลือกค่าพารามิเตอร์ที่ต้องการแสดงผลในหมายเลข 3 และรูปแบบที่ให้แสดงผล (กราฟ แผนที่ ตัวเลขหรือสัญลักษณ์) ในหมายเลข 4 (รูปก.8)



รูป ก.8 การเลือกเซ็นเซอร์แสดงบน dashboard

- จากนั้นเลือกการแสดงผลเป็นแบบ ICON มีการกำหนดแสดงสัญลักษณ์ และขนาดในหมายเลข 5 และกำหนดชื่อ ชนิดของ ICON โดยสามารถกำหนดให้แสดงผลเป็นช่วงได้ รวมไปถึงค่าที่ให้แสดงเริ่มต้น ในหมายเลข 6 (รูปก.9)



รูป ก.9 การสร้าง dashboard ในรูปแบบแสดงค่า

- นอกจากนี้ยังสามารถเลือกการแสดงผลแบบกราฟ (รูปก.10) ซึ่งสามารถเลือกรูปแบบกราฟได้ (กราฟแท่ง แผนภูมิวงกลม หรือกราฟพื้นที่) ในหมายเลข 7 และสามารถกำหนดชื่อกราฟ แกน X แกน Y และจำนวนจุดค่าที่แสดงข้อมูล หรือหน่วยในกราฟได้จาก หมายเลข 8

FISH POND (DC) > CREATE WIDGET

7

8

Widget Size

HORIZONTAL

Graph Type

Error Case ⓘ

will be appeared when data out of condition

Error

Graph Name

Graph Setting ADD SENSOR

1 Sensors

axis X

axis Y

Max Point in Graph

Volt_DC

รูป ก.10 การสร้าง dashboard ในรูปแบบกราฟ

ภาคผนวก ข

ตัวอย่างการคำนวณการสอบเทียบอุปกรณ์ตรวจวัด

การคำนวณค่าความแม่นยำ (Accuracy)

ตัวอย่าง

จากการจ่ายแรงดันไฟฟ้าของ variac ที่ 100V อุปกรณ์ตรวจวัด PZEM อ่านค่าได้ 103.8 จากการแทนค่าในสมการที่ 1

จะได้

$$\% \text{ Acc} = \left(1 - \left| \frac{X_{\text{mean}} - X_t}{X_t} \right| \right) \times 100$$

สมการที่ 1

$$\% \text{ Acc} = 1 - \left| \frac{103.8 - 100}{100} \right| \times 100$$

$$\% \text{ Acc} = 3.8\%$$

ดังนั้น PZEM016 มีค่าความแม่นยำ 96.2%

การคำนวณค่าความเที่ยงตรง (Precision)

ตัวอย่าง การคำนวณค่าความเที่ยงตรง

จำนวนครั้ง	อุปกรณ์ตรวจวัด PZEM016	อุปกรณ์ตรวจวัดมัลติมิเตอร์
ครั้งที่ 1	103.80	103.90
ครั้งที่ 2	104.50	103.90
ครั้งที่ 3	104.30	104.00
ครั้งที่ 4	103.90	104.00
ครั้งที่ 5	104.30	104.30
ค่าเฉลี่ย	104.16	104.02

จากสมการที่ 2

$$\% \text{ Pre} = \left(1 - \left| \frac{X_i - \bar{X}_i}{\bar{X}_i} \right| \right) \times 100$$

สมการที่ 2

$$\% \text{ Pre PZEM016 (ครั้งที่ 1)} = 1 - \left| \frac{103.8 - 104.16}{104.16} \right| \times 100$$

ดังนั้น PZEM016 มีค่าความเที่ยงตรงครั้งที่ 1 คือ 99.65%

ส่วนค่าเปอร์เซ็นต์ความเที่ยงตรงคลาดเคลื่อนของอุปกรณ์ตรวจวัดมัลติมิเตอร์สามารถแทนค่าจากสมการที่ 2 ได้ดังนี้

$$\% \text{ Pre Multimeter (ครั้งที่ 1)} = 1 - \left| \frac{103.9 - 104.02}{104.02} \right| \times 100$$

ดังนั้นมัลติมิเตอร์มีค่าความเที่ยงตรงครั้งที่ 1 คือ 99.72%

การคำนวณกำลังไฟฟ้า

จากแรงดันไฟฟ้า 232.90V และกระแสไฟฟ้า 7.16A สามารถคำนวณกำลังไฟฟ้าของโหลดได้ดังนี้

$$P_{\text{load}} = I_{\text{load}} \times V_{\text{load}}$$

สมการที่ 3

$$P_{\text{load}} = 232.90 \times 7.16$$

$$P_{\text{load}} = 1,667.56 \text{ W}$$

ดังนั้นมีกำลังไฟฟ้า 1.667kW

การคำนวณกำลังไฟฟ้า สำหรับ 3 phase

จากแรงดันไฟฟ้า 192V และกระแสไฟฟ้า 6.02A สามารถคำนวณกำลังไฟฟ้าของโหลดได้ดังนี้

$$P_{\text{load}} = I_{\text{load}} \times V_{\text{load}} \times \sqrt{3} \times \text{PF}$$

