



## รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การตรวจวัดค่าแรงดันและอุณหภูมิของแบตเตอรี่โดยประยุกต์ใช้กับระบบ IoT  
IoT Voltage & Temperature Measuring for Battery

นายนิธิกร วันวิวัฒน์  
นายพัทธพล สมเสมอใจ

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการสหกิจศึกษา การตรวจวัดค่าแรงดันไฟฟ้าและอุณหภูมิของแบตเตอรี่โดยประยุกต์ใช้กับระบบ IoT  
ชื่อ-สกุล นักศึกษา นายนิธิกร วันวิวัฒน์  
นายพัทธ์พล สมเสมอใจ  
คณะ วิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า  
ชื่อ-สกุล อาจารย์นิเทศ ผศ.ดร.นิรุช จิรสวรรณกุล  
ชื่อ-สกุล ผู้นิเทศงาน นายอภิรักษ์ ศรีพรวัฒนา  
สถานประกอบการ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (โรงไฟฟ้าพระนครเหนือ)

### บทคัดย่อ

โครงการนี้นำเสนอระบบการติดตามผลอัตโนมัติโดยประยุกต์ใช้กับระบบ IoT ซึ่งใช้สำหรับการ  
วัดตรวจวัดค่าแรงดันไฟฟ้าและอุณหภูมิของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด แบบ VRLA ที่เป็นแหล่งพลังงาน  
ไฟฟ้าสำรองของโรงไฟฟ้าพระนครเหนือ แทนระบบการตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่แบบเดิมของ  
ฝ่ายบำรุงรักษาทางไฟฟ้า โดยระบบดังกล่าวเป็นการส่งค่าที่วัดได้จากบอร์ดประมวลผล Gooouuu-ESP32  
ไปยัง Blynk Appication บนสมาร์ทโฟน และ ThingsBoard เพื่อแสดงผลผ่าน Dashboard รวมถึง  
บันทึกค่าไว้ใน Sever ของผู้ให้บริการทั้งสองเพื่อเก็บเป็นฐานข้อมูลไว้ในอนาคต

คำสำคัญ : ระบบ IoT, ระบบการติดตามผลอัตโนมัติ, แรงดันไฟฟ้าและอุณหภูมิ, แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด

**Cooperative Title:** IoT Voltage & Temperature Measuring for Battery  
**Student intern name:** Mr.Nitikorn Wanwiwat  
Mr.Pattapon Somsamerjai  
**Faculty:** Engineering **Department:** Electrical Engineering  
**Advisor name:** Asst. Prof. Dr.Nirudh Jirasuwankul  
**Mentor name:** Mr.Apinan Sripornwattana  
**Company:** Electricity Generating Authority of Thailand

## ABSTRACT

This project presents an automatic tracking system, which is applied to IoT system, which is used for measuring the voltage and temperature of VRLA lead-acid batteries that are backup power sources of the North Bangkok Power Plant. Instead of the traditional battery voltage measurement system of the Electrical Maintenance Department. The system sends the measured values from the Gooouu-ESP32 processor board to the Blynk Application on smartphones and ThingsBoard for display via the Dashboard, and the values are saved in the Sever of both service providers to store as Database for future use.

**Keyword:** IoT system, automatic tracking system, voltage and temperature, lead-acid battery

## กิตติกรรมประกาศ

รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์ฉบับนี้ถูกล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องด้วยความอนุเคราะห์จากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ณ โรงไฟฟ้าพระนครเหนือ ฝ่ายซ่อมบำรุงรักษาทางไฟฟ้า ที่ให้โอกาสในการทำโครงการสหกิจศึกษาในครั้งนี้ อีกทั้งหัวหน้าฝ่ายบำรุงรักษาทางไฟฟ้า คุณสถิตเดช ถนอมคุณ วิศวกรระดับ 9 เป็นผู้ชี้แนะแนวทางการทำโครงการสหกิจในครั้งนี้ และผู้ดูแลคุณอภิรักษ์ ศรีพรวัฒนา วิศวกรระดับ 6 เป็นผู้ให้คำปรึกษาเกี่ยวกับระบบ IoT สุดท้ายขอขอบคุณ คุณพงศ์เพชร จิระสมบัติ ช่างระดับ 5 และพนักงานทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือตลอดระยะเวลาสี่เดือน

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.นิรุช จิรสวรรณกุล อาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้ให้คำแนะนำ และช่วยเหลืออันเป็นประโยชน์ต่อการทำรายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์นี้แก่คณะผู้จัดทำโดยตลอด ขอขอบคุณอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าทุกท่านที่ให้คำแนะนำในการทำรายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์ฉบับนี้

คณะผู้จัดทำรายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์ฉบับนี้ ขอขอบพระคุณทุกท่านอย่างสูงที่ให้การสนับสนุน ให้ความอนุเคราะห์ช่วยเหลือ และประโยชน์อันพึงมีต่อโครงการสหกิจครั้งนี้ โดยรายงานสหกิจสมบูรณ์ฉบับนี้ผู้จัดทำขอมอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

คณะผู้จัดทำ

## สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ.....	I
ABSTRACT .....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง .....	VII
สารบัญรูป .....	VIII
สารบัญกราฟ.....	X
บทที่1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ .....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ .....	2
1.4 ขั้นตอนการศึกษาและแผนการทำงาน .....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ .....	3
บทที่2 เอกสารและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง .....	4
2.1 กล่าวนำ.....	4
2.2 เอกสารที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.2.1 TEMPERATURE EFFECTS ON SEALED LEAD ACID BATTERIES AND CHARGING TECHNIQUES TO PROLONG CYCLE LIFE <sup>[1]</sup> .....	4
2.2.2 Battery FIAMM SLA 2SLA580 <sup>[2]</sup> .....	10
2.2.3 การทดสอบ บำรุงรักษาและการบำรุงรักษาเชิงป้องกันแบตเตอรี่ชนิด VRLA.....	11
2.2.4 ความหมายของระบบIoT .....	13
2.3 ซอฟต์แวร์ที่เกี่ยวข้อง.....	14
2.3.1 Arduino IDE .....	14
2.3.2 PLX-DAQ .....	14
2.3.3 Microsoft Excel.....	15
2.3.4 Statistical Package for the Social Sciences : SPSS .....	15
2.3.5 ThingsBoard .....	15
2.3.6 Bylnk.....	16

## สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.4 ฮาร์ดแวร์ที่ใช้.....	16
2.4.1 Gooouu ESP-32 .....	16
2.4.2 MAX-6675 and Thermocouple Type K.....	21
2.4.3 Cable TRONIC-CY (LiY-CY) 2x0.75 mm <sup>2</sup> (AWG. 19) .....	21
2.4.3 Multimeter Fluke 87V .....	22
<b>บทที่3 ขั้นตอนการดำเนินงาน .....</b>	<b>24</b>
3.1 มองหาความสูญเสียที่เกิดขึ้น .....	24
3.2 นำเสนอวิธีแก้ไข .....	25
3.3 ศึกษาการใช้งานโปรแกรม Arduino IDE.....	26
3.4 ศึกษาการใช้งานฮาร์ดแวร์ Gooouu ESP-32 .....	28
3.5 ศึกษาการใช้งาน Platform “ThingsBoard” .....	28
3.6 ศึกษาการใช้งาน Application “Blynk” .....	30
3.7 ออกแบบตัวอุปกรณ์ .....	34
3.8 จัดของบประมาณในการทำโครงการ .....	35
3.9 จัดซื้ออุปกรณ์และทำการประกอบชิ้นงาน .....	35
3.10 หาสมการระหว่างแรงดันกับค่าอะนาล็อก.....	37
3.11 เขียน Flowchart Diagram .....	46
3.12 เขียนคำสั่งบนโปรแกรม Arduino IDE และอัปโหลดลงตัวบอร์ด .....	47
3.13 จัดหน้าแสดงผลใน ThingsBoard .....	48
3.14 ทำการติดตั้งอุปกรณ์ .....	49
<b>บทที่4 ผลการติดตั้งอุปกรณ์ .....</b>	<b>50</b>
4.1 ผลการแสดงค่าใน ThingsBoard.....	50
4.2 ผลการแสดงค่าใน Application Blynk.....	53
4.3 ผลการลดความสูญเสีย .....	60
4.4 ปัญหาและวิธีการแก้ไขปัญหา.....	61
4.3.1 ปัญหาที่พบ .....	61
4.3.2 วิธีการแก้ไขปัญหา.....	61
<b>บทที่5 สรุปผล และข้อเสนอแนะ.....</b>	<b>62</b>
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน .....	62
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	62

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
เอกสารอ้างอิง .....	63
ภาคผนวก.....	65
ประวัติผู้เขียน.....	67



## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	3
2.1 EODV According to C-Rate .....	5
2.2 Battery Depletion Time At Different Cold Temperatures.....	7
2.3 Characteristic of Charge Voltage Limits .....	8
2.4 Quick Charging Rates and Returned Capacity .....	8
2.5 วาระการบำรุงรักษาแบตเตอรี่ชนิด VRLA.....	11
2.6 เปรียบเทียบระหว่างวาระการตรวจสอบตามมาตรฐานและวาระของโรงไฟฟ้าพระนครเหนือ.....	11
2.7 ESP32-WROOM-32 Specifications.....	16
2.6 ESP32-WROOM-32 Pin Description .....	18
2.8 Specifications of 80 Series V Industrial True-RMS Multimeter with Temperature <sup>[8]</sup> .....	22
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้และราคา.....	35
3.2 ค่า Analog กับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (วัดค่าโดยตรง).....	39
3.3 Coefficients.....	41
3.4 ค่าเริ่มต้นของ $b_1$ , $b_2$ และ $b_3$ .....	42
3.5 Parameter Estimates .....	43
3.5 ค่า Analog กับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง(วัดค่าผ่าน Voltage Sensor).....	44
4.1 วิเคราะห์ผลอุณหภูมิเมื่อเทียบกับอุณหภูมิห้อง 22 °C (ค่าจาก ThingsBoard).....	51
4.2 ค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงของแบตเตอรี่ (วัดด้วย Multimeter FLUKE 87V).....	52
4.3 การวิเคราะห์ผลแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (ค่าจาก ThingsBoard).....	52
4.4 วิเคราะห์ผลอุณหภูมิเมื่อเทียบกับอุณหภูมิห้อง 22 °C (ค่าจาก Blynk).....	56
4.5 การวิเคราะห์ผลแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (ค่าจาก Blynk).....	60
4.6 การเปรียบเทียบเวลาการปฏิบัติงาน .....	61

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 State of Charge vs. Open Cell Voltage.....	6
2.2 Effect of Temperature on Effective Capacity.....	6
2.3 Effect of Temperature on Cycle Time of SLA Cells.....	7
2.4 Battery FIAMM SLA 2SLA580.....	10
2.5 ภาพตัดของแบตเตอรี่รุ่น 4 SLA 150 SEALED BLOC .....	10
2.6 Internet of Things: MQTT (1).....	13
2.7 Internet of Things: MQTT (2).....	13
2.8 Arduino IDE.....	14
2.9 PLX-DAQ for Excel .....	14
2.10 ThingsBoard.....	15
2.11 รูปแบบการแสดงผลบน Application Blyn.....	16
2.12 ESP32-WROOM-32 Pin Layout (Top View) .....	18
2.13 ฟังก์ชันการใช้งานขาต่าง ๆ ของ DevKitC V2 ESP32.....	20
2.14 สาย TRONIC-CY (LiY-CY) .....	21
2.15 Multimeter Fluke 87V .....	22
3.1 การปฏิบัติงานจริงในการวัดแรงดันแบตเตอรี่.....	24
3.2 ห้องแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด .....	24
3.3 แบบจำลองการติดตั้งอุปกรณ์ 3 มิติ มุมมองที่ 1 .....	25
3.4 แบบจำลองการติดตั้งอุปกรณ์ 3 มิติ มุมมองที่ 2.....	25
3.5 ระบบที่ออกแบบซึ่งใช้ในการวัดค่าและส่งข้อมูล .....	25
3.6 การติดตั้ง Board ESP-32 ใน Arduino IDE.....	26
3.7 กรอกลิงค์เพื่อโหลดและทำการติดตั้ง.....	26
3.8 หน้าเขียนโปรแกรมด้วยภาษา C/C++ ของ Arduino IDE.....	26
3.9 การเลือกชนิดบอร์ดใน Arduino IDE .....	27
3.10 คำสั่งที่เขียนผ่านการ Verify .....	27
3.11 หน้า Home ของ ThingsBoard .....	28
3.12 ตั้งชื่อกลุ่มอุปกรณ์ .....	28
3.13 สร้างกลุ่มอุปกรณ์เพื่อรับค่าจาก Microcontroller Board 4 ตัว .....	29
3.14 การนำ TOKEN ไปใช้งาน.....	29
3.15 การตั้งค่า Sever ที่ใช้.....	30
3.16 การสร้าง Project เพื่อสร้างหน้าแสดงผล .....	30

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.17 การตั้งค่า Value Display .....	31
3.18 Value Display ทั้งหมด .....	31
3.19 การตั้งค่า SuperChart .....	32
3.20 การตั้งค่าข้อมูล INPUT ใน DATASTREAMS .....	32
3.21 การส่ง Token เข้าอีเมลล์ (1).....	33
3.22 การส่ง Token เข้าอีเมลล์ (2).....	33
3.23 Hardware Diagram in Control Box .....	34
3.24 จัดวางตำแหน่งอุปกรณ์ใน Control Boxes .....	35
3.25 ตัดแผ่นอะคริลิก เพื่อทำฐานรองตัว Microcontroller.....	36
3.26 ภายใน Control Box.....	36
3.27 ภายนอก Control Box.....	36
3.28 ตัวโปรแกรม PLX-DAQ V2.11 ใน Microsoft Excel .....	37
3.29 วงจรหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าอนาล็อกกับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง(วัดค่าโดยตรง).....	38
3.30 คำสั่งสำหรับการเก็บค่า Analog ที่แรงดันไฟฟ้าค่าต่าง ๆ ( 0 V. ถึง 3.3 V.) .....	38
3.31 การเพิ่มคอลัมน์ค่า Analog กำลังสอง.....	40
3.32 การวิเคราะห์หาสมการกำลังสองด้วยโปรแกรม SPSS .....	41
3.33 การกรอกค่าข้อมูลต่าง ๆ ก่อนการวิเคราะห์สมการ (1).....	42
3.34 การกรอกค่าข้อมูลต่าง ๆ ก่อนการวิเคราะห์สมการ (2).....	42
3.35 วงจรหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าอนาล็อกกับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง(วัดค่าผ่าน Sensor).....	43
3.36 Flowchart Diagram ของคำสั่งการทำงาน.....	46
3.37 ตัวอย่างโค้ดคำสั่งบางส่วน.....	47
3.38 ส่วนการส่งข้อมูลไปยัง ThingsBoard.....	47
3.39 ส่วนการส่งข้อมูลไปยัง Blynk Application .....	47
3.40 ส่วนการแสดงผลบน ThingsBoard (1).....	48
3.41 ส่วนการแสดงผลบน ThingsBoard (2).....	48
3.42 การติดตั้งหน้างานที่ห้อง Battery Room Block 2 (1).....	49
3.43 การติดตั้งหน้างานที่ห้อง Battery Room Block 2 (2).....	49
4.1 การแสดงค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงและอุณหภูมิบน Dashboard (1).....	50
4.2 การแสดงค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงและอุณหภูมิบน Dashboard (2).....	50
4.3 การแสดงค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงและอุณหภูมิบน Blynk Application.....	53
4.4 การติดตามผลผ่าน Blynk Application.....	60

## สารบัญกราฟ

กราฟที่	หน้า
3.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน กับ Analog (ต่อวัดค่าโดยตรง).....	40
3.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน กับ Analog (ต่อโดยตรง) .....	43
3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับAnalog(วัดผ่าน Voltage Sensor) .....	45
3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับAnalog (วัดผ่าน Voltage Sensor).....	45
4.1 แสดงอุณหภูมิชั่วแบตเตอรี่ ณ เวลาต่าง ๆ .....	51
4.2 แสดงค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ณ เวลาต่าง ๆ.....	52
4.3 อุณหภูมิชั่วลบบาตเตอรี่ No.42 ณ เวลาต่าง ๆ (ค่าจาก Blynk).....	54
4.4 อุณหภูมิชั่วลบบาตเตอรี่ No.43 ณ เวลาต่าง ๆ (ค่าจาก Blynk).....	54
4.5 อุณหภูมิชั่วลบบาตเตอรี่ No.44 ณ เวลาต่าง ๆ (ค่าจาก Blynk).....	54
4.6 อุณหภูมิชั่วลบบาตเตอรี่ No.45 ณ เวลาต่าง ๆ (ค่าจาก Blynk).....	55
4.7 อุณหภูมิชั่วลบบาตเตอรี่ No.46 ณ เวลาต่าง ๆ (ค่าจาก Blynk).....	55
4.8 อุณหภูมิชั่วลบบาตเตอรี่ No.47 ณ เวลาต่าง ๆ (ค่าจาก Blynk).....	55
4.9 อุณหภูมิชั่วลบบาตเตอรี่ No.48 ณ เวลาต่าง ๆ (ค่าจาก Blynk).....	56
4.10 อุณหภูมิชั่วลบบาตเตอรี่ No.49 ณ เวลาต่าง ๆ (ค่าจาก Blynk).....	56
4.11 แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงของแบตเตอรี่ No.42 ณ เวลาต่าง ๆ (ค่าจาก Blynk).....	57
4.12 แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงของแบตเตอรี่ No.43 ณ เวลาต่าง ๆ (ค่าจาก Blynk).....	57
4.13 แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงของแบตเตอรี่ No.44 ณ เวลาต่าง ๆ (ค่าจาก Blynk).....	58
4.14 แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงของแบตเตอรี่ No.45 ณ เวลาต่าง ๆ (ค่าจาก Blynk).....	58
4.15 แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงของแบตเตอรี่ No.46 ณ เวลาต่าง ๆ (ค่าจาก Blynk).....	58
4.16 แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงของแบตเตอรี่ No.47 ณ เวลาต่าง ๆ (ค่าจาก Blynk).....	59
4.17 แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงของแบตเตอรี่ No.48 ณ เวลาต่าง ๆ (ค่าจาก Blynk).....	59
4.18 แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงของแบตเตอรี่ No.49 ณ เวลาต่าง ๆ (ค่าจาก Blynk).....	59

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดในปัจจุบันนั้นได้ถูกพัฒนามาอย่างยาวนาน และยังคงถูกนำไปใช้อย่างแพร่หลายเช่น ใช้ในการเก็บพลังงานไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์, ใช้ในระบบจุดระเบิดเครื่องยนต์ หรือแม้กระทั่งใช้เป็นพลังงานไฟฟ้าสำรองในระบบไฟฟ้าฉุกเฉิน เป็นต้น ซึ่งในขณะที่แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดทำการปล่อยประจุ หรือขณะทำการชาร์จ หากไม่ทำการควบคุมอุณหภูมิ จะส่งผลต่ออายุการใช้งานของแบตเตอรี่ได้ รวมถึงอาจเกิดอันตรายเนื่องจากอุณหภูมิสูงได้ โดยที่กล่าวมาจึงเกิดระบบการตรวจวัดแบตเตอรี่ขึ้น เพื่อจัดเก็บข้อมูล (แรงดันไฟฟ้า, อุณหภูมิ, ความจุ และความต้านทานภายใน) และคาดการณ์ถึงอายุการใช้งาน จากพฤติกรรมการใช้งานแบตเตอรี่

ทั้งนี้ในโรงไฟฟ้าพระนครเหนือมีระบบไฟฟ้าสำรองโดยใช้แบตเตอรี่ที่มีขนาดแรงดันประมาณ 2.1 ถึง 2.3 โวลต์ต่ออนุกรมกันเป็นจำนวนมาก ซึ่งในแต่ละโรงผลิตไฟฟ้านั้นจะมีห้องที่ใช้เก็บแบตเตอรี่เหล่านี้แยกกันไปโดยบางห้องอาจมีจำนวนแบตเตอรี่มากถึง 630 ใบ โดยที่ทั้งหมดนั้นยังไม่มีระบบตรวจวัดแบตเตอรี่ และด้วยมาตรฐานที่ทางการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) ได้กำหนดให้ต้องมีการตรวจเช็คแรงดันของแบตเตอรี่ในระบบไฟฟ้าสำรอง ปีละ 4 ครั้ง หรือทุก ๆ สามเดือน ซึ่งในแต่ละครั้งจะใช้จำนวนคนถึง 3 คนเพื่อให้เสร็จในระยะเวลา 1 วัน โดยที่คนหนึ่งจดค่าที่วัดได้จากมิเตอร์ อีกคนหนึ่งถือมิเตอร์ไว้ และคนสุดท้ายทำหน้าที่วัดแรงดันแบตเตอรี่ เมื่อเก็บข้อมูลเสร็จแล้วจึงนำไปเข้าระบบเพื่อวิเคราะห์ข้อมูล ซึ่งจากขั้นตอนดังกล่าวทางผู้ปฏิบัติงานจริงสังเกตเห็นว่าใช้เวลานานและใช้จำนวนคนมากเกินไป

โครงการนี้นักศึกษาศึกษาหกิจจึงได้ทำระบบตรวจวัดแบตเตอรี่ที่เก็บข้อมูลแรงดันไฟฟ้าและอุณหภูมิของแบตเตอรี่ โดยประยุกต์ใช้กับระบบ IoT (Internet of Things) ซึ่งทำให้การติดตั้งอุปกรณ์นั้นมีเพียงกล่อง ๆ หนึ่งที่ใช้วัดและส่งสัญญาณ โดยไม่จำเป็นต้องติดตั้งระบบเซิร์ฟเวอร์ของตัวเอง โดยอุปกรณ์ชิ้นนี้จะส่งค่าไปเก็บไว้ในคลาวด์ (cloud) หรือบริการพื้นที่รับฝากไฟล์บนอินเทอร์เน็ตผ่านผู้ให้บริการ “ThingsBoard” เพื่อที่จะสามารถดึงข้อมูลมาวิเคราะห์ในภายหลังได้ และยังส่งข้อมูลไปยังสมาร์ตโฟนแบบกำหนดช่วงเวลาผ่านแอปพลิเคชัน “Blynk” รวมถึงการแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชัน “LINE” เมื่ออุณหภูมิของแบตเตอรี่สูงเกินค่าที่กำหนด หรือแรงดันแบตเตอรี่ต่ำกว่า 2 โวลต์ ซึ่งระบบนี้สามารถลดการสูญเสียตามหลักความสูญเสียเปล่า 7 ประการถึงสองข้อได้แก่ลดความสูญเสียจากการเคลื่อนไหว (Motion) และลดความสูญเสียจากการรอคอย (Delay) อีกทั้งเพื่อความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงานที่อาจได้รับอันตรายจากกรดและความร้อนที่มาจากตัวของแบตเตอรี่ขณะทำงาน หรือขณะที่กำลังจะเสื่อมสภาพ

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. สร้างโมเดลระบบที่สามารถตอบโจทย์การทำงานของผู้ปฏิบัติงานในด้านการติดตามผลแบบอัตโนมัติ ในส่วนระบบพลังงานสำรอง(แบตเตอรี่)
2. ลดการสูญเสียตามหลักความสูญเสียเปล่า 7 ประการได้แก่ ความสูญเสียเนื่องจากการผลิตมากเกินไป (Overproduction), ความสูญเสียเนื่องจากการเก็บวัสดุคงคลัง (Inventory), ความสูญเสียเนื่องจากการขนส่ง (Transportation), ความสูญเสียเนื่องจากการเคลื่อนไหว (Motion), ความสูญเสียเนื่องจากระบวนการผลิต (Processing), ความสูญเสียเนื่องจากการรอคอย (Delay) และความสูญเสียเนื่องจากการผลิตของเสีย (Defect) ซึ่งทางผู้ทำโครงการมุ่งลดความสูญเสียจากการเคลื่อนไหว (Motion) และลดความสูญเสียจากการรอคอย (Delay)
3. สามารถเก็บข้อมูล และแจ้งเตือนสถานะของตัวแบตเตอรี่ผ่านระบบ IoT

## 1.3 ขอบเขตของโครงการ

1. ศึกษาการเขียนโปรแกรมด้วยภาษา C++ ผ่านซอฟต์แวร์ Arduino IDE
2. ศึกษาการใช้งานฮาร์ดแวร์ ESP-32S
3. ศึกษาการใช้งาน Platform “ThingsBoard”
4. ศึกษาการใช้งาน Application “Bylnk”
5. การวัดและแสดงผลแบตเตอรี่ที่อยู่ในระบบไฟฟ้าฉุกเฉินรุ่น “FIAMM MONOLITE 2SLA580” จำนวน 8 ลูก มีขนาดแรงดัน 2.1 ถึง 2.3 โวลต์ สภาพแวดล้อมเป็นห้องปิด มีระบบทำความเย็นให้ห้องมีอุณหภูมิอยู่ที่ 22 °C
6. ศึกษาโปรแกรม SPSS 22 เพื่อใช้หาสมการโดยวิธี Non-Linear Regression
7. ศึกษาตัวแปรที่ส่งผลต่ออายุการใช้งานแบตเตอรี่จากงานวิจัยอื่น ๆ

## 1.4 ขั้นตอนการศึกษาและแผนการทำงาน

1. ศึกษาการเขียนโปรแกรมด้วยภาษา C++ ผ่านซอฟต์แวร์ Arduino IDE
2. ศึกษาการใช้งานฮาร์ดแวร์ ESP-32S
3. ศึกษาการใช้งาน Platform “ThingsBoard”
4. ศึกษาการใช้งาน Application “Bylnk”
5. ศึกษาตัวแปรที่ส่งผลต่ออายุการใช้งานแบตเตอรี่จากงานวิจัยอื่น ๆ
6. จัดหาอุปกรณ์ในการทำชิ้นงาน
7. ลงมือทำชิ้นงาน
8. เก็บข้อมูล แรงดัน-อะนาล็อกจาก ESP-32S เพื่อหาสมการ
9. ทดสอบชิ้นงาน
10. ติดตั้งตัวชิ้นงานและเดินสายไฟ(ชั่วคราว)
11. ติดตามการทำงานของตัวชิ้นงานเป็นเวลา 7 วัน
12. วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ และจัดทำรูปเล่ม
13. นำเสนอชิ้นงานต่อผู้ปฏิบัติงานจริง

ตารางที่1.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

หัวข้อ	ส.ค.				ก.ย.				ต.ค.				พ.ย.			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
ศึกษาการเขียนโปรแกรมด้วยภาษา C++ ผ่านซอฟต์แวร์ Arduino IDE																
ศึกษาการใช้งานฮาร์ดแวร์ ESP-32S																
ศึกษาการใช้งาน Application “Bylnk”																
ศึกษาการใช้งาน Platform “ThingsBoard”																
ศึกษาตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่ออายุการใช้งานแบตเตอรี่จากงานวิจัยอื่น ๆ																
จัดหาอุปกรณ์ในการทำชิ้นงาน																
ลงมือทำชิ้นงาน																
เก็บข้อมูล แรงดัน-อะนาล็อก จากESP-32S เพื่อหาสมการ																
ทดสอบและปรับปรุงชิ้นงาน																
ติดตั้งตัวชิ้นงานและเดินสายไฟ (ชั่วคราว)																
ติดตามการทำงานของตัวชิ้นงานเป็นเวลา 5 วัน																
วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ และจัดทำรูปเล่ม																
นำเสนอชิ้นงานต่อผู้ปฏิบัติงานจริง																

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ลดเวลาในการเก็บข้อมูลค่าแรงดันแบตเตอรี่ลงจากการปฏิบัติงานแบบเดิมได้มาก
2. ลดความเมื่อยล้าของและอุบัติเหตุที่อาจเกิดกับผู้ปฏิบัติงานจากการปฏิบัติงานแบบเดิม
3. มีความสะดวกในการเข้าถึงข้อมูล และการแจ้งเตือนอุณหภูมิแบตเตอรี่สูงเกินกำหนด

## บทที่ 2

### เอกสารและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 กล่าวนำ

บทนี้เป็นกรกล่าวถึงเอกสารและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในการดำเนินโครงการสหกิจ ได้แก่ ข้อมูลของ Battery FIAMM SLA 2SLA580 , ความหมายของระบบIoT, ซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์ที่ใช้

#### 2.2 เอกสารที่เกี่ยวข้อง

##### 2.2.1 TEMPERATURE EFFECTS ON SEALED LEAD ACID BATTERIES AND CHARGING TECHNIQUES TO PROLONG CYCLE LIFE<sup>[1]</sup>

C-Rate: เนื่องจากการผลิตไฟฟ้าของแบตเตอรี่ขึ้นอยู่กับปฏิกิริยาทางเคมี โดยความจุที่มีอยู่จะขึ้นอยู่กับว่ามีสารจหรือคายประจุเร็วแค่ไหนเมื่อเทียบกับความจุทั้งหมด ความจรวมมักจะย่อเป็น C และเป็นตัววัดของพลังงานที่แบตเตอรี่สามารถเก็บได้ ซึ่งความจุที่มีอยู่จะน้อยกว่าความจุทั้งหมด กระแสของการชาร์จและคายประจุของแบตเตอรี่จะวัดด้วยอัตรา C โดยแบตเตอรี่แบบพกพาส่วนใหญ่จะมีค่าอยู่ประมาณ 1C ซึ่งหมายความว่าแบตเตอรี่ 1000 mAh จะให้กระแส 1,000mA เป็นเวลาหนึ่งชั่วโมงถ้าปล่อยในอัตรา 1C ในทางเดียวกันแบตเตอรี่ที่คายประจุที่ 0.5C จะให้ 500mA เป็นเวลาสองชั่วโมง ที่ 2C และแบตเตอรี่ 1000 mAh จะส่ง 2000mA เป็นเวลา 30 นาที ซึ่ง 1C มักถูกเรียกว่าการคายประจุหนึ่งชั่วโมง 0.5C และ 0.1C ก็คือการคายประจุ 2 ชั่วโมงและ 10 ชั่วโมงตามลำดับ

