



การวิเคราะห์ต้นทุนผลได้ของการใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งสำหรับการติดตามอุณหภูมิ  
และความชื้นของการเก็บรักษายา : กรณีศึกษาโรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชสระแก้ว



โดย  
นางสาววิจิตตรา คุ้มวงษ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรเภสัชศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาสารสนเทศศาสตร์ทางสุขภาพ แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญาโทมหาบัณฑิต

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2564

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศิลปากร

การวิเคราะห์ต้นทุนผลได้ของการใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งสำหรับการติดตาม  
อุณหภูมิและความชื้นของการเก็บรักษา ยา : กรณีศึกษาโรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราช  
สระแก้ว



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรเภสัชศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาสารสนเทศศาสตร์ทางสุขภาพ แผนก ก แบบ ก 2 ระดับปริญญาโทมหาบัณฑิต  
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร  
ปีการศึกษา 2564  
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศิลปากร

COST-BENEFIT ANALYSIS OF USING INTERNET OF THINGS TECHNOLOGY FOR  
TEMPERATURE AND HUMIDITY TRACKING OF MEDICAL STORAGE: A CASE  
STUDY OF SAKAEO CROWN PRINCE HOSPITAL.



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for Master of Pharmacy (HEALTH INFORMATICS)  
Graduate School, Silpakorn University  
Academic Year 2021  
Copyright of Silpakorn University

หัวข้อ การวิเคราะห์ต้นทุนผลได้ของการใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของ  
สรรพสิ่งสำหรับการติดตามอุณหภูมิและความชื้นของการเก็บรักษา  
ยา : กรณีศึกษาโรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชสระแก้ว

โดย วิจิตตรา คุ่มวงษ์

สาขาวิชา สารสนเทศศาสตร์ทางสุขภาพ แผนก ก แบบ ก 2 ระดับปริญญา  
มหาบัณฑิต

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สรวง รุ่งประกายพรรณ

---

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา  
ตามหลักสูตรเภสัชศาสตรมหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
(รองศาสตราจารย์ ดร.จุไรรัตน์ นันทานิช)

พิจารณาเห็นชอบโดย

.....ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สาธิต นิรติศัย)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สรวง รุ่งประกายพรรณ)

.....ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นพดล ชลอธรรม )

620820026 : สารสนเทศศาสตร์ทางสุขภาพ แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญาโทมหาบัณฑิต

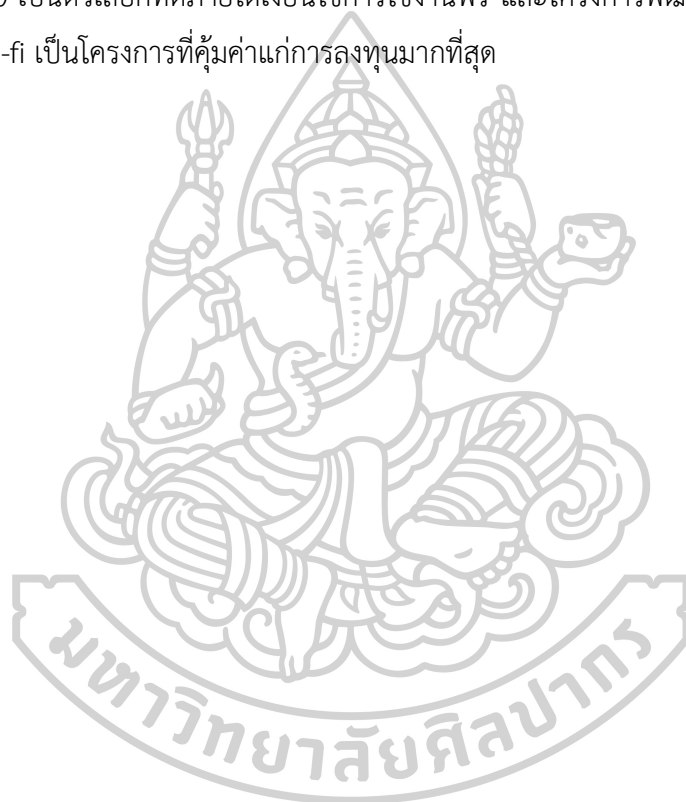
คำสำคัญ : อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง, การวิเคราะห์ต้นทุนผลได้, มูลค่าปัจจุบันสุทธิ, อัตรา

ผลตอบแทนจากการลงทุน, อัตราส่วนระหว่างผลได้ต่อต้นทุน

นางสาว วิจิตตรา คุ่มวงษ์: การวิเคราะห์ต้นทุนผลได้ของการใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งสำหรับการติดตามอุณหภูมิและความชื้นของการเก็บรักษายา : กรณีศึกษาโรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชสระแก้ว อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สรวง รุ่งประกาย พรรณ

ตามมาตรฐานหลักปฏิบัติที่ดีในการจัดเก็บและกระจายสินค้า (Guide to good storage & distribution practice for pharmaceutical products; GSDP) สภาพการจัดเก็บในสภาวะปกติ (Normal storage conditions) ควรเก็บในที่แห้ง มีอากาศถ่ายเทดี อุณหภูมิอยู่ระหว่าง 15 – 25°C หรือไม่เกิน 30°C และความชื้นสัมพัทธ์ไม่เกิน 60% เพื่อให้สามารถรับรองได้ว่าระบบการควบคุมและเก็บรักษาเป็นไปตามมาตรฐาน การนำเครือข่าย LoRaWAN มาประยุกต์ใช้ร่วมกับเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of Things: IoT) จะช่วยให้สามารถติดตามอุณหภูมิและความชื้นของห้องเก็บยาและเวชภัณฑ์แบบออนไลน์ และสามารถแจ้งเตือนผ่าน Line notification ทำให้สามารถป้องกันอุบัติเหตุความเสียหายต่อยาและเวชภัณฑ์ได้ แม้ว่าโครงการดังกล่าวจะมีประโยชน์ต่อระบบงานทั้งในเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ แต่เนื่องด้วยการใช้สัญญาณเครือข่าย LoRaWAN เป็นการลงทุนทางโครงสร้างที่มีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง ดังนั้นจึงควรพิจารณาระบบทางเลือกอื่น และจำเป็นต้องประเมินความคุ้มค่าของโครงการก่อนการดำเนินงาน งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) พัฒนาชุดอุปกรณ์ IoT สำหรับวัดอุณหภูมิและความชื้น 2) ศึกษาเปรียบเทียบการใช้งานคลาวด์เซิร์ฟเวอร์ Blynk และ NETPIE2020 สำหรับอุปกรณ์ IoT และ 3) ประเมินต้นทุนผลได้ของระบบติดตามอุณหภูมิและความชื้นห้องเก็บยาเพื่อหาความคุ้มค่าของโครงการ ชุดอุปกรณ์ IoT สำหรับวัดอุณหภูมิและความชื้นที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วย NodeMCU esp8266 V2 และเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น DHT22 ทำงานบนระบบปฏิบัติการ Arduino โดยใช้คลาวด์เซิร์ฟเวอร์ในการรับข้อมูลออนไลน์จากชุดอุปกรณ์ และติดตั้งระบบแจ้งเตือนผ่าน Line notification ผลการพัฒนาพบว่าชุดอุปกรณ์สามารถเก็บค่าและรายงานผลออนไลน์ผ่านคลาวด์เซิร์ฟเวอร์ได้ รวมไปถึงสามารถแจ้งเตือนผ่าน Line notification เมื่ออุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เกินจากค่าที่กำหนด เมื่อนำชุดอุปกรณ์ IoT ดังกล่าวมาทดสอบประสิทธิภาพเทียบกับอุปกรณ์วัดค่าดิจิทัล และอุปกรณ์มาตรฐาน LogTag® โดยเก็บข้อมูลทุก 30 นาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และ 30 วินาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และใช้สถิติ One Way ANOVA ในการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์จากแต่ละอุปกรณ์ และทำการเปรียบเทียบเชิงพหุ ด้วยวิธี Scheffe' พบว่าค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์และ

อุณหภูมิที่ได้จาก อุปกรณ์ IoT และเครื่องวัดดิจิทัล มีความแตกต่างจากค่าที่ได้จาก LogTag® ที่ P-value = 0.05 การใช้งาน NETPIE2020 มีข้อดีในการใช้งานเหนือกว่า Blynk ภายใต้เงื่อนไขของการใช้งานฟรี ผลการประเมินต้นทุนผลได้พบว่าโครงการพัฒนาชุดอุปกรณ์ IoT โดยใช้เครือข่าย Wi-fi ให้ค่า NPV > 0, ROI มากที่สุด และ BCR > 1 ซึ่งดีกว่าการใช้อุปกรณ์ IoT กับเครือข่าย LoRaWAN และวิธีการใช้คอนบัตติกที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน กล่าวโดยสรุปชุดอุปกรณ์ IoT สำหรับติดตามอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตามก่อนนำมาใช้งานควรทำการสอบเทียบ (Calibration) กับอุปกรณ์มาตรฐานเนื่องจากความแตกต่างระหว่างอุปกรณ์ คลาวด์เซิร์ฟเวอร์ NETPIE2020 เป็นตัวเลือกที่ดีภายใต้เงื่อนไขการใช้งานฟรี และโครงการพัฒนาชุดอุปกรณ์ IoT โดยใช้เครือข่าย Wi-fi เป็นโครงการที่คุ้มค่าแก่การลงทุนมากที่สุด



620820026 : Major (HEALTH INFORMATICS)

Keyword : Internet of Things (IoT), Cost-Benefit Analysis, Net Present Value (NPV),

Rate of Return on Investment (ROI), Benefit – Cost ratio (BCR)

MISS WICHITTRA KUMWONG : COST-BENEFIT ANALYSIS OF USING INTERNET OF THINGS TECHNOLOGY FOR TEMPERATURE AND HUMIDITY TRACKING OF MEDICAL STORAGE: A CASE STUDY OF SAKAEO CROWN PRINCE HOSPITAL. THESIS ADVISOR : ASSISTANT PROFESSOR SUANG RUNGPRAGAYPHAN, Ph.D.

According to the Guide to good storage & distribution practice for pharmaceutical products (GSDP), normal storage conditions should be dry and well ventilated. Temperature should be between 15-25°C or not exceeding 30°C. Relative humidity does not exceed 60% RH. In such conditions the control and storage system can be guaranteed as standard. Implementation of the LoRaWAN network with Internet of Things technology enable online tracking of temperature and humidity of the pharmaceutical storage room. It can alert via Line notification, allowing prevention of the incidence of medicine and medical supply damage. Although such a project is beneficial to the system both quantitatively and qualitatively, the LoRaWAN network is financially high on infrastructure investment. Therefore, it is logical to consider alternative systems and necessary to analyze the cost-benefit of the project before implementation. The objectives of this research were to 1) develop IoT devices for measuring temperature and humidity, 2) to compare Blynk and NETPIE cloud servers for the IoT devices, and 3) analyze the cost-benefit of the temperature and humidity monitoring system. The developed IoT devices composed of the NodeMCU esp8266 V2 and DHT22 temperature and humidity sensor. They ran on the Arduino operating system and utilized a cloud server for online data access. A notification system via Line notification was also set. Results demonstrated that the IoT devices were capable of collecting data and transmitting them online, and also providing Line notification when data exceeds a certain threshold. The IoT devices were validated against a digital meter and a standard device LogTag<sup>®</sup>. Temperature and humidity data were collected every 30 minutes for 24 hours, and every 30 seconds for 1 hour. Means of temperature and humidity from devices were compared using one-way ANOVA, and Scheffe' tests were conducted when multiple comparisons were needed. Results showed that means of

temperature and relative humidity from the IoT devices and the digital meter significantly differed from the LogTag® at p-value of 0.05. NETPIE2020 showed overall advantage over Blynk under the terms of free use. Cost-benefit analysis showed that temperature and humidity monitoring using the IoT devices with Wi-fi networks had NPV > 0, highest ROI, and BCR > 1, which were better than using IoT devices with LoRaWAN and the currently deployed recorded-by-human system. In conclusion, the developed IoT devices for monitoring temperature and relative humidity were effective. However, it is important to perform calibration with a standard equipment before implementation due to variation among devices. NETPIE2020 cloud server was a better choice over free use. The IoT device development project using Wi-Fi networks was the most cost-beneficial investment.





## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์เป็นอย่างดีได้ด้วยความช่วยเหลือ และการให้คำปรึกษาจาก อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ภก. สรวร รุ่งประกายพรรณ รวมทั้ง ผศ.ดร.ภก. สาธิต นิรดีศัย ประธาน กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.ภก. นพดล ชลธธรรม ผู้ทรงคุณวุฒิ ที่กรุณาให้คำแนะนำปรึกษา ตลอดจนปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความเอาใจใส่อย่างดียิ่ง ผู้วิจัยตระหนักถึงความตั้งใจจริง และความทุ่มเทของอาจารย์ และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบคุณคณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร อันเป็นที่ประสิทธิประสาทวิชาความรู้ ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ประจำคณะเภสัชศาสตร์ ภาควิชาสารสนเทศศาสตร์ทางสุขภาพ มหาวิทยาลัยศิลปากรทุกท่านที่ได้ให้การสั่งสอน ให้คำแนะนำ และขอคิดเห็นอันเป็นประโยชน์ต่อการทำงาน วิทยานิพนธ์ ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่และบุคลากรทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกให้ด้านต่างๆ ขอขอบคุณเพื่อนนักศึกษาทุกท่านที่ให้คำแนะนำ ช่วยเหลือและเป็นกำลังใจในการศึกษาตลอดมา ขอขอบคุณเภสัชกรหญิงเสาวณีย์ ยถาภูฐานนท์ หัวหน้ากลุ่มงานเภสัชกรรม โรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชสระแก้ว และเจ้าหน้าที่ทุกท่านในกลุ่มงานเภสัชกรรม ที่ให้ความอนุเคราะห์สนับสนุน และให้ความช่วยเหลือตลอดระยะเวลาที่ผู้วิจัยกำลังศึกษา

สุดท้ายผลอันจักเป็นประโยชน์ ความดีทั้งปวงที่เกิดขึ้นจากการศึกษาวิทยานิพนธ์นี้ ขอมอบส่วนดีทั้งหมดแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน เหล่าคณาจารย์ คุณพ่อและคุณแม่ที่เคารพยิ่ง และหากมีข้อบกพร่องด้วยประการใดๆ ผู้วิจัยขอน้อมรับไว้ด้วยความขอบพระคุณยิ่ง

นางสาว วิจิตตรา คุ่มวงษ์

## สารบัญ

|   | หน้า |
|---|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย.....  | ง    |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....   | ฉ    |
| กิตติกรรมประกาศ.....  | ช    |
| สารบัญ.....   | ฅ    |
| สารบัญตาราง.....  | ฉ    |
| สารบัญภาพ.....  | ๗    |
| บทที่ 1 บทนำ.....   | 1    |
| 1.1 ความสำคัญและที่มาของความสำคัญ.....  | 1    |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....  | 3    |
| 1.3 สมมติฐานของงานวิจัย.....  | 4    |
| 1.4 กรอบแนวคิดในการวิจัย.....   | 4    |
| 1.5 ขอบเขตของการวิจัย.....  | 4    |
| 1.6 ประโยชน์ที่ได้รับ.....  | 5    |
| บทที่ 2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....  | 6    |
| 2.1 ความหมายของคลาวด์.....  | 6    |
| 2.2 การแบ่งประเภทระบบการสื่อสารแบบไร้สาย (Wireless communications network)..... | 7    |
| 2.3 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ IoT บนเครือข่ายไร้สาย.....                              | 9    |
| 2.4 Internet of Things (IoT).....   | 11   |
| 2.5 การพัฒนาอุปกรณ์สำหรับ IoT.....  | 12   |
| 2.6 การประเมินเทคโนโลยีทางสุขภาพ.....   | 20   |
| 2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....  | 21   |

|   |     |
|---|-----|
| บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย .....   | 28  |
| 3.1 การพัฒนาชุดอุปกรณ์ IoT สำหรับวัดอุณหภูมิและความชื้น .....                 | 28  |
| 3.2 การประเมินการใช้งานคลาวด์เซิร์ฟเวอร์ .....                                | 45  |
| 3.3 การทดสอบประสิทธิภาพชุดอุปกรณ์ IoT ในการวัดอุณหภูมิและความชื้น .....       | 46  |
| 3.4 การศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของอุปกรณ์ IoT ผ่านเครือข่ายไร้สาย ..... | 49  |
| บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล .....  | 53  |
| 4.1 การพัฒนาชุดอุปกรณ์ IoT สำหรับวัดอุณหภูมิและความชื้น .....                 | 53  |
| 4.2 การประเมินการใช้งานคลาวด์เซิร์ฟเวอร์ .....                                | 60  |
| 4.3 การทดสอบประสิทธิภาพชุดอุปกรณ์ IoT ในการวัดอุณหภูมิและความชื้น .....       | 63  |
| 4.4 การศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของอุปกรณ์ IoT ผ่านเครือข่ายไร้สาย ..... | 92  |
| บทที่ 5 สรุป อภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ .....                             | 108 |
| สรุปและอภิปรายผลการวิจัย .....  | 108 |
| 5.1 การพัฒนาชุดอุปกรณ์ IoT สำหรับวัดอุณหภูมิและความชื้น .....                 | 108 |
| 5.2 การประเมินการใช้งานคลาวด์เซิร์ฟเวอร์ .....                                | 109 |
| 5.3 การทดสอบประสิทธิภาพชุดอุปกรณ์ IoT ในการวัดอุณหภูมิและความชื้น .....       | 110 |
| 5.4 การศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของอุปกรณ์ IoT ผ่านเครือข่ายไร้สาย ..... | 113 |
| ข้อเสนอแนะ .....  | 113 |
| ภาคผนวก.....  | 115 |
| ภาคผนวก ก เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....                                     | 116 |
| ภาคผนวก ข ใบเสนอราคาจากผู้ให้บริการเครือข่าย LoRaWAN .....                    | 121 |
| ภาคผนวก ค ใบรับรองผลการสอบเทียบ LogTag® .....                                 | 123 |
| ภาคผนวก ง หนังสือขออนุมัติจริยธรรมวิจัย.....                                  | 126 |
| รายการอ้างอิง .....   | 129 |
| ประวัติผู้เขียน.....  | 136 |

## สารบัญตาราง

|  | หน้า |
|--|------|
| ตารางที่ 1 ความแตกต่างของประสิทธิภาพระหว่างเทคโนโลยี LoRaWAN และ Wi-Fi.....  | 8    |
| ตารางที่ 2 การส่งข้อมูลของ Bluetooth 4.0, IEEE 802.15.4e และ WLAN IEEE 802.11 <sup>TM</sup> .....  | 12   |
| ตารางที่ 3 คุณสมบัติเฉพาะของบอร์ด ESP8266 ESP-12E WIFI.....  | 14   |
| ตารางที่ 4 ต้นทุนและผลได้ของการประเมินทางเศรษฐศาสตร์ด้วยวิธีต่างๆ.....   | 21   |
| ตารางที่ 5 งานวิจัยที่เกี่ยวกับการประเมินทางเศรษฐศาสตร์ .....  | 27   |
| ตารางที่ 6 หัวข้อและความหมายในการประเมินการใช้งานคลาวด์เซิร์ฟเวอร์ .....   | 45   |
| ตารางที่ 7 คุณลักษณะเฉพาะของเครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ LogTag <sup>®</sup> รุ่น HAXO-8..                                      | 47   |
| ตารางที่ 8 รายละเอียดต้นทุนรวมทั้งหมด .....  | 50   |
| ตารางที่ 9 ผลการประเมินการใช้งานคลาวด์เซิร์ฟเวอร์.....   | 60   |
| ตารางที่ 10 ความชื้นสัมพัทธ์จากอุปกรณ์ IoT เปรียบเทียบกับ LogTag <sup>®</sup> .....  | 64   |
| ตารางที่ 11 การเปรียบเทียบความแตกต่างของความชื้นสัมพัทธ์อุปกรณ์ IoT และ LogTag <sup>®</sup> ด้วยวิธี ANOVA.....                          | 66   |
| ตารางที่ 12 การเปรียบเทียบพหุคูณของความชื้นสัมพัทธ์ระหว่างอุปกรณ์ IoT และ LogTag <sup>®</sup> .....                                      | 67   |
| ตารางที่ 13 ความชื้นสัมพัทธ์จากอุปกรณ์ IoT เปรียบเทียบระหว่างเครื่องวัดดิจิทัล และ LogTag <sup>®</sup> ....                              | 68   |
| ตารางที่ 14 การเปรียบเทียบความแตกต่างของความชื้นสัมพัทธ์ระหว่างอุปกรณ์ IoT เครื่องวัดดิจิทัล และ LogTag <sup>®</sup> ด้วยวิธี ANOVA..... | 72   |
| ตารางที่ 15 การเปรียบเทียบพหุคูณของความชื้นสัมพัทธ์ระหว่างอุปกรณ์ IoT เครื่องวัดดิจิทัล และ LogTag <sup>®</sup> .....                    | 73   |
| ตารางที่ 16 อุณหภูมิจากอุปกรณ์ IoT เปรียบเทียบระหว่าง LogTag <sup>®</sup> .....  | 74   |
| ตารางที่ 17 การเปรียบเทียบความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างอุปกรณ์ IoT และ LogTag <sup>®</sup> ด้วยวิธี ANOVA.....                           | 77   |
| ตารางที่ 18 การเปรียบเทียบพหุคูณของอุณหภูมิระหว่างอุปกรณ์ IoT และ LogTag <sup>®</sup> .....  | 77   |

|             |   |     |
|-------------|---|-----|
| ตารางที่ 19 | อุณหภูมิจากอุปกรณ์ IoT เปรียบเทียบระหว่างเครื่องวัดดิจิทัล และ LogTag® .....                          | 78  |
| ตารางที่ 20 | การเปรียบเทียบความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างอุปกรณ์ IoT เครื่องวัดดิจิทัลและ LogTag® ด้วยวิธี ANOVA ..... | 83  |
| ตารางที่ 21 | การเปรียบเทียบพหุคูณของอุณหภูมิระหว่างอุปกรณ์ IoT เครื่องวัดดิจิทัล และ LogTag® ....                  | 83  |
| ตารางที่ 22 | อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของ LogTag® .....  | 87  |
| ตารางที่ 23 | ข้อมูลและความถี่ของแบบสอบถามส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป.....   | 94  |
| ตารางที่ 24 | ต้นทุนทั้งหมดของ LoRaWAN .....  | 95  |
| ตารางที่ 25 | ประโยชน์จากเทคโนโลยีของ LoRaWAN.....  | 96  |
| ตารางที่ 26 | ต้นทุนทั้งหมดของ Wi-Fi.....   | 97  |
| ตารางที่ 27 | แสดงต้นทุนอุปกรณ์ IoT จากการพัฒนา .....   | 98  |
| ตารางที่ 28 | แสดงรายละเอียดการใช้งานเซิร์ฟเวอร์ NETPIE2020 ฟรี.....  | 98  |
| ตารางที่ 29 | ประโยชน์จากเทคโนโลยีของ Wi-Fi.....  | 98  |
| ตารางที่ 30 | แสดงต้นทุนทั้งหมดของวิธีแบบเดิม.....  | 99  |
| ตารางที่ 31 | ประโยชน์จากเทคโนโลยีของวิธีแบบเดิม .....  | 100 |
| ตารางที่ 32 | การวิเคราะห์ต้นทุนผลได้ของ LoRaWAN.....   | 101 |
| ตารางที่ 33 | มูลค่าปัจจุบันสุทธิของ LoRaWAN.....   | 102 |
| ตารางที่ 34 | การวิเคราะห์ต้นทุนผลได้ของ Wi-Fi.....   | 102 |
| ตารางที่ 35 | มูลค่าปัจจุบันสุทธิของ Wi-Fi .....  | 103 |
| ตารางที่ 36 | การวิเคราะห์ต้นทุนผลได้ของวิธีแบบเดิม .....   | 103 |
| ตารางที่ 37 | มูลค่าปัจจุบันสุทธิของวิธีแบบเดิม.....  | 104 |
| ตารางที่ 38 | อัตราผลตอบแทนจากการลงทุนของ LoRaWAN.....  | 104 |
| ตารางที่ 39 | อัตราผลตอบแทนจากการลงทุนของ Wi-Fi.....  | 105 |
| ตารางที่ 40 | อัตราผลตอบแทนจากการลงทุนของวิธีแบบเดิม .....  | 105 |
| ตารางที่ 41 | อัตราส่วนระหว่างผลได้ต่อต้นทุนของ LoRaWAN.....  | 106 |

|  |     |
|--|-----|
| ตารางที่ 42 อัตราส่วนระหว่างผลได้ต่อต้นทุนของ Wi-Fi .....      | 106 |
| ตารางที่ 43 อัตราส่วนระหว่างผลได้ต่อต้นทุนของวิธีแบบเดิม ..... | 107 |



## สารบัญภาพ

|  | หน้า |
|--|------|
| รูปที่ 1 ประเภทเทคโนโลยี wireless พื้นฐาน (3).....             | 7    |
| รูปที่ 2 ขา GPIO ของบอร์ด ESP8266.....                         | 13   |
| รูปที่ 3 ESP8266 Block Diagram (4).....                        | 14   |
| รูปที่ 4 NodeMCU V2 .....                                      | 14   |
| รูปที่ 5 DHT22 AM2302.....                                     | 15   |
| รูปที่ 6 โมดูลชาร์จแบตเตอรี่ชนิด 18650.....                    | 15   |
| รูปที่ 7 แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนชนิด NCR18650.....               | 16   |
| รูปที่ 8 โครงสร้าง NETPIE20202020.....                         | 17   |
| รูปที่ 9 Blynk.Apps บนสมาร์ทโฟน.....                           | 18   |
| รูปที่ 10 Blynk.Edge.....                                      | 18   |
| รูปที่ 11 Blynk.Console.....                                   | 19   |
| รูปที่ 12 บัญชีผู้ใช้งาน NETPIE2020.....                       | 29   |
| รูปที่ 13 สร้างโปรเจกต์ใหม่บน NETPIE2020.....                  | 29   |
| รูปที่ 14 การสมัครเพื่อใช้งานเซิร์ฟเวอร์ Blynk.....            | 30   |
| รูปที่ 15 การสร้างโปรเจกต์ใหม่บนเซิร์ฟเวอร์ Blynk IoT .....    | 30   |
| รูปที่ 16 การ Log in เข้าสู่ระบบ Line โดยใช้ E-mail.....       | 31   |
| รูปที่ 17 การออก Access Token บน Line Notify.....              | 31   |
| รูปที่ 18 การตั้งชื่อ Token และเลือกห้องแชทบน Line Notify..... | 31   |
| รูปที่ 19 แสดงรหัส Token จาก Line Notify.....                  | 32   |
| รูปที่ 20 การติดตั้งไลบรารี PubSubClient .....                 | 32   |
| รูปที่ 21 Key บนเซิร์ฟเวอร์ NETPIE2020 .....                   | 33   |

|  |    |
|--|----|
| รูปที่ 22 การเพิ่มอุปกรณ์ใหม่บนเซิร์ฟเวอร์ Blynk.....  | 36 |
| รูปที่ 23 ข้อมูล “Device Info” บนเซิร์ฟเวอร์ Blynk.....  | 36 |
| รูปที่ 24 คำสั่งโปรแกรมที่ใช้ทดสอบการเชื่อมต่อบอร์ดกับเซิร์ฟเวอร์ Blynk.....                                     | 38 |
| รูปที่ 25 การต่อแผงวงจรบนอุปกรณ์ไอโอที .....   | 39 |
| รูปที่ 26 หน้าต่างสำหรับเขียนคำสั่ง เพื่อสร้าง Device Schema.....  | 40 |
| รูปที่ 27 คำสั่งบน Device Schema เพื่อเชื่อมกับเซิร์ฟเวอร์ NETPIE2020.....                                       | 40 |
| รูปที่ 28 หน้าต่างแสดงผลข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นบนเซิร์ฟเวอร์ NETPIE2020.....                                   | 41 |
| รูปที่ 29 การตั้งค่า Datastreams บนเซิร์ฟเวอร์ Blynk.....  | 41 |
| รูปที่ 30 แสดงการตั้งค่า Datastreams บนเซิร์ฟเวอร์ Blynk.....  | 41 |
| รูปที่ 31 แสดงการสร้าง Event Hook บน NETPIE2020 .....  | 42 |
| รูปที่ 32 แสดงสร้างคำสั่งสำหรับการทำ Line Notification (Event Hook).....   | 43 |
| รูปที่ 33 คำสั่งการสร้าง Line Notification (Device Trigger) บน NETPIE2020 .....                                  | 44 |
| รูปที่ 34 ภาพรวมของการพัฒนาอุปกรณ์ IoT .....   | 44 |
| รูปที่ 35 เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นดิจิทัลที่ใช้ในกลุ่มงานเกษตรกรรม .....                                    | 46 |
| รูปที่ 36 ภาพถ่ายดาวเทียมอาคารคลังยาและเวชภัณฑ์มุมสูง.....   | 48 |
| รูปที่ 37 อาคารคลังยาและเวชภัณฑ์ด้านหน้า แสดงตำแหน่งห้องที่ทำการทดลอง .....                                      | 48 |
| รูปที่ 38 อุปกรณ์ IoT ต้นแบบที่ 1 .....  | 53 |
| รูปที่ 39 อุปกรณ์ IoT ต้นแบบที่ 2 .....  | 54 |
| รูปที่ 40 อุปกรณ์ IoT ต้นแบบที่ 3 .....  | 55 |
| รูปที่ 41 การเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ IoT กับ NETPIE2020 และหน้าแสดงผลอุณหภูมิและความชื้นบนคลาวด์เซิร์ฟเวอร์..... | 55 |
| รูปที่ 42 การรายงานอุณหภูมิและความชื้น (Dashboard) บนเว็บแอปพลิเคชัน .....                                       | 56 |
| รูปที่ 43 หน้าเว็บแอปพลิเคชันแสดงข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นจาก NETPIE2020 .....                                   | 56 |
| รูปที่ 44 การเชื่อมต่อ Line Notify เสรีจลิน .....  | 57 |



|  |    |
|--|----|
| รูปที่ 45 Line notify กรณีที่อุณหภูมิออกนอกช่วงบน NETPIE2020 .....   | 57 |
| รูปที่ 46 หน้าแสดงผลอุณหภูมิและความชื้นและ Line notify .....   | 58 |
| รูปที่ 47 การตั้งค่าการส่งออกข้อมูลบน NETPIE2020 .....   | 59 |
| รูปที่ 48 ไฟล์ Excel ที่ได้จากการส่งออกข้อมูลจาก NETPIE2020 .....  | 59 |
| รูปที่ 49 กราฟความชื้นสัมพัทธ์และเวลาเปรียบเทียบระหว่าง LogTag <sup>®</sup> กับอุปกรณ์ IoT .....   | 65 |
| รูปที่ 50 กราฟค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์เปรียบเทียบระหว่างระหว่าง LogTag <sup>®</sup> กับอุปกรณ์ IoT .....  | 66 |
| รูปที่ 51 กราฟความชื้นสัมพัทธ์เปรียบเทียบระหว่าง LogTag <sup>®</sup> อุปกรณ์ IoT และ .....   | 71 |
| รูปที่ 52 กราฟค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์เปรียบเทียบระหว่างระหว่าง LogTag <sup>®</sup> อุปกรณ์ IoT และ<br>เครื่องวัดดิจิทัล ทุก 30 วินาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ..... | 72 |
| รูปที่ 53 กราฟอุณหภูมิและเวลาเปรียบเทียบระหว่าง LogTag <sup>®</sup> กับอุปกรณ์ IoT .....   | 76 |
| รูปที่ 54 กราฟค่าเฉลี่ยอุณหภูมิเปรียบเทียบระหว่างระหว่าง LogTag <sup>®</sup> กับอุปกรณ์ IoT .....  | 76 |
| รูปที่ 55 กราฟอุณหภูมิเปรียบเทียบระหว่าง LogTag <sup>®</sup> อุปกรณ์ IoT .....   | 82 |
| รูปที่ 56 กราฟค่าเฉลี่ยอุณหภูมิเปรียบเทียบระหว่าง LogTag <sup>®</sup> อุปกรณ์ IoT .....  | 82 |
| รูปที่ 57 กราฟความเที่ยงตรงของความชื้นสัมพัทธ์เปรียบเทียบระหว่าง LogTag <sup>®</sup> อุปกรณ์ IoT และ<br>เครื่องวัดดิจิทัล .....                                  | 85 |
| รูปที่ 58 กราฟความเที่ยงตรงของอุณหภูมิเปรียบเทียบระหว่าง LogTag <sup>®</sup> .....   | 86 |
| รูปที่ 59 กราฟความชื้นสัมพัทธ์ของ LogTag <sup>®</sup> ทุก 30 วินาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง .....   | 91 |
| รูปที่ 60 กราฟอุณหภูมิของ LogTag <sup>®</sup> ทุก 30 วินาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง .....   | 91 |

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความสำคัญและที่มาของความสำคัญ

เนื่องด้วยกลุ่มงานเภสัชกรรม โรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชสระแก้วได้ดำเนินการปรับปรุงระบบการให้บริการห้องจ่ายยาผู้ป่วยใน ในกระบวนการรับยารับประทานต่อเนื่องบนหอผู้ป่วยช่วงนอกเวลาราชการ เพื่อพยายามลดปัญหาาคืนจากหอผู้ป่วย ลดโอกาสเกิดความปลอดภัยเคลื่อนทางยา และพยายามบริหารจัดการภาระงานให้สอดคล้องกับอัตรากำลัง ส่งผลให้ภาระงานเกือบร้อยละ 70 เปลี่ยนเป็นภาระงานในช่วงเช้า จึงมีความจำเป็นต้องบริหารจัดการภาระงานใหม่ทั้งระบบ เพื่อลดอัตรากำลังขาดแคลนจากการที่มีการปรับเปลี่ยนระบบงานและภาระงานที่เพิ่มขึ้น เมื่อวิเคราะห์ภาระงานเบื้องต้นพบว่า งานลงบันทึกอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของห้องเก็บยาและเวชภัณฑ์ ซึ่งเดิมให้เจ้าพนักงานเภสัชกรรมจำนวน 3 คน เดินตามจุดที่เป็นห้องเก็บยาและเวชภัณฑ์ภายในโรงพยาบาล เพื่อเปิด - ปิดเครื่องปรับอากาศ ตรวจสอบ-ลงบันทึกอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ช่วงเวลา 8.00 – 8.40 น. และ 14.00 – 14.40 น. ในวันหยุดเสาร์ - อาทิตย์ และวันหยุดนักขัตฤกษ์ และในเวลาราชการ จะทำการบันทึกในช่วงเวลา 8.00 น. และ 16.00 น. ทั้งหมด 5 พื้นที่รอบโรงพยาบาล รวม 27 จุด ประกอบด้วย 1) คลังยา 2) ห้องจ่ายยาผู้ป่วยนอก 3) ห้องจ่ายยาผู้ป่วยใน 4) ห้องจ่ายยาคลินิกแยกโรค และ 5) ห้องจ่ายยาผู้ป่วยโรคเรื้อรัง จากภาระงานที่กล่าวมาทั้งหมดสามารถปรับขั้นตอนหรือทดแทนด้วยการนำเทคโนโลยีเข้ามาช่วยในการปฏิบัติงานได้

เป็นที่ทราบกันดีว่าการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นให้เหมาะสมมีความสำคัญต่อการเก็บรักษายาและเวชภัณฑ์ หากมองด้านมูลค่าคงคลังทั้งหมด คลังย่อยจะมีการสำรองอยู่ที่ 2 สัปดาห์จากการประเมินเบื้องต้นมูลค่ายาคงคลังเฉพาะคลังยาใหญ่เพียงจุดเดียว มีมูลค่าสำรองเฉลี่ย 36,000,000 บาท เมื่อหักมูลค่ายาแช่เย็น 6,000,000 บาท พบว่าห้องเก็บยาและเวชภัณฑ์มีอัตราสำรองคงคลังเฉลี่ยประมาณ 30,000,000 บาท ปัจจุบันโรงพยาบาลใช้ระบบการควบคุมอุณหภูมิและความชื้น โดยมีเจ้าหน้าที่อ่านค่าและบันทึกข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นจากเครื่องวัดดิจิทัล เข้า - เย็นเท่านั้น และในภาพรวมของโรงพยาบาลยังไม่มีแผนบำรุงรักษาและระบบการสอบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของตู้เย็นหรืออุปกรณ์ที่ใช้สำหรับวัดอุณหภูมิและความชื้น จากการศึกษาข้อมูลย้อนหลังพบว่าปัญหาหลักที่ส่งผลต่อการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นคือ **1) เครื่องปรับอากาศ** ตั้งแต่ปีงบประมาณ 2559 ไม่พบอุบัติการณ์ชำรุดนอกเวลาราชการ และสามารถดำเนินการแก้ไขได้ **2) ตู้เย็น** ปีงบประมาณ 2559 พบอุบัติการณ์ 2 ครั้ง ไม่พบความเสียหาย ปีงบประมาณ 2560 พบ

อุบัติเหตุการ 3 ครั้ง วันที่ 10/04/2560 ตู้เย็นเสียหายนอกเวลาราชการ ไม่มีการแจ้งเตือน เกิดความเสียหาย 250,481 บาท ปีงบประมาณ 2562 และ 2563 พบอุบัติเหตุการปีละ 1 ครั้ง ไม่พบความเสียหาย ปีงบประมาณ 2564 วันที่ 24/04/2564 พบตู้เย็นเก็บยาห้องจ่ายยาผู้ป่วยใน ตัวติดตามอุณหภูมิพร้อมกับระบบทำความเย็นของตู้เสีย ทำให้อุณหภูมิออกนอกช่วงไป 18 °C นาน 4 ชั่วโมง ไม่มียาต้องทำลายแต่อายุยาล้นลง มูลค่ายาทั้งหมด 456,117.69 บาท 3) ระบบไฟฟ้า กรณีไฟสำรองไม่เข้าระบบตู้เย็น พบว่าเกิดจากอุปกรณ์สำหรับตัดไฟสำรองเข้าคลังยาชำรุด ปีงบประมาณ 2561 พบอุบัติเหตุการ 2 ครั้ง ไม่พบความเสียหาย ปีงบประมาณ 2564 วันที่ 24/04/2564 พบไฟฟ้าที่คลังยาดับระบบโทรแจ้งเตือนทำงาน หลังตรวจสอบพบว่าเกิดจากเบรกเกอร์ตัดไฟทำงานจากการใช้ไฟเกินขนาด เนื่องจากมีการเพิ่มจำนวนตู้เย็นเพื่อเก็บสำรองวัคซีนโควิด-19 ส่วนอุณหภูมิตู้เย็นเป็นปกติ และ 4) ความชื้นสัมพัทธ์ ปีงบประมาณ 2561 ติดตั้งเครื่องดูดความชื้นในห้องยาสมุนไพรและเวชภัณฑ์ จากปัญหาความชื้นเกิน เป็นเครื่องที่สามารถเคลื่อนย้ายได้ เนื่องจากบางช่วงเวลาต้องสลับไปใช้งานในห้องเก็บยาเม็ดและยาฉีด ตามมาตรฐานหลักปฏิบัติที่ดีในการจัดเก็บและกระจายสินค้ายา (Guide to good storage & distribution practice for pharmaceutical products; GSDP) ข้อกำหนดขององค์การอนามัยโลก (WHO) และสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา ได้ระบุสภาวะการจัดเก็บในสภาวะปกติ (Normal storage conditions) หมายถึงการเก็บในที่แห้ง สถานที่จัดเก็บมีอากาศถ่ายเทดี อุณหภูมิอยู่ระหว่าง 15 – 25°C หรือขึ้นกับสภาพภูมิอากาศอุณหภูมิไม่เกิน 30°C และการเก็บในที่แห้งคือการเก็บที่ความชื้นสัมพัทธ์ไม่เกิน 60% (5, 6) จากการศึกษาพบว่ามีหลายปัจจัยที่ส่งผลต่อการสลายตัวของยา เช่น ความชื้นที่เป็นปัญหาหลักที่ทำให้ยาในรูปแบบของแข็งไม่คงตัว โดยการเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์มักเพิ่มการสลายตัวของยาโดยเฉพาะยาที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ง่าย และอุณหภูมิโดยเฉพาะยาที่ต้องเก็บในสภาวะเฉพาะ มักจะสลายตัวอย่างรวดเร็ว หรือเสื่อมสภาพกรณีเก็บในอุณหภูมिनอกเหนือสภาวะที่กำหนด เช่น ยาฉีดอินซูลินแนะนำเก็บที่ 2-8°C จะมีอายุได้ 2 ปี ถ้าเก็บที่อุณหภูมิห้องจะมีอายุได้แค่ 1 เดือน หรือเก็บที่ช่องแช่แข็งยาก็เสียสภาพจนไม่สามารถใช้ได้ (7)

ปีงบประมาณ 2562 กลุ่มงานเภสัชกรรมได้เริ่มทดลองนำเทคโนโลยี IoT โดยใช้คอมพิวเตอร์บอร์ดเดี่ยวที่มีชื่อว่า “Raspberry Pi” มาช่วยในการติดตามและรายงานผลอุณหภูมิ Raspberry Pi มีชุดคำสั่งที่ใช้สำหรับควบคุมการทำงานของระบบเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น และรายงานผลข้อมูลไปยังแอปพลิเคชันไลน์ แต่จากการทดลองติดตั้ง Raspberry Pi ที่ตู้เย็นห้องจ่ายยาผู้ป่วยในเป็นระยะเวลา 12 เดือน พบว่าการเชื่อมต่อสัญญาณแบบ Switched LAN การรายงานข้อมูลมีความเสถียรมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับจุดติดตั้งที่ห้องควบคุมเครือข่ายของศูนย์คอมพิวเตอร์ที่ใช้การเชื่อมต่อสัญญาณแบบ Wi-Fi ซึ่งมักพบปัญหาความไม่เสถียรของการเชื่อมต่อสัญญาณ ทำให้การทำงานของ Raspberry Pi ไม่สามารถติดตามและรายงานข้อมูลอุณหภูมิได้อย่างต่อเนื่อง เมื่อ

ประเมินค่าใช้จ่ายในการปรับเปลี่ยนระบบสัญญาณในการเชื่อมต่อจากระบบ Wi-Fi เป็นระบบ Switched LAN พบว่าค่าใช้จ่ายในการเดินสาย Switched LAN ทั้งหมด 19 จุด คิดค่าใช้จ่ายเป็นจุดๆ ละ 2,000 – 2,500 บาท ประกอบกับผู้ดูแลโครงการเป็นเจ้าหน้าที่ศูนย์คอมพิวเตอร์ของโรงพยาบาล ซึ่งมีภาระงานด้านอื่นๆ มาก ทำให้การพัฒนาระบบติดตามอุณหภูมิด้วย Raspberry Pi ไม่ได้ได้รับการพัฒนาต่อยอด และจากการศึกษาเบื้องต้นในส่วนของเทคโนโลยีเครือข่าย LoRaWAN พบว่าแม้ระบบดังกล่าวจะสามารถตอบสนองความต้องการด้านการแสดงผลข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นได้ทันทีในรูปแบบแดชบอร์ด รวมถึงระบบการโทรเตือนเจ้าหน้าที่กรณีที่อยู่อุณหภูมิสูงเกินนอกช่วงที่กำหนดก็ตาม แต่เทคโนโลยีดังกล่าวยังมีปัจจัยในส่วนของต้นทุนของการปรับปรุงโครงสร้างพื้นฐานที่จำเป็นค่อนข้างสูง จากเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้นทำให้ผู้วิจัยมีความประสงค์จะพัฒนาชุดอุปกรณ์ IoT สำหรับวัดอุณหภูมิและความชื้นด้วยตัวเอง เพื่อให้ง่ายต่อการพัฒนาต่อยอด รวมถึงสามารถดูแลและนำระบบไปใช้งานได้จริงสอดคล้องกับความต้องการในปัจจุบัน

จากเหตุผลดังกล่าวทั้งหมด ผู้วิจัยจึงเกิดคำถามว่าการนำเทคโนโลยี IoT มาใช้ในโรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชสระแก้ว จะสามารถแก้ไขปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพและเกิดความคุ้มค่าสูงสุดหรือไม่ โดยงานวิจัยนี้มุ่งศึกษาเพื่อประเมินความคุ้มค่าของโครงการก่อนเริ่มดำเนินการ และสามารถดูแลบริหารจัดการระบบได้ภายในหน่วยงาน เพื่อให้การดำเนินงานสามารถทำได้อย่างสะดวก รวดเร็วและคล่องตัว รวมทั้งผู้บริหารสามารถประเมินและตัดสินใจได้ว่าโครงการดังกล่าวมีความคุ้มค่าในการดำเนินการจริงหรือไม่

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อพัฒนาชุดอุปกรณ์ IoT สำหรับวัดอุณหภูมิและความชื้น

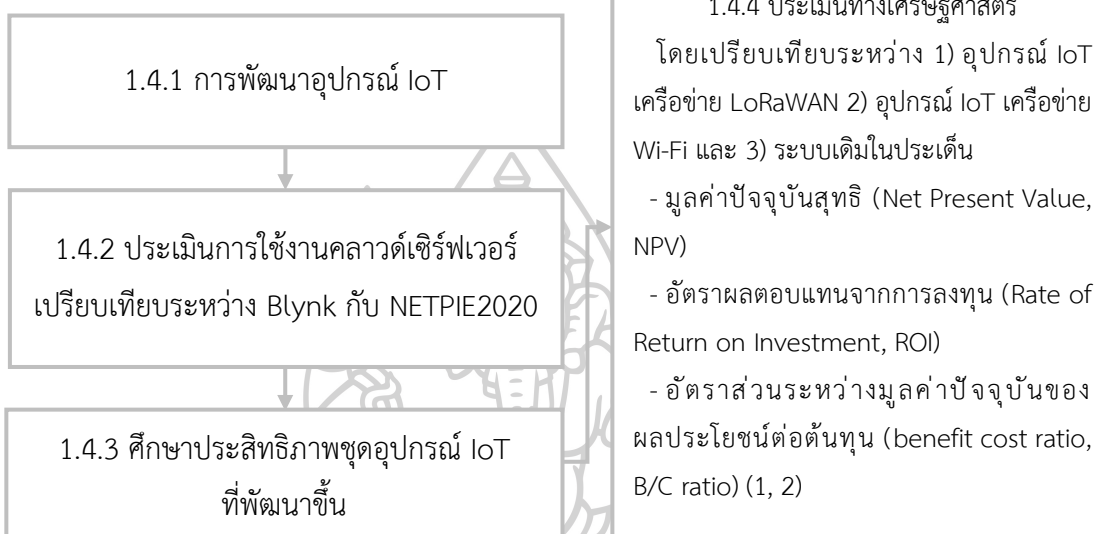
1.2.2 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบการใช้งานคลาวด์เซิร์ฟเวอร์ Blynk และ NETPIE2020 สำหรับอุปกรณ์ IoT

1.2.3 เพื่อประเมินต้นทุนผลได้ของการใช้เทคโนโลยี IoT สำหรับติดตามอุณหภูมิและความชื้นของการเก็บรักษา

### 1.3 สมมติฐานของงานวิจัย

การนำเทคโนโลยี IoT ผ่านเครือข่าย Wi-Fi มีความคุ้มค่าในการดำเนินโครงการมากกว่าเครือข่าย LoRaWAN

### 1.4 กรอบแนวคิดในการวิจัย



### 1.5 ขอบเขตของการวิจัย

**1.5.1 สถานที่ทำวิจัย** ห้องเก็บยาเม็ดและยาฉีด ชั้น 2 อาคารคลังยาและเวชภัณฑ์ กลุ่มงานเภสัชกรรม โรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชสระแก้ว

#### 1.5.2 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

**การทดสอบประสิทธิภาพชุดอุปกรณ์ IoT ที่พัฒนาขึ้น** คือข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นเก็บที่เวลาทุก 30 นาทีเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และทุก 30 วินาทีเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

**การศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของโครงการนำระบบ IoT ในมาใช้ในการติดตามอุณหภูมิและความชื้นของห้องเก็บยาเปรียบเทียบเครือข่าย LoRaWAN และ Wi-Fi** คือจำนวนเครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นของห้องเก็บยาและเวชภัณฑ์ที่ติดตั้งภายในกลุ่มงานเภสัชกรรม โรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชสระแก้ว รวม 21 จุด และเภสัชกรหัวหน้ากลุ่มงานเภสัชกรรมหรือเภสัชกรหัวหน้างานบริหารคลังยาและเวชภัณฑ์ โรงพยาบาลขนาดทั่วไป (Standard-level Hospital, S) ทั่วประเทศไทย สังกัดกระทรวงสาธารณสุข จำนวน 51 โรงพยาบาล

## 1.6 ประโยชน์ที่ได้รับ

1.6.1 มีหลักฐานเชิงประจักษ์หรือข้อมูลวิชาการที่เชื่อถือได้ในการประกอบการตัดสินใจก่อนดำเนินโครงการ

1.6.2 เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดแก่ทางราชการในการดำเนินโครงการ

1.6.3 มีเทคโนโลยีที่ช่วยลดภาระงาน และสามารถป้องกันการเกิดความเสียหาย

1.6.4 สามารถพัฒนาระบบงานด้วยเทคโนโลยี IoT เพื่อให้สอดคล้องกับงบประมาณและทรัพยากรที่มี



## บทที่ 2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาทฤษฎี แนวคิด และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำมาสนับสนุนในการกำหนดแนวทางและกรอบในการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

- 2.1 ความหมายของคลาวด์
- 2.2 การแบ่งประเภทระบบการสื่อสารแบบไร้สาย
- 2.3 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ IoT บนเครือข่ายไร้สาย
- 2.4 อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง
- 2.5 การประเมินเทคโนโลยีทางสุขภาพ
- 2.6 การประเมินทางเศรษฐศาสตร์
- 2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