สมการที่ 4

$$P_{\text{load}} = I_{\text{load}} \times V_{\text{load}} \times \sqrt{3} \times \text{PF}$$

$$P_{\text{load}} = 6.02 \times 192 \times \sqrt{3} \times 0.85$$

$$P_{\text{load}} = 1,701.68 \text{ W}$$

ดังนั้นมีกำลังไฟฟ้า 1.70 kW

การคำนวณพลังงานไฟฟ้า

เวลา	แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	กำลังไฟฟ้า (kW)
9.00	192	6.02	1.70
9.05	192	6.35	1.79

พลังงานไฟฟ้า = กำลังไฟฟ้า (kW) × ระยะเวลาในการใช้งาน (hr)

สมการที่ 5

$$\text{พลังงานไฟฟ้า} = (1.7 \times 5) / 60$$

ดังนั้นมีการใช้พลังงานไฟฟ้า 0.14 kWh

การคำนวณค่าดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าจำเพาะ

ตัวอย่าง

การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ 1 รอบใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด 4,164.4 kWh/รอบ มีผลผลิตที่ได้คือ 5,450kg/รอบ

$$\text{ดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะ} = \frac{\text{พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมดในหนึ่งรอบการเลี้ยง (kWh)}}{\text{น้ำหนักปลาทั้งหมดที่ผลิตได้ (kg)}}$$

สมการที่ 6

$$\text{ดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะ} = \frac{4,164.4 \text{ kWh}}{5,450 \text{ kg}}$$

ดังนั้นดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะ = 0.76 kWh/kg

ภาคผนวก ค
ผลงานทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์

การเผยแพร่งานวิจัยในการประชุมวิชาการระดับนานาชาติ

ชื่อบทความ: Development of a tribrid power supply system for paddlewheel
aeration of an aquaculture pond

ผู้แต่ง: Kewwalin Yatin and Chawaroj Jaisin

การประชุมวิชาการ: The 3rd International Conference on Energy and Power (ICEP2021)

วันที่ยื่นผลงาน: 18-20 November 2021





5th June 2022

To whom it may concern,

I am writing to acknowledge that **Ms Kewwalin Yatin** joined the 3rd International Conference on Energy and Power (ICEP 2021) on Thursday 18th November 2021 and presented (Submission ID #101) “Development of a Tribrid Power Supply System for Paddlewheel Aeration of an Aquaculture Pond”.

The full conference proceeding will be published by the American Institute of Physics (AIP): <https://aip.scitation.org>. Please note that the proceeding is currently in the production phase. It may take a few months to become available online.

A list of accepted papers is available on the official conference website: <https://www.asep.org.au/icep-conference/3rd-icep-2021>. The ICEP 2021 conference was organized online using the Zoom meeting software. The recordings can be viewed on YouTube.

With kind regards

A handwritten signature in blue ink that reads 'N. Tippayawong'.

Prof Nakorn Tippayawong
Conference Chair
n.tippayawong@yahoo.com

Development of a tribrid power supply system for paddlewheel aeration of an aquaculture pond

Cite as: AIP Conference Proceedings 2681, 020067 (2022); <https://doi.org/10.1063/5.0115505>
Published Online: 17 November 2022

Kewwalin Yatin and Chawaroj Jaisin



View Online



Export Citation



Trailblazers. ^{New}

Meet the Lock-in Amplifiers that measure microwaves.

Zurich Instruments [Find out more](#)

Development of a Tribrid Power Supply System for Paddlewheel Aeration of an Aquaculture Pond

Kewwalin Yatin^{a)} and Chawaroj Jaisin^{b)}

School of Renewable Energy, Maejo University, Chiang Mai, Thailand

^{a)} uascum@gmail.com

^{b)} Corresponding author: chawaroj@mju.ac.th

Abstract. Agriculturists always use aerators for maintaining the oxygen level in fishponds because dissolved oxygen (DO) is an important factor in the cultivation of Nile Tilapia fish. Traditional cultivation utilizes a utility grid to supply a turbine motor to manage the DO level in the pond. Most of the electrical power consumption of an aerator affects electricity cost. Hence, the main objective of the research was to design a tribrid power system and manage the electrical energy in a fishpond. Solar power systems (10 panels, 445 W), electrical utilities, and battery modules (2 pieces, 200 Ah 12 V) have already been implemented in fishponds as the three electrical energy sources for aerators. The new operational plan is an improvement in the usage time of an aerator to reduce the energy consumption of the utility grid. The experimental results of this system show that the aeration system can use the tribrid power system effectively. The results of testing the system are divided into three sections. On a sunny day, the solar power system for the on-grid side can support more than 77.76% of the power usage for the aeration system and the efficiency on-grid system is 89.94 %, while the battery module side can store energy at up to 3,541.3 Wh. The reserve energy can supply the aerator for 2 hours in a crisis event and the efficiency of the system is 89.17%. Finally, this system has an investment budget of 147,000 Thai baht and a payback period of 23 times the production cycles.

INTRODUCTION

Maintaining the dissolved oxygen (DO) levels in aquaculture is an important factor [1] since it clearly affects the Nile Tilapia fish in a pond. This requires the use of electrical energy. Energy management plays an important role because it solves problems concerning electricity costs [2].