โดยทั่วไปความจุของแอมป์-ชั่วโมงของแบตเตอรี่จะถูกวัดในอัตราการคายประจุซึ่งจะปล่อยให้หมดใน 20 ชั่วโมง (เรียกว่าอัตรา C / 20) ความจุของแบตเตอรี่ SLA นั้นแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับอัตราการคายประจุจริงและมักจะสูงที่สุดในอัตรา 20 ชั่วโมง เช่นเมื่อแบตเตอรี่ SLA จ่ายกระแสไฟ 0.05C ซึ่งความจุปกติจึงขึ้นอยู่กับอัตราการคายประจุนี้ เวลาคายประจุที่ยาวนานขึ้นจะทำให้การอ่านค่าความจุสูงขึ้น หากพยายามที่จะคายประจุแบตเตอรี่เร็วกว่าอัตรา C / 20 จะทำให้แบตเตอรี่มีความจุน้อยลง และยิ่งความเป็ยเบนจากอัตรา C / 20 รุนแรงมากเท่าไร ความแตกต่างของความจุก็น่าจะยิ่งมากขึ้น อย่างไรก็ตามผลกระทบนี้จะไม่ใช่แบบเส้นตรง ความจุที่มีในอัตรา C / 100 (ใช้เวลา 100 ชั่วโมงในการคายประจุ) มีค่าเพิ่มขึ้นเพียง 10% จากอัตรา C / 20 เท่านั้น ในทางกลับกันความจุก็น่าจะลดลงเพียง 10% ที่อัตรา C / 8

**Depth of Discharge (DOD) and Cycle Life:** เป็นการวัดว่าแบตเตอรี่มีความสามารถในการคายประจุได้เพียงใด เมื่อแบตเตอรี่เต็ม 100% DOD จะเป็น 0% ในทางกลับกันเมื่อแบตเตอรี่หมด 100% DOD จะเป็น 100% การชาร์จแบตเตอรี่เมื่อประจุเหลือน้อย ๆ จะทำให้อายุการใช้งานของวงจรสั้นลง ซึ่งการคายประจุจนหมดจะทำให้เกิดความเครียดเพิ่มขึ้นและจะทำให้ความจุของแบตเตอรี่ลดลงทีละน้อยในทุก ๆ รอบ ลักษณะการสึกหรอนี้ยังใช้กับแบตเตอรี่ชนิดอื่น ๆ ได้อีกด้วย และเพื่อป้องกันไม่ให้แบตเตอรี่เกิดความเครียดจากการคายประจุที่ลึกซ้ำ ๆ จึงมีการแนะนำให้ใช้แบตเตอรี่ขนาดใหญ่เพื่อป้องกันปัญหาการสึกหรอนี้

หมายเหตุ: แรงดันของแบตเตอรี่จะต่ำกว่าจะลดลงอย่างรวดเร็วจนถึงจุดสิ้นสุดการคายประจุ แรงดันที่แนะนำทั่วไปเมื่อสิ้นสุดการคายประจุสำหรับแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดคือ 1.75V ต่อเซลล์

**Discharge Level:** จุดที่แรงดันเป็น 100% ของความจุที่ใช้งานได้หมดลง นั่นคือฟังก์ชันของอัตราการคายประจุ จุดสิ้นสุดของแรงดันดิสชาร์จ (EODV) ที่แนะนำคือฟังก์ชันของอัตราการคายประจุและตัวเลขเหล่านี้แสดงไว้ในตารางด้านล่าง โดยค่าที่มากกว่า 1.00C-10 ถือว่าเป็นอัตราการคายประจุต่ำ และมากกว่า 1.00C-10 ถือว่าเป็นอัตราการไหลที่สูง

ตารางที่ 2.1 EODV According to C-Rate

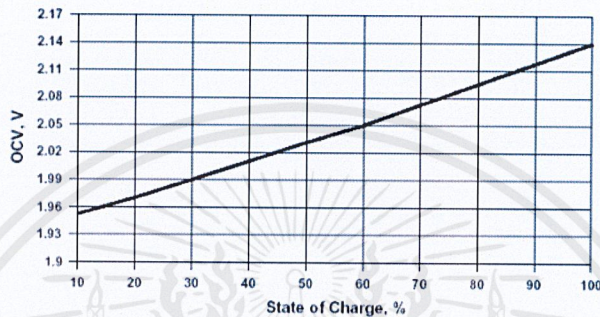
Discharge rate in amps	Suggested minimum EODV per cell
0.05C <sub>10</sub> (C <sub>10</sub> /20)	1.75V
0.10C <sub>10</sub> (C <sub>10</sub> /10)	1.70V
0.20C <sub>10</sub> (C <sub>10</sub> /5)	1.67V
0.40C <sub>10</sub> (C <sub>10</sub> /2.5)	1.65V
1.00C <sub>10</sub>	1.60V
2.00C <sub>10</sub>	1.55V
>5.00C <sub>10</sub>	1.50V

อัตราการคายประจุที่สูงนั้นเท่ากับ DOD ที่ต่ำ ในขณะที่อัตราการคายประจุที่ต่ำนั้นเป็นเหตุการณ์ที่อัตรา DOD ที่สูง จึงมีการแนะนำให้ใช้ EODV ที่สูงกว่าสำหรับ DOD ต่ำเพื่อป้องกันการคายประจุมากเกินไป อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดจะแปรผันโดยตรงกับความลึกของการปลดปล่อย จำนวนรอบการคายประจุ / ชาร์จทั่วไปที่ 25 ° C (77 ° F) ตามความลึกของการคายประจุคือ:

- 150 ถึง 200 รอบด้วยความลึก 100% ของการคายประจุ (การคายประจุเต็ม)
- 400 ถึง 500 รอบด้วยความลึก 50% ของการปลดปล่อย (การปลดปล่อยบางส่วน)
- 1,000 รอบขึ้นไปและมีความลึก 30% ของการคายประจุ

โดยทั่วไปแล้วแบตเตอรี่ SLA มีอายุการใช้งานประมาณ 300 - 500 รอบขึ้นอยู่กับความลึกของการคายประจุและอุณหภูมิในการทำงาน ซึ่งจะมีอายุสั้นกว่าอายุการใช้งานของ NiCad อย่างมาก ซึ่งเป็นผลมาจากการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีที่แผ่นบวกซึ่งค่อยๆทำให้พวกมันขยายตัวและเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบ ดังนั้นความสามารถในการชาร์จของ SLA จะลดลงอย่างช้า ๆ เนื่องจากแบตเตอรี่ถูกใช้จนครบรอบ

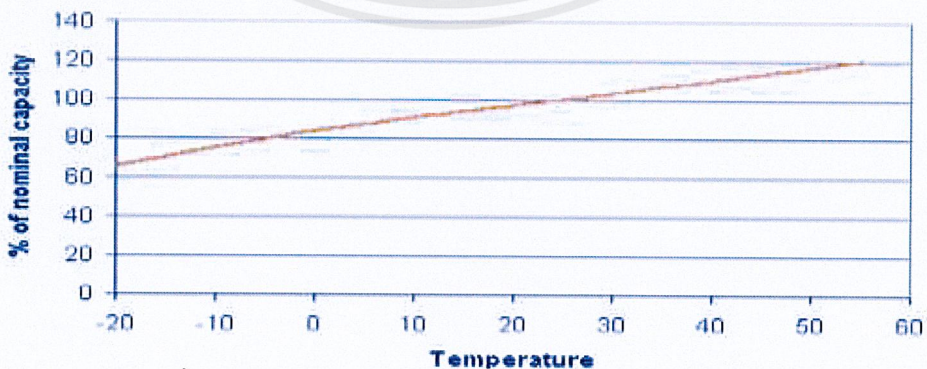
เหตุผลหลักสำหรับอายุการใช้งานที่สั้นลงหลังจากการปล่อยประจุเต็มจำนวนคือการกัดกร่อนของแผ่นขั้วบวก, การลดลงของวัสดุที่ใช้งานและการขยายตัวของแผ่นบวก การเปลี่ยนแปลงเหล่านี้เป็นผลมาจากอุณหภูมิการทำงานที่สูงขึ้น การชาร์จให้ครบจะไม่ได้ป้องกันหรือทำให้รอบการชาร์จกลับมาได้เหมือนเดิม ในสภาวะการใช้งานปกติ อายุการใช้งานของแบตเตอรี่แบบ stand-by จะอยู่ที่สี่หรือห้าปี (มากถึงสิบปีสำหรับสาย Hawker Cyclon) หรือระหว่าง 200 ถึง 1,000 รอบการชาร์จประจุต่อการปล่อยประจุ ขึ้นอยู่กับความลึกเฉลี่ย โดยด้านล่างเป็นตารางที่ให้ค่าประมาณของประจุของเซลล์ SLA



รูปที่ 2.1 State of Charge vs. Open Cell Voltage

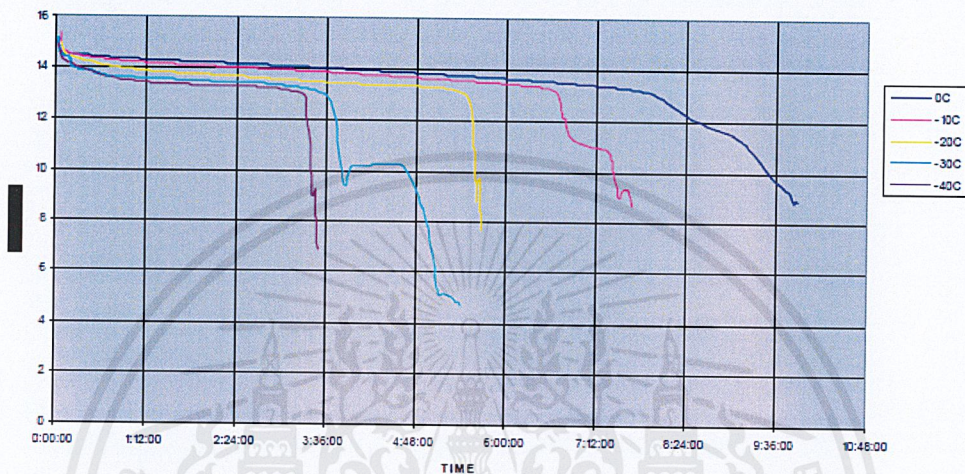
แบตเตอรี่ตะกั่วกรดโดยปกติไม่ควรปล่อยออกมาเกินกว่า 1.75V ต่อเซลล์และไม่ควรถูกเก็บไว้ในสถานะคายประจุ โดยต้องรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วให้อยู่ที่ 2.10V หรือสูงกว่าเสมอ การปล่อยให้แบตเตอรี่อยู่ในสภาพที่คายประจุออกมาจะทำให้เกิดการกลายเป็นซัลเฟต ซึ่งเป็นเงื่อนไขที่ทำให้แบตเตอรี่นั้นเสื่อมสภาพและประสิทธิภาพลดลง

**TEMPERATURE EFFECTS ON SLA CELLS:** อุณหภูมิในการทำงานที่เหมาะสมสำหรับแบตเตอรี่ตะกั่วกรดคือ 25 °C (77 °F) ซึ่งอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นทุก ๆ 8 °C (15 °F) จะทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ลดลงครึ่งหนึ่ง VRLA ซึ่งมีอายุการใช้งาน 10 ปีที่ 25 °C (77 °F) จะมีอายุการใช้งานเพียง 5 ปีหากทำงานที่ 33 °C (95 °F) ในทางทฤษฎีแบตเตอรี่ชนิดเดียวกันจะทนได้มากกว่าหนึ่งปีเล็กน้อยที่อุณหภูมิทะเลทราย 42 °C (107 °F) โดยกราฟต่อไปนี้ถูกนำออกมาจากแผ่นข้อมูล Hawker Cyclon และเป็นอุณหภูมิทั่วไปของเซลล์ SLA ส่วนใหญ่



รูปที่ 2.2 Effect of Temperature on Effective Capacity

กราฟข้างต้นแสดงให้เห็นถึงการทดลองในห้องอุณหภูมิ Sigma Systems C4 โดยมีการใช้โพลดีอิเล็กทริกส์เดียวกันทุกครั้ง และใช้มัลติมิเตอร์ FLUKE189 ที่มีความสามารถในการบันทึกข้อมูล นำไปติดต่อกับด้านบวกและด้านลบของก้อนแบตเตอรี่ จะมีการบันทึกข้อมูลตัวอย่างทุก ๆ สี่นาทิจ โดยจะเริ่มบันทึกเมื่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เริ่มทำงาน เมื่อแบตเตอรี่ลดลงต่ำกว่า 10 โวลต์ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์จะไม่ได้รับพลังงานอย่างเพียงพอ (ตัวแปลง DC เป็น DC ต้องการ > 10 โวลต์) และแบตเตอรี่นั้นถือว่าหมด 100%



รูปที่ 2.3 Effect of Temperature on Cycle Time of SLA Cells  
ตารางที่ 2.2 Battery Depletion Time At Different Cold Temperatures

Temperatures	Duration
0C	9:32
-10C	7:25
-20C	5:35
-30C	4:39
-40C	3:24

CHARGING CHARACTERISTICS: แบตเตอรี่ SLA ควรที่จะมีประจุเต็มตลอดเวลา เนื่องจากความบริสุทธิ์สูงของแผ่นตะกั่วดีบุก (ความบริสุทธิ์ตะกั่วเกินกว่า 99.99%) แบตเตอรี่ SLA สามารถถูกเก็บไว้โดยไม่มีการกำหนดเมื่อมีการประจุไฟอย่างต่อเนื่อง(float charge) แบตเตอรี่ตะกั่วกรดจะไม่สามารถชาร์จประจุให้เต็มได้เร็วเท่ากับแบตเตอรี่นิกเกิลหรือลิเทียม ต้องคำนึงถึงเวลาที่ใช้ในการชาร์จแบตเตอรี่ใหม่ รวมถึงเวลาพักเมื่อประจุไฟเต็มระหว่างการคายประจุในระดับลึก และระดับสูง เช่น หากต้องการชาร์จให้ได้ 100 แอมป์-ชั่วโมงใน 4 ชั่วโมง จะต้องใช้กระแสอย่างน้อย 25 แอมป์ ซึ่งในความเป็นจริง อาจจะต้องใช้ 30 ถึง 40 แอมป์หรือมากกว่านั้นและอาจจะต้องใช้เวลา 6 ถึง 8 ชั่วโมงในการชาร์จ เพราะวิธีการที่ตัวชาร์จและแบตเตอรี่ทำงานหลังจากที่แบตเตอรี่ชาร์จได้ 80%

หมายเหตุ: การชาร์จอีก 20% ที่เหลือจะยากและใช้เวลานานกว่าการชาร์จแบตเตอรี่ 80% แรก

**Charge Voltage Limits:** การหาขีดจำกัดแรงดันไฟฟ้าของการชาร์จที่เหมาะสมเป็นสิ่งสำคัญ แรงดันไฟฟ้าที่สูง (สูงกว่า 2.40V / เซลล์) จะให้สมรรถนะของแบตเตอรี่ที่ดี แต่อายุการใช้งานสั้นลง เนื่องจากการกัดกร่อนบนแผ่นบวก การกัดกร่อนจะเกิดถาวร แรงดันไฟฟ้าที่ต่ำ(ต่ำกว่า2.40V ต่อเซลล์) จะทำให้เกิดความปลอดภัยหากชาร์จที่อุณหภูมิสูงขึ้น แต่อาจมีการเกิดซัลเฟตบนแผ่นลบ โดยแผนภูมิต่อไปนี้แสดงให้เห็นถึงขีดจำกัดเหล่านี้

ตารางที่2.3 Characteristic of Charge Voltage Limits

Voltage Limit	2.30V to 2.35V/cell	2.40V to 2.45V/cell
<b>Advantage</b>	Maximum service life; battery remains cool during charge; ambient charge temperature may exceed 30°C (86°F).	Faster charge times; good, consistent capacity readings; less inclined to sulfation.
<b>Disadvantage</b>	Slow charge time; capacity readings may be inconsistent and declining with each cycle. Sulfation can occur if no topping charge is applied.	Not suitable for charging at high room temperatures. A hot battery may fail to reach the voltage limit, causing severe over charge. Subject to corrosion.

หมายเหตุ: หากแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่าที่ต้องการก็จะทำให้ความจุและประสิทธิภาพของ

แบตเตอรี่ VRLA เช่น ซีรีส์ Hawker Cyclon จะปลอดภัยจากการชาร์จไฟมากเกินไป ในกรณีที่มีการใช้ผิดประเภทหรือการใช้เซลล์ในทางที่ผิดอื่น ๆ ซึ่งจะทำให้ความดันภายในเซลล์เพิ่มขึ้น วาล์วจะปล่อยแรงดันเพื่อระบายแก๊ส การทิ้งแบตเตอรี่ไว้ที่การประจุไฟตลอดเวลาเป็นเวลานานจะไม่ทำให้เกิดความเสียหาย แบตเตอรี่ VRLA จะมีการคายประจุเองประมาณ 40% ต่อปี ซึ่งเป็นหนึ่งในแบตเตอรี่ที่สามารถนำกลับมาชาร์จใหม่ได้ดีที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับนิกเกิลแคดเมียมที่จะมีการคายประจุทุก ๆ สามเดือน

**Quick Charging:** แม้ว่าแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดจะต้องใช้เวลาในการชาร์จนาน แต่ก็สามารถชาร์จได้อย่างรวดเร็วในบางการใช้งาน การชาร์จอย่างรวดเร็วสามารถทำได้เมื่อต้องการพลังงานในระยะเวลาที่สั้นกว่าปกติ โดยตารางด้านล่างนี้เป็นตารางบางส่วนที่แสดงให้เห็นการชาร์จแบบเร็วในอัตราที่ต่างกัน

ตารางที่2.4 Quick Charging Rates and Returned Capacity

(1.5C <sub>10</sub> inrush current)		(2.5C <sub>10</sub> inrush current)	
Charge time at 2.45 vpc	Capacity returned	Charge time at 2.45 vpc	Capacity returned
17 min.	50%	12 min.	50%
27 min.	80%	19 min.	80%
31 min.	90%	24 min.	90%
60 min.	100%	40 min.	100%

ในขณะที่เซลล์ตะกั่ว-กรดสามารถทำการชาร์จได้อย่างรวดเร็ว แต่ก็ไม่จำเป็นต้องใช้ระยะเวลาในการชาร์จนานเพื่อยืดอายุการใช้งานของเซลล์ ซึ่งการชาร์จแบบกระแสดังกล่าวจะเป็นวิธีที่ดีที่สุดในการชาร์จไฟ ไม่ควรใช้วิธีชาร์จแบบแรงดันไฟฟ้าคงที่

**MULTISTAGE CHARGING:** การชาร์จแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดสามารถทำได้ด้วยตนเองด้วยแหล่งจ่ายไฟเชิงพาณิชย์ โดยคำนวณค่าแรงดันไฟฟ้าตามจำนวนเซลล์ ตัวอย่างเช่นการชาร์จแบตเตอรี่ 12 โวลต์ (6 เซลล์) โดยมีขีดจำกัดแรงดันไฟฟ้าของเซลล์ที่ 2.40V จะต้องมีการตั้งค่าแรงดันไฟฟ้าที่ 14.40V แบตเตอรี่ SLA มีช่วง 2.45-2.50 โวลต์ต่อเซลล์

ในขั้นแรก ตั้งค่าอุปกรณ์ชาร์จ(แหล่งจ่ายไฟ)เป็น 2.45V สำหรับแต่ละเซลล์ ข้อสำคัญคือต้องตั้งแหล่งจ่ายไฟในขณะที่ไม่ได้ต่อกับชุดแบตเตอรี่เนื่องจากชุดจะคายประจุผ่านแหล่งจ่ายไฟ หลังจากตั้งค่าแหล่งจ่าย ให้ติดตั้งแหล่งจ่ายที่แบตเตอรี่และเริ่มจ่ายไฟ กระแสไฟเริ่มต้นจะมีกระแสที่สูง (อาจสูงเทียบเท่ากับที่แหล่งจ่ายไฟสามารถรับได้) จากนั้นจะค่อยๆลดน้อยลงจนเหลือ 100mA แม้ว่าขั้นตอนนี้สามารถไปถึงได้ในเวลาน้อยกว่าหนึ่งชั่วโมง แต่ขั้นตอนที่ดีที่สุด (โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากมีการคายประจุออกมา 100%) ก็คือทิ้งไว้ในการตั้งค่านี้นี้ 8-16 ชั่วโมง ซึ่ง 12 ชั่วโมงจะเป็นค่าที่เหมาะสมที่สุด ก้อนแบตเตอรี่จะมีการชาร์จไฟได้ประมาณ ~ 80%

จากนั้นถอดแหล่งจ่ายไฟออกจากก้อนแบตเตอรี่แล้วตั้งค่าระดับแรงดันของแหล่งจ่ายเป็น 2.27V ต่อเซลล์ ใส่ชุดแบตเตอรี่กลับคืนและทิ้งไว้อีก 8-16 ชั่วโมง ซึ่งเวลา 12 ชั่วโมงก็เป็นเวลาที่เหมาะสม การตั้งค่าสุดท้ายนี้คือการชาร์จแบบ "topping" หรือ "float" ซึ่งสามารถเก็บก้อนแบตเตอรี่ไว้ในการตั้งค่านี้อย่างไม่มีกำหนด เนื่องจากจะมีการชดเชยการคายประจุจากวิธี float charging นี้เอง

**Float Charging:** เมื่อมีการชาร์จแบตเตอรี่ จะส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วเพิ่มขึ้นและความต้านทานภายในลดลง โดยเมื่อชาร์จเต็ม จะทำการไหลของกระแสไฟฟ้าจากประจุซึ่งจะอยู่ในสถานะชาร์จเต็ม ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส การตั้งค่าแรงดันไฟฟ้าที่แนะนำสำหรับการประจุไฟตลอดเวลาคือ 2.27 ถึง 2.35 โวลต์ต่อเซลล์ การประจุไฟตลอดเวลาหมายความว่าผู้ใช้สามารถเพียงแค่ "เสียบ" เครื่องชาร์จเมื่อใดก็ตามที่เขาไม่ได้ใช้แบตเตอรี่ แบตเตอรี่จะถูกชาร์จและเก็บไว้ในสภาพพร้อมใช้งาน ซึ่งก็สามารถที่จะชาร์จแบตเตอรี่ได้เรื่อย ๆ โดยที่ไม่ต้องรอให้แบตเตอรี่หมดก่อนแล้วถึงค่อยมาชาร์จ แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดควรที่จะมีการประจุไฟอยู่ตลอดเวลาหรือชาร์จใหม่เมื่อใดก็ตามที่ไม่ได้ใช้งาน

อายุของแบตเตอรี่จะมีผลต่อแต่ละเซลล์ต่างกัน หากเชื่อมต่อเซลล์เป็นอนุกรม แทนจะเป็นไปไม่ได้เลยที่จะควบคุมแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แต่ละเซลล์ในระหว่างการชาร์จได้อย่างแท้จริง แม้จะได้แรงดันไฟฟ้าโดยรวมที่ถูกต้อง ก็อาจจะมีเซลล์ที่ประสิทธิภาพด้อยกว่าเซลล์อื่น อาจต้องเปลี่ยนเซลล์ที่ประสิทธิภาพด้อยกว่านั้นออกไปเพื่อไม่ให้เซลล์อื่นเสียหาย

## 2.2.2 Battery FIAMM SLA 2SLA580<sup>[2]</sup>

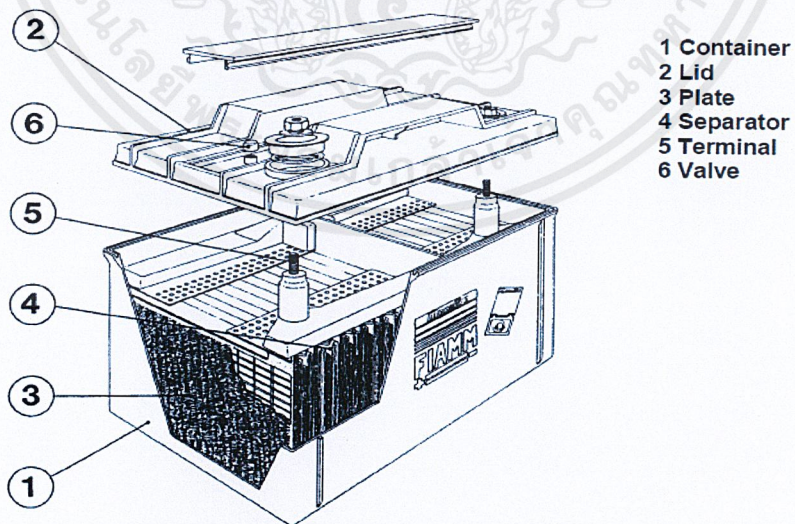
เป็นแบตเตอรี่ชนิด lead-acid โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- FLOAT VOLTAGE CHARGE AT 20°C: 2.27 V/cell.
- Short Circuit Current 10800 A
- Internal Resistance 0.19 mΩ
- Weight 37 kg
- Valve Regulate Lead Acid (VRLA)



รูปที่ 2.4 Battery FIAMM SLA 2SLA580

(ที่มา: <https://www.blueboxbatteries.co.uk/brands/fiamm/monolite-sla/2sla580-2v-580ah-battery>)



รูปที่ 2.5 ภาพตัดของแบตเตอรี่รุ่น 4 SLA 150 SEALED BLOC

(ที่มา: FIAMM, 2007. Page 7. MONOLITE Valve regulated Recombination Batteries – Engineering manual)

## 2.2.3 การทดสอบ บำรุงรักษาและการบำรุงรักษาเชิงป้องกันแบตเตอรี่ชนิด VRLA

มาตรฐานส่วนใหญ่ที่ใช้ในการทดสอบ

- 1.IEEE 450, “Recommended Practice for Maintenance, Testing and Replacement of Vented Lead-Acid Batteries for Stationary Applications”<sup>[11]</sup>
- 2.IEEE 1188, “Recommended Practice for Maintenance, Testing and Replacement of Valve-Regulated Lead-Acid Batteries for Stationary Applications”<sup>[12]</sup>
- 3.IEEE 1106, “Recommended Practice for Installation, Maintenance, Testing and Replacement of Vented Nickel-Cadmium Batteries for Stationary Applications”<sup>[13]</sup>

ตารางที่ 2.5 วาระการบำรุงรักษาแบตเตอรี่ชนิด VRLA<sup>[10]</sup>

4 Calendar Months	6 Calendar Months	18 Calendar Months	6 Calendar Months
Verify station DC supply voltage	Inspect condition of all individual units by measuring battery cell / unit internal ohmic values	Verify float voltage of battery charger	Verify that the station battery can perform as manufactured by evaluating cell / unit measurements indicative of battery performance (e.g. internal ohmic values or float current) against the station battery baseline. <b>OR</b>
Inspect for un-intentional grounds		Verify battery terminal connection resistance	
		Verify battery inter-cell or unit-to-unit connection resistance	<b>3 Calendar Years</b>
	Verify battery continuity	Verify that the battery can perform as manufactured by conducting a performance or modified performance tests.	
			Inspect physical condition of battery rack

ตารางที่ 2.6 เปรียบเทียบระหว่างวาระการตรวจสอบตามมาตรฐานและวาระของโรงไฟฟ้า

พระนครเหนือ

วาระ	มาตรฐาน IEEE & NERC PRC-005	โรงไฟฟ้าพระนครเหนือ
4 เดือน	- ตรวจสอบแหล่งจ่าย DC ที่ต่อกับแบตเตอรี่ - ตรวจสอบกราวด์ที่ต่อกับแบตเตอรี่	- ตรวจสอบแรงดันและความต้านทานภายในของแบตเตอรี่แต่ละเซลล์
4 ปี	- มีการทดสอบการคายประจุเพื่อตรวจเช็คประสิทธิภาพการทำงานของแบตเตอรี่	- มีการคายประจุบางส่วนเพื่อให้แบตเตอรี่ได้ทำงานและเพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพ

## วิธีการทดสอบโดยสังเขป<sup>[12][15]</sup>

### 1.VRLA Battery Capacity Testing Procedure

- การทดสอบความจุของแบตเตอรี่ชนิด VRLA
- ตามมาตรฐาน IEEE-1188
- ใช้เวลาในการทดสอบ 8 ชั่วโมงและแรงดันของแบตเตอรี่เหลือ 1.75 โวลต์