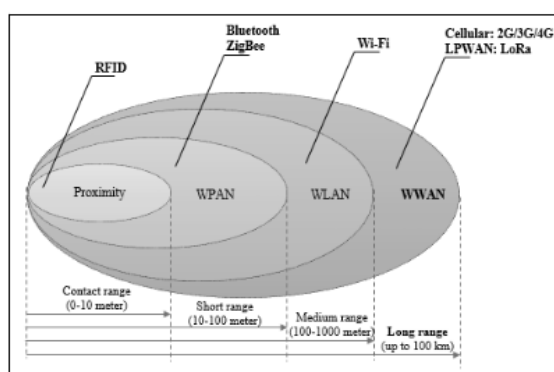
### 2.1 ความหมายของคลาวด์

สถาบันมาตรฐานและเทคโนโลยีแห่งชาติสหรัฐอเมริกา ให้คำจำกัดความ "Cloud" ว่า “มันเป็นอุปมาอุปไมย จากคำในภาษาอังกฤษที่แปลว่า เมฆ กล่าวถึงอินเทอร์เน็ตโดยรวม ในรูปของโครงสร้างพื้นฐาน (เหมือนระบบไฟฟ้า ประปา) ที่พร้อมให้บริการกับผู้ใช้งานเมื่อมีความต้องการใช้ ผู้ให้บริการการประมวลผลแบบกลุ่มเมฆส่วนใหญ่จะให้บริการในลักษณะของเว็บแอปพลิเคชัน โดยให้ผู้ใช้ทำงานผ่านเว็บเบราว์เซอร์ ขณะเดียวกันซอฟต์แวร์และข้อมูลทั้งหมดจะถูกเก็บไว้บนเซิร์ฟเวอร์ของผู้ให้บริการ” (8) **คลาวด์เซิร์ฟเวอร์** คือเซิร์ฟเวอร์เครือข่ายขนาดใหญ่ เกิดจากการนำเครื่องเซิร์ฟเวอร์หลายๆ เครื่องมาเชื่อมต่อกันในลักษณะ Cluster มาประมวลผลบนกลุ่มเซิร์ฟเวอร์ที่มีคอมพิวเตอร์หลายเครื่องประมวลผลร่วมกัน โดยแบ่งระดับการประมวลผลตั้งแต่ระดับโครงสร้าง (Infrastructure) จนถึงระดับแอปพลิเคชันทำให้ได้ความเร็วสูง การประมวลผลแม่นยำและความปลอดภัยเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้หากเครื่องเซิร์ฟเวอร์ใดเกิดความเสียหาย ก็ยังมีเครื่องเซิร์ฟเวอร์อื่นคอยทำงานอยู่ จึงมีประโยชน์สำหรับองค์กรหรือแอปพลิเคชันใดๆ ที่ต้องทำงานต่อเนื่องอยู่ตลอดเวลา (9) **NETPIE2020** เป็นคลาวด์แพลตฟอร์มสำหรับพัฒนาระบบ IoT ที่พัฒนาขึ้นโดยศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (สวทช.) ให้บริการโดยไม่มีค่าใช้จ่ายสำหรับการใช้งานจำนวนน้อยกว่า 100 อุปกรณ์ NETPIE2020 มีส่วนประกอบหลักคือ 1) คลาวด์เซิร์ฟเวอร์ NETPIE2020 ทำหน้าที่เป็น Distributed MQTT Brokers หรือศูนย์กลางเพื่อให้อุปกรณ์ต่างๆ เข้ามาเชื่อมต่อและแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างกันได้ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต 2) โลบารี Microgear เป็น

ไลบรารีสำหรับติดตั้งลงในอุปกรณ์ต่างๆ เพื่ออำนวยความสะดวกในการเชื่อมต่อเข้ากับเซิร์ฟเวอร์ของ NETPIE2020 ปัจจุบันมี Microgear สำหรับภาษา Python, HTML5, JavaScript (Node.js), Java และ C# รวมถึงไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP8266, ESP32\*, Arduino MEGA (Ethernet Shield) และระบบปฏิบัติการ Android ไลบรารี Microgear อนุญาตให้ใช้สิทธิ์แบบไม่มีค่าใช้จ่าย สามารถเข้าใช้งานได้ที่ <https://github.com/NETPIE2020io> ข้อเด่นของ NETPIE2020 คือเป็นแพลตฟอร์มที่มีการส่ง-รับข้อมูลที่รวดเร็ว ความปลอดภัยสูง และสามารถทำงานบนอุปกรณ์ที่เชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตได้เกือบทุกอุปกรณ์ (10) **Blynk** คือชุดแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟน สามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ที่อยู่ไกลผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต เน้นสมาร์ตโฟนเป็นอุปกรณ์หลักในการสื่อสารกับผู้ใช้งานและอุปกรณ์ควบคุมปลายทาง Blynk ([www.blynk.cc](http://www.blynk.cc)) ผู้ก่อตั้งคือ Mr. Pavel Baiborodin เกิดจากการระดมทุน 49,000 เหรียญสหรัฐ (US\$) เริ่มเปิดตัวใช้งานตั้งแต่เดือนพฤษภาคม ค.ศ. 2015 ที่ผ่านมามีตัวแอปพลิเคชันใช้งานกับฮาร์ดแวร์ทั้งบอร์ด Arduino, ESP8266, Raspberry Pi และ Particle Core ข้อเด่นของ Blynk คือการจัดเตรียมระบบคลาวด์เซิร์ฟเวอร์ที่เสถียรมากให้กับผู้ใช้งาน นอกเหนือจากนั้น Blynk อนุญาตให้ผู้ใช้สามารถสร้างเซิร์ฟเวอร์ Blynk ขึ้นเองบนเครื่องคอมพิวเตอร์หรือบอร์ด Raspberry Pi ทำให้สามารถเก็บทุกสิ่งที่พัฒนาไว้กับเครื่องของตนเองได้อีกด้วย (11)

## 2.2 การแบ่งประเภทระบบการสื่อสารแบบไร้สาย (Wireless communications network)

ตามพื้นที่การครอบคลุมของสัญญาณ แบ่งออกเป็น 4 ช่วง คือ 1) Proximity อยู่ในช่วง Contact range (0 – 10 เมตร) เช่น RFID 2) WPAN (Wireless Local Area Network) อยู่ในช่วง Short range (10 -100 เมตร) เช่น Bluetooth, Zigbee 3) WLAN (Wireless Local Area Network) อยู่ในช่วง Medium range (100 -1,000 เมตร) เช่น Wi-Fi และ 4) WWAN (Wireless Wide Area Network) อยู่ในช่วง Long range (มากกว่า 100 กิโลเมตร) เช่น Cellular: 2G/3G/4G และ 5G และ LPWAN (Low-Power Wide-Area Network): LoRa, Sigfox และ NB-IoT ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ประเภทเทคโนโลยี wireless พื้นฐาน (3)



LPWAN หรือเครือข่ายสื่อสารแบบกว้างที่เน้นใช้พลังงานต่ำ เป็นเทคโนโลยีที่ถือเป็นหัวใจสำคัญสำหรับงานทางด้าน IoT ซึ่งเทคโนโลยี LPWA ที่แตกต่างกัน ใช้ประโยชน์เพื่อให้ครอบคลุมพื้นที่กว้างกับอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานต่ำ เสียค่าใช้จ่ายในการส่งข้อมูลที่ต่ำ โดยมีองค์กรที่พัฒนามาตรฐานแตกต่างกัน (เช่น IEEE, IETF, 3GPP และ ETSI) รวมถึงกลุ่มอุตสาหกรรมที่สร้างขึ้นโดยใช้เทคโนโลยี LPWA (เช่น LoRa Alliance, WEIGHTLESS-SIG และ DASH7 Alliance) (3, 12) เพื่อให้เข้าใจในรายละเอียดของเทคโนโลยี WLAN และ WWAN จึงทำการเปรียบเทียบในหัวข้อต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 1

**ตารางที่ 1** ความแตกต่างของประสิทธิภาพระหว่างเทคโนโลยี LoRaWAN และ Wi-Fi

| หัวข้อ   | LoRaWAN  | Wi-Fi                        |
|--|--|------------------------------|
| 1. Standardization (มาตรฐาน)   | LoRa-Alliance (13)   | IEEE 802.11 a/c/b/d/g/n (14) |
| 2. Frequency (ความถี่ของสัญญาณ)  | Unlicensed ISM bands (868 MHz in Europe, 915 MHz in North America, and 433 MHz in Asia) (13, 15) | 5–60 GHz (14)                |
| 3. Bandwidth (ปริมาณการรับ และการส่งข้อมูล (Data-Transfer))  | 500 KHz – 900 MHz (12)   | 2.4 to 5 GHz (12)            |
| 4. Data rate (ความเร็วของข้อมูลที่สามารถส่งผ่านตัวกลางได้)   | 0.3–50 Kb/s (14)   | 1 Mb/s–6.75 Gb/s (14)        |
| 5. Latency (ความเร็วในการตอบสนองระหว่างเครื่องเซิร์ฟเวอร์ของผู้ให้บริการกับเครื่องคอมพิวเตอร์หรือมือถือ) | 1 ~ 10 s (12)  | < 10 ms (12)                 |
| 6. Transmission range (ช่วงการส่งข้อมูล)   | <30 Km (14)  | 20–100 m (14)                |
| 7. Energy consumption (ปริมาณพลังงานที่ถูกใช้ไป)   | Very Low (14)  | High (14)                    |
| 8. Reliability (ความน่าเชื่อถือ)   | Medium (12)  | High (12)                    |
| 9. Authentication and Encryption (การตรวจสอบผู้ใช้และการเข้ารหัส)  | Yes (AES 128b)   | Yes (WPA and WPA2)           |

ตารางที่ 1 ความแตกต่างของประสิทธิภาพระหว่างเทคโนโลยี LoRaWAN และ Wi-Fi (ต่อ)

| หัวข้อ                              | LoRaWAN   | Wi-Fi  |
|-------------------------------------|---|--|
| 10. Network Coverage (ความครอบคลุม) | - ทอพอโลยีสตาร์ทำให้ครอบคลุมได้ดีกลงไปในพื้นที่ทั้งในร่มและกลางแจ้ง (3)<br>- เครือข่ายระยะไกลที่ถูกกำหนดว่าเป็นเครือข่ายไร้สาย (WWAN) ที่มีระยะไม่เกิน 100 กิโลเมตร (3) | - เครือข่ายระยะกลางที่ถูกกำหนดว่าเป็นเครือข่ายไร้สาย (WLAN) ที่มีระยะ 100 ถึง 1,000 เมตร (3) |
| 11. Range (ระยะ)                    | Large (12)  | Small (12)   |
| 12. Cost (ค่าใช้จ่าย)               | High (14)   | High (14)  |

### 2.3 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ IoT บนเครือข่ายไร้สาย

การเชื่อมต่อหลายๆ อุปกรณ์ IoT เข้าด้วยกัน โดยอุปกรณ์สามารถสื่อสารระหว่างกันได้ผ่านโพรโทคอลมาตรฐาน ต้องอาศัยเทคโนโลยีเครือข่ายหรือที่เรียกว่า “อินเทอร์เน็ต” เป็นส่วนช่วยในการเชื่อมต่อ ซึ่งสามารถแบ่งชั้นของการเชื่อมต่ออย่างง่ายออกเป็น 3 ชั้นคือ 1) ชั้นกายภาพและเครือข่าย (Physical and Network Access Layer) 2) ชั้นอินเทอร์เน็ต (Internet Layer) และ 3) ชั้นแอปพลิเคชัน (Application Layer)

**2.3.1 ชั้นกายภาพและเครือข่าย** เป็นชั้นที่อยู่ล่างสุดของเครือข่าย IoT โดยเทคโนโลยีและมาตรฐานที่รองรับการเชื่อมต่อในชั้นกายภาพมีจำนวนมาก แต่ละเทคโนโลยีมีข้อดีและข้อจำกัดที่ต่างกันไป อุปกรณ์สื่อสารไร้สายที่ใช้พลังงานต่ำส่วนมากจะมีระยะทางการสื่อสารไม่ไกลนักเนื่องจากมีค่าความไวในการรับในระดับที่จำกัด ตัวอย่างของเทคโนโลยีในชั้นนี้ได้แก่ **1) บลูทูทพลังงานต่ำ (Bluetooth Low Energy, BLE)** ทำงานบนความถี่ย่าน ISM 2.4 GHz ออกแบบให้ใช้งานการสื่อสารในระยะใกล้ในลักษณะเครือข่ายส่วนบุคคล (Personal Area Network, PAN) โดยมักจะนำมาใช้กับอุปกรณ์สวมใส่เพื่อทางด้านสุขภาพ ฟิตเนส และการออกกำลังกาย รวมถึงการนำไปประยุกต์ใช้ในด้านภาระบุตำแหน่งวัตถุ ใช้ทอพอโลยีในการเชื่อมต่อแบบสตาร์ **2) ซิกบี (Zigbee)** สื่อสารด้วยแถบความถี่ย่าน ISM 2.4 GHz, 915 MHz และ 868 MHz มีความเร็วในการสื่อสารใกล้เคียงกับ BLE ทอพอโลยีการเชื่อมต่อแบบเดียวกับบลูทูท มีอุปกรณ์ควบคุมที่ส่วนกลางและมีอุปกรณ์ปลายทางที่ส่งข้อมูลจากเซนเซอร์ ซิกบีออกแบบมาให้อยู่ในสภาวะหลับเป็นระยะเวลานานได้ และจะตื่นขึ้นมาเพื่อส่งหรือรับข้อมูลเท่านั้นเพื่อเป็นการประหยัดพลังงาน นอกจากนี้ยังสามารถเชื่อมต่อด้วยทอพอโลยีเพิ่มเติมนอกเหนือจากที่กำหนดไว้บนมาตรฐาน IEEE 802.15.4 โดยจะมีการกำหนดการทำงานในชั้นเน็ตเวิร์กให้สามารถเชื่อมต่ออุปกรณ์ และจัดเส้นทางการส่งข้อมูลระหว่าง

อุปกรณ์ปลายทางในทอพอโลยีเมช (Mesh Topology) ได้ด้วย ข้อดีของการใช้ทอพอโลยีเมช คือสามารถสร้างเครือข่าย หรือทำการส่งข้อมูลที่ครอบคลุมพื้นที่และระยะทางที่มากขึ้นกว่าเดิม 3) **อาร์เอฟไอดี (RFID)** (Radio Frequency Identification) เป็นการเก็บข้อมูลระบุตัวตนและข้อมูลอื่นๆ ไว้ในป้ายหรือแท็ก แบ่งได้ 2 ชนิดคือ คือชนิดพาสซีฟ (Passive RFID Tag) และชนิดแอคทีฟ (Active RFID Tag) โดยชนิดพาสซีฟแท็กจะมีระยะทางการสื่อสารต่ำกว่าหนึ่งเมตร ไม่มีแบตเตอรี่อยู่ภายในแท็ก สามารถอ่านข้อมูลจากแท็กด้วยตัวอ่าน RFID (RFID Reader) ส่วนชนิดแอคทีฟจะมีระยะทางการสื่อสารที่มากกว่าและมีการส่งข้อมูลของแท็กเป็นระยะๆ การนำ RFID ไปใช้ใน IoT สามารถทำได้โดยการใช้ร่วมกับโพรโทคอลการสื่อสารแดชเจ็ด (Dash7) ข้อดีของ RFID คือจะมีการใช้พลังงานที่ต่ำมาก ต่ำมากกว่า Zigbee และมีระยะทางการส่งข้อมูลที่สูงกว่าจากการใช้ความถี่ต่ำ 4) **ไวไฟ (Wi-Fi)** เป็นเครือข่ายการสื่อสารไร้สายระดับท้องถิ่น (Wireless Local Area Network, WLAN) ซึ่งได้รับความนิยมสำหรับการสื่อสารภายในบ้านเรือนหรือสำนักงาน มีความเร็วในการสื่อสารสูง มีอุปกรณ์รองรับจำนวนมาก ใช้ทอพอโลยีการเชื่อมต่อเป็นแบบสตาร์ โดยการส่งข้อมูลจากอุปกรณ์ Wi-Fi ต่างๆ ไปยังอุปกรณ์แอคเซสพอยต์ (Access Point) ที่ทำหน้าที่อินเทอร์เน็ตเกตเวย์ได้ด้วย ข้อจำกัดหลักของ Wi-Fi สำหรับงาน IoT คือการใช้พลังงานและการประมวลผลโพรโทคอลที่ซับซ้อนมากเมื่อเทียบกับอุปกรณ์การสื่อสารชนิดอื่นๆ อุปกรณ์ Wi-Fi ที่เหมาะสมสำหรับ IoT จึงต้องมีการพัฒนาในส่วนโปรแกรมการจัดการอุปกรณ์ให้สามารถตื่นขึ้นมาเพื่อส่งข้อมูลและเปลี่ยนสถานะกลับไปหลับเพื่อประหยัดพลังงานอย่างรวดเร็ว รวมถึงการลดความเร็วของการสื่อสารให้ต่ำลงด้วย 5) **ลอร่า (LoRa)** ย่อมาจาก Long Range Low Power Wireless เป็นเทคโนโลยีที่ออกแบบมาเพื่อรองรับการเชื่อมต่ออุปกรณ์แบบใช้พลังงานต่ำ สามารถสื่อสารได้ระยะไกล 15 – 20 กิโลเมตร มีอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ที่ยาวนาน โดยลอร่าสามารถรองรับการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ IoT ได้เป็นจำนวนมาก ดังนั้นปัจจุบันลอร่าจึงเป็นเทคโนโลยีที่นิยมอย่างแพร่หลายในกลุ่มนักพัฒนา IoT โดยการทำงานมีความจำเป็นต้องส่งต่อข้อมูลจากอุปกรณ์เข้าสู่อินเทอร์เน็ตผ่านลอร่าเกตเวย์ (LoRa Gateway) ไปยังลอร่าแวน (LoRaWAN) ซึ่งมีโพรโทคอลในการส่งผ่านข้อมูลเข้าสู่อินเทอร์เน็ตได้ 6) **เอ็นบีไอโอที (Narrow Band Internet of Things, NB-IoT)** เป็นเทคโนโลยีที่ออกแบบมาให้ใช้พลังงาน ความเร็วในการสื่อสารและความถี่ในการส่งข้อมูลต่ำ อุปกรณ์ NB-IoT ทำงานบนย่านความถี่ Licensed Band ที่ต้องได้รับการอนุญาตใช้งานจากหน่วยงานที่กำกับดูแล มีการเชื่อมต่อใช้ ทอพอโลยีแบบสตาร์ มีระยะทางการสื่อสารที่ไกลมาก โดยมีความไวของการรับสัญญาณดีกว่า GSM และ LTE กรณีที่ผู้ให้บริการโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่เป็นผู้ดำเนินการสื่อสารข้อมูลกับอุปกรณ์ NB-IoT ไม่จำเป็นต้องมีอุปกรณ์อินเทอร์เน็ตเกตเวย์ ข้อมูลจะถูกส่งจากอุปกรณ์ NB-IoT ผ่านโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ไปยังแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์ได้โดยตรง

**2.3.2 ชั้นอินเทอร์เน็ต (Internet Layer)** เป็นชั้นที่ทำหน้าที่ในการส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายต่างๆ ตามเส้นทางให้ถึงจุดหมาย ชุดข้อมูลที่อยู่ในชั้นนี้เรียกว่า “แพ็กเกจ (packet)” โดยอุปกรณ์ IoT เป็นอุปกรณ์ที่ถูกออกแบบให้สามารถส่งผ่านข้อมูลเข้าสู่เครือข่ายอินเทอร์เน็ตด้วยโพรโทคอลไอพี เพื่อให้สามารถสื่อสารระหว่างเซิร์ฟเวอร์ที่อยู่บนอินเทอร์เน็ตได้ โดยอุปกรณ์ IoT ที่มีการกำหนดโพรโทคอลในชั้นกายภาพและเครือข่ายจะมีความสามารถในการส่งผ่านข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ หรือระหว่างอุปกรณ์และเกตเวย์ในลักษณะโวลคัลไม่สามารถส่งข้อมูลเข้าสู่อินเทอร์เน็ตได้ ดังนั้นอุปกรณ์ IoT จึงจำเป็นต้องส่งต่อข้อมูลต่อไปยังชั้นอินเทอร์เน็ตซึ่งเป็นชั้นที่รับข้อมูลต่อจากชั้นกายภาพและเครือข่ายอินเทอร์เน็ตซึ่งจะทำหน้าที่ระบุและจัดการเส้นทางของแพ็กเกจข้อมูล ทั้งยังทำหน้าที่แปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบโพรโทคอลมาตรฐานที่สามารถสื่อสารในโครงข่ายอินเทอร์เน็ตได้

**2.3.3 ชั้นแอปพลิเคชัน (Application Layer)** จะรับข้อมูลมาจากชั้นอินเทอร์เน็ตหรือในลักษณะอุปกรณ์จะเป็นแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์ เพื่อทำหน้าที่ประมวลผลข้อมูลจากอุปกรณ์ IoT ต่างๆ ที่ส่งเข้ามา และรองรับการร้องขอและดูข้อมูลจากผู้ใช้หรือจากอุปกรณ์ IoT ตัวอื่นๆ โดยโพรโทคอลเอ็มคิวทีทีเอ็มคิวทีที (Message Queue Telemetry Transport, MQTT) เป็นโพรโทคอลที่มีความเหมาะสมสำหรับอุปกรณ์ IoT โพรโทคอลชนิดนี้มีแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วนคือ 1) มีลักษณะแบบส่งข้อความ (Publish) 2) ตอบรับข้อความ (Subscribe) และ 3) ผ่านโบรกเกอร์ (Broker) การส่งข้อความจะส่งจากอุปกรณ์ไปยัง MQTT Broker ซึ่งเป็นเซิร์ฟเวอร์ลักษณะหนึ่ง โบรกเกอร์จะทำหน้าที่กระจายข้อความอีกต่อหนึ่ง โดยระบุช่องทางหรือหัวข้อ (Topic) สำหรับข้อความเหล่านั้น โบรกเกอร์จะส่งข้อความต่อไปยังอุปกรณ์ที่ต้องการรับข้อความที่สมัครหรือตอบรับข้อความจากเอ็มคิวทีทีโบรกเกอร์ตามหัวข้อที่ระบุไว้ สำหรับงาน IoT อุปกรณ์ส่งข้อความจะมีลักษณะเป็นอุปกรณ์ที่ส่งข้อความที่ความเร็วดำ เป็นเซนเซอร์ที่ตรวจจับและส่งข้อมูลสั้นๆ ทำหน้าที่ส่งข้อความหรือข้อมูลไปยังโบรกเกอร์แล้วกลับไปสภาวะหลับเพื่อประหยัดพลังงาน โบรกเกอร์จะทำหน้าที่เก็บข้อความเหล่านั้นไว้ในระยะเวลาหนึ่ง เมื่อมีผู้ตอบรับข้อความที่แจ้งความประสงค์จะรับข้อความในหัวข้อหรือระบุช่องทางที่จะรับข้อความไว้ตรงกับที่โบรกเกอร์มี โบรกเกอร์จะทำการส่งต่อข้อความที่มีไปให้กับผู้ตอบรับข้อความนั้นๆ (16)

## 2.4 Internet of Things (IoT)

แนวคิดของ IoT ถูกคิดค้นโดย Kevin Aston ในปี 1999 ภายใต้โครงการ “Auto-ID Center” ที่มหาวิทยาลัย Massachusetts Institute of Technology โดย Kevin นิยามไว้ว่าเป็น “Internet-like” ซึ่งก็คืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สามารถสื่อสารพูดคุยกันตัวเอง ซึ่งคำศัพท์ “Things” แทนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (17)

"อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง" หมายถึงระบบโครงข่ายที่รองรับการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์หลากหลายชนิด ตั้งแต่คอมพิวเตอร์ โทรศัพท์เคลื่อนที่ อุปกรณ์โครงข่าย อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เซนเซอร์ และวัตถุต่างๆ เข้าด้วยกัน ทำให้มนุษย์สามารถสั่งการควบคุมการใช้งานอุปกรณ์ต่างๆ ผ่านทางโครงข่ายอินเทอร์เน็ต เช่น การเปิด-ปิด อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า (การสั่งการเปิดไฟฟ้าภายในบ้าน ด้วยการเชื่อมต่ออุปกรณ์ควบคุม เช่น มือถือ ผ่านทางอินเทอร์เน็ต) รถยนต์ โทรศัพท์มือถือ เครื่องมือสื่อสาร เครื่องมือทางการแพทย์ อาคาร บ้านเรือน เครื่องใช้ในชีวิตประจำวันต่างๆ ผ่านโครงข่ายอินเทอร์เน็ต เป็นต้น (18)

การพัฒนา IoT นอกเหนือการพัฒนาเทคโนโลยีในส่วนของฮาร์ดแวร์ ได้แก่ Processor, Radios และเซนเซอร์ ที่เรียกรวมว่า A single chip หรือ System on a chip (SoC) และยังต้องพัฒนาเครือข่ายไร้สายไปพร้อมๆ กัน สำหรับการเชื่อมต่อปัจจุบันได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีสำหรับการเชื่อมต่อ IoT หรือ Assess Technology มีอยู่ 3 เทคโนโลยี ได้แก่ 1) Bluetooth 4.0 2) IEEE 802.15.4e และ 3) WLAN IEEE 802.11™ (Wi-Fi) โดยแต่ละ Assess Technology จะความแตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 2 (17)

**ตารางที่ 2** การส่งข้อมูลของ Bluetooth 4.0, IEEE 802.15.4e และ WLAN IEEE 802.11™

| Assess Technology | Bluetooth 4.0 | IEEE 802.15.4e      | WLAN IEEE 802.11™ |
|-------------------|---------------|---------------------|-------------------|
| Frequency         | 2.4 GHz       | 868/915 MHz 2.4 GHz | 2.4, 5.8 GHz      |
| Data rate         | 723 Kbps      | 250 Kbps            | 11 – 105 Mbps     |
| Power             | Low           | Very low            | High              |

## 2.5 การพัฒนาอุปกรณ์สำหรับ IoT

ส่วนประกอบของอุปกรณ์ IoT ประกอบด้วย 4 ส่วนหลัก ดังนี้

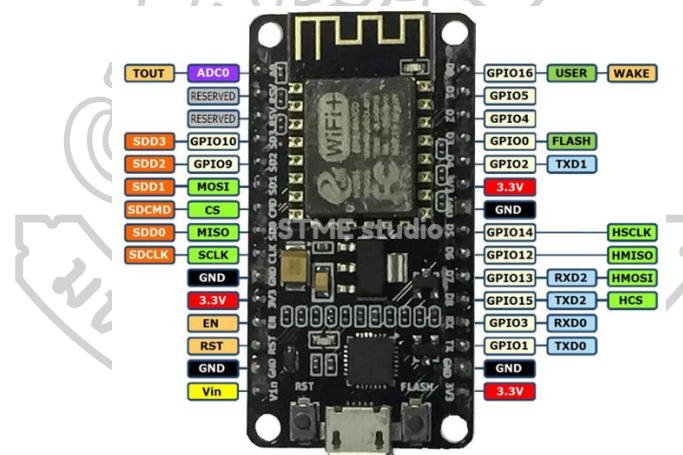
**2.5.1 อุปกรณ์ฮาร์ดแวร์** อาจแบ่งได้ 1) บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller Boards) เช่น บอร์ด Arduino กรณีจะนำมาใช้งานด้าน IoT ควรเป็นบอร์ดที่เชื่อมต่อได้ เช่น Ethernet, Wi-Fi/BLE, LoRa, Sigfox, NB-IoT 2) คอมพิวเตอร์บอร์ดเดี่ยว (Single-Board Computer, SBC) เช่น บอร์ด Raspberry Pi อุปกรณ์แบบ SBC แตกต่างจากแบบแรกคือใช้ระบบปฏิบัติการในการทำงานร่วมด้วย เช่น Ubuntu/Debian, Yocto-based Embedded Linux, OpenWrt อุปกรณ์กลุ่มนี้จะมีความสามารถในการประมวลผลและความจุของหน่วยความจำสูงกว่า บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ รองรับการเชื่อมต่อได้หลายรูปแบบ เช่น Ethernet, Wi-Fi/BLE และอาจรวมถึง 4G/LTE (Cellular), NB-IoT, LoRa เป็นอุปกรณ์ต่อเพิ่ม

**A. ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller Boards)** เป็นบอร์ดควบคุมขนาดเล็ก เช่น Arduino Uno/Nano, NodeMCU ESP8266 เป็นต้น โดยบอร์ดในกลุ่มนี้จะมีหน่วยความจำไม่

มาก ความเร็วหน่วยประมวลผลอยู่ในหลัก MHz เหมาะสำหรับงานที่ไม่ซับซ้อน ได้แก่ การอ่านค่าจาก เซนเซอร์ การส่งข้อมูลเซนเซอร์ขึ้นเซิร์ฟเวอร์ การบันทึกข้อมูล

**A1. Arduino** เป็นแพลตฟอร์มแบบเปิด (Open source แพลตฟอร์ม) ที่ได้รับความนิยมสูงสำหรับงานด้านระบบอิเล็กทรอนิกส์ควบคุมและด้าน IoT เนื่องจากตัวฮาร์ดแวร์มีราคาถูกและใช้งานง่าย สามารถนำไปพัฒนาสร้างระบบควบคุม IoT ได้หลากหลาย โดยนำอุปกรณ์ต่างๆ มาเสียบต่อกับตัวบอร์ด ได้แก่ เซนเซอร์ เซอร์โว รีเลย์ มอเตอร์ หลอดไฟ บลูทูธ จีพีเอส หรืออุปกรณ์อื่นๆ จากนั้นเขียนโปรแกรมแล้วอัปโหลดเข้าตัวบอร์ดเพื่อให้ทำงานอ่านค่าเซนเซอร์แล้วประมวลผลส่งงาน อุปกรณ์ได้ตามต้องการ โดย Arduino เหมาะสำหรับงานด้านการควบคุมด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์หรืองานประเภทที่รับข้อมูลจากเซนเซอร์มาประมวลผลเบื้องต้นหรือส่งขึ้นเซิร์ฟเวอร์หรือคลาวด์

**A2. NodeMCU** คือบอร์ดที่มีลักษณะเดียวกับ Arduino สามารถเชื่อมต่อ Wi-Fi รวมทั้งเขียนโปรแกรมด้วย Arduino IDE ได้เหมือนกับ Arduino มีราคาถูกเหมาะสำหรับผู้เริ่มต้นศึกษาหรือทดลองใช้งาน Arduino, IoT หรือนำไปใช้จริง NodeMCU ประกอบด้วย ESP8266 ดังรูปที่ 2 ซึ่งเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่สามารถเชื่อมต่อ Wi-Fi ได้ รวมกับอุปกรณ์อื่นๆ เช่น micro-USB สำหรับจ่ายไฟและอัปโหลดโปรแกรม เป็นต้น (19)

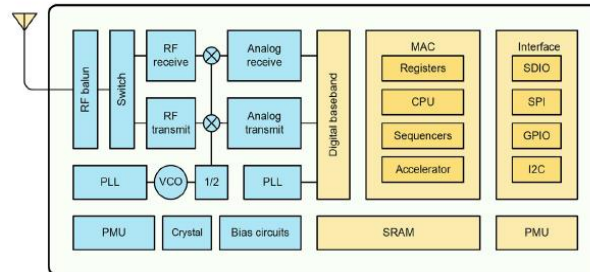


รูปที่ 2 ขา GPIO ของบอร์ด ESP8266

ที่มา: <http://dtecesp8266arduino.blogspot.com/2017/12/esp8266-esp8266-esp8266-wifi-3.html>

**A3. GPIO** ย่อมาจาก General Purpose Input/Output หรือพอร์ตเอนกประสงค์ซึ่งสามารถเป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุต คือสามารถควบคุมคอนโทรลให้เป็นลอจิก “1” หรือ ลอจิก “0” ได้ตามต้องการ โดยที่จะสามารถควบคุมได้แต่ละ pin เหมือนไมโครคอนโทรลเลอร์ทั่วไป บอร์ด ESP8266 มีความสามารถพิเศษอีกอย่างหนึ่งก็คือสามารถปล่อยสัญญาณ PWM ได้ทุกขา ขา GPIO ของ ESP8266 เป็นขาสัญญาณดิจิทัลทั้งหมด ยกเว้นขา ADC0 เท่านั้นที่สามารถอ่านสัญญาณอนาล็อกได้ บอร์ดยังรองรับการสื่อสารแบบ SPI (เอสพีไอ) และ I2C ทำให้สามารถใช้งานบอร์ด ESP8266 ได้ในหลายๆ งาน

**A4. ESP8266 Block Diagram** แบ่งได้เป็น 2 ส่วนคือฝั่งด้านซ้าย Radio frequency (RF) มีหน้าที่เชื่อมต่อและจัดการกับ Wi-Fi และฝั่งด้านขวาคือ Logical RF ที่ประกอบด้วย MCU, SRAM, Interface เชื่อมต่อแบบต่างๆ สถาปัตยกรรมนี้มีขาใช้งานทั้งหมด 32 ขา ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ESP8266 Block Diagram (4)

#### A5. NodeMCU V2 LUA based ESP8266-12E

NodeMCU V2 ปรับปรุงจาก NodeMCU เวอร์ชันเดิม โดยใช้ ESP8266-12E ซึ่งมีขา GPIO PWM I2C 1-Wire ADC และ SPI เพิ่มเข้ามา มีเสาอากาศในตัว บอร์ดมีขนาดเล็กลง บอร์ดกว้าง 2.5 CM ใช้ชิพ USB เบอร์ CP2102 ในการติดต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่อลงโปรแกรม สามารถลง Firmware NodeMCU และเขียนโปรแกรมด้วยภาษา Lua ได้ (20) ดังรูปที่ 4 และมีรายละเอียดคุณสมบัติเฉพาะแสดงในตารางที่ 3 (21)



ตารางที่ 3 คุณสมบัติเฉพาะของบอร์ด ESP8266 ESP-12E WIFI

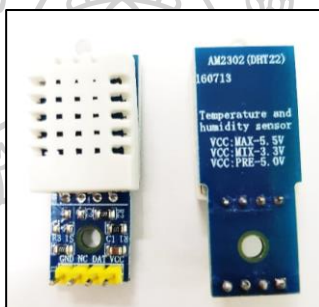
รูปที่ 4 NodeMCU V2

| พารามิเตอร์                 | คุณสมบัติเฉพาะ               |
|-----------------------------|------------------------------|
| Microcontroller             | ESP8266                      |
| Memory                      | 32 bit                       |
| Processor                   | TenSilica L 106              |
| Processor Clock             | 80MHz-160MHz                 |
| RAM                         | 36Kb                         |
| Storage                     | 16 Mb                        |
| Built-in Wi-Fi              | 2.4GHz supports 802.11 b/g/n |
| ADC Pin                     | 1(10bit Resolution)          |
| GPIO pins                   | 10                           |
| Operating Voltage           | 3.0V 3.6V                    |
| Operating Current           | 80mA (Average)               |
| Operating Temperature Range | -40 °C - 125 °C              |

2.5.2 ภาษาที่เลือกใช้สำหรับเขียนชุดคำสั่ง C/C++, Arduino-Compatible หรือ ภาษาคอมพิวเตอร์ในระดับสูง เช่น Python (MicroPython/CircuitPython), JavaScript/Nodejs (Espruino), Lua

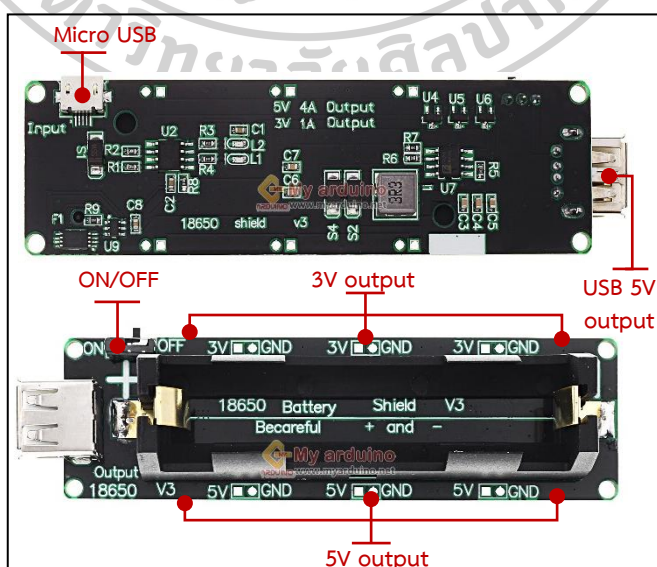
2.5.3 อุปกรณ์ต่อพ่วง เช่น โมดูลเซนเซอร์ ซึ่งอาจจะรวมอยู่ไว้บนบอร์ดแล้ว เช่น เพื่อวัดค่า อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ รวมถึงอุปกรณ์เพื่อใช้เป็นแอคทูเอเตอร์หรือแอคชูเอเตอร์ (Actuators) เช่น โมดูลรีเลย์สำหรับควบคุมโหลดไฟฟ้า บอร์ดควบคุมการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้า

A. DHT22 AM2302 คือเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น ความแม่นยำสูง มีตัวต้านทาน Pull up สามารถต่อขาทดลองได้โดยไม่ต้องต่อเพิ่ม ออกแบบมาให้วัดได้แม่นยำกว่ารุ่น DHT11 ใช้งานง่าย สามารถนำ DHT22 เปลี่ยนแทน DHT11 ได้เนื่องจากโค้ด Arduino DHT22 เขียนเหมือนกัน ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 DHT22 AM2302

B. โมดูลชาร์จแบตเตอรี่ชนิด 18650 พร้อมวงจรจ่ายไฟ 3.7V เป็นอุปกรณ์สำหรับชาร์จแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนรุ่น 18650 โดยเก็บไฟจากการชาร์จลงแบตเตอรี่ รองรับการชาร์จผ่าน Micro USB ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 โมดูลชาร์จแบตเตอรี่ชนิด 18650



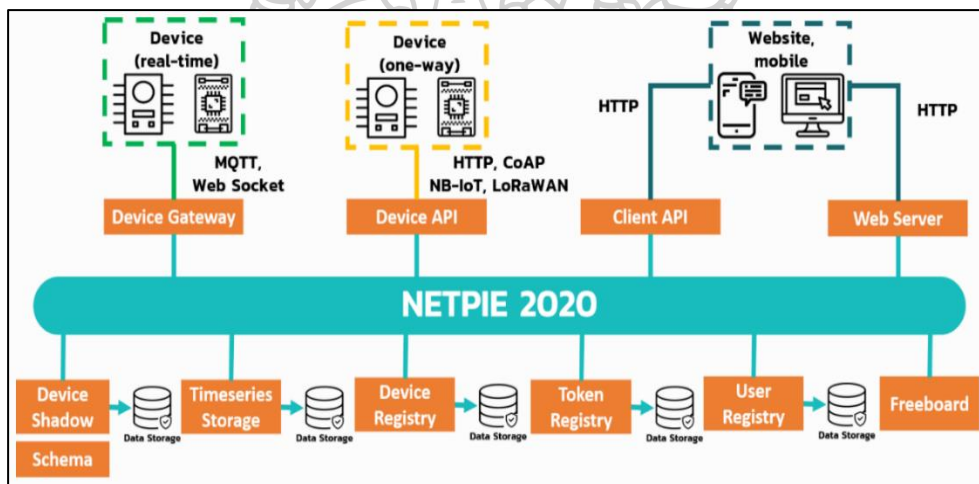
C. แบตเตอรี่ PANASONIC NCR18650B เป็นแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนที่ไม่มีวงจรป้องกัน สามารถชาร์จใหม่ได้ ในการศึกษาเลือกใช้แบตเตอรี่ของ PANASONIC ขนาด 18650 ประเภท NCR18650B ความจุแบตเตอรี่ 3400 mAh แรงดันไฟฟ้า 3.6V แรงดันโวลต์ของไฟฟ้าสูงสุด 4.25V แรงดันโวลต์ของไฟฟ้าต่ำสุด 2.50V ความต้านทานภายใน  $40\Omega$  รอบการใช้งาน 1000 ครั้ง ขนาด 18.5\*67.5 มิลลิเมตร และน้ำหนัก 48.5 กรัม ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนชนิด NCR18650

2.5.4 เซิร์ฟเวอร์ในการเชื่อมต่ออุปกรณ์ IoT สามารถแบ่งได้ 2 แบบ ตามลักษณะขอบเขตของการเชื่อมต่อ คือ 1) การเชื่อมต่อแบบไม่จำกัดพื้นที่ หรือการเชื่อมต่อกับบริการในระบบคลาวด์ ซึ่งอาจจะมีทดลองใช้บริการฟรี แต่อาจมีข้อจำกัดในการทำงาน หรือมีค่าบริการรายเดือน นอกจากนี้ยังสามารถใช้แอปพลิเคชันบนสมาร์ทโฟนเชื่อมต่อกับบริการในระบบคลาวด์ดังกล่าวได้ด้วย ข้อมูลถูกส่งขึ้นระบบคลาวด์ผ่านทางอินเทอร์เน็ตในช่องทางต่างๆ มีการจัดเก็บข้อมูลในระบบฐานข้อมูลแบบต่างๆ (Data Storage) มีบริการวิเคราะห์ข้อมูล (Data Analytics) รวมถึงการประยุกต์ใช้เทคนิคทางปัญญาประดิษฐ์ และแสดงข้อมูลเชิงกราฟิกรูปแบบต่างๆ (Data Visualization) ข้อดีคือระบบคลาวด์มีความสามารถในการประมวลผล การจัดเก็บข้อมูล การรักษาความปลอดภัย การเชื่อมต่อจากอุปกรณ์อาจผ่านการสื่อสารไร้สาย Wi-Fi ต่อผ่าน Access Point (AP) เข้าสู่อินเทอร์เน็ตไปยังระบบคลาวด์ การเขียนโปรแกรมด้วยรูปแบบที่เรียกว่า REST ผ่าน HTTP/HTTPS หรือใช้โปรโตคอล MQTT กรณีที่ไกลกว่า Wi-Fi เช่น NB-IoT ซึ่งจะเข้าสู่ระบบเครือข่ายของผู้ให้บริการและเชื่อมต่อไปยังเครื่องแม่ข่ายในระบบคลาวด์อีกต่อหนึ่ง หรือถ้าใช้ LoRa/LoRaWAN ก็จะเชื่อมต่อกับเกตเวย์ของผู้ให้บริการก่อนเข้าสู่ระบบคลาวด์ 2) การเชื่อมต่อแบบจำกัดพื้นที่ เป็นลักษณะการใช้งานที่มีการจำกัดการเชื่อมต่ออุปกรณ์อยู่เฉพาะภายในบ้าน (Smart Home/Home Automation) หรือภายในองค์กร ในฟาร์ม หรือโรงงาน เช่น Apache Web Server, Blynk Server, MQTT Broker, MongoDB Server, Grafana Server (20)

**2.5.4.1 NETPIE2020** คือแพลตฟอร์มที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อตอบสนองผู้ใช้งานเชิงพาณิชย์ เช่น ผู้ผลิตอุปกรณ์ IoT อุตสาหกรรมโรงงาน และองค์กรที่พัฒนาสู่ยุค Digital Transformation 4.0 ซึ่งจะช่วยธุรกิจให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น ด้วยเทคโนโลยี IoT โดยแพลตฟอร์มจะช่วยให้อุปกรณ์ต่างๆ สามารถสื่อสารกันได้ เกิดการรับ-ส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์แบบ real-time ทำให้ผู้ใช้งานทราบถึงข้อมูลของอุปกรณ์ ณ เวลานั้นๆ ไม่ว่าผู้ใช้งานจะอยู่ที่ไหนเวลาใดก็ตาม ทั้งยังรองรับการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ IoT ได้จำนวนมากมหาศาล ทำให้ตอบโจทย์กลุ่มผู้ใช้งานเชิงพาณิชย์ที่มีอุปกรณ์ IoT จำนวนมาก องค์กรประกอบของ NETPIE2020 ดังรูปที่ 8 **คุณสมบัติหลักของ NETPIE2020** ประกอบไปด้วย 1) การแสดงค่าข้อมูลจากเซนเซอร์หรืออุปกรณ์แบบ Real-time (Monitoring) 2) การควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ ผ่าน Cloud แพลตฟอร์ม (Controlling) 3) การเก็บค่าข้อมูลที่ได้จากเซนเซอร์หรืออุปกรณ์ (Data Storage) 4) การแจ้งเตือนความผิดปกติของเซนเซอร์หรืออุปกรณ์จากที่ได้กำหนดไว้ (Notification) และ 5) การแสดงผลและควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ผ่าน Dashboard (Dashboard for monitor & control) (21)



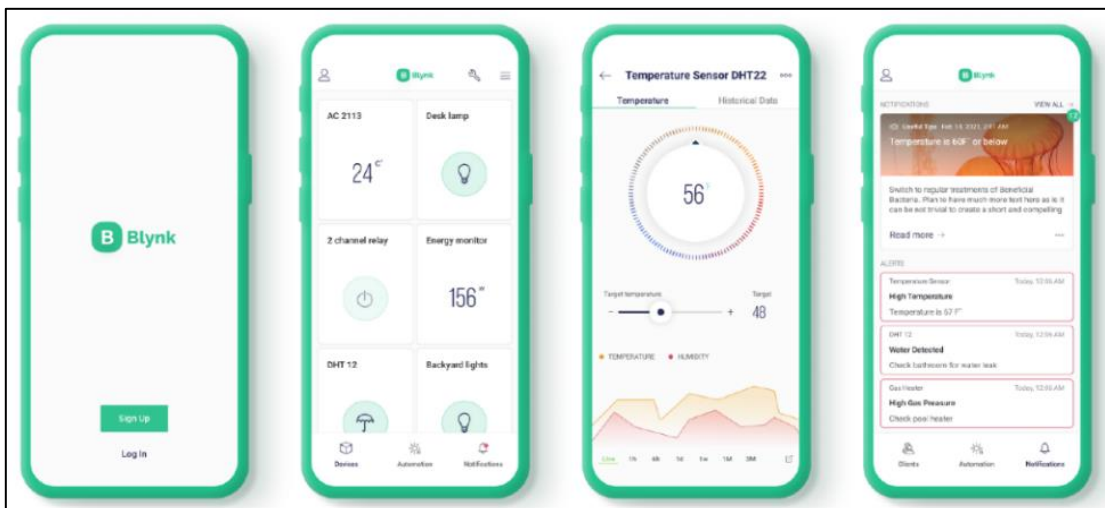
รูปที่ 8 โครงสร้าง NETPIE2020

ที่มา: <https://NETPIE.io/>

**2.5.4.2 Blynk** เป็น Open Source แพลตฟอร์มอย่างหนึ่ง ซึ่งออกแบบมาสำหรับงาน IoT ที่จะทำให้อุปกรณ์ต่างๆ เชื่อมต่อเข้ากับระบบผ่านอินเทอร์เน็ตได้ง่าย สามารถควบคุมการทำงานอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์จากระยะไกลผ่านแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟน ในส่วนของค่าบริการหากผู้ใช้งานคลาวด์เซิร์ฟเวอร์ Blynk จะสามารถใช้งานฟรีสำหรับอุปกรณ์ Prototype และมีค่าบริการสำหรับเชิงธุรกิจ ซึ่งแพลตฟอร์มออกแบบให้สามารถสร้างและจัดการฮาร์ดแวร์ที่เชื่อมต่อ การจัดเตรียมอุปกรณ์ การสร้างภาพข้อมูลเซนเซอร์ การควบคุมระยะไกลด้วยแอปพลิเคชันมือถือและเว็บ การอัปเดตเฟิร์มแวร์ Over-The-Air คลาวด์ที่ปลอดภัย การวิเคราะห์ข้อมูล การจัดการผู้ใช้และการเข้าถึง การแจ้งเตือนการทำงานอัตโนมัติและอื่นๆ อีกมากมาย แพลตฟอร์ม Blynk ขับเคลื่อนผู้ผลิตผลิตภัณฑ์บ้านอัจฉริยะ

ระบบ HVAC ที่ซับซ้อน อุปกรณ์การเกษตร และทุกคนที่เกี่ยวข้อง องค์ประกอบของ Blynk มีองค์ประกอบหลักอยู่ 4 ส่วน คือ

**A. Blynk.Apps** คือแอปพลิเคชันในสมาร์ทโฟน ทำหน้าที่หลักคือ 1) การตรวจสอบและควบคุมอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อจากระยะไกลซึ่งทำงานร่วมกับแพลตฟอร์ม Blynk 2) การกำหนดค่า UI มือถือระหว่างขั้นตอนการสร้างต้นแบบและการผลิต และ 3) ทำงานอัตโนมัติของอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อ ดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 Blynk.Apps บนสมาร์ทโฟน

ที่มา: <https://blynk.io/>

**B. Blynk.Cloud** คือตัวกลางในการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ทั้งหมด

**C. Blynk.Edgent** เป็นไลบรารีแบบฝังตัวที่มีขนาดเบา ซึ่งสามารถทำงานบนฮาร์ดแวร์รุ่นที่รองรับมากกว่า 400 รุ่น หน้าหลักของ Blynk.Edgent คือ 1) การอ้างสิทธิ์อุปกรณ์และการเตรียมใช้งาน Wi-Fi (นำอุปกรณ์ออนไลน์และรับรองความถูกต้องกับผู้ใช้บางราย) 2) การจัดการการ

```

main.cpp
1 // Fill-in information from your Blynk Template here
2 #define BLYNK_TEMPLATE_ID          ""
3 #define BLYNK_DEVICE_NAME         ""
4 #define BLYNK_FIRMWARE_VERSION    "0.1.0"
5 #define APP_DEBUG
6
7 #include "BlynkEdgent.h"
8
9 void setup()
10 {
11   delay(100);
12   BlynkEdgent.begin();
13 }
14
15 void loop() {
16   BlynkEdgent.run();
17 }
18
19
LF Line 5/36 UTF8 2 spaces V/main

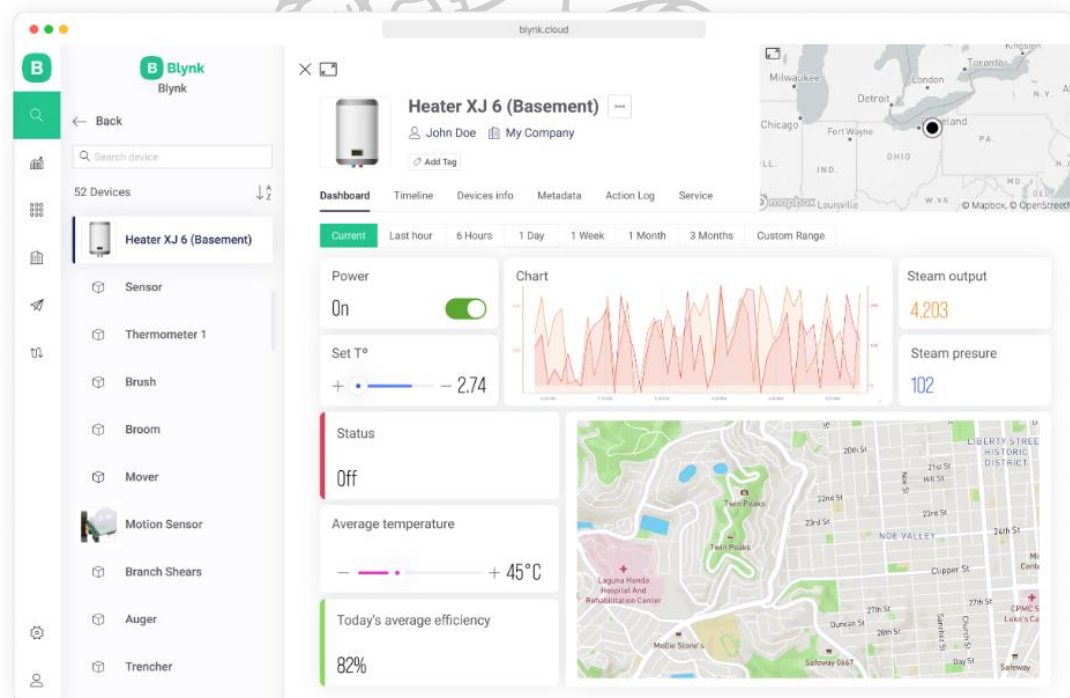
```