Nowadays, most farmers prefer to use a utility grid to maintain the dissolved oxygen (DO), which presents certain issues such as the lack of an electrical energy backup to supply the electricity in the event of an aquaculture emergency or a utility grid failure. Some researchers presented the possibility of using energy management, including the planning and operation of energy production and energy distribution as well as energy storage to save energy [3]. The details are described as follows. The researchers studied about the reduction of energy consumption and power generation with solar energy technology and applied it to reduce electrical energy for agriculture.

Prasetyaningsari Igib and Ahmad Agus [4] presented information about renewable energy technology, practice guidelines maintenance, safety and improving the aeration system for aquaculture communities. A 1000W solar power system applied to an aerator system can save 60kWh/month and reduce greenhouse gas emissions by about 720 kg/year.

Mohamed A. Eltawil and Atef M. ElSbaay [5] used a solar power system with pumping for aeration in a fishpond and estimated economically with a stand-alone photovoltaic system. The condition is under the water surface, at the surface, above the surface. The results revealed 0.844 kWh/d energy output, 9.87% PV efficiency on daily averages at 65 L/min, and 42.7 °C temperature of a PV.

Kusakana Kanzumba presented an electricity cost reduction model for activity in small agriculture of a borehole for water supply with a hybrid system by a pumped storage system. Optimization can solve using linear programming to investigate the effects and benefits of the proposed model on the electricity cost reduction in the farming sector [6].

Sharma Paritosh, et.al. presented the parameters of the floating platform and the effects of panel shade on the ecosystem. It was found that (a) the panels are heated because the air source is very humid. Thus, the problem of heat loss that occurs during operation is automatically solved (b) evaporation is reduced by 70%, and (c) the amount of steel structure in the factory is reduced, and therefore being more environmentally friendly [7].

D. Mittal, et al. studied some floating solar plants for sustainable energy production by the 1 MW floating plant at Kota barrage could produce 1,838,519 kWh energy per year and save 37 million liters of water [8].

Previous research papers have shown that solar power generation is only produced during the daytime, while nighttime requires storage in batteries. Furthermore, some research uses floating solar power plants, which is a new innovation of electricity generation using PV modules on the water surface to reduce the problem of the insufficient area. Hence, it should develop an electrical management system with the floating solar power generation technology in the fishpond.

The tribrid system relies on three power sources (utility grid, solar power system and battery). The operation of the tribrid system uses a sharing system of energy sources for an aerator. Tribrid system is an appropriate design for farmers and satisfies the need to use the electrical system in aquaculture at an economical and reasonable price. This system helps to reduce energy consumption as well as production cost. Which, a solar aeration system is important to control dissolved oxygen to appropriate levels for the aquatic animals in aquaculture ponds. Most solar power generation technology is used, but it works only during the daytime when there is sunlight while using a battery as a power reserve remains limited.

From previous information, it was found that power sources must be sufficient and have good reliability to protect in the case of an emergency to prevent a lack of dissolved oxygen for aquatic animals [9]. This problem leads to revenue loss for farmers. Hence, the researchers designed and developed a tribrid power generation system for aerators to solve this problem with power generation sources as follows: 1) A power generation system from solar panels, 2) a grid electrical system, and 3) an energy storage system from batteries. Besides, the management of the power supply is scheduled by following the appropriate situation for maintaining the dissolved oxygen and working time of the aerator as well as the assessment of benefits from investment in aquaculture ponds.

MATERIALS AND METHODS

Design and Management

System Design

The tribrid load sharing system is shown in Fig.1. This system consists of three power sources to drive the 2 hp motor (1500W approximately) and store electrical power for at least 2 hours. The first source is a solar power system where 2800Wp of 7 solar panels (Bi-facial type) for electricity generation. The electrical power from a utility grid (220 Vac) is added to the tribrid system to ensure the aerator requirement. The last source is a battery module (100Ah 24V) which harvests the electrical power from another solar power system (1200Wp of 3 panels). They are selected by an automatic transfer switch (ATS), which selects the first solar power system and utility grid in a normal situation. In a crisis event (electricity failure), the reserve electrical power from the battery is selected to run the motor and maintain the DO level. Furthermore, the user can set the plan to use the reserve electrical power from the battery before the sun rises the next normal day to save the cost from the aerator system. The experimental designs are divided into two parts, as shown in the below section.

In this work, the concept of the tribrid generation contains is designed for a normal event and crisis event. In a normal event, the energy usage of the aerator relies on the combination of two power sources combined between the solar cell (no.1) and the utility grid (no.2) into the 3kW on-grid solar hybrid inverter type (SOFAR 3 KTLM) and pay electrical energy to load (no.6).

In a crisis event, the system is always inactive if the event appears in the daytime because the DO remains at a high level or above the standard value. However, if appearing at nighttime, the system will check the DO as the priority. In the case of DO above the standard value, the system takes no action. On the other hand, for DO under the standard value, the electrical power from the battery module will supply to the aerator immediately. This system consists of the solar power system charging through the 3-kW hybrid inverter (INVT 3024 model (no.3)) and into the battery module (no.4), and then the hybrid inverter inverts DC electric from the battery module as AC electric (no.4) to supply the aerator (no.6). The intensity of solar influences battery charging. If the battery cannot charge fully in the

daytime due to the low intensity of solar, the battery is charged by the utility grid as an alternative energy source to prepare the battery for an accidental situation.