### 2.การตรวจสอบด้วยสายตา

- การตรวจสอบด้วยสายตาจะระบุถึงรอยแตกรอยร้าวและการกัดกร่อน

### 3.การทดสอบแรงดันไฟฟ้า

- แรงดันที่เมื่อมีการประจุไฟตลอดเวลาต่ำแสดงว่าเซลล์ชาร์จไม่เต็มและไม่สามารถจ่ายกำลังไฟได้เต็มที่ซึ่งอาจเป็นตัวบ่งชี้ว่าเกิดซัลเฟตที่แผ่นตะกั่ว แรงดันที่เมื่อมีการประจุไฟตลอดเวลาสูง เป็นตัวบ่งชี้การชาร์จไฟมากเกินไป ซึ่งจะทำให้เกิดการกัดกร่อนที่แผ่นตะกั่วและส่งผลให้อุณหภูมิในแบตเตอรี่สูงขึ้นแบตเตอรี่

### 4.กระแสเมื่อมีการประจุไฟตลอดเวลา (Float current )

- สามารถระบุความผิดพลาดของการลัดวงจร / กราวด์หรือเป็นสัญญาณของแรงดันที่เมื่อมีการประจุไฟตลอดเวลาสูงเกินไป กระแสเมื่อมีการประจุไฟตลอดเวลาที่ไม่ถูกต้องจะแสดงว่ามีบางอย่างผิดปกติ

### 5.กระแสไฟกระเพื่อม (Ripple current)

- ระลอกคลื่นที่มากเกินไปจะทำให้เกิดความร้อนภายในแบตเตอรี่ร้อน กระแสไฟกระเพื่อมไม่ควรเกิน 5A สำหรับทุก ๆ 100Ah

### 6.การทดสอบอุณหภูมิ

- อุณหภูมิมีความสำคัญอย่างยิ่งสำหรับแบตเตอรี่เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงจะลดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่

### 7.การวัดแรงโน้มถ่วงที่เฉพาะเจาะจง

- จะเป็นการอ่านอัตราส่วนของความหนาแน่นของของเหลวต่อความหนาแน่นของน้ำ การวัดแรงโน้มถ่วงที่เฉพาะเจาะจงในแบตเตอรี่จะระบุว่ามิซัลเฟตอยู่ในอิเล็กโทรไลต์มากเพียงใด ซึ่งจะให้ข้อมูลเกี่ยวกับ SOC(สถานะการชาร์จ)

### 8.การทดสอบความต้านทาน

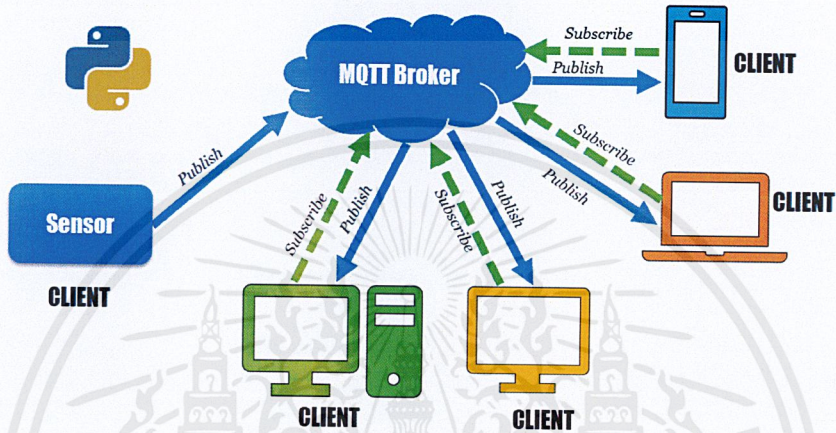
- การทดสอบความต้านทานไม่ได้วัดความจุของแบตเตอรี่ แต่มันเป็นตัวบ่งชี้ของ SOH(สุขภาพของแบตเตอรี่)ของแบตเตอรี่

### 9.การทดสอบการคายประจุ

- การทดสอบการปล่อยประจุเป็นรูปแบบการทดสอบเพียงรูปแบบเดียวที่สามารถระบุความจุจริงได้

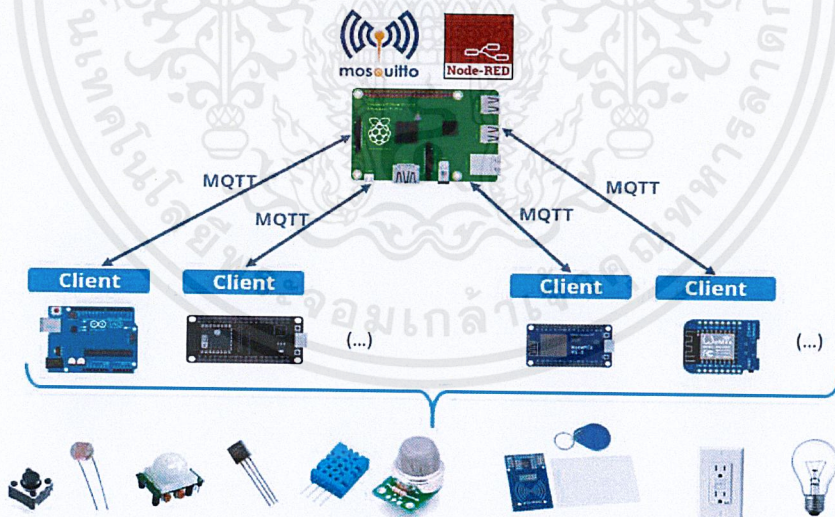
## 2.2.4 ความหมายของระบบIoT

“IoT is a network of physical objects with embedded electronics that collect and share data” (Asst. Prof. Dr.Theerayod Wiangtong, Instruction Media of KMITL “Microcontroller IoT Demo”. P. 3) ซึ่งแปลได้ว่า IoT คือเครือข่ายของอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ควบคุมโดยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งใช้ในการเก็บและแบ่งปันข้อมูล โดยหลักการทำงานสามารถอธิบายได้ด้วยภาพถัดไปนี้



รูปที่ 2.6 Internet of Things: MQTT (1)

(ที่มา: Asst. Prof. Dr.Theerayod Wiangtong, Instruction Media of KMITL “Microcontroller IoT Demo”, P. 4)



รูปที่ 2.7 Internet of Things: MQTT (2)

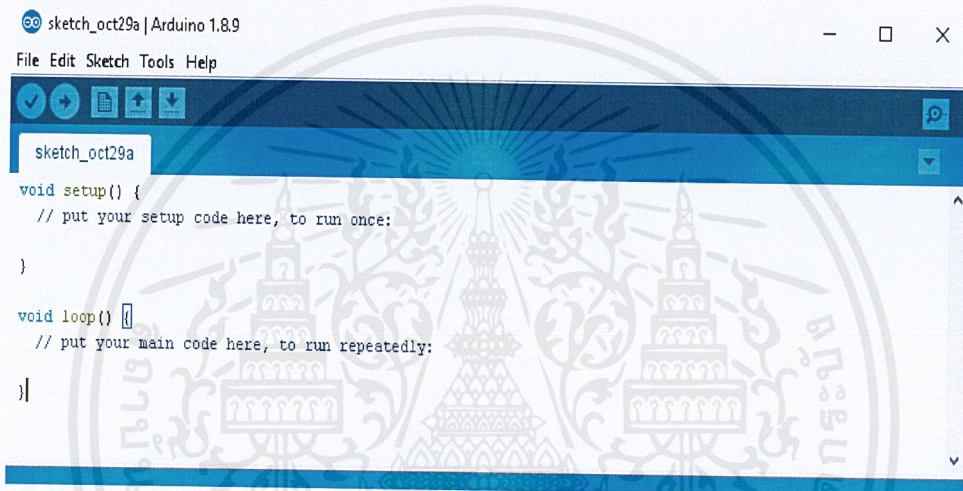
(ที่มา: Asst. Prof. Dr.Theerayod Wiangtong, Instruction Media of KMITL “Microcontroller IoT Demo”, P. 5)

จากรูปจะเห็นได้ว่าตัวไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นเป็นตัวกลางสื่อสารระหว่างผู้ใช้และอุปกรณ์ ซึ่งรวมไปถึงการอ่านค่า หรือสั่งการระยะไกลตราปใดที่ยังสามารถเชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ตได้

## 2.3 ซอฟต์แวร์ที่เกี่ยวข้อง

### 2.3.1 Arduino IDE

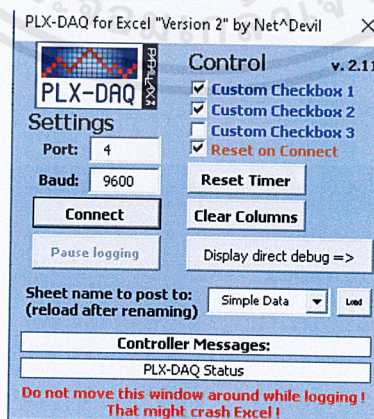
เป็นซอฟต์แวร์สำหรับใช้เขียนโปรแกรมด้วยภาษา C/C++ เพื่อที่จะคอมไพล์ (Compile) และอัปโหลด (Upload) โปรแกรมลงบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller Board) ผ่านสาย USB ซึ่งการเขียนโปรแกรมนั้นการอ้างอิงไลบรารี (Library) ถือเป็นสิ่งสำคัญ ทั้งนี้ไลบรารีขึ้นอยู่กับชนิดของบอร์ด หรือฮาร์ดแวร์ตัวอื่น ๆ ที่ใช้ด้วย แต่ถ้าหากการเขียนโปรแกรมนั้นใช้เพียงฟังก์ชันพื้นฐานก็ไม่จำเป็นต้องหาไลบรารีเหล่านั้นมาเพิ่ม โดยปัจจุบัน (พ.ศ.2562, ต.ค.) ตัวโปรแกรมอยู่ในเวอร์ชัน 1.8.10 อีกทั้งยังเหมาะสำหรับผู้ใช้งานระดับเริ่มต้น หรือนักพัฒนาที่ต้องการทำเพียงอุปกรณ์เพื่อเป็นโมเดลแบบจำลอง



รูปที่ 2.8 Arduino IDE

### 2.3.2 PLX-DAQ

เป็นซอฟต์แวร์ที่ใช้สำหรับดึงค่าจากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ผ่านตัวซอฟต์แวร์ Arduino IDE ในขณะที่ยังเชื่อมต่อกันผ่าน USB (อยู่ในสถานะเชื่อมต่อถึงกัน) โดยค่าที่ดึงมาได้นั้นจะปรากฏใน Microsoft Excel ซึ่งการที่จะดึงค่ามาได้นั้นต้องเขียนโปรแกรมลงไปด้วย



รูปที่ 2.9 PLX-DAQ for Excel

### 2.3.3 Microsoft Excel

ซอฟต์แวร์นี้เป็นที่รู้จักกันอย่างกว้างขวาง เนื่องจากใช้กันอย่างแพร่หลายทั้งในระดับการศึกษา จนถึงระดับงานวิจัยเชิงพาณิชย์ ด้วยฟังก์ชันการใช้งานที่หลากหลายจึงตอบโจทย์ผู้ใช้ได้อย่างดี ซึ่งในโครงการสหกิจจึงใช้เพื่อวิเคราะห์ข้อมูล และดูรูปแบบของกราฟเมื่อทำการพล็อตข้อมูลลงไป รวมถึงใช้ร่วมกับตัวซอฟต์แวร์ PLX-DAQ ในการดึงข้อมูลจากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์

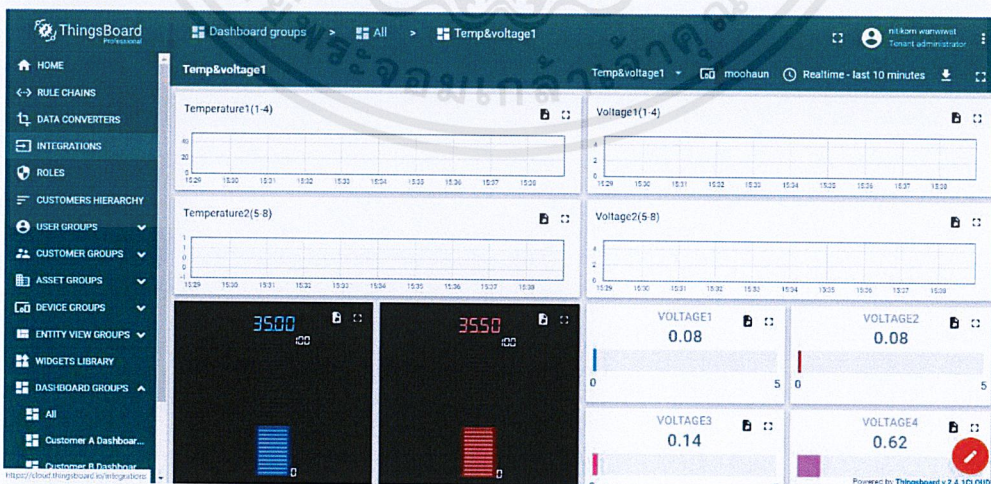
### 2.3.4 Statistical Package for the Social Sciences : SPSS

[3] “...เป็นโปรแกรมที่มีประสิทธิภาพสูง ในการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ และการจัดการข้อมูลต่าง ๆ ผู้ใช้โปรแกรมสามารถวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติประเภทต่าง ๆ และแสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลออกมาในรูปของตาราง หรือแผนภูมิชนิดต่าง ๆ ได้ทั้งแบบ ๒ มิติ และ ๓ มิติ...” จากที่กล่าวมาตัวโปรแกรมนี้ไม่ค่อยมีความซับซ้อนใช้งาน อีกทั้งยังมีฟังก์ชันในการหาสมการความสัมพันธ์ของข้อมูล ซึ่งจำเป็นต่อการทำโครงการในครั้งนี้โดยเฉพาะการหาสมการ Non-Linear Regression

### 2.3.5 ThingsBoard

[4] ซอฟต์แวร์ที่แจกจ่ายให้ทดลองใช้ฟรี โดยสามารถนำไปใช้ในการควบคุม จัดการและพัฒนางานด้าน IoT โดยมีคุณสมบัติดังนี้

- เป็นตัวกลางในการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์กับอุปกรณ์ และอุปกรณ์กับผู้ใช้
- เก็บข้อมูลและแสดงผลข้อมูล
- ควบคุมอุปกรณ์จากระยะไกล
- การลำดับความต่อเนื่องของอุปกรณ์
- สามารถตั้งผู้รับผิดชอบงานหลายคนได้
- สามารถเซฟไฟล์ในรูปแบบของ CSV หรือ XLS ได้ เพื่อนำไปวิเคราะห์ข้อมูลต่อได้
- สามารถผสาน แพลตฟอร์ม รวมกันได้



รูปที่ 2.10 ThingsBoard

### 2.3.6 Blynk

เป็นแอปพลิเคชันบนมือถือที่มีเซิร์ฟเวอร์เป็นของตัวเอง ซึ่งถือว่าเป็นแอปพลิเคชันสำเร็จรูปที่สามารถใช้ได้เลยโดยไม่ต้องเขียนโปรแกรมขึ้นมาเอง เพียงแค่เขียนการเชื่อมต่อลงในบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยแอปพลิเคชันตัวนี้สามารถแสดงผล หรือรับค่าเพื่อส่งไปยังตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ เช่น การสั่งเปิดปิดแสงสว่าง หรือการส่งค่าอุณหภูมิ เป็นต้น



รูปที่ 2.11 รูปแบบการแสดงผลบน Application Blynk

## 2.4 ฮาร์ดแวร์ที่ใช้

### 2.4.1 Gouuuu ESP-32

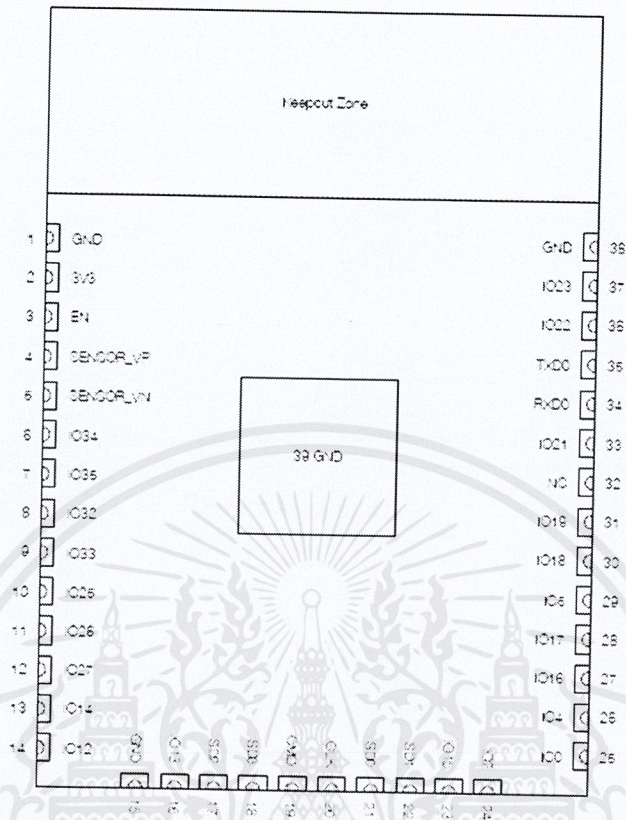
เป็นบอร์ดที่ใช้ ESP32 เป็นชิปไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มาพร้อม WiFi มาตรฐาน 802.11 b/g/n และบลูทูธเวอร์ชัน 4.2 เพียงแต่ทำการดีไซน์ใหม่ ซึ่งคุณสมบัติต่าง ๆ เป็นไปตามตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2.7 ESP32-WROOM-32 Specifications

Categories	Items	Specifications
Certification	RF certification	FCC/CE-RED/IC/TELEC/KCC/SRRC/NCC
	Wi-Fi certification	Wi-Fi Alliance
	Bluetooth certification	BQB
	Green certification	RoHS/REACH
Test	Reliability	HTOL/HTSL/uHAST/TCT/ESD

Categories	Items	Specifications
Wi-Fi	Protocols	802.11 b/g/n (802.11n up to 150 Mbps) A-MPDU and A-MSDU aggregation and 0.4 $\mu$ s guard interval support
	Frequency range	2.4 GHz ~2.5 GHz
Bluetooth	Protocols	Bluetooth v4.2 BR/EDR and BLE specification
	Radio	NZIF receiver with -97 dBm sensitivity
		Class-1, class-2 and class-3 transmitter
		AFH
Audio	CVSD and SBC	
Hardware	Module interfaces	SD card, UART, SPI, SDIO, I <sup>2</sup> C, LED PWM, Motor PWM, I <sup>2</sup> S, IR, pulse counter, GPIO, capacitive touch sensor, ADC, DAC
	On-chip sensor	Hall sensor
	Integrated crystal	40 MHz crystal
	Integrated SPI flash	4 MB
	Operating voltage/Power supply	3.0 V ~3.6 V
	Operating current	Average: 80 mA
	Minimum current delivered by power supply	500 mA
	Recommended operating temperature range	-40 °C ~+85 °C
	Package size	(18.00±0.10) mm × (25.50±0.10) mm × (3.10±0.10) mm
	Moisture sensitivity level (MSL)	Level 3

## ฟังก์ชันการใช้งานของแต่ละ Pin



รูปที่ 2.12 ESP32-WROOM-32 Pin Layout (Top View)

(ที่มา: Espressif Systems. 2019. Page 3. ESP32-WROOM-32 Datasheet.)

[7] จากรูปข้างต้นเป็นฟังก์ชันต่าง ๆ ที่อยู่ในแต่ละขา ซึ่ง ESP32-WROOM-32 มีทั้งหมด 38 ขา และมีการอธิบายฟังก์ชันต่าง ๆ ตามตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2.6 ESP32-WROOM-32 Pin Description

Name	No.	Type	Function
GND	1	P	Ground
3V3	2	P	Power supply
EN	3	I	Module-enable signal. Active high.
SENSOR_VP	4	I	GPIO36, ADC1_CH0, RTC_GPIO0
SENSOR_VN	5	I	GPIO39, ADC1_CH3, RTC_GPIO3
IO34	6	I	GPIO34, ADC1_CH6, RTC_GPIO4
IO35	7	I	GPIO35, ADC1_CH7, RTC_GPIO5
IO32	8	I/O	GPIO32, XTAL_32K_P (32.768 kHz crystal oscillator input), ADC1_CH4, TOUCH9, RTC_GPIO9
IO33	9	I/O	GPIO33, XTAL_32K_N (32.768 kHz crystal oscillator output), ADC1_CH5, TOUCH8, RTC_GPIO8

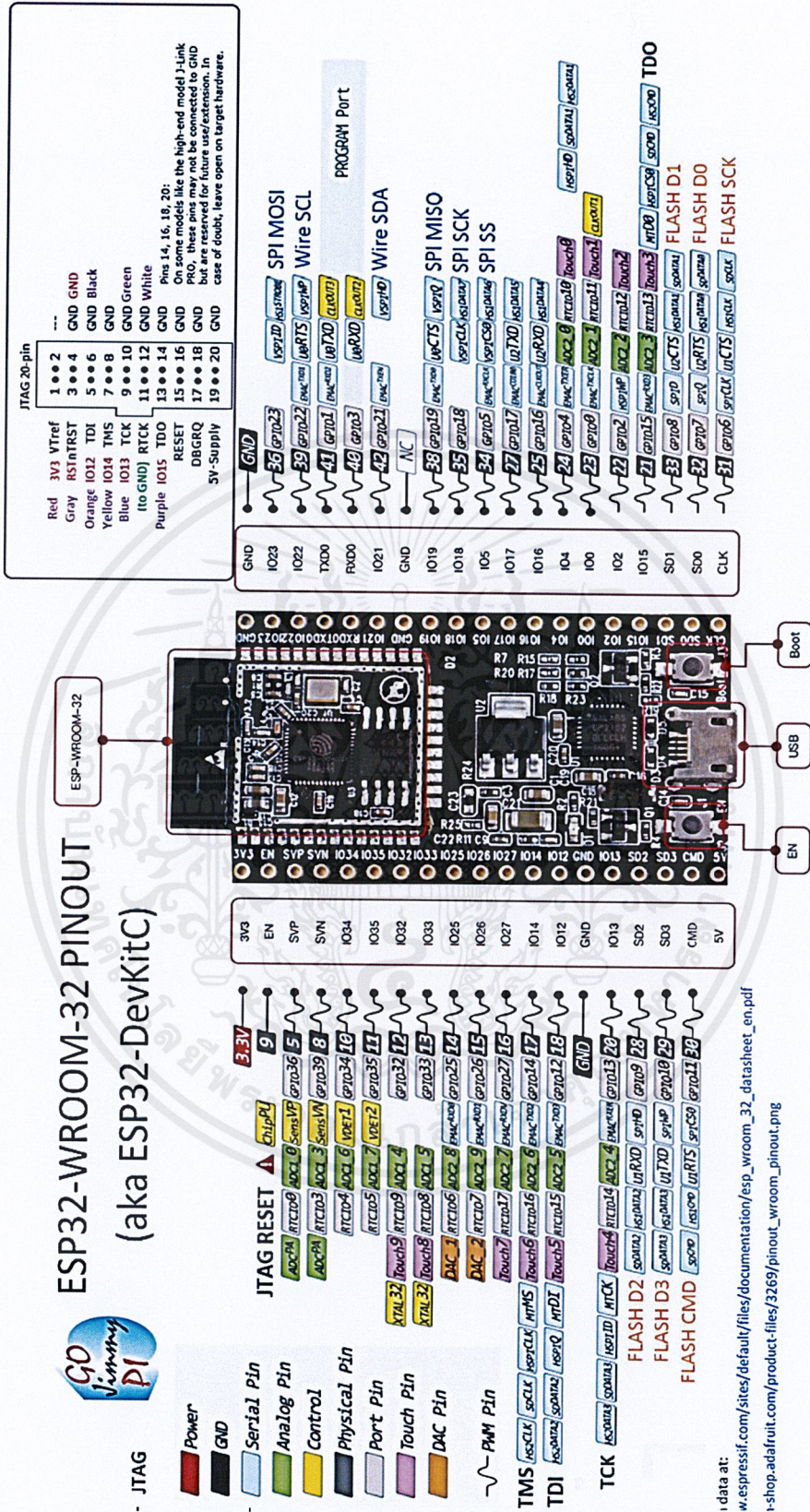
Name	No.	Type	Function
IO25	10	I/O	GPIO25, DAC_1, ADC2_CH8, RTC_GPIO6, EMAC_RXD0
IO26	11	I/O	GPIO26, DAC_2, ADC2_CH9, RTC_GPIO7, EMAC_RXD1
IO27	12	I/O	GPIO27, ADC2_CH7, TOUCH7, RTC_GPIO17, EMAC_RX_DV
IO14	13	I/O	GPIO14, ADC2_CH6, TOUCH6, RTC_GPIO16, MTMS, HSPICLK, HS2_CLK, SD_CLK, EMAC_TXD2
IO12	14	I/O	GPIO12, ADC2_CH5, TOUCH5, RTC_GPIO15, MTDI, HSPIQ, HS2_DATA2, SD_DATA2, EMAC_TXD3
GND	15	P	Ground
IO13	16	I/O	GPIO13, ADC2_CH4, TOUCH4, RTC_GPIO14, MTCK, HSPID, HS2_DATA3, SD_DATA3, EMAC_RX_ER
SHD/SD2*	17	I/O	GPIO9, SD_DATA2, SPIHD, HS1_DATA2, U1RXD
SWP/SD3*	18	I/O	GPIO10, SD_DATA3, SPIWP, HS1_DATA3, U1TXD
SCS/CMD*	19	I/O	GPIO11, SD_CMD, SPICS0, HS1_CMD, U1RTS
SCK/CLK*	20	I/O	GPIO6, SD_CLK, SPICLK, HS1_CLK, U1CTS
SDO/SD0*	21	I/O	GPIO7, SD_DATA0, SPIQ, HS1_DATA0, U2RTS
SDI/SD1*	22	I/O	GPIO8, SD_DATA1, SPID, HS1_DATA1, U2CTS
IO15	23	I/O	GPIO15, ADC2_CH3, TOUCH3, MTDO, HSPICS0, RTC_GPIO13, HS2_CMD, SD_CMD, EMAC_RXD3
IO2	24	I/O	GPIO2, ADC2_CH2, TOUCH2, RTC_GPIO12, HSPIWP, HS2_DATA0, SD_DATA0
IO0	25	I/O	GPIO0, ADC2_CH1, TOUCH1, RTC_GPIO11, CLK_OUT1, EMAC_TX_CLK
IO4	26	I/O	GPIO4, ADC2_CH0, TOUCH0, RTC_GPIO10, HSPIHD, HS2_DATA1, SD_DATA1, EMAC_TX_ER
IO16	27	I/O	GPIO16, HS1_DATA4, U2RXD, EMAC_CLK_OUT
IO17	28	I/O	GPIO17, HS1_DATA5, U2TXD, EMAC_CLK_OUT_180
IO5	29	I/O	GPIO5, VSPICS0, HS1_DATA6, EMAC_RX_CLK
IO18	30	I/O	GPIO18, VSPICLK, HS1_DATA7
IO19	31	I/O	GPIO19, VSPIQ, U0CTS, EMAC_TXD0
NC	32	-	-
IO21	33	I/O	GPIO21, VSPIHD, EMAC_TX_EN
RXD0	34	I/O	GPIO3, U0RXD, CLK_OUT2
TXD0	35	I/O	GPIO1, U0TXD, CLK_OUT3, EMAC_RXD2
IO22	36	I/O	GPIO22, VSPIWP, U0RTS, EMAC_TXD1
IO23	37	I/O	GPIO23, VSPID, HS1_STROBE
GND	38	P	Ground

# ESP32-WROOM-32 PINOUT (aka ESP32-DevKitc)



รูปที่ 2.13 ฟังก์ชันการใช้งานขาต่าง ๆ ของ DevKitC V2 ESP32

(ที่มา: <http://www.robotsiam.com/product/114/gouuu-esp32-development-board-wifi-bluetooth>)



## 2.4.2 MAX-6675 and Thermocouple Type K

[5] ไอซีสำหรับเชื่อมต่อกับเทอร์โมคัปเปิลเพื่อแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัล และตัวขยายสัญญาณ เพื่อส่งข้อมูลให้บอร์ดประมวลผล ในการเชื่อมต่อกับไอซี MAX6675 โดยใช้ขาของบัส SPI จะใช้เพียงขา CS, SCK และ MISO ข้อมูลจะถูกส่งออกมาจากไอซี (ขา MISO) ทีละบิต เป็นการเลื่อนบิตแบบ MSB First ตามจังหวะของสัญญาณ SCK ทั้งหมด 16บิต เป็นข้อมูลขนาด 12 บิต

คุณสมบัติ

- แรงดันที่ใช้ 3.0V ~ 5.0V
- ช่วงอุณหภูมิการวัด 0°C to 1024°C
- ความละเอียด 12 bit
- ความแม่นยำในการวัด (20°C to 80°C ) ±3°C
- ความละเอียดของอุณหภูมิ 0.25 °C

## 2.4.3 Cable TRONIC-CY (LiY-CY) 2x0.75 mm<sup>2</sup> (AWG. 19)

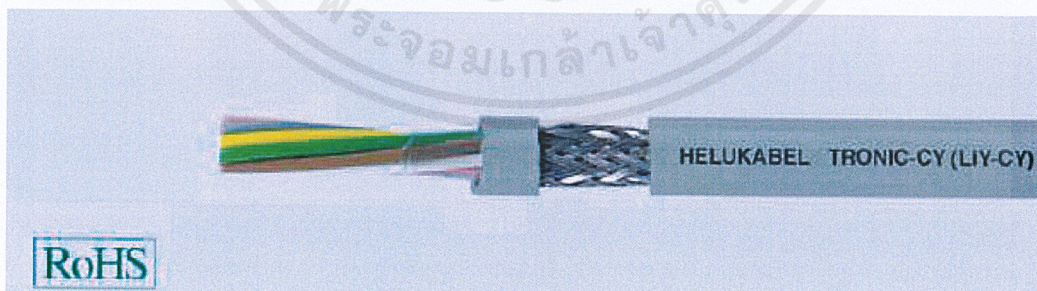
[6] สายส่งข้อมูลสำหรับการควบคุมทางอิเล็กทรอนิกส์ สายมีฉนวนเป็น PVC โดยมีรายละเอียดข้อมูลต่าง ๆ ดังนี้

คุณสมบัติ

- ทนน้ำมันและสารเคมี
- วัสดุที่ใช้ในการผลิตเป็นแบบ Cadmium-free และไม่มีสารที่ส่งผลกระทบต่อสารเคมีซึ่งเคลือบอยู่บนสายไฟเมื่อสายไฟอยู่ในสภาวะเปียก

การนำไปใช้

- ใช้งานได้ทั้งในที่แห้งและเปียก แต่จะไม่เหมาะกับการใช้ในที่โล่ง
- ใช้ในงานด้านอิเล็กทรอนิกส์ คอมพิวเตอร์ และการวัดต่าง ๆ

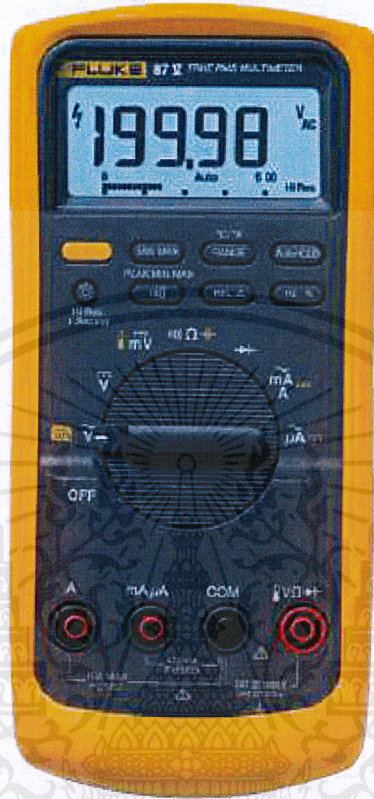


รูปที่ 2.14 สาย TRONIC-CY (LiY-CY)

(ที่มา: HELUKABLE. 2015. TRONIC-CY (LiY-CY). CW&A Edition 27, p. 131.)