รูปที่ 10 Blynk.Edgent

ที่มา: <https://blynk.io/>

เชื่อมต่อ (Wi-Fi เซลลูลาร์ อีเธอร์เน็ต) 3) การถ่ายโอนข้อมูลระหว่างอุปกรณ์และ API ของคลาวด์เพื่อทำงานกับคุณสมบัติ Blynk.Apps และ Blynk.Cloud ที่เฉพาะเจาะจง และ 4) Over-the-air อัปเดตเฟิร์มแวร์ (สำหรับฮาร์ดแวร์บางรุ่น) ดังรูปที่ 10

**D. Blynk.Console** คือเว็บแอปพลิเคชันที่มีคุณลักษณะหลากหลายซึ่งสามารถใช้ได้โดยผู้ใช้งานประเภทต่างๆ ฟังก์ชันหลักคือ 1) การกำหนดค่าวิธีการทำงานของอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อบนแพลตฟอร์ม 2) การจัดการอุปกรณ์ ข้อมูล ผู้ใช้ องค์กร และสถานที่ และ 3) การตรวจสอบและควบคุมอุปกรณ์ระยะไกล ความน่าสนใจของแพลตฟอร์มคือ 1) ตัวแก้ไขแบบลากและวางเพื่อสร้างแอปพลิเคชัน iOS และ Android โดยไม่ต้องใช้โค้ด 2) แดชบอร์ดที่ทรงพลังพร้อมตัวแก้ไข UI แบบลากและวางเพื่อจัดการอุปกรณ์ผู้ใช้และข้อมูล 3) เฟิร์มแวร์ที่ยืดหยุ่นและ REST API เพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างฮาร์ดแวร์และแอปพลิเคชัน 4) รองรับ ESP32, Arduino, Raspberry Pi, Texas Instruments, Particle และฮาร์ดแวร์รุ่นอื่นๆ อีกกว่า 400 รุ่น 5) เชื่อมต่ออุปกรณ์กับระบบคลาวด์ที่ปลอดภัยพร้อมใช้งานทันที 6) ส่งการอัปเดตเฟิร์มแวร์ไปยังอุปกรณ์เครื่องเดียวหรือจัดการการปรับใช้ที่ปรับได้ตามความต้องการ และ 7) เชื่อมต่ออุปกรณ์กับเครือข่าย Wi-Fi ที่บ้านหรือที่ทำงานโดยใช้แอปพลิเคชันและเฟิร์มแวร์ Blynk (22) ดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 Blynk.Console

ที่มา: <https://blynk.io/>

## 2.6 การประเมินเทคโนโลยีทางสุขภาพ

(Health technology assessment, HTA) เป็นกระบวนการนำศาสตร์จากพหุสาขา และจรรยาบรรณมาประยุกต์ใช้กับเทคโนโลยีด้านสุขภาพอย่างเป็นระบบ เพื่อให้เกิดข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อกระบวนการตัดสินใจ โดยแบ่งประเด็นที่เกี่ยวข้องได้ 4 ประเด็นคือ การวิเคราะห์นโยบาย (Policy analysis) การใช้หลักฐานทางวิชาการเชิงประจักษ์ (Evidence-base medicine) การประเมินความคุ้มค่าทางสาธารณสุข (Health economic evaluation) และการประเมินผลกระทบต่อสังคมและจริยธรรม (Social and ethical impact assessment) (23) โดยการประเมินเทคโนโลยีทางสุขภาพ แบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ได้แก่

### 2.6.1 การกำหนดขอบเขตและกรอบงานวิจัย ซึ่งประกอบด้วย

- A. การคัดเลือกเทคโนโลยีด้านสุขภาพที่จะทำการประเมิน
- B. การกำหนดคำถามงานวิจัย
- C. การทบทวนข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับโรคและเทคโนโลยีทางสุขภาพที่ต้องการประเมิน
- D. ประชากรกลุ่มเป้าหมาย
- E. การเลือกเทคโนโลยีที่ใช้เปรียบเทียบ
- F. การกำหนดมุมมองของการศึกษา

### 2.6.2 การเลือกวิธีการประเมินความคุ้มค่าทางสาธารณสุข (24) แบ่งออกเป็น 4 วิธี คือ

A. การวิเคราะห์ต้นทุนต่ำสุด (cost-minimization analysis, CMA) เป็นการเปรียบเทียบระหว่างเทคโนโลยีตั้งแต่สองทางเลือกขึ้นไป โดยกำหนดเงื่อนไขว่ามีผลลัพธ์ที่เท่าเทียมกัน เปรียบเทียบเฉพาะต้นทุนว่าทางเลือกใดที่มีต้นทุนต่ำสุด

B. การวิเคราะห์ต้นทุนผลได้ (cost-benefit analysis, CBA) เป็นการประเมินโดยที่ต้นทุนมีมูลค่าเป็นเงินและผลได้มีมูลค่าเป็นเงิน สำหรับวิธีการวิเคราะห์ประเภทนี้การคำนึงถึงมุมมองของการศึกษา (perspective) มีผลต่อผลลัพธ์ของการประเมินอย่างมาก เนื่องจากทั้งต้นทุนและผลได้มีมูลค่าเป็นตัวเงิน ข้อดีของการประเมิน คือสามารถเปรียบเทียบระหว่างข้อมูลได้ เพราะต่างมีมูลค่าเป็นเงินเหมือนกัน ส่วนข้อเสียของการประเมินคือ การกำหนดมูลค่าเป็นเงินสำหรับข้อมูลบางประเภทอาจไม่เหมาะสมหรือทำได้ยาก ผลการประเมินของการวิเคราะห์ต้นทุนผลได้เป็นการแสดงในรูปผลได้สุทธิ (net benefits) อาจเป็นบวกหรือลบก็ได้ ทั้งนี้ผลที่เป็นบวกแสดงถึงผลประโยชน์ที่ได้มากกว่าต้นทุนและมีความคุ้มค่า ถ้าผลที่เป็นลบมีความหมายในทางตรงกันข้าม หรือสามารถแสดงในอีกรูปแบบ คือผลได้ต่อต้นทุน (benefit to cost ratio) หากผลได้ของการรักษามีค่ามากกว่าหนึ่งถือว่า การรักษานั้นมีความคุ้มค่า

C. การวิเคราะห์ต้นทุนประสิทธิผล (cost-effectiveness analysis, CEA) เป็นวิธีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยต้นทุนอยู่ในรูปของตัวเงินและผลลัพธ์อยู่ในรูปของงประสิทธิผล

ผลลัพธ์แบ่งได้เป็น 1) ผลลัพธ์ชั้นกลาง (intermediate outcomes) 2) ผลลัพธ์สุดท้าย (final outcomes) โดย HITAP แนะนำให้ใช้ผลลัพธ์ทางสุขภาพชนิดดังกล่าว เช่น การรักษาให้ผู้ป่วยหายจากโรค ระยะเวลาที่ผู้ป่วยมีอายุที่ยืนยาวขึ้น มาใช้ในการวิเคราะห์ต้นทุนประสิทธิผล ข้อดีคือผลได้ในรูปคลินิกเป็นที่คุ้นเคยต่อบุคลากรทางการแพทย์และทำให้เข้าใจได้ง่ายกว่าผลได้ทางการเงินหรืออรรถประโยชน์ แต่ข้อเสียคือการเปรียบเทียบการรักษาทำได้เฉพาะการรักษาที่มีผลทางคลินิกในหน่วยเดียวกันเท่านั้น

**D. การวิเคราะห์ต้นทุนอรรถประโยชน์ (cost-utility analysis, CUA)** เป็นการประเมินที่วัดค่าต้นทุนเป็นรูปตัวเงิน แต่ผลได้เป็นค่าพิเศษทางคลินิก โดยที่ค่าพิเศษทางคลินิกเป็นทั้งเชิงปริมาณและคุณภาพ ค่าที่นิยมใช้มากที่สุดได้แก่ ปีสุขภาวะ (quality adjusted life-year, QALY) ปีสุขภาวะ หมายถึงระยะเวลา 1 ปีที่ผู้ป่วยมีสุขภาพสมบูรณ์ ค่าอื่นๆ ที่ใช้วัดผลได้ในการวิเคราะห์ชนิดนี้ ได้แก่ ปีชีวิตที่ทุพพลภาพ (disability-adjusted life years, DALY) และ healthy years equivalent (HYEs) (23, 25)

เมื่อเปรียบเทียบวิธีการประเมินความคุ้มค่าทางสาธารณสุขในประเด็นของต้นทุนและผลได้แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 4

**ตารางที่ 4** ต้นทุนและผลได้ของการประเมินทางเศรษฐศาสตร์ด้วยวิธีต่างๆ

| การวิเคราะห์ | ต้นทุน (cost) | ผลได้ (outcomes)  |
|--------------|---------------|---|
| CMA          | มูลค่าเงิน    | ข้อตกลงเบื้องต้นว่ามีผลลัพธ์เท่าเทียมกัน  |
| CBA          | มูลค่าเงิน    | เปลี่ยนเป็นมูลค่าเงิน   |
| CEA          | มูลค่าเงิน    | ประสิทธิผลทางคลินิก เช่น ระดับน้ำตาลในเลือด จำนวนปีที่อายุยืนยาวขึ้น วันที่ปราศจากอาการของโรค |
| CUA          | มูลค่าเงิน    | ผลลัพธ์ที่รวมคุณภาพและปริมาณ เช่น ปีสุขภาวะ (QALY) ปีชีวิตที่ทุพพลภาพ (DALY)                  |

## 2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.7.1 การพัฒนาอุปกรณ์ IoT

Alves และคณะ (26) พัฒนาอุปกรณ์ที่ช่วยในการปิดระบบไฟส่องสว่างและเครื่องปรับอากาศโดยใช้ NodeMCU ESP8266 ซึ่งบอร์ดดังกล่าวเป็นที่นิยมในการเลือกใช้เพื่อพัฒนาชุดอุปกรณ์ IoT อย่างแพร่หลายเนื่องจากเป็นระบบเปิด (Open-source) มีระบบ Wi-Fi ทำให้ตัวบอร์ดสามารถเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตได้อย่างสะดวก รวมไปถึงมีความเข้ากันได้ในการใช้ Arduino IDE ในการเขียนชุดคำสั่ง เช่นเดียวกับการศึกษาของ Sheikh (27) ที่เลือกใช้ NodeMCU ESP8266 ในการนำมาพัฒนาชุดอุปกรณ์ IoT เช่นเดียวกัน

เมื่อพิจารณาด้านแหล่งพลังงาน Manushri และคณะ(28) ที่ได้ทำการพัฒนา เครื่องต้นแบบ ซึ่งประกอบด้วยบอร์ดชนิด ESP8266EX แบตเตอรี่ 14500 Li-ion ชนิดชาร์จเข้าได้ แผงโซลาร์เซลล์ต่อเข้ากับ Charging Board TP-4056 เซนเซอร์ชนิด MQ7 และ DHT11 ที่ใช้ในการ ตรวจสอบสภาพอากาศ ข้อมูลที่ได้จากเซนเซอร์จะถูกอัปโหลดเข้าระบบคลาวด์ด้วย Wi-Fi ดังนั้นด้วย ข้อจำกัดของแบตเตอรี่ ทำให้ต้องใช้โหมดประหยัดพลังงาน (Deep Sleep) เพื่อให้พลังงานที่มี เพียงพอต่อการใช้งาน ซึ่งต่างจากการศึกษาของ Abidi และคณะ (29) ที่เลือกใช้การต่อไฟฟ้า กระแสตรง โดยใช้ตัวแปลงกระแสไฟ 12V DC เพื่อต่อกับกระแสไฟ AC ของบ้าน สำหรับการพัฒนา อุปกรณ์ควบคุมด้วยเสียงในระบบรักษาความปลอดภัยสำหรับสมาร์ทโฮม โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino mega, GSM SIM900A, Bluetooth model และ HC-SR04 เซนเซอร์

### 2.7.2 การประเมินการใช้งานเซิร์ฟเวอร์

จากการศึกษาของพรคิต (30) มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาช่องโหว่การเข้ารหัสและถอดรหัส ของ WEP สำหรับการเข้ารหัสป้องกันของเครื่องข่ายไร้สายทั่วไปและจุดบริการอินเทอร์เน็ตไร้สาย ป้องกันการลักลอบใช้งานเครือข่ายไร้สาย การศึกษานี้ทำการติดตั้งโปรแกรม Kali Linux เพื่อให้ สามารถเรียกใช้ Module airmo-ng, aireplay-ng, airodump-ng และ aircrack-ng ประเมิน ระบบความปลอดภัยด้วยแบบประเมินความพึงพอใจต่อระบบ ซึ่งเป็นการให้คะแนนแบบ Rating Scale ตามวิธีการของ Likert โดยแบ่งระดับไว้ 5 ระดับ มี 10 หัวข้อคือ 1) ความสะดวกต่อการใช้ งาน 2) ความยากง่ายในการติดตั้งโปรแกรมระบบปฏิบัติการ 3) ความยากง่ายในการ Config ระบบ 4) ความถูกต้องของโปรแกรม 5) ความสมบูรณ์ของรายงานสรุปผล 6) การแก้ไขปรับปรุงทำงานและ สะดวก 7) การค้นหาข้อมูลทำได้ง่ายและสะดวก 8) การทำงานสะดวกมากขึ้นในการเรียกดูข้อมูล 9) คู่มือการใช้มีความชัดเจน และสะดวกต่อการใช้งาน และ 10) สามารถนำไปใช้กับระบบงานได้จริง ซึ่งจากผลของการศึกษาการประเมินระบบความปลอดภัยของระบบเครือข่ายไร้สายมหาวิทยาลัย เทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ผู้จัดทำระบบได้ทำการประเมินผลการถอดรหัสผ่านจาก Access Point เพื่อเข้าใช้บริการจาก Access Point แต่ละตัว จะสังเกตได้ว่า Access Point ที่ใช้การเข้ารหัสเป็น แบบ WEP จะถูกถอดรหัสได้ง่ายกว่าเข้ารหัสแบบ WPA หากใช้วิธีการเข้ารหัสแบบ WPA การถอด รหัสผ่านก็จะต้องใช้เวลานานขึ้น ทำให้การถอดรหัสผ่านใช้เวลานานขึ้นตามไปด้วย ซึ่งปัจจุบันการ เข้ารหัสแบบ WPA มีการพัฒนาเป็น WPA2, wpa-auto-psk เป็นต้น และยังมีระบบ Authentication ทำให้มีความปลอดภัยยิ่งขึ้น ซึ่งระบบการบริหารจัดการแบบศูนย์กลางควบคุมเป็นที่นิยมใช้งานอย่าง แพรหลาย เพราะมีความปลอดภัยสูง จะเน้นที่การประเมินระบบการรักษาความปลอดภัยของ เครือข่ายไร้สาย โดยอย่างน้อยการมีระบบ Authentication ก็ช่วยให้การเข้าใช้งานเครือข่ายมีความ ปลอดภัยมากขึ้น

จากการศึกษาของปิติพล และธานีล (31) ได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพของระบบควบคุมเครื่องปลูกข้าวด้วยซอฟต์แวร์บริหารจัดการเชิร์ฟเวอร์ดีสก์เลสส์ มีหัวข้อการประเมิน 4 ประเด็น ดังนี้ 1) ความสามารถในการทำงาน 2) ความง่ายต่อการใช้งาน 3) การทดสอบการใช้งาน และ 4) ความปลอดภัย โดยให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่านประเมินประสิทธิภาพของระบบ

จากการศึกษาของชนิกานต์ และมธุรส (32) ได้ประยุกต์แบบประเมินประสิทธิภาพของระบบเป็น 5 ด้าน ดังนี้ 1) ด้านความสามารถ เป็นการประเมินความสามารถของระบบว่าตรงตามความต้องการมากน้อยเพียงใด 2) ด้านความถูกต้อง เป็นการประเมินความถูกต้องของระบบสามารถทำงานได้ถูกต้องตรงตามหน้าที่มากน้อยเพียงใด 3) ด้านความยากง่ายในการใช้งาน เป็นการประเมินลักษณะการใช้งานของระบบว่ามีความยากง่ายต่อการใช้งานมากน้อยเพียงใด 4) ด้านสมรรถนะ เป็นการประเมินสมรรถนะของระบบว่ามีประสิทธิภาพมากน้อยเพียงใด และ 5) ด้านการรักษาความมั่นคง เป็นการประเมินด้านการรักษาความปลอดภัยของข้อมูลมีความปลอดภัยมากน้อยเพียงใด

### 2.7.3 การทดสอบประสิทธิภาพของระบบ IoT ที่พัฒนาขึ้น

การศึกษาของอารีรัตน์ และคณะ (33) ได้พัฒนาอุปกรณ์ที่ใช้ในการรายงานค่าอุณหภูมิและความชื้นของคลังยาแบบออนไลน์ ใช้บอร์ด Raspberry Pi เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นชนิด DHT22 เขียนคำสั่งควบคุมด้วยภาษา Python บนโปรแกรม Adafruit โดยเครื่องต้นแบบสามารถแจ้งเตือนผ่าน Line notify ได้ กรณีที่ค่าออกนอกช่วงที่กำหนด (อุณหภูมิ  $\geq 28^{\circ}\text{C}$  และความชื้นสัมพัทธ์  $\geq 60\% \text{ RH}$ ) โดยการทดสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์ ใช้วิธีหา %ความคลาดเคลื่อน (%ERROR) เปรียบเทียบกับเครื่อง DIGICON TH-02 ผลการทดลองได้ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนของอุณหภูมิเท่ากับ 2.7% และค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนของความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 3.71% และทำการปรับค่าที่อ่านได้จากอุปกรณ์ด้วยค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่อง DIGICON TH-02 ที่ใช้การประเมิน

สำหรับในส่วนของการศึกษาของบุษราภรณ์ และคณะ (34) ได้ทำการพัฒนาแอปพลิเคชันที่ใช้ตรวจสอบอุณหภูมิและความชื้น โดยส่งข้อมูลผ่านระบบเครือข่ายไร้สายแบบบลูทูธ ใช้ตัวตรวจวัดอุณหภูมิ (LM35DZ) และตัวตรวจวัดความชื้นสัมพัทธ์ (HIH4030) เชื่อมต่อบอร์ด IOIO-Q ใช้โปรแกรม ECLIPSE ในการเขียนชุดคำสั่ง และส่งข้อมูลไปยังสมาร์ทโฟนที่มีระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ และยังสามารถแจ้งเตือนถ้าอุณหภูมิหรือความชื้นเกินค่าที่กำหนดไว้ การทดลองนี้ได้ตรวจสอบประสิทธิภาพของชุดอุปกรณ์โดยใช้ค่าความคลาดเคลื่อน ความแม่นยำ และความเที่ยงตรง โดยเทียบจากเครื่อง Thermo-Hygrometer (NT-312) โดยงานวิจัยได้สรุปผลการทดลองว่าอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นมีความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 0 - 10% ซึ่งถือว่ามีความคลาดเคลื่อนเพียงเล็กน้อย แต่การศึกษานี้ไม่ได้มีการปรับค่าของอุปกรณ์ เพียงแต่เทียบว่าอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นนั้นมีความคลาดเคลื่อนที่ต่างจากเครื่องสอบเทียบที่ใช้ในการทดลองที่เท่าใด



การศึกษาเรื่องของสกรณ และคณะ (35) ทำการพัฒนาระบบการแจ้งเตือนระดับอุณหภูมิภายในตู้เย็นเก็บโลหิตผ่านเว็บเบราว์เซอร์และแอปพลิเคชันบนมือถือ โดยในการศึกษาวิเคราะห์ความแม่นยำในการวัดเปรียบเทียบกับอุณหภูมิจากตู้เย็นกับอุณหภูมิที่วัดได้จากอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้น (เซนเซอร์ DS18B20) และเทอร์โมมิเตอร์ พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนของอุณหภูมิระหว่างอุณหภูมิที่วัดได้จากตู้เย็นเก็บโลหิตและอุณหภูมิที่วัดได้จากเซนเซอร์ DS18B20 ได้ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยอยู่ที่  $0.2^{\circ}\text{C}$  และค่าความคลาดเคลื่อนของอุณหภูมิระหว่างตู้เย็นเก็บโลหิตและเทอร์โมมิเตอร์ ได้ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยอยู่ที่  $0.53^{\circ}\text{C}$  จากการศึกษาสรุปผลว่าค่าความคลาดเคลื่อนจากเซนเซอร์ DS18B20 มีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าเทอร์โมมิเตอร์ ทำให้ค่าของอุณหภูมิที่วัดได้จากเซนเซอร์ DS18B20 มีความใกล้เคียงกับอุณหภูมิมาตรฐานจากตู้เย็นเก็บโลหิตและมีประสิทธิภาพในการวัดค่าอุณหภูมิมากกว่าเทอร์โมมิเตอร์

#### 2.7.4 ตัวอย่างการนำ IoT มาประยุกต์ใช้เพื่อพัฒนางาน

**ทางด้านการเกษตร** สิริวิช และ ประสิทธิ์ (2020) (36) มีการพัฒนา IoT ด้วยการใช้ NodeMCU ESP8266 ผ่าน Wi-Fi 2.4 GHZ เชื่อมกับคลาวด์เซิร์ฟเวอร์ NETPIE2020 ในการวัดและควบคุมการปรับ pH ของน้ำที่ใช้งานด้านการเกษตร ซึ่งทำให้สามารถควบคุมการทำงานระยะไกลได้ผ่านสมาร์ตโฟน แอปเล็ต หรือคอมพิวเตอร์ได้ โดยการทดลองหลังจากมีการพัฒนาชุดต้นแบบได้ทดลองนำไปใช้งานจริงโดยวัดค่าเฉลี่ยความยาวและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของถั่วงอกในแต่ละวัน หลังได้รับน้ำที่ผ่านการปรับ pH จากเครื่องดังกล่าว

**ทางด้านการแพทย์** สกรณ และคณะ (2563) (37) ได้พัฒนาระบบจัดการคลังเลือด โดยใช้ IoT ตรวจสอบอุณหภูมิในตู้เย็นเก็บเลือด รวมถึงแจ้งเตือนผ่านไลน์กรณีอุณหภูมิออกนอกช่วงที่กำหนด พร้อมกับอุปกรณ์ติดตามตำแหน่งแบบ Real-time โดยใช้ NodeMCU ESP8266 V3, เซนเซอร์ชนิด DHT22/AM2302, GPS Shield, RFID Reader and Tag เชื่อมต่อกับคลาวด์เซิร์ฟเวอร์ NETPIE2020 มีการบันทึกข้อมูลลงในฐานข้อมูล Google firebase การวัดผลคือระบบสามารถแสดงค่าอุณหภูมิและแจ้งเตือนกรณีออกนอกช่วง  $2-6^{\circ}\text{C}$ , การแจ้งเตือนก่อนเลือดหมดอายุ 7 วัน และสามารถติดตามเส้นทางที่รถขนส่งได้แบบทันที โดยประเมินความพึงพอใจจากผู้ใช้งาน 3 ประเด็นคือ 1) การใช้งานชุดแจ้งเตือนอุณหภูมิตู้เก็บเลือด 2) การใช้งานเว็บแอปพลิเคชันออนไลน์ และ 3) การใช้งานภาพรวม วัดค่าเป็นร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยนำผลลัพธ์ไปเทียบกับเกณฑ์การประเมิน 5 ระดับ (ระดับมากที่สุด - ระดับน้อยที่สุด)

**ทางด้านอุตสาหกรรม** ชินวัจน์ และคณะ (2561) (19) ได้พัฒนาระบบไฟส่องสว่างและกล้องวงจรปิดในโรงงาน ใช้อุปกรณ์ Arduino และเขียนโปรแกรมการควบคุมด้วยภาษา C++ พัฒนาแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ด้วย App Inventor โดยประเมินผลประสิทธิภาพของระบบด้วยการวัดความพึงพอใจของผู้ใช้งาน (ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน) แบบทดสอบดังกล่าว

ผ่านการตรวจสอบเครื่องมือในการวิจัยจากผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน และอีกตัวอย่างทางด้านอุตสาหกรรม จากการศึกษาของผิน และคณะ (2561) (38) ได้นำมาประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมการฆ่าและเนื้อสัตว์ ที่ต้องอาศัยพนักงานเดินจับบันทึกอุณหภูมิจากห้องแช่แข็งและทำการสรุปผลเป็นรายวัน ซึ่งอาจเกิดความผิดพลาดจากการจับบันทึก หรือบันทึกสูญหาย ซึ่งอาจส่งผลให้มีโอกาสเกิดปัญหาได้ 2 รูปแบบ คือ 1) กรณีที่อุณหภูมิห้องแช่สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด ทำเชื้อจุลินทรีย์เติบโต หรือ 2) กรณีที่อุณหภูมิต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดเป็นระยะเวลานานเกินไป ทำให้สิ้นเปลืองกระแสไฟฟ้า ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบ และพัฒนาระบบ IoT เพื่อทำการบันทึกและส่งค่าไปยังเซิร์ฟเวอร์ และแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันไลน์ กรณีที่อุณหภูมิเกินจากค่าที่กำหนด ซึ่งผลจากการพัฒนาระบบช่วยลดปัจจัยของบุคคลในการเก็บข้อมูลแล้ว ยังป้องกันการสูญหายรวมถึงสามารถนำข้อมูลไปวิเคราะห์ต่อ ช่วยลดค่ากระแสไฟฟ้าได้ กว่า 50 นาฬิกา และเป็นที่ยอมรับในการตรวจสอบมาตรฐานโรงงานมากกว่าการจับบันทึกด้วยมือ

### 2.7.5 การประเมินทางเศรษฐศาสตร์

โดยวิธีการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในด้านการประเมินค่าใช้จ่ายสุทธิ (Total Cost) Amriane และคณะ (39) ทำการศึกษาเปรียบเทียบโครงการระหว่างการใช้เครือข่าย LORAWAN กับ NB-IoT ทำการเก็บข้อมูล Density of connected Devices, Smart Meter Technical Requirements และ LPWA Technology options มาเปรียบเทียบตามเหตุการณ์ที่กำหนดระหว่าง Network Dimensioning และ Network Planning การประเมินจาก CBA ในงานวิจัย ได้ทำการศึกษาผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย 3 กลุ่มคือ 1) ผู้ให้บริการเครือข่าย 2) ส่วนราชการที่ต้องเสียค่าใช้จ่ายด้านการลงทุนโครงสร้างพื้นฐาน และ 3) ประชาชนผู้ใช้งานเครือข่าย เนื่องจากเป็นโครงการขนาดใหญ่ระดับประเทศ ดังนั้นมุมมองในการศึกษาจึงจำเป็นต้องมีความครอบคลุมผู้มีส่วนได้ส่วนเสียทั้งหมด เพื่อให้การประเมินต้นทุนผลได้ของโครงการมีความถูกต้องมากที่สุด

จากการศึกษาของ Raphael และ Robert (40) ได้ทำการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง เพื่อหาวิธีการและแบบจำลองในการวิเคราะห์และหาประโยชน์เชิงปริมาณทางเศรษฐกิจของเทคโนโลยี 5G ตลอดจนระบบดิจิทัลในกระบวนการผลิต ซึ่งส่วนใหญ่ในงานวิจัยมักจะมีรายละเอียดในการประเมิน Total cost ที่เกิดจากผลรวมของ CAPEX และ OPEX การประเมินผลได้พบมีรายละเอียดอยู่บ้าง แต่ผลประโยชน์ทางเศรษฐศาสตร์ยังมีค่อนข้างน้อย โดยการศึกษาครั้งนี้จึงได้สร้างแบบจำลองการประเมินทางเศรษฐศาสตร์ไว้ 2 วิธีคือ 1) Static Methods ประเมินจากค่า ROI และ 2) Dynamic Methods ประเมินจากค่า NPV ซึ่งงานวิจัยได้ออกแบบการประเมินเมินสอดคล้องกับงานวิจัยข้างต้น คือการหาผลได้ (Benefit) ที่ใช้หลักการประหยัดและรายได้ที่เพิ่มขึ้นจากการทดแทนด้วยเทคโนโลยีใหม่ และการประเมินทางเศรษฐศาสตร์

นอกจากการใช้การประเมินผลได้ด้วยวิธีดังกล่าวข้างต้นแล้ว อีก 1 ปัจจัยที่มีผลต่อการประเมินผลได้คือค่าความเต็มใจจ่าย (Willingness to pay) หมายถึงการที่ผู้บริโภคมีความยินดีที่จะ

ยอมจ่ายค่าบริการเพิ่มเติมเพื่อแลกเปลี่ยนกับสินค้าและบริการต่างๆ เหล่านั้นมาเพื่อให้ได้ความพึงพอใจสูงสุด ซึ่งการศึกษาของ John และคณะ (41) ที่ได้กล่าวถึงการหาค่า WTP เปรียบเทียบระหว่างการมีและไม่มีระบบความปลอดภัยในอุปกรณ์ IoT โดยใช้ทฤษฎี Contingent Valuation Method สำหรับในประเทศไทยนั้นมีการใช้ WTP ในการศึกษาของอัครนันท์ และนรินทร์ (42) ที่ทำการหาความเต็มใจจ่ายและการใช้ประโยชน์จากอินเทอร์เน็ตความเร็วสูงและการผลักดันเศรษฐกิจดิจิทัลจากองค์กรบริหารส่วนตำบล: กรณีศึกษา 3 จังหวัด ภาคเหนือของประเทศไทย เมื่อพิจารณาถึงความเต็มใจจ่าย พบว่ากลุ่มตัวอย่างโดยเฉลี่ยน่าจะยอมจ่ายค่าบริการอินเทอร์เน็ตต่อเดือนอยู่ในช่วง 300 ถึง 600 บาทต่อเดือน ในงานวิจัยใช้วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลสถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) โดยใช้สถิติความถี่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ในการสรุปผลข้อมูลในทุกข้อของแบบสอบถาม โดยได้ค่าเฉลี่ยต่อเดือนราว 454 บาทต่อเดือน

โดยงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินทางเศรษฐศาสตร์ ได้รวบรวมและแสดงรายละเอียดไว้ในตารางที่ 5



ตารางที่ 5 งานวิจัยที่เกี่ยวกับการประเมินทางเศรษฐศาสตร์

| ผู้ศึกษาและปีที่ศึกษา        | หัวข้อวิจัย  | วัตถุประสงค์   | ตัวชี้วัดทางเศรษฐศาสตร์   |
|------------------------------|--|--|---|
| พรรณธิดา และคณะ (2554) (43)  | การวิเคราะห์ต้นทุนและผลประโยชน์ของโครงการสายเคเบิลเมืองสันป่าตอง-หางดง (ตอนที่ 1) จังหวัดเชียงใหม่               | 1. เพื่อวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทนของโครงการสายเคเบิลเมืองสันป่าตอง – หางดง (ตอนที่ 1) จังหวัดเชียงใหม่<br>2. เพื่อวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของโครงการสายเคเบิลเมืองสันป่าตอง – หางดง (ตอนที่ 1) จังหวัดเชียงใหม่ | 1 NPV<br>2. BCR<br>3. อัตราผลตอบแทนภายในโครงการ (Investment Return Rate, IRR) |
| Gunawan และคณะ (2017) (44)   | Techno economic analysis of smart meter reading implementation in PLN Bali using LoRa technology.                | เพื่อวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์เทคโนโลยีในสมาร์ทมิเตอร์ที่จะใช้ในภูมิภาคบาห์ลี ด้วยวิธีการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์เทคโนโลยีและการวิเคราะห์ต้นทุน ผลได้   | 1. NPV<br>2. IRR<br>3. ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period, PBP)<br>4. BCR         |
| นิตาชล และ นนทร์ (2018) (45) | การศึกษาความคุ้มค่าทางการเงินในการใช้ระบบการเติมสินค้าคงคลังอัตโนมัติในธุรกิจค้าปลีกวัสดุก่อสร้าง                | 1. เพื่อศึกษารูปแบบการสั่งสินค้าคงคลังของธุรกิจค้าปลีกในทางทฤษฎี<br>2. เพื่อหาความคุ้มค่าทางการเงินจากการใช้ระบบการสั่งสินค้าอัตโนมัติในธุรกิจค้าปลีก วัสดุ ก่อ สร้าง ที่ทำการศึกษา  | 1. PBP<br>2. NPV<br>3. IRR<br>4. BCR<br>5. ROI                                |
| Armando และคณะ (2019) (46)   | A Cost-Benefit Analysis of a Fully Automated Driverless Metro Line in a High-Density Metropolitan Area in Italy. | การประเมินความสะดวกทางเศรษฐศาสตร์ของรถไฟฟ้าใต้ดินชนิดไร้คนขับทางตอนเหนือของเขตเมืองเนเปิลส์ (ความหนาแน่นของประชากรสูง) ผ่านการประยุกต์ใช้การวิเคราะห์ต้นทุน- ผลได้   | 1. NPV<br>2. IRR<br>3. PBP<br>4. BCR  |

### บทที่ 3

#### วิธีการดำเนินงานวิจัย

การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาเป็นการวิเคราะห์ต้นทุนผลได้ของการใช้เทคโนโลยี IoT สำหรับการติดตามอุณหภูมิและความชื้นของการเก็บรักษายา ได้รับการรับรองจริยธรรมวิจัยจาก มหาวิทยาลัยศิลปากร รหัสโครงการ REC 64.0624-086-3873 แบ่งการวิจัยเป็น 4 ส่วน คือ

3.1 การพัฒนาชุดอุปกรณ์ IoT สำหรับวัดอุณหภูมิและความชื้น

3.2 ศึกษาเปรียบเทียบการใช้งานคลาวด์เซิร์ฟเวอร์สำหรับอุปกรณ์ IoT ระหว่าง Blynk และ NETPIE2020

3.3 ทดสอบประสิทธิภาพของชุดอุปกรณ์ IoT สำหรับวัดอุณหภูมิและความชื้น

3.4 ประเมินต้นทุนผลได้ของการใช้เทคโนโลยี IoT สำหรับติดตามอุณหภูมิและความชื้นของการเก็บรักษายาโดยการสำรวจความเต็มใจที่จะจ่ายในบริการสำหรับการติดตามอุณหภูมิและความชื้นของการเก็บรักษายา ด้วยแบบสอบถามเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์ต้นทุนผลได้และประเมินผลโดยใช้ตัวชี้วัดทางเศรษฐศาสตร์ 3 ค่า คือ NPV, ROI และ BCR

#### 3.1 การพัฒนาชุดอุปกรณ์ IoT สำหรับวัดอุณหภูมิและความชื้น

การพัฒนาอุปกรณ์ IoT เพื่อวัดอุณหภูมิและความชื้น การศึกษานี้ใช้ **อุปกรณ์ฮาร์ดแวร์** ประกอบด้วย 1) NodeMCU V2 LUA based ESP8266-12E 2) เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นชนิด DHT22 (AM2302) 3) สายแพชนิด Female to Female 4) สาย Micro usb 5) โมดูลชาร์จแบตเตอรี่ชนิด 18650 พร้อมวงจรจ่ายไฟ 3.7V และ 6) แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน NCR18650B **ซอฟต์แวร์** 1) Arduino IDE สำหรับการเขียนโปรแกรม คอมไพล์ และอัปโหลดโปรแกรมลงบอร์ด และ 2) แอปพลิเคชัน Blynk **ชุดคำสั่ง** ใช้ภาษา C/C++ สำหรับ Arduino และ **เซิร์ฟเวอร์** ที่เลือกใช้ในการศึกษาคือ Blynk และ NETPIE2020 ดังรูปที่ 12 วิธีการพัฒนาชุดอุปกรณ์ประกอบด้วย 6 ขั้นตอนดังต่อไปนี้

### 3.1.1 การสร้างบัญชีผู้ใช้งานและสร้างโปรเจกต์ใหม่

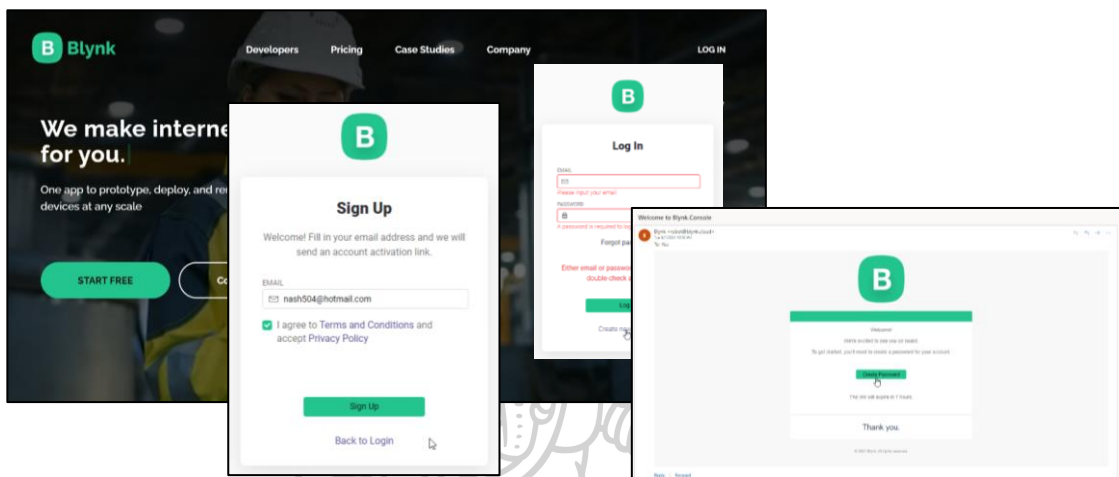
A. เซิร์ฟเวอร์ NETPIE2020 เปิดเว็บไซต์ NETPIE.io แล้วกดปุ่ม Sign up กรอกข้อมูลทั้งหมดให้ครบถ้วน E-mail, Name, Organization, Country code และ Mobile phone number เลือก “I agree to the Privacy statement and terms of use” และกดปุ่ม Sign Up ดังรูปที่ 12

รูปที่ 12 บัญชีผู้ใช้งาน NETPIE2020

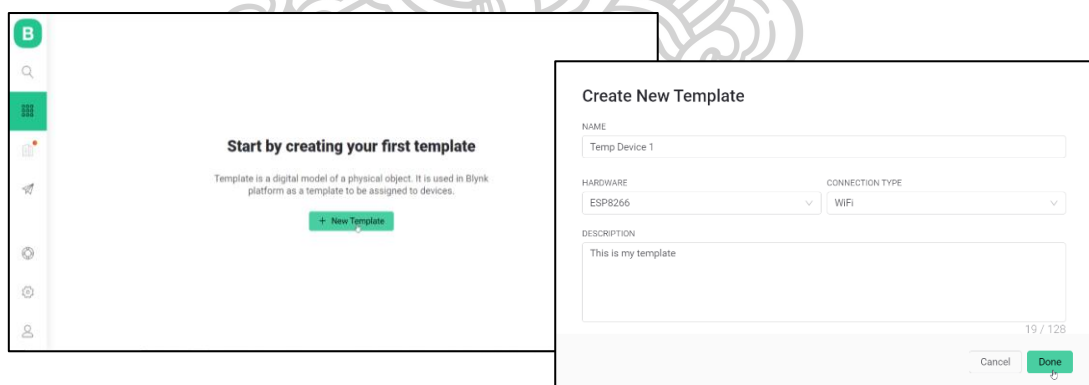
เริ่มต้นสร้างโปรเจกต์ หลังจาก Log in เข้าสู่ระบบ ให้กดปุ่มบวกสีฟ้า ด้านล่างขวาของหน้าจอ โดยกรอกข้อมูล **Name** = Temperature\_and\_Humidity\_monitor\_INV **Description** = ระบบวัดอุณหภูมิและความชื้นในห้องยาเม็ด คลังยา หลังจากกรอกข้อมูลกดปุ่ม “Create” ดังรูปที่ 13 เป็นอันการสร้างโปรเจกต์เรียบร้อย

รูปที่ 13 สร้างโปรเจกต์ใหม่บน NETPIE2020

**B. เซิร์ฟเวอร์ Blynk** ได้เปิดให้บริการแพลตฟอร์ม สำหรับผู้พัฒนาธุรกิจ IoT โดยเฉพาะ สามารถควบคุมฮาร์ดแวร์และอุปกรณ์ต่างๆ ได้ด้วยมือถือหรือเว็บแอปพลิเคชัน การศึกษา นี้จึงได้ลองทดสอบตัวแพลตฟอร์มใหม่ของ Blynk สร้างบัญชีการใช้งานและการตั้งค่า ทำการสมัคร เพื่อใช้งานผ่านหน้าเว็บแอปพลิเคชัน <https://blynk.io/> เลือกที่ Log in, Create new account ใส่ ข้อมูล E-mail และกำหนดรหัสผ่าน ดังรูปที่ 14 หลังจากเข้าสู่ระบบ ให้เลือกแถบเครื่องมือด้านซ้าย ตามรูปที่ 15 และเลือก “New template” กรอกข้อมูลที่จำเป็นให้ครบถ้วน



รูปที่ 14 การสมัครเพื่อใช้งานเซิร์ฟเวอร์ Blynk



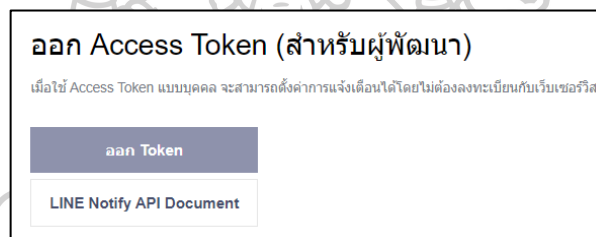
รูปที่ 15 การสร้างโปรเจกต์ใหม่บนเซิร์ฟเวอร์ Blynk IoT

**3.1.2 การสร้าง Token จาก Line Notify** เข้าเว็บไซต์ <http://notify-bot.line.me/en/> กดปุ่ม “เข้าสู่ระบบ” ด้านบนขวาของหน้าเว็บ Log in เข้าสู่ระบบโดยใช้ E-mail และ Password ของ Line ที่ใช้งานดังรูปที่ 16 เมื่อเข้าสู่ระบบ ให้กดปุ่มที่ชื่อ Line ด้านบนขวาของหน้าเว็บและเลือก “หน้าของฉัน” กดปุ่ม “ออก Token” ดังรูปที่ 17 ตั้งชื่อ Token และเลือกห้องแชทที่ต้องการส่งข้อความแจ้งเตือนดังรูปที่ 18 กดปุ่ม “ออก Token” ระบบจะส่งรหัส Token ให้กดปุ่ม “คัดลอก” ดังรูปที่ 19 แล้วนำไปวางในคำสั่งของ Device Trigger ตำแหน่ง “Linetoken” กรณีของเซิร์ฟเวอร์ NETPIE2020 หรือ

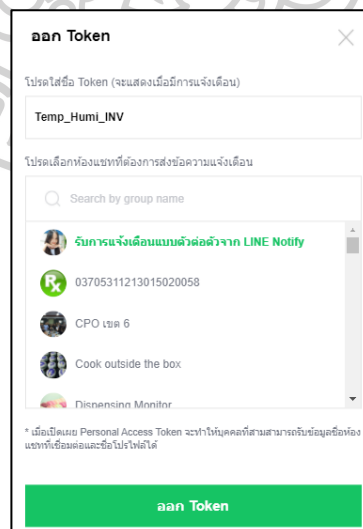
นำไปใส่ในคำสั่งก่อนอัปเดตลงบอร์ด ตำแหน่ง “#define LINE\_TOKEN” กรณีของเซิร์ฟเวอร์ Blynk



รูปที่ 16 การ Log in เข้าสู่ระบบ Line โดยใช้ E-mail



รูปที่ 17 การออก Access Token บน Line Notify



รูปที่ 18 การตั้งชื่อ Token และเลือกห้องแชทบน Line Notify

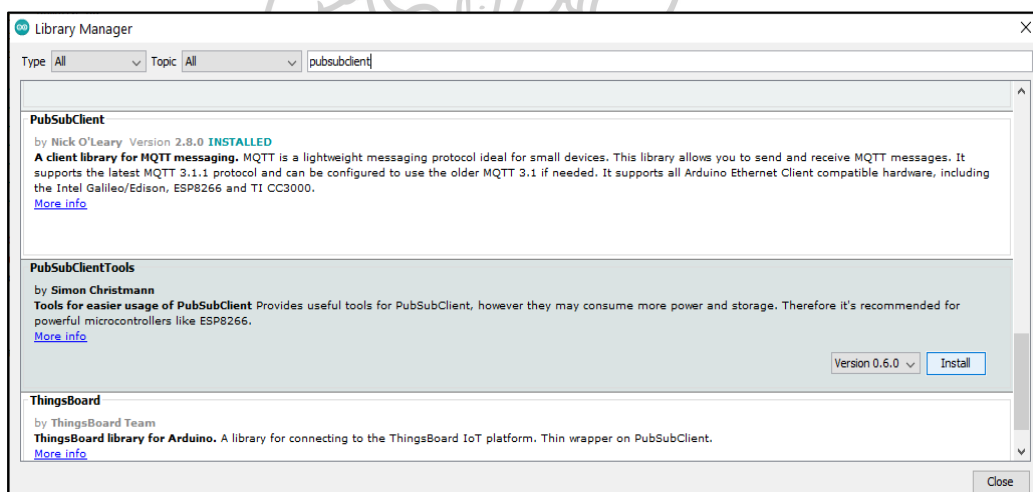




รูปที่ 19 แสดงรหัส Token จาก Line Notify

### 3.1.3 การเขียนและอัปโหลดคำสั่งเข้าบอร์ดบนอุปกรณ์ IoT เพื่อเชื่อมต่อเซิร์ฟเวอร์

A. เซิร์ฟเวอร์ NETPIE2020 ดำเนินการติดตั้งไลบรารี PubSubClient ให้กับ Arduino IDE โดยเข้าไปที่เมนู Tools, Manage Libraries และพิมพ์คำว่า “PubSubClient” ในช่องค้นหา จะพบผลการค้นหาดังรูปที่ 20 คลิกปุ่ม Install เพื่อดำเนินการติดตั้ง เชื่อมต่อบอร์ด NodeMCU ESP8266 เข้ากับ NETPIE2020 ในหน้าต่าง Arduino IDE เขียนคำสั่งเพื่อเรียกใช้ไลบรารี ESP8266 รายละเอียดของชุดคำสั่งที่ใช้ ประกอบด้วยส่วนหลักดังต่อไปนี้คือ



รูปที่ 20 การติดตั้งไลบรารี PubSubClient

`#include` เป็นส่วนการประกาศเรียกใช้ไลบรารีที่เกี่ยวข้องกับการทำงานร่วมกับ NETPIE2020 และ WiFi เรียกใช้ไลบรารี ESP8266WiFi.h ที่ช่วยให้ Node MCU ESP8266 สามารถเชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ตผ่านเครือข่าย Wi-Fi, ไลบรารี PubSubClient ที่ช่วยให้ Node MCU ESP8266 สามารถสื่อสารผ่านโปรโตคอล MQTT ได้ และ ไลบรารี DHT.h ที่ใช้ตรวจวัดค่าอุณหภูมิและความชื้น

```
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <PubSubClient.h>
#include "DHT.h"
```

**#define** เป็นการประกาศพร้อมกำหนดค่าให้กับตัวแปร และประกาศชนิดของเซนเซอร์ให้กับตัวแปร

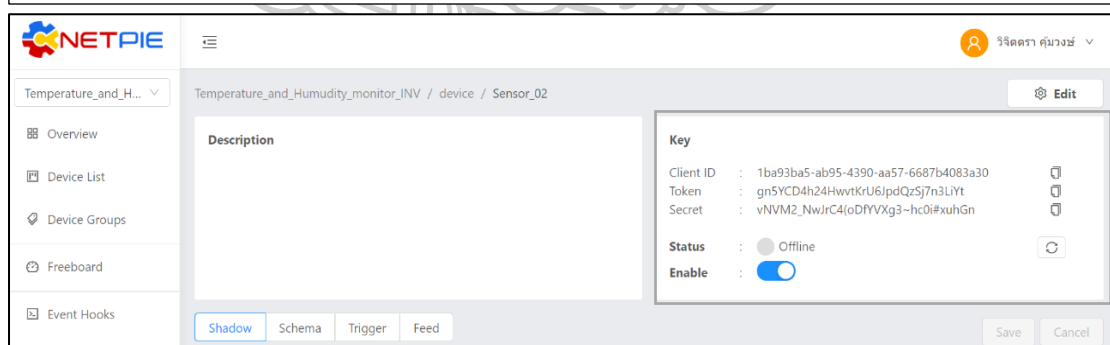
```
#define DHTPIN D2
#define DHTTYPE DHT22
#define LED1 16
```

เป็นการกำหนดค่าสำหรับการเชื่อมต่อ Wi-Fi และ MQTT: กำหนด SSID และ Password ของเครือข่าย WiFi ที่ต้องการให้บอร์ดเชื่อมต่อ ใส่ไว้ในเครื่องหมาย “ ” และ กำหนดชื่อเครื่องเซิร์ฟเวอร์ที่ให้บริการ MQTT และหมายเลข Port

```
const char* ssid = " Drug";
const char* password = " 0816119761";
const char* mqtt_server = "broker.NETPIE.io";
const int mqtt_port = 1883;
```

เป็นการกำหนดข้อมูลสำคัญเพื่อใช้ระบุตัวตนในการเข้าเชื่อมต่อกับ NETPIE2020 เช่น Client, Username และ Password หรือก็คือ Client\_ID, Token และ Secret ที่ได้จาก Device key และ Secret ที่ขอใน NETPIE.io ยกตัวอย่าง เซนเซอร์\_02 ดังรูปที่ 21

```
const char* mqtt_Client = "1ba93ba5-ab95-4390-aa57-6687b4083a30";
const char* mqtt_username = "gn5YCD4h24HwvtKrU6JpdQzSj7n3LiYt";
const char* mqtt_password = "vNVM2_NwJrC4(oDfYVXg3~hc0i#xuhGn";
```