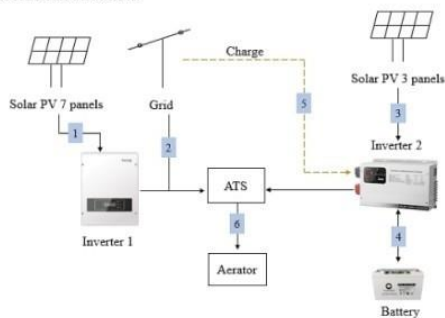


FIGURE 1. Solar power generation system of the tribrid.

System Management

Normally, the traditional cultivation of agriculturists always consumes the energy resource from the utility grid between 9.00 am. – 11.00 a.m., 1.00 p.m. - 6.00 p.m., and 8.00 p.m. - 6.00 a.m. that become to increase the energy cost .So, the researchers have developed the tribrid energy source and set the initial time as the new schedule to manage the aeration system as shown in Fig.2. The on-grid system starts with the sun rising until sunset at 8.00 a.m. – 5.00 p.m. replacing than the old plan. While, in the night, the on-grid system starts at the real-time DO below the reference value, they usually start at 11.00 p.m. because the reference value starts to decline after 11.00 p.m. then, the aerator runs on an on-grid system until 4.00 a.m. and then the off-grid system run instead of the on-grid by using the energy from the battery module to save the electricity from the utility grid.

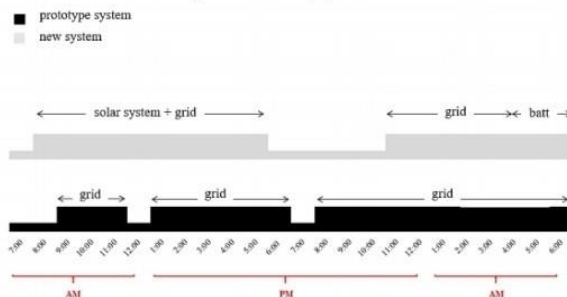


FIGURE 2. Traditional and new schedule of the aeration system.

System Performance Testing

The aeration depends on the age of the fish [10]. The aerator was turned off in the first month of culture. Then, the aerator was turned on from the second to the final month.

The aerator is not turned on in the first month, but it is turned on from the second to the last day of cultivation; the aerator is turned on during the day between 8.00 a.m.-5.00 p.m., 11.00 p.m. – 6.00 a.m. at night. The time of total aeration is 16 hours per day.

System efficiency is tested to find the efficiency of both normal events and crisis events, following Table 1. For normal event testing:

The situation I: The aerator system is turned on between 8.00 am.-5.00 p.m. (runs on the solar power system and utility grid).

Situation II: The aerator system is turned on between 11.00 p.m.-4.00 a.m. (runs on the utility grid).

Situation III: The aerator system is turned on between 4.00 a.m. - 6.00 a.m. (runs on battery module).

The parameters (voltage (V), current (I), power (W), energy (Wh) and solar intensity (W/m²)) from three locations (2800Wp of solar PV to inverter, the utility grid to inverter and inverter to aerator) for situations I, II and III was investigated, measured and recorded every 10 minutes for 3 days. The analysis of system efficiency is shown in Equation (1). The output parameter is the power output of the aerator, while the input parameter is the power input for each of the three power resources.

$$Efficiency(situationI - III) = \frac{output}{input} \times 100 \quad (1)$$

TABLE 1. Test composition for normal event and crisis event

Working System	Devices	Measurement Point	Parameters Collected
Situation I (run on the solar power system and utility grid)	- 7 solar panels - Grid - Inverter 1 - Aerator	- Grid to inverter 1 - Solar PV 7 panels to inverter 1 - Inverter 1 to aerator	- Voltage (V) - Current (I) - Power (W) - Energy Consumption (Wh) - Intensity of light (W/m ²)
Situation II (run on the utility grid)	- Grid	- Grid to aerator	- Voltage (V) - Current (I) - Power (W) - Energy Consumption (Wh)
Situation III (run on a battery module)	- Inverter 2 - Battery module - Aerator	- Battery to inverter 2 - Inverter 2 to aerator	- Voltage (V) - Current (I) - Power (W) - Energy Consumption (Wh)

Economic Assessment

The payback period [11] is estimated to analyze the investment for the aquaculture pond power generation system and to decide the criteria for system installation as follows in Equation (2).

$$Pb = \frac{IC}{P} \quad (2)$$

Where, IC is Investment Capital (Thai Baht)
P is profit (Baht/cycles)

RESULT AND DISCUSSION

Design Results of The Tribrid Power System

The Nile Tilapia fishpond is located in Sansai District, Chiang Mai Province, Thailand. The structure of the tribrid power system is shown in Fig.3. The ten solar panels are installed on a floating solar platform as shown in Fig 3(a). Seven solar panels are connected in a series circuit to supply the electricity to the on-grid inverter (see Fig. 3(c) no.2.) for supplying to the aerator as shown in Fig. 3(b) together with the utility grid power, while three solar panels

are connected in parallel circuit to supply the electricity to the off-grid inverter (c no4.) via ATS (see Fig. 3(c) no. 3.) for charging the battery module (see Fig. 3(c) no. 1.).