### 2.4.3 Multimeter Fluke 87V

เครื่อง Multimeter Fluke 87V ใช้เป็นตัวอ้างอิงแรงดันไฟฟ้า(DC) โดยใช้เทียบกับค่าที่ได้จากบอร์ด Goouuu ESP32 เพื่อหาสมการ



รูปที่ 2.15 Multimeter Fluke 87V

(ที่มา: [https://dam-assets.fluke.com/s3fs-public/2137623\\_6116\\_ENG\\_B\\_W.PDF](https://dam-assets.fluke.com/s3fs-public/2137623_6116_ENG_B_W.PDF))

ตารางที่ 2.8 Specifications of 80 Series V Industrial True-RMS Multimeter with Temperature<sup>[8]</sup>

Function	Range and resolution	Basic accuracy	
		83V	87V
DC Volts	600.0 mV, 6.000 V, 60.00 V, 600.0 V, 1000 V	0.1 %	0.05 %
AC Volts	600.0 mV, 6.000 V, 60.00 V, 600.0 V, 1000 V	0.5 %	0.7 % (True-rms)
DC Current	600.0 $\mu$ A, 6000 $\mu$ A, 60.00 mA, 600.0 mA, 6.000 A, 10.00 A	0.4 %	0.2 %

Function	Range and resolution	Basic accuracy	
		83V	87V
AC Current	600.0 $\mu$ A, 6000 $\mu$ A, 60.00 mA, 600.0 mA, 6.000 A, 10.00 A	1.2 %	1.0 % (True-rms)
Temperature (excl. probe)	-200 to 1090 $^{\circ}$ C (-328 to 1994 $^{\circ}$ F)	—	1.0 %
80BK Temperature Probe	-40 to 260 $^{\circ}$ C (-40 to 500 $^{\circ}$ F)	—	2.2 $^{\circ}$ C or 2 %
Resistance	600.0 $\Omega$ , 6.000 k $\Omega$ , 60.00 k $\Omega$ , 600.0 k $\Omega$ , 6.000 M $\Omega$ , 50.00 M $\Omega$	0.4 %	0.2 %
Capacitance	10.00 nF, 100.0 nF, 1.000 $\mu$ F, 10.00 $\mu$ F, 100.0 $\mu$ F, 9,999 $\mu$ F	1.0 %	1.0 %
Frequency	199.99 Hz, 1.9999 kHz, 19.999 kHz, 199.99 kHz	0.005 %	0.005 %

จากตารางจะเป็นได้ว่าตัวเครื่อง Multimeter Fluke 87V มีความคลาดเคลื่อนเพียง 0.05% ซึ่งเพียงพอต่อการนำไปเทียบค่าจากบอร์ด Goouuu ESP32 เพื่อหาสมการระหว่างค่าอะนาล็อกกับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

### บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงาน

#### 3.1 มองหาความสูญเสียที่เกิดขึ้น

จากการปฏิบัติงานด้านบำรุงรักษาในการวัดแรงดันของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด เพื่อตรวจสอบสถานะของแบตเตอรี่ ซึ่งพบความสูญเสียเกิดขึ้นตามหลักความสูญเสียเปล่าทั้ง 7 ประการ นั่นคือ ความสูญเสียจากการเคลื่อนไหว (Motion) ในขณะทำการวัดแรงดันนั้นต้องเอาที่ครอบขั้วแบตเตอรี่ออก จากนั้นจึงสอดมือนำเครื่องมือไปวัด และต้องทำซ้ำถึง 630 ครั้งต่อห้องแบตเตอรี่ ซึ่งอาจทำให้เกิดความเมื่อยล้าแก่ร่างกายผู้ปฏิบัติงาน, ความสูญเสียจากการรอคอย (Delay) ในการปฏิบัติงานครั้งหนึ่งนั้นใช้เวลาไปถึง 1 วันเต็ม ซึ่งเป็นการใช้เวลาไปอย่างมาก



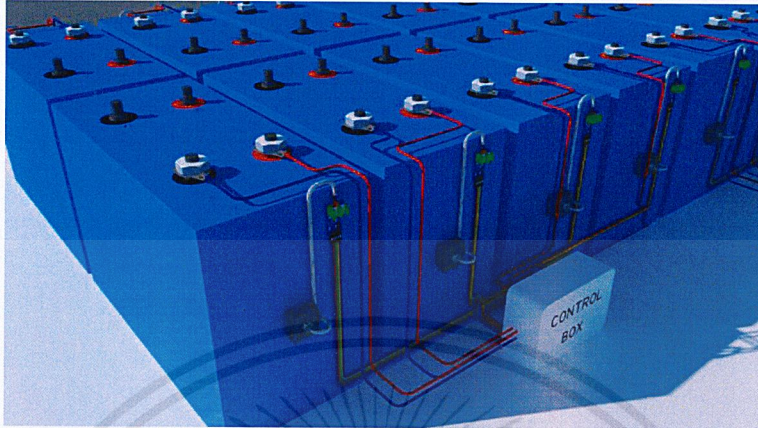
รูปที่ 3.1 การปฏิบัติงานจริงในการวัดแรงดันแบตเตอรี่



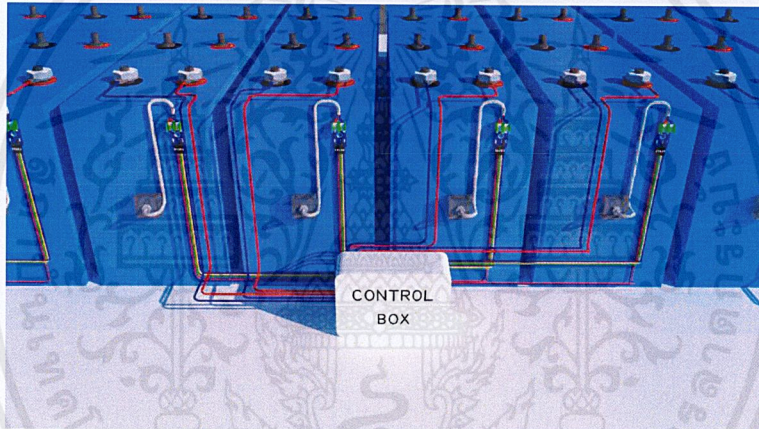
รูปที่ 3.2 ห้องแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

### 3.2 นำเสนอวิธีแก้ไข

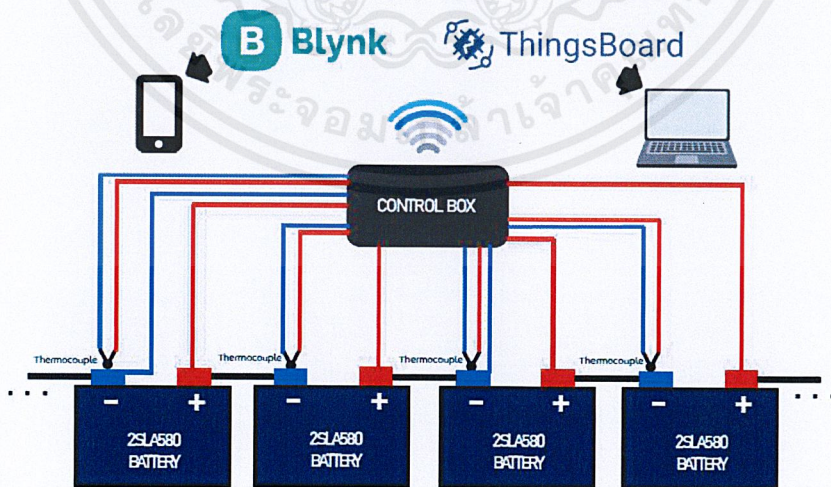
จัดทำสไลด์นำเสนอวิธีการแก้ปัญหาพร้อมแสดงตัวอุปกรณ์ และซอฟต์แวร์ที่ใช้ รวมทั้งจัดทำแบบจำลองสามมิติเพื่อให้เห็นภาพต่อวิศวกร และผู้ปฏิบัติงาน



รูปที่3.3 แบบจำลองการติดตั้งอุปกรณ์ 3 มิติ มุมมองที่ 1



รูปที่3.4 แบบจำลองการติดตั้งอุปกรณ์ 3 มิติ มุมมองที่ 2

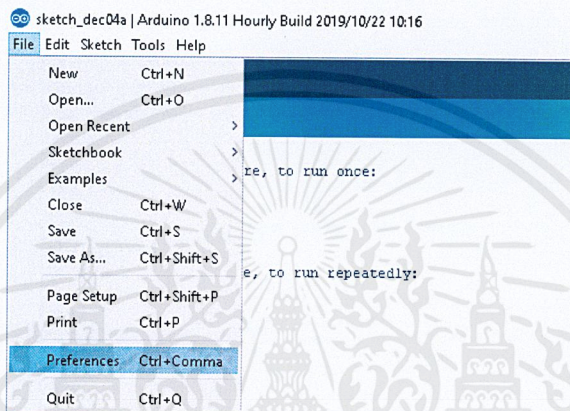


รูปที่3.5 ระบบที่ออกแบบซึ่งใช้ในการวัดค่าและส่งข้อมูล

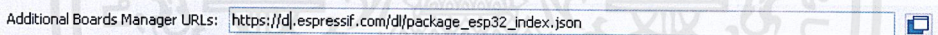
### 3.3 ศึกษาการใช้งานโปรแกรม Arduino IDE

การใช้งาน Arduino IDE เป็นการเขียนภาษา C++ บนตัวโปรแกรมนี้นี้เพื่อที่จะนำคำสั่งเหล่านั้นเขียนลงในตัว Microcontroller ให้ทำงานตามคำสั่งซึ่งต้องมีการติดตั้ง Board และ Library ด้วย โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.3.1 เปิดโปรแกรม Arduino IDE > File > Preference จะแสดงหน้าต่างออกมาจากนั้นกรอก [https://dl.espressif.com/dl/package\\_esp32\\_index.json](https://dl.espressif.com/dl/package_esp32_index.json) ตรงช่อง Additional Boards Manager URLs:

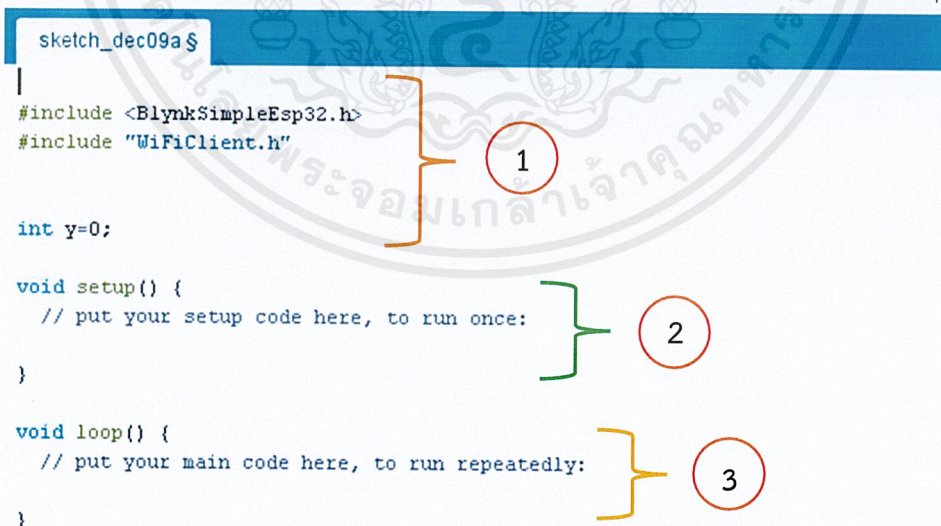


รูปที่ 3.6 การติดตั้ง Board ESP-32 ใน Arduino IDE



รูปที่ 3.7 กรอกลิงค์เพื่อโหลดและทำการติดตั้ง

3.3.2 ลักษณะการทำงานในส่วนต่าง ๆ เมื่อเขียนคำสั่ง ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลัก ๆ ดังนี้



รูปที่ 3.8 หน้าเขียนโปรแกรมด้วยภาษา C/C++ ของ Arduino IDE

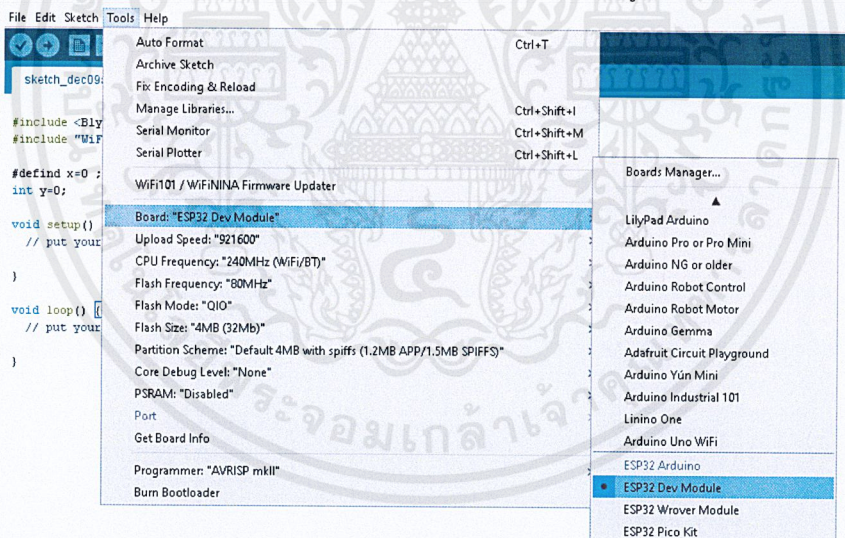
ส่วนที่ 1 เป็นส่วนในการใช้อ้างอิง Library ที่ใช้โดยการใช้คำสั่ง #include แล้วตามด้วยชื่อ Library ที่อ้างอิงตามภาพที่ 3.8 ซึ่งการใช้ < > หรือ “ ” ต่อหลังคำสั่งนั้นที่ความแตกต่างกัน โดยที่สัญลักษณ์ < > เป็นการอ้างอิง Library ที่มีอยู่ในโปรแกรม Arduino IDE ส่วนสัญลักษณ์ “ ” เป็นการอ้างอิง Library ที่อยู่ใกล้กับที่บันทึกไฟล์ไว้ และในส่วนนี้ยังเป็นการประกาศตัวแปรแบบ Global ที่สามารถตั้งไปใช้ในส่วน Local อื่น ๆ ได้

ส่วนที่ 2 เป็นส่วนการตั้งค่าซึ่งจะมีการทำงานเพียงครั้งเดียว โดยพื้นฐานแล้วจะเป็นส่วนที่กำหนดให้ขาในบอร์ดทำงานเป็น Input หรือ Output หากมีการเชื่อมต่อกับ WiFi หรือ Bluetooth จะมีการสั่งให้มีการเชื่อมต่อด้วยคำสั่ง WiFi.begin(WIFI\_SSID, WIFI\_PASSWORD); หรือหากเชื่อมต่อกับฐานข้อมูลอาจใช้คำสั่งเฉพาะ เช่น Blynk.begin(auth,WIFI\_AP,WIFI\_PASSWORD, IPAddress(128,199,204,127), 8080);

ส่วนที่ 3 เป็นส่วนการทำงานหลักซึ่งจะมีการทำงานซ้ำไปเรื่อย ๆ จนกว่าตัวบอร์ดไม่ถูกจ่ายกระแสไฟฟ้า โดยส่วนนี้จะเป็นการทำงานทั้งรับค่า, ส่งออกค่า หรือ การประมวลผล ซึ่งขึ้นอยู่กับคำสั่งที่เขียนลงไป

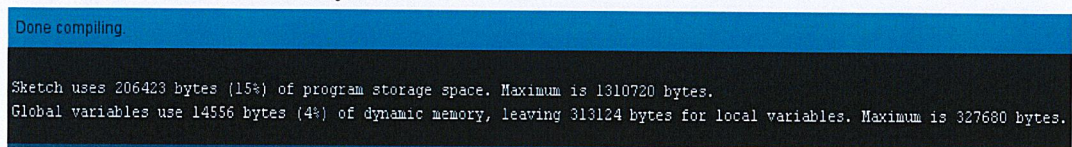
### 3.3.3 การเลือก Board เพื่อทำการ Verify

ไปที่ Tools > Board > ESP32 Dev Module (ตรงนี้ขึ้นอยู่กับชนิดบอร์ดที่ใช้)



รูปที่ 3.9 การเลือกชนิดบอร์ดใน Arduino IDE

เมื่อเขียนคำสั่งเสร็จแล้ว ให้ไปคลิกที่เครื่องหมายถูกตรงมุมซ้ายบน เพื่อทำการตรวจเช็ค เมื่อตัวคำสั่งไม่มีปัญหาจะขึ้นดังรูปต่อไปนี้



รูปที่ 3.10 คำสั่งที่เขียนผ่านการ Verify

### 3.4 ศึกษาการใช้งานฮาร์ดแวร์ Gooouu ESP-32

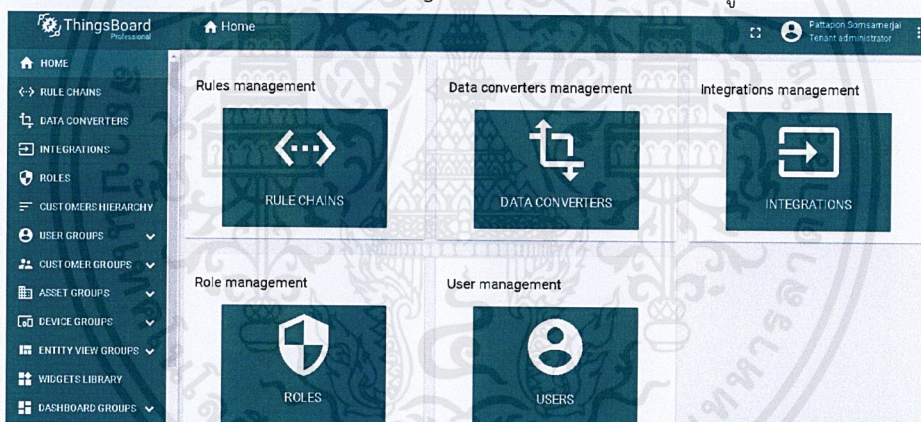
ตัว Gooouu ESP-32 เป็นบอร์ดที่ใช้ตัวประมวลผล ESP32-WROOM-32 ซึ่งมีขาที่มีฟังก์ชัน GPIO ซึ่งเป็นฟังก์ชันการรับ หรือส่งค่าที่เป็น Digital และมีฟังก์ชัน ADC นั่นคือรับค่า Analog แล้วแปลงเป็นค่า Digital ซึ่งจำกัดแรงดันอยู่ที่ 0 V. ถึง 3.3 V. โดยมีความละเอียดของ Digital อยู่ที่ 0 ถึง 4095 ซึ่งฟังก์ชัน ADC มีสองส่วนคือ ADC1 และ ADC2 ซึ่งขาที่มีฟังก์ชัน ADC2 จะใช้งานฟังก์ชันนี้ไม่ได้เมื่อตัวบอร์ดทำการเชื่อมต่อ WiFi อยู่ ซึ่งทางผู้ทำโครงการนี้ใช้เพียงสองฟังก์ชันจากที่กล่าวมา

### 3.5 ศึกษาการใช้งาน Platform “ThingsBoard”

ตัว Platform นี้เป็นผู้ให้บริการการแสดงผลค่าผ่าน Dashboard โดยที่เก็บข้อมูลในทุก ๆ 15 วินาที แล้วเก็บไว้เป็นเวลา 2 ชั่วโมง (แบบ Free Trail) ซึ่งวิธีการใช้งานเป็นไปตามขั้นตอนต่อไปนี้

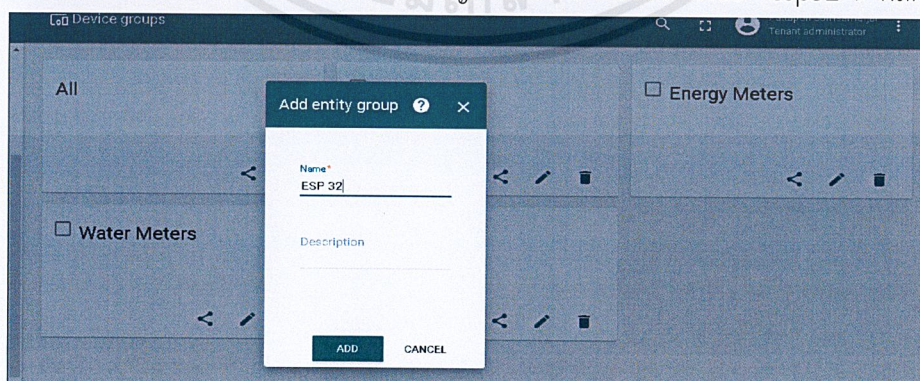
3.5.1 ไปที่ <https://thingsboard.io/> > TRY IT NOW (มุมซ้ายบน) > Free Trail (ฝั่ง ThingBoard Professional Edition) > Create Account

3.5.2 เมื่อสร้าง Account เสร็จ ไปที่ <https://cloud.thingsboard.io/login> > กรอกอีเมลล์และรหัสผ่าน เพื่อทำการ Login จากนั้นหน้าเว็บจะเป็นดังรูปต่อไปนี้



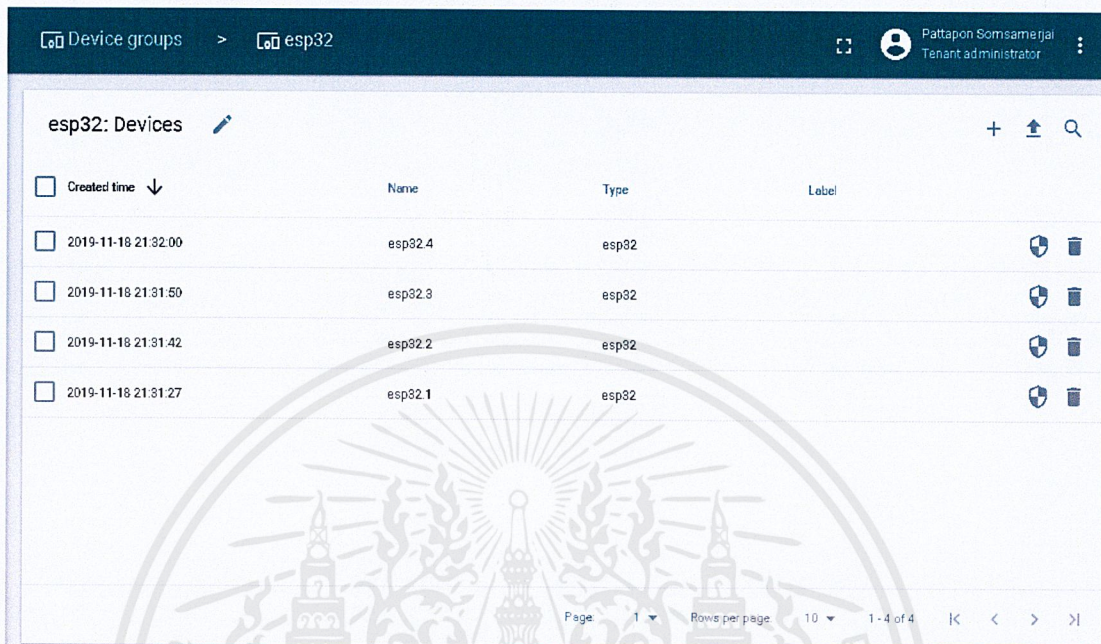
รูปที่ 3.11 หน้า Home ของ ThingsBoard

3.5.3 ไปที่ DEVICE GROUP > คลิกสัญลักษณ์ + ล่างขวา > ตั้งชื่อ “esp32” > คลิก ADD

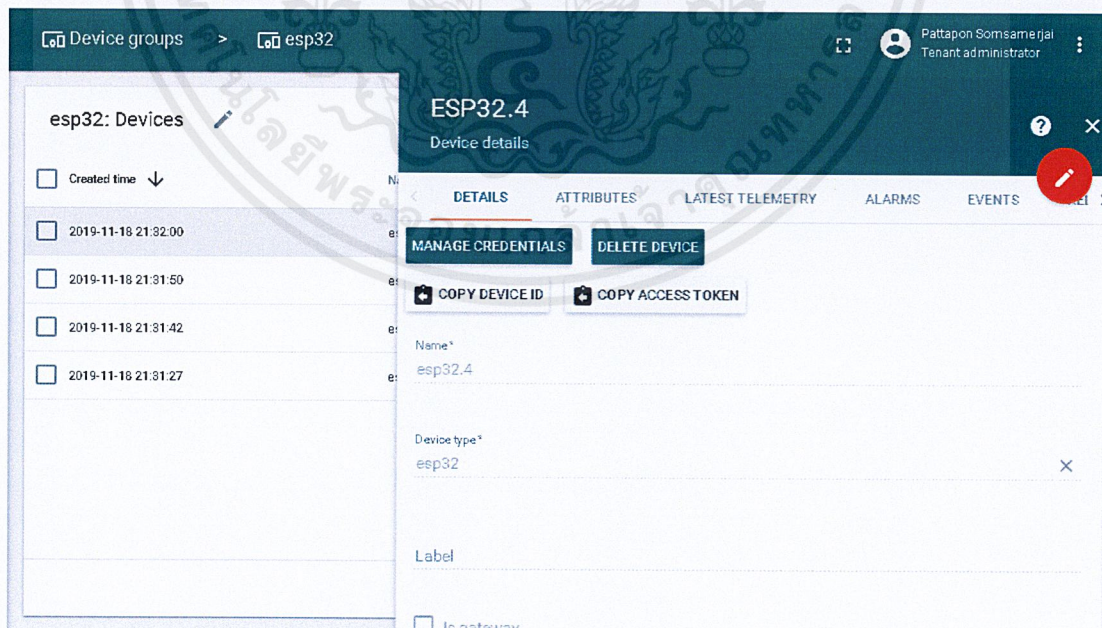


รูปที่ 3.12 ตั้งชื่อกลุ่มอุปกรณ์

3.5.4 คลิกตรงที่กลุ่มอุปกรณ์ “esp32” > คลิกสัญลักษณ์ + บริเวณมุมขวาบน จะขึ้นหน้า ADD DEVICE มา จากนั้นกรอกตรงช่อง Name\* ด้วยชื่อ esp32.1 และช่อง Device Type\* เลือก esp32 > ทำซ้ำจนถึง esp32.4



รูปที่ 3.13 สร้างกลุ่มอุปกรณ์เพื่อรับค่าจาก Microcontroller Board 4 ตัว  
 3.5.5 คลิกไปในแถบอุปกรณ์แต่ละตัว > DETAILS > COPY ACCESS TOKEN และทำการบันทึก Token ไว้เพื่อใช้ในการส่งค่าเข้า ไปยัง ThingsBoard ซึ่งมีทั้งหมด 4 Token ซึ่งจะต้องมีการส่งค่าก่อน จึงจะสามารถสร้างหน้าแสดงผล Dashboard ได้