**รูปที่ 21** Key บนเซิร์ฟเวอร์ NETPIE2020

เป็นการกำหนดและเรียกใช้ชุดคำสั่ง MQTT พร้อมทั้งสร้าง Object จาก Class DHT แล้วนำไปเก็บไว้ในตัวแปร dht โดยใช้ค่าที่เก็บไว้ในตัวแปรก่อนหน้า

```
WiFiClient espClient;
PubSubClient client(espClient);
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
```

เป็นตัวแปรสำหรับส่งข้อมูลขึ้น MQTT

```
char msg[50];
```

ฟังก์ชัน reconnect () โดย client.connected() สั่งให้มีการเชื่อมต่อเข้ากับเซิร์ฟเวอร์ MQTT หากเชื่อมต่อสำเร็จให้แสดงข้อความ connected ออกทาง Serial Monitor แต่ถ้าไม่สำเร็จให้แสดงข้อความ failed พร้อม code สถานะ และให้รอ 5 วินาที ก่อนที่จะพยายามเชื่อมต่อใหม่ และเพิ่มการทำ Subscribe Topic ที่ Freeboard จะส่งเข้ามา

```
void reconnect() {
  while (!client.connected()) {
    Serial.print("Attempting MQTT connection...");
    if (client.connect(mqtt_Client, mqtt_username, mqtt_password)) {
      Serial.println("connected");
      client.subscribe("@msg/led"); //Subscribe Topic
    } else {
      Serial.print("failed, rc=");
      Serial.print(client.state());
      Serial.println("try again in 5 seconds");
      delay(5000); }}}

```

ฟังก์ชัน callback() เป็นส่วนที่ใช้ในการรับข้อความจาก MQTT หรือในที่นี้คือรับข้อความจาก Freeboard และชุดคำสั่งถัดมาจะนำเอาข้อความที่ได้รับมาแสดงผล

```
void callback(char* topic, byte* payload, unsigned int length) {
  Serial.print("Message arrived [");
  Serial.print(topic);
  Serial.print("] ");
  String message;
  for (int i = 0; i < length; i++) {
    message = message + (char)payload[i];
  }
  Serial.println(message);
  if(String(topic) == "@msg/led") {
    if(message == "on"){
      digitalWrite(LED1,0);
      client.publish("@shadow/data/update", "{\"data\" : {\"led\" : \"on\"}}");
      Serial.println("LED on");}
    else if (message == "off"){
      digitalWrite(LED1,1);
      client.publish("@shadow/data/update", "{\"data\" : {\"led\" : \"off\"}}");
      Serial.println("LED off"); }}}

```

ฟังก์ชัน void setup() ใช้ทำหน้าที่เป็นส่วนของโปรแกรมย่อยสำหรับใช้บรรจุคำสั่งต่างๆ ที่ใช้สำหรับกำหนดการทำงานของระบบ หรือกำหนดคุณสมบัติการทำงานให้กับอุปกรณ์ต่างๆ ซึ่งคำสั่งทั้งหมดที่บรรจุไว้ภายใต้ฟังก์ชันของ Setup() นี้ จะถูกเรียกขึ้นมาทำงานเพียงรอบเดียวคือตอนเริ่มต้นการทำงานของโปรแกรม โดยคำสั่งที่นิยมบรรจุไว้ในฟังก์ชันส่วนนี้ ได้แก่ คำสั่งสำหรับกำหนดโหมดการทำงานของ Digital Pin หรือ คำสั่งสำหรับกำหนดคุณสมบัติของพอร์ตสื่อสารอนุกรม เป็นต้น

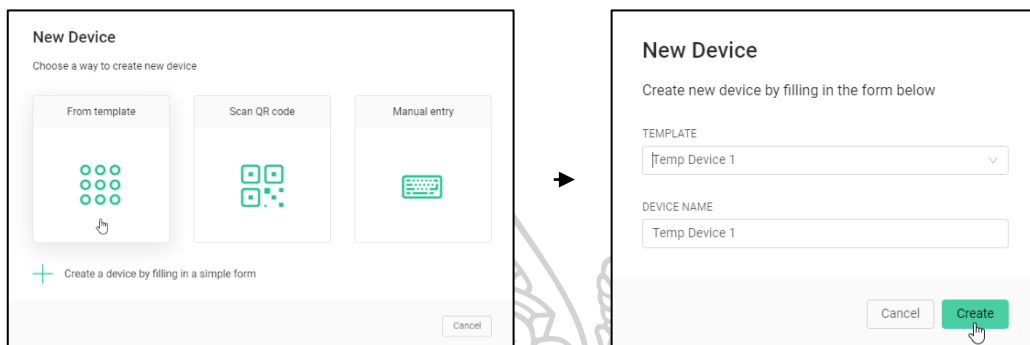
```
void setup() {
  pinMode(LED1,OUTPUT);
  Serial.begin(9600);
  Serial.println();
  Serial.print("Connecting to ");
  Serial.println(ssid);
  WiFi.begin(ssid, password);
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(500);
    Serial.print(".");}
  Serial.println("");
  Serial.println("WiFi connected");
  Serial.println("IP address: ");
  Serial.println(WiFi.localIP());
  client.setServer(mqtt_server, mqtt_port);
  client.setCallback(callback);
  dht.begin();}
```

ฟังก์ชัน loop () เป็นการประกาศให้มีการอ่านค่าอุณหภูมิและความชื้น พร้อมทั้งเก็บข้อมูลตัวอักษรที่จะให้แสดงไว้ในตัวแปรสตริง ถัดมาเป็นชุดคำสั่งที่ให้มีการคงสถานะของการเชื่อมต่อและการทำงานต่างๆ ของ MQTT และสุดท้ายเป็นชุดคำสั่งให้มีการส่งข้อความไปยังหัวข้อหรือ Topic: @shadow/data/update ให้แสดงผลทุกๆ 3 นาที

```
void loop() {
  int humidity = dht.readHumidity();
  int temperature = dht.readTemperature();
  if (!client.connected()) {reconnect(); } client.loop();
  String data = "{\"data\": {\"humidity\": " + String(humidity) + ", \"temperature\": " +
  String(temperature) + "}}";
  Serial.println(data);
  data.toCharArray(msg, (data.length() + 1));
  client.publish("@shadow/data/update", msg);
  delay(180000); }
```

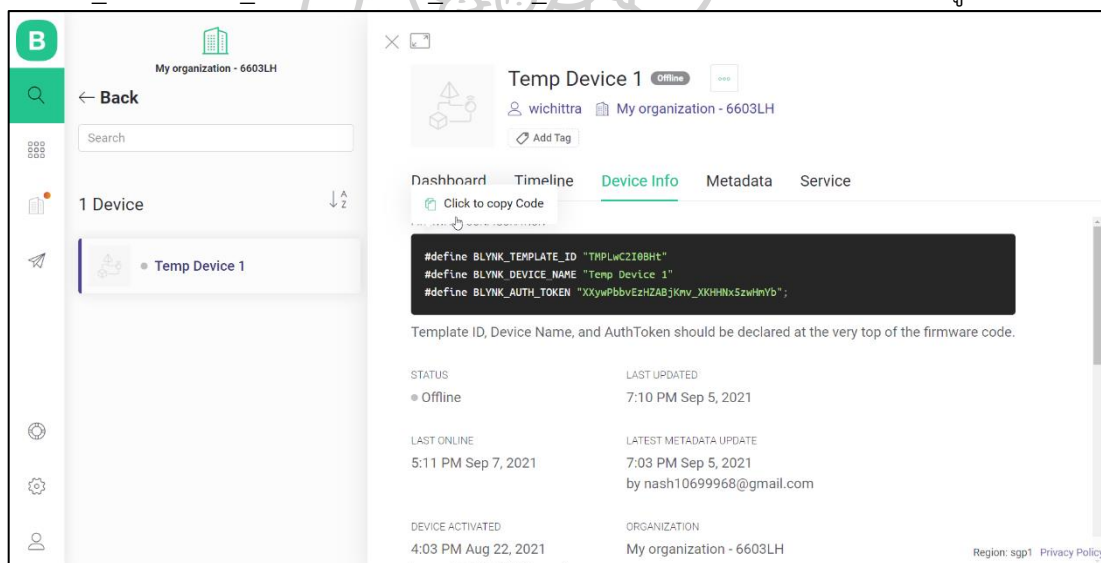
ตรวจสอบความถูกต้องของคำสั่งด้วยการกดปุ่ม “Verify” กรณีที่ไม่พบความผิดพลาด จะแสดงข้อความ “Done compiling” จากนั้นใช้สาย USB เชื่อมต่อระหว่างบอร์ดและคอมพิวเตอร์ กดปุ่ม “Upload” เพื่อคัดลอกคำสั่งโปรแกรมลงบนบอร์ด

**B. เซิร์ฟเวอร์ Blynk** เพิ่มอุปกรณ์บนเซิร์ฟเวอร์ Blynk เลือกที่ปุ่ม “New Devices” ดังรูปที่ 22 เลือก “From Template” เพิ่มชื่อ Template และชื่อ Devices



รูปที่ 22 การเพิ่มอุปกรณ์ใหม่บนเซิร์ฟเวอร์ Blynk

เปิดโปรแกรม Arduino IDE ดำเนินการติดตั้งไลบรารีที่จำเป็นดังนี้ คัดลอก BLYNK\_TEMPLATE\_ID และ BLYNK\_DEVICE\_NAME จากหน้าเว็บแอปพลิเคชัน ดังรูปที่ 23



รูปที่ 23 ข้อมูล “Device Info” บนเซิร์ฟเวอร์ Blynk

```
#define BLYNK_TEMPLATE_ID "TMPLwC2IOBHt" // Setting Group
#define BLYNK_DEVICE_NAME "Temp Device 1" // Setting Device metadata
pointing to device dashboard
```

ติดตั้งไลบรารีเพิ่มเติมที่จำเป็น เช่น BlynkSimpleEsp8266.h เพื่อให้สามารถเชื่อมต่อกับ Blynk Server และ TridentTD\_LineNotify.h เพื่อให้ส่งคำสั่งแจ้งเตือนผ่านไลน์ได้ จากคำสั่ง #include

```
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <BlynkSimpleEsp8266.h>
#include "DHT.h"
#include <TridentTD_LineNotify.h>
```

การกำหนด LINE\_TOKEN ให้ขา D1 เป็นขา input ที่รับข้อมูลมาจากขา Data out ของโมดูล DHT22 มาเก็บไว้ในตัวแปร DHTPIN กำหนดให้ตัวแปร DHTTYPE ใช้เก็บชนิดของตัวเซนเซอร์ และสร้าง Object จาก Class DHT แล้วนำไปเก็บไว้ในตัวแปร dht โดยใช้ค่าที่เก็บไว้ในตัวแปร DHTPIN และ DHTTYPE

```
#define BLYNK_PRINT Serial
#define LINE_TOKEN "rRL19xePAcoK2ogK0txqictFKcaXbBLOKmwocah45lg"
#define BLYNK_AUTH_TOKEN "XXywPbbvEzHZABJKmv_XKHx5zwHmYb";
const int DHTPIN = 5; // D1 pin
#define DHTTYPE DHT22 // DHT22 if useDHT22a
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
```

ใส่ค่ารหัส Token ที่ได้รับจากอีเมลหลังจากลงทะเบียนเซิร์ฟเวอร์ Blynk ตำแหน่ง char auth, ใส่ชื่อ SSID ของ Wi-Fi Network และรหัสผ่านของ Wi-Fi Network

```
char auth[] = BLYNK_AUTH_TOKEN;
char ssid[] = "Drug";
char pass[] = "0816119761";
BlynkTimer timer; //ใช้กำหนดเวลาในการอ่านค่าของ Sensor
```

ฟังก์ชัน myTimerEvent () ใช้อ่านค่าอุณหภูมิและความชื้น โดยกำหนดให้ h = ความชื้น t = อุณหภูมิ และทำการเก็บค่า h, t และดึงค่าดังกล่าวมาเขียนบนเซิร์ฟเวอร์ Blynk และส่งค่าดังกล่าวผ่านไลน์ กำหนดที่อุณหภูมิเกิน 27°C หรือ ความชื้นมากกว่า 80% RH โดยกำหนดให้ในแอปพลิเคชันแสดงผล V3 = ความชื้น และ V4 = อุณหภูมิ

```
void myTimerEvent()
{ float h = dht.readHumidity();
  float t = dht.readTemperature();
  Serial.print("Humidity is: ");
  Serial.println(h, 1);
  Serial.print("Temperature is: ");
  Serial.println(t, 1);
  if(t>27 || h>80){ // If Temperature more than 27 Celcius or Humidity more than
    80%, Line notify
```

```

LINE.notify("+++++++Alert!+++++++");
LINE.notify("Humidity is: "+String(h)+" %");
LINE.notify("Temperature is: "+String(t)+" C");
LINE.notify("+++++++"); }
Blynk.virtualWrite(V3, h);
Blynk.virtualWrite(V4, t);}

```

เริ่มต้นการเชื่อมต่อ Wi-Fi Network กับเซิร์ฟเวอร์ Blynk การใช้งานเซนเซอร์ DHT22 ทำการรายงานทุกๆ 1 นาที ผ่านทางไลน์

```

void setup()
{
  Serial.begin(115200);
  dht.begin();
  LINE.setToken(LINE_TOKEN);
  Blynk.begin(auth, ssid, pass);
  timer.setInterval(1000L, myTimerEvent);}

```

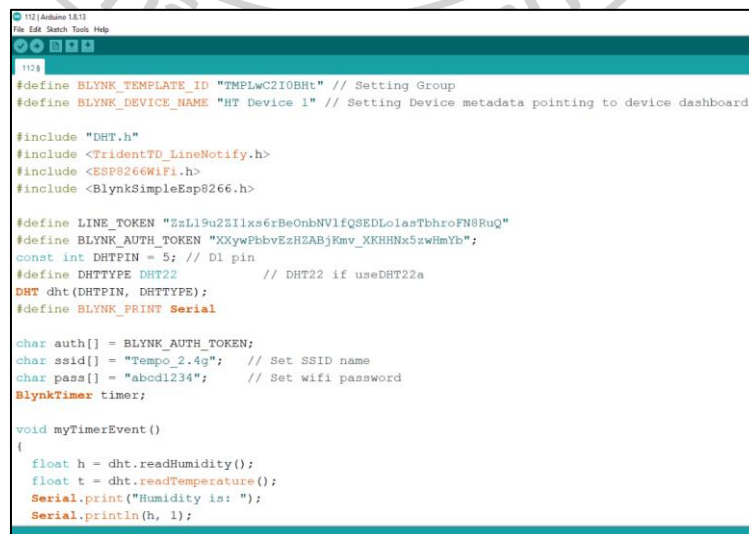
ฟังก์ชัน loop () เป็นการประกาศให้มีการทำงานของฟังก์ชัน Blynk.run() เพื่อให้สามารถเชื่อมต่อกับเซิร์ฟเวอร์ Blynk และฟังก์ชัน timer.run() เพื่อให้เก็บค่าอุณหภูมิและความชื้นตามระยะเวลาที่กำหนด

```

void loop()
{ Blynk.run();
  timer.run(); }

```

ทำการอัปโหลดคำสั่งโดยใช้โปรแกรม Arduino IDE ไปยังบอร์ด ดังแสดงในรูปที่ 24



```

1124
#define BLYNK_TEMPLATE_ID "TMPLWC210Bht" // Setting Group
#define BLYNK_DEVICE_NAME "HT Device 1" // Setting Device metadata pointing to device dashboard

#include "DHT.h"
#include <TridentTD_LineNotify.h>
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <BlynkSimpleEsp8266.h>

#define LINE_TOKEN "ZzL19u25I1xs6rBeOnbNV1fQSEDLolasthroFN8RuQ"
#define BLYNK_AUTH_TOKEN "XXyWpbbvEzHZABjKmv_KKHHNx5zwHmYb";
const int DHTPIN = 5; // D1 pin
#define DHTTYPE DHT22 // DHT22 if useDHT22a
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
#define BLYNK_PRINT Serial

char auth[] = BLYNK_AUTH_TOKEN;
char ssid[] = "Tempo_2.4g"; // Set SSID name
char pass[] = "abcd1234"; // Set wifi password
BlynkTimer timer;

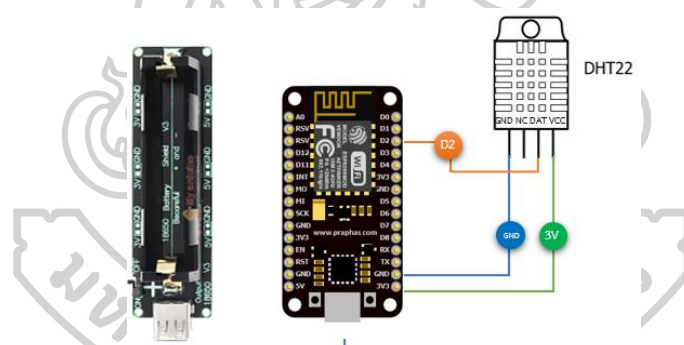
void myTimerEvent ()
{
  float h = dht.readHumidity();
  float t = dht.readTemperature();
  Serial.print("Humidity is: ");
  Serial.println(h, 1);
}

```

รูปที่ 24 คำสั่งโปรแกรมที่ใช้ทดสอบการเชื่อมต่อบอร์ดกับเซิร์ฟเวอร์ Blynk

**3.1.4 วิธีการต่อวงจรบนอุปกรณ์ IoT** อุปกรณ์ประกอบด้วย 1) NodeMCU V2 LUA based ESP8266-12E จำนวน 4 ชิ้น 2) เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นชนิด DHT22 (AM2302) จำนวน 4 ชิ้น 3) สายแพชนิด Female to Female จำนวน 12 เส้น 4) สาย Micro usb จำนวน 4 เส้น 5) โมดูลชาร์จแบตเตอรี่ชนิด 18650 พร้อมวงจรจ่ายไฟ 3.7V จำนวน 4 ชิ้น และ 6) แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน NCR18650B จำนวน 4 ก้อน ในการศึกษาจัดทำอุปกรณ์ IoT ทั้งสิ้น 4 ชุด แสดงรายละเอียดดังรูปที่ 25 โดยมีขั้นตอนการต่อวงจรดังต่อไปนี้

- A. ใช้สายแพต่อขา GPIO ที่ตำแหน่ง D2 จากบอร์ด NodeMCU กับ ขา DAT ของเซนเซอร์ สำหรับส่งค่าที่อ่านได้จากเซนเซอร์ไปที่บอร์ด
- B. ใช้สายแพต่อขา GPIO ที่ตำแหน่ง 3V3 จากบอร์ด NodeMCU กับ ขา VCC ของเซนเซอร์ สำหรับส่งกระแสไฟ 3V จากเซนเซอร์ไปที่บอร์ด
- C. ใช้สายแพต่อขา GPIO ที่ตำแหน่ง GND จากบอร์ด NodeMCU กับ ขา GND ของเซนเซอร์ สำหรับสายกาวด์จากเซนเซอร์กับบอร์ด NodeMCU
- D. ใช้สาย Micro usb cable ด้าน USB 5V output ต่อกับกับแหล่งจ่ายไฟโมดูลชาร์จแบตเตอรี่ 18650 กับ Micro USB บน nodeMCU (46)



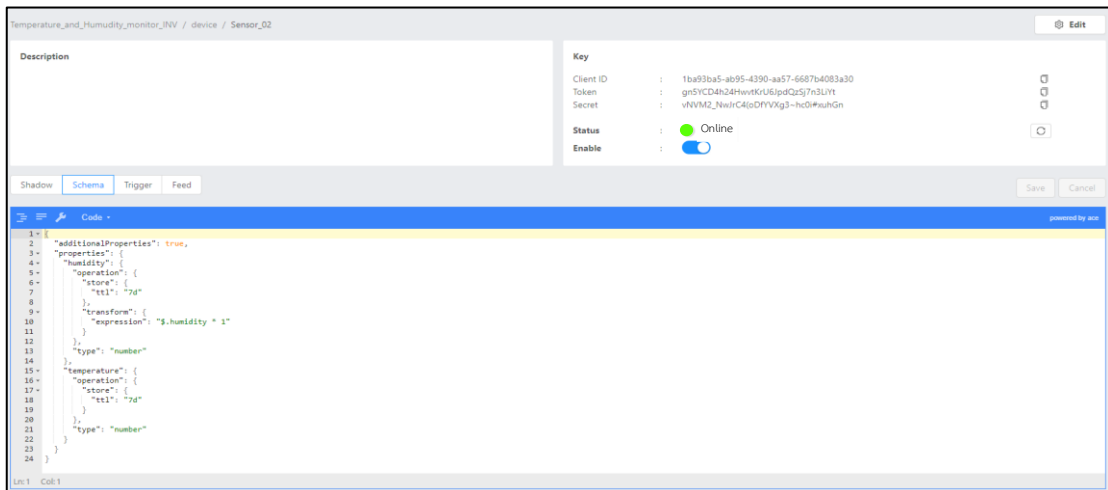
รูปที่ 25 การต่อแผงวงจรบนอุปกรณ์ไอโอที

ที่มา: <https://learning-esp.blogspot.com/2018/08/iot-internet-of-thing-esp32-esp826623.html>



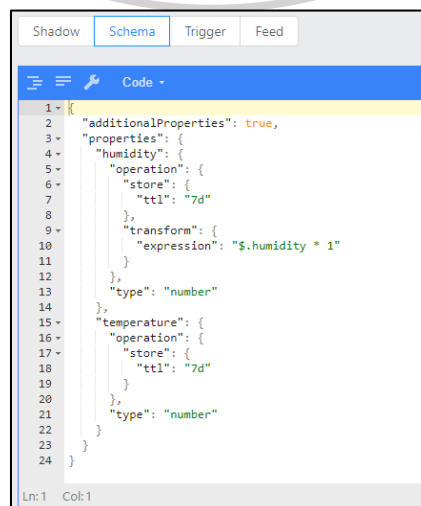
### 3.1.5 การตั้งค่าการเชื่อมต่ออุปกรณ์ IoT กับเซิร์ฟเวอร์

A. เซิร์ฟเวอร์ NETPIE2020 ขั้นตอนการเขียนคำสั่งเพื่อสร้าง Device Schema ทำการเปิดหน้า NETPIE2020 เลือกส่วน Device ที่เราสร้างขึ้น ยกตัวอย่างเช่น เซอร์\_02 กรณีที่มีการเชื่อมต่อออนไลน์อยู่ตำแหน่ง Status จะขึ้นเป็นสีเขียวดังรูปที่ 26



รูปที่ 26 หน้าต่างสำหรับเขียนคำสั่ง เพื่อสร้าง Device Schema

เลือก Tab “Schema” เปลี่ยนเมนูตัวเลือก “Tree” เป็น “Code” ดังรูปที่ 27 ตั้งค่า additionalProperties เป็น True เพื่ออนุญาตให้บันทึกค่าทั้งหมด รวมถึงค่าที่อยู่นอกเหนือจาก properties ลงใน shadow โดยจะมีการจัดเก็บตัวแปร 2 ตัวคือ 1) Temperature จัดเก็บข้อมูลลงใน Timeseries Database เป็นระยะเวลา 7 วัน จัดเก็บตัวแปรเป็นประเภท number 2) Humidity จัดเก็บข้อมูลลงใน Timeseries Database เป็นระยะเวลา 7 วัน แปลงข้อมูลด้วยการคูณ 1 ก่อนจัดเก็บ และจัดเก็บตัวแปรเป็นประเภท number หลังจากนั้นกดปุ่ม Save ด้านบน เพื่อบันทึกคำสั่งทำการรีเฟรชหน้าจอ จะปรากฏข้อมูลที่บันทึกลงใน Device Shadow ซึ่งเป็นข้อมูลที่ถูกส่งมาจากอุปกรณ์ IoT ดังรูปที่ 28



รูปที่ 27 คำสั่งบน Device Schema เพื่อเชื่อมกับเซิร์ฟเวอร์ NETPIE2020

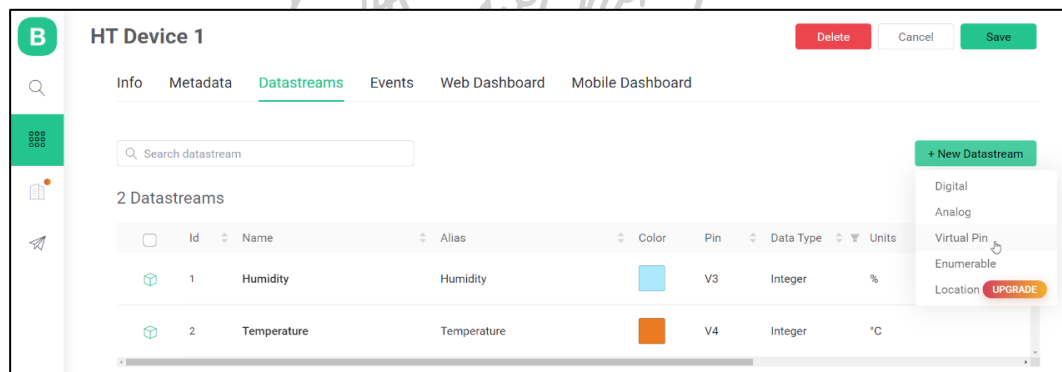
```

1 {
2   "humidity": 64,
3   "temperature": 27
4 }

```

รูปที่ 28 หน้าต่างแสดงผลข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นบนเซิร์ฟเวอร์ NETPIE2020

B. เซิร์ฟเวอร์ Blynk การตั้งค่าอุปกรณ์บนเซิร์ฟเวอร์ Blynk เลือกเมนู “Template” ทางด้านซ้าย เลือก “Datastreams”, “+ New Datastream” และ “Virtual Pin” ดังรูปที่ 29



รูปที่ 29 การตั้งค่า Datastreams บนเซิร์ฟเวอร์ Blynk

กำหนดชื่อ และข้อมูลอื่นๆ ของ Datastream ที่ต้องการ ตำแหน่ง PIN V3 = ความชื้น และ V4 = อุณหภูมิ (สอดคล้องกับคำสั่งที่อัปโหลดลงบอร์ด) ชนิดของ Data type กำหนดเป็น integer ดังรูปที่ 30

Virtual Pin Datastream

NAME: Field Name (required) | ALIAS: Field Alias

PIN: V3 | DATA TYPE: Integer

UNITS: None

MIN: 0 | MAX: 1 | DEFAULT VALUE: Default Value

Thousands separator (e.g. 10,000)

ADVANCED SETTINGS

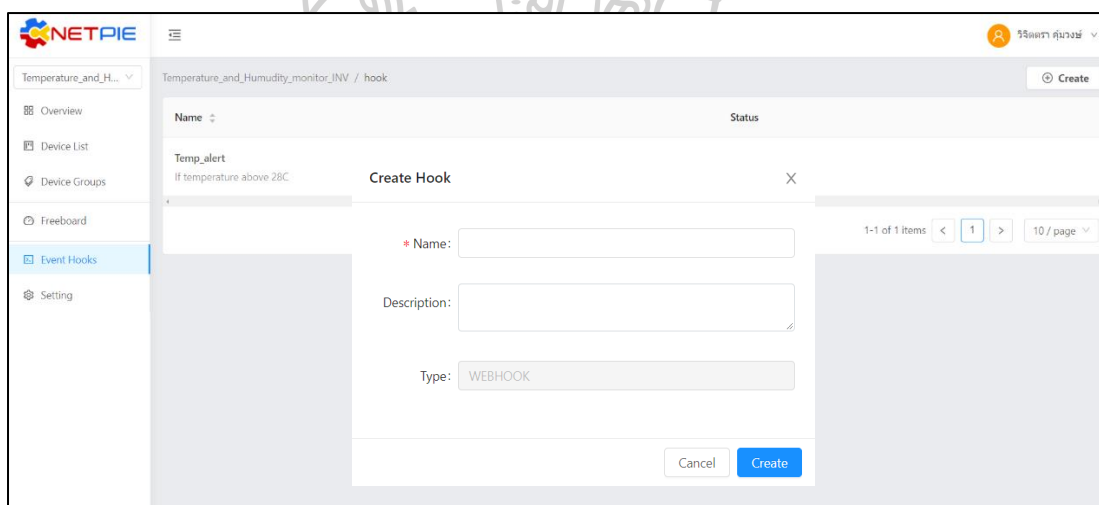
Buttons: Cancel, Create

รูปที่ 30 แสดงการตั้งค่า Datastreams บนเซิร์ฟเวอร์ Blynk

### 3.1.6 สร้างการแจ้งเตือนผ่าน Line Notify

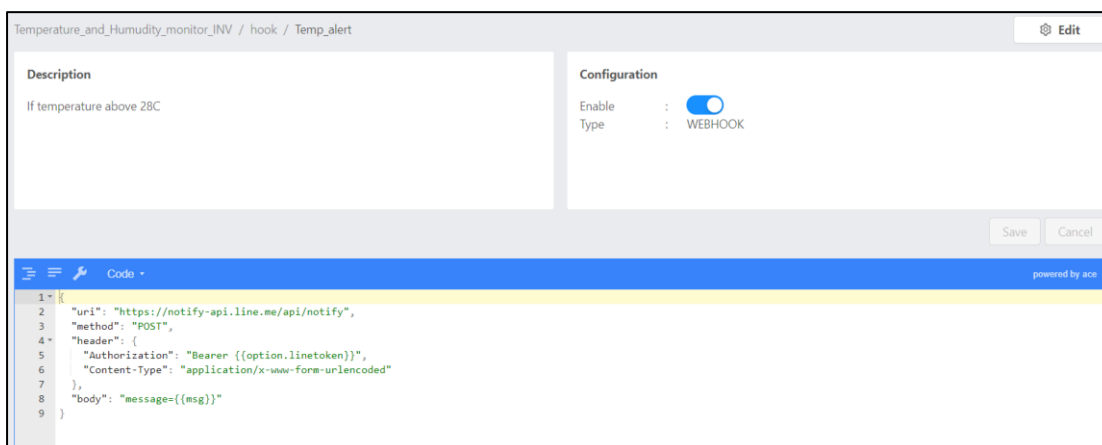
A. เซิร์ฟเวอร์ NETPIE200 การแจ้งเตือนไปยังแอปพลิเคชัน Line ทำได้โดยการตั้งค่า 2 ส่วนคือ Event Hook และ Device Trigger

1) **Event Hook** ทำหน้าที่เป็นตัวกลางที่ใช้กำหนดว่า เมื่อเกิด Trigger ขึ้นให้ดำเนินการอะไรบ้าง วิธีการสร้าง Event Hook ในหน้าโปรเจค เลือกแถบเมนูด้านซ้าย “Event Hook” แล้วกดปุ่ม Create สร้างชื่อให้กับ Event Hook: Name =Temp\_alert, Description = If temperature above 28°C แล้วกดปุ่ม Create ดังรูปที่ 31 เลือก Event Hook ที่สร้างขึ้น (Temp\_alert) เพื่อดำเนินการตั้งค่าที่ Configuration เลือก Enable เพื่อเปิดการใช้งาน WEBHOOK และเลือกกล่องด้านล่าง เปลี่ยนจาก Tree เป็น code สร้างคำสั่งสำหรับการทำ Line Notification กำหนดค่า 4 Attributes คือ 1) Body ส่วนของข้อมูลในนี้คือ ข้อความที่จะส่งไปยังปลายทาง 2) Header ข้อมูลเพิ่มเติมที่ต้องการส่งไปยังปลายทาง เช่น Authorization, Content-Type เป็นต้น 3) Method ส่วนที่กำหนดว่าปลายทางต้องการให้ส่งไปแบบไหน GET, POST หรือ PUT และ 4) Uri Endpoint ปลายทางที่กำหนดว่าต้องการให้ส่งไปที่ใด จากนั้นกด SAVE ดังรูปที่ 32



รูปที่ 31 แสดงการสร้าง Event Hook บน NETPIE200

### คำสั่งสำหรับการตั้งค่า Line Notification Mode Event Hook บน NETPE2020

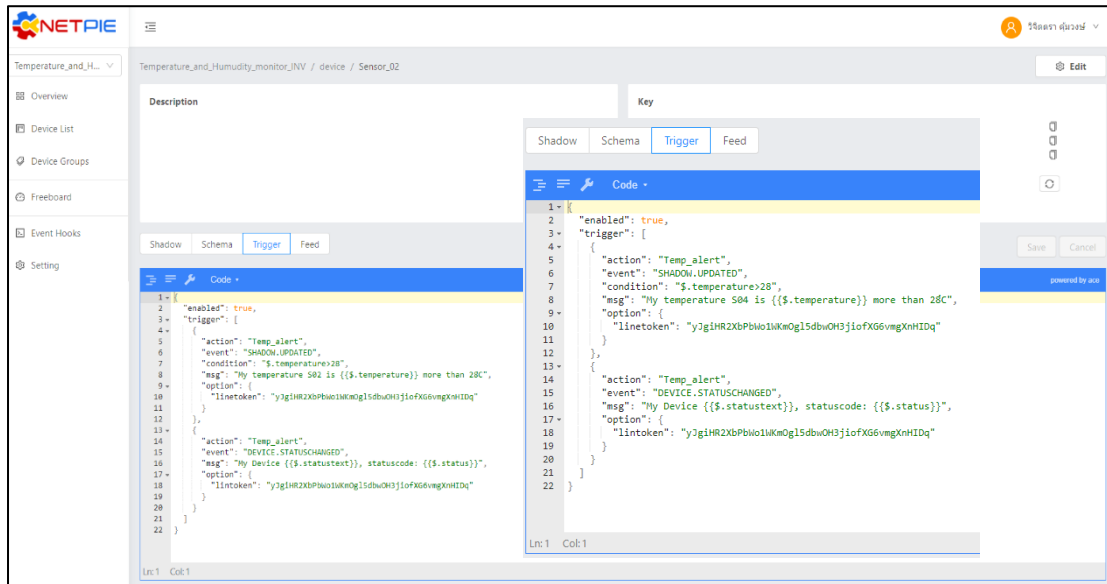


รูปที่ 32 แสดงสร้างคำสั่งสำหรับการทำ Line Notification (Event Hook)

2) Device Trigger เลือกเมนู “Device List” ด้านซ้าย และเลือกอุปกรณ์ที่ต้องการตั้งค่า ในที่นี้ทดลองเซนเซอร์\_02 จากนั้นเลือก เมนูด้านล่าง “Trigger” เปลี่ยนจาก Tree เป็น Code ดังรูปที่ 33

```
{ "enabled": true,
  "trigger": [
    {
      "action": "Temp_alert",
      "event": "SHADOW.UPDATED",
      "condition": "$.temperature>28",
      "msg": "My temperature S02 is {{$.temperature}} more than 28C",
      "option": {
        "linetoken": "yJgiHR2XbPbWo1WKmOgl5dbwOH3jiofXG6vmgXnHIDq" } },
    {
      "action": "Temp_alert",
      "event": "DEVICE.STATUSCHANGED",
      "msg": "My Device {{$.statustext}}, statuscode: {{$.status}}",
      "option": {
        "linetoken": "yJgiHR2XbPbWo1WKmOgl5dbwOH3jiofXG6vmgXnHIDq" } }]}
}
```

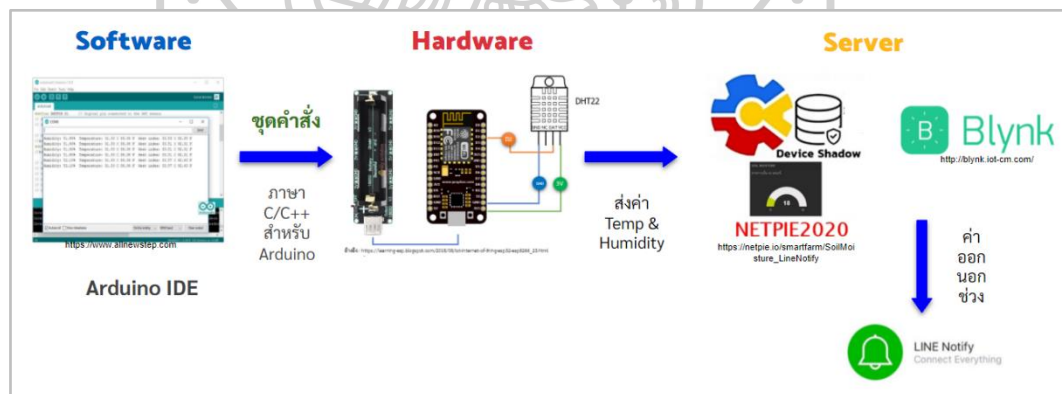
คำสั่งสำหรับการตั้งค่า Line Notification Mode Trigger บน NETPIE2020



รูปที่ 33 คำสั่งการสร้าง Line Notification (Device Trigger) บน NETPIE2020

B. เซิร์ฟเวอร์ Blynk ไม่ต้องตั้งค่าเพิ่มเติม ดำเนินการตามข้อ 3.1.5 ก็สามารถแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันออนไลน์ได้

การประเมินผล: อุปกรณ์ IoT ที่พัฒนาขึ้นสามารถรายงานอุณหภูมิและความชื้นผ่านคลาวด์เซิร์ฟเวอร์และสามารถแจ้งเตือนผ่าน Line Notify ได้ โดยภาพรวมของการพัฒนาอุปกรณ์ IoT ดังแสดงในรูปที่ 34



รูปที่ 34 ภาพรวมของการพัฒนาอุปกรณ์ IoT

### 3.2 การประเมินการใช้งานคลาวด์เซิร์ฟเวอร์

เปรียบเทียบการใช้งานคลาวด์เซิร์ฟเวอร์ระหว่าง Blynk กับ NETPIE2020 เพื่อเลือกเซิร์ฟเวอร์สำหรับการวิจัยต่อไป โดยประยุกต์ใช้องค์ประกอบพื้นฐานของ IoT แพลตฟอร์ม ของ กสทช. (47) และประเด็นที่ผู้วิจัยให้ความสำคัญ ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 หัวข้อและความหมายในการประเมินการใช้งานคลาวด์เซิร์ฟเวอร์

| หัวข้อการประเมิน   | ความหมาย   |
|--|--|
| <b>ด้านการควบคุมการทำงาน (Controlling)</b>   |  |
| 1. ส่วนจัดการการเชื่อมต่อ (Connectivity management)  | ความถี่ของปัญหาที่เกิดจากการขัดข้องของการเชื่อมต่อกับแพลตฟอร์ม   |
| 2. ส่วนจัดการอุปกรณ์ (Device management)   | มีระบบการยืนยันตัวตนของอุปกรณ์ (Authentication) และมีการจัดการว่าอุปกรณ์ใดมีสิทธิสื่อสารกับอุปกรณ์ใดบ้าง (Authorization) |
| 3. ส่วนสร้างกฎเกณฑ์เงื่อนไข (Rule engine)  | ขั้นตอนในการตั้งค่าวิกฤตผ่าน Line notify   |
| <b>ด้านการเก็บค่าข้อมูลและการส่งออก (Data storage and Export)</b>  |  |
| 4. รูปแบบไฟล์ในการส่งออกข้อมูลสามารถนำไปใช้งานต่อได้ (Data Export) ภายใต้งานฟรี  | สามารถส่งออกข้อมูลในรูปแบบที่ใช้งานได้ เช่น .CSV หรือ .json  |
| 5. ความจุหรือพื้นที่ในการเก็บข้อมูล  | พื้นที่ในการจัดเก็บข้อมูลภายใต้งานฟรี  |
| 6. จำนวนอุปกรณ์ที่ให้งาน บน แพลตฟอร์ม  | จำนวนอุปกรณ์ที่สามารถใช้งานได้ภายใต้งานฟรี   |
| <b>การแสดงผลและควบคุมการทำงาน Dashboard (Dashboard for monitor &amp; control)</b>  |  |
| 7. ส่วนแสดงผลข้อมูล (Data visualization) มีส่วนแสดงผลข้อมูลที่ยืดหยุ่นให้ผู้ใช้ปรับแต่งจัดวางองค์ประกอบตัวเอง และแสดงผลได้ดีบนอุปกรณ์คอมพิวเตอร์และอุปกรณ์พกพา | สามารถแสดงผลมือถือสมาร์ทโฟนได้ และมีการแสดงผลข้อมูล que ผู้ใช้งานปรับแต่งได้   |
| <b>ความง่ายของบริการ (Service)</b>   |  |
| 8. ความง่ายของการทำงาน (Ease of navigation)  | คู่มือการใช้งานเป็นภาพแสดงขั้นตอนที่ชัดเจน   |
| 9. ค่าใช้จ่าย (Cost)   | ค่าใช้จ่ายสำหรับการเชื่อมต่ออุปกรณ์อย่างน้อย IoT 4 อุปกรณ์   |

### วิธีการศึกษาและการประเมิน

เป็นการวิจัยเชิงพรรณนา (Descriptive) มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่าง 2 เซิร์ฟเวอร์ โดยการเลือกเซิร์ฟเวอร์ที่มีจำนวนหัวข้อประเมินผ่านเกณฑ์มากที่สุด เมื่อคิดคะแนนรวมเป็นร้อยละ กำหนดให้ 1 ข้อ = 1 คะแนน

### 3.3 การทดสอบประสิทธิภาพชุดอุปกรณ์ IoT ในการวัดอุณหภูมิและความชื้น

เพื่อทดสอบประสิทธิภาพชุดอุปกรณ์ IoT ที่พัฒนาขึ้นเปรียบเทียบกับอุปกรณ์มาตรฐาน (LogTag®) การศึกษาจึงออกแบบการเก็บข้อมูลเพื่อทดสอบค่าเฉลี่ยในการวัดอุณหภูมิและความชื้นของอุปกรณ์ IoT เปรียบเทียบกับ LogTag® ทำการเก็บข้อมูล 2 ช่วง คือ ทุก 30 นาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และทุก 30 วินาที เป็นเวลา 30 นาที

**อุปกรณ์และเครื่องมือที่เกี่ยวข้อง** ชุดอุปกรณ์และคำสั่งวัดอุณหภูมิและความชื้น IoT ที่พัฒนาขึ้นจากข้อ 3.1 จำนวน 4 ชุด คลาวด์เซิร์ฟเวอร์ที่ได้จากการประเมินจากข้อ 3.2 ตัวเปรียบเทียบมาตรฐานอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (Calibration) LogTag® รุ่น HAXO-8 จำนวน 1 ตัว รายละเอียดคุณลักษณะแสดงในตารางที่ 7 เอกสารการสอบเทียบแสดงในภาคผนวก (48) และอุปกรณ์วัดอุณหภูมิและความชื้นแบบเดิมที่ใช้ในกลุ่มงานเภสัชกรรม เป็นเครื่องวัดดิจิทัล ดังรูปที่ 35



รูปที่ 35 เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นดิจิทัลที่ใช้ในกลุ่มงานเภสัชกรรม

ตารางที่ 7 คุณลักษณะเฉพาะของเครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ LogTag® รุ่น HAXO-8

| รายการ                              | รายละเอียด  |
|-------------------------------------|---|
| ช่วงการอ่านค่าความชื้น              | 0 ~ 100%RH  |
| ช่วงการอ่านค่าอุณหภูมิ              | -40 ~ +85 °C (-40°F ~ +185°F)   |
| ความละเอียด                         | 0.1%RH & 0.1 °C/ °F   |
| ความจุของข้อมูล                     | 8000 ชุดของการอ่านค่าความชื้นและอุณหภูมิ (32Kbytes memory)  |
| ความถี่ของการวัดค่า                 | 30 วินาทีจนถึงหลายๆ ชั่วโมง   |
| การเลือกวิธีการให้เครื่องเริ่มทำงาน | กดปุ่ม Start หรือกำหนดวันที่และเวลา   |
| การบ่งชี้ว่ามีครบทั้งที่ผล          | ไฟ “OK” กระพริบ หรือไป “Alert” กระพริบ  |
| เวลาในการดาวน์โหลดข้อมูล            | โดยปกติใช้เวลาน้อยกว่า 10 วินาทีสำหรับข้อมูลเต็มความจุ (8000 ชุดข้อมูล) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอุปกรณ์คอมพิวเตอร์และอุปกรณ์ในการอ่านผล |
| แหล่งพลังงาน                        | ลิเธียมแบตเตอรี่ 3 โวลต์  |
| อายุของแบตเตอรี่                    | 2 ~ 3 ปี สำหรับการใช้งานปกติ (อ่านค่าทุก 15 นาที ดาวน์โหลดข้อมูลเดือนละครั้ง)   |
| ขนาด                                | 86 มม. (สูง) x 54.5 มม. (กว้าง) x 8.6 มม. (หนา)   |
| น้ำหนัก                             | 35 กรัม   |
| วัสดุ                               | โพลีคาร์บอเนต   |

#### การเก็บตัวอย่าง

ติดตั้งชุดอุปกรณ์ IoT ทั้งหมด 4 ตัวใกล้เคียงกับตำแหน่งที่ติดตั้งเครื่อง LogTag® เก็บข้อมูลในหน่วยอุณหภูมิ (°C) และความชื้น (%RH) ตั้งแต่เวลา 15:40 ของวันที่ 25 พฤศจิกายน 2564 - 15:40 ของวันที่ 26 พฤศจิกายน 2564 ทุกๆ 30 นาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และเวลา 9:27 - 10:26 ของวันที่ 29 พฤศจิกายน 2564 ทุกๆ 3 วินาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ร่วมกับการจดบันทึกจากเครื่องวัดดิจิทัล กรณีผลการทดสอบสมมติฐานปฏิเสศ  $H_0$  จะใช้การเปรียบเทียบเชิงพหุ (Multiple Comparison) ชนิดการเปรียบเทียบภายหลัง (Post hoc contrast) ด้วยวิธี Scheffe's (49-52) วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติทั้งหมดใช้โปรแกรม IBM SPSS Statistic เวอร์ชัน 26



### สถานที่ทำการศึกษา

ห้องเก็บยาเม็ดและยาฉีดชั้น 2 ของอาคารบริหารคลังยาและเวชภัณฑ์ (อาคารหมายเลข 14) โรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชสระแก้ว จ.สระแก้ว ลักษณะเป็นอาคาร 2 ชั้น ตั้งอยู่บริเวณ  $13^{\circ}49'05.8''\text{N } 102^{\circ}04'20.7''\text{E}$  ภาพมุมสูงดังรูปที่ 36 เมื่อหันหน้าเข้าหาตัวอาคาร ห้องที่ทำการศึกษายู่บริเวณทิศตะวันตกของตัวอาคาร ดังรูปที่ 37 ได้รับแสงส่องสว่างตลอดทั้งช่วงบ่ายของวัน ภายในห้องด้านบนของผนังทั้ง 3 ด้าน มีกระจกแต่ถูกปิดด้วยแผ่นฟิวเจอร์บอร์ดเพื่อป้องกันแสงอีกชั้น จุดที่ทำการศึกษเป็นบริเวณใกล้กับประตูทางเข้า-ออกของห้อง ไม่ติดกับผนังทั้ง 3 ด้านที่สัมผัสแสงแดด ซึ่งเป็นตำแหน่งที่มีปลั๊กสำหรับเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าสำหรับอุปกรณ์ IoT



รูปที่ 36 ภาพถ่ายดาวเทียมอาคารคลังยาและเวชภัณฑ์มุมสูง



รูปที่ 37 อาคารคลังยาและเวชภัณฑ์ด้านหน้า แสดงตำแหน่งห้องที่ทำการทดลอง

### การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ใช้สถิติ One Way ANOVA ในการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิ และความชื้นเฉลี่ยที่ได้จากอุปกรณ์ IoT และจาก LogTag® ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 กำหนดสมมติฐาน ดังนี้ (กรณีที่มีความแปรปรวนเท่ากันทุกกลุ่ม)

#### อุณหภูมิ

$$H_0: \mu_{Temp\_IoT1} = \mu_{Temp\_IoT2} = \mu_{Temp\_IoT3} = \mu_{Temp\_IoT4} = \mu_{Temp\_LogTag®}$$

(ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิ 4 อุปกรณ์ IoT และ LogTag® ไม่แตกต่างกัน)

$$H_1: \mu_{Temp\_IoT1} \neq \mu_{Temp\_IoT2} \neq \mu_{Temp\_IoT3} \neq \mu_{Temp\_IoT4} \neq \mu_{Temp\_LogTag®} \text{ อย่างน้อย 1 คู่}$$

#### ความชื้นสัมพัทธ์

$$H_0: \mu_{Humi\_IoT1} = \mu_{Humi\_IoT2} = \mu_{Humi\_IoT3} = \mu_{Humi\_IoT4} = \mu_{Humi\_LogTag®}$$

(ค่าเฉลี่ยของความชื้นสัมพัทธ์ 4 อุปกรณ์ IoT และ LogTag® ไม่แตกต่างกัน)

$$H_1: \mu_{Humi\_IoT1} \neq \mu_{Humi\_IoT2} \neq \mu_{Humi\_IoT3} \neq \mu_{Humi\_IoT4} \neq \mu_{Humi\_LogTag®} \text{ อย่างน้อย 1 คู่}$$

กรณีเมื่อทดสอบด้วย One Way ANOVA และพบว่าผลการวิเคราะห์มีค่าเฉลี่ยของข้อมูลแตกต่างกันอย่างน้อย 1 คู่ จะใช้สถิติการเปรียบเทียบพหุคูณ Multiple comparison ประเภท การเปรียบเทียบข้อมูลภายหลัง (Post Hoc Comparisons) ทดสอบด้วยวิธี Scheffe

### 3.4 การศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของอุปกรณ์ IoT ผ่านเครือข่ายไร้สาย

เป็นการศึกษาเปรียบเทียบระหว่าง 2 โครงการกับระบบการรายงานแบบเดิม ดังต่อไปนี้

1) อุปกรณ์ IoT จากผู้ให้บริการสัญญาณเครือข่าย LoRaWAN 2) อุปกรณ์ IoT ที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นใช้สัญญาณเครือข่าย Wi-Fi และ 3) ระบบติดตามอุณหภูมิและความชื้นแบบเดิม (ใช้คนบันทึก)

**3.4.1 ประชากรกลุ่มเป้าหมาย** ห้องเก็บยาและเวชภัณฑ์ และตู้เย็นภายในกลุ่มงานเภสัชกรรม โรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชสระแก้ว รวม 21 ตำแหน่ง

**3.4.2 รูปแบบการศึกษา** การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ด้วยตัวบ่งชี้ ประสิทธิภาพโครงการและการประเมินความคุ้มค่าทางสาธารณสุข โดยวิเคราะห์ต้นทุนผลได้ (12)