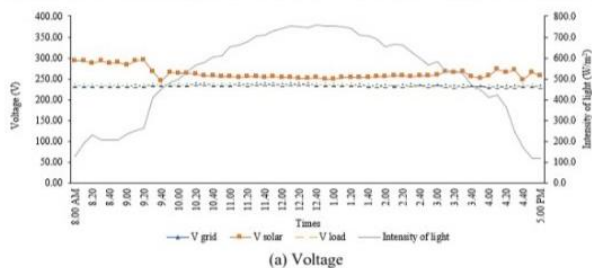


FIGURE 3. The solar aerator with the tribrid power system.

Testing System Results

On-Grid System

The aerator running on the on-grid system has four parameters that have to investigate as shown in Fig. 4 (a-d). The first one is the voltage level that is quite stable on the output of the on-grid system Fig. 4 (a). While input or from solar power system is slightly swing depending on solar intensity. The second and third are the current level and power that have similar characteristics divided as follows, the current and power of solar power system directly vary with solar intensity Fig. 4 (b-c). Higher intensity higher volume. But the current and power of the utility grid inverse them because the aerator consumes the energy from the former more than the latter if there is still solar intensity. The last parameter is energy consumption. Fig. 4 (d) shows that the energy from the solar power system can subsidize the energy from the utility grid more than 77.76% on the sunshine day. The efficiency of the on-grid system is 89.94 %.



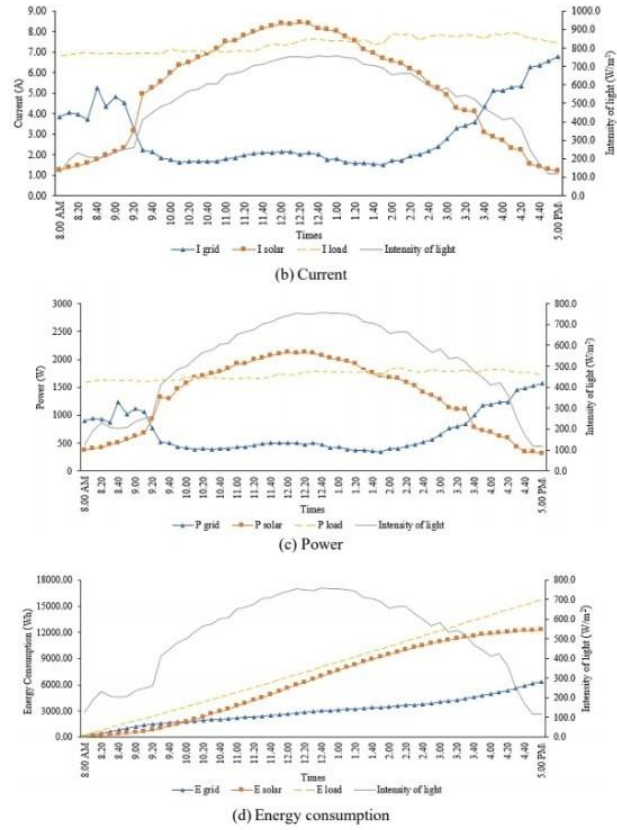


FIGURE 4. The parameter results of power generation with an on-grid system.

Utility Grid System

The utility grid is supplied to the aerator from 11.00 p.m.-4.00 a.m. The characteristic of the voltage, current, power, as well as energy consumption, are similar to the on-grid system on a daytime (Fig.5) because it's the same system. The efficiency of the utility grid system is 90.61%.

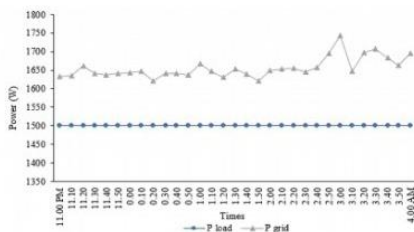


FIGURE 5. The parameter results of power generation with a grid system.

Battery System

The off-grid system is supplied to the aerator system in the case of the DO becoming a crisis and discharging before the sun rising of next day. Fig. 6 (a) and (b) show the relationship between the voltage and current of the battery module and aerator (load). The dc voltage and current of the battery are converted into ac voltage and current. The ac voltage and current are quite stable all the time. While the dc side is quite stable in the first half period after that the dc voltage begins dropping but the dc current begins shooting because the energy of the battery is less. The case of power and energy are shown in Fig. 6 (c) which is indicated that electrical power from the battery and the aerator usage have a proportional relationship and the efficiency of this system is 89.17%. The energy consumption of aerator and battery discharging have a ratio of 3,541.82: 4,000.62 Wh by average.