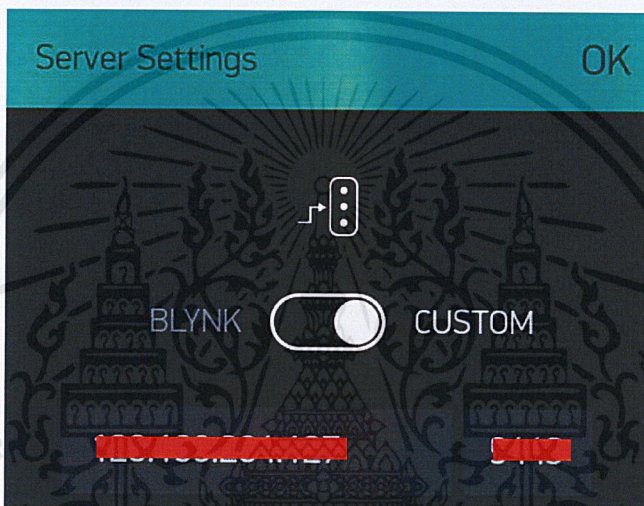
รูปที่ 3.14 การนำ TOKEN ไปใช้งาน

### 3.6 ศึกษาการใช้งาน Application “Blynk”


ผู้ให้บริการ Blynk นั้นเป็น Platform ที่ใช้แสดงค่าจาก IoT บนมือถือ ซึ่งทางผู้ทำโครงการสามารถใช้ Sever ของมหาวิทยาลัยรังสิตซึ่งมี IP ให้กรอกด้วยเฉพาะโดยขั้นตอนการใช้งานเป็นไปดังนี้

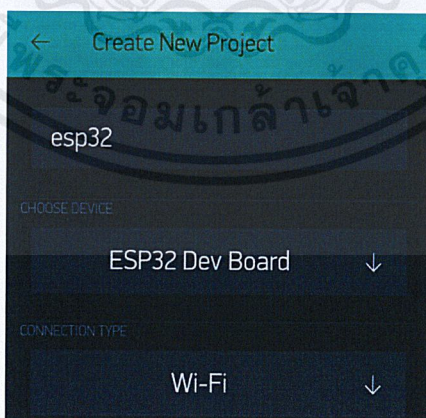
3.6.1 เปิดสมาร์ตโฟนไปยัง Play store (สำหรับระบบปฏิบัติการ Android) หรือ App Store (สำหรับระบบปฏิบัติการ IOS) > พิมพ์ Blynk ในช่องค้นหา > ทำการดาวน์โหลดและติดตั้ง

3.6.2 เข้าไปยัง Blynk Application > Create New Account > กรอกข้อมูล > Log In > กรอกอีเมลล์และรหัสผ่านที่ใช้สมัคร > กดสัญลักษณ์  ตั้งค่า Server (ใช้ Server ของมหาวิทยาลัยรังสิต) > OK > Login





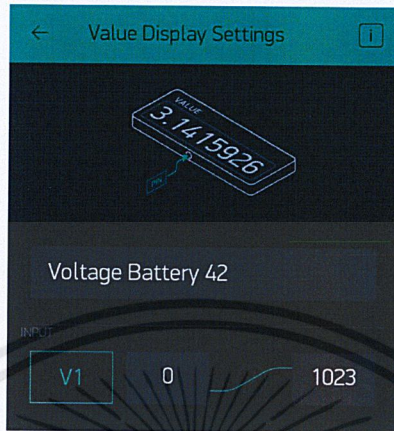
รูปที่3.15 การตั้งค่า Sever ที่ใช้

3.6.3 เมื่อ Login แล้วกดสัญลักษณ์  เพื่อสร้างหน้าแสดงผลโดยตั้งค่าตามรูปต่อไป นี้ จากนั้นกด Create



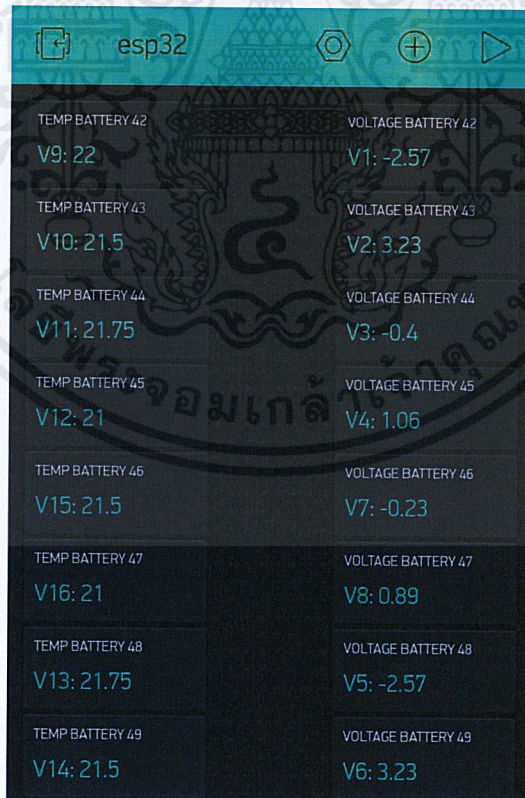
รูปที่3.16 การสร้าง Project เพื่อสร้างหน้าแสดงผล

3.6.4 เข้าไปยังหน้าโปรเจกต์ที่สร้างแล้วกดสัญลักษณ์  > เลือก Value Display > จัดวางตามที่วางและกดเข้าไปตั้งค่าดังรูป > กดสัญลักษณ์  เพื่อบันทึกการตั้งค่า





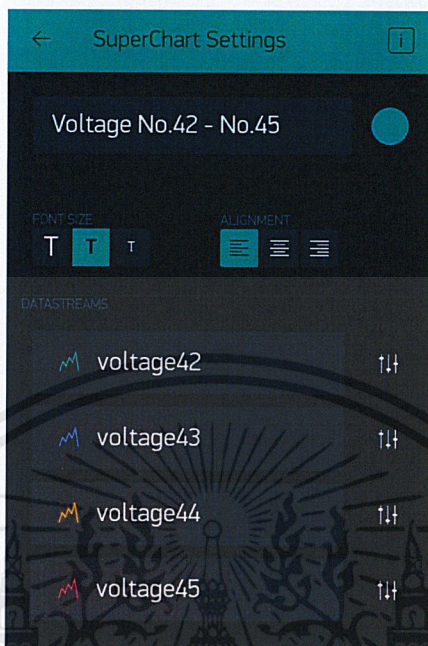
รูปที่ 3.17 การตั้งค่า Value Display

จากรูปได้ตั้งชื่อเป็น Voltage Battery 42 และ V1 ในหัวข้อ INPUT จะถูกนำไปใช้ในการเขียนคำสั่งเพื่อส่งค่ามายัง Value Display (ส่งค่าได้หนึ่งตัวแปร และคนละตัวกับ TOKEN) ซึ่งเมื่อสร้างตัว Display มากหลายช่องเลขจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เป็น V2 ,V3 ,V4 .... ไปเรื่อย ๆ




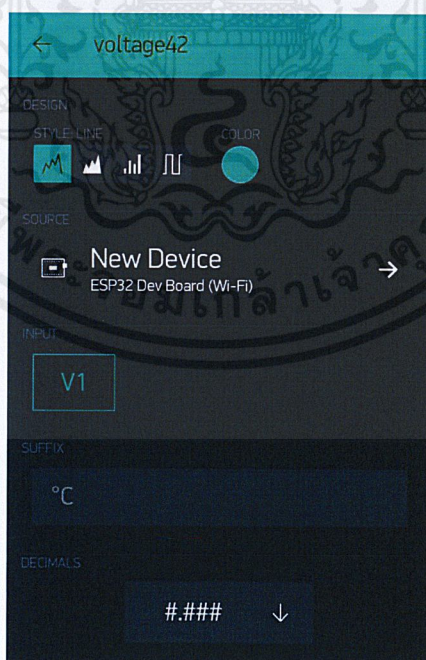
รูปที่ 3.18 Value Display ทั้งหมด

3.6.5 สร้าง SuperChart Display > กดสัญลักษณ์  > เลือก SuperChart > จัดวางตามที่ว่างและกดเข้าไปตั้งค่าดังรูป > กดสัญลักษณ์  เพื่อบันทึกการตั้งค่า




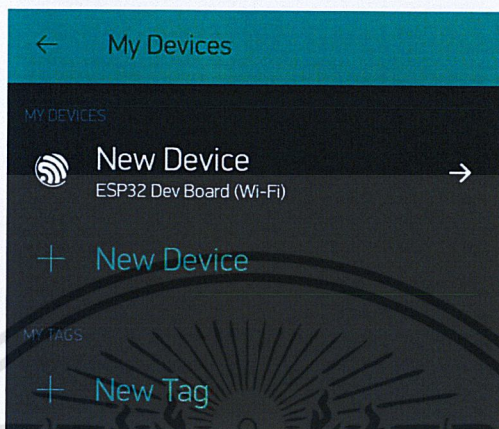
รูปที่3.19 การตั้งค่า SuperChart

ใน SuperChart สามารถแสดงค่าในลักษณะกราฟได้ถึง 4 ค่าโดยเพิ่มตรง DATASTREAMS และกดสัญลักษณ์  เพื่อทำการระบุ INPUT ดังรูปต่อไปนี้



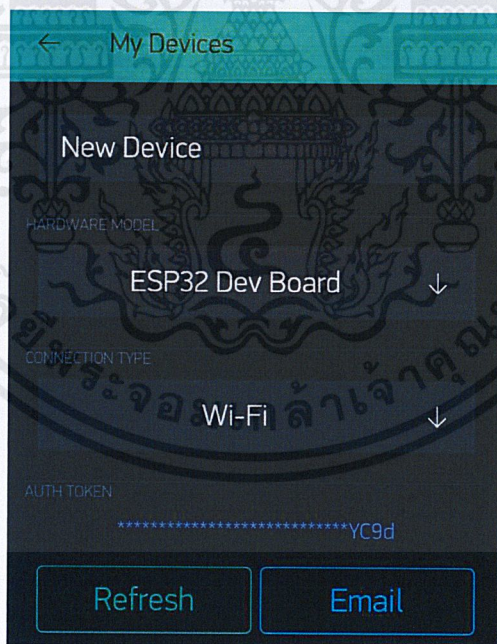
รูปที่3.20 การตั้งค่าข้อมูล INPUT ใน DATASTREAMS

3.6.6 จัดวาง Display ต่าง ๆ ให้เหมาะสมกับการใช้งาน และทำการส่ง TOKEN ไปยังอีเมลที่สมัครเพื่อใช้ในการส่งข้อมูลไปยัง Blynk โดยการกดสัญลักษณ์  ไปยัง Project Setting > กดตรงหัวข้อ Devices ซึ่งชื่อเป็นไปตามที่เราตั้ง จะพาไปหน้า My Devices ดังรูปต่อไปนี้



รูปที่3.21 การส่ง Token เข้าอีเมล (1)

กดตรง New Devices ตรงหัวข้อ MY DEVICES ดังแสดงตามรูปข้างต้น เพื่อไปยังหน้าถัดไป จากนั้นกด Email > Token จะถูกส่งไปยังอีเมลที่สมัคร



รูปที่3.22 การส่ง Token เข้าอีเมล (2)



### 3.8 จัดของงบประมาณในการทำโครงการงาน

จัดทำราคาอุปกรณ์ที่ต้องจัดซื้อเพื่อทำโครงการงานในการ Monitor Batteries 8 ลูก ต่อฝ่ายบำรุงรักษาทางไฟฟ้า

#### ตารางที่3.1 อุปกรณ์ที่ใช้และราคา

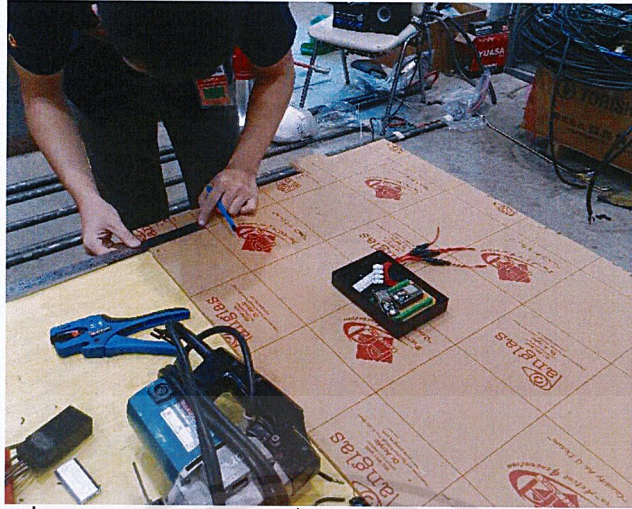
NO	รายการ	ราคาต่อหน่วย(บาท)	จำนวน	รวมราคา(บาท)
1	ESP32	225	4 ตัว	900
2	ฐานรอง ESP32	90	4 ชุด	360
3	K-Type Thermocouple + MAX6675 Module	270	8 ชุด	2,160
4	Adapter DC 5V 2A	130	4 ชุด	520
5	กล่องพลาสติกสีดำ	60	2 กล่อง	120
6	Cable TRONIC-CY (LiY-CY) 2x0.75 mm <sup>2</sup>	-	4 เมตร	0
7	ตะกั่วม้วน	-	1 ม้วน	0
8	Cable Tie 12" (4.8 x 300 มม.)	-	1 ถุง	0
9	Glass tube fuse 5x20 mm. seat	10	16 ตัว	160
10	FB Fuse 5x20 mm. 0.5A 250V.	5	16 ตัว	80
	รวม			4,300

### 3.9 จัดซื้ออุปกรณ์และทำการประกอบชิ้นงาน

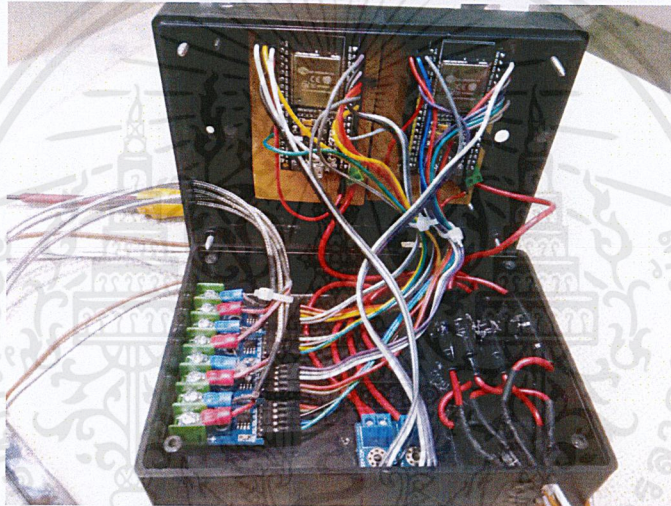
เมื่อซื้ออุปกรณ์เสร็จสิ้นตามรายการข้างต้นแล้วจึงทำการประกอบชิ้นงานขึ้นตาม Hardware Diagram



รูปที่3.24 จัดวางตำแหน่งอุปกรณ์ใน Control Boxes



รูปที่3.25 ตัดแผ่นอะคริลิก เพื่อทำฐานรองตัว Microcontroller



รูปที่3.26 ภายใน Control Box



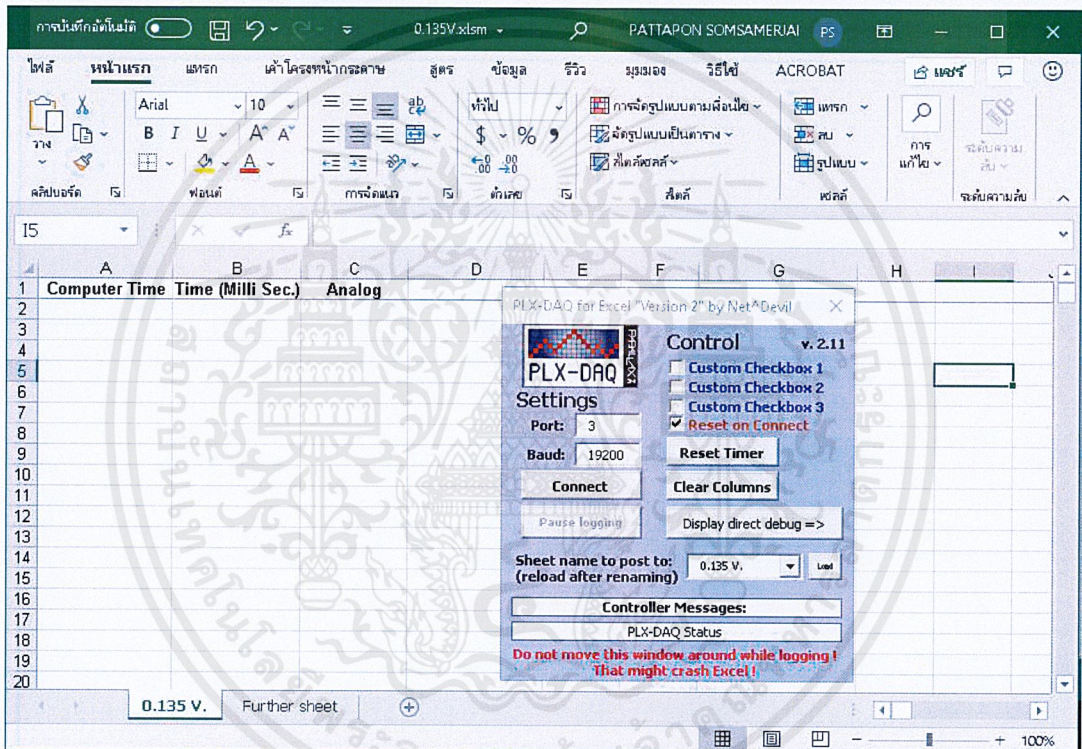
รูปที่3.27 ภายนอก Control Box

### 3.10 ทาสผลการระหว่างแรงดันกับค่าอะนาล็อก

การใช้บอร์ด Goouuu ESP-32 ในการวัดแรงด้วยตรงนั้นทำให้ค่าที่ได้มาไม่เป็นเส้นตรง อีกทั้งหากวัดผ่านตัว Voltage Sensor ค่าที่ได้อาจจะไม่เป็นเส้นตรง ทางผู้ดำเนินโครงการจึงทำการทดลองเก็บค่าผ่าน Goouuu ESP-32 ทั้งแบบวัดด้วยตรง และวัดผ่าน Voltage Sensor โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

การใช้ตัวบอร์ดวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงโดยตรง

1. ทำการติดตั้งโปรแกรม SPSS เพื่อจะใช้ในการวิเคราะห์ทาสผลการ และดาวน์โหลด PLX-DAQ V2.11 ซึ่งรองรับระบบประมวลผล 64 bit โดยตัว PLX-DAQ V2.11 จะอยู่ในไฟล์นามสกุล .xslm เป็นส่วนเสริมด้านในเพื่อดึงค่าจากบอร์ดผ่าน Arduino IDE มาเก็บไว้ยัง Microsoft Excel



รูปที่ 3.28 ตัวโปรแกรม PLX-DAQ V2.11 ใน Microsoft Excel

จากรูปเลข Port นั้นต้องตรงกับเลข Port ใน Arduino IDE ที่ทำการ Upload คำสั่งไปยังบอร์ด และเลขในช่อง Baud ต้องตรงกับเลขในวงเล็บของคำสั่ง Serial.begin(19200); ซึ่งจะมีในขั้นตอนการเขียนคำสั่ง ส่วนชื่อใน Column จะแสดงตามคำสั่ง Serial.println("LABEL,Computer Time,Time (Milli Sec.),Analog");

2. ทำการต่อวงจรไฟฟ้าดังรูปต่อไปนี้ โดยที่ตัวบอร์ด Goouuu ESP32 ยังเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ผ่าน USB Port



รูปที่3.29 วงจรหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าอนาล็อกกับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง(วัดค่าโดยตรง)

3. ทำการเปิดโปรแกรม Arduino IDE > เขียนคำสั่งดังรูปที่แสดง > Verify  > Tools > Port (เลือก Port ที่เชื่อมต่อกับบอร์ด) > Upload  > กดปุ่ม Boot ที่ตัวบอร์ดขณะที่กำลัง Upload

```

unsigned long int milli_time; //variable to hold the time
int i=0;
void setup() {
  Serial.begin(19200);           //Fastest baudrate
  Serial.println("CLEARDATA");   //This string is defined as a
  // command for the Excel VBA
  // to clear all the rows and columns
  Serial.println("LABEL,Computer Time,Time (Milli Sec.),Analog");
  //LABEL command creates label for
  // columns in the first row with bold font
  pinMode(A0,INPUT);
}
void loop() { if(i<120){
  milli_time = millis();
  // read the input on analog pin 0:
  int Analog = analogRead(A0);
  Serial.print("DATA,TIME,");
  Serial.print(milli_time);
  Serial.print(",");
  Serial.println(Analog);
  i=i+1;}
else if(i>=119){}
  delay(1000); }

```

เก็บค่า 120 ค่าทุก ๆ 1 วินาที

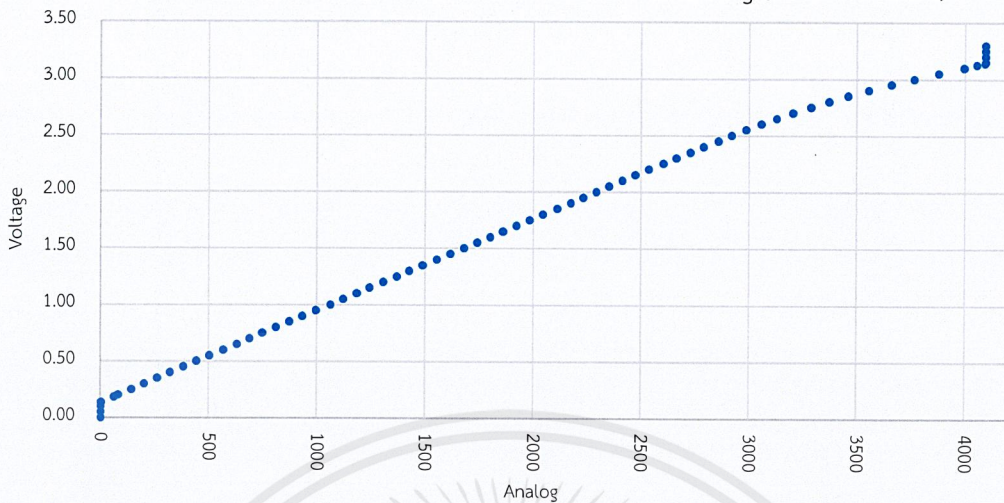
รูปที่3.30 คำสั่งสำหรับการเก็บค่า Analog ที่แรงดันไฟฟ้าค่าต่าง ๆ ( 0 V. ถึง 3.3 V.)

4. หมุนปรับค่าตัวต้านทานละเอียดโดยให้ค่าที่มัลติมิเตอร์มีค่าเป็น 0 V และกดปุ่ม Connect ที่ PLX-DAQ รจนครบ 120 ค่า แล้วบันทึกไฟล์เก็บไว้ (ทำซ้ำเรื่อย ๆ โดยค่าแรงดันเพิ่มขึ้นทีละ 0.05 V. จนกว่าจะถึง 3.3 V.)

5. ทำการหาค่าเฉลี่ย Analog ของแต่ละแรงดันโดยผลที่ได้เป็นไปตามตารางต่อไปนี้  
**ตารางที่ 3.2** ค่า Analog กับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (วัดค่าโดยตรง)

Analog (average)	แรงดัน (V)	Analog (average)	แรงดัน (V)
0	0.000	1923	1.700
0	0.050	1984	1.750
0	0.100	2047	1.800
2	0.135	2112	1.850
63	0.183	2174	1.900
80	0.200	2231	1.950
142	0.250	2292	2.000
201	0.300	2352	2.050
262	0.350	2414	2.100
321	0.400	2473	2.150
384	0.450	2535	2.200
443	0.500	2602	2.250
503	0.550	2662	2.300
568	0.600	2728	2.350
630	0.650	2788	2.400
688	0.700	2856	2.450
748	0.750	2918	2.500
811	0.800	2985	2.550
874	0.850	3056	2.600
933	0.900	3129	2.650
996	0.950	3204	2.700
1062	1.000	3286	2.750
1122	1.050	3373	2.800
1185	1.100	3460	2.850
1244	1.150	3556	2.900
1307	1.200	3660	2.950
1371	1.250	3765	3.000
1429	1.300	3879	3.050
1491	1.350	3996	3.100
1556	1.400	4055	3.125
1619	1.450	4092	3.141
1681	1.500	4095	3.150
1743	1.550	4095	3.200
1803	1.600	4095	3.250
1861	1.650	4095	3.300

กราฟที่ 3.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน กับ Analog (ต่อวัดค่าโดยตรง)

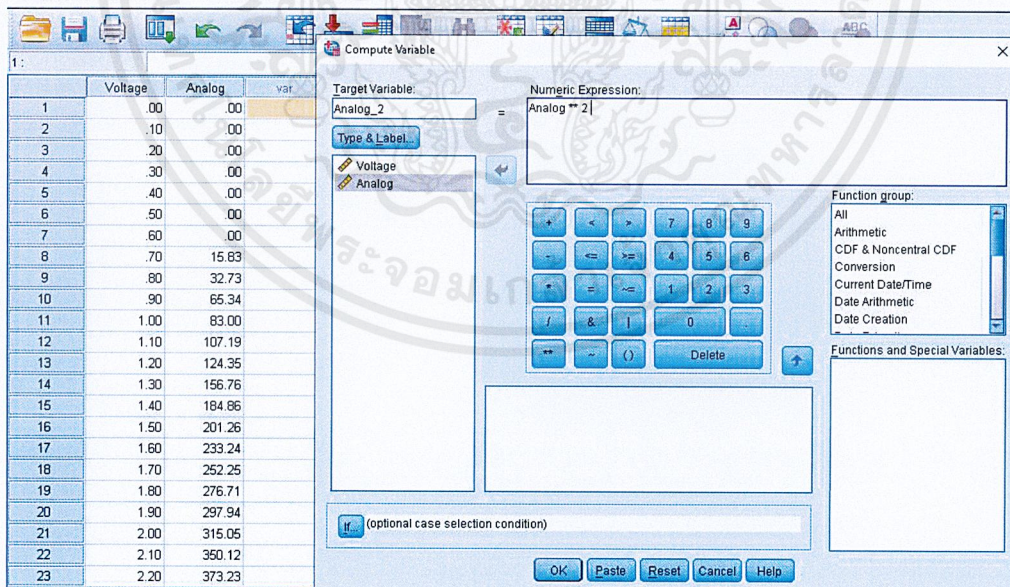


• จากการเก็บค่า

ซึ่งจากการนำข้อมูลมาแสดงในรูปแบบของกราฟจะเห็นว่าลักษณะกราฟนั้นไม่เป็นเส้นตรง จึงจำเป็นที่จะต้องวิเคราะห์หาสมการโดยใช้โปรแกรม SPSS ด้วยวิธี NLR (Non Linear Regression)

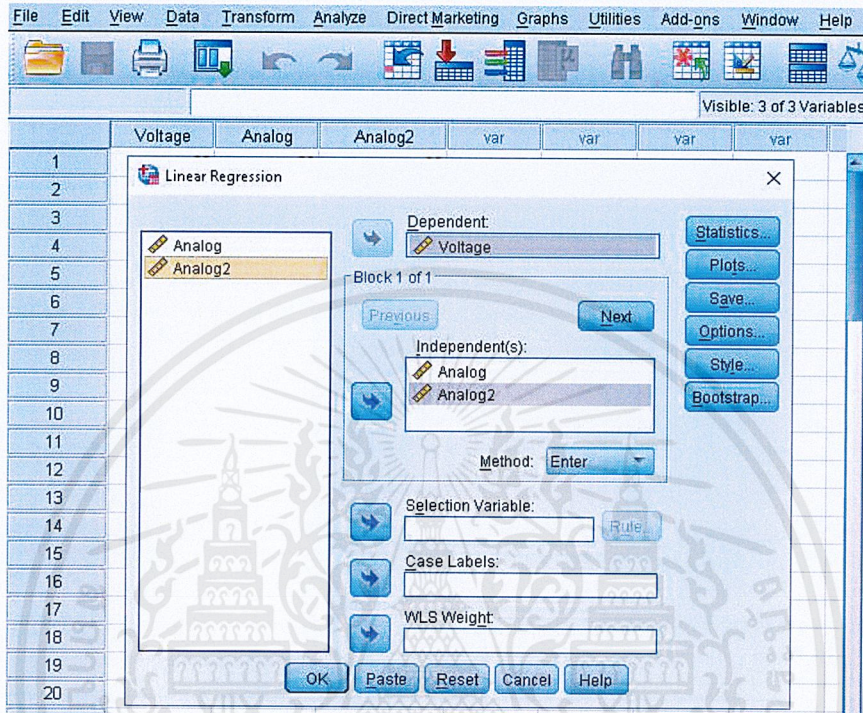
6. นำค่าข้อมูลข้างต้นไปวิเคราะห์ในโปรแกรม SPSS ซึ่งมีขั้นตอนการดังนี้

6.1 เมื่อนำข้อมูลเข้าโปรแกรม SPSS แล้ว ให้ทำอีกคอลัมน์เป็นกำลังสองของคอลัมน์แรก โดยไปที่ Transform > Compute Variable แล้วทำตามดังรูปต่อไปนี้ > OK จากนั้นจะได้คอลัมน์ ชื่อ Analog\_2 ซึ่งเป็นค่ากำลังสองของคอลัมน์ Analog