**3.4.3 ผลลัพธ์** NPV, ROI และ BCR (39)

**3.4.4 มุมมองการศึกษา** End-user perspective (โรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชสระแก้ว)

**3.4.5 กรอบเวลาที่ใช้ในการประเมิน** 1, 3, 5 และ 10 ปี (39, 53)

**3.4.6 อัตราการปรับลด** จากการศึกษาเลือกใช้ค่าดอกเบี้ยตามค่า MLR = 6.2447 (54, 55) ณ วันที่ 23/11/2564 อ้างอิงจากธนาคารแห่งประเทศไทย ค่าเฉลี่ยของธนาคารพาณิชย์จดทะเบียนในประเทศ

### 3.4.7 ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา การวิเคราะห์ต้นทุนผลได้

A. **ต้นทุน (Cost)** คือผลรวมที่เกิดจากค่าใช้จ่ายทั้งหมดหรือ (Total cost of ownership) คือ ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน (Operating Expenditures, OPEX) และค่าใช้จ่ายในการลงทุน (Capital Expenditures, CAPEX) ได้เป็นสมการ  $TCO = CAPEX + OPEX$  (2, 13, 15, 39, 40, 53) รายละเอียดค่าใช้จ่ายทั้งหมดดังแสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 รายละเอียดต้นทุนรวมทั้งหมด

| 1. CAPEX  | TC<br>(บาท)                 | แหล่งที่มีข้อมูล                   |         |
|---|-----------------------------|------------------------------------|---------|
|   |                             | LoRaWAN                            | Wi-Fi   |
| <b>1. Material cost</b>                             | = ราคา/<br>หน่วย x<br>จำนวน | ใบเสนอ*<br>ราคาจากผู้<br>ให้บริการ |         |
| 1.1 Infrastructure Rental                           |                             |                                    | -       |
| 1.2 Device cost                                     |                             |                                    | *       |
| <b>2. Installation cost</b>                         |                             |                                    |         |
| 2.1 Meter installation cost                         |                             |                                    | *       |
| 2.2 Software development cost                       |                             |                                    | -       |
| 2.3 Gateway installation cost                       | *                           |                                    |         |
| 2. OPEX   | TC<br>(บาท)/ปี              | แหล่งที่มีข้อมูล                   |         |
|   |                             | LoRaWAN                            | LoRaWAN |
| <b>1. Operation and Maintenance cost</b>            | = ราคา/<br>หน่วย x<br>จำนวน | ใบเสนอ*<br>ราคาจากผู้<br>ให้บริการ |         |
| 1.1 Meter Maintenance                               |                             |                                    | -       |
| 1.2 Gateway Maintenance                             |                             |                                    | -       |
| 1.3 Information system (IS) operation & Maintenance |                             |                                    | -       |
| <b>2. Communication/ Data transfer cost</b>         |                             |                                    |         |
| 2.1 Meter Communication                             |                             |                                    | -       |
| 2.2 Gateay Communication                            |                             |                                    | -       |
| <b>3. Customer service cost</b>                     |                             |                                    | -       |

### B. ประโยชน์จากเทคโนโลยี (Benefit)

B1. **Saving\*** ที่ประหยัดได้จากการแทนที่ด้วยเทคโนโลยีใหม่แบ่งเป็น 1) เวลาที่เจ้าหน้าที่ใช้ในการลงอุณหภูมิจัดเป็นในเวลาราชการ และนอกเวลาราชการ และ 2) การวิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผลงานประจำปี ซึ่งข้อมูลเป็น electronic data และสามารถสืบค้นข้อมูลย้อนหลังได้ง่ายและสะดวกรวดเร็ว

\*แปลงเป็นเงินโดยการเฉลี่ยจากเงินเดือนรายวัน (ในเวลาราชการ) และ ค่าเวร (นอกเวลาราชการ) x จำนวนคนที่สูญเสียในแต่ละวัน

**B2. Increased Revenue** รายได้ที่เพิ่มขึ้น การศึกษานี้คิดจากค่า WTP สำหรับความเต็มใจที่จะจ่ายในบริการสำหรับการติดตามอุณหภูมิและความชื้นของการเก็บรักษาด้วยแบบสอบถาม โดยผู้ตอบแบบสอบถามได้แก่ เภสัชกรหัวหน้ากลุ่มงานเภสัชกรรม หรือเภสัชกรหัวหน้างานบริหารคลังยาและเวชภัณฑ์ ขนาดโรงพยาบาลทั่วไป โดยแบบสอบถามประกอบด้วย 2 ส่วน ดังนี้

**ส่วนที่ 1** ข้อมูลทั่วไป

| ลำดับ | หัวข้อ  |
|-------|---|
| 1     | เพศ (ชาย, หญิง)   |
| 2     | อายุ (ปี)   |
| 3     | โรงพยาบาลสังกัด (กระทรวงสาธารณสุข, อื่นๆ)   |
| 4     | ชื่อโรงพยาบาล, จังหวัด  |
| 5     | เขตที่โรงพยาบาลสังกัด (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, อื่นๆ)  |
| 6     | ตำแหน่งในกลุ่มงาน/ฝ่ายเภสัชกรรม (หัวหน้ากลุ่มงาน, หัวหน้างานบริหารคลังยาและเวชภัณฑ์, หัวหน้างานจัดซื้อ, หัวหน้างานคลัง) |
| 7     | ระดับการศึกษา (ปริญญาตรี, ปริญญาโท, ปริญญาเอก)  |
| 8     | อัตราคงคลังยาเฉลี่ย (เดือน)   |
| 9     | มูลค่าคงคลังยาเฉลี่ย (บาท)  |

**ส่วนที่ 2** แบบสอบถามความเต็มใจที่จะจ่ายในบริการสำหรับการติดตามอุณหภูมิและความชื้นของการเก็บรักษา

**คำถาม :** ท่านมีความยินดีจ่ายค่าบริการหรือลงทุน ในระบบการติดตามอุณหภูมิและความชื้นของการเก็บรักษา (คลังเก็บยาและเวชภัณฑ์) ของหน่วยงานท่าน (โปรดพิจารณามูลค่ายาคงคลังของท่านประกอบ) เป็นเงินเฉลี่ย.....บาท/เดือน

โดยส่งแบบสอบถามผ่านระบบ Google form สํารวจในโรงพยาบาลขนาดทั่วไป (S) จำนวนทั้งหมด 50 โรงพยาบาลในประเทศไทย (56) และรูปแบบหนังสือแจ้งเวียน

3.4.8 การวิเคราะห์ข้อมูล โดยกำหนดให้  $n$  = จำนวนปีที่ใช้ประเมินโครงการ  $B_t$  = ผลประโยชน์ในปีที่  $t$   $C_t$  = ต้นทุนในปีที่  $t$  และ  $r$  = อัตราดอกเบี้ยกู้ยืม

A. NPV = มูลค่าปัจจุบันของประโยชน์สุทธิ - มูลค่าปัจจุบันของต้นทุนสุทธิ

$$NPV = \sum_{t=0}^n \left( \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t} \right)$$

การแปลผล: NPV > 0 : คุ่มค่าแก่การลงทุน, NPV < 0 : ไม่สมควรลงทุน, NPV = 0 : เท่าทุน

B. ROI หมายถึง เกณฑ์อัตราผลตอบแทนจากการลงทุนนี้จะวัดค่าของโครงการในรูปอัตราส่วนซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของผลประโยชน์สุทธิจากการดำเนินงานต่อการลงทุน

$$ROI = \frac{\text{Average profit}}{\text{Investment}} \times 100$$

การแปลผล: ROI มากที่สุด : คุ่มค่าแก่การลงทุนและยอมรับข้อเสนอโครงการ

C. BCR

$$BCR = \frac{\sum_{t=1}^n \left| \frac{B_t}{(1+r)^t} \right|}{\sum_{t=0}^n \left| \frac{C_t}{(1+r)^t} \right|}$$

$$BCR = \frac{PVB}{PVC}$$

การแปลผล: BCR > 1 : ยอมรับข้อเสนอโครงการ, BCR < 1 : ปฏิเสธข้อเสนอโครงการ, BCR = 1 : จะไม่มีผลกระทบใด ๆ ไม่ว่าจะยอมรับหรือปฏิเสธข้อเสนอโครงการ (40, 44, 46, 54, 57)



## บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การศึกษาเรื่อง “การวิเคราะห์ต้นทุนผลได้ของการใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งสำหรับการติดตามอุณหภูมิและความชื้นของการเก็บรักษายา: กรณีศึกษาโรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชสระแก้ว” ผู้วิจัยนำเสนอผลวิเคราะห์เป็น 4 ส่วนตามลำดับวิธีการดำเนินการวิจัย ดังนี้

4.1 การพัฒนาชุดอุปกรณ์ IoT สำหรับวัดอุณหภูมิและความชื้น

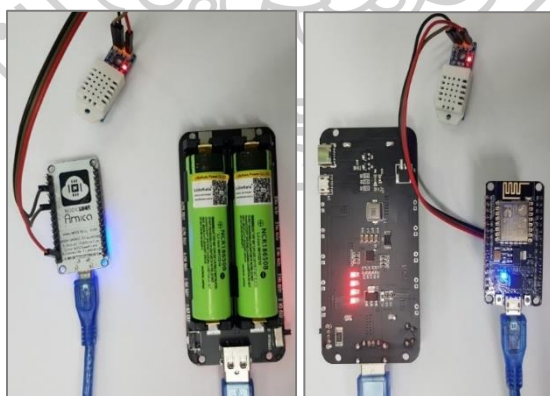
4.2 การประเมินการใช้งานคลาวด์เซิร์ฟเวอร์ระหว่าง Blynk และ NETPIE2020

4.3 ทดสอบประสิทธิภาพชุดอุปกรณ์ IoT สำหรับวัดอุณหภูมิและความชื้น

4.4 การศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการนำระบบการสื่อสารไร้สายผ่านเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

### 4.1 การพัฒนาชุดอุปกรณ์ IoT สำหรับวัดอุณหภูมิและความชื้น

จากการพัฒนาชุดอุปกรณ์ IoT สำหรับวัดอุณหภูมิและความชื้น ผู้วิจัยเลือกใช้บอร์ด NodeMCU V2 LUA based ESP8266-12E เซนเซอร์วัดอุณหภูมิความชื้นชนิด DHT22 (AM2302) ต่อกับโมดูลชาร์จแบตเตอรี่ชนิด 18650 พร้อมวงจรจ่ายไฟ 3.7V แบบรางคู่ และแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน NCR18650B จำนวน 2 ก้อน ใช้โปรแกรม Arduino IDE เขียนโปรแกรม คอมไพล์ และอัปโหลดโปรแกรมลงบอร์ด จัดทำทั้งหมด 4 ชุดอุปกรณ์ ดังแสดงในรูปที่ 38



รูปที่ 38 อุปกรณ์ IoT ต้นแบบที่ 1

หลังจากการใช้งานพบว่าชุดอุปกรณ์ IoT ต้นแบบที่ 1 ที่พัฒนาขึ้นสามารถเก็บข้อมูลได้น้อยกว่า 24 ชั่วโมงจากแบตเตอรี่ที่ชาร์จไฟเต็ม เนื่องจากการใช้โมดูลชาร์จแบตเตอรี่ชนิด 18650 แบบรางคู่ มีการเขียนคำสั่งในแผงวงจรที่ให้หยุดจ่ายไฟอัตโนมัติ กรณีที่กระแสไฟน้อยกว่า 30 mA โดยการทำงานของอุปกรณ์ดังกล่าวแบ่งเป็น 2 ลักษณะการใช้งานคือ 1) โหมด NORMAL เอาต์พุตต่ำกว่า

50 mA หยุดจ่ายไฟอัตโนมัติ (เช่น ชาร์จอุปกรณ์เต็มและตัดการทำงานอัตโนมัติ) และ 2) โหมด HOLD เอาต์พุต 30 mA ขึ้นไปจ่ายไฟตลอดเวลา (เหมาะสำหรับโมดูลที่กินพลังงานน้อย ต้องทำงานตลอดเวลา) โดยเลือกตั้งค่าเป็นโหมด Hold หลังจากทดสอบเก็บข้อมูลพบว่าสัญญาณบน NETPIE เก็บข้อมูลได้น้อยกว่า 24 ชั่วโมง ผู้วิจัยจึงได้ทดสอบและพัฒนาชุดอุปกรณ์ IoT ต้นแบบที่ 2 ทำการศึกษาโหมดประหยัดพลังงาน เพื่อให้สามารถยืดระยะเวลาการเก็บข้อมูลให้ได้อย่างน้อย 7 - 10 วัน โดยคำสั่งโหมดประหยัดพลังงานของ ESP8266 มีอยู่ด้วยกัน 3 โหมด ซึ่งแต่ละระดับจะมีการปิดการทำงานภายในแตกต่างกันไป ทำให้แต่ละโหมดใช้พลังงานต่างกันออกไปด้วย ซึ่งหากดูตาม Datasheet ของ ESP8266 พอจะสรุปได้ว่า Active Mode (ทุกส่วนทำงานหมด) จะกินกระแสไฟฟ้าที่ 50-56 mA ในขณะที่รอรับสัญญาณ Wi-Fi และจะกินกระแสไฟ 120-170 mA ขึ้นอยู่กับว่าเราจะใช้ Wi-Fi โหมดใด (b, g หรือ n) แต่หากใช้การหลับมาช่วยจะเป็นดังนี้

**Modem Sleep** คือหลับเฉพาะโมเด็ม จะปิดเฉพาะการเชื่อมต่อ Wi-Fi นั่นคือ Wi-Fi จะไม่ทำงาน แต่ในส่วนของ CPU, System Clock และ RTC ยังคงทำงานอยู่ โหมดนี้จะกินกระแสอยู่ที่ 15 mA

**Light Sleep** จะปิด Wi-Fi และ System Clock ในส่วนของ CPU นั่นจะ idling คือไม่ได้ทำงานแต่ก็ไม่ได้ปิด และในส่วนของ RTC ยังคงทำงานตามปกติ โหมดนี้จะกินกระแสอยู่ที่ 0.9 mA

**Deep Sleep** สามารถประหยัดพลังงานได้มากที่สุด โดยตัว ESP8266 จะทำการปิดทุกอย่าง ทั้ง Wi-Fi, System Clock และ CPU คงเปิดการทำงานเฉพาะส่วนของ RTC เท่านั้น (เอาไว้จับเวลาว่าหลับนานเท่าไร หากปิด RTC จะทำให้ไม่ทราบเวลา โหมดนี้จะกินกระแสอยู่ที่ 20  $\mu$ A (0.02 mA)

หากใช้โมดูลชาร์จแบตเตอรี่ชนิด 18650 3.7V 2 ก้อน ดังรูปที่ 38 จะไม่สามารถใช้ Mode Deep Sleep ได้เนื่องจากคุณสมบัติของอุปกรณ์จะทำงานเมื่อมีกระแสไฟมากกว่าหรือเท่ากับ 30 mA เท่านั้น ผู้วิจัยจึงจำเป็นต้องเปลี่ยนอุปกรณ์ในการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แก่บอร์ดเป็นโมดูลชาร์จแบตเตอรี่ชนิด 18650 3V 1 ก้อน ปรับชุดคำสั่งใหม่ให้อุปกรณ์สามารถเข้าสู่คำสั่งโหมด Deep Sleep ใช้แบตเตอรี่เดิมที่มี rated capacity เท่ากับ 3200 mAh ดังนั้นจากความจุของแบตเตอรี่ คาดว่าอย่างน้อยอุปกรณ์ดังกล่าวจะใช้งานได้ประมาณ 30 - 33 วัน/การชาร์จเต็ม 1 ครั้ง อุปกรณ์ IoT ต้นแบบที่ 2 ดังรูปที่ 39



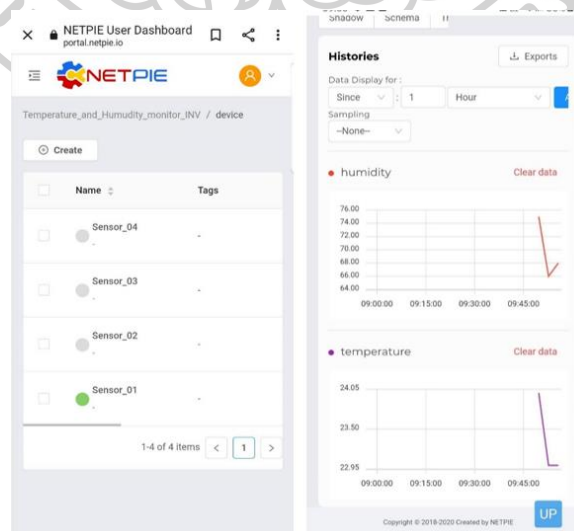
รูปที่ 39 อุปกรณ์ IoT ต้นแบบที่ 2

สำหรับการนำไปใช้ในงานจริงอุปกรณ์ IoT ต้นแบบที่ 2 มีความจำเป็นต้องเปลี่ยนแบตเตอรี่ทุก 30 วัน จำนวน 21 ชุดอุปกรณ์ คาดว่าจะมีความยุ่งยากในการทำงาน เนื่องจากจำเป็นต้องมีแบตเตอรี่สำรองอย่างน้อย 21 ชุด เพื่อสลับระหว่างรอการชาร์จใหม่ รวมไปถึงอุปกรณ์สำหรับชาร์จแบตเตอรี่ ประกอบกับเมื่อใช้งานไปช่วงระยะเวลาหนึ่ง ค่าความจุของแบตเตอรี่จะลดลง ทำให้ประสิทธิภาพในการจ่ายกระแสไฟไปยังบอร์ดลดลง เป็นผลให้ระยะเวลาในการทำงานสั้นตามลงไปด้วย ดังนั้นกรณีที่น่าไปประยุกต์เพื่อการใช้งานในระยะยาว การใช้ไฟจากแหล่งจ่ายไฟโดยตรงน่าจะมีความเหมาะสมในการใช้งานมากที่สุด จึงได้เป็นอุปกรณ์ IoT ต้นแบบที่ 3 เพื่อนำไปใช้ในการทดลองต่อไป

หลังจากทดสอบการใช้งานของอุปกรณ์ IoT ต้นแบบที่ 3 ดังรูปที่ 40 ด้วยการใช้งานผ่านคลาวด์เซิร์ฟเวอร์ 2 เซิร์ฟเวอร์คือ NETPIE2020 และ Blynk พบว่าอุปกรณ์สามารถอ่านและรายงานค่าอุณหภูมิและความชื้นผ่านคลาวด์เซิร์ฟเวอร์ทั้ง 2 ได้ กรณี NETPIE2020 ดังรูปที่ 41 และกรณี Blynk ดังรูปที่ 42

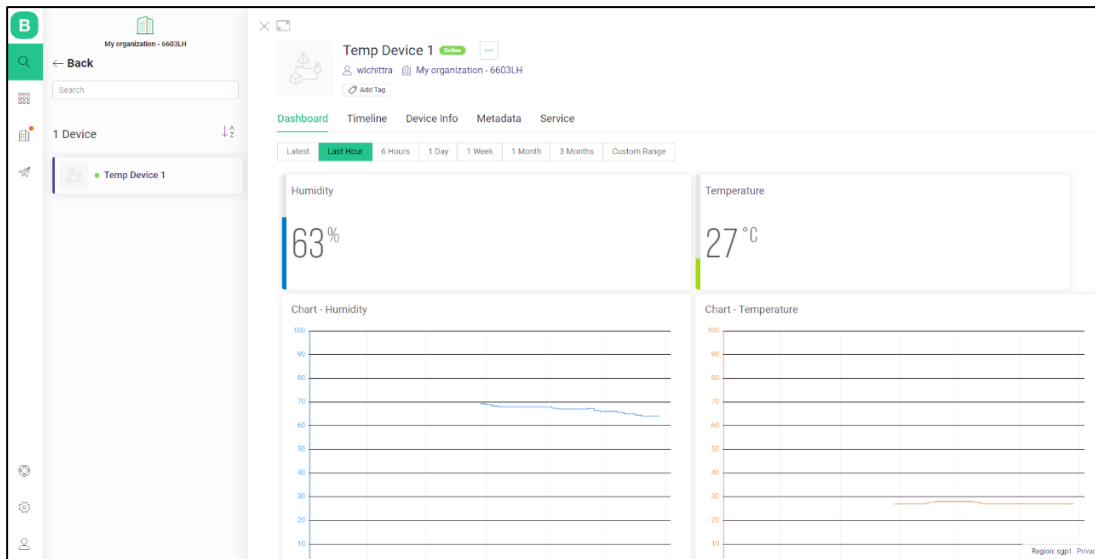


รูปที่ 40 อุปกรณ์ IoT ต้นแบบที่ 3



รูปที่ 41 การเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ IoT กับ NETPIE2020 และหน้าแสดงผลอุณหภูมิและความชื้นบนคลาวด์เซิร์ฟเวอร์





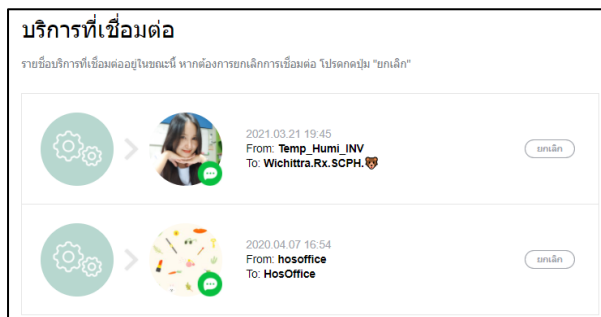
รูปที่ 42 การรายงานอุณหภูมิและความชื้น (Dashboard) บนเว็บแอปพลิเคชัน

สำหรับการแสดงผลข้อมูลในเซิร์ฟเวอร์ NETPIE2020 สามารถทำการกำหนดช่วงระยะเวลาในการแสดงผลได้ดังต่อไปนี้ คือ 1) เลือกให้แสดงผลตั้งแต่ (Since) หรือ จากช่วงเวลา (Form to) 2) กำหนดระยะเวลาเป็นตัวเลข 3) หน่วยการแสดงผลเป็น นาที (Minute) ชั่วโมง (Hour) ปี (Year) หรือวัน (Day) หลังจากตั้งค่าตามที่ต้องการ เลือก Apply สำหรับการ Sampling (การเก็บข้อมูล) สามารถเลือก วินาที (Second) นาที (Minute) ชั่วโมง (Hour) วัน (Day) สัปดาห์ (Week) หรือ ปี (Year) กรณีที่ดูข้อมูลผ่านเว็บแอปพลิเคชันให้เลือกเมนู Feed โดย NETPIE2020 ได้เพิ่ม Feature นี้ได้ไม่นาน เพื่อให้ผู้ใช้งานไม่ต้องตั้งค่าหน้า Freeboard เพื่อการควบคุมและแสดงผลข้อมูล ซึ่ง เวอร์ชันเดิมมีความยุ่งยากพอสมควร โดยผู้ใช้งานสามารถใช้ Feature “Feed” เพื่อให้การตั้งค่าทำได้อย่างสะดวกขึ้น ดังรูปที่ 43

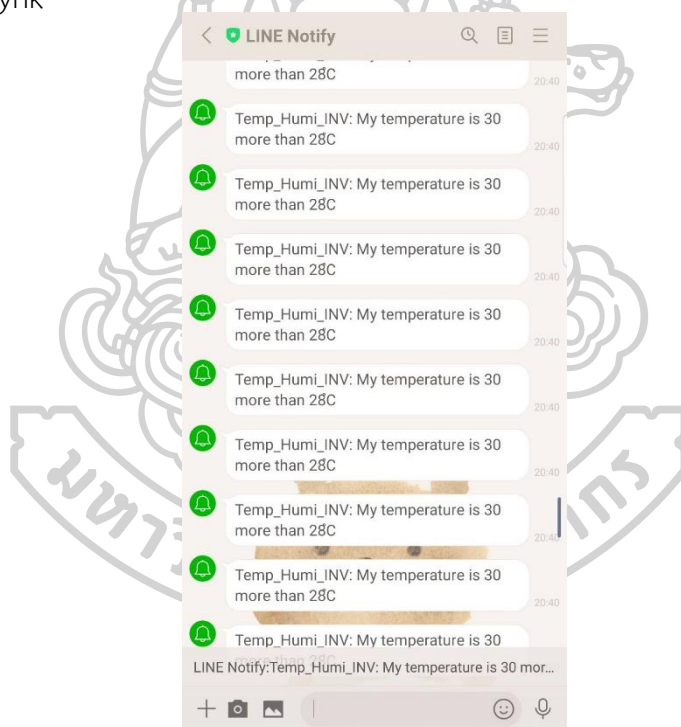


รูปที่ 43 หน้าเว็บแอปพลิเคชันแสดงผลข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นจาก NETPIE2020

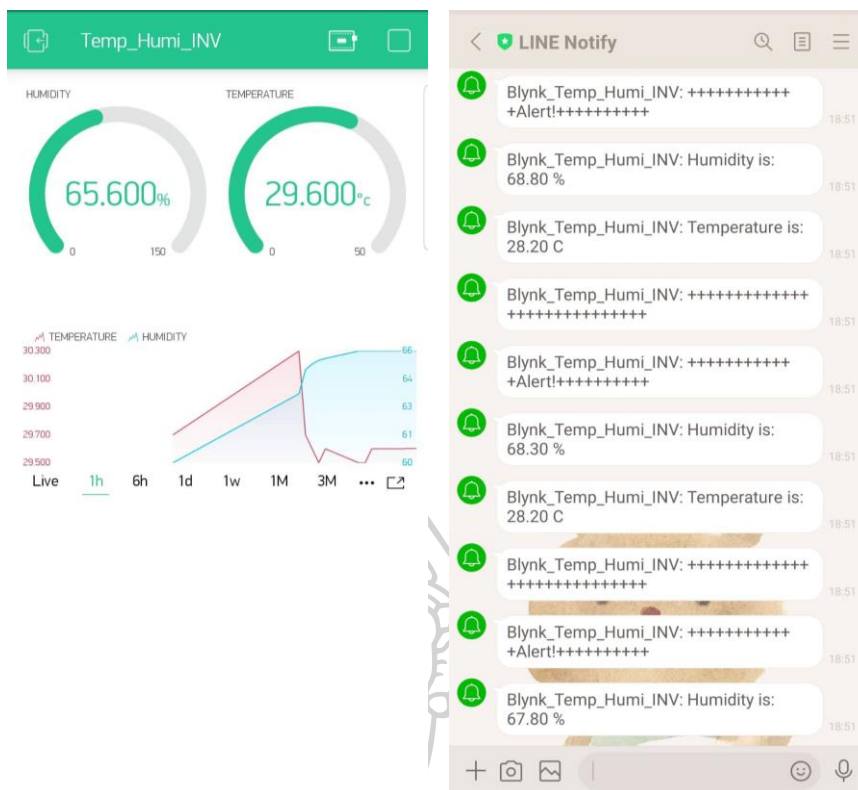
รวมไปถึงสามารถแจ้งเตือนเมื่ออุณหภูมิออกนอกช่วงที่กำหนดผ่าน Line notify ดังรูปที่ 44 แสดงการเชื่อมต่อผ่าน Line notify สำเร็จ



**รูปที่ 44** การเชื่อมต่อ Line Notify สำเร็จสิ้น  
การแจ้งเตือนเมื่ออุณหภูมิออกนอกช่วงที่กำหนดกรณี NETPIE2020 ดังรูปที่ 45 และดังรูปที่ 46 กรณี Blynk



**รูปที่ 45** Line notify กรณีที่อุณหภูมิออกนอกช่วงบน NETPIE2020



รูปที่ 46 หน้าแสดงผลอุณหภูมิและความชื้นและ Line notify  
กรณีที่อุณหภูมิออกนอกช่วงบน Blynk

การส่งออกข้อมูลจาก NETPIE2020 หลังจากการปรับปรุง Feature “Exports” มีความง่ายและสะดวกต่อการใช้งานมากขึ้น เดิมต้องส่งออกข้อมูลจากหน้า Freeboard ซึ่งไฟล์จะเป็น JSON format ทำให้ไม่สะดวกต่อผู้ใช้งานบางกลุ่ม ซึ่ง Feature “Exports” ใหม่สามารถส่งออกข้อมูล

เป็นไฟล์ Excel โดยผู้ใช้งานสามารถตั้งค่าการส่งออกข้อมูลที่ต้องการได้ ดังรูปที่ 47 และตัวอย่างไฟล์ Excel ที่ได้ดังรูปที่ 48

รูปที่ 47 การตั้งค่าการส่งออกข้อมูลบน NETPIE2020

|    | A              | B        | C           | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | N | O | P |
|----|----------------|----------|-------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1  | time           | humidity | temperature |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 2  | 08-08-21 12:10 | 58       | 28          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 3  | 08-08-21 12:13 | 60       | 28          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 4  | 08-08-21 12:16 | 61       | 28          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 5  | 08-08-21 12:19 | 61       | 28          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 6  | 08-08-21 12:22 | 61       | 29          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 7  | 08-08-21 12:25 | 62       | 29          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 8  | 08-08-21 12:28 | 62       | 29          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 9  | 08-08-21 12:31 | 62       | 29          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 10 | 08-08-21 12:34 | 63       | 29          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 11 | 08-08-21 12:37 | 63       | 29          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 12 | 08-08-21 12:40 | 63       | 29          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 13 | 08-08-21 12:43 | 64       | 29          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 14 | 08-08-21 12:46 | 64       | 29          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 15 | 08-08-21 12:49 | 65       | 29          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 16 | 08-08-21 12:52 | 65       | 29          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 17 | 08-08-21 12:55 | 65       | 30          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 18 | 08-08-21 12:58 | 65       | 30          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 19 | 08-08-21 13:01 | 65       | 30          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 20 | 08-08-21 13:04 | 65       | 30          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 21 | 08-08-21 13:07 | 66       | 30          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 22 | 08-08-21 13:10 | 66       | 30          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 23 | 08-08-21 13:13 | 66       | 30          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 24 | 08-08-21 13:16 | 66       | 30          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 25 | 08-08-21 13:19 | 66       | 30          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 26 | 08-08-21 13:22 | 65       | 30          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 27 | 08-08-21 13:25 | 62       | 29          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 28 | 08-08-21 13:28 | 60       | 29          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 29 | 08-08-21 13:31 | 57       | 28          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 30 | 08-08-21 13:34 | 56       | 28          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 31 | 08-08-21 13:37 | 54       | 28          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 32 | 08-08-21 13:40 | 53       | 28          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 33 | 08-08-21 13:43 | 52       | 27          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 34 | 08-08-21 13:46 | 51       | 27          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 35 | 08-08-21 13:49 | 50       | 27          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 36 | 08-08-21 13:52 | 50       | 27          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 37 | 08-08-21 13:55 | 51       | 27          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 38 | 08-08-21 13:58 | 52       | 27          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |

รูปที่ 48 ไฟล์ Excel ที่ได้จากการส่งออกข้อมูลจาก NETPIE2020

#### 4.2 การประเมินการใช้งานคลาวด์เซิร์ฟเวอร์

การประเมินการใช้งานคลาวด์เซิร์ฟเวอร์ระหว่าง NETPIE2020 และ Blynk เพื่อใช้ในการทดลองลำดับต่อไป มีหัวข้อที่ใช้ในการประเมินทั้งสิ้น 9 ข้อ เพื่อให้ครอบคลุมในด้านการทำงาน การส่งออกข้อมูล การแสดงผลและควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ รวมถึงความง่ายในการใช้งาน ผลการประเมินเซิร์ฟเวอร์รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ผลการประเมินการใช้งานคลาวด์เซิร์ฟเวอร์

| หัวข้อในการประเมิน                                   | NETPIE2020   |       | Blynk   |       |
|--|--|-------|---|-------|
|  | ผลการประเมิน   | คะแนน | ผลการประเมิน  | คะแนน |
| ด้านการควบคุมการทำงาน                                |  |       |   |       |
| 1. ส่วนจัดการการเชื่อมต่อ                            | ไม่พบปัญหาในการเชื่อมต่อกับเซิร์ฟเวอร์   | 1     | ไม่พบปัญหาในการเชื่อมต่อกับเซิร์ฟเวอร์  | 1     |
| 2. ส่วนจัดการอุปกรณ์                                 | มีระบบระบบการยืนยันตัวตนของอุปกรณ์ (Authentication) และมีการจัดการว่าอุปกรณ์ใดมีสิทธิ์สื่อสารกับอุปกรณ์ใดบ้าง (Authorization) หรือไม่                      | 1     | มีระบบระบบการยืนยันตัวตนของอุปกรณ์ (Authentication) และมีการจัดการว่าอุปกรณ์ใดมีสิทธิ์สื่อสารกับอุปกรณ์ใดบ้าง (Authorization) หรือไม่ | 1     |
| 3. ส่วนสร้างกฎเกณฑ์เงื่อนไข                          | 1. เขียนคำสั่งลงบอร์ดด้วย 4 ฟังก์ชัน<br>2. ตั้งค่าบนเซิร์ฟเวอร์ 4 ส่วนคือ Device Shadow, Device Schema, Device Trigger และ Event Hook<br>3. ออก Line Token | 0     | 1. เขียนคำสั่งลงบอร์ดด้วย 3 ฟังก์ชัน<br>2. ไม่ต้องตั้งค่าบนเซิร์ฟเวอร์ในการแจ้งเตือน<br>3. ออก Line Token                             | 1     |
| ด้านการเก็บค่าข้อมูลและการส่งออก                     |  |       |   |       |
| 4. รูปแบบไฟล์ในการส่งออกข้อมูลสามารถนำไปใช้งานต่อได้ | สามารถส่งออกข้อมูลในรูปแบบที่ใช้งานได้ เช่น .CVS   | 1     | ไม่สามารถส่งออกข้อมูลได้  | 0     |

ตารางที่ 9 ผลการประเมินการใช้งานคลาวด์เซิร์ฟเวอร์ (ต่อ)

| หัวข้อในการประเมิน   | NETPIE2020  |       | Blynk  |       |
|--|---|-------|--|-------|
|  | ผลการประเมิน  | คะแนน | ผลการประเมิน   | คะแนน |
| 5. ความจุหรือพื้นที่ในการเก็บข้อมูล  | ใช้ได้ตลอด มีจำกัดการส่ง Data/เดือน เช่น<br>- Real time msg = 9,000,000 MSG/mo  | 1     | 7 วัน  | 0     |
| 6. จำนวนอุปกรณ์ที่ให้ใช้งาน บนแพลตฟอร์ม  | 10 อุปกรณ์  | 1     | 2 อุปกรณ์  | 0     |
| การแสดงผลและควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ผ่าน Dashboard   |   |       |  |       |
| 7. ส่วนแสดงผลข้อมูลมีส่วนแสดงผลข้อมูลที่ยืดหยุ่นให้ผู้ใช้ปรับแต่งจัดวางองค์ประกอบได้เอง และแสดงผลได้ดีบนอุปกรณ์คอมพิวเตอร์และอุปกรณ์พกพา | 1. Freeboard แบ่งเป็น 4 ส่วนใหญ่ๆ ดังนี้<br>1.1 เมนูสำหรับจัดการส่วนต่างๆ ของ Freeboard<br>- เมนู “IMPORT” สำหรับนำเข้า Configuration Code<br>- เมนู “EXPORT” สำหรับส่งออก Configuration Code หรือเพื่อการสำรองข้อมูล (Backup)<br>- เมนู “RESET” สำหรับล้างค่า Configuration Code ที่เคยเซตไว้แล้วทั้งหมด<br>- เมนู “ADD PANE” สำหรับสร้าง Block หรือ Panel ที่ใช้จัดกลุ่มการแสดงผลแต่ละ Widget ที่จะสร้างใน Freeboard<br>- ปุ่ม “SAVE (สีเขียว)” สำหรับบันทึกการเปลี่ยนแปลงทุกอย่างที่มีการดำเนินการไป<br>1.2 ส่วนจัดการ “DATASOURCES” สำหรับสร้าง | 0.5   | 1. Dashboard ไม่สามารถปรับค่าได้ สามารถแสดงผลได้ 2 แบบคือ<br>1.1 ค่าตัวเลข ณ สถานะนั้นๆ<br>1.2 กราฟเส้น<br>2. มีสมาร์ตโฟนแอปพลิเคชัน | 0.5   |

ตารางที่ 9 ผลการประเมินการใช้งานคลาวด์เซิร์ฟเวอร์ (ต่อ)

| หัวข้อในการประเมิน   | NETPIE2020  |            | Blynk   |            |
|--|---|------------|---|------------|
|  | ผลการประเมิน  | คะแนน      | ผลการประเมิน  | คะแนน      |
|  | การเชื่อมต่อเพื่อดึงข้อมูลจาก Device ใน แพลตฟอร์ม มาแสดงที่ Freeboard   |            |   |            |
| การแสดงผลและควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ผ่าน Dashboard (ต่อ)   |   |            |   |            |
| 7. ส่วนแสดงผลข้อมูลมีส่วนแสดงผลข้อมูลที่ยืดหยุ่นให้ผู้ใช้ปรับแต่งจัดวางองค์ประกอบได้เอง และแสดงผลได้ดีบนอุปกรณ์คอมพิวเตอร์และอุปกรณ์พกพา | <p>1.3 Theme สำหรับเปลี่ยนสีของ Freeboard มีให้เลือก 2 โทนสี คือ Dark Color (ค่า Default) และ Light Color</p> <p>1.4 ส่วนจัดการและแสดงผล Freeboard ใช้สำหรับจัดการ Widget ต่างๆ ที่จะนำค่ามาแสดง และยังเป็นส่วนที่ใช้ดู Freeboard (View) ที่ตั้งค่าไว้แล้ว</p> <p>2. ยังไม่มีสมาร์ตโฟนแอปพลิเคชัน</p> |            |   |            |
| ความง่ายของบริการ  |   |            |   |            |
| 8. ความง่ายของการใช้งาน  | <p>1. มีคู่มือการใช้งานเป็นขั้นตอน</p> <p>2. ภาษาไทย</p>  | 1          | <p>1. มีคู่มือการใช้งานเป็นขั้นตอน</p> <p>2. ภาษาอังกฤษ</p>   | 1          |
| 9. ค่าใช้จ่ายเมื่อพิจารณาที่จำนวน Devices ที่อนุญาตให้ใช้งาน   | <p>1. Startup: 10 Devices (290 บาท/เดือน)</p> <p>2. Growth: 100 Devices (2,800 บาท/เดือน)</p> <p>3. Scale: 500 Devices (13,000 บาท/เดือน)<sup>1</sup></p>   | 1          | <p>1. Free: 2 Devices (\$0)</p> <p>2. Plus: 10 Devices (USD \$6.99/month)</p> <p>3. Pro: 40 Devices (USD \$49/month)</p> <p>4. White Label: 10,000 Devices (from \$699/month)<sup>2</sup></p> | 0          |
| <b>คะแนนรวม</b>  |   | <b>7.5</b> |   | <b>4.5</b> |

ที่มา 1: <https://nexpie.io/?fbclid=IwAR0dcmh06TPOQKZmQX-r3OxFsRm3wx-DQ7iM9GSuhiGtfsAX5wXdiai6ryk>

2: <https://blynk.io/pricing#plan-comparison#/tab/318474072-2>

สำหรับงานวิจัยครั้งนี้ เมื่อพิจารณาหัวข้อในแบบประเมินการใช้งาน

มีหัวข้อที่ไม่มีความแตกต่างกันระหว่าง 2 เซิร์ฟเวอร์จำนวน 3 ข้อ คือ 1) ส่วนจัดการการเชื่อมต่อ 2) ส่วนจัดการอุปกรณ์ และ 8) ความง่ายของการใช้งาน

การใช้งาน NETPIE2020 มีข้อดีในการใช้งานเหนือกว่า Blynk คือ 4) สามารถส่งออกข้อมูลในรูปแบบ .CVS ที่สามารถนำไปใช้งานต่อได้ 5) ให้ความจุหรือพื้นที่ในการเก็บข้อมูลมากกว่า 6) ให้จำนวนอุปกรณ์ที่ให้ใช้งานบนแพลตฟอร์มมากกว่า 7) สามารถปรับส่วนแสดงผลข้อมูลได้หลากหลายมากกว่า แต่ยังไม่สามารถปรับส่วนแสดงผลข้อมูลได้ ข้อนี้จึงได้ 0.5 คะแนน และ 9) ค่าใช้จ่ายของ NETPIE2020 เมื่อคิดที่ 4 อุปกรณ์มีค่าใช้จ่ายน้อยกว่า มีคะแนนรวม 7.5 คะแนน คิดเป็น 83.33%

การใช้งาน Blynk มีข้อดีในการใช้งานเหนือกว่า NETPIE2020 คือ 3) ส่วนสร้างกฎเกณฑ์เงื่อนไข ที่มีขั้นตอนในการตั้งค่าการเตือนเมื่อพบค่าวิกฤตที่น้อยกว่า และ 7) มีสารตั้งต้นแอปพลิเคชัน แต่ไม่สามารถปรับส่วนแสดงผลข้อมูลได้ ข้อนี้จึงได้ 0.5 คะแนน โดยผลการประเมินอยู่ภายใต้เงื่อนไขของการใช้งานฟรี มีคะแนนรวม 4.5 คะแนน คิดเป็น 50.00%

#### 4.3 การทดสอบประสิทธิภาพชุดอุปกรณ์ IoT ในการวัดอุณหภูมิและความชื้น

นำชุดอุปกรณ์ IoT ทั้งหมด 4 ตัว วางในตำแหน่งใกล้เคียงกับเครื่อง LogTag® ในที่นี้ผู้วิจัยทำการศึกษาที่ห้องเก็บยาเม็ดและยาฉีด ตำแหน่งบริเวณใกล้กับประตูทางเข้า-ออกห้อง เนื่องจากเป็นพื้นที่จัดของรอกยาและมีจุดจ่ายไฟ อาคารคลังยาและเวชภัณฑ์

**การทดสอบที่ 1: การทดสอบประสิทธิภาพด้านความชื้นสัมพัทธ์**

##### 1.1 เก็บข้อมูลทุก 30 นาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

เก็บข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ทุกๆ 30 นาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แต่ละอุปกรณ์สุ่มเก็บข้อมูลทั้งหมด 49 ครั้ง รวมเป็นข้อมูลทั้งหมด 245 ข้อมูล ผลที่ได้จากการเก็บข้อมูล ดังตารางที่ 10 ความชื้นสัมพัทธ์จากอุปกรณ์ IoT 4 ตัวเปรียบเทียบกับ LogTag® แสดงในรูปค่าเฉลี่ยและความแปรปรวน ค่าเฉลี่ยของข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์จากน้อยไปมากได้ดังนี้ อุปกรณ์ที่ 4 เท่ากับ 62.40 อุปกรณ์ที่ 2 เท่ากับ 63.27 อุปกรณ์ที่ 1 เท่ากับ 64.35 อุปกรณ์ที่ 3 เท่ากับ 65.46 และ LogTag® เท่ากับ 68.39 ตามลำดับ



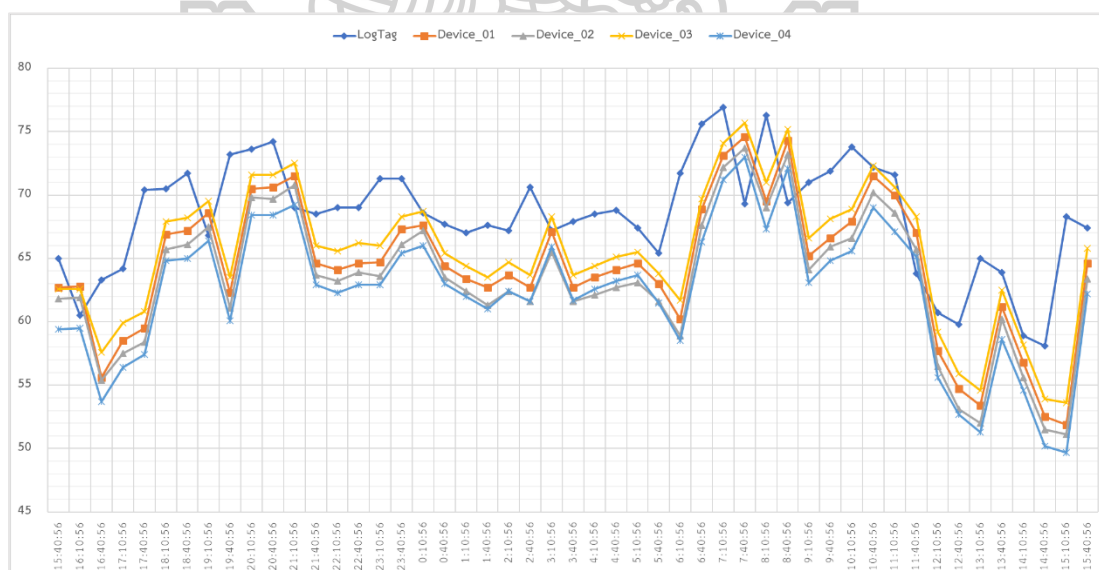
ตารางที่ 10 ความชื้นสัมพัทธ์จากอุปกรณ์ IoT เปรียบเทียบกับ LogTag®

| TIME     | LogTag® | Device_01 | Device_02 | Device_03 | Device_04 |
|----------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 15:40:56 | 65.0    | 62.7      | 61.8      | 62.6      | 59.4      |
| 16:10:56 | 60.5    | 62.8      | 61.9      | 62.6      | 59.5      |
| 16:40:56 | 63.3    | 55.6      | 55.4      | 57.6      | 53.7      |
| 17:10:56 | 64.2    | 58.5      | 57.5      | 59.9      | 56.4      |
| 17:40:56 | 70.4    | 59.5      | 58.4      | 60.8      | 57.4      |
| 18:10:56 | 70.5    | 66.9      | 65.7      | 67.9      | 64.8      |
| 18:40:56 | 71.7    | 67.2      | 66.1      | 68.2      | 65.0      |
| 19:10:56 | 66.8    | 68.6      | 67.5      | 69.5      | 66.4      |
| 19:40:56 | 73.2    | 62.3      | 61.1      | 63.5      | 60.1      |
| 20:10:56 | 73.6    | 70.5      | 69.8      | 71.6      | 68.4      |
| 20:40:56 | 74.2    | 70.6      | 69.7      | 71.6      | 68.4      |
| 21:10:56 | 69.0    | 71.5      | 70.8      | 72.5      | 69.2      |
| 21:40:56 | 68.5    | 64.6      | 63.7      | 66.0      | 62.9      |
| 22:10:56 | 69.0    | 64.1      | 63.2      | 65.6      | 62.3      |
| 22:40:56 | 69.0    | 64.6      | 63.9      | 66.2      | 62.9      |
| 23:10:56 | 71.3    | 64.7      | 63.6      | 66.0      | 62.9      |
| 23:40:56 | 71.3    | 67.3      | 66.1      | 68.3      | 65.4      |
| 0:10:56  | 68.6    | 67.6      | 67.2      | 68.7      | 66.0      |
| 0:40:56  | 67.7    | 64.4      | 63.5      | 65.4      | 63.0      |
| 1:10:56  | 67.0    | 63.4      | 62.4      | 64.4      | 62.0      |
| 1:40:56  | 67.6    | 62.7      | 61.3      | 63.5      | 61.0      |
| 2:10:56  | 67.2    | 63.7      | 62.4      | 64.7      | 62.4      |
| 2:40:56  | 70.6    | 62.7      | 61.6      | 63.7      | 61.6      |
| 3:10:56  | 67.2    | 67.1      | 65.5      | 68.3      | 65.9      |
| 3:40:56  | 67.9    | 62.7      | 61.6      | 63.7      | 61.7      |
| 4:10:56  | 68.5    | 63.5      | 62.1      | 64.4      | 62.6      |
| 4:40:56  | 68.8    | 64.1      | 62.7      | 65.1      | 63.2      |
| 5:10:56  | 67.4    | 64.6      | 63.1      | 65.5      | 63.7      |
| 5:40:56  | 65.4    | 63.0      | 61.6      | 63.8      | 61.5      |
| 6:10:56  | 71.7    | 60.2      | 58.9      | 61.7      | 58.5      |
| 6:40:56  | 75.6    | 68.9      | 67.6      | 69.7      | 66.3      |
| 7:10:56  | 76.9    | 73.1      | 72.2      | 74.1      | 71.2      |
| 7:40:56  | 69.3    | 74.6      | 73.7      | 75.7      | 73.0      |
| 8:10:56  | 76.3    | 69.5      | 69.0      | 71.0      | 67.3      |
| 8:40:56  | 69.4    | 74.3      | 73.2      | 75.2      | 72.1      |
| 9:10:56  | 71.0    | 65.2      | 64.1      | 66.6      | 63.1      |
| 9:40:56  | 71.9    | 66.6      | 65.9      | 68.1      | 64.8      |
| 10:10:56 | 73.8    | 67.9      | 66.6      | 68.9      | 65.6      |
| 10:40:56 | 72.2    | 71.5      | 70.2      | 72.3      | 69.0      |

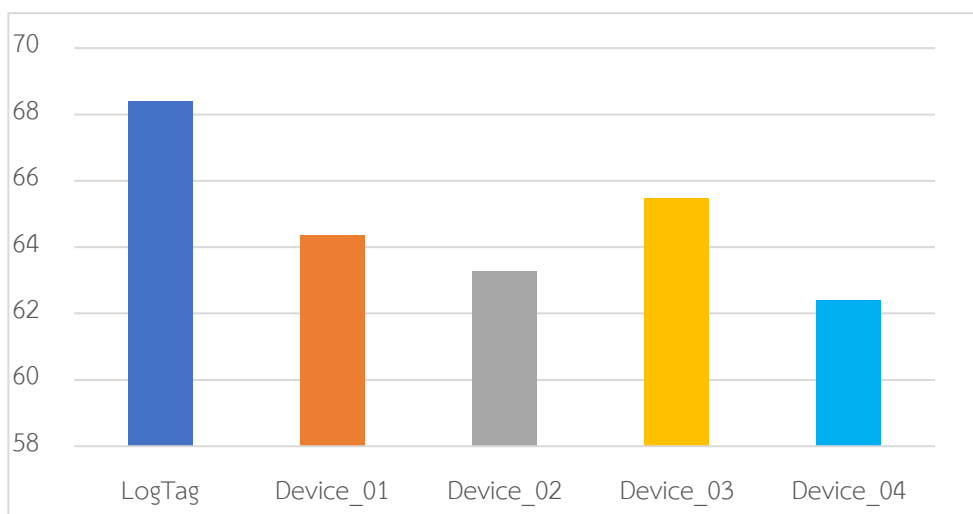
ตารางที่ 10 ความชื้นสัมพัทธ์จากอุปกรณ์ IoT เปรียบเทียบกับ LogTag® (ต่อ)

| TIME     | LogTag® | Device_01 | Device_02 | Device_03 | Device_04 |
|----------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 11:10:56 | 71.6    | 70.0      | 68.6      | 70.6      | 67.1      |
| 11:40:56 | 63.8    | 67        | 65.7      | 68.3      | 65.1      |
| 12:10:56 | 60.7    | 57.7      | 56.5      | 59.2      | 55.6      |
| 12:40:56 | 59.8    | 54.7      | 53.1      | 55.9      | 52.7      |
| 13:10:56 | 65.0    | 53.4      | 52.0      | 54.6      | 51.3      |
| 13:40:56 | 63.9    | 61.2      | 60.2      | 62.5      | 58.6      |
| 14:10:56 | 58.9    | 56.8      | 55.6      | 58.2      | 54.6      |
| 14:40:56 | 58.1    | 52.5      | 51.5      | 53.9      | 50.2      |
| 15:10:56 | 68.3    | 51.9      | 51.1      | 53.6      | 49.7      |
| 15:40:56 | 67.4    | 64.6      | 63.4      | 65.8      | 62.2      |
| MEAN     | 68.3878 | 64.3490   | 63.2714   | 65.4592   | 62.402    |
| SD S     | 4.3732  | 5.433     | 5.4675    | 5.3148    | 5.448     |