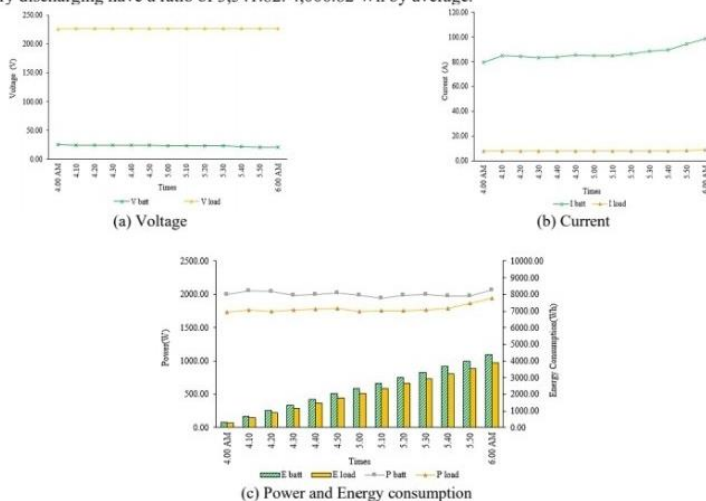


FIGURE 6. The parameter results of a power generation with battery storage.

Economic Analysis Results

Economic of the tribrid system analyze payback period from cycles of fish-farming is described as follows: the investment capital and electrical power saving in Equation (1), found that a capital investment of the tribrid system

consists of the main devices as follows I: solar panel II: off-grid inverter III: on-grid inverter IV: battery module V: electronic control and safety devices. All of them have a value of 147,000 Thai baht. This system is operated in fish farming for 1 production cycle (3-4 months) that saves the electrical power is 6,390 Baht/cycles. Hence, the payback period of production cycles is approximately 23 cycles.

CONCLUSIONS

This system reveals an electrical energy sources and administration energy management system to be applied to a Nile Tilapia fishpond. The tribrid system is properly designed for farmers which consist of three electrical energy sources, including the solar panel (10 panels, 445 W), the utility grid, and the battery module (2 pieces, 200 Ah 12 V). The experimental testing demonstrates a relatively good response to the new schedule to manage the aeration system in each event in the fishpond. The potential of the system is responsible under various operations and under varying electrical energy sources. The performance of tribrid system divided into three sections is 89.94 % of the on-grid system, 90.61% of the utility grid system, 89.17% of the battery system and store up to 3,541.3 Wh of reserve energy to supply the aerator in crisis even for approximately 2 hours. Finally, this system had an investment budget of 147,000 Thai Baht and a payback period of 23, production cycles.

ACKNOWLEDGMENTS

This work was supported by an appreciation to the School of Renewable Energy, Maejo University for the assistance supporting instruments and the scholarship for graduate students in the 2018 academic year that supports the study by a grant fund under the generate and development of graduate students in a renewable energy research fund, in the ASEAN countries in the graduate. The authors would like to thank the Smart Energy and Environmental Research Unit (SEEU) for their knowledge and suggestions.

REFERENCES

1. L.D. Swann, A Fish Farmer's Guide to Understanding Water Quality, [Online]. Available: <https://southcenters.osu.edu/sites/southc/files/site-library/site-images/FishFarmersGuideToWaterQuality.pdf> [Accessed 12 7 2021].
2. T. Nguyen, M. Ryuji and V. Chau, A Sustainable Energy Model for Shrimp Farms in the Mekong Delta. *Energy Procedia*, 157: p. 926-938 (2019).
3. F. Hahn and R. Pérez, Design and Evaluation of a Dissolved Oxygen Controller for Solar Powered Fish Tanks. *British Journal of Applied Science & Technology*, 5: p. 173-188 (2015).
4. I. Prasetyaningsari, A. Setiawan and A. A. Setiawan, Design Optimization of Solar Powered Aeration System for Fish Pond in Sleman Regency, Yogyakarta by HOMER Software. *Energy Procedia*, 32: p. 90-98 (2013).
5. M. A. Eltawil and A. M. ElSbaay, Utilisation of solar photovoltaic pumping for aeration systems in aquaculture ponds. *International Journal of Sustainable Energy*, 35(7): p. 629-644 (2014).
6. K. Kanzumba, Optimal operation scheduling of grid-connected PV with ground pumped hydro storage system for cost reduction in small farming activities. *Journal of Energy Storage*, 16: p. 133-138 (2018).
7. S. Paritosh, M. Bharat and S. Debojyoti, Design Parameters of 10KW Floating Solar Power Plant. *International Advanced Research Journal in Science Engineering and Technology (IARJSET)*, 2: p. 85-89 (2015).
8. D. Mittal, B. K. Saxena and K. V. S. Rao, Floating solar photovoltaic systems: An overview and their feasibility at Kota in Rajasthan. *2017 International Conference on Circuit, Power and Computing Technologies (ICCPCT)*, p. 1-7 (2017).
9. C. E. Boyd, E. L. Torrans and C. S. Tucker, Dissolved Oxygen and Aeration in Ictalurid Catfish Aquaculture. *Journal of The World Aquaculture Society*, 49: p. 7-70 (2018).
10. J. Kepenyes, L. Váradi, Aeration and Oxygenation in Aquaculture. Fish Culture Research Institute Szarvas, Hungary, [Online]. Available: <http://www.fao.org/3/x5744e/x5744e0m.htm#chapter%201%20aeration%20and%20oxygenation%20in%20aquaculture>. [Accessed 16 8 2021].
11. S. Thamnu, Smart environmental monitoring and aerator control system by sharing energy source in an aquatic animal pond, M.S. thesis. Maejo University (2018).