รูปที่ 3.31 การเพิ่มคอลัมน์ค่า Analog กำลังสอง

6.2 เลือกค่าช่วงข้อมูลที่ 0.000 V ถึง 3.150 V ในการวิเคราะห์ จากนั้นไปที่ Analyze > Regression > Linear จะได้หน้าต่างดังรูป จากนั้นในช่อง Dependent: ให้เพิ่มคอลัมน์ Voltage ส่วนในช่อง Independent(s): ให้เพิ่มคอลัมน์ Analog และ Analog\_2 แล้วกด OK ตัวโปรแกรมจะวิเคราะห์หาสมการกำลังสองมาให้



รูปที่ 3.32 การวิเคราะห์หาสมการกำลังสองด้วยโปรแกรม SPSS

ซึ่งผลการวิเคราะห์สมการกำลังสองด้วยโปรแกรม SPSS เป็นไปตามตารางต่อไปนี้ โดยค่าในแต่ละแถวนั้นเป็นค่าสัมประสิทธิ์ของแต่ละตัว

ตารางที่ 3.3 Coefficients

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized	t	Sig.
		B	Std. Error	Coefficients		
1	(Constant)	.08117	.010		8.124	.000
	Analog	.00093	.000	1.204	78.186	.000
	Analog_2	-4.099E-8	.000	-.215	-13.961	.000

หมายเหตุ: - Voltage คือ ตัวแปรตาม

- รูปทั่วไปของสมการกำลังสอง  $Y = (\text{Analog}_2) * X^2 + (\text{Analog}) * X + \text{Constant}$

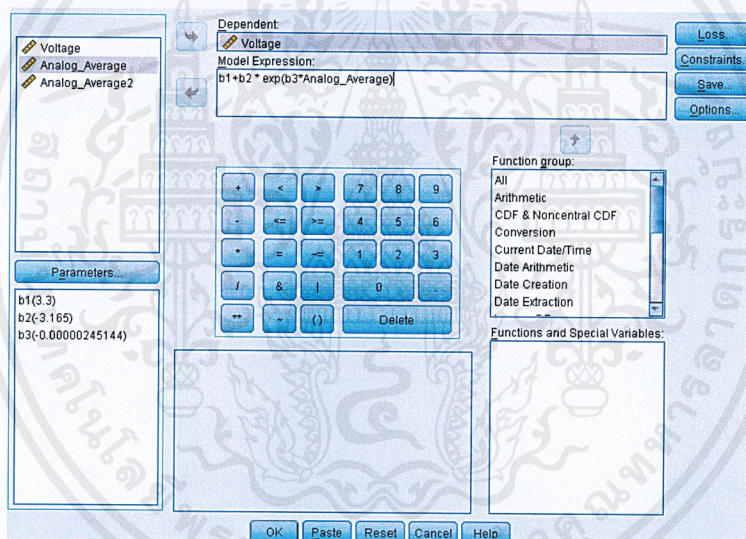
-  $Y = \text{Voltage}$

6.3 เมื่อได้สมการกำลังสองแล้ว ขั้นตอนต่อไปเป็นการหาสมการ Non-Linear Regression โดยใช้รูปแบบทั่วไป ( $Y = b_1 + b_2 * \exp(b_3 * X)$ ) ซึ่งค่า  $b_1$ ,  $b_2$  และ  $b_3$  หาได้จากการใช้โปรแกรม SPSS ในการวิเคราะห์ แต่ต้องหาค่าเริ่มต้นให้ก่อนโดยค่า  $b_1 > 0$  และเป็นค่าสูงสุดของแกน Y (ค่าสูงสุดของ Voltage), ค่า  $b_2 < 0$  และเป็นค่า Y ที่จุดตัดแกน Y - ค่า Y ที่มีค่าสูงสุด ส่วนค่าสุดท้าย  $b_3 < 0$  และเป็นค่า Slope ถดถอยของสมการกำลังสอง

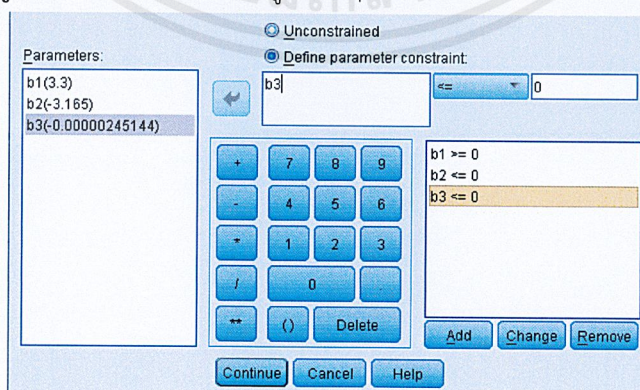
ตารางที่ 3.4 ค่าเริ่มต้นของ  $b_1$ ,  $b_2$  และ  $b_3$

Coefficients	ค่าเริ่มต้น	หมายเหตุ
$b_1$	3.3	ค่า 3.3 V. สูงสุด
$b_2$	-3.165	ค่าจาก 0.135 - 3.3
$b_3$	-0.00000245144	ค่าความชันระหว่างค่า X ที่ 12198 และ 12258 ของสมการกำลังสอง

6.4 เมื่อได้ค่าเริ่มต้นแล้วไปที่ Analyze > Regression > Nonlinear กรอกข้อมูลดังรูปต่อไป นี้ จากนั้นกด Constraints... เพื่อกรอกช่วงของค่าเริ่มต้น > Continue > OK



รูปที่ 3.33 การกรอกค่าข้อมูลต่าง ๆ ก่อนการวิเคราะห์สมการ (1)



รูปที่ 3.34 การกรอกค่าข้อมูลต่าง ๆ ก่อนการวิเคราะห์สมการ (2)

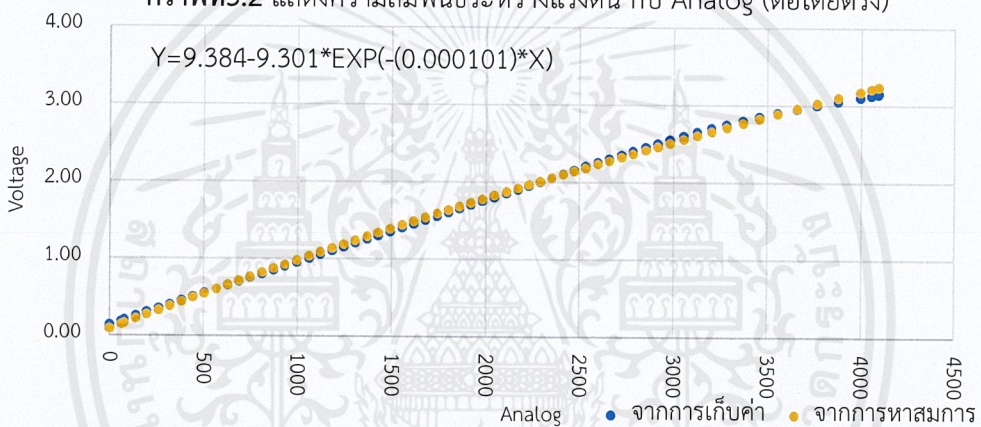
ผลจากการวิเคราะห์เป็นไปดังตารางต่อไปนี้ โดยจะไปใช้ในการเขียนคำสั่งประมวลผลค่า Analog ที่ตัวบอร์ดวัดค่ามาได้

ตารางที่ 3.5 Parameter Estimates

Parameter	Estimate	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
b1	9.3835180813	.576	8.233	10.534
b2	-9.3011170092	.570	-10.438	-8.164
b3	-.0001006694	.000	.000	-8.550E-5

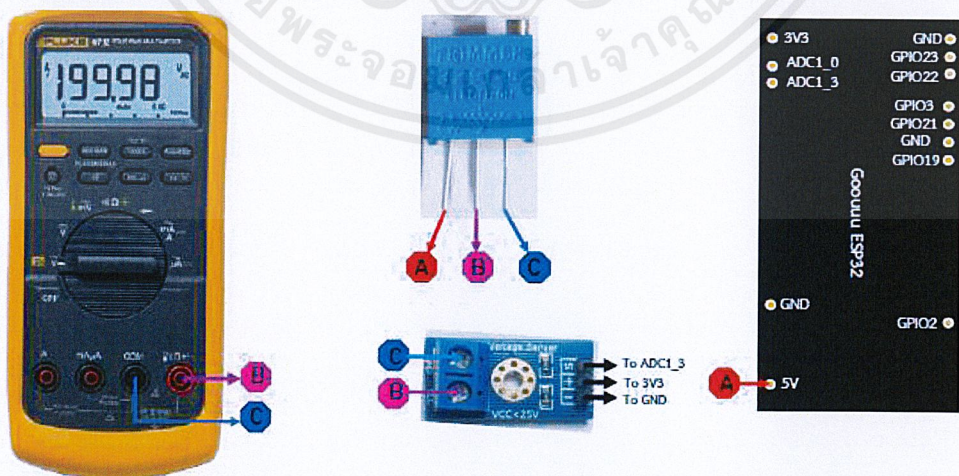
เมื่อทำการเปรียบเทียบสมการที่ได้กับค่าที่เก็บจากการทดลอง เป็นไปตามกราฟที่แสดงดังต่อไปนี้ ซึ่งเมื่อเทียบค่าจากสมการกับค่าจากการทดลองพบว่าค่า Average error อยู่ที่ 1.64%, ค่า Max Error อยู่ที่ 2.96% และ Min Error อยู่ที่ 0.03%

กราฟที่ 3.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน กับ Analog (ต่อโดยตรง)



การใช้ตัวบอร์ดวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงโดยผ่าน Voltage Sensor

1. ทำการต่อวงจรไฟฟ้าดังรูปต่อไปนี้ โดยที่ตัวบอร์ด Gooouu ESP32 ยังเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ผ่าน USB Port



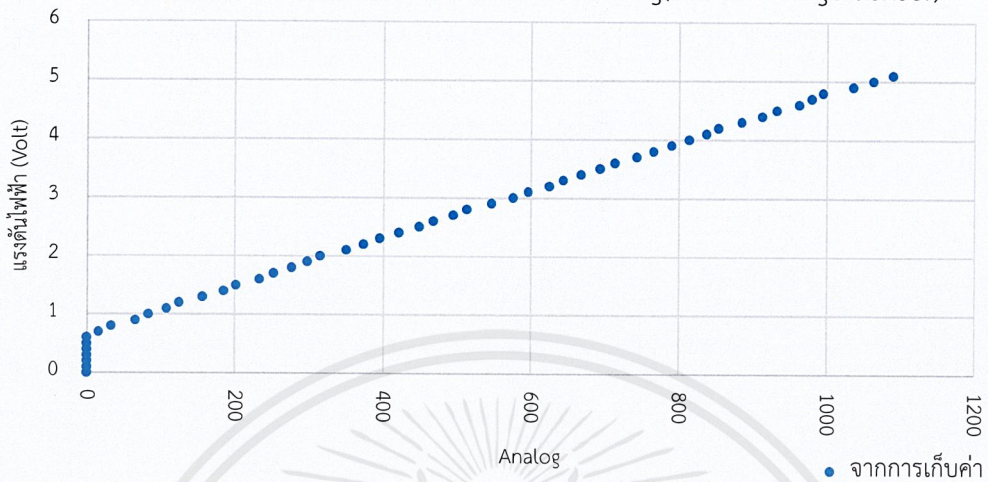
รูปที่ 3.35 วงจรหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าอนาล็อกกับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง(วัดค่าผ่าน Sensor)

2. ใช้คำสั่งเดิมที่มีอยู่ในตัวบอร์ด
3. หมุนปรับค่าตัวต้านทานละเอียดโดยให้ค่าที่มัลติมิเตอร์มีค่าเป็น 0 V และกดปุ่ม Connect ที่ PLX-DAQ รอกจนครบ 120 ค่า แล้วบันทึกไฟล์เก็บไว้ (ทำซ้ำเรื่อย ๆ โดยค่าแรงดันเพิ่มขึ้นทีละ 0.1 V. จนกว่าจะถึง 3.3 V.)
4. ทำการหาค่าเฉลี่ย Analog ของแต่ละแรงดันโดยผลที่ได้เป็นไปตามตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 3.5 ค่า Analog กับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง(วัดค่าผ่าน Voltage Sensor)

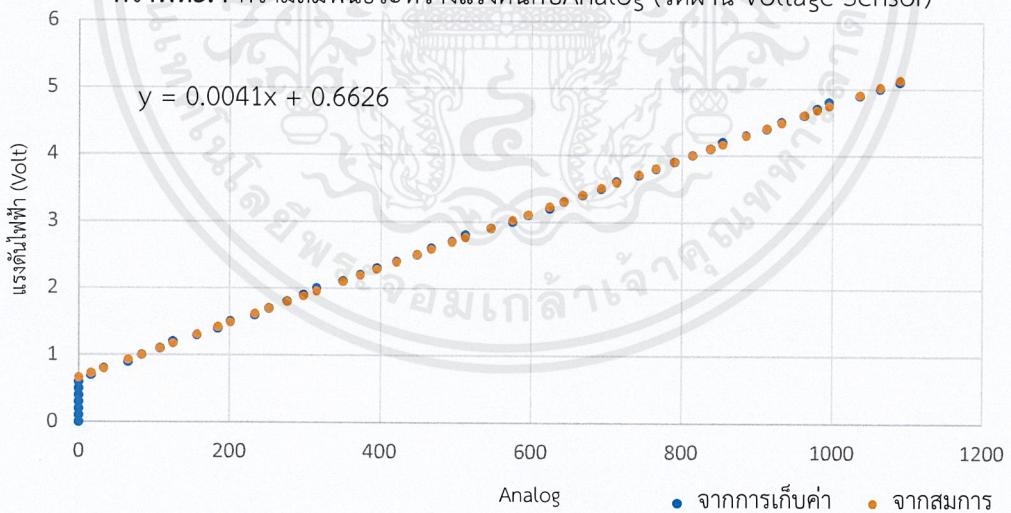
Analog (average)	แรงดัน (V)	Analog (average)	แรงดัน (V)
0	0	468	2.6
0	0.1	495	2.7
0	0.2	513	2.8
0	0.3	546	2.9
0	0.4	575	3
0	0.5	596	3.1
0	0.6	624	3.2
16	0.7	643	3.3
33	0.8	668	3.4
65	0.9	693	3.5
83	1	714	3.6
107	1.1	743	3.7
124	1.2	766	3.8
157	1.3	790	3.9
185	1.4	814	4
201	1.5	838	4.1
233	1.6	854	4.2
252	1.7	885	4.3
277	1.8	913	4.4
298	1.9	932	4.5
315	2	963	4.6
350	2.1	979	4.7
373	2.2	995	4.8
395	2.3	1036	4.9
421	2.4	1063	5
448	2.5	1089	5.1

กราฟที่ 3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับ Analog (วัดผ่าน Voltage Sensor)



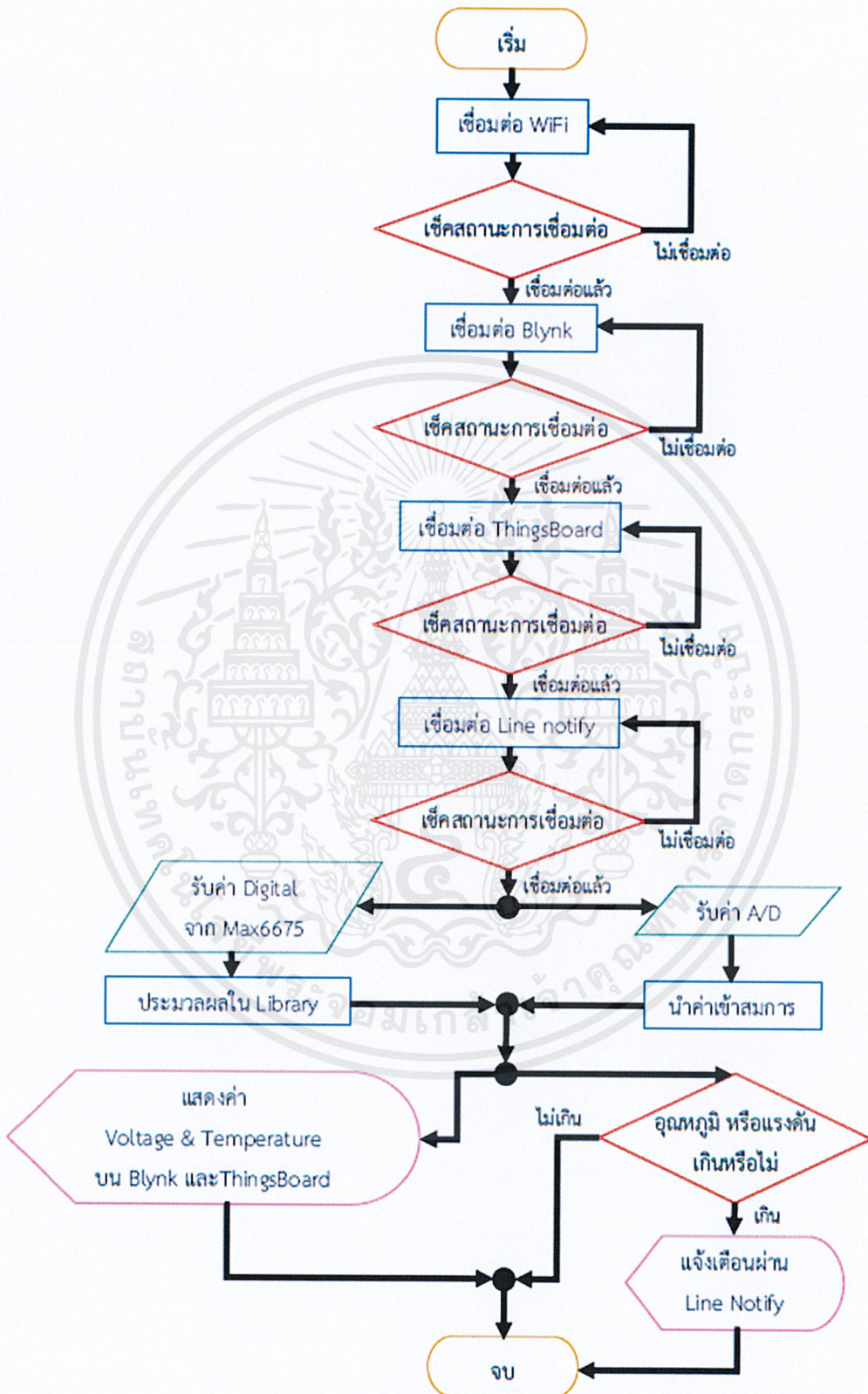
จากการนำข้อมูลมาแสดงในรูปแบบของกราฟจะเห็นว่าลักษณะกราฟนั้นเป็นเส้นตรง ซึ่งสามารถใช้ Microsoft Excel ในการหาสมการได้โดยแสดงในกราฟต่อไปนี้ (ตัวแปร Y คือแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง และ ตัวแปร X คือค่า Analog)

กราฟที่ 3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับ Analog (วัดผ่าน Voltage Sensor)



ซึ่งเมื่อเทียบค่าจากสมการกับค่าจากการทดลองพบว่าค่า Average error อยู่ที่ 0.65% ,ค่า Max Error อยู่ที่ 3.93% และ Min Error อยู่ที่ 0.01% จากการหาสมการทั้งสองนี้มาแล้ว ซึ่งจำเป็นในการทำไปเขียนคำสั่งประมวลผลจากค่า Analog ที่วัดได้ไปเป็นค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

3.11 เขียน Flowchart Diagram



รูปที่ 3.36 Flowchart Diagram ของคำสั่งการทำงาน

### 3.12 เขียนคำสั่งบนโปรแกรม Arduino IDE และอัปเดตข้อมูลลงตัวบอร์ด

```
Full_Code-01
void getAndSendTemperatureAndVoltageData()
{ Serial.println("Collecting Temperature and Voltage data.");
  float temperature1 = ktcl.readCelsius();
  float temperature2 = ktc2.readCelsius();
  // Check if any reads failed and exit early (to try again).
  if (isnan(V_In1) || isnan(temperature1)) {
    Serial.println("Failed to read from sensor!");
    return; }
  //voltage1
  V_In1 = analogRead(A0);
  val1=9.384-9.301*exp((-0.000101)*V_In1);
  Serial.print("Value1 = ");
  Serial.println(analogRead(A0));
  Serial.print("VDC1 = ");
  Serial.print(val1,3);
  Serial.println("V.");
  //voltage2
  V_In2 = analogRead(A3);
  val2=0.0041*V_In2+0.6626;
  val3=val2-val1;
  Serial.print("Value2 = ");
  Serial.println(analogRead(A3));
  Serial.print("VDC_real = ");
  Serial.println(val2,3);
  Serial.print("VDC2 = ");
  Serial.print(val3,3);
  Serial.println("V.");
  //max6675.1
  Serial.print("Temperature1 = ");
```

รูปที่3.37 ตัวอย่างโค้ดคำสั่งบางส่วน

โดยส่วนใหญ่ของคำสั่งจะเหมือนกันในแต่ละบอร์ดที่เขียนลง แต่จะมีเพียงบางส่วนที่ต้องเปลี่ยน นั่นคือส่วนการส่งค่าไปยัง Blynk Application และ ThingsBoard

```
//send data to thingsboard
tb.sendTelemetryFloat("Voltage1", val3);
tb.sendTelemetryFloat("Voltage2", val1);
tb.sendTelemetryFloat("Temperature9", temperature1);
tb.sendTelemetryFloat("Temperature10", temperature2);
```

รูปที่3.38 ส่วนการส่งข้อมูลไปยัง ThingsBoard

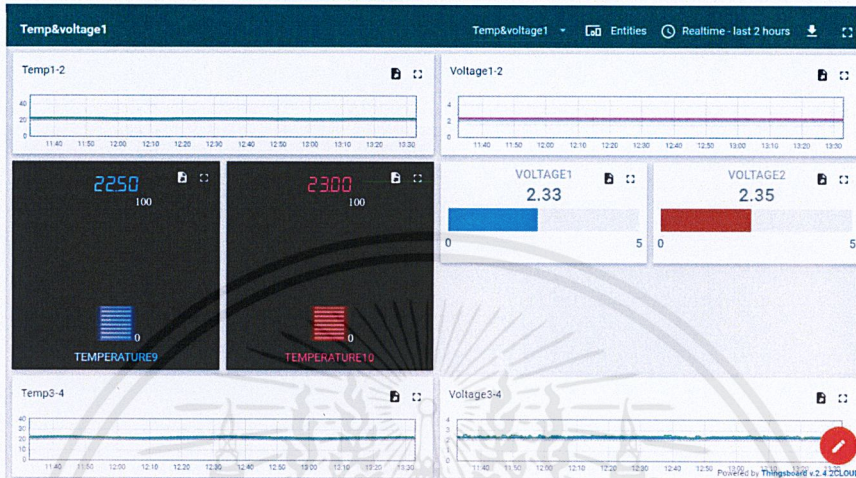
```
void blynk_valve ()
{ //Set voltage source data for blynk
  Blynk.virtualWrite(V1,val3);
  Blynk.virtualWrite(V2,val1);
  //Set temperature source data for blynk
  Blynk.virtualWrite(V9,ktcl.readCelsius());
  Blynk.virtualWrite(V10,ktc2.readCelsius()); }
```

รูปที่3.39 ส่วนการส่งข้อมูลไปยัง Blynk Application

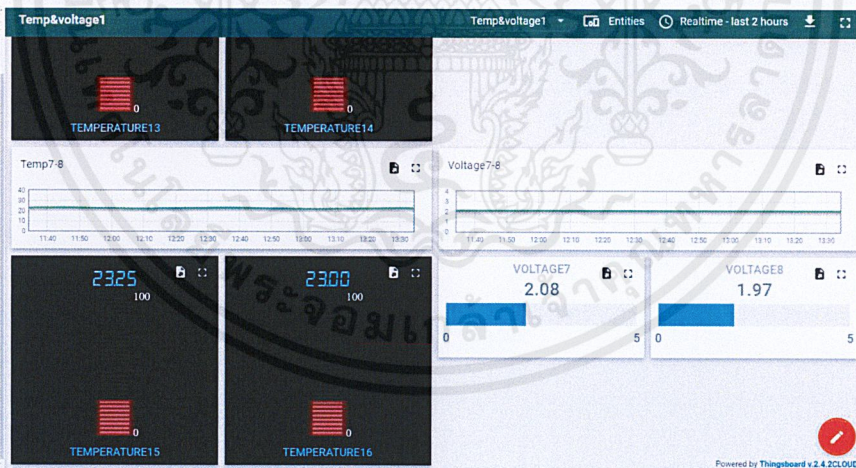
โดยในแต่ละบอร์ดจะมีค่าอยู่ 4 ค่า นั่นคือแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 2 ค่า และอุณหภูมิ 2 ค่า ซึ่งในส่วน ThingsBoard จะเริ่มตั้งชื่อที่ Voltage1 และ Voltage2 เป็นการส่งค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ส่วนชื่อ Temperature9 และ Temperature10 เป็นการส่งค่าอุณหภูมิ เมื่อจะเขียนลงในบอร์ดต่อไปให้เปลี่ยนเลยลำดับถัดไปเรื่อย ๆ เพื่อไม่ให้มีการส่งข้อมูลซ้อนทับกัน (ในส่วนของ Blynk Application ให้เปลี่ยนเลขตามที่ตั้งไว้ในขั้นตอนที่ 6.ศึกษาการใช้งาน Application “Blynk” )

### 3.13 จัดหน้าแสดงผลใน ThingsBoard

ก่อนจะไปจัดหน้า Dash Board นั้นต้องให้ตัวบอร์ดมีการส่งข้อมูลไปก่อนจึงจะสามารถสร้างหน้าแสดงผลได้ ซึ่งทางผู้ทำโครงการได้มีการจัดหน้าแสดงเป็นไปตามรูปต่อไปนี้

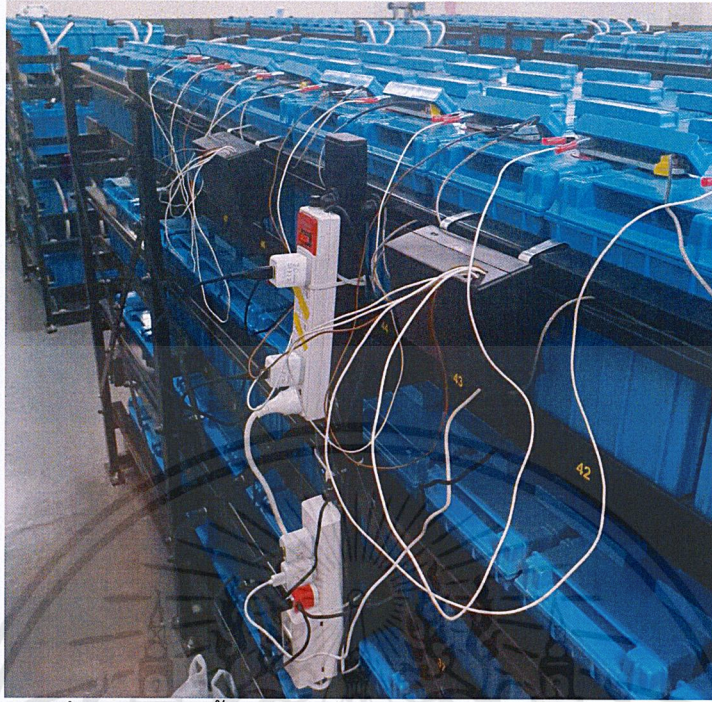


รูปที่3.40 ส่วนการแสดงผลบน ThingsBoard (1)

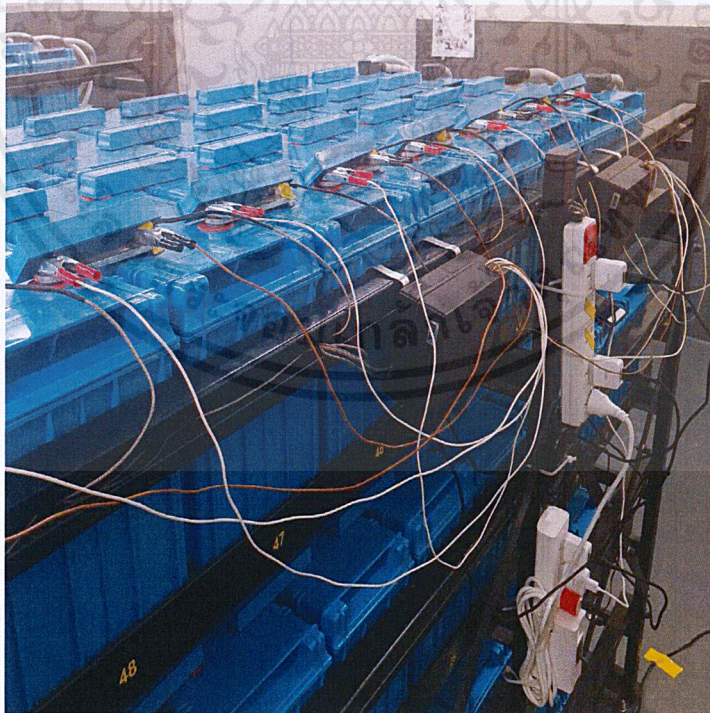


รูปที่3.41 ส่วนการแสดงผลบน ThingsBoard (2)

### 3.14 ทำการติดตั้งอุปกรณ์



รูปที่ 3.42 การติดตั้งหน้างานที่ห้อง Battery Room Block 2 (1)