ข้อมูลที่ได้จากตารางที่ 10 นำเสนอในรูปแบบกราฟเส้น ดังรูปที่ 49 กราฟความชื้นสัมพัทธ์เปรียบเทียบระหว่าง LogTag® กับอุปกรณ์ IoT ทุก 30 นาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบรูปแบบการกระจายตัวของข้อมูลของอุปกรณ์ทั้ง 4 อุปกรณ์เกาะกลุ่มกันอย่างชัดเจนและมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกับ LogTag® แต่พบช่วงระยะความแตกต่างของความชื้นสัมพัทธ์ในกลุ่มของอุปกรณ์ IoT และ LogTag® โดยเส้นกราฟของทั้งอุปกรณ์ทั้ง 4 อุปกรณ์มีการเคลื่อนไปทางด้านขวาของเส้นกราฟ LogTag® จากกราฟที่ 50 ค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์ของอุปกรณ์ IoT และ LogTag® จากน้อยไปมากได้ดังนี้ LogTag®, อุปกรณ์ที่ 1, 3, 2 และ 4 ตามลำดับ



รูปที่ 49 กราฟความชื้นสัมพัทธ์และเวลาเปรียบเทียบระหว่าง LogTag® กับอุปกรณ์ IoT ทุก 30 นาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง



รูปที่ 50 กราฟค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์เปรียบเทียบระหว่างระหว่าง LogTag<sup>®</sup> กับอุปกรณ์ IoT ทุก 30 นาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

ผลจากการเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้จากอุปกรณ์ IoT และ LogTag<sup>®</sup> ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One Way ANOVA) พบว่ามีค่าเฉลี่ยของอุปกรณ์ IoT อย่างน้อย 1 อุปกรณ์ที่มีความแตกต่างจาก LogTag<sup>®</sup> อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในตารางที่ 11

ตารางที่ 11 การเปรียบเทียบความแตกต่างของความชื้นสัมพัทธ์อุปกรณ์ IoT และ LogTag<sup>®</sup> ด้วยวิธี ANOVA

| แหล่งของความแปรปรวน | SS       | df  | MS      | F     | Sig.  |
|---------------------|----------|-----|---------|-------|-------|
| ระหว่างกลุ่ม        | 1058.070 | 4   | 264.517 | 9.692 | 0.000 |
| ภายในกลุ่ม          | 6550.183 | 240 | 27.292  |       |       |
| รวม                 | 7608.253 | 244 |         |       |       |

\* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

เพื่อทดสอบหาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยเป็นรายคู่ด้วย จึงเลือกใช้วิธี 'Scheffe' ในการทดสอบ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่าอุปกรณ์ IoT มีค่าเฉลี่ยของความชื้นสัมพัทธ์แตกต่างจาก LogTag<sup>®</sup> ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 12

ตารางที่ 12 การเปรียบเทียบพหุคูณของความชื้นสัมพัทธ์ระหว่างอุปกรณ์ IoT และ LogTag®

| Dependent Variable: Humidity: Test Scheffe' |            |                       |            |      |                         |             |
|---|------------|-----------------------|------------|------|-------------------------|-------------|
| (I) Device                                  | (J) Device | Mean Difference (I-J) | Std. Error | Sig. | 95% Confidence Interval |             |
|   |            |                       |            |      | Lower Bound             | Upper Bound |
| LogTag                                      | Device_01  | 4.0388*               | 1.0555     | .006 | .762                    | 7.315       |
|   | Device_02  | 5.1163*               | 1.0555     | .000 | 1.840                   | 8.393       |
|   | Device_03  | 2.9286                | 1.0555     | .107 | -.348                   | 6.205       |
|   | Device_04  | 5.9857*               | 1.0555     | .000 | 2.709                   | 9.262       |
| Device_01                                   | LogTag     | -4.0388*              | 1.0555     | .006 | -7.315                  | -.762       |
|   | Device_02  | 1.0776                | 1.0555     | .903 | -2.199                  | 4.354       |
|   | Device_03  | -1.1102               | 1.0555     | .893 | -4.387                  | 2.166       |
|   | Device_04  | 1.9469                | 1.0555     | .494 | -1.330                  | 5.223       |
| Device_02                                   | LogTag     | -5.1163*              | 1.0555     | .000 | -8.393                  | -1.840      |
|   | Device_01  | -1.0776               | 1.0555     | .903 | -4.354                  | 2.199       |
|   | Device_03  | -2.1878               | 1.0555     | .370 | -5.464                  | 1.089       |
|   | Device_04  | .8694                 | 1.0555     | .954 | -2.407                  | 4.146       |
| Device_03                                   | LogTag     | -2.9286               | 1.0555     | .107 | -6.205                  | .348        |
|   | Device_01  | 1.1102                | 1.0555     | .893 | -2.166                  | 4.387       |
|   | Device_02  | 2.1878                | 1.0555     | .370 | -1.089                  | 5.464       |
|   | Device_04  | 3.0571                | 1.0555     | .082 | -.219                   | 6.334       |
| Device_04                                   | LogTag     | -5.9857*              | 1.0555     | .000 | -9.262                  | -2.709      |
|   | Device_01  | -1.9469               | 1.0555     | .494 | -5.223                  | 1.330       |
|   | Device_02  | -.8694                | 1.0555     | .954 | -4.146                  | 2.407       |
|   | Device_03  | -3.0571               | 1.0555     | .082 | -6.334                  | .219        |

\* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

## 1.2 เก็บข้อมูลทุก 30 วินาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

เปรียบเทียบกับการบินที่มาจากเครื่องวัดดิจิทัล เก็บข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ทุกๆ 30 วินาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แต่ละอุปกรณ์สุ่มเก็บข้อมูลทั้งหมด 120 ครั้ง รวมเป็นข้อมูลทั้งหมด 719 ข้อมูล ผลที่ได้จากการเก็บข้อมูล ดังตารางที่ 13 ความชื้นสัมพัทธ์จากอุปกรณ์ IoT 4 ตัวเปรียบเทียบกับเครื่องวัดดิจิทัล และ LogTag® แสดงในรูปค่าเฉลี่ยและความแปรปรวน เมื่อแสดงค่าเฉลี่ยจากน้อยไปมากได้ดังนี้ อุปกรณ์ที่ 3 เท่ากับ 63.08 อุปกรณ์ที่ 4 เท่ากับ 63.94 อุปกรณ์ที่ 2 เท่ากับ 64.15 อุปกรณ์ที่ 1 เท่ากับ 64.77 เครื่องดิจิทัล เท่ากับ 66.73 และ LogTag® เท่ากับ 67.51 ตามลำดับ

ตารางที่ 13 ความชื้นสัมพัทธ์จากอุปกรณ์ IoT เปรียบเทียบระหว่างเครื่องวัดดิจิทัล และ LogTag®

| TIME    | LogTag | Manual | Device_01 | Device_02 | Device_03 | Device_04 |
|---------|--------|--------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 9:27:11 | 62.1   | 58.0   | 59.6      | 58.1      | 59.0      | 59.2      |
| 9:27:41 | 60.8   | 50.0   | 59.4      | 58.0      | 58.9      | 59.1      |
| 9:28:11 | 60.9   | 58.0   | 59.5      | 57.8      | 58.7      | 58.9      |
| 9:28:41 | 60.6   | 58.0   | 59.8      | 58.1      | 58.9      | 59.3      |
| 9:29:11 | 61.4   | 59.0   | 59.4      | 57.8      | 58.5      | 58.8      |
| 9:29:41 | 64.8   | 65.0   | 61.1      | 59.1      | 59.9      | 60.6      |
| 9:30:11 | 65.7   | 66.0   | 64.7      | 62.9      | 63.3      | 64.2      |
| 9:30:41 | 65.7   | 66.0   | 65.4      | 63.7      | 63.9      | 64.9      |
| 9:31:11 | 66.2   | 66.0   | 65.0      | 63.4      | 63.6      | 64.4      |
| 9:31:41 | 66.7   | 67.0   | 65.2      | 63.7      | 63.8      | 64.6      |
| 9:32:11 | 67.3   | 68.0   | 65.6      | 64.3      | 64.3      | 65.0      |
| 9:32:41 | 67.9   | 69.0   | 65.9      | 64.7      | 64.6      | 65.2      |
| 9:33:11 | 68.2   | 69.0   | 66.5      | 65.3      | 65.2      | 65.8      |
| 9:33:41 | 68.6   | 69.0   | 66.6      | 65.6      | 65.4      | 66.0      |
| 9:34:11 | 68.9   | 70.0   | 66.9      | 65.9      | 65.7      | 66.2      |
| 9:34:41 | 69.3   | 70.0   | 67.1      | 66.2      | 65.9      | 66.4      |
| 9:35:11 | 69.6   | 70.0   | 67.5      | 66.6      | 66.3      | 66.6      |
| 9:35:41 | 69.8   | 71.0   | 67.5      | 66.7      | 66.4      | 66.7      |
| 9:36:11 | 70.1   | 71.0   | 67.8      | 67.1      | 66.7      | 67.1      |
| 9:36:41 | 70.4   | 72.0   | 68.1      | 67.5      | 67.0      | 67.4      |
| 9:37:11 | 70.6   | 72.0   | 68.3      | 67.7      | 67.2      | 67.6      |
| 9:37:41 | 70.9   | 72.0   | 68.4      | 67.9      | 67.3      | 67.7      |
| 9:38:11 | 71.1   | 73.0   | 68.7      | 68.3      | 67.7      | 68.1      |
| 9:38:41 | 71.3   | 73.0   | 68.9      | 68.4      | 67.9      | 68.2      |
| 9:39:11 | 71.5   | 69.0   | 68.9      | 68.6      | 68.0      | 68.3      |
| 9:39:41 | 70.2   | 67.0   | 69.0      | 68.7      | 68.1      | 68.3      |
| 9:40:11 | 67.7   | 65.0   | 65.2      | 65.4      | 64.5      | 64.5      |
| 9:40:41 | 67.0   | 64.0   | 63.9      | 63.9      | 63.2      | 63.2      |
| 9:41:11 | 66.4   | 63.0   | 63.3      | 63.2      | 62.5      | 62.7      |
| 9:41:41 | 65.9   | 62.0   | 62.9      | 62.7      | 62.1      | 62.4      |
| 9:42:11 | 65.3   | 62.0   | 62.5      | 62.3      | 61.5      | 62.1      |
| 9:42:41 | 64.9   | 61.0   | 62.0      | 61.7      | 61.0      | 61.6      |
| 9:43:11 | 64.3   | 61.0   | 61.5      | 61.3      | 60.4      | 61.2      |
| 9:43:41 | 64.0   | 60.0   | 61.2      | 60.8      | 60.0      | 60.8      |
| 9:44:11 | 63.6   | 60.0   | 60.9      | 60.5      | 59.6      | 60.4      |
| 9:44:41 | 63.2   | 60.0   | 60.6      | 60.1      | 59.2      | 60.2      |
| 9:45:11 | 62.9   | 61.0   | 60.1      | 59.6      | 58.7      | 59.6      |
| 9:45:41 | 62.6   | 64.0   | 59.8      | 59.3      | 58.3      | 59.4      |
| 9:46:11 | 63.8   | 67.0   | 59.7      | 59.0      | 58.1      | 59.1      |

ตารางที่ 13 ความชื้นสัมพัทธ์จากอุปกรณ์ IoT เปรียบเทียบระหว่างเครื่องวัดดิจิทัล และ LogTag® (ต่อ)

| TIME     | LogTag | Manual | Device_01 | Device_02 | Device_03 | Device_04 |
|----------|--------|--------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 9:46:41  | 66.8   | 67.0   | 64.0      | 62.9      | 62.1      | 63.3      |
| 9:47:11  | 67.4   | 68.0   | 65.8      | 64.8      | 63.7      | 65.3      |
| 9:47:41  | 67.4   | 68.0   | 65.3      | 64.5      | 63.4      | 64.8      |
| 9:48:11  | 67.8   | 69.0   | 65.4      | 64.6      | 63.6      | 64.7      |
| 9:48:41  | 68.3   | 69.0   | 65.8      | 65.1      | 64.0      | 65.1      |
| 9:49:11  | 68.7   | 69.0   | 66.1      | 65.4      | 64.4      | 65.4      |
| 9:49:41  | 69.0   | 70.0   | 66.4      | 65.8      | 64.8      | 65.7      |
| 9:50:11  | 69.4   | 70.0   | 66.8      | 66.1      | 65.2      | 66.0      |
| 9:50:41  | 69.7   | 71.0   | 67.0      | 66.5      | 65.5      | 66.3      |
| 9:51:11  | 70.0   | 72.0   | 67.2      | 66.7      | 65.7      | 66.4      |
| 9:51:41  | 70.2   | 72.0   | 67.4      | 67.0      | 66.1      | 66.6      |
| 9:52:11  | 70.6   | 72.0   | 67.7      | 67.3      | 66.3      | 66.9      |
| 9:52:41  | 70.9   | 72.0   | 68.0      | 67.7      | 66.7      | 67.3      |
| 9:53:11  | 71.1   | 73.0   | 68.1      | 67.9      | 66.9      | 67.4      |
| 9:53:41  | 71.3   | 73.0   | 68.3      | 68.1      | 67.1      | 67.6      |
| 9:54:11  | 71.5   | 73.0   | 68.5      | 68.3      | 67.3      | 67.8      |
| 9:54:41  | 71.6   | 67.0   | 68.6      | 68.4      | 67.4      | 67.9      |
| 9:55:11  | 71.8   | 65.0   | 68.8      | 68.6      | 67.7      | 68.1      |
| 9:55:41  | 70.3   | 64.0   | 67.5      | 67.9      | 66.5      | 67.2      |
| 9:56:11  | 68.2   | 64.0   | 64.3      | 64.6      | 63.5      | 63.7      |
| 9:56:41  | 67.3   | 63.0   | 63.3      | 63.5      | 62.5      | 62.7      |
| 9:57:11  | 66.4   | 61.0   | 62.6      | 62.5      | 61.5      | 61.8      |
| 9:57:41  | 66.0   | 61.0   | 62.5      | 62.3      | 61.2      | 61.8      |
| 9:58:11  | 65.6   | 60.0   | 62.2      | 61.9      | 60.7      | 61.5      |
| 9:58:41  | 64.8   | 61.0   | 61.3      | 61.1      | 59.9      | 60.7      |
| 9:59:11  | 64.4   | 67.0   | 60.8      | 60.5      | 59.3      | 60.0      |
| 9:59:41  | 63.9   | 68.0   | 60.4      | 60.1      | 58.8      | 59.7      |
| 10:00:11 | 64.2   | 69.0   | 61.0      | 60.1      | 59.4      | 59.8      |
| 10:00:41 | 67.2   | 69.0   | 65.0      | 63.8      | 62.7      | 63.8      |
| 10:01:11 | 68.3   | 69.0   | 66.1      | 65.2      | 63.8      | 65.1      |
| 10:01:41 | 68.7   | 70.0   | 66.5      | 65.4      | 64.1      | 65.2      |
| 10:02:11 | 69.1   | 71.0   | 66.8      | 65.9      | 64.4      | 65.6      |
| 10:02:41 | 69.2   | 71.0   | 66.8      | 65.8      | 64.3      | 65.2      |
| 10:03:11 | 69.7   | 72.0   | 67.4      | 66.4      | 65.0      | 66.1      |
| 10:03:41 | 70.0   | 72.0   | 67.6      | 66.7      | 65.2      | 66.1      |
| 10:04:11 | 70.4   | 72.0   | 68.0      | 67.0      | 65.7      | 66.7      |
| 10:04:41 | 70.6   | 73.0   | 68.1      | 67.3      | 65.8      | 66.7      |
| 10:05:11 | 70.8   | 68.0   | 68.1      | 67.6      | 66.0      | 67.2      |
| 10:05:41 | 71.0   | 66.0   | 68.4      | 67.6      | 66.1      | 67.0      |
| 10:06:11 | 71.3   | 64.0   | 68.7      | 68.0      | 66.4      | 67.4      |

ตารางที่ 13 ความชื้นสัมพัทธ์จากอุปกรณ์ IoT เปรียบเทียบระหว่างเครื่องวัดดิจิทัล และ LogTag® (ต่อ)

| TIME     | LogTag | Manual | Device_01 | Device_02 | Device_03 | Device_04 |
|----------|--------|--------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 10:06:41 | 70.9   | 63.0   | 67.0      | 67.6      | 65.2      | 66.8      |
| 10:07:11 | 68.3   | 62.0   | 64.0      | 64.1      | 62.3      | 63.0      |
| 10:07:41 | 67.1   | 61.0   | 62.9      | 62.8      | 61.0      | 61.9      |
| 10:08:11 | 66.1   | 61.0   | 62.3      | 62.0      | 60.4      | 61.2      |
| 10:08:41 | 65.6   | 60.0   | 62.0      | 61.6      | 60.1      | 61.0      |
| 10:09:11 | 65.2   | 60.0   | 61.4      | 61.1      | 59.4      | 60.7      |
| 10:09:41 | 64.4   | 63.0   | 60.9      | 60.4      | 58.8      | 59.9      |
| 10:10:11 | 64.0   | 66.0   | 60.3      | 60.0      | 58.2      | 59.5      |
| 10:10:41 | 63.7   | 68.0   | 60.0      | 59.6      | 58.0      | 59.2      |
| 10:11:11 | 63.3   | 68.0   | 60.1      | 59.4      | 57.9      | 59.1      |
| 10:11:41 | 65.2   | 69.0   | 63.2      | 62.3      | 60.8      | 62.0      |
| 10:12:11 | 67.5   | 69.0   | 65.6      | 64.6      | 62.9      | 64.6      |
| 10:12:41 | 68.0   | 69.0   | 65.7      | 64.8      | 63.0      | 64.5      |
| 10:13:11 | 68.3   | 70.0   | 66.1      | 65.2      | 63.5      | 65.0      |
| 10:13:41 | 68.6   | 71.0   | 66.2      | 65.4      | 63.6      | 65.0      |
| 10:14:11 | 68.9   | 71.0   | 66.6      | 65.6      | 64.0      | 65.2      |
| 10:14:41 | 69.4   | 72.0   | 66.8      | 66.1      | 64.3      | 65.6      |
| 10:15:11 | 69.8   | 72.0   | 67.2      | 66.6      | 64.7      | 66.1      |
| 10:15:41 | 70.1   | 72.0   | 67.4      | 66.8      | 64.9      | 66.2      |
| 10:16:11 | 70.3   | 68.0   | 67.7      | 67.1      | 65.2      | 66.5      |
| 10:16:41 | 70.6   | 65.0   | 68.0      | 67.4      | 65.5      | 66.7      |
| 10:17:11 | 70.8   | 64.0   | 68.0      | 67.7      | 65.7      | 66.8      |
| 10:17:41 | 71.0   | 63.0   | 68.3      | 67.9      | 66.0      | 67.1      |
| 10:18:11 | 70.0   | 62.0   | 64.7      | 65.2      | 63.0      | 64.0      |
| 10:18:41 | 68.2   | 61.0   | 63.1      | 63.2      | 61.3      | 62.1      |
| 10:19:11 | 66.5   | 61.0   | 62.0      | 62.1      | 60.3      | 61.1      |
| 10:19:41 | 65.9   | 60.0   | 61.9      | 61.6      | 60.1      | 61.0      |
| 10:20:11 | 65.4   | 60.0   | 61.4      | 61.2      | 59.5      | 60.7      |
| 10:20:41 | 64.7   | 63.0   | 60.5      | 60.5      | 58.7      | 60.0      |
| 10:21:11 | 64.2   | 67.0   | 60.4      | 60.0      | 58.4      | 59.6      |
| 10:21:41 | 63.9   | 67.0   | 59.7      | 59.5      | 57.7      | 59.0      |
| 10:22:11 | 63.2   | 68.0   | 59.5      | 59.1      | 57.6      | 58.9      |
| 10:22:41 | 63.0   | 68.0   | 61.8      | 60.7      | 59.4      | 60.7      |
| 10:23:11 | 65.8   | 69.0   | 64.2      | 63.4      | 61.8      | 63.2      |
| 10:23:41 | 67.4   | 69.0   | 65.2      | 64.4      | 62.7      | 64.2      |
| 10:24:11 | 67.9   | 70.0   | 65.1      | 64.5      | 62.6      | 64.0      |
| 10:24:41 | 68.1   | 70.0   | 65.9      | 64.8      | 63.1      | 64.4      |
| 10:25:11 | 68.6   | 71.0   | 66.3      | 65.4      | 63.6      | 65.0      |
| 10:25:41 | 69.0   | 71.0   | 66.4      | 65.4      | 63.6      | 64.9      |

ตารางที่ 13 ความชื้นสัมพัทธ์จากอุปกรณ์ IoT เปรียบเทียบระหว่างเครื่องวัดดิจิทัล และ LogTag® (ต่อ)

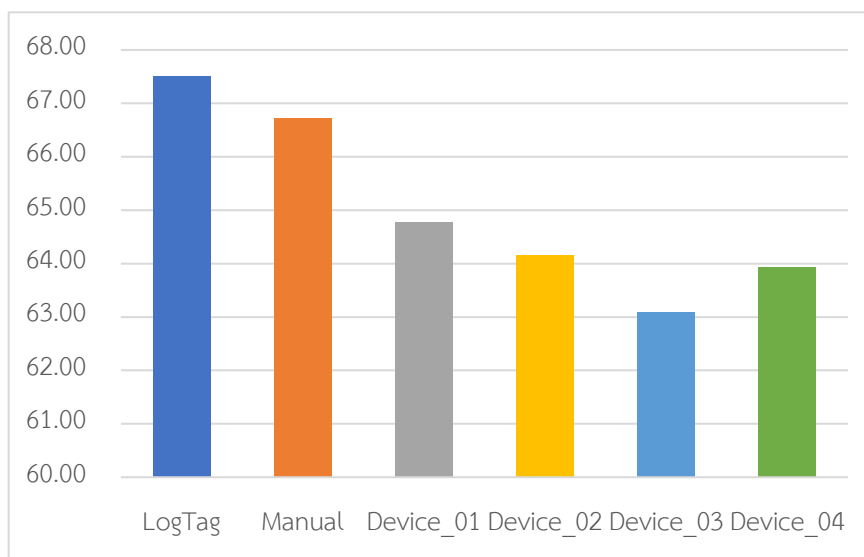
| TIME     | LogTag  | Manual  | Device_01 | Device_02 | Device_03 | Device_04 |
|----------|---------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 10:26:11 | 69.3    | 71.0    | 66.8      | 66.0      | 64.2      | 65.5      |
| 10:26:41 | 69.5    | 69.0    | 66.9      | 66.1      | 64.1      | 65.3      |
| MEAN     | 67.5067 | 66.7250 | 64.7708   | 64.1500   | 63.0758   | 63.9383   |
| SD S     | 2.8172  | 4.5331  | 2.9829    | 3.0264    | 2.9407    | 2.8836    |

ข้อมูลที่ได้จากตารางที่ 13 นำเสนอในรูปแบบกราฟความชื้นสัมพัทธ์ ดังรูปที่ 51 กราฟความชื้นสัมพัทธ์เปรียบเทียบระหว่าง LogTag® เครื่องวัดดิจิทัลกับอุปกรณ์ IoT ทุก 30 วินาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง พบรูปแบบการกระจายตัวของข้อมูลของอุปกรณ์ทั้ง 4 อุปกรณ์เกาะกลุ่มกันอย่างชัดเจนและมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกับ LogTag® แต่พบช่วงระยะความแตกต่างของความชื้นสัมพัทธ์ในกลุ่มของอุปกรณ์ IoT เครื่องวัดดิจิทัล และ LogTag® โดยเส้นกราฟของทั้งอุปกรณ์ทั้ง 4 มีการเคลื่อนไปทางด้านขวาของเส้นกราฟ LogTag® ส่วนเส้นกราฟของเครื่องวัดดิจิทัลเคลื่อนไปทางซ้ายของเส้นกราฟ LogTag® จากกราฟที่ 52 ค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์ของอุปกรณ์ IoT เครื่องวัดดิจิทัล และ LogTag® จากน้อยไปมากได้ดังนี้คือ อุปกรณ์ที่ 3, 4, 2, 1, เครื่องวัดดิจิทัล และ LogTag® ตามลำดับ



รูปที่ 51 กราฟความชื้นสัมพัทธ์เปรียบเทียบระหว่าง LogTag® อุปกรณ์ IoT และ เครื่องวัดดิจิทัล ทุก 30 วินาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง





**รูปที่ 52** กราฟค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์เปรียบเทียบระหว่างระหว่าง LogTag<sup>®</sup> อุปกรณ์ IoT และเครื่องวัดดิจิทัล ทุก 30 วินาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

ผลจากการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้จากอุปกรณ์ IoT เครื่องวัดดิจิทัลและ LogTag<sup>®</sup> ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวพบว่า มีค่าเฉลี่ยของอุปกรณ์ IoT และเครื่องวัดดิจิทัลอย่างน้อย 1 อุปกรณ์ที่มีความแตกต่างจาก LogTag<sup>®</sup> อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในตารางที่ 14

**ตารางที่ 14** การเปรียบเทียบความแตกต่างของความชื้นสัมพัทธ์ระหว่างอุปกรณ์ IoT เครื่องวัดดิจิทัล และ LogTag<sup>®</sup> ด้วยวิธี ANOVA

| แหล่งของความแปรปรวน | SS       | df  | MS      | F      | Sig.  |
|---------------------|----------|-----|---------|--------|-------|
| ระหว่างกลุ่ม        | 1783.073 | 5   | 356.615 | 33.412 | 0.000 |
| ภายในกลุ่ม          | 7620.631 | 714 | 10.673  |        |       |
| รวม                 | 9403.704 | 719 |         |        |       |

\* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

เพื่อทดสอบหาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยเป็นรายคู่ด้วย จึงเลือกใช้วิธี Scheffe' ในการทดสอบ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่าอุปกรณ์ IoT และเครื่องวัดดิจิทัล มีค่าเฉลี่ยของความชื้นสัมพัทธ์แตกต่างจาก LogTag<sup>®</sup> ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 15

ตารางที่ 15 การเปรียบเทียบพหุคูณของความชื้นสัมพัทธ์ระหว่างอุปกรณ์ IoT เครื่องวัดดิจิทัล และ LogTag®

| Dependent Variable Humidity: Test Scheffe' |            |                       |            |      |                         |             |
|--|------------|-----------------------|------------|------|-------------------------|-------------|
| (I) Device                                 | (J) Device | Mean Difference (I-J) | Std. Error | Sig. | 95% Confidence Interval |             |
|  |            |                       |            |      | Lower Bound             | Upper Bound |
| LogTag                                     | Manual     | .7817                 | .4218      | .633 | -.626                   | 2.189       |
|  | Device_01  | 2.7358*               | .4218      | .000 | 1.329                   | 4.143       |
|  | Device_02  | 3.3567*               | .4218      | .000 | 1.949                   | 4.764       |
|  | Device_03  | 4.4308*               | .4218      | .000 | 3.024                   | 5.838       |
|  | Device_04  | 3.5683*               | .4218      | .000 | 2.161                   | 4.976       |
| Manual                                     | LogTag     | -.7817                | .4218      | .633 | -2.189                  | .626        |
|  | Device_01  | 1.9542*               | .4218      | .001 | .547                    | 3.361       |
|  | Device_02  | 2.5750*               | .4218      | .000 | 1.168                   | 3.982       |
|  | Device_03  | 3.6492*               | .4218      | .000 | 2.242                   | 5.056       |
|  | Device_04  | 2.7867*               | .4218      | .000 | 1.379                   | 4.194       |
| Device_01                                  | LogTag     | -2.7358*              | .4218      | .000 | -4.143                  | -1.329      |
|  | Manual     | -1.9542*              | .4218      | .001 | -3.361                  | -.547       |
|  | Device_02  | .6208                 | .4218      | .825 | -.786                   | 2.028       |
|  | Device_03  | 1.6950*               | .4218      | .007 | .288                    | 3.102       |
|  | Device_04  | .8325                 | .4218      | .565 | -.575                   | 2.240       |
| Device_02                                  | LogTag     | -3.3567*              | .4218      | .000 | -4.764                  | -1.949      |
|  | Manual     | -2.5750*              | .4218      | .000 | -3.982                  | -1.168      |
|  | Device_01  | -.6208                | .4218      | .825 | -2.028                  | .786        |
|  | Device_03  | 1.0742                | .4218      | .263 | -.333                   | 2.481       |
|  | Device_04  | .2117                 | .4218      | .998 | -1.196                  | 1.619       |
| Device_03                                  | LogTag     | -4.4308*              | .4218      | .000 | -5.838                  | -3.024      |
|  | Manual     | -3.6492*              | .4218      | .000 | -5.056                  | -2.242      |
|  | Device_01  | -1.6950*              | .4218      | .007 | -3.102                  | -.288       |
|  | Device_02  | -1.0742               | .4218      | .263 | -2.481                  | .333        |
|  | Device_04  | -.8625                | .4218      | .524 | -2.270                  | .545        |
| Device_04                                  | LogTag     | -3.5683*              | .4218      | .000 | -4.976                  | -2.161      |
|  | Manual     | -2.7867*              | .4218      | .000 | -4.194                  | -1.379      |
|  | Device_01  | -.8325                | .4218      | .565 | -2.240                  | .575        |
|  | Device_02  | -.2117                | .4218      | .998 | -1.619                  | 1.196       |
|  | Device_03  | .8625                 | .4218      | .524 | -.545                   | 2.270       |

\* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

## การทดสอบที่ 2: การทดสอบประสิทธิภาพด้านอุณหภูมิ

### 2.1 เก็บข้อมูลทุก 30 นาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

เก็บข้อมูลอุณหภูมิทุกๆ 30 นาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แต่ละอุปกรณ์สุ่มเก็บข้อมูลทั้งหมด 49 ครั้ง รวมเป็นข้อมูลทั้งหมด 244 ข้อมูล ผลที่ได้จากการเก็บข้อมูลดังตารางที่ 16 อุณหภูมิจากอุปกรณ์ IoT 4 ตัวเปรียบเทียบกับ LogTag® แสดงในรูปค่าเฉลี่ยและความแปรปรวน เมื่อแสดงค่าเฉลี่ยจากน้อยไปมากได้ดังนี้ อุปกรณ์ที่ 1 เท่ากับ 22.45 อุปกรณ์ที่ 3 เท่ากับ 22.52 อุปกรณ์ที่ 2 เท่ากับ 22.77 และอุปกรณ์ที่ 4 เท่ากับ 22.99 ตามลำดับ

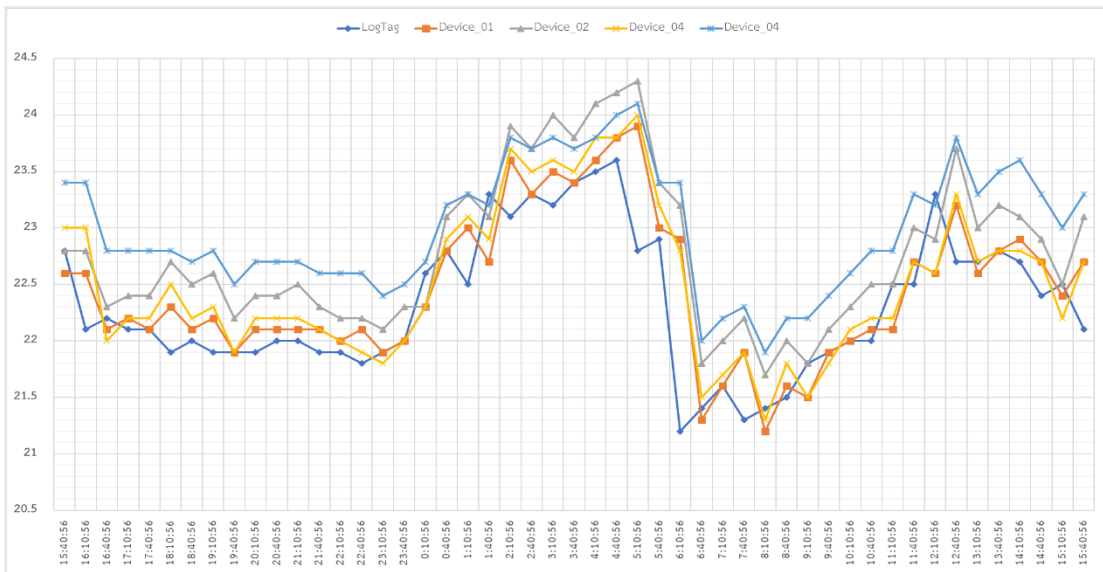
ตารางที่ 16 อุณหภูมิจากอุปกรณ์ IoT เปรียบเทียบระหว่าง LogTag®

| TIME     | LogTag® | Device_01 | Device_02 | Device_04 | Device_04 |
|----------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 15:40:56 | 22.8    | 22.6      | 22.8      | 23.0      | 23.4      |
| 16:10:56 | 22.1    | 22.6      | 22.8      | 23.0      | 23.4      |
| 16:40:56 | 22.2    | 22.1      | 22.3      | 22.0      | 22.8      |
| 17:10:56 | 22.1    | 22.2      | 22.4      | 22.2      | 22.8      |
| 17:40:56 | 22.1    | 22.1      | 22.4      | 22.2      | 22.8      |
| 18:10:56 | 21.9    | 22.3      | 22.7      | 22.5      | 22.8      |
| 18:40:56 | 22.0    | 22.1      | 22.5      | 22.2      | 22.7      |
| 19:10:56 | 21.9    | 22.2      | 22.6      | 22.3      | 22.8      |
| 19:40:56 | 21.9    | 21.9      | 22.2      | 21.9      | 22.5      |
| 20:10:56 | 21.9    | 22.1      | 22.4      | 22.2      | 22.7      |
| 20:40:56 | 22.0    | 22.1      | 22.4      | 22.2      | 22.7      |
| 21:10:56 | 22.0    | 22.1      | 22.5      | 22.2      | 22.7      |
| 21:40:56 | 21.9    | 22.1      | 22.3      | 22.1      | 22.6      |
| 22:10:56 | 21.9    | 22.0      | 22.2      | 22.0      | 22.6      |
| 22:40:56 | 21.8    | 22.1      | 22.2      | 21.9      | 22.6      |
| 23:10:56 | 21.9    | 21.9      | 22.1      | 21.8      | 22.4      |
| 23:40:56 | 22.0    | 22.0      | 22.3      | 22.0      | 22.5      |
| 0:10:56  | 22.6    | 22.3      | 22.3      | 22.3      | 22.7      |
| 0:40:56  | 22.8    | 22.8      | 23.1      | 22.9      | 23.2      |
| 1:10:56  | 22.5    | 23.0      | 23.3      | 23.1      | 23.3      |
| 1:40:56  | 23.3    | 22.7      | 23.1      | 22.9      | 23.2      |
| 2:10:56  | 23.1    | 23.6      | 23.9      | 23.7      | 23.8      |
| 2:40:56  | 23.3    | 23.3      | 23.7      | 23.5      | 23.7      |
| 3:10:56  | 23.2    | 23.5      | 24.0      | 23.6      | 23.8      |
| 3:40:56  | 23.4    | 23.4      | 23.8      | 23.5      | 23.7      |
| 4:10:56  | 23.5    | 23.6      | 24.1      | 23.8      | 23.8      |
| 4:40:56  | 23.6    | 23.8      | 24.2      | 23.8      | 24.0      |
| 5:10:56  | 22.8    | 23.9      | 24.3      | 24.0      | 24.1      |
| 5:40:56  | 22.9    | 23.0      | 23.4      | 23.2      | 23.4      |
| 6:10:56  | 21.2    | 22.9      | 23.2      | 22.8      | 23.4      |

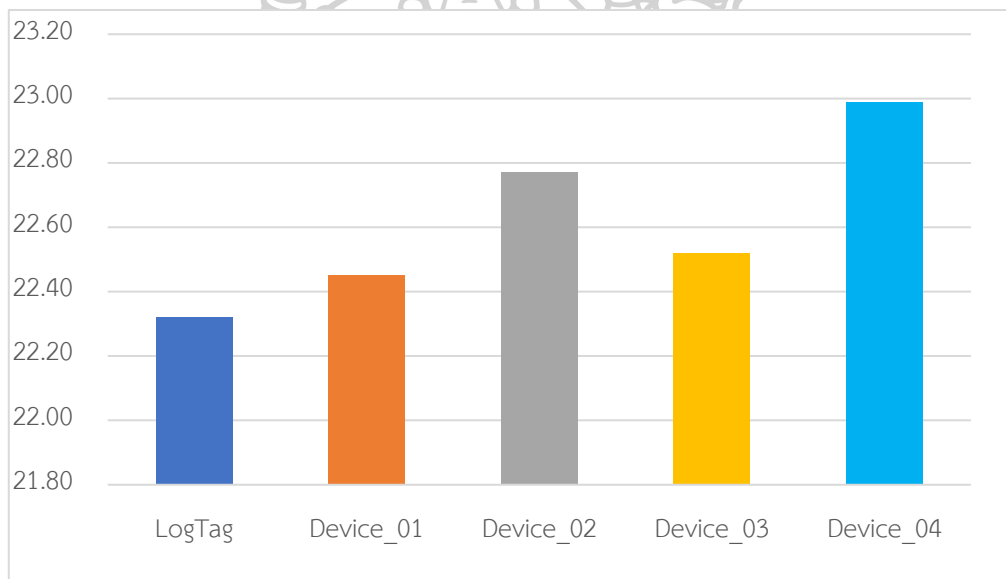
ตารางที่ 16 อุณหภูมิจากอุปกรณ์ IoT เปรียบเทียบระหว่าง LogTag® (ต่อ)

| TIME     | LogTag® | Device_01 | Device_02 | Device_04 | Device_04 |
|----------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 6:40:56  | 21.4    | 21.3      | 21.8      | 21.5      | 22.0      |
| 7:10:56  | 21.6    | 21.6      | 22.0      | 21.7      | 22.2      |
| 7:40:56  | 21.3    | 21.9      | 22.2      | 21.9      | 22.3      |
| 8:10:56  | 21.4    | 21.2      | 21.7      | 21.3      | 21.9      |
| 8:40:56  | 21.5    | 21.6      | 22.0      | 21.8      | 22.2      |
| 9:10:56  | 21.8    | 21.5      | 21.8      | 21.5      | 22.2      |
| 9:40:56  | 21.9    | 21.9      | 22.1      | 21.8      | 22.4      |
| 10:10:56 | 22.0    | 22.0      | 22.3      | 22.1      | 22.6      |
| 10:40:56 | 22.0    | 22.1      | 22.5      | 22.2      | 22.8      |
| 11:10:56 | 22.5    | 22.1      | 22.5      | 22.2      | 22.8      |
| 11:40:56 | 22.5    | 22.7      | 23.0      | 22.7      | 23.3      |
| 12:10:56 | 23.3    | 22.6      | 22.9      | 22.6      | 23.2      |
| 12:40:56 | 22.7    | 23.2      | 23.7      | 23.3      | 23.8      |
| 13:10:56 | 22.7    | 22.6      | 23.0      | 22.7      | 23.3      |
| 13:40:56 | 22.8    | 22.8      | 23.2      | 22.8      | 23.5      |
| 14:10:56 | 22.7    | 22.9      | 23.1      | 22.8      | 23.6      |
| 14:40:56 | 22.4    | 22.7      | 22.9      | 22.7      | 23.3      |
| 15:10:56 | 22.5    | 22.4      | 22.5      | 22.2      | 23.0      |
| 15:40:56 | 22.1    | 22.7      | 23.1      | 22.7      | 23.3      |
| MEAN     | 22.3204 | 22.451    | 22.7714   | 22.5163   | 22.9918   |
| SD_S     | 0.6178  | 0.6439    | 0.6742    | 0.6709    | 0.5548    |

ข้อมูลที่ได้จากตารางที่ 15 นำเสนอในรูปแบบกราฟเส้น ดังรูปที่ 53 กราฟอุณหภูมิเปรียบเทียบระหว่าง LogTag® กับอุปกรณ์ IoT ทุก 30 นาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบรูปแบบการกระจายตัวของข้อมูลอุปกรณ์ทั้ง 4 อุปกรณ์เกาะกลุ่มกันอย่างชัดเจนและมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกับ LogTag® แต่พบช่วงระยะความแตกต่างของอุณหภูมิ ในกลุ่มของอุปกรณ์ IoT และ LogTag® โดยเส้นกราฟของทั้งอุปกรณ์ทั้ง 4 มีการเคลื่อนไปทางด้านขวาของเส้นกราฟ LogTag® จากกราฟที่ 54 ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิของอุปกรณ์ IoT และ LogTag® จากน้อยไปมากได้ดังนี้ LogTag®, อุปกรณ์ที่ 1, 3, 2 และ 4 ตามลำดับ



รูปที่ 53 กราฟอุณหภูมิและเวลาเปรียบเทียบระหว่าง LogTag® กับอุปกรณ์ IoT  
ทุก 30 นาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง



รูปที่ 54 กราฟค่าเฉลี่ยอุณหภูมิเปรียบเทียบระหว่างระหว่าง LogTag® กับอุปกรณ์ IoT  
ทุก 30 นาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

ผลจากการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอุณหภูมิที่ได้จากอุปกรณ์ IoT และ LogTag® ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว พบว่ามีค่าเฉลี่ยของอุปกรณ์ IoT อย่างน้อย 1 อุปกรณ์ที่มีความแตกต่างจาก LogTag® อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในตารางที่ 17

ตารางที่ 17 การเปรียบเทียบความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างอุปกรณ์ IoT และ LogTag® ด้วยวิธี ANOVA

| แหล่งของความแปรปรวน | SS      | df  | MS    | F     | Sig.  |
|---------------------|---------|-----|-------|-------|-------|
| ระหว่างกลุ่ม        | 14.199  | 4   | 3.550 | 8.835 | 0.000 |
| ภายในกลุ่ม          | 96.426  | 240 | 0.402 |       |       |
| รวม                 | 110.624 | 244 |       |       |       |

\* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

เพื่อทดสอบหาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยเป็นรายคู่ด้วย จึงเลือกใช้วิธี Scheffe' ในการทดสอบที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่าอุปกรณ์ IoT มีค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิแตกต่างจาก LogTag® ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 18

ตารางที่ 18 การเปรียบเทียบพหุคูณของอุณหภูมิระหว่างอุปกรณ์ IoT และ LogTag®

| Dependent Variable: Temperature: Test Scheffe' |            |                       |            |      |                         |             |
|--|------------|-----------------------|------------|------|-------------------------|-------------|
| (I) Device                                     | (J) Device | Mean Difference (I-J) | Std. Error | Sig. | 95% Confidence Interval |             |
|  |            |                       |            |      | Lower Bound             | Upper Bound |
| LogTag   | Device_01  | -.1306                | .1281      | .903 | -.528                   | .267        |
|  | Device_02  | -.4510*               | .1281      | .016 | -.849                   | -.053       |
|  | Device_03  | -.1959                | .1281      | .674 | -.593                   | .202        |
|  | Device_04  | -.6714*               | .1281      | .000 | -1.069                  | -.274       |
| Device_01                                      | LogTag     | .1306                 | .1281      | .903 | -.267                   | .528        |
|  | Device_02  | -.3204                | .1281      | .184 | -.718                   | .077        |
|  | Device_03  | -.0653                | .1281      | .992 | -.463                   | .332        |
|  | Device_04  | -.5408*               | .1281      | .002 | -.938                   | -.143       |
| Device_02                                      | LogTag     | .4510*                | .1281      | .016 | .053                    | .849        |
|  | Device_01  | .3204                 | .1281      | .184 | -.077                   | .718        |
|  | Device_03  | .2551                 | .1281      | .413 | -.142                   | .653        |
|  | Device_04  | -.2204                | .1281      | .565 | -.618                   | .177        |
| Device_03                                      | LogTag     | .1959                 | .1281      | .674 | -.202                   | .593        |
|  | Device_01  | .0653                 | .1281      | .992 | -.332                   | .463        |
|  | Device_02  | -.2551                | .1281      | .413 | -.653                   | .142        |
|  | Device_04  | -.4755*               | .1281      | .009 | -.873                   | -.078       |
| Device_04                                      | LogTag     | .6714*                | .1281      | .000 | .274                    | 1.069       |
|  | Device_01  | .5408*                | .1281      | .002 | .143                    | .938        |
|  | Device_02  | .2204                 | .1281      | .565 | -.177                   | .618        |
|  | Device_03  | .4755*                | .1281      | .009 | .078                    | .873        |

\* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

## 2.2 เก็บข้อมูลทุก 30 วินาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

เก็บข้อมูลอุณหภูมิทุก 30 วินาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แต่ละอุปกรณ์สุ่มเก็บข้อมูลทั้งหมด 120 ครั้ง รวมเป็นข้อมูลทั้งหมด 719 ข้อมูล ผลที่ได้จากการเก็บข้อมูลดังตารางที่ 19 แสดงอุณหภูมิจากอุปกรณ์ IoT 4 ตัวเปรียบเทียบกับเครื่องวัดดิจิทัลและ LogTag® แสดงในรูปค่าเฉลี่ยและความแปรปรวน เมื่อแสดงค่าเฉลี่ยจากน้อยไปมากได้ดังนี้ เครื่องดิจิทัล เท่ากับ 21.20 LogTag® เท่ากับ 21.88 อุปกรณ์ที่ 1 เท่ากับ 21.93 อุปกรณ์ที่ 2 เท่ากับ 22.10 อุปกรณ์ที่ 4 เท่ากับ 22.11 และอุปกรณ์ที่ 3 เท่ากับ 22.81 ตามลำดับ

ตารางที่ 19 อุณหภูมิจากอุปกรณ์ IoT เปรียบเทียบระหว่างเครื่องวัดดิจิทัล และ LogTag®

| TIME    | LogTag | Manual | Device_01 | Device_02 | Device_03 | Device_04 |
|---------|--------|--------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 9:27:11 | 22.5   | 20.2   | 21.6      | 22.1      | 22.2      | 21.7      |
| 9:27:41 | 22.5   | 20.1   | 21.5      | 22.1      | 22.2      | 21.7      |
| 9:28:11 | 22.4   | 20.0   | 21.4      | 21.9      | 22.1      | 21.5      |
| 9:28:41 | 22.3   | 19.9   | 21.4      | 21.8      | 22.0      | 21.4      |
| 9:29:11 | 22.2   | 19.9   | 21.2      | 21.8      | 22.0      | 21.3      |
| 9:29:41 | 22.2   | 20.6   | 21.2      | 21.7      | 22.0      | 21.3      |
| 9:30:11 | 22.1   | 20.9   | 21.3      | 21.7      | 22.1      | 21.4      |
| 9:30:41 | 22.0   | 21.1   | 21.4      | 21.7      | 22.2      | 21.5      |
| 9:31:11 | 22.0   | 21.2   | 21.5      | 21.9      | 22.2      | 21.6      |
| 9:31:41 | 22.0   | 21.2   | 21.6      | 21.9      | 22.2      | 21.7      |
| 9:32:11 | 21.9   | 21.3   | 21.6      | 22.0      | 22.3      | 21.8      |
| 9:32:41 | 21.9   | 21.4   | 21.6      | 21.9      | 22.4      | 21.8      |
| 9:33:11 | 21.9   | 21.4   | 21.7      | 22.0      | 22.4      | 21.8      |
| 9:33:41 | 21.9   | 21.5   | 21.8      | 22.0      | 22.5      | 21.9      |
| 9:34:11 | 21.8   | 21.5   | 21.8      | 22.0      | 22.5      | 22.0      |
| 9:34:41 | 21.8   | 21.6   | 21.9      | 22.1      | 22.6      | 22.1      |
| 9:35:11 | 21.9   | 21.6   | 22.0      | 22.1      | 22.6      | 22.1      |
| 9:35:41 | 21.8   | 21.6   | 22.0      | 22.1      | 22.6      | 22.1      |
| 9:36:11 | 21.9   | 21.7   | 22.0      | 22.2      | 22.6      | 22.2      |
| 9:36:41 | 21.9   | 21.7   | 22.0      | 22.2      | 22.7      | 22.2      |
| 9:37:11 | 21.9   | 21.7   | 22.1      | 22.2      | 22.7      | 22.2      |
| 9:37:41 | 21.9   | 21.8   | 22.1      | 22.2      | 22.7      | 22.3      |
| 9:38:11 | 21.9   | 21.8   | 22.1      | 22.2      | 22.8      | 22.3      |
| 9:38:41 | 21.9   | 21.9   | 22.1      | 22.2      | 22.8      | 22.3      |
| 9:39:11 | 21.9   | 21.7   | 22.1      | 22.2      | 22.8      | 22.3      |
| 9:39:41 | 21.9   | 21.3   | 22.2      | 22.3      | 22.8      | 22.4      |
| 9:40:11 | 21.9   | 20.9   | 22.2      | 22.2      | 22.8      | 22.3      |
| 9:40:41 | 21.9   | 20.6   | 22.1      | 22.2      | 22.7      | 22.3      |
| 9:41:11 | 21.9   | 20.5   | 22.1      | 22.2      | 22.7      | 22.2      |