การเผยแพร่งานวิจัยในวารสารทางวิชาการ

- ชื่อบทความ: การพัฒนาระบบตรวจวัดปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำและระบบตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำด้วยเทคโนโลยี NB-IoT
- ผู้แต่ง: เกวลิน ยะดิน ชาวโรจน์ ใจสิน และ ธงชัย มณีชูเกตุ
- วารสาร: วารสารเทคโนโลยีสุรนารี Suranaree Journal of Social Science ปีที่ 18 ฉบับที่ 2 กำหนดเผยแพร่ในเดือนกรกฎาคม-ธันวาคม 2567



ที่ อว ๗/๔๑๒(๖)/๑๕๙



สำนักวิชาเทคโนโลยีสังคม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
เลขที่ ๑๑๑ ถนนมหาวิทยาลัย
ตำบลสุรนารี อำเภอเมืองนครราชสีมา
จังหวัดนครราชสีมา ๓๐๐๐๐

๑๒ ตุลาคม ๒๕๖๔

เรื่อง แจ้งตอบรับลงพิมพ์บทความในวารสารเทคโนโลยีสุรนารี Suranaree Journal of Social Science

เรียน นางสาวเกวลิน ยะดิน

ตามที่ท่านได้เสนอบทความเพื่อลงพิมพ์ในวารสารเทคโนโลยีสุรนารี Suranaree Journal of Social Science (ISSN ๑๙๐๕-๙๓๒๙) ซึ่งเป็นวารสารที่อยู่ในฐานข้อมูลของศูนย์ดัชนีการอ้างอิงวารสารไทย Thai-Journal Citation Index Center (TCI) กลุ่มที่ ๑ และฐานข้อมูล ASEAN CITATION INDEX (ACI) โดยมีรายละเอียดดังนี้

ชื่อบทความ: การพัฒนาระบบตรวจวัดปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำและระบบตรวจวัดพลังงานไฟฟ้า
ในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำด้วยเทคโนโลยี NB-IoT

ผู้เขียน: เกวลิน ยะดิน ธงชัย มณีชูเกตุ และชวโรจน์ ใจสิน

บัดนี้ บทความของท่านได้รับการตรวจคุณภาพเบื้องต้นโดยกองบรรณาธิการ และตรวจคุณภาพด้านเนื้อหาโดยผู้ทรงคุณวุฒิตามข้อปฏิบัติของวารสารเทคโนโลยีสุรนารีเรียบร้อยแล้ว และกองบรรณาธิการมีความเห็นให้ตอบรับลงพิมพ์บทความวิจัยเรื่องดังกล่าว ในวารสารปีที่ ๑๕ ฉบับที่ ๒ กำหนดเผยแพร่ในเดือนกรกฎาคม-ธันวาคม ๒๕๖๗ ซึ่งขณะนี้อยู่ระหว่างการจัดทำรูปเล่มที่สมบูรณ์

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริปรัช บัญครอง)

บรรณาธิการ

สถานวิจัย สำนักวิชาเทคโนโลยีสังคม

โทรศัพท์ ๐ ๔๔๒๒ ๔๒๐๗ โทรสาร ๐ ๔๔๒๒ ๔๒๐๕

๑๑๑ ถนนมหาวิทยาลัย ตำบลสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา ๓๐๐๐๐ โทรศัพท์ ๐ ๔๔๒๒ ๓๐๐๐ โทรสาร ๐ ๔๔๒๒ ๔๐๗๐

SURANAREE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

111 UNIVERSITY AVENUE, SUB DISTRICT SURANAREE, MUANG DISTRICT, NAKHON RATCHASIMA 30000, THAILAND.

Tel. +66 4422 3000 Fax. +66 4422 4070

บรรณานุกรม

- Dupont, C., Wussah, A., Malo, S., Thiare, O., Niass, F., Pham, C., Dupont, S., Gall, F. L. & Cousin, P. 2018. **Low-Cost IoT Solutions for Fish Farmers in Africa**. 9-11 May 2018.
- Fernando, R. B. 2010. **MSA Reference Manual 4th Edition**. June 2010.
- J. H. Chen, W. T. Sung & Lin, G. Y. 2015. **Automated Monitoring System for the Fish Farm Aquaculture Environment**. 9-12 Oct. 2015.
- Liang, M.-H., He, Y.-F., Chen, L.-J. & Du, S.-F. 2018. Greenhouse Environment dynamic Monitoring system based on WIFI. **IFAC-PapersOnLine**, 51(17), 736-740.
- Paulin, N. S., N, A. & S., P. 2017. **Pisciculture Environment Control Using Automated Monitoring System**.
- Popli, S., Jha, R. K. & Jain, S. 2019. A Survey on Energy Efficient Narrowband Internet of Things (NBloT): Architecture, Application and Challenges. **IEEE Access**, 7(16739-16776).
- Summerfelt, R. 1998. WATER QUALITY CONSIDERATIONS FOR AQUACULTURE.
- Sung, W. T., Chen, J. H. & Wang, H. C. 2014. **Remote fish aquaculture monitoring system based on wireless transmission technology**. 26-28 April 2014.
- Yatin, K. & Jaisin, C. 2022. Development of a tribrid power supply system for paddlewheel aeration of an aquaculture pond. **AIP Conference Proceedings**, 2681(1), 020067.
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2553. ระบบจ่ายและควบคุมไฟฟ้าในโรงงาน/อาคาร. [Online]. Available http://www2.dede.go.th/bhrd/old/Download/file_handbook/Pre_Elec/Elec_4.pdf
- การไฟฟ้านครหลวง. 2561. วิธีคำนวณค่าไฟฟ้าด้วยตนเองสามารถทำได้อย่างไร. [Online]. Available <https://www.mea.or.th/content/detail/3293/3317/3926>
- การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. 2564. เทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์. [Online]. Available <http://www4.egat.co.th/re/index.htm.l>
- เกวลิน หนูฤทธิ์. 2559. สถานการณ์การผลิตและการค้าปลาบิลและผลิตภัณ์ปี 2559 และแนวโน้มปี 2560. [Online]. Available