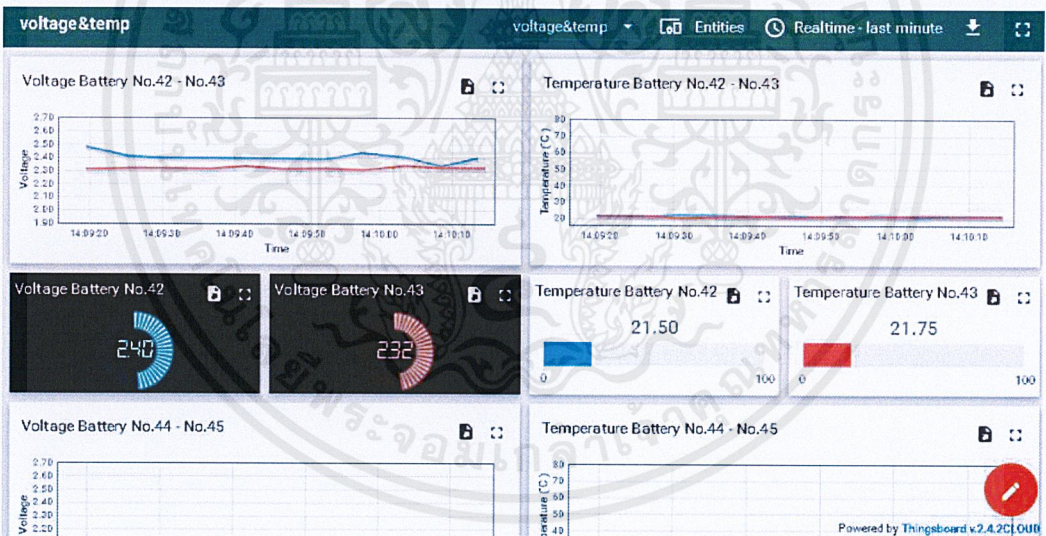
รูปที่ 3.43 การติดตั้งหน้างานที่ห้อง Battery Room Block 2 (2)

## บทที่ 4 ผลการติดตั้งอุปกรณ์

### 4.1 ผลการแสดงค่าใน ThingsBoard



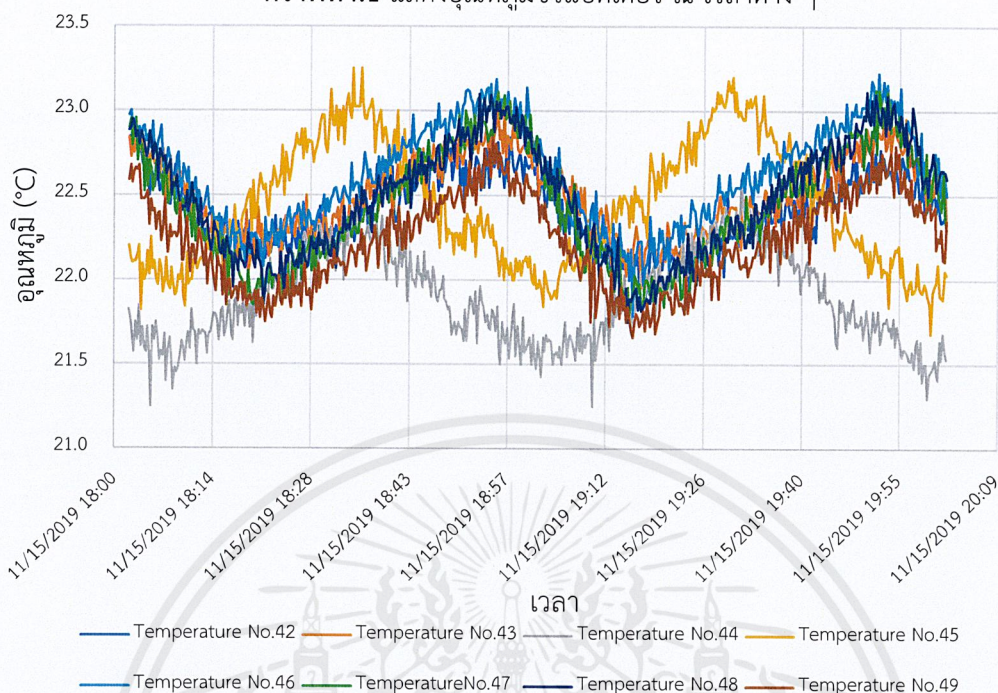
รูปที่4.1 การแสดงค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงและอุณหภูมิบน Dashboard (1)



รูปที่4.2 การแสดงค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงและอุณหภูมิบน Dashboard (2)

หน้าแสดงผลบน ThingsBoard นั้นจะแสดงผลแบบเรียลไทม์ ซึ่งความถี่ในการส่งข้อมูลขึ้นอยู่กับคำสั่งที่เขียนลงในตัวบอร์ดประมวลผล ส่วนการเก็บข้อมูลนั้นเนื่องจากระบบ Cloud เป็นแบบตัวทดลองใช้ จึงสามารถเก็บข้อมูลได้ในระยะเวลาเพียง 2 ชั่วโมงเท่านั้น และเก็บไว้ทุก ๆ 15 วินาที ซึ่งดึงข้อมูลมาแสดงดังกราฟต่อไปนี้

กราฟที่ 4.1 แสดงอุณหภูมิชั่วแบตเตอรี่ ณ เวลาต่าง ๆ

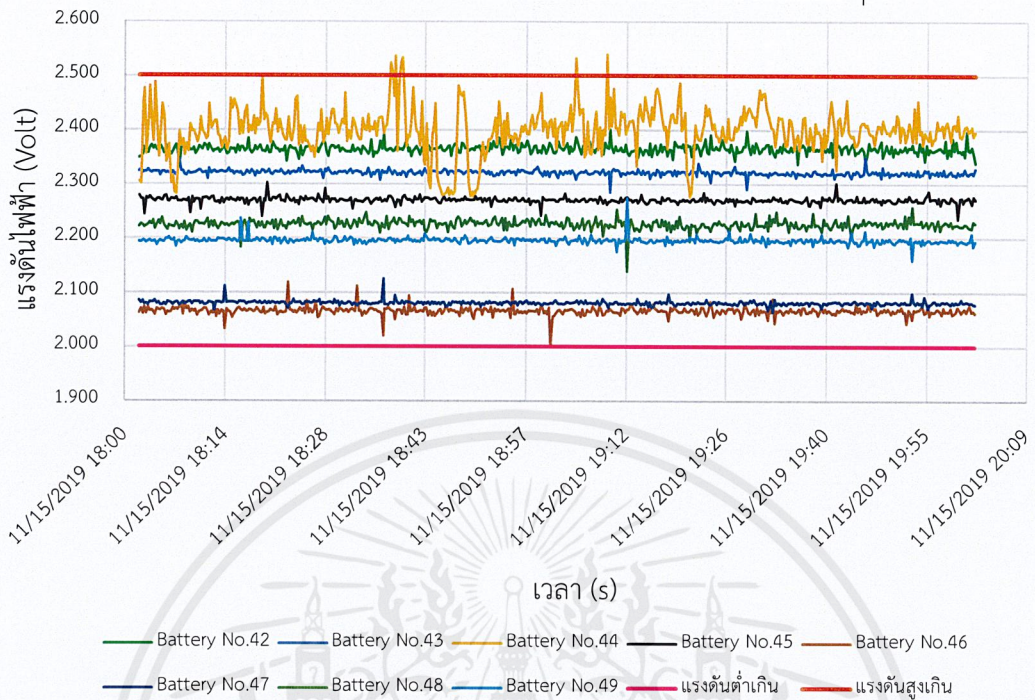


ตารางที่ 4.1 วิเคราะห์ผลอุณหภูมิเมื่อเทียบกับอุณหภูมิห้อง 22 °C (ค่าจาก ThingsBoard)

Temperature Analysis	Battery No.42	Battery No.43	Battery No.44	Battery No.45
Average	22.4 °C	22.5 °C	21.9 °C	22.4 °C
Max Error	3.86%	4.65%	3.41%	5.68%
Min Error	0.00%	0.10%	0.00%	0.00%
Average Error	1.89%	2.31%	1.12%	2.05%
Temperature Analysis	Battery No.46	Battery No.47	Battery No.48	Battery No.49
Average	22.3 °C	22.4 °C	21.8 °C	22.3 °C
Max Error	3.82%	4.65%	3.41%	5.68%
Min Error	0.00%	0.10%	0.00%	0.00%
Average Error	1.87%	2.30%	1.12%	2.06%

จากข้อมูลและการวิเคราะห์ข้างต้นชี้ให้เห็นว่าตัววัดอุณหภูมิ Max6675 ใช้ร่วมกับ Thermocouple Type K มีค่าความผิดพลาดสูงสุดไม่เกิน 10% และค่าความผิดพลาดเฉลี่ยต่ำกว่า 5% ซึ่งทางสถานประกอบการ(ฝ่ายบำรุงรักษาทางไฟฟ้า กฟผ.) ให้การยอมรับสำหรับค่าความผิดพลาดที่แสดงดังกล่าว

กราฟที่4.2 แสดงค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ณ เวลาต่าง ๆ



ตารางที่4.2 ค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงของแบตเตอรี่ (วัดด้วย Multimeter FLUKE 87V)

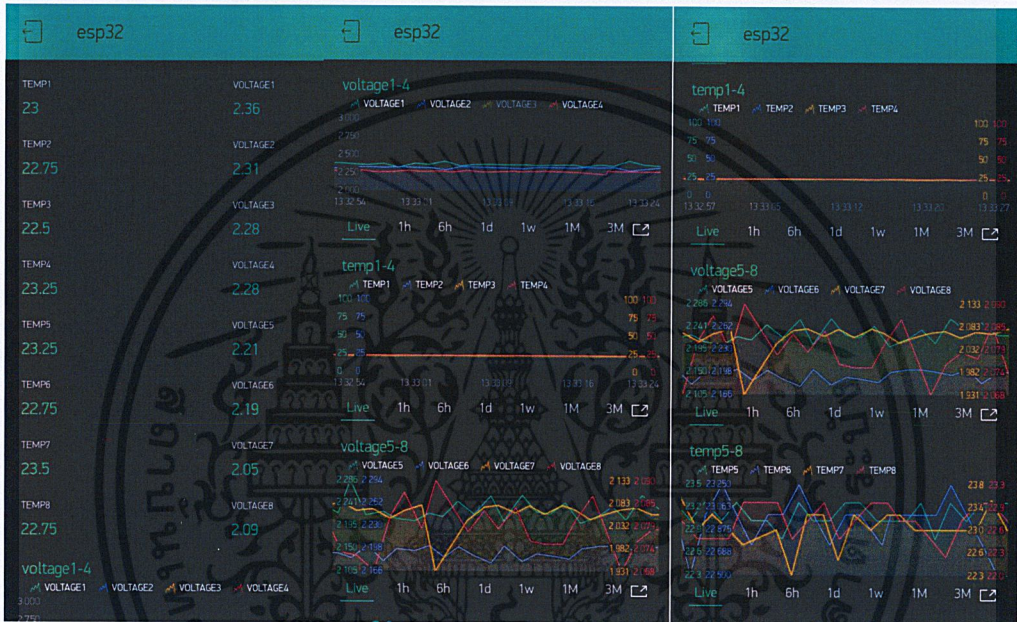
Battery	No.42	No.43	No.44	No.45	No.46	No.47	No.48	No.49
Voltage	2.271	2.273	2.301	2.326	2.214	2.178	2.178	2.171

ตารางที่4.3 การวิเคราะห์ผลแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (ค่าจาก ThingsBoard)

Analysis	Voltage	Battery No.42	Battery No.43	Battery No.44	Battery No.45
	Average	2.365 V.	2.321 V.	2.400 V.	2.271 V.
	Max Error	5.73%	3.33%	10.36%	3.86%
	Min Error	2.86%	0.53%	0.01%	1.02%
	Average Error	4.15%	2.13%	4.38%	2.37%
Analysis	Voltage	Battery No.46	Battery No.47	Battery No.48	Battery No.49
	Average	2.066 V.	2.081 V.	2.226 V.	2.196 V.
	Max Error	9.72%	5.20%	3.67%	4.78%
	Min Error	4.29%	2.41%	0.27%	0.18%
	Average Error	6.67%	4.45%	2.22%	1.17%

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลข้างต้นจะพบว่าค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่อ่านด้วยบอร์ด Goouuu ESP32 โดยตรงจะมีค่าความผิดพลาดน้อยกว่าอ่านค่าผ่าน Voltage Sensor (เมื่อเทียบค่ากับ Multimeter FLUKE 87V) นั่นคือแบตเตอรี่หมายเลข 43, 45, 47, 49 ส่วนแบตเตอรี่หมายเลข 42, 44, 46, 48 เป็นการนำค่าที่ Voltage Sensor อ่านได้นำไปลบกับค่าที่อ่านจากบอร์ดโดยตรง ทำให้มีความผิดพลาดสูงกว่า และจะเห็นได้ว่าค่าที่ได้จากแบตเตอรี่หมายเลข 46 และ 47 นั้นมีความผิดพลาดสูง ซึ่งทางผู้ทำโครงการคาดว่าน่าจะเกิดจากปัญหาในตัวบอร์ดเอง

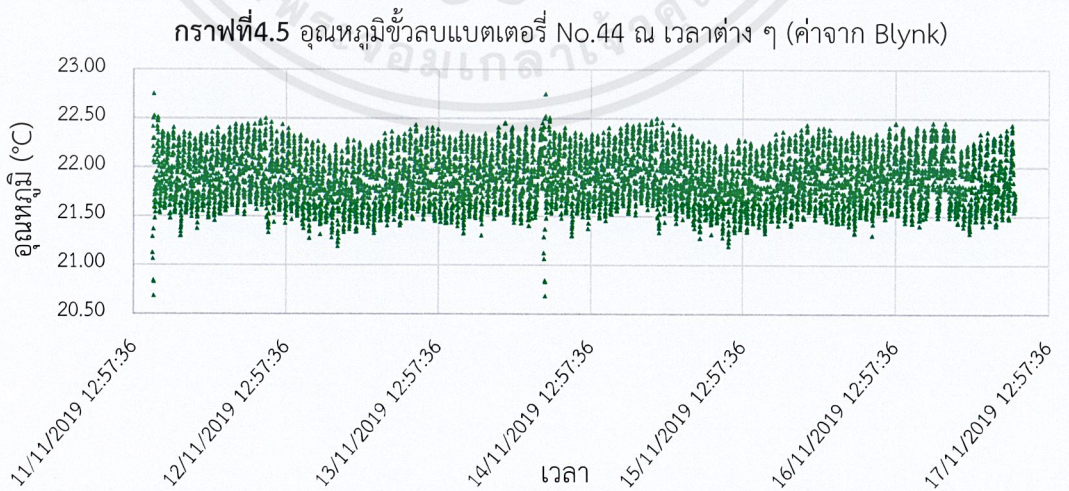
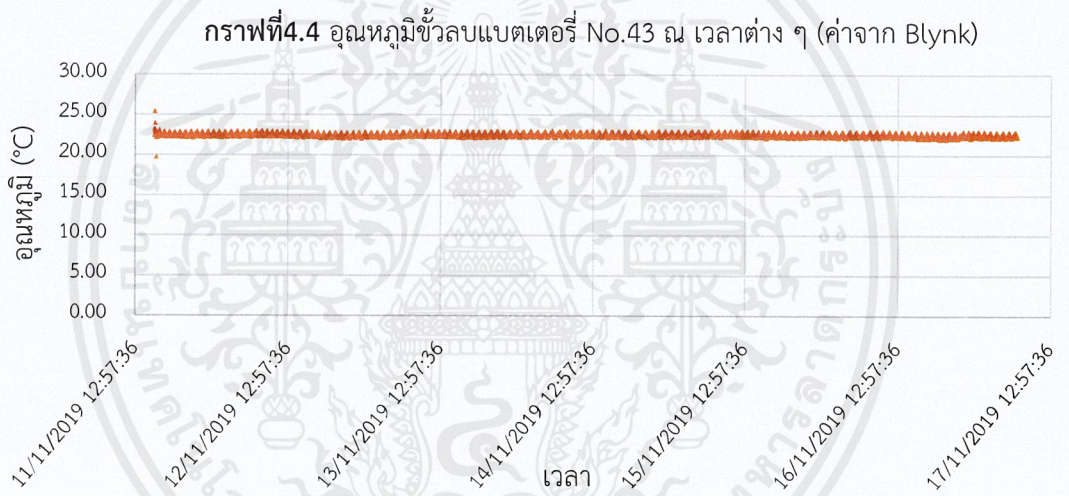
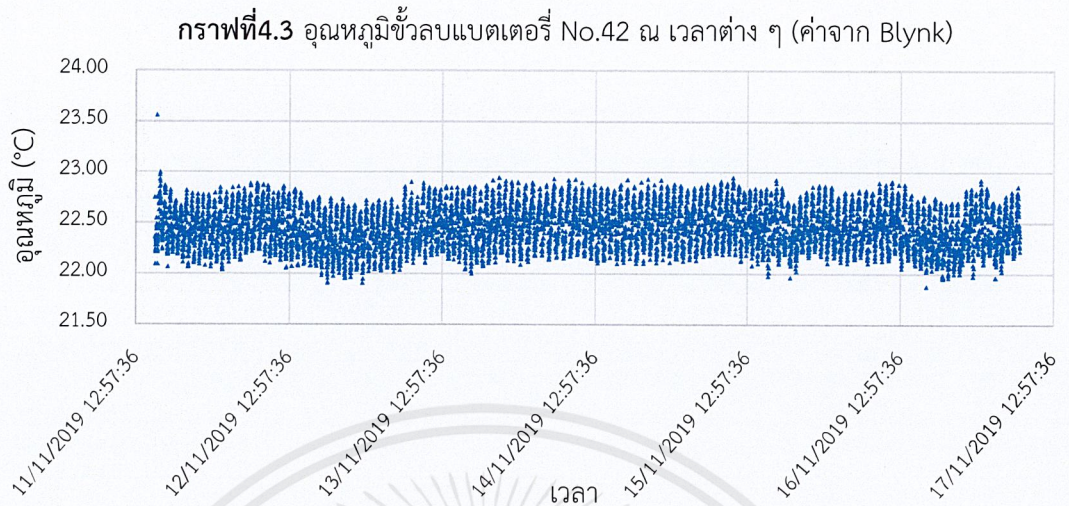
#### 4.2 ผลการแสดงผลค่าใน Application Blynk

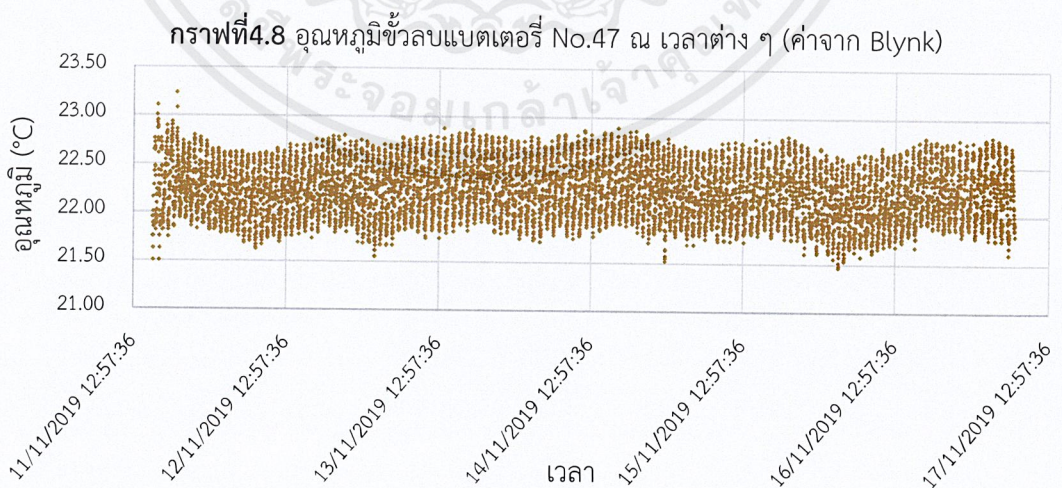
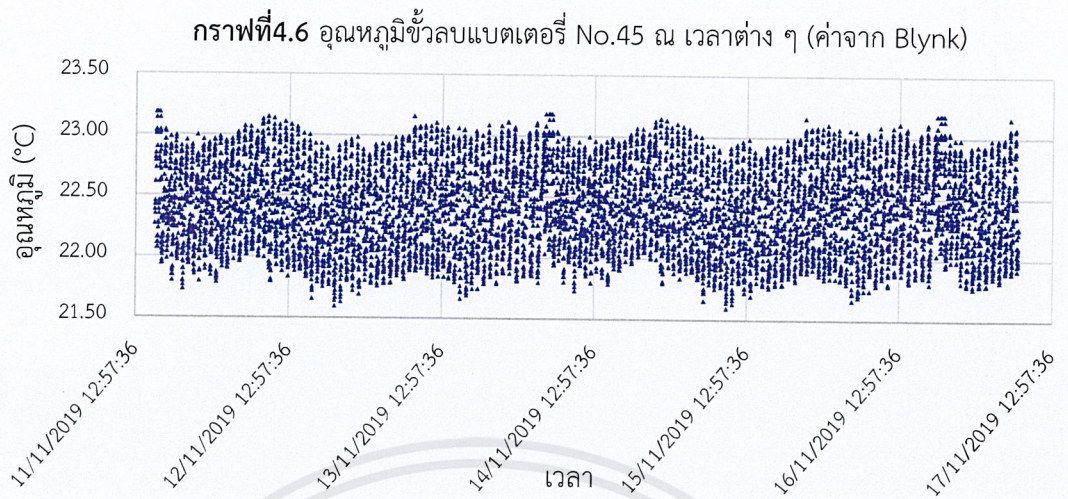


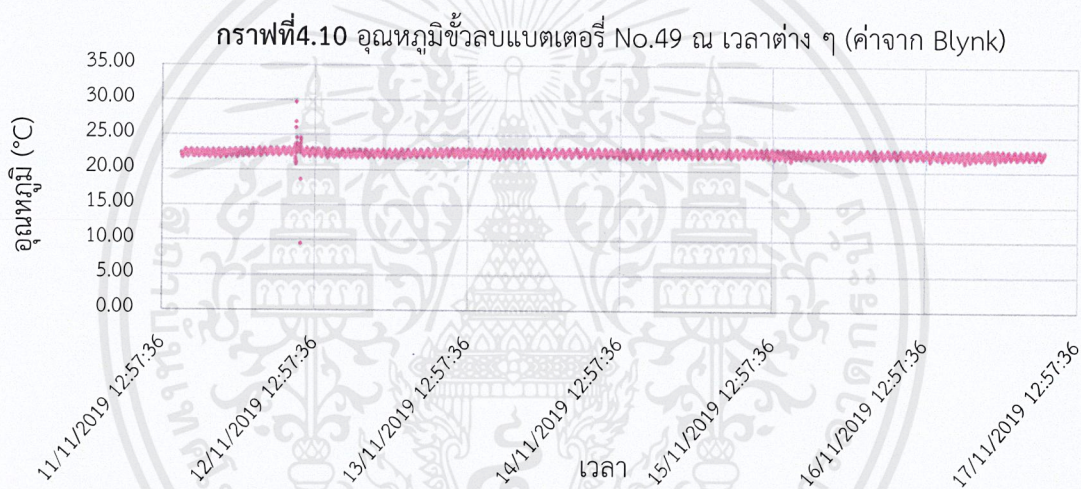
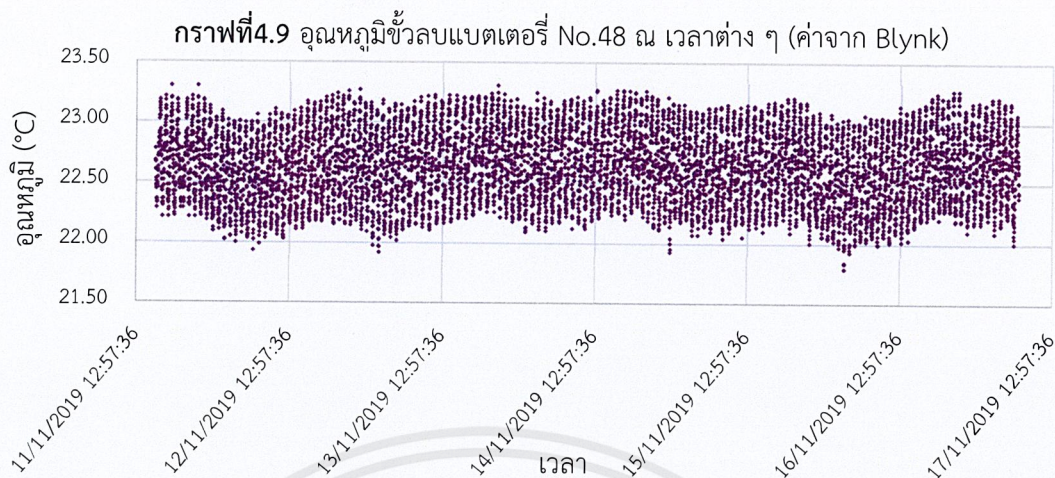
รูปที่ 4.3 การแสดงผลค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงและอุณหภูมิบน Blynk Application

เมื่อทำการส่งค่าไปยังหน้าแสดงผลใน Blynk Application ที่สร้างไว้การแสดงผลจะเป็นแบบเรียลไทม์ และความถี่การส่งข้อมูลขึ้นอยู่กับคำสั่งที่เขียนในตัวบอร์ด(โดยทางผู้ทำโครงการได้เขียนคำสั่งให้ส่งค่าทุก ๆ 5 วินาที) โดยทางผู้ทำโครงการได้ใช้ Sever การเก็บข้อมูลของมหาวิทยาลัยรังสิต ซึ่งทางสถานประกอบการ(ฝ่ายบำรุงรักษาทางไฟฟ้า กฟผ.) อนุญาตให้ใช้ จึงทำให้การค่าที่ส่งไปแสดงค่านั้นได้ถูกเก็บไว้ด้วย แต่จะเป็นการเก็บค่าในทุก ๆ 60 วินาที หรือทุก ๆ 1 นาที โดยข้อมูลจะเก็บไว้จนกว่าทางมหาวิทยาลัยรังสิตจะยกเลิก หรือหน้าการแสดงผลถูกลบออก ซึ่งทางผู้ทำโครงการได้ตั้งข้อมูลมาเป็นเวลา 5 วัน ได้แสดงในกราฟต่อไปนี้

## อุณหภูมิที่ขั้วลบบattery





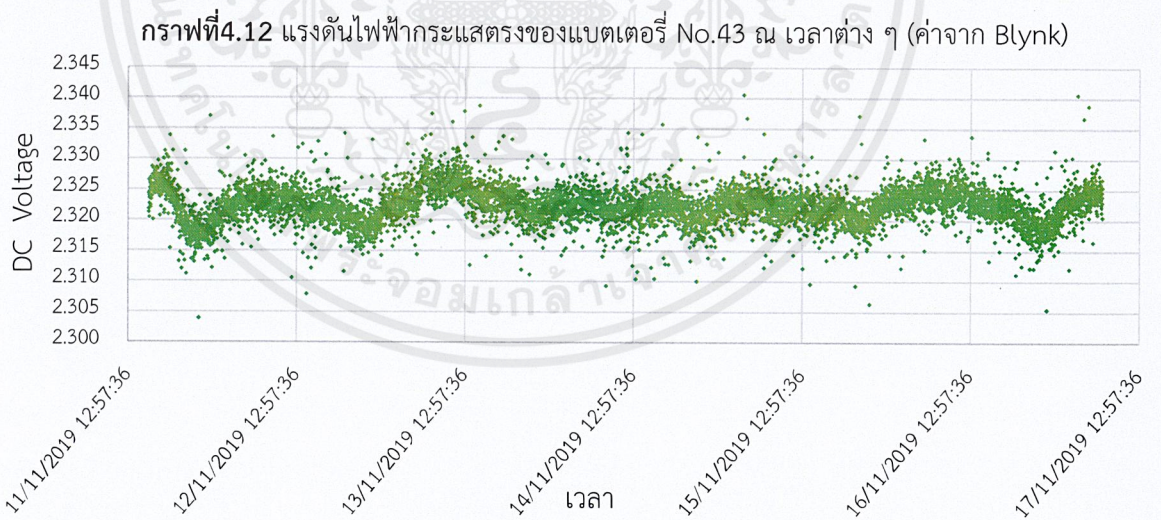
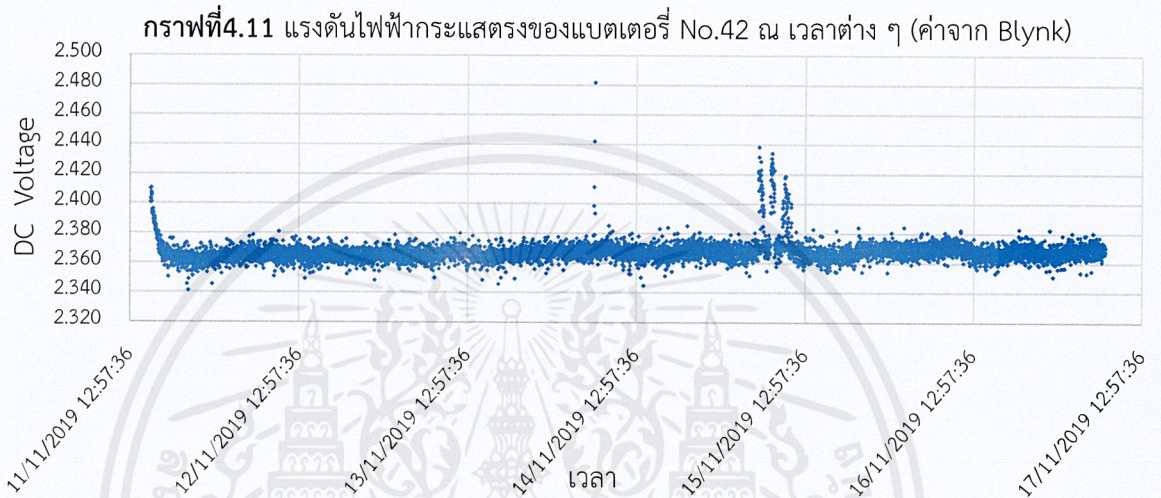