ตารางที่ 19 อุณหภูมิจากอุปกรณ์ IoT เปรียบเทียบระหว่างเครื่องวัดดิจิทัล และ LogTag® (ต่อ)

| TIME     | LogTag | Manual | Device_01 | Device_02 | Device_03 | Device_04 |
|----------|--------|--------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 9:41:41  | 21.9   | 20.4   | 22.0      | 22.1      | 22.7      | 22.1      |
| 9:42:11  | 21.9   | 20.3   | 21.9      | 22.0      | 22.6      | 22.0      |
| 9:42:41  | 21.9   | 20.1   | 21.8      | 22.0      | 22.6      | 21.9      |
| 9:43:11  | 21.8   | 20.1   | 21.7      | 21.9      | 22.5      | 21.8      |
| 9:43:41  | 21.8   | 20.1   | 21.6      | 21.8      | 22.5      | 21.7      |
| 9:44:11  | 21.8   | 20.0   | 21.6      | 21.7      | 22.4      | 21.7      |
| 9:44:41  | 21.7   | 19.9   | 21.5      | 21.7      | 22.4      | 21.6      |
| 9:45:11  | 21.7   | 19.9   | 21.5      | 21.7      | 22.4      | 21.5      |
| 9:45:41  | 21.7   | 20.3   | 21.4      | 21.6      | 22.3      | 21.4      |
| 9:46:11  | 21.6   | 20.9   | 21.3      | 21.5      | 22.3      | 21.4      |
| 9:46:41  | 21.6   | 21.1   | 21.3      | 21.5      | 22.3      | 21.4      |
| 9:47:11  | 21.6   | 21.2   | 21.4      | 21.6      | 22.3      | 21.5      |
| 9:47:41  | 21.6   | 21.3   | 21.5      | 21.7      | 22.4      | 21.7      |
| 9:48:11  | 21.6   | 21.4   | 21.6      | 21.7      | 22.4      | 21.7      |
| 9:48:41  | 21.6   | 21.4   | 21.6      | 21.8      | 22.5      | 21.8      |
| 9:49:11  | 21.6   | 21.5   | 21.7      | 21.8      | 22.5      | 21.8      |
| 9:49:41  | 21.6   | 21.5   | 21.7      | 21.9      | 22.5      | 21.9      |
| 9:50:11  | 21.6   | 21.6   | 21.8      | 21.9      | 22.6      | 22.0      |
| 9:50:41  | 21.6   | 21.6   | 21.8      | 22.0      | 22.6      | 22.0      |
| 9:51:11  | 21.6   | 21.7   | 21.9      | 22.0      | 22.6      | 22.0      |
| 9:51:41  | 21.6   | 21.7   | 22.0      | 22.0      | 22.7      | 22.1      |
| 9:52:11  | 21.6   | 21.7   | 22.0      | 22.1      | 22.7      | 22.2      |
| 9:52:41  | 21.6   | 21.8   | 22.0      | 22.1      | 22.7      | 22.2      |
| 9:53:11  | 21.7   | 21.8   | 22.1      | 22.2      | 22.8      | 22.2      |
| 9:53:41  | 21.7   | 21.9   | 22.1      | 22.2      | 22.8      | 22.3      |
| 9:54:11  | 21.7   | 21.9   | 22.1      | 22.2      | 22.8      | 22.3      |
| 9:54:41  | 21.7   | 21.3   | 22.1      | 22.2      | 22.8      | 22.3      |
| 9:55:11  | 21.8   | 20.9   | 22.2      | 22.2      | 22.8      | 22.4      |
| 9:55:41  | 21.8   | 20.8   | 22.2      | 22.3      | 22.9      | 22.4      |
| 9:56:11  | 21.8   | 20.6   | 22.2      | 22.2      | 22.8      | 22.4      |
| 9:56:41  | 21.8   | 20.6   | 22.1      | 22.2      | 22.8      | 22.3      |
| 9:57:11  | 21.8   | 20.5   | 22.0      | 22.2      | 22.8      | 22.2      |
| 9:57:41  | 21.8   | 20.4   | 22.0      | 22.1      | 22.8      | 22.1      |
| 9:58:11  | 21.8   | 20.4   | 21.9      | 22.1      | 22.8      | 22.1      |
| 9:58:41  | 21.8   | 20.4   | 21.9      | 22.1      | 22.7      | 22.1      |
| 9:59:11  | 21.8   | 20.9   | 21.8      | 22.0      | 22.7      | 22.0      |
| 9:59:41  | 21.8   | 21.3   | 21.8      | 22.0      | 22.7      | 21.9      |
| 10:00:11 | 21.8   | 21.4   | 21.8      | 21.9      | 22.7      | 21.9      |



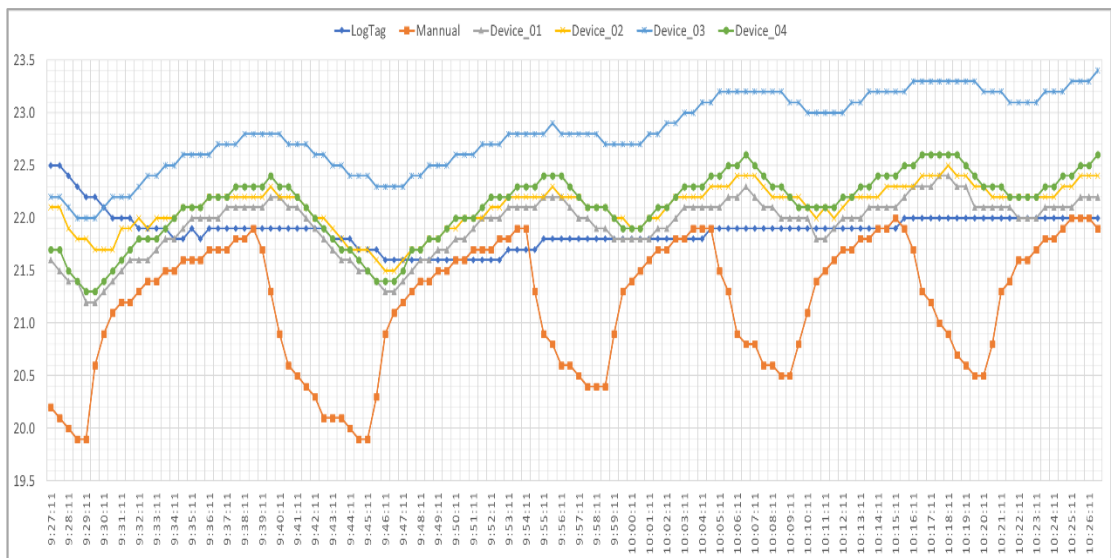
ตารางที่ 19 อุณหภูมิจากอุปกรณ์ IoT เปรียบเทียบระหว่างเครื่องวัดดิจิทัล และ LogTag® (ต่อ)

| TIME     | LogTag | Manual | Device_01 | Device_02 | Device_03 | Device_04 |
|----------|--------|--------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 10:00:41 | 21.8   | 21.5   | 21.8      | 21.9      | 22.7      | 21.9      |
| 10:01:11 | 21.8   | 21.6   | 21.8      | 22.0      | 22.8      | 22.0      |
| 10:01:41 | 21.8   | 21.7   | 21.9      | 22.0      | 22.8      | 22.1      |
| 10:02:11 | 21.8   | 21.7   | 21.9      | 22.1      | 22.9      | 22.1      |
| 10:02:41 | 21.8   | 21.8   | 22.0      | 22.2      | 22.9      | 22.2      |
| 10:03:11 | 21.8   | 21.8   | 22.1      | 22.2      | 23.0      | 22.3      |
| 10:03:41 | 21.8   | 21.9   | 22.1      | 22.2      | 23.0      | 22.3      |
| 10:04:11 | 21.8   | 21.9   | 22.1      | 22.2      | 23.1      | 22.3      |
| 10:04:41 | 21.9   | 21.9   | 22.1      | 22.3      | 23.1      | 22.4      |
| 10:05:11 | 21.9   | 21.5   | 22.1      | 22.3      | 23.2      | 22.4      |
| 10:05:41 | 21.9   | 21.3   | 22.2      | 22.3      | 23.2      | 22.5      |
| 10:06:11 | 21.9   | 20.9   | 22.2      | 22.4      | 23.2      | 22.5      |
| 10:06:41 | 21.9   | 20.8   | 22.3      | 22.4      | 23.2      | 22.6      |
| 10:07:11 | 21.9   | 20.8   | 22.2      | 22.4      | 23.2      | 22.5      |
| 10:07:41 | 21.9   | 20.6   | 22.1      | 22.3      | 23.2      | 22.4      |
| 10:08:11 | 21.9   | 20.6   | 22.1      | 22.2      | 23.2      | 22.3      |
| 10:08:41 | 21.9   | 20.5   | 22.0      | 22.2      | 23.2      | 22.3      |
| 10:09:11 | 21.9   | 20.5   | 22.0      | 22.2      | 23.1      | 22.2      |
| 10:09:41 | 21.9   | 20.8   | 22.0      | 22.2      | 23.1      | 22.1      |
| 10:10:11 | 21.9   | 21.1   | 22.0      | 22.1      | 23.0      | 22.1      |
| 10:10:41 | 21.9   | 21.4   | 21.8      | 22.0      | 23.0      | 22.1      |
| 10:11:11 | 21.9   | 21.5   | 21.8      | 22.1      | 23.0      | 22.1      |
| 10:11:41 | 21.9   | 21.6   | 21.9      | 22.0      | 23.0      | 22.1      |
| 10:12:11 | 21.9   | 21.7   | 22.0      | 22.1      | 23.0      | 22.2      |
| 10:12:41 | 21.9   | 21.7   | 22.0      | 22.2      | 23.1      | 22.2      |
| 10:13:11 | 21.9   | 21.8   | 22.0      | 22.2      | 23.1      | 22.3      |
| 10:13:41 | 21.9   | 21.8   | 22.1      | 22.2      | 23.2      | 22.3      |
| 10:14:11 | 21.9   | 21.9   | 22.1      | 22.2      | 23.2      | 22.4      |
| 10:14:41 | 21.9   | 21.9   | 22.1      | 22.3      | 23.2      | 22.4      |
| 10:15:11 | 21.9   | 22.0   | 22.1      | 22.3      | 23.2      | 22.4      |
| 10:15:41 | 22.0   | 21.9   | 22.2      | 22.3      | 23.2      | 22.5      |
| 10:16:11 | 22.0   | 21.7   | 22.3      | 22.3      | 23.3      | 22.5      |
| 10:16:41 | 22.0   | 21.3   | 22.3      | 22.4      | 23.3      | 22.6      |
| 10:17:11 | 22.0   | 21.2   | 22.3      | 22.4      | 23.3      | 22.6      |
| 10:17:41 | 22.0   | 21.0   | 22.4      | 22.4      | 23.3      | 22.6      |
| 10:18:11 | 22.0   | 20.9   | 22.4      | 22.5      | 23.3      | 22.6      |
| 10:18:41 | 22.0   | 20.7   | 22.3      | 22.4      | 23.3      | 22.6      |
| 10:19:11 | 22.0   | 20.6   | 22.3      | 22.4      | 23.3      | 22.5      |

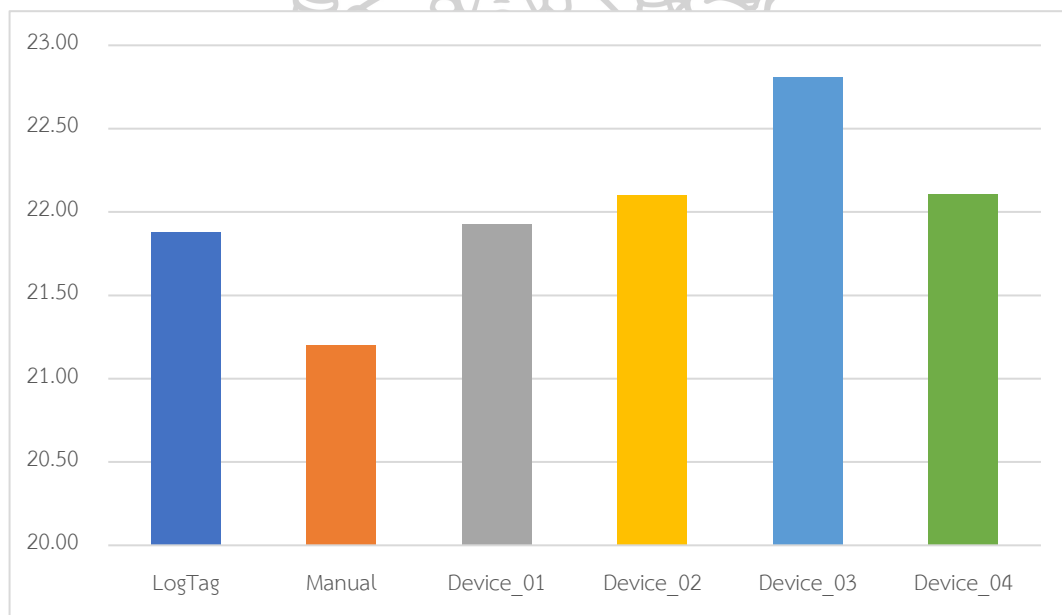
ตารางที่ 19 อุณหภูมิจากอุปกรณ์ IoT เปรียบเทียบระหว่างเครื่องวัดดิจิทัล และ LogTag® (ต่อ)

| TIME     | LogTag  | Manual  | Device_01 | Device_02 | Device_03 | Device_04 |
|----------|---------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 10:19:41 | 22.0    | 20.5    | 22.1      | 22.3      | 23.3      | 22.4      |
| 10:20:11 | 22.0    | 20.5    | 22.1      | 22.3      | 23.2      | 22.3      |
| 10:20:41 | 22.0    | 20.8    | 22.1      | 22.2      | 23.2      | 22.3      |
| 10:21:11 | 22.0    | 21.3    | 22.1      | 22.2      | 23.2      | 22.3      |
| 10:21:41 | 22.0    | 21.4    | 22.1      | 22.2      | 23.1      | 22.2      |
| 10:22:11 | 22.0    | 21.6    | 22.0      | 22.2      | 23.1      | 22.2      |
| 10:22:41 | 22.0    | 21.6    | 22.0      | 22.2      | 23.1      | 22.2      |
| 10:23:11 | 22.0    | 21.7    | 22.0      | 22.2      | 23.1      | 22.2      |
| 10:23:41 | 22.0    | 21.8    | 22.1      | 22.2      | 23.2      | 22.3      |
| 10:24:11 | 22.0    | 21.8    | 22.1      | 22.2      | 23.2      | 22.3      |
| 10:24:41 | 22.0    | 21.9    | 22.1      | 22.3      | 23.2      | 22.4      |
| 10:25:11 | 22.0    | 22.0    | 22.1      | 22.3      | 23.3      | 22.4      |
| 10:25:41 | 22.0    | 22.0    | 22.2      | 22.4      | 23.3      | 22.5      |
| 10:26:11 | 22.0    | 22.0    | 22.2      | 22.4      | 23.3      | 22.5      |
| 10:26:41 | 22.0    | 21.9    | 22.2      | 22.4      | 23.4      | 22.6      |
| MEAN     | 21.8783 | 21.1983 | 21.9283   | 22.1008   | 22.8083   | 22.1133   |
| SD S     | 0.1669  | 0.6062  | 0.2745    | 0.2151    | 0.3600    | 0.3273    |

ข้อมูลที่ได้จากตารางที่ 19 นำเสนอในรูปแบบกราฟเส้น ดังรูปที่ 55 กราฟอุณหภูมิเปรียบเทียบระหว่าง LogTag® เครื่องวัดดิจิทัลกับอุปกรณ์ IoT ทุก 30 วินาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง พบรูปแบบการกระจายตัวของข้อมูลของอุปกรณ์ที่ 1, 2 และ 4 เกาะกลุ่มกันอย่างชัดเจนและมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกับ LogTag® โดยเส้นกราฟของทั้งอุปกรณ์ทั้ง 4 อุปกรณ์มีการเคลื่อนไปทางด้านขวาของเส้นกราฟ LogTag® ส่วนเส้นกราฟของเครื่องวัดดิจิทัลเคลื่อนไปทางซ้ายของเส้นกราฟ LogTag® จากรูปที่ 56 กราฟค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของอุปกรณ์ IoT เครื่องวัดดิจิทัล และ LogTag® จากน้อยไปมากได้ดังนี้คือ เครื่องวัดดิจิทัล LogTag®, อุปกรณ์ที่ 1, 2, 4, และ 3 ตามลำดับ



รูปที่ 55 กราฟอุณหภูมิเปรียบเทียบระหว่าง LogTag® อุปกรณ์ IoT และเครื่องวัดดิจิทัลที่ทุก 30 วินาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง



รูปที่ 56 กราฟค่าเฉลี่ยอุณหภูมิเปรียบเทียบระหว่าง LogTag® อุปกรณ์ IoT และเครื่องวัดดิจิทัล ทุก 30 วินาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

ผลจากการเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิที่ได้จากอุปกรณ์ IoT เครื่องวัดดิจิทัล และ LogTag® ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว พบว่ามีค่าเฉลี่ยของอุปกรณ์ IoT และเครื่องวัดดิจิทัลอย่างน้อย 1 อุปกรณ์ที่มีความแตกต่างจาก LogTag® อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในตารางที่ 20

ตารางที่ 20 การเปรียบเทียบความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างอุปกรณ์ IoT เครื่องวัดดิจิทัลและ LogTag® ด้วยวิธี ANOVA

| แหล่งของความแปรปรวน | SS      | df  | MS     | F       | Sig.  |
|---------------------|---------|-----|--------|---------|-------|
| ระหว่างกลุ่ม        | 160.668 | 5   | 32.134 | 253.665 | 0.000 |
| ภายในกลุ่ม          | 90.447  | 714 | 0.127  |         |       |
| รวม                 | 251.115 | 719 |        |         |       |

\* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

เพื่อทดสอบหาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยเป็นรายคู่ด้วย จึงเลือกใช้วิธี Scheffe' ในการทดสอบ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่าอุปกรณ์ IoT และเครื่องวัดดิจิทัล มีค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิแตกต่างจาก LogTag® ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 21

ตารางที่ 21 การเปรียบเทียบพหุคูณของอุณหภูมิระหว่างอุปกรณ์ IoT เครื่องวัดดิจิทัล และ LogTag®

| Dependent Variable Temperature: Test Scheffe' |            |                       |            |       |                         |             |
|---|------------|-----------------------|------------|-------|-------------------------|-------------|
| (I) Device                                    | (J) Device | Mean Difference (I-J) | Std. Error | Sig.  | 95% Confidence Interval |             |
|   |            |                       |            |       | Lower Bound             | Upper Bound |
| LogTag  | Manual     | .6800*                | .0459      | .000  | .527                    | .833        |
|   | Device_01  | -.0500                | .0459      | .946  | -.203                   | .103        |
|   | Device_02  | -.2225*               | .0459      | .000  | -.376                   | -.069       |
|   | Device_03  | -.9300*               | .0459      | .000  | -1.083                  | -.777       |
|   | Device_04  | -.2350*               | .0459      | .000  | -.388                   | -.082       |
| Manual  | LogTag     | -.6800*               | .0459      | .000  | -.833                   | -.527       |
|   | Device_01  | -.7300*               | .0459      | .000  | -.883                   | -.577       |
|   | Device_02  | -.9025*               | .0459      | .000  | -1.056                  | -.749       |
|   | Device_03  | -1.6100*              | .0459      | .000  | -1.763                  | -1.457      |
|   | Device_04  | -.9150*               | .0459      | .000  | -1.068                  | -.762       |
| Device_01                                     | LogTag     | .0500                 | .0459      | .946  | -.103                   | .203        |
|   | Manual     | .7300*                | .0459      | .000  | .577                    | .883        |
|   | Device_02  | -.1725*               | .0459      | .016  | -.326                   | -.019       |
|   | Device_03  | -.8800*               | .0459      | .000  | -1.033                  | -.727       |
|   | Device_04  | -.1850*               | .0459      | .007  | -.338                   | -.032       |
| Device_02                                     | LogTag     | .2225*                | .0459      | .000  | .069                    | .376        |
|   | Manual     | .9025*                | .0459      | .000  | .749                    | 1.056       |
|   | Device_01  | .1725*                | .0459      | .016  | .019                    | .326        |
|   | Device_03  | -.7075*               | .0459      | .000  | -.861                   | -.554       |
|   | Device_04  | -.0125                | .0459      | 1.000 | -.166                   | .141        |

ตารางที่ 21 การเปรียบเทียบพหุคูณของอุณหภูมิระหว่างอุปกรณ์ IoT เครื่องวัดดิจิทัล และ LogTag® (ต่อ)

| Dependent Variable Temperature: Test Scheffe' |            |                       |            |       |                         |             |
|---|------------|-----------------------|------------|-------|-------------------------|-------------|
| (I) Device                                    | (J) Device | Mean Difference (I-J) | Std. Error | Sig.  | 95% Confidence Interval |             |
|   |            |                       |            |       | Lower Bound             | Lower Bound |
| Device_03                                     | LogTag     | .9300*                | .0459      | .000  | .777                    | 1.083       |
|   | Manual     | 1.6100*               | .0459      | .000  | 1.457                   | 1.763       |
|   | Device_01  | .8800*                | .0459      | .000  | .727                    | 1.033       |
|   | Device_02  | .7075*                | .0459      | .000  | .554                    | .861        |
|   | Device_04  | .6950*                | .0459      | .000  | .542                    | .848        |
| Device_04                                     | LogTag     | .2350*                | .0459      | .000  | .082                    | .388        |
|   | Manual     | .9150*                | .0459      | .000  | .762                    | 1.068       |
|   | Device_01  | .1850*                | .0459      | .007  | .032                    | .338        |
|   | Device_02  | .0125                 | .0459      | 1.000 | -.141                   | .166        |
|   | Device_03  | -.6950*               | .0459      | .000  | -.848                   | -.542       |

\* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

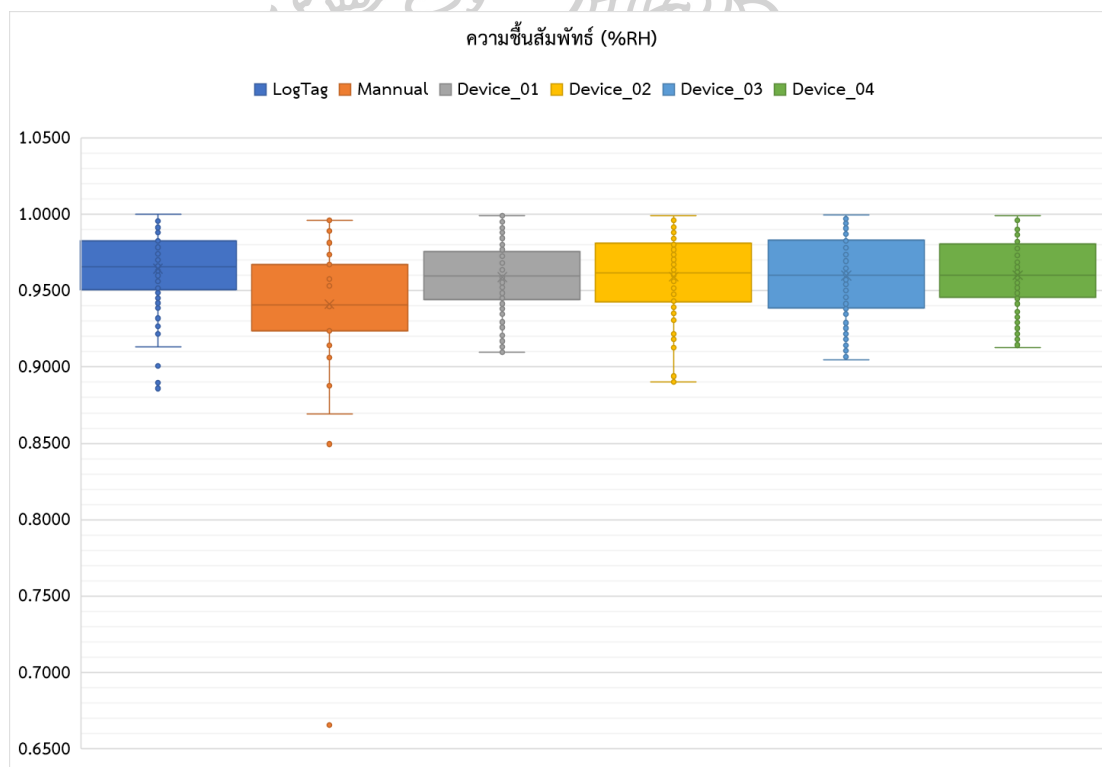


### การทดสอบที่ 3: การทดสอบความเที่ยงของเครื่องมือ

ความน่าเชื่อถือของข้อมูล สามารถพิจารณาได้จาก 2 ส่วนด้วยกัน 1) ความเที่ยง (Precision) คือความใกล้เคียงกันของค่าที่ได้จากการวัดซ้ำ และ 2) ความแม่นยำ (Accuracy) คือความใกล้เคียงของค่าเฉลี่ยจากการวัดซ้ำเทียบกับค่าจริง

#### ค่าความเที่ยงของความชื้นสัมพัทธ์

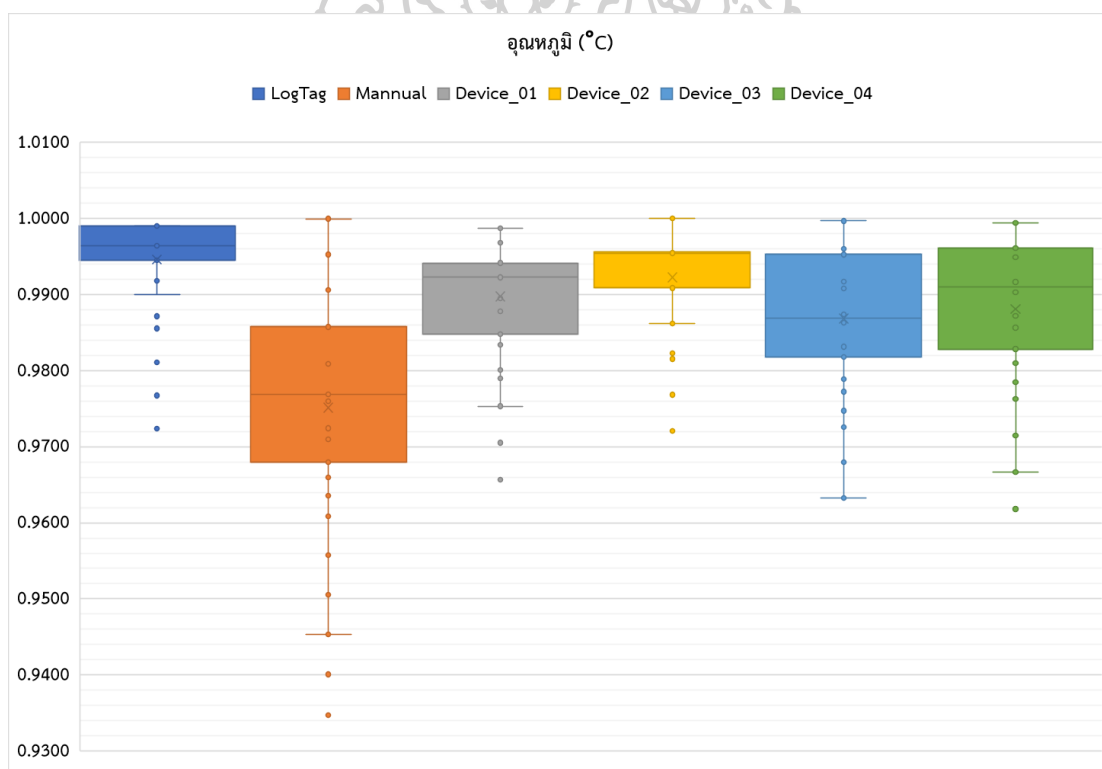
จากกราฟที่ 57 แสดงความเที่ยงของความชื้นสัมพัทธ์จากอุปกรณ์ IoT LogTag<sup>®</sup> และเครื่องวัดดิจิทัล นำเสนอเป็นกราฟกล่อง (Box plot) พบการกระจายตัวของค่าความเที่ยงอยู่ในช่วง 1.000 - 0.650 โดยกราฟของ LogTag<sup>®</sup> มีการกระจายตัวของข้อมูลแบบสมมาตรเป็นระฆังคว่ำ พบข้อมูลที่ผิดปกติที่ออกนอกช่วง (Outliner) กราฟของอุปกรณ์ IoT พบอุปกรณ์ที่ 1, 2, 3 และอุปกรณ์ที่ 4 ที่มีการกระจายตัวของข้อมูลเป็นแบบสมมาตร ไม่พบข้อมูลผิดปกติที่ออกนอกช่วง และเครื่องวัดดิจิทัลพบการกระจายของข้อมูลเบ้ขวา มีข้อมูลผิดปกติที่ออกนอกช่วง ทุกกราฟค่าเฉลี่ยและค่ากลางมีค่าใกล้เคียงกัน ทำให้สามารถสรุปได้ว่าข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์มีความเที่ยงต่ำ เนื่องจากมีจุดของข้อมูลที่กระจายตัวทั้ง 4 ควอไทล์ และมีความแม่นยำสูงเนื่องจากมีค่ากลางที่ใกล้เคียงกันภายในกลุ่มอุปกรณ์ แต่อาจจะมีค่าแตกต่างเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับ LogTag<sup>®</sup> และมีความแตกต่างเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องวัดดิจิทัล



รูปที่ 57 กราฟความเที่ยงตรงของความชื้นสัมพัทธ์เปรียบเทียบระหว่าง LogTag<sup>®</sup> อุปกรณ์ IoT และเครื่องวัดดิจิทัล

### ค่าความเที่ยงของอุณหภูมิ

จากกราฟที่ 58 แสดงความเที่ยงของอุณหภูมิจากอุปกรณ์ IoT LogTag® และเครื่องวัดดิจิทัล นำเสนอเป็นกราฟกล่อง พบการกระจายตัวของค่าความเที่ยงในช่วงของ 1.000 - 0.930 โดยกราฟ LogTag® มีการกระจายตัวของข้อมูลแบบสมมาตรเป็นระฆังคว่ำ พบข้อมูลผิดปกติที่ออกนอกช่วง (Outliner) กราฟจากอุปกรณ์ IoT พบอุปกรณ์ที่ 1 และ 2 มีการกระจายตัวของข้อมูลแบบเบ้ซ้าย อุปกรณ์ที่ 3 และ 4 มีการกระจายตัวของข้อมูลเป็นแบบเบ้ขวา อุปกรณ์ที่ 1, 2 และ 3 พบข้อมูลผิดปกติที่ออกนอกช่วง และเครื่องวัดดิจิทัลมีการกระจายของข้อมูลแบบสมมาตร พบข้อมูลผิดปกติที่ออกนอกช่วง สามารถสรุปได้ว่าข้อมูลอุณหภูมิมีความเที่ยงสูง เนื่องจากมีจุดของข้อมูลที่กระจายตัวทั้ง 4 ควอไทล์น้อยกว่า และมีความแม่นยำสูง เนื่องจากมีค่ากลางที่ใกล้เคียงกันภายในกลุ่มอุปกรณ์ แต่อาจมีความแตกต่างเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับ LogTag® และมีความแตกต่างเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องวัดดิจิทัล



รูปที่ 58 กราฟความเที่ยงตรงของอุณหภูมิเปรียบเทียบระหว่าง LogTag®  
อุปกรณ์ IoT และเครื่องวัดดิจิทัล

#### การทดสอบที่ 4: การทดสอบปัจจัยที่ส่งผลต่อความแปรปรวนของข้อมูลจากการทดสอบที่ 1 และ 2

จากผลการทดสอบที่ 1 และ 2 พบข้อมูลมีการแกว่งขึ้นลงเป็นรอบๆ อย่างชัดเจน ทั้งในอุปกรณ์ IoT เครื่องวัดดิจิทัล และ LogTag® โดยผู้วิจัยตั้งข้อสังเกตว่าอาจเป็นผลมาจากเครื่องปรับอากาศ ที่มีการตั้งการทำงานเปิด/ปิด ตามอุณหภูมิ ดังนั้นอาจเป็นสาเหตุของข้อมูลที่เกิดขึ้นในการทดสอบดังกล่าวได้ การทดสอบนี้ จึงนำ LogTag® วางในบ้านพัก โดยปิดเครื่องปรับอากาศ เก็บข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นทุก 30 วินาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง สุ่มเก็บข้อมูลทั้งหมด 120 ครั้ง ผลที่ได้ดังตารางที่ 22 อุณหภูมิและความชื้นสัมพันธ์จาก LogTag® มีค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิเท่ากับ 29.55 ความแปรปรวนเท่ากับ 0.46 และค่าเฉลี่ยของความชื้นสัมพันธ์เท่ากับ 52.56 ความแปรปรวนเท่ากับ 0.88

#### ตารางที่ 22 อุณหภูมิและความชื้นสัมพันธ์ของ LogTag®

| TIME     | Temperature | Humidity |
|----------|-------------|----------|
| 20:34:07 | 26.90       | 56.30    |
| 20:34:37 | 27.40       | 56.70    |
| 20:35:07 | 27.80       | 56.00    |
| 20:35:37 | 28.10       | 55.40    |
| 20:36:07 | 28.30       | 55.10    |
| 20:36:37 | 28.50       | 54.90    |
| 20:37:07 | 28.70       | 54.70    |
| 20:37:37 | 28.80       | 54.50    |
| 20:38:07 | 28.90       | 54.30    |
| 20:38:37 | 29.00       | 54.10    |
| 20:39:07 | 29.10       | 53.60    |
| 20:39:37 | 29.10       | 53.40    |
| 20:40:07 | 29.20       | 52.30    |
| 20:40:37 | 29.20       | 52.70    |
| 20:41:07 | 29.30       | 52.50    |
| 20:41:37 | 29.30       | 52.70    |
| 20:42:07 | 29.30       | 52.50    |
| 20:42:37 | 29.40       | 52.60    |
| 20:43:07 | 29.40       | 52.70    |
| 20:43:37 | 29.40       | 52.60    |
| 20:44:07 | 29.50       | 52.50    |
| 20:44:37 | 29.50       | 52.40    |
| 20:45:07 | 29.50       | 52.40    |



ตารางที่ 22 อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของ LogTag® (ต่อ)

| TIME     | Temperature | Humidity |
|----------|-------------|----------|
| 20:45:37 | 29.50       | 52.20    |
| 20:46:07 | 29.60       | 52.40    |
| 20:46:37 | 29.60       | 52.50    |
| 20:47:07 | 29.60       | 52.40    |
| 20:47:37 | 29.60       | 52.30    |
| 20:48:07 | 29.60       | 52.40    |
| 20:48:37 | 29.60       | 52.40    |
| 20:49:07 | 29.60       | 52.50    |
| 20:49:37 | 29.60       | 52.40    |
| 20:50:07 | 29.60       | 52.40    |
| 20:50:37 | 29.60       | 52.30    |
| 20:51:07 | 29.70       | 52.30    |
| 20:51:37 | 29.70       | 52.20    |
| 20:52:07 | 29.70       | 52.20    |
| 20:52:37 | 29.70       | 52.20    |
| 20:53:07 | 29.70       | 52.00    |
| 20:53:37 | 29.70       | 52.10    |
| 20:54:07 | 29.70       | 52.20    |
| 20:54:37 | 29.70       | 52.00    |
| 20:55:07 | 29.70       | 52.10    |
| 20:55:37 | 29.70       | 51.90    |
| 20:56:07 | 29.70       | 52.10    |
| 20:56:37 | 29.70       | 51.90    |
| 20:57:07 | 29.70       | 52.00    |
| 20:57:37 | 29.70       | 52.00    |
| 20:58:07 | 29.70       | 52.00    |
| 20:58:37 | 29.70       | 52.20    |
| 20:59:07 | 29.70       | 52.20    |
| 20:59:37 | 29.70       | 52.10    |
| 21:00:07 | 29.70       | 52.20    |
| 21:00:37 | 29.80       | 52.30    |
| 21:01:07 | 29.70       | 52.30    |
| 21:01:37 | 29.70       | 52.30    |

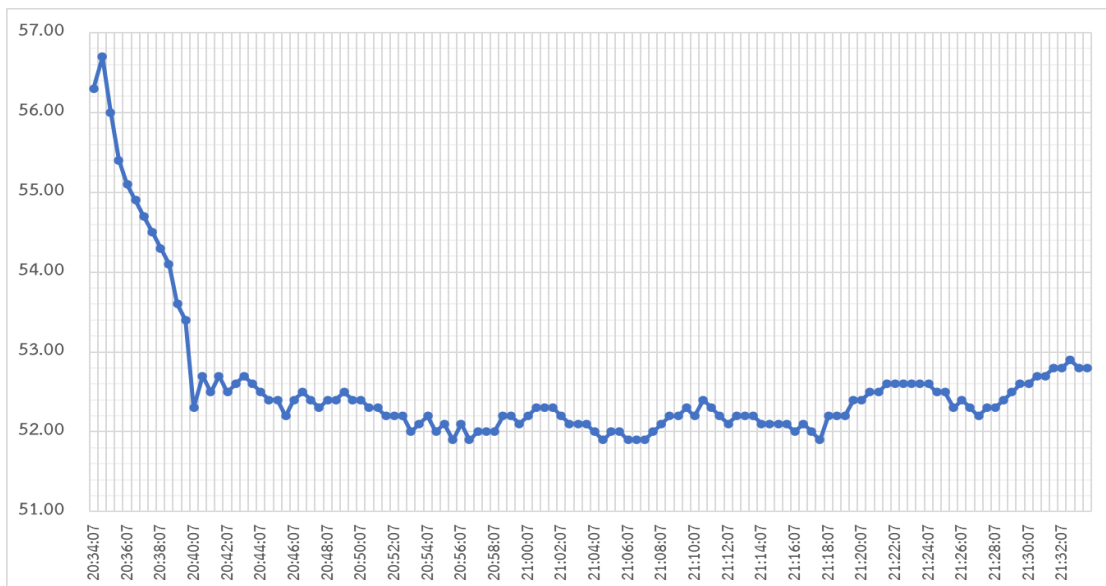
ตารางที่ 22 อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของ LogTag® (ต่อ)

| TIME     | Temperature | Humidity |
|----------|-------------|----------|
| 21:02:07 | 29.80       | 52.20    |
| 21:02:37 | 29.80       | 52.10    |
| 21:03:07 | 29.70       | 52.10    |
| 21:03:37 | 29.70       | 52.10    |
| 21:04:07 | 29.80       | 52.00    |
| 21:04:37 | 29.80       | 51.90    |
| 21:05:07 | 29.80       | 52.00    |
| 21:05:37 | 29.80       | 52.00    |
| 21:06:07 | 29.80       | 51.90    |
| 21:06:37 | 29.80       | 51.90    |
| 21:07:07 | 29.80       | 51.90    |
| 21:07:37 | 29.80       | 52.00    |
| 21:08:07 | 29.80       | 52.10    |
| 21:08:37 | 29.70       | 52.20    |
| 21:09:07 | 29.70       | 52.20    |
| 21:09:37 | 29.80       | 52.30    |
| 21:10:07 | 29.70       | 52.20    |
| 21:10:37 | 29.80       | 52.40    |
| 21:11:07 | 29.80       | 52.30    |
| 21:11:37 | 29.80       | 52.20    |
| 21:12:07 | 29.80       | 52.10    |
| 21:12:37 | 29.80       | 52.20    |
| 21:13:07 | 29.70       | 52.20    |
| 21:13:37 | 29.80       | 52.20    |
| 21:14:07 | 29.80       | 52.10    |
| 21:14:37 | 29.80       | 52.10    |
| 21:15:07 | 29.70       | 52.10    |
| 21:15:37 | 29.80       | 52.10    |
| 21:16:07 | 29.70       | 52.00    |
| 21:16:37 | 29.80       | 52.10    |
| 21:17:07 | 29.70       | 52.00    |
| 21:17:37 | 29.70       | 51.90    |
| 21:18:07 | 29.70       | 52.20    |

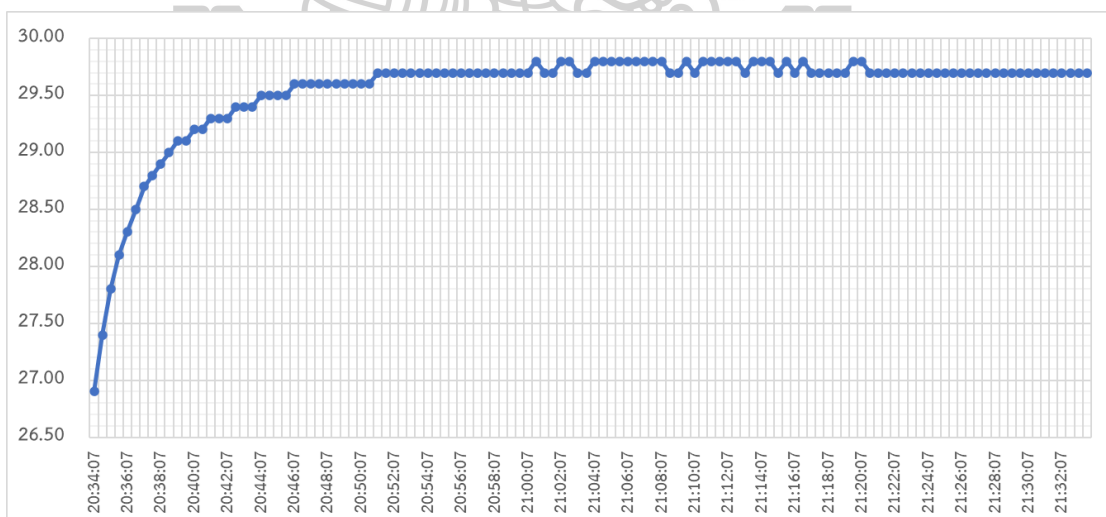
ตารางที่ 22 อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของ LogTag® (ต่อ)

| TIME            | Temperature | Humidity |
|-----------------|-------------|----------|
| 21:18:37        | 29.70       | 52.20    |
| 21:19:07        | 29.70       | 52.20    |
| 21:19:37        | 29.80       | 52.40    |
| 21:20:07        | 29.80       | 52.40    |
| 21:20:37        | 29.70       | 52.50    |
| 21:21:07        | 29.70       | 52.50    |
| 21:21:37        | 29.70       | 52.60    |
| 21:22:07        | 29.70       | 52.60    |
| 21:22:37        | 29.70       | 52.60    |
| 21:23:07        | 29.70       | 52.60    |
| 21:23:37        | 29.70       | 52.60    |
| 21:24:07        | 29.70       | 52.60    |
| 21:24:37        | 29.70       | 52.50    |
| 21:25:07        | 29.70       | 52.50    |
| 21:25:37        | 29.70       | 52.30    |
| 21:26:07        | 29.70       | 52.40    |
| 21:26:37        | 29.70       | 52.30    |
| 21:27:07        | 29.70       | 52.20    |
| 21:27:37        | 29.70       | 52.30    |
| 21:28:07        | 29.70       | 52.30    |
| 21:28:37        | 29.70       | 52.40    |
| 21:29:07        | 29.70       | 52.50    |
| 21:29:37        | 29.70       | 52.60    |
| 21:30:07        | 29.70       | 52.60    |
| 21:30:37        | 29.70       | 52.70    |
| 21:31:07        | 29.70       | 52.70    |
| 21:31:37        | 29.70       | 52.80    |
| 21:32:07        | 29.70       | 52.80    |
| 21:32:37        | 29.70       | 52.90    |
| 21:33:07        | 29.70       | 52.80    |
| 21:33:37        | 29.70       | 52.80    |
| MEAN            | 29.55       | 52.56    |
| SD <sub>S</sub> | 0.46        | 0.88     |

เมื่อนำข้อมูลที่ได้จากตารางที่ 22 นำเสนอกราฟความสัมพันธ์อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์กับเวลาพบว่า กราฟที่ 59 แสดงความสัมพันธ์ของ LogTag® ทุก 30 วินาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ที่สถานะที่ปิดเครื่องปรับอากาศจะพบความสัมพันธ์มีค่าคงที่ ไม่พบการแปรปรวนของข้อมูล ซึ่งสอดคล้องกับกราฟที่ 60 แสดงอุณหภูมิของ LogTag® ทุก 30 วินาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง พบว่าข้อมูลจากกราฟของอุณหภูมิคงที่เช่นเดียวกัน



รูปที่ 59 กราฟความสัมพันธ์ของ LogTag® ทุก 30 วินาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง



รูปที่ 60 กราฟอุณหภูมิของ LogTag® ทุก 30 วินาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

#### 4.4 การศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของอุปกรณ์ IoT ผ่านเครือข่ายไร้สาย

เป็นการศึกษาเปรียบเทียบระหว่าง 2 โครงการกับระบบการรายงานแบบเดิม ดังต่อไปนี้

1) อุปกรณ์ IoT จากผู้ให้บริการสัญญาณเครือข่าย LoRaWAN 2) อุปกรณ์ IoT ที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นใช้สัญญาณเครือข่าย Wi-Fi และ 3) ระบบติดตามอุณหภูมิและความชื้นแบบเดิม (แบบเครื่องวัดดิจิทัล และใช้คนในการบันทึกผล)

##### 4.4.1 การวิเคราะห์ข้อมูลพื้นฐานของต้นทุนและผลได้ของแต่ละโครงการ

**A. ต้นทุน** คือผลรวมที่เกิดจากค่าใช้จ่ายทั้งหมด ประเมินจากใบเสนอราคาของผู้ให้บริการสัญญาณเครือข่าย LoRaWAN (ภาคผนวก ข) ค่าอุปกรณ์ IoT โดยแสดงรายละเอียดในหัวข้อ CBA ของแต่ละโครงการ

**B. ประโยชน์จากเทคโนโลยี** คิดจาก 2 ส่วนที่แทนที่ด้วยเทคโนโลยีใหม่คือ 1) มูลค่าที่ประหยัดได้ (Saving) และ 2) รายได้ที่เพิ่มขึ้น (WTP)

**B1 Saving:** ที่ประหยัดได้จากการแทนที่ด้วยเทคโนโลยีใหม่

**B1.1 Time saving\*:** เวลาที่เจ้าหน้าที่ใช้ในการลงอุณหภูมิ แบ่งเป็นในเวลาราชการ และนอกเวลาราชการ

**B1.1.1 เปิด/ปิดห้องเพื่อจดบันทึกอุณหภูมิและระยะเวลาการเดินทาง** จุดละ 15 นาที x 6 จุด = 90 นาที (ห้องยาในไม่ต้องเปิด)

- ค่าแรงเจ้าพนักงานเภสัชกรรม 576.00 บาท/8 ชั่วโมง = 1.20 บาท/นาที
- 1 วัน มีการลงข้อมูล 2 ครั้ง (เช้า - เย็น) = 180 นาที x 1.20 บาท
- ค่าแรง = 432 บาท/วัน (1 วันใช้เจ้าหน้าที่ 2 คน)
- ดังนั้น 1 เดือน (30 วัน) = 672 บาท x 30 วัน = 12,960.00 บาท/เดือน

**B1.1.2 จดบันทึกอุณหภูมิ** จุดละ 3 นาที x 21 จุด = 63 นาที

- ค่าแรงเจ้าพนักงานเภสัชกรรม 576.00 บาท/8 ชั่วโมง = 1.20 บาท/นาที
- 1 วัน มีการลงข้อมูล 2 ครั้ง (เช้า - เย็น) = 126 นาที x 1.20 บาท
- ค่าแรง = 302.40 บาท/วัน (1 วันใช้เจ้าหน้าที่ 2 คน)
- ดังนั้น 1 เดือน (30 วัน) = 302.40 บาท x 30 วัน = 9,072.00 บาท/เดือน

**B1.1.3 เปิด/ปิด เครื่องปรับอากาศ** จุดละ 1 นาที x 7 จุด = 7 นาที

- ค่าแรงเจ้าพนักงานเภสัชกรรม 576.00 บาท/8 ชั่วโมง = 1.20 บาท/นาที
- 1 วัน มีการเปิด/ปิดเครื่องปรับอากาศ 2 ครั้ง (เช้า - เย็น) = 14 นาที x 1.20 บาท
- ค่าแรง = 33.60 บาท/วัน (1 วันใช้เจ้าหน้าที่ 2 คน)
- ดังนั้น 1 เดือน (30 วัน) = 33.60 บาท x 30 วัน = 1,008.00 บาท/เดือน

**B1.2 Time saving\*:** การวิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผลงานประจำปี ซึ่งข้อมูลเป็น electronic data และสามารถสืบค้นข้อมูลย้อนหลังได้ง่ายและสะดวกรวดเร็ว

### B1.2.1 การลงข้อมูล electronic data

- ลงข้อมูล electronic data จุดละ 2 นาที x 21 จุด = 42 นาที/วัน (เช้า - เย็น)
- ค่าแรง = 100.80 บาท/วัน (1 วันใช้เจ้าหน้าที่ 2 คน)
- ดังนั้น 1 เดือน = 100.80 บาท x 30 วัน = 3,024.00 บาท/เดือน

**B1.2.2 การวิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผลงานประจำปี การจัดทำ Dashboard Monitoring**

- ค่าแรงเภสัชกร 864.00 บาท/8 ชั่วโมง x 2 วัน
- ดังนั้น 1 เดือน = 1,728 บาท/เดือน

### B1.2.3 การสรุปผลเป็นรายเดือน

- ค่าแรงเภสัชกร 864.00 บาท/8 ชั่วโมง = 1.80 บาท/นาที
- ดังนั้น 1 เดือน = 120 นาที x 1.80 บาท = 216.00 บาท/เดือน

\*แปลงเป็นเงินโดยการเฉลี่ยจากเงินเดือนรายวัน (ในเวลาราชการ) และค่าเวร (นอกเวลาราชการ) x จำนวนคนที่สูญเสียในแต่ละวัน

### หมายเหตุ

1. ค่าแรงคิดจากค่าตอบแทนนอกเวลาราชการ เนื่องจากมีอัตราเท่ากัน ไม่มีความแตกต่างเรื่องของอายุราชการ
2. เวลาที่ใช้ในการคำนวณรวมระยะเวลาเปิดและปิดห้องต่างๆ แล้ว

## B2 Increased Revenue: รายได้ที่เพิ่มขึ้น

**B2.1 WTP** สำนวจความเต็มใจที่จะจ่ายในบริการสำหรับการติดตามอุณหภูมิและความชื้นของการเก็บรักษาด้วยแบบสอบถาม โดยผู้ตอบแบบสอบถามได้แก่เภสัชกรหัวหน้ากลุ่มงานเภสัชกรรม หรือเภสัชกรหัวหน้างานบริหารคลังยาและเวชภัณฑ์ ขนาดโรงพยาบาลทั่วไป โดยแบบสอบถามประกอบด้วย 2 ส่วน สรุปผลความถี่ของข้อมูล ดังตารางที่ 23