<https://www.fisheries.go.th/strategy/fisheconomic/pdf/.pdf>

- ชวโรจน์ ใจสิน. 2562. การเขียนโปรแกรมภาษา C สำหรับ Arduino และ IoT. เชียงใหม่: สำนักบริหารและพัฒนาวิชาการมหาลัยแม่โจ้.
- ชวโรจน์ ใจสิน. 2561. เอกสารประกอบคำสอนเครื่องมือวัดและระบบควบคุมพลังงาน (Instrumentation and Energy control systems). วิทยาลัยพลังงานทดแทนมหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- ปริญญช นุ่มภา. 2565. การศึกษาการจัดการพลังงานของระบบเติมอากาศสำหรับบ่อเลี้ยงปลาที่ใช้ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับแบตเตอรี่และระบบไฟฟ้าพื้นฐาน. มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์และนวกัทธา หนูนาค. 2555. Accuracy / ความถูกต้อง ความแม่นยำ. [Online]. Available <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/4289/accuracy-ความถูกต้อง-ความแม่นยำ>
- ศิริวรรณ ทำนุ. 2561. ระบบตรวจวัดสภาพแวดล้อมและควบคุมเครื่องเติมอากาศอัจฉริยะโดยใช้พลังงานจากแหล่งจ่ายแบบแบ่งปันในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ. มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- สรารุช พลวงษ์ศรี, ธีญลักษณ์ สันเดช, ชลิตา โหระชิต, ภานุวิชญ์ พุทธิรักษา, อัครินทร์ อินทนิเวศน์, ชวโรจน์ ใจสิน, ธงชัย มณีชูเกตุ, สุลักษณ์ มงคล. 2562. ดัชนีการใช้พลังงานของเครื่องเติมอากาศบ่อเลี้ยงปลาที่ใช้พลังงานจากระบบโฟโตวอลเทอิกร่วมกับระบบไฟฟ้าพื้นฐาน. การถ่ายเทพลังงานความร้อนและมวลในอุปกรณ์ด้านความร้อนและกระบวนการ, 18(215-221).
- สำนักพัฒนาทรัพยากรบุคคลด้านพลังงาน, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2555. คู่มือการตรวจวิเคราะห์การอนุรักษ์พลังงานสำหรับวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม. [Online]. Available https://ienergyguru.com/e-book/?fbclid=IwAR0qYFOiG3_m1V15cIAKn1VA9sa7OeO-HOlcDB8wCrsPUzfT1-cRJn-eqk
- สำนักพัฒนาทรัพยากรบุคคลด้านพลังงาน. 2558. การตรวจวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้า. [Online]. Available http://www2.dede.go.th/bhrd/old/file_handbook.html

หน่วยวิจัยสังคมและสิ่งแวดล้อมมหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 2560. สรุปนโยบายและแนวทางปฏิบัติ 10 การเติมอากาศในบ่อปลา. [Online]. Available <https://idl-bnc-idrc.dspacedirect.org/bitstream/handle/10625/56239/IDL-56239.pdf>



ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	นางสาวเกวลิน ยะติน
เกิดเมื่อ	21 มกราคม 2539
ประวัติการศึกษา	ระดับปริญญาตรี ปีที่สำเร็จการศึกษา 2561 หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ (พลังงานทดแทน) คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ประวัติการทำงาน	วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาตรี การเตรียมถ่านกัมมันต์จากผักตบชวาที่กระตุ้นด้วยความร้อนจากรังสีไมโครเวฟ (Preparation of activated carbon from water hyacinth by using microwave irradiation) ทุนการศึกษา ทุนสนับสนุนการศึกษา โครงการผลิตและพัฒนาศักยภาพบัณฑิตทางด้านพลังงานทดแทน ในกลุ่มประเทศอาเซียน สำหรับนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา ประจำปีงบประมาณ 2560-2561 ประเภทที่ 1 (อุดหนุนเต็มจำนวน) จำนวนเงินสนับสนุน 480,000 บาท จากวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้