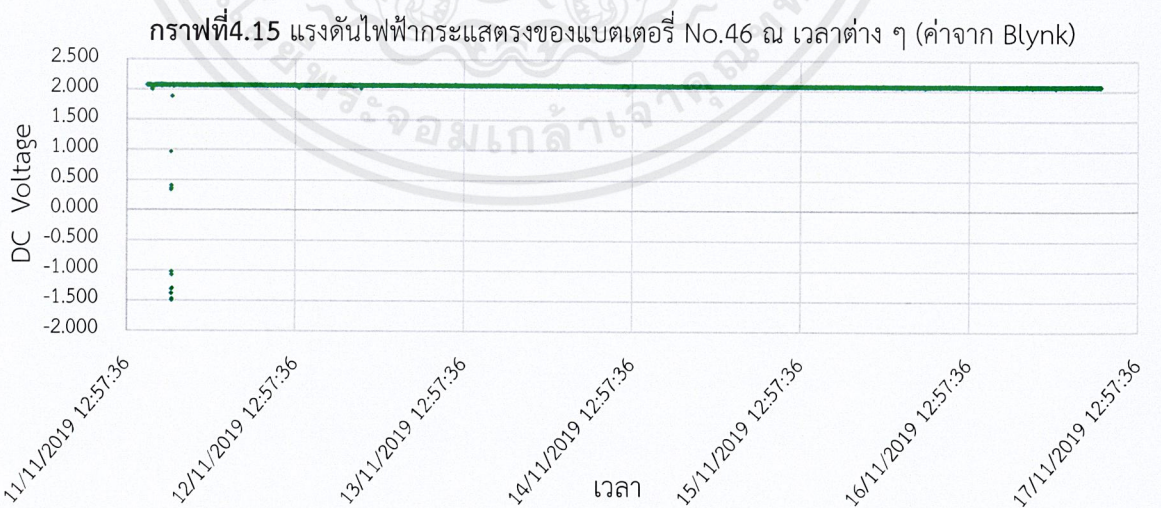
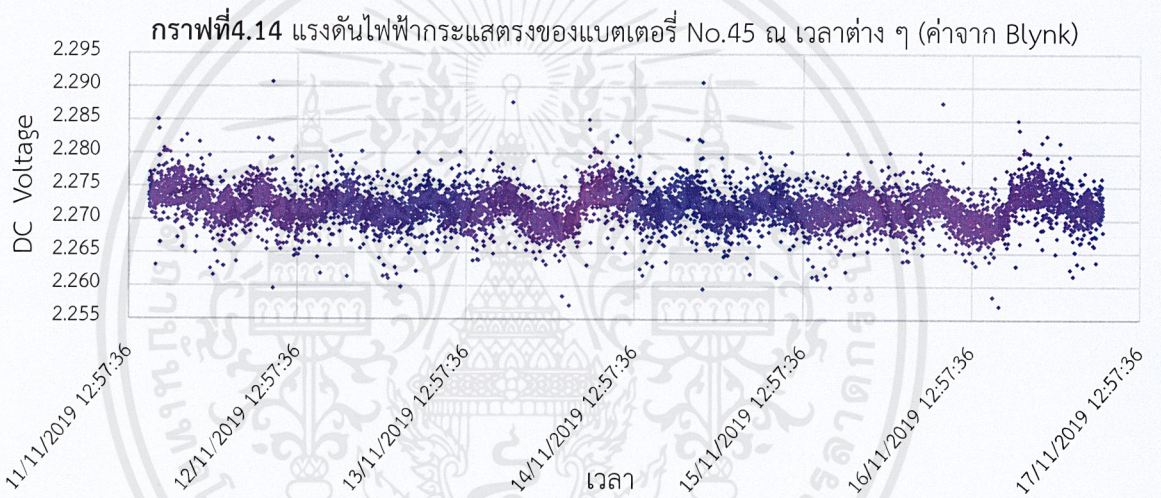
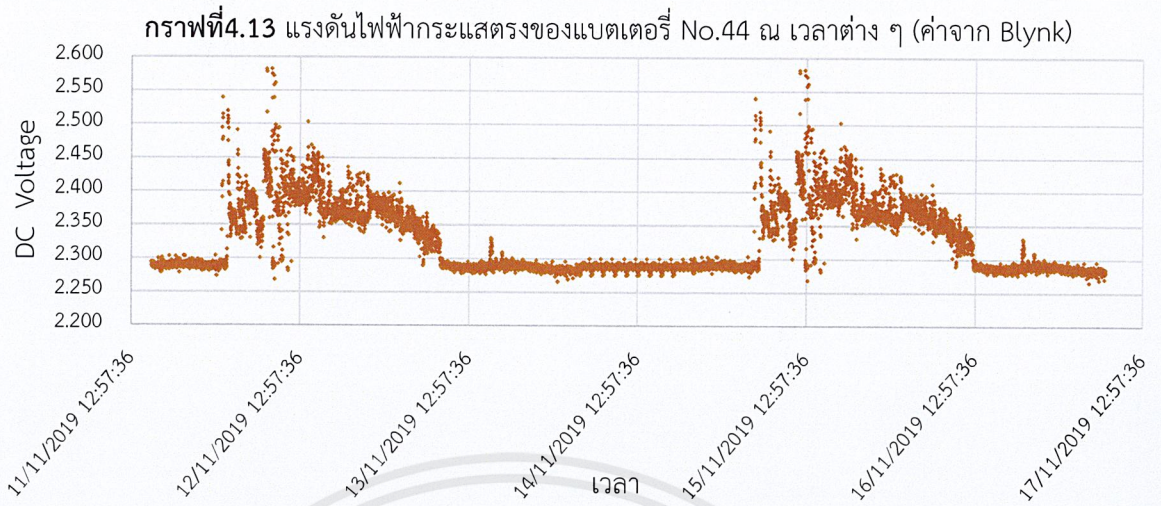
ตารางที่4.4 วิเคราะห์ผลอุณหภูมิเมื่อเทียบกับอุณหภูมิห้อง 22 °C (ค่าจาก Blynk)

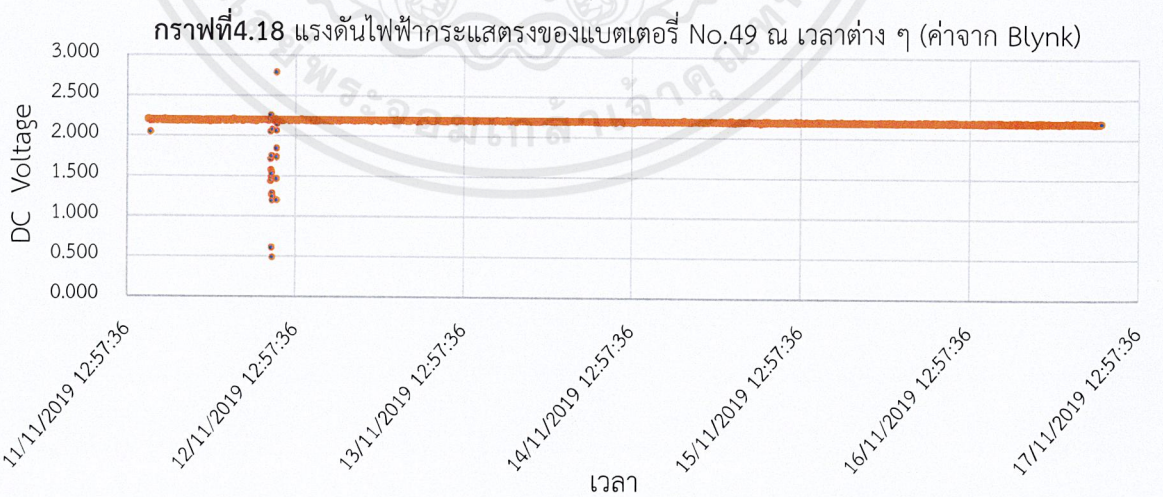
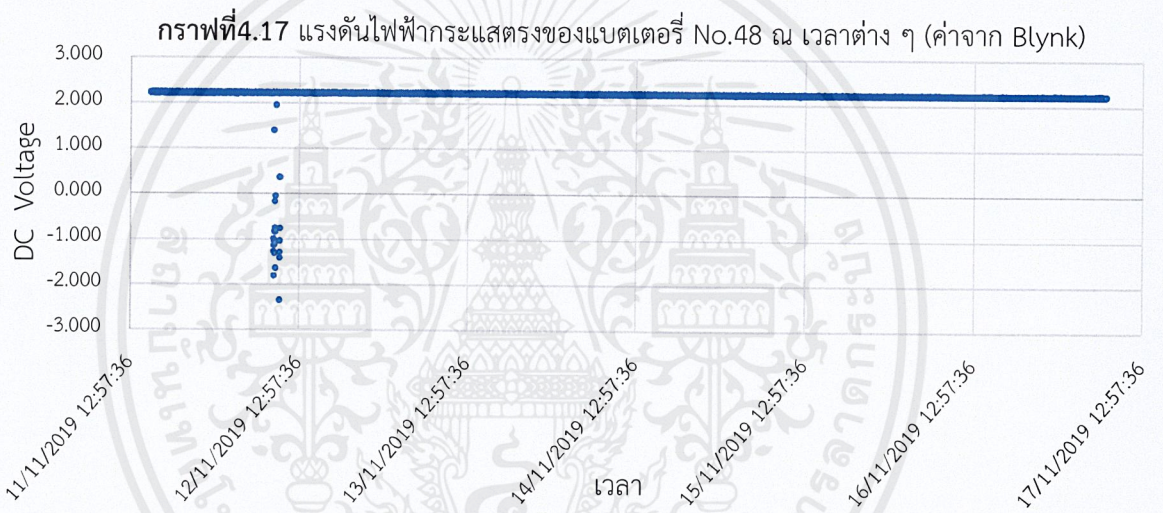
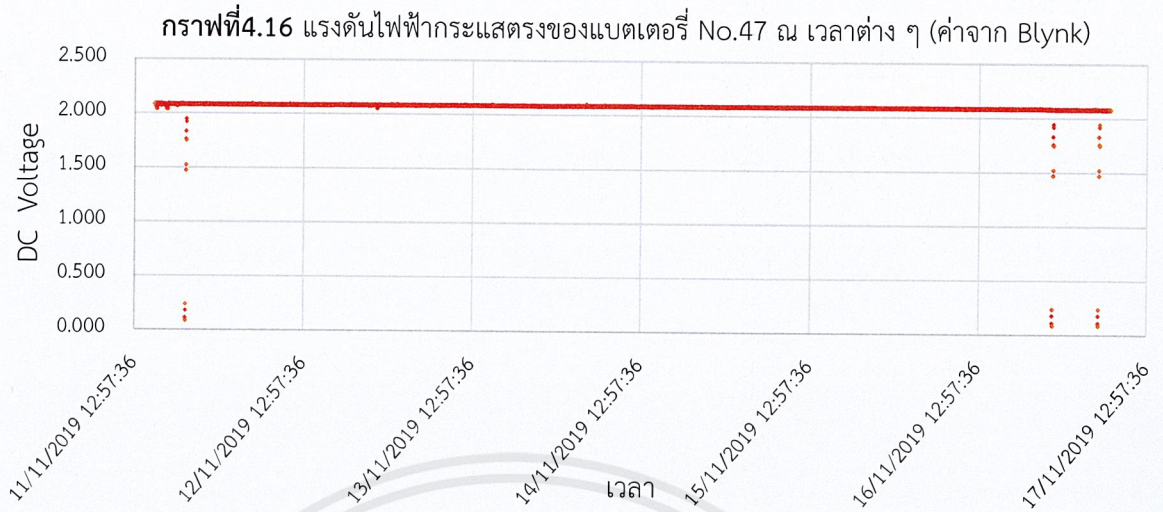
Temperature	Battery	Battery	Battery	Battery
Analysis	No.42	No.43	No.44	No.45
Average	22.5 °C	22.51 °C	21.88 °C	22.41 °C
Max Error	7.08%	15.00%	5.99%	5.37%
Min Error	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Average Error	2.08%	2.33%	1.13%	1.99%
Temperature	Battery	Battery	Battery	Battery
Analysis	No.46	No.47	No.48	No.49
Average	22.50 °C	22.24 °C	22.63 °C	22.45 °C
Max Error	100.00%	5.60%	5.93%	56.94%
Min Error	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Average Error	2.39%	1.39%	2.89%	2.15%

จากข้อมูลและการวิเคราะห์ข้างต้นเป็นข้อมูลจำนวนทั้งหมด 5 วัน ซึ่งจากกราฟจะเป็นได้ว่าค่าจะเกาะกลุ่มกันเป็นส่วนมาก บางช่วงเวลาตัวบอร์ดมีการวัดค่าได้คาดเคลื่อนไปอย่างมาก เห็นได้ชัดจากตารางที่ 4.4 ค่าความผิดพลาดสูงสุดมากที่สุดอยู่ที่ 100% แน่ใจว่าเป็นปัญหาจากตัวบอร์ดเอง หากมองโดยภาพรวมแล้วค่าความผิดพลาดเฉลี่ยนั้นน้อยกว่า 5% โดยถือว่าเป็นค่าที่ยอมรับได้

### แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงของแบตเตอรี่







ตารางที่4.5 การวิเคราะห์ผลแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (ค่าจาก Blynk)

Voltage Analysis	Battery No.42	Battery No.43	Battery No.44	Battery No.45
Average	2.367 V.	2.322 V.	2.328 V.	2.272 V.
Max Error	9.26%	2.97%	2.97%	12.20%
Min Error	3.08%	1.35%	1.35%	0.00%
Average Error	4.23%	2.17%	2.17%	1.81%
Voltage Analysis	Battery No.46	Battery No.47	Battery No.48	Battery No.49
Average	2.063 V.	2.076 V.	2.216 V.	2.193 V.
Max Error	12.20%	2.97%	2.97%	167.79%
Min Error	0.00%	1.52%	1.52%	5.75%
Average Error	1.81%	2.32%	2.32%	6.81%

เมื่อดูจากกราฟข้อมูลแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงของแต่ละแบตเตอรี่จะเห็นได้ว่ามีช่วงเวลาที่ตัวบอร์ดได้ทำงานผิดพลาด ซึ่งทำให้ค่าที่ได้มีความผิดพลาดที่สูงโดยสามารถดูได้จากตารางที่4.5 ค่าความผิดพลาดมากที่สุดอยู่ที่ 167.79% หากมองโดยภาพรวมแล้วค่าความผิดพลาดเฉยนั้นน้อยกว่า 5% โดยทั้งหมดนี้สอดคล้องกันกับการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้มาจาก Thingsboard

#### 4.3 ผลการลดความสูญเสีย



รูปที่4.4 การติดตามผลผ่าน Blynk Application

#### ตารางที่ 4.6 การเปรียบเทียบเวลาการปฏิบัติงาน

	การปฏิบัติงานแบบเก่า	การปฏิบัติงานหลังติดตั้งอุปกรณ์
เวลาที่ใช้	7 ชั่วโมง	20 นาที
จำนวนผู้ปฏิบัติงาน	3 คน	1 คน

การปฏิบัติงานตรวจเช็คแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงของแบตเตอรี่แบบเดิมนั้นใช้เวลาไปถึง 7 ชั่วโมง และจำนวนคนถึง 3 คน ซึ่งสองคนทำหน้าที่วัดค่าพร้อมบันทึกค่าลงในตาราง และอีกหนึ่งคนทำการนำข้อมูลบันทึกลงใน Microsoft Excel เพื่อทำการเก็บข้อมูลไว้ เมื่อทำการติดตั้งอุปกรณ์พบว่าสามารถลดเวลาลงเหลือเพียง 20 นาที (รวมการดึงข้อมูลมาจาก Blynk Application) และจำนวนคนลดลงเหลือเพียงหนึ่งคนเท่านั้น ซึ่งตรงกับวัตถุประสงค์ที่ผู้ทำโครงการตั้งไว้

#### 4.4 ปัญหาและวิธีการแก้ไขปัญหา

##### 4.3.1 ปัญหาที่พบ

ปัญหาด้านงบประมาณโดยในเริ่มแรกนั้นได้มีการนำเสนอให้มีการวัดค่าอุณหภูมิและแรงดันของแบตเตอรี่ทั้งหมด 106 ตัวนั้นไม่สามารถทำได้ เนื่องจากปัญหาด้านงบประมาณของทางสถานประกอบการนั้นไม่เพียงพอ

ปัญหาด้านตัวบอร์ด Gooouu ESP32 ขา GND ทุกขา นั้นเชื่อมถึงกันจึงไม่สามารถวัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงได้แบบ 1 คู่ ขา Analog Input กับ GND ต่อ แบตเตอรี่ 1 ตัว เนื่องจากจะเกิดการลัดวงจรขึ้น และทำให้ตัวบอร์ดพัง อีกทั้งความสัมพันธ์ระหว่างค่า Analog กับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่วัดได้ ไม่เป็นเส้นตรง

ปัญหาของตัววัดอุณหภูมิบอร์ด Max6675 ร่วมกับ Thermocouple Type K เมื่อหัววัดอุณหภูมิสัมผัสกับขั้วของแบตเตอรี่โดยตรงจะทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลย้อนเข้าไปยังตัว Max6675 ทำให้ค่าที่อ่านได้มีค่าผิดพลาดและหากปล่อยทิ้งไว้จะทำให้ตัวบอร์ดประมวลผล Gooouu ESP32 พังได้

##### 4.3.2 วิธีการแก้ไขปัญหา

เมื่องบประมาณไม่เพียงพอจึงจำเป็นต้องลดขอบเขต และจำนวนแบตเตอรี่ที่ต้องการวัดค่าลง ส่วนการวัดแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่จำเป็นต้องใช้วิธีวัดค่าโดยตรงก่อน 1 ตัว แล้ววัดค่าแรงดันรวม 2 ตัว จากนั้นนำค่ามาลบกันจึงจะได้แรงดันของแบตเตอรี่ทั้งสองตัว และการวัดอุณหภูมิที่ขั้วของแบตเตอรี่นั้นต้องมีฉนวนไฟฟ้าติดไว้ที่ขั้วก่อน จึงทำการนำหัววัดอุณหภูมิ Thermocouple Type K ไปวัดที่บริเวณนั้นได้

## บทที่ 5

### สรุปผล และข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

จากการดำเนินงานในการติดตั้งอุปกรณ์ และระบบติดตามค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงพร้อมอุณหภูมิแบบอัตโนมัติ พบว่าสามารถดูแลได้จากระยะไกลผ่านระบบ IoT ที่หน้าแสดงผลของผู้ให้บริการ ThingsBoard และ Blynk Application บนสมาร์ตโฟน ซึ่งลดความสูญเสียจากการเคลื่อนไหว เช่นความเมื่อยล้าทางร่างกาย และอุบัติเหตุระหว่างตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าของผู้ปฏิบัติงานด้านการบำรุงรักษาทางไฟฟ้า และลดความสูญเสียจากการรอคอย โดยที่สามารถดูค่าได้อย่างทันที เมื่อเทียบกับการปฏิบัติงานแบบเดิมที่ต้องใช้เวลาถึงหนึ่งวัน อีกทั้งระบบยังเก็บข้อมูลไว้ใน Sever ของมหาวิทยาลัยรังสิต สำหรับ Blynk Application อีกด้วย

หมายเหตุ : การที่ข้อมูลถูกเก็บใน Sever ของมหาวิทยาลัยรังสิต เนื่องจากทาง กฟผ. ได้มีการส่งวิศวกรไปอบรมเกี่ยวกับระบบ IoT ทำให้ได้สิทธิ์การใช้งาน Sever มาด้วย

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

การวัดค่าแรงดันไฟฟ้าให้แม่นยำนั้นควรที่จะมีวงจรการวัดโดยเฉพาะ และใช้ตัวประมวลผล Gooouu ESP32 เป็นเพียงตัวกลางส่งข้อมูล เพื่อลดค่าความผิดพลาดที่เกิดจากตัวประมวลผลเอง อีกทั้งการทำโครงการในสถานประกอบการ ควรสอบถามเรื่องงบประมาณให้แน่ชัดก่อนเริ่มดำเนินงาน ซึ่งหากไม่เพียงพอ อาจทำให้ขอบเขตของงานถูกลดลงได้

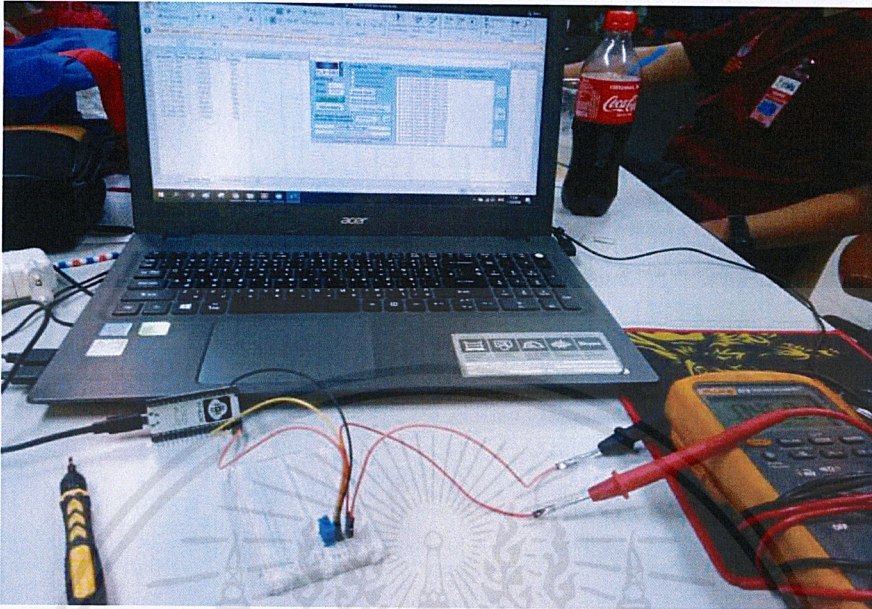
## เอกสารอ้างอิง

- [1] RONDA HUTCHINSON. 2004. TEMPERATURE EFFECTS ON SEALED LEAD ACID BATTERIES AND CHARGING TECHNIQUES TO PROLONG CYCLE LIFE”. Telemetry and Software Systems. Sandia National Laboratories.
- [2] FIAMM. 2007. CONSTRUCTION FEATURES, OPERATING FEATURES. MONOLITE Valve regulated Recombination Batteries – Engineering manual.
- [3] เกษทิพย์ ศิริชัยศิลป์. 2011. โปรแกรม Spss คืออะไร?. [Online]. เข้าถึงได้จาก : <https://www.gotoknow.org/posts/463011>. เข้าถึง เมื่อวันที่ 29 ต.ค. 2562
- [4] ThingsBoard. 2019. What is ThingsBoard. [Online]. เข้าถึงได้จาก : <https://thingsboard.io/docs/getting-started-guides/what-is-thingsboard/>. เข้าถึง เมื่อวันที่ 30 ต.ค. 2562
- [5] Maxim Integrated. 2014. MAX6675: Cold-Junction-Compensated K-Thermocouple to Digital Converter (0°C to +1024°C). Maxim Integrated Products: p.1
- [6] HELUKABLE. 2015. Data and Computer Cables: TRONIC-CY (LiY-CY). CW&A Edition 27: p. 131
- [7] Espressif Systems. 2019. Pin Definitions. ESP32-WROOM-32 Datasheet V2.9.
- [8] FLUKE. 2006. 80 Series V Industrial True-RMS Multimeter with Temperature. [Online]. เข้าถึงได้จาก: [https://dam-assets.fluke.com/s3fs-public/2137623\\_6116\\_ENG\\_B\\_W.PDF](https://dam-assets.fluke.com/s3fs-public/2137623_6116_ENG_B_W.PDF). เข้าถึง เมื่อวันที่ 16 ธ.ค. 2562
- [9] Andrew Sagl. SEP 21, 2011. Get to Know Your Battery. [Online]. เข้าถึงได้จาก: <https://www.ecmweb.com/maintenance-repair-operations/article/20900287/get-to-know-your-battery>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 21 ธ.ค. 2562
- [10] Volney Naranjo. Battery Testing and Maintenance Per NERC PRC-005 Guidelines. [Online]. เข้าถึงได้จาก: <https://electricenergyonline.com/energy/magazine/1079/article/Battery-Testing-and-Maintenance-Per-NERC-PRC-005-Guidelines.htm>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 21 ธ.ค. 2562
- [11] Storage Battery System, LLC. Flooded Lead-Acid Battery Capacity Testing Procedure Based on IEEE-450-2010\*.

- [12] Storage Battery System, LLC. VRLA Battery Capacity Testing Procedure  
Based on IEEE-1188-2005\*.
- [13] IEEE STANDARDS ASSOCIATION, 2006, Errata to IEEE Recommended Practice for  
Installation, Maintenance, Testing and Replacement of Vented Nickel-  
Cadmium Batteries for Stationary Applications. IEEE Std 1106™ - 2005
- [14] Storage Battery System, LLC. SBS's Recommended Testing Schedule  
Based on IEEE & NERC PRC-005.
- [15] International Standard. 2004-02. Stationary lead-acid batteries part 21-22.  
IEC 60896-21 & IEC 60896-22.



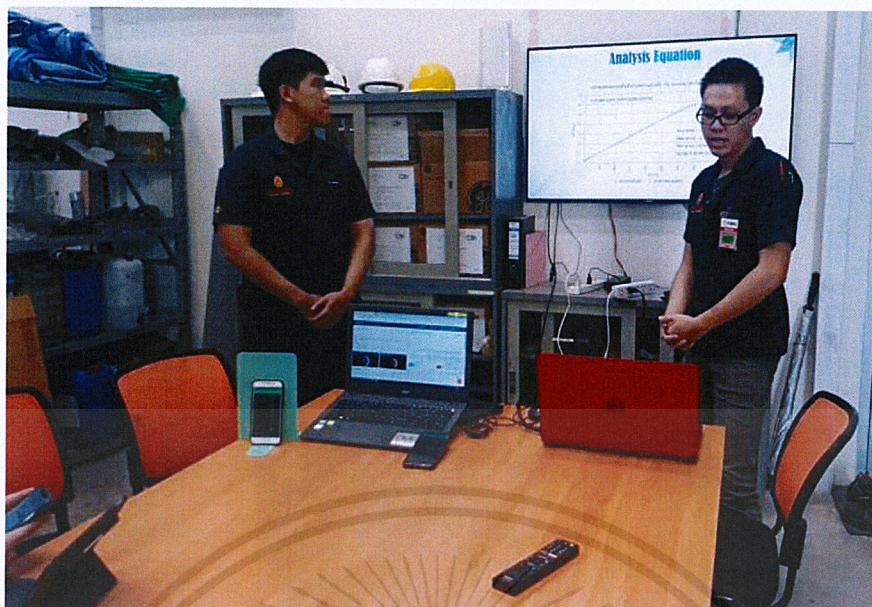
## ภาคผนวก



รูปที่5.1 ทำการเก็บค่า Analog ที่อ่านได้ ณ แรงดันต่าง ๆ



รูปที่5.2 เขียนคำสั่งการทำงานลงบอร์ด Goouuu ESP32



รูปที่ 5.3 นำเสนอผลงานต่อวิศวกรผู้ดูแล และผู้ปฏิบัติงาน



รูปที่ 5.4 มอบของที่ระลึกให้กับฝ่ายบำรุงรักษาทางไฟฟ้า

## ประวัติผู้เขียน

- ชื่อ - นามสกุล : นายนิธิกร วันวิวัฒน์
- วัน เดือน ปีเกิด : 23 กรกฎาคม 2540
- Email : 59010737@kmitl.ac.th
- ประวัติการศึกษา : ระดับมัธยมต้น โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่  
ระดับมัธยมปลาย โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่  
ระดับปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- ประวัติการทำงาน : มิถุนายน - กรกฎาคม 2562  
นักศึกษาฝึกงาน แผนกซ่อมบำรุงทางไฟฟ้า  
การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย(กฟผ.)  
สิงหาคม - พฤศจิกายน 2562  
นักศึกษาฝึกงาน แผนกซ่อมบำรุงทางไฟฟ้า  
การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย(กฟผ.)

ชื่อ - นามสกุล : นายพัทธพล สมเสมอใจ

วัน เดือน ปีเกิด : 8 เมษายน 2541

Email : 59010951@kmitl.ac.th

ประวัติการศึกษา : ระดับมัธยมต้น โรงเรียนดำรงราษฎร์สงเคราะห์ จังหวัดเชียงราย  
ระดับมัธยมปลาย โรงเรียนดำรงราษฎร์สงเคราะห์ จังหวัดเชียงราย  
ระดับปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประวัติการทำงาน : มิถุนายน - กรกฎาคม 2562  
นักศึกษาฝึกงาน แผนก Estimate Engineer  
ห้างหุ้นส่วนจำกัด อุดมศรีวัฒนา  
สิงหาคม - พฤศจิกายน 2562  
นักศึกษาฝึกงาน แผนกซ่อมบำรุงทางไฟฟ้า  
การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.)