ตารางที่ 23 ข้อมูลและความถี่ของแบบสอบถามส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป

| คำถาม  | คำตอบ  |
|--|--|
| 1. เพศ   | ชาย = 33.3%<br>หญิง = 67.7%  |
| 2. อายุ  | < 30 ปี = 11.1%<br>31 - 40 ปี = 11.1%<br>40 - 50 ปี = 66.7%<br>> 50 ปี ขึ้นไป = 11.1%                                    |
| 3. โรงพยาบาลสังกัด   | กระทรวงสาธารณสุข = 100%  |
| 4. ชื่อโรงพยาบาล, จังหวัด                                      | -  |
| 5. เขตที่โรงพยาบาลสังกัด                                       | 1 = 11.1%<br>3 = 11.1%<br>5 = 11.1%<br>6 = 22.2%<br>8 = 11.1%<br>9 = 11.1%<br>10 = 11.1%<br>11 = 11.1%                   |
| หมายเหตุ เขต 2, 4, 7 และ 12 ไม่มีข้อมูล<br>การตอบกลับแบบสอบถาม |  |
| 6. ตำแหน่งในกลุ่มงาน/ฝ่ายเภสัชกรรม                             | หัวหน้ากลุ่มงาน = 0%<br>หัวหน้างานบริหารคลังยาและเวชภัณฑ์ = 55.6%<br>หัวหน้างานจัดซื้อ = 11.1%<br>หัวหน้างานคลัง = 33.3% |
| 7. ระดับการศึกษา   | ปริญญาตรี = 66.7%<br>ปริญญาโท = 33.3%<br>ปริญญาเอก = 0%  |
| 8. อัตราคงคลังยาเฉลี่ย   | 2.03 เดือน   |
| 9. มูลค่าคงคลังยาเฉลี่ย  | 20,945,072.83 บาท  |

ส่วนที่ 2 แบบสอบถามความเต็มใจที่จะจ่ายในบริการสำหรับการติดตามอุณหภูมิและความชื้นของการเก็บรักษา

ผลจากแบบสอบถามคิดเป็นค่าเฉลี่ย = 2,133.33 บาท/เดือน

หลังจากคำนวณค่าต้นทุนและผลได้ที่เกิดขึ้นทั้งหมด ทำการวิเคราะห์ต้นทุนผลได้ของแต่ละโครงการ ซึ่งประกอบด้วย 1) โครงการอุปกรณ์ IoT จากผู้ให้บริการสัญญาณเครือข่าย LoRaWAN 2) โครงการอุปกรณ์ IoT พัฒนาเองสัญญาณเครือข่าย Wi-Fi และ 3) โครงการระบบติดตามอุณหภูมิและความชื้นแบบเดิม โดยแสดงรายละเอียดดังตารางที่ 24 - 31

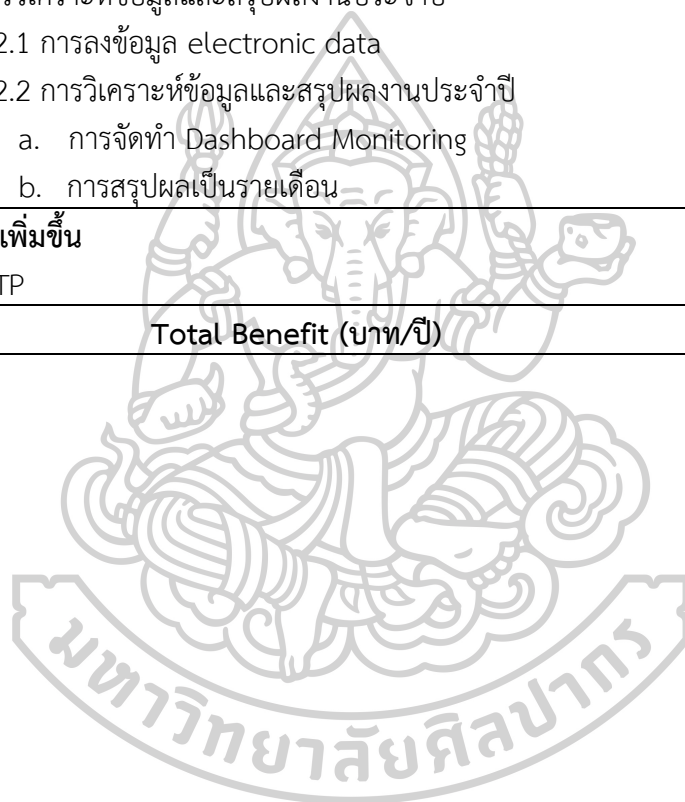
ตารางที่ 24 ต้นทุนทั้งหมดของ LoRaWAN

|   |  |
|---|--|
| <b>1. CAPEX</b>                                   |  |
| <b>1.1 Material cost</b>                          |  |
| - Infrastructure Rental                           | - LoRaWAN sensor node 15,000 x 21 จุด = 315,000.00 บาท   |
| - Device cost                                     | - เซนเซอร์วัดอุณหภูมิความชื้นในห้องเก็บยา 3,200 x 21 จุด = 67,200.00 บาท<br>- เซนเซอร์ควบคุมการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบติดผนัง 3,500 x 7 จุด = 24,500 บาท |
| <b>1.2 Installation cost</b>                      |  |
| - Meter installation cost                         | - ค่าติดตั้งอุปกรณ์ ติดตั้งระบบ Monitor ติดตั้งระบบฐานข้อมูล = 329,000 บาท   |
| - Software development cost                       | - 300,000 <sup>1</sup> บาท   |
| - Gateway installation cost                       | -  |
| <b>2. OPEX</b>                                    |  |
| <b>2.1 Operation and Maintenance cost</b>         |  |
| - Meter Maintenance                               | - ราคานี้รวมค่า MA ในปีแรก<br>- ค่า MA รวม IRIS Cloud ในปีที่ 2 – 5 ราคาปีละ 360,000 บาท โดยเป็นราคารวมภาษีมูลค่าเพิ่ม 7%                                    |
| - Gateway Maintenance                             |  |
| - Information system (IS) operation & Maintenance |  |
| <b>2.2 Communication/ Data transfer cost</b>      |  |
| - Meter Communication                             | - LoRaWAN connectivity Airtime 300 x 21 (รายเดือน) = 75,600.00 บาท/ปี  |
| - Gateway Communication                           | - IRIS Cloud by CAT – CPU: 2vCPU, RAM: 4GB, Hard Disk: SSD 120 GB = 45,000 บาท/ปี  |
| <b>3. Customer service cost</b>                   |  |
| - Staff training fee                              | - 96,000 บาท   |



ตารางที่ 25 ประโยชน์จากเทคโนโลยีของ LoRaWAN

| ประโยชน์จากเทคโนโลยี  | มูลค่า (บาท)/<br>เดือน |
|---|------------------------|
| <b>1. ประหยัดได้จากการแทนที่ด้วยเทคโนโลยีใหม่</b>             |                        |
| 1.1 เวลาที่เจ้าหน้าที่ใช้ในการลงอุณหภูมิต                     |                        |
| 1.1.1 เปิด/ปิดห้องเพื่อจัดบันทึกอุณหภูมิและระยะเวลาการเดินทาง | 12,960.00              |
| 1.1.2 จัดบันทึกอุณหภูมิ                                       | 9,072.00               |
| 1.1.3 เปิด/ปิด เครื่องปรับอากาศ                               | 1,008.00               |
| 1.2 การวิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผลงานประจำปี                     |                        |
| 1.2.1 การลงข้อมูล electronic data                             | 3,024.00               |
| 1.2.2 การวิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผลงานประจำปี                   |                        |
| a. การจัดทำ Dashboard Monitoring                              | 1,728                  |
| b. การสรุปผลเป็นรายเดือน                                      | 216.00                 |
| <b>2. รายได้ที่เพิ่มขึ้น</b>                                  |                        |
| 2.1 WTP   | 2,133.33               |
| <b>Total Benefit (บาท/ปี)</b>                                 | <b>361,695.96</b>      |



ตารางที่ 26 ต้นทุนทั้งหมดของ Wi-Fi

|   |  |
|---|--|
| <b>1. CAPEX</b>                                   |  |
| <b>1.1 Material cost</b>                          |  |
| - Infrastructure Rental                           | - ค่าอุปกรณ์ติดตั้งปลั๊ก 1 จุด (เฉลี่ย 2 เมตร/จุด) $360 \times 21 = 7,560.00$ บาท  |
| - Device cost                                     | - $395.5 \times 21 \text{ จุด}^2 = 8,305.50$ บาท<br>กำหนดตามค่าเสื่อมครุภัณฑ์ทางการแพทย์และวิทยาศาสตร์กำหนดขั้นต่ำ 5 ปี (58) |
| <b>1.2 Installation cost</b>                      |  |
| - Meter installation cost                         | - ค่าแรงช่างติดตั้ง 60 บาท/ชั่วโมง (1 ชั่วโมง/จุด) $60 \times 21 \text{ จุด} = 1,260.00$ บาท                                 |
| - Software development cost                       | - ค่าแรงเก็สซกร $864.00$ บาท/8 ชั่วโมง $864 \times 7 \text{ วัน} = 6,048$ บาท  |
| - Gateway installation cost                       | -  |
| <b>2. (OPEX; ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน)</b>        |  |
| <b>2.1 Operation and Maintenance cost</b>         |  |
| - Meter Maintenance                               | - เดือนละ 1 ครั้ง ค่าแรงเก็สซกร (8 ชั่วโมง) $864$ บาท/เดือน = $10,368.00$ บาท/ปี   |
| - Gateway Maintenance                             | -  |
| - Information system (IS) operation & Maintenance | -  |
| <b>2.2 Communication/ Data transfer cost</b>      |  |
| - Meter Communication                             | -  |
| - Gateway Communication                           | - ฟรี 10 อุปกรณ์ <sup>3</sup> , $290$ บาท/เดือน/10 อุปกรณ์ $290 \times 2 \times 12 = 6,960.00$ บาท/ปี                        |
| <b>2.3 Customer service cost</b>                  |  |
| - Staff training fee                              | - เป็นค่าแรงเก็สซกร (8 ชั่วโมง) = $864$ บาท  |

หมายเหตุ 2 คือตารางที่ 27 และ 3 คือตารางที่ 28 ตามลำดับ

ตารางที่ 27 แสดงต้นทุนอุปกรณ์ IoT จากการพัฒนา

| ลำดับ                        | ฮาร์ดแวร์                        | ราคา | จำนวน | มูลค่ารวม    |
|------------------------------|----------------------------------|------|-------|--------------|
| 1                            | NodeMCU V2 LUA based ESP8266-12E | 110  | 4     | 440          |
| 2                            | DHT22 (AM2302)                   | 140  | 4     | 560          |
| 3                            | สายแพ Jumper Female to Female    | 40   | 1     | 40           |
| 4                            | Micro usb cable                  | 21.5 | 4     | 86           |
| 5                            | กล่องใส่ชุดอุปกรณ์               | 75   | 4     | 300          |
| 6                            | Adapter 1-Port USB Charger       | 39   | 4     | 156          |
| <b>(ชุดละ 395.5 บาท) รวม</b> |                                  |      |       | <b>1,528</b> |

ตารางที่ 28 แสดงรายละเอียดการใช้งานเซิร์ฟเวอร์ NETPIE2020 ฟรี

| หัวข้อ                   | จำนวน     | รายละเอียด             |
|--------------------------|-----------|------------------------|
| Project                  | 3         |                        |
| Connected devices        | 10        | Devices                |
| Real-time messages       | 9,000,000 | Messages* per month    |
| Time-series data storage | 1,000,000 | Point-month**          |
| Shadow read/write        | 500,000   | Operations per month   |
| API call                 | 800,000   | Operations per month   |
| Dashboard                | 3         | Freeboards per project |
| Freeboard connection     | 3         | Concurrent views       |
| Trigger and action       | 5,000     | Operation per month    |

ตารางที่ 29 ประโยชน์จากเทคโนโลยีของ Wi-Fi

| ประโยชน์จากเทคโนโลยี  | มูลค่า (บาท)/เดือน |
|---|--------------------|
| <b>1. ประหยัดได้จากการแทนที่ด้วยเทคโนโลยีใหม่</b>             |                    |
| 1.1 เวลาที่เจ้าหน้าที่ใช้ในการลงอุณหภูมิตามตาราง              |                    |
| 1.1.1 เปิด/ปิดห้องเพื่อจัดบันทึกอุณหภูมิและระยะเวลาการเดินทาง | 12,960.00          |
| 1.1.2 จัดบันทึกอุณหภูมิ                                       | 9,072.00           |
| 1.1.3 เปิด/ปิด เครื่องปรับอากาศ                               | -                  |
| 1.2 การวิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผลงานประจำปี                     |                    |
| 1.2.1 การลงข้อมูล electronic data                             | 3,024.00           |
| 1.2.2 การวิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผลงานประจำปี                   |                    |
| a. การจัดทำ Dashboard Monitoring                              | -                  |
| b. การสรุปผลเป็นรายเดือน                                      | 216.00             |
| <b>2. รายได้ที่เพิ่มขึ้น</b>                                  |                    |
| 2.1 WTP   | 2,133.33           |
| <b>Total Benefit (บาท/ปี)</b>                                 | <b>328,863.96</b>  |

ตารางที่ 30 แสดงต้นทุนทั้งหมดของวิธีแบบเดิม

|   |   |
|---|---|
| <b>1. CAPEX</b>                                   |   |
| <b>1.1 Material cost</b>                          |   |
| - Infrastructure Rental                           | -   |
| - Device cost                                     | - เครื่องวัดอุณหภูมิความชื้นเฉลี่ย 205 บาท/เครื่อง x 21 จุด = 4,305 บาท<br>กำหนดตามค่าเสื่อมครุภัณฑ์ทางการแพทย์และวิทยาศาสตร์กำหนดชั้นต่ำ 5 ปี (58) |
| <b>1.2 Installation cost</b>                      |   |
| - Meter installation cost                         | -   |
| - Software development cost                       | -   |
| - Gateway installation cost                       | -   |
| <b>2. OPEX</b>                                    |   |
| <b>2.1 Operation and Maintenance cost</b>         |   |
| - Meter Maintenance                               | - เปลี่ยนถ่านปีละ 1 ครั้ง = 2,016 บาท (ถ่านอัลคาไลน์ AAA, 3 ก้อน/เครื่อง)   |
| - Gateway Maintenance                             | -   |
| - Information system (IS) operation & Maintenance | -   |
| <b>2.2 Communication/ Data transfer cost</b>      |   |
| - Meter Communication                             | -   |
| - Gateway Communication                           | -   |
| <b>2.3 Customer service cost</b>                  |   |
| - Staff training fee                              | -   |

ตารางที่ 31 ประโยชน์จากเทคโนโลยีของวิธีแบบเดิม

| ประโยชน์จากเทคโนโลยี (Benefit)                                | มูลค่า (บาท)/เดือน |
|---|--------------------|
| <b>1. ประหยัดได้จากการแทนที่ด้วยเทคโนโลยีใหม่</b>             |                    |
| 1.1 เวลาที่เจ้าหน้าที่ใช้ในการลงอุณหภูมิตั้งแต่               |                    |
| 1.1.1 เปิด/ปิดห้องเพื่อจัดบันทึกอุณหภูมิและระยะเวลาการเดินทาง | -                  |
| 1.1.2 จัดบันทึกอุณหภูมิ                                       | -                  |
| 1.1.3 เปิด/ปิด เครื่องปรับอากาศ                               | -                  |
| 1.2 การวิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผลงานประจำปี                     |                    |
| 1.2.1 การลงข้อมูล electronic data                             | -                  |
| 1.2.2 การวิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผลงานประจำปี                   |                    |
| a. การจัดทำ Dashboard Monitoring                              | -                  |
| b. การสรุปผลเป็นรายเดือน                                      | -                  |
| <b>2. รายได้ที่เพิ่มขึ้น</b>                                  |                    |
| 2.1 WTP   | -                  |



#### 4.4.2 มูลค่าปัจจุบันสุทธิของแต่ละโครงการ

= มูลค่าปัจจุบันของประโยชน์สุทธิ - มูลค่าปัจจุบันของต้นทุนสุทธิ

$$NPV = \sum_{t=0}^n \left( \frac{(B_t - C_t)}{(1+r)^t} \right)$$

การแปลผล: NPV > 0: คຸ້ມค้ก้ก้การลงทุน, NPV < 0: ไม่สมควรลงทุน, NPV = 0: เท่าทุน

จากตารางที่ 32 การวิเคราะห์ต้นทุนผลได้ของ LoRaWAN พบว่าค่าใช้จ่าย CAPEX = 1,035,700.00 และค่าใช้จ่าย OPEX = 216,600.00 รวมเป็นค่าใช้จ่ายสุทธิ 1,252,300.00 ในปี 1 โดยในปี 2-5 มีค่าใช้จ่ายสุทธิอยู่ที่ 480,600.00 บาท ปี 6-10 มีค่าใช้จ่ายสุทธิอยู่ที่ 120,600.00 และมีผลได้ปีละ 361,695.96 เท่ากันทุกปี

ตารางที่ 32 การวิเคราะห์ต้นทุนผลได้ของ LoRaWAN

| ปี | ค่าใช้จ่ายในการลงทุน<br>เริ่มแรก 1) CAPEX | ค่าใช้จ่ายในการ<br>ดำเนินงาน 2) OPEX | Total Cost<br>1) + 2) = 3) | Benefit    |
|----|---|--------------------------------------|----------------------------|------------|
| 1  | 1,035,700.00                              | 216,600.00                           | 1,252,300.00               | 361,695.96 |
| 2  | -   | 480,600.00                           | 480,600.00                 | 361,695.96 |
| 3  | -   | 480,600.00                           | 480,600.00                 | 361,695.96 |
| 4  | -   | 480,600.00                           | 480,600.00                 | 361,695.96 |
| 5  | -   | 480,600.00                           | 480,600.00                 | 361,695.96 |
| 6  | -   | 120,600.00                           | 120,600.00                 | 361,695.96 |
| 7  | -   | 120,600.00                           | 120,600.00                 | 361,695.96 |
| 8  | -   | 120,600.00                           | 120,600.00                 | 361,695.96 |
| 9  | -   | 120,600.00                           | 120,600.00                 | 361,695.96 |
| 10 | -   | 120,600.00                           | 120,600.00                 | 361,695.96 |

จากตารางที่ 33 เมื่อนำค่าผลต่างระหว่างผลได้และต้นทุนมาคำนวณค่ามูลค่าปัจจุบันสุทธิของ LoRaWAN ปีที่ 1 มีค่า NPV เท่ากับ - 837,969.34 ปีที่ 3 มีค่า NPV เท่ากับ -1,042,282.15 ปีที่ 5 มีค่า NPV เท่ากับ -1,223,170.87 และปีที่ 10 มีค่า NPV เท่ากับ -479,872.02

ตารางที่ 33 มูลค่าปัจจุบันสุทธิของ LoRaWAN

| ปี | B-C          | PWF (6.2882%) | มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) | NPV ปีที่      |
|----|--------------|---------------|---------------------------|----------------|
| 1  | (890,604.04) | 0.9409        | (837,969.34)              | (837,969.34)   |
| 2  | (118,904.04) | 0.8853        | (105,265.75)              | (943,235.09)   |
| 3  | (118,904.04) | 0.8330        | (99,047.07)               | (1,042,282.15) |
| 4  | (118,904.04) | 0.7838        | (93,196.99)               | (1,135,479.14) |
| 5  | (118,904.04) | 0.7375        | (87,691.73)               | (1,223,170.87) |
| 6  | 241,095.96   | 0.6939        | 167,296.49                | (1,055,874.38) |
| 7  | 241,095.96   | 0.6529        | 157,411.55                | (898,462.83)   |
| 8  | 241,095.96   | 0.6143        | 148,105.25                | (750,357.58)   |
| 9  | 241,095.96   | 0.5780        | 139,353.46                | (611,004.12)   |
| 10 | 241,095.96   | 0.5439        | 131,132.09                | (479,872.02)   |
|    |              |               | (479,872.02)              |                |

จากตารางที่ 34 การวิเคราะห์ต้นทุนผลได้ของ Wi-Fi พบว่า ค่าใช้จ่าย CAPEX = 23,173.50 และค่าใช้จ่าย OPEX = 18,192.00 รวมเป็นค่าใช้จ่ายสุทธิ 41,365.50 ในปี 1 โดยในปี 2-4 มีค่าใช้จ่ายสุทธิอยู่ที่ 17,328.00 ปีที่ 5 มีค่าใช้จ่ายสุทธิอยู่ที่ 25,633.50 ปีที่ 6-9 มีค่าใช้จ่ายสุทธิอยู่ที่ 17,328.00 และปี 10 มีค่าใช้จ่ายสุทธิอยู่ที่ 25,633.50 และมีผลได้ปีละ 328,863.96 เท่ากันทุกปี

ตารางที่ 34 การวิเคราะห์ต้นทุนผลได้ของ Wi-Fi

| ปี | ค่าใช้จ่ายในการลงทุน<br>เริ่มแรก 1) CAPEX | ค่าใช้จ่ายในการ<br>ดำเนินงาน 2) OPEX | Total Cost<br>1) + 2) = 3) | Benefit    |
|----|---|--------------------------------------|----------------------------|------------|
| 1  | 23,173.50                                 | 18,192.00                            | 41,365.50                  | 328,863.96 |
| 2  | -   | 17,328.00                            | 17,328.00                  | 328,863.96 |
| 3  | -   | 17,328.00                            | 17,328.00                  | 328,863.96 |
| 4  | -   | 17,328.00                            | 17,328.00                  | 328,863.96 |
| 5  | 8,305.50                                  | 17,328.00                            | 25,633.50                  | 328,863.96 |
| 6  | -   | 17,328.00                            | 17,328.00                  | 328,863.96 |
| 7  | -   | 17,328.00                            | 17,328.00                  | 328,863.96 |
| 8  | -   | 17,328.00                            | 17,328.00                  | 328,863.96 |
| 9  | -   | 17,328.00                            | 17,328.00                  | 328,863.96 |
| 10 | 8,305.50                                  | 17,328.00                            | 25,633.50                  | 328,863.96 |

จากตารางที่ 35 เมื่อนำค่าผลต่างระหว่างผลได้และต้นทุนมาคำนวณค่ามูลค่าปัจจุบันสุทธิของ Wi-Fi ปีที่ 1 มีค่า NPV เท่ากับ 270,507.30 ปีที่ 3 มีค่า NPV เท่ากับ 805,819.54 ปีที่ 5 มีค่า NPV เท่ากับ 1,273,633.89 และปี 10 มีค่า NPV เท่ากับ 2,229,581.89

ตารางที่ 35 มูลค่าปัจจุบันสุทธิของ Wi-Fi

| ปี | B-C        | PWF (6.2882%) | มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) | NPV ปีที่    |
|----|------------|---------------|---------------------------|--------------|
| 1  | 287,498.46 | 0.9409        | 270,507.30                | 270,507.30   |
| 2  | 311,535.96 | 0.8853        | 275,802.79                | 546,310.09   |
| 3  | 311,535.96 | 0.8330        | 259,509.45                | 805,819.54   |
| 4  | 311,535.96 | 0.7838        | 244,181.89                | 1,050,001.43 |
| 5  | 303,230.46 | 0.7375        | 223,632.46                | 1,273,633.89 |
| 6  | 311,535.96 | 0.6939        | 216,174.80                | 1,489,808.69 |
| 7  | 311,535.96 | 0.6529        | 203,401.83                | 1,693,210.52 |
| 8  | 311,535.96 | 0.6143        | 191,376.54                | 1,884,587.06 |
| 9  | 311,535.96 | 0.5780        | 180,067.78                | 2,064,654.85 |
| 10 | 303,230.46 | 0.5439        | 164,927.05                | 2,229,581.89 |
|    |            |               | 2,229,581.89              |              |

จากตารางที่ 36 การวิเคราะห์ต้นทุนผลได้ของวิธีแบบเดิมพบว่า ค่าใช้จ่าย CAPEX = 4,305.00 และค่าใช้จ่าย OPEX = 2,016.00 รวมเป็นค่าใช้จ่ายสุทธิ 6,321.00 ในปี 1 โดยในปีที่ 2-4 มีค่าใช้จ่ายสุทธิอยู่ที่ 2,016.00 ปีที่ 5 มีค่าใช้จ่ายสุทธิอยู่ที่ 6,321.00 ปีที่ 6-9 มีค่าใช้จ่ายสุทธิอยู่ที่ 2,016.00 และปีที่ 10 มีค่าใช้จ่ายสุทธิอยู่ที่ 6,321.00 และมีผลได้ปีละ 0 เท่ากันทุกปี

ตารางที่ 36 การวิเคราะห์ต้นทุนผลได้ของวิธีแบบเดิม

| ปี | ค่าใช้จ่ายในการลงทุน<br>เริ่มแรก 1) CAPEX | ค่าใช้จ่ายในการ<br>ดำเนินงาน 2) OPEX | Total Cost<br>1) + 2) = 3) | Benefit |
|----|---|--------------------------------------|----------------------------|---------|
| 1  | 4,305.00                                  | 2,016.00                             | 6,321.00                   | -       |
| 2  | -   | 2,016.00                             | 2,016.00                   | -       |
| 3  | -   | 2,016.00                             | 2,016.00                   | -       |
| 4  | -   | 2,016.00                             | 2,016.00                   | -       |
| 5  | 4,305.00                                  | 2,016.00                             | 6,321.00                   | -       |
| 6  | -   | 2,016.00                             | 2,016.00                   | -       |
| 7  | -   | 2,016.00                             | 2,016.00                   | -       |
| 8  | -   | 2,016.00                             | 2,016.00                   | -       |
| 9  | -   | 2,016.00                             | 2,016.00                   | -       |
| 10 | 4,305.00                                  | 2,016.00                             | 6,321.00                   | -       |

จากตารางที่ 37 เมื่อนำค่าผลต่างระหว่างผลได้และต้นทุนมาคำนวณค่ามูลค่าปัจจุบันสุทธิของวิธีแบบเดิม ปีที่ 1 มีค่า NPV เท่ากับ -5,947.43 ปีที่ 3 มีค่า NPV เท่ากับ -9,411.52 ปีที่ 5 มีค่า NPV เท่ากับ -15,653.40 และปีที่ 10 มีค่า NPV เท่ากับ -24,210.22



ตารางที่ 37 มูลค่าปัจจุบันสุทธิของวิธีแบบเดิม

| ปี | B-C        | PIWF (6.2882%) | มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) | NPV ปีที่   |
|----|------------|----------------|---------------------------|-------------|
| 1  | (6,321.00) | 0.9409         | (5,947.43)                | (5,947.43)  |
| 2  | (2,016.00) | 0.8853         | (1,784.76)                | (7,732.19)  |
| 3  | (2,016.00) | 0.8330         | (1,679.33)                | (9,411.52)  |
| 4  | (2,016.00) | 0.7838         | (1,580.14)                | (10,991.66) |
| 5  | (6,321.00) | 0.7375         | (4,661.74)                | (15,653.40) |
| 6  | (2,016.00) | 0.6939         | (1,398.90)                | (17,052.30) |
| 7  | (2,016.00) | 0.6529         | (1,316.25)                | (18,368.55) |
| 8  | (2,016.00) | 0.6143         | (1,238.43)                | (19,606.98) |
| 9  | (2,016.00) | 0.5780         | (1,165.25)                | (20,772.23) |
| 10 | (6,321.00) | 0.5439         | (3,437.99)                | (24,210.22) |
|    |            |                | (24,210.22)               |             |

4.4.3 อัตราผลตอบแทนจากการลงทุน (Rate of Return on Investment) หมายถึง เกณฑ์อัตราผลตอบแทนจากการลงทุนนี้จะวัดค่าของโครงการในรูปอัตราส่วนซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของผลประโยชน์สุทธิจากการดำเนินงานต่อการลงทุน

$$ROI = \frac{\text{Average profit}}{\text{Investment}} \times 100$$

การแปลผล: ROI มากที่สุด: คุ่มค่าแก่การลงทุนและยอมรับข้อเสนอโครงการ

จากตารางที่ 38 อัตราผลตอบแทนจากการลงทุนของ LoRaWAN พบว่าปีที่ 1 มีค่า ROI เท่ากับ -71.12% ปีที่ 3 มีค่า ROI เท่ากับ -16.99% ปีที่ 5 มีค่า ROI เท่ากับ -8.61% และ ปีที่ 10 มีค่า ROI เท่ากับ -0.43%

ตารางที่ 38 อัตราผลตอบแทนจากการลงทุนของ LoRaWAN

| ปี | AVERAGE (B-C) | Total Cost   | %ROI   |
|----|---------------|--------------|--------|
| 1  | -890,604.04   | 1,252,300.00 | -71.12 |
| 3  | -376,137.37   | 2,213,500.00 | -16.99 |
| 5  | -273,244.04   | 3,174,700.00 | -8.61  |
| 10 | -16,074.04    | 3,777,700.00 | -0.43  |

จากตารางที่ 39 อัตราผลตอบแทนจากการลงทุนของ Wi-Fi พบว่าปีที่ 1 มีค่า ROI เท่ากับ 695.02% ปีที่ 3 มีค่า ROI เท่ากับ 399.26% ปีที่ 5 มีค่า ROI เท่ากับ 256.40 % และ ปีที่ 10 มีค่า ROI เท่ากับ 143.73 %

ตารางที่ 39 อัตราผลตอบแทนจากการลงทุนของ Wi-Fi

| ปี | AVERAGE (B-C) | Total Cost | %ROI   |
|----|---------------|------------|--------|
| 1  | 287,498.46    | 41,365.50  | 695.02 |
| 3  | 303,523.46    | 76,021.50  | 399.26 |
| 5  | 305,067.36    | 118,983.00 | 256.40 |
| 10 | 307,471.11    | 213,928.50 | 143.73 |

จากตารางที่ 40 อัตราผลตอบแทนจากการลงทุนของวิธีแบบเดิม พบว่าปีที่ 1 มีค่า ROI เท่ากับ -100.00 ปีที่ 3 มีค่า ROI เท่ากับ -33.33 ปีที่ 5 มีค่า ROI เท่ากับ -20.00 และ ปีที่ 10 มีค่า ROI เท่ากับ -10.00

ตารางที่ 40 อัตราผลตอบแทนจากการลงทุนของวิธีแบบเดิม

| ปี | AVERAGE (B-C) | Total Cost | %ROI    |
|----|---------------|------------|---------|
| 1  | -6,321.00     | 6,321.00   | -100.00 |
| 3  | 3,451.00      | 10,353.00  | -33.33  |
| 5  | 3,738.00      | 18,690.00  | -20.00  |
| 10 | 3,307.50      | 33,075.00  | -10.00  |

#### 4.4.4 อัตราส่วนระหว่างผลได้ต่อต้นทุน

$$BCR = \frac{\sum_{t=1}^n \left| \frac{B_t}{(1+r)^t} \right|}{\sum_{t=0}^n \left| \frac{C_t}{(1+r)^t} \right|}$$

$$BCR = \frac{PVB}{PVC}$$

การแปลผล: BCR > 1: ยอมรับข้อเสนอโครงการ BCR < 1: ปฏิเสธข้อเสนอโครงการ BCR = 1: จะไม่มีผลกระทบใด ๆ ไม่ว่าจะยอมรับหรือปฏิเสธข้อเสนอโครงการ (40, 44, 46, 54, 57)

จากตารางที่ 41 อัตราส่วนระหว่างผลได้ต่อต้นทุน (Benefit-Cost ratio : BCR) ของ LoRaWAN พบว่าปีที่ 1 มีค่าเท่ากับ 0.29 ปีที่ 3 มีค่าเท่ากับ 0.48 ปีที่ 5 มีค่าเท่ากับ 0.55 และปีที่ 10 มีค่าเท่ากับ 0.85

ตารางที่ 41 อัตราส่วนระหว่างผลได้ต่อต้นทุนของ LoRaWAN

| ปี | PWF<br>(6.2882%<br>1) | Cost<br>2)   | Benefit<br>3) | PWF x C<br>1) x 2) | PWF x B<br>1) x 3) | BCR  |
|----|-----------------------|--------------|---------------|--------------------|--------------------|------|
| 1  | 0.9409                | 1,252,300.00 | 361,695.96    | 1,178,289.07       | 340,319.73         | 0.29 |
| 2  | 0.8853                | 480,600.00   | 361,695.96    | 425,475.18         | 320,209.43         |      |
| 3  | 0.8330                | 480,600.00   | 361,695.96    | 400,339.80         | 301,292.73         | 0.48 |
| 4  | 0.7838                | 480,600.00   | 361,695.96    | 376,694.28         | 283,497.29         |      |
| 5  | 0.7375                | 480,600.00   | 361,695.96    | 354,442.50         | 266,750.77         | 0.55 |
| 6  | 0.6939                | 120,600.00   | 361,695.96    | 83,684.34          | 250,980.83         |      |
| 7  | 0.6529                | 120,600.00   | 361,695.96    | 78,739.74          | 236,151.29         |      |
| 8  | 0.6143                | 120,600.00   | 361,695.96    | 74,084.58          | 222,189.83         |      |
| 9  | 0.5780                | 120,600.00   | 361,695.96    | 69,706.80          | 209,060.26         |      |
| 10 | 0.5439                | 120,600.00   | 361,695.96    | 65,594.34          | 196,726.43         | 0.85 |

จากตารางที่ 42 อัตราส่วนระหว่างผลได้ต่อต้นทุนของ Wi-Fi พบว่าปีที่ 1 มีค่าเท่ากับ 7.95 ปีที่ 3 มีค่าเท่ากับ 12.73 ปีที่ 5 มีค่าเท่ากับ 14.46 และปีที่ 10 มีค่าเท่ากับ 16.09

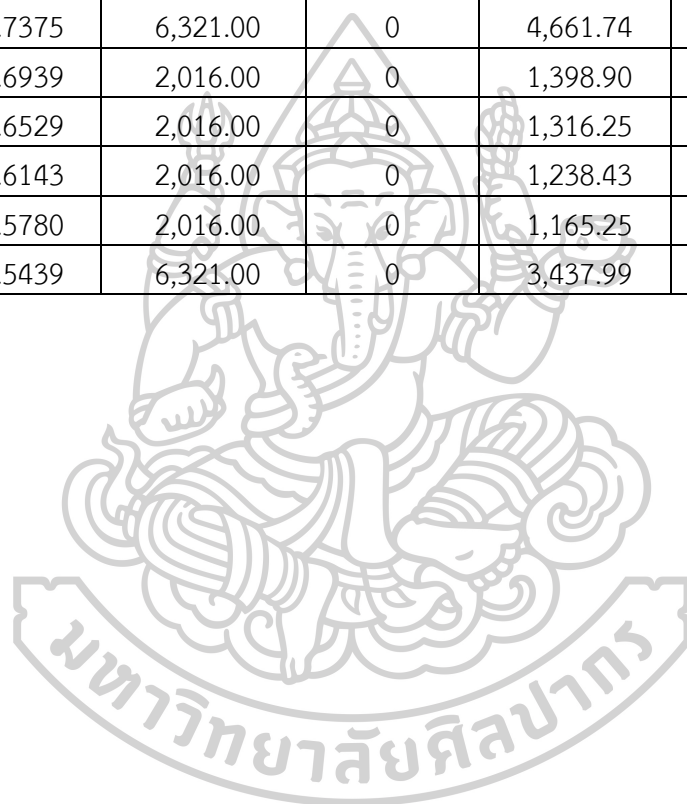
ตารางที่ 42 อัตราส่วนระหว่างผลได้ต่อต้นทุนของ Wi-Fi

| ปี | PWF<br>(6.2882%<br>1) | Cost<br>2) | Benefit<br>3) | PWF x C<br>1) x 2) | PWF x B<br>1) x 3) | BCR   |
|----|-----------------------|------------|---------------|--------------------|--------------------|-------|
| 1  | 0.9409                | 41,365.50  | 328,863.96    | 38,920.80          | 309,428.10         | 7.95  |
| 2  | 0.8853                | 17,328.00  | 328,863.96    | 15,340.48          | 291,143.26         |       |
| 3  | 0.8330                | 17,328.00  | 328,863.96    | 14,434.22          | 273,943.68         | 12.73 |
| 4  | 0.7838                | 17,328.00  | 328,863.96    | 13,581.69          | 257,763.57         |       |
| 5  | 0.7375                | 17,328.00  | 328,863.96    | 12,779.40          | 242,537.17         | 14.46 |
| 6  | 0.6939                | 17,328.00  | 328,863.96    | 12,023.90          | 228,198.70         |       |
| 7  | 0.6529                | 17,328.00  | 328,863.96    | 11,313.45          | 214,715.28         |       |
| 8  | 0.6143                | 17,328.00  | 328,863.96    | 10,644.59          | 202,021.13         |       |
| 9  | 0.5780                | 17,328.00  | 328,863.96    | 10,015.58          | 190,083.37         |       |
| 10 | 0.5439                | 17,328.00  | 328,863.96    | 9,424.70           | 178,869.11         | 16.09 |

จากตารางที่ 43 อัตราส่วนระหว่างผลได้ต่อต้นทุนของวิธีแบบเดิม พบว่าทุกปี มีค่าเท่ากับ 0

ตารางที่ 43 อัตราส่วนระหว่างผลได้ต่อต้นทุนของวิธีแบบเดิม

| ปี | PWF<br>(6.2882%<br>1) | Cost<br>2) | Benefit<br>3) | PWF x C<br>1) x 2) | PWF x B<br>1) x 3) | BCR |
|----|-----------------------|------------|---------------|--------------------|--------------------|-----|
| 1  | 0.9409                | 6,321.00   | 0             | 5,947.43           | 0                  | 0   |
| 2  | 0.8853                | 2,016.00   | 0             | 1,784.76           | 0                  |     |
| 3  | 0.8330                | 2,016.00   | 0             | 1,679.33           | 0                  | 0   |
| 4  | 0.7838                | 2,016.00   | 0             | 1,580.14           | 0                  |     |
| 5  | 0.7375                | 6,321.00   | 0             | 4,661.74           | 0                  | 0   |
| 6  | 0.6939                | 2,016.00   | 0             | 1,398.90           | 0                  |     |
| 7  | 0.6529                | 2,016.00   | 0             | 1,316.25           | 0                  |     |
| 8  | 0.6143                | 2,016.00   | 0             | 1,238.43           | 0                  |     |
| 9  | 0.5780                | 2,016.00   | 0             | 1,165.25           | 0                  |     |
| 10 | 0.5439                | 6,321.00   | 0             | 3,437.99           | 0                  | 0   |



## บทที่ 5

### สรุป อภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยเรื่อง “การวิเคราะห์ต้นทุนผลได้ของการใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งสำหรับการติดตามอุณหภูมิและความชื้นของการเก็บรักษายา: กรณีศึกษาโรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชสระแก้ว” มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาชุดอุปกรณ์ IoT สำหรับวัดอุณหภูมิและความชื้น เพื่อศึกษาเปรียบเทียบการใช้งานคลาวด์เซิร์ฟเวอร์ ได้แก่ Blynk และ NETPIE2020 และประเมินต้นทุนผลได้ของการใช้ชุดอุปกรณ์ IoT สำหรับติดตามอุณหภูมิและความชื้นของการเก็บรักษา ยา กลุ่มประชากรเป้าหมายประกอบด้วย 2 กลุ่มตามวัตถุประสงค์คือ 1) เพื่อการทดสอบประสิทธิภาพของชุดอุปกรณ์ IoT ที่พัฒนาขึ้น มีกลุ่มประชากรเป้าหมายคือข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ทุก 30 นาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และทุก 30 วินาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และ 2) เพื่อศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการนำระบบการสื่อสารไร้สายผ่านเทคโนโลยี IoT มีกลุ่มประชากรเป้าหมายคือจำนวนเครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นของห้องเก็บยาและเวชภัณฑ์ ที่ติดตั้งภายในกลุ่มงานเภสัชกรรม โรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชสระแก้ว รวม 21 จุด และเภสัชกรหัวหน้ากลุ่มงานเภสัชกรรมหรือเภสัชกรหัวหน้างานบริหารคลังยาและเวชภัณฑ์ โรงพยาบาลขนาดทั่วไป (S) ทั่วประเทศไทย สังกัดกระทรวงสาธารณสุข จำนวนทั้งหมด 51 โรงพยาบาล

#### สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

##### 5.1 การพัฒนาชุดอุปกรณ์ IoT สำหรับวัดอุณหภูมิและความชื้น

ผู้วิจัยได้พัฒนาชุดอุปกรณ์ IoT ต้นแบบที่ 1 สำหรับวัดอุณหภูมิและความชื้น เลือกใช้บอร์ด NodeMCU V2 LUA based ESP8266-12E เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นชนิด DHT22 (AM2302) ต่อกับแหล่งจ่ายไฟฟ้าชนิด NCR18650B Li-ion MH12210 แบบ 2 ก้อน ใช้โปรแกรม Arduino IDE เขียนโปรแกรม คอมไพล์ และอัปโหลดโปรแกรมลงบอร์ด หลังจากการใช้งานพบว่าสามารถเก็บข้อมูลได้น้อยกว่า 24 ชั่วโมงจากแบตเตอรี่ที่ชาร์จไฟเต็ม ผู้วิจัยจึงได้ลองศึกษาและพัฒนาชุดอุปกรณ์ IoT ต้นแบบที่ 2 ที่มีการใช้โหมดประหยัดพลังงาน เพื่อให้สามารถยืดระยะเวลาการเก็บข้อมูลให้ได้น้อยกว่า 7 - 10 วัน โดยเลือกใช้ชุดอุปกรณ์ในการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แก่บอร์ดเป็นโมดูลชาร์จแบตเตอรี่ 18650 V3 ชนิด 1 ก้อน ปรับชุดคำสั่งใหม่ให้อุปกรณ์สามารถเข้าสู่คำสั่งโหมด Deep Sleep เลือกใช้แบตเตอรี่ Panasonic ชนิด Lithium Ion NCR18650B ที่มี rated capacity เท่ากับ 3200 mAh ดังนั้นจากความจุของแบตเตอรี่ คาดว่าอย่างน้อยอุปกรณ์ดังกล่าวจะใช้งานได้ประมาณ 30 - 33 วัน/การชาร์จเต็ม 1 ครั้ง และจากการทดลองเก็บข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นภายใน

ให้ห้อง ชุดอุปกรณ์ IoT ที่พัฒนาขึ้นสามารถทำการส่งค่าข้อมูลขึ้นไปยัง Blynk Server และ NETPIE2020 รวมไปถึงยังสามารถแจ้งเตือนกรณีที่อุณหภูมิหรือความชื้นออกนอกช่วงที่กำหนดผ่านทาง Line notify ได้

สำหรับการนำไปใช้ในงานจริง อุปกรณ์ต้นแบบที่ 2 ต้องเปลี่ยนแบตเตอรี่ทุก 30 วัน จำนวน 21 ชุดอุปกรณ์ คาดว่าจะมีความยุ่งยากในการใช้งาน เนื่องจากจำเป็นต้องมีแบตเตอรี่อย่างน้อย 21 ชุด เพื่อสลับระหว่างรอกการชาร์จใหม่ รวมไปถึงอุปกรณ์สำหรับชาร์จแบตเตอรี่ ประกอบกับเมื่อใช้งานไปช่วงระยะเวลาหนึ่ง ค่าความจุของแบตเตอรี่จะลดลง ทำให้ประสิทธิภาพในการจ่ายกระแสไฟไปยังบอร์ดลดลง เป็นผลให้ระยะเวลาในการใช้งานสั้นตามลงไปด้วย ดังนั้นกรณีที่น่าไปประยุกต์เพื่อการใช้งานในระยะยาว การใช้ไฟจากแหล่งจ่ายไฟโดยตรงน่าจะมีความเหมาะสมในการใช้งานมากที่สุดจึงได้เป็นชุดอุปกรณ์ IoT ต้นแบบที่ 3 ชุดคำสั่งในการวัดค่าอุณหภูมิและความชื้นสามารถใช้โหมดปกติ ส่วนของวงจรสามารถใช้สาย Micro USB ต่อจากบอร์ดเชื่อมกับแหล่งจ่ายไฟโดยตรงผ่านเต้าเสียบชนิดหัวแปลง USB port อุปกรณ์ IoT ที่พัฒนาขึ้นจากการทดลองนี้จะนำไปใช้ในการทดสอบที่ 2 และ 3 ต่อ ดังนั้นคำสั่งในการรายงานค่าอุณหภูมิและความชื้น ควรเขียนคำสั่งให้บอร์ดอ่านค่าเป็นทศนิยม (Float) แทนที่จะเป็นจำนวนเต็ม (Integer) เนื่องจากอุปกรณ์มาตรฐานที่ใช้ในการเปรียบเทียบในการทดสอบที่ 3 เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์ IoT ที่พัฒนาขึ้นนั้น อ่านค่าอุณหภูมิและความชื้นเป็นทศนิยม 1 ตำแหน่ง

## 5.2 การประเมินการใช้งานคลาวด์เซิร์ฟเวอร์

การเปรียบเทียบการใช้งานเซิร์ฟเวอร์ระหว่าง Blynk กับ NETPIE2020 เพื่อเลือกเซิร์ฟเวอร์ ผู้วิจัยประยุกต์ใช้องค์ประกอบพื้นฐาน IoT แพลตฟอร์ม ของ กสทช. และเพิ่มประเด็นอื่นๆ ซึ่งเป็นประเด็นที่ผู้วิจัยสนใจเข้าใจในแบบประเมิน สามารถจำแนกองค์ประกอบสำคัญของ IoT แพลตฟอร์ม เป็น 4 หมวด คือ 1) ด้านการควบคุมการทำงาน 2) ด้านการเก็บค่าข้อมูลและการส่งออก 3) การแสดงผลและควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ผ่าน Dashboard และ 4) ความง่ายของบริการ แต่ละข้อจะกำหนดความหมายไว้อย่างชัดเจน ขั้นตอนของการประเมินจะทำการเปรียบเทียบความสามารถตามความหมายในแต่ละข้อเปรียบเทียบกัน ซึ่งข้อคำถามประกอบด้วย 9 ข้อย่อยดังต่อไปนี้คือ

1. ส่วนจัดการการเชื่อมต่อทั้งสองเซิร์ฟเวอร์ไม่มีปัญหาในการเชื่อมต่อ
2. ส่วนจัดการอุปกรณ์ทั้งเซิร์ฟเวอร์ มีระบบ Authentication และ Authorization
3. ส่วนสร้างกฎเกณฑ์เงื่อนไข จำนวนขั้นตอนของ Blynk ในการสร้างเงื่อนไขการรายงานค่าวิกฤตน้อยกว่า NETPIE2020

4. รูปแบบไฟล์ในการส่งออกข้อมูลสามารถนำไปใช้งานต่อได้ NETPIE2020 สามารถส่งไฟล์ .CVS เพื่อนำไปใช้งานต่อแต่ Blynk ไม่สามารถส่งออกข้อมูลได้

5. ความจุหรือพื้นที่ในการเก็บข้อมูล NETPIE2020 ให้พื้นที่และความจุในการใช้งานมากกว่า

6. จำนวนอุปกรณ์ที่ให้ใช้งานบนแพลตฟอร์ม NETPIE2020 ให้จำนวนอุปกรณ์ในการใช้งานฟรีมากกว่า

7. ส่วนแสดงผลข้อมูล มีส่วนแสดงผลข้อมูลที่ยืดหยุ่นให้ผู้ใช้ปรับแต่งจัดวางองค์ประกอบได้เอง และแสดงผลได้ดีบนอุปกรณ์คอมพิวเตอร์และอุปกรณ์พกพา NETPIE2020 สามารถปรับแต่งส่วนแสดงผลได้มากกว่า แต่ไม่มีแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟนแตกต่างกับ Blynk ที่มี แต่ปรับแต่งส่วนแสดงผลได้น้อยกว่า

8. ความง่ายของการใช้งานทั้งสองเซิร์ฟเวอร์ไม่มีความแตกต่างกัน

9. ค่าใช้จ่าย เมื่อพิจารณาที่จำนวนอุปกรณ์ที่อนุญาตให้ใช้งาน

จากงานวิจัยต้องใช้อุปกรณ์ทั้งหมด 4 อุปกรณ์ ซึ่ง NETPIE2020 สามารถใช้งานได้ฟรีโดยไม่มีค่าใช้จ่าย เกณฑ์การประเมินกำหนดให้แต่ละข้อมีค่าเท่ากับ 1 คะแนน (เต็ม 9 คะแนน) โดยเซิร์ฟเวอร์ใดที่มีคุณสมบัติผ่านตามข้อกำหนดแต่ละข้อ หรือมีคุณสมบัติเหนือกว่าจะได้คะแนนในข้อนั้นๆ ส่วนข้อที่มีค่าเท่ากันให้ จะให้คะแนนเท่ากันทั้งสองเซิร์ฟเวอร์ จากผลการประเมินพบว่า NETPIE2020 ได้คะแนนประเมินเท่ากับ 7.5 คะแนน คิดเป็น 83.33% และ Blynk ได้ 4.5 คะแนน คิดเป็น 50.00% สรุปได้ว่าการใช้งาน NETPIE2020 สามารถตอบสนองต่อความต้องการด้านการใช้งานได้ดีกว่า Blynk โดยผลการประเมินอยู่ภายใต้เงื่อนไขของการใช้งานฟรี

จากผลการศึกษา NETPIE2020 มีผลการประเมินดีกว่า Blynk นั้น อยู่ภายใต้เงื่อนไขของจำนวนอุปกรณ์ 4 อุปกรณ์ และเงื่อนไขข้อกำหนดของการใช้งานฟรี ทำให้ผลคะแนนของ NETPIE2020 ดีกว่า แต่หากเป็นการใช้ระดับอุตสาหกรรมขนาดกลาง หรือขนาดใหญ่ผลของการประเมินอาจไม่เหมาะสม กรณีการใช้เซิร์ฟเวอร์ต่างชาตินั้นผู้ใช้งานควรคำนึงถึงอัตราแลกเปลี่ยนของค่าเงินบาทรวมด้วย

### 5.3 การทดสอบประสิทธิภาพชุดอุปกรณ์ IoT ในการวัดอุณหภูมิและความชื้น

#### การทดสอบที่ 1: การทดสอบประสิทธิภาพด้านความชื้นสัมพัทธ์

จากการทดลองเก็บข้อมูลเป็น 2 รูปแบบ คือที่ 30 นาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และ 30 วินาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อดูความแปรปรวนของข้อมูลที่ได้ พบว่าที่เวลา 30 วินาที 1 ชั่วโมง พบความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยความชื้นน้อยกว่าการเก็บข้อมูลที่เวลา 30 นาที 24 ชั่วโมง ดังนั้นเพื่อลดปัจจัยภายนอกในการหาประสิทธิภาพของชุดอุปกรณ์ IoT การทดลองนี้จึงเลือกใช้ข้อมูลจากการ

ทดลองที่เวลา 30 วินาที 1 ชั่วโมง ในการทดสอบประสิทธิภาพด้านความชื้นสัมพัทธ์ของอุปกรณ์ IoT 4 อุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องวัดดิจิทัลซึ่งเป็นรูปแบบเดิมที่ใช้ในกลุ่มงานเกษตรกรรม และ LogTag<sup>®</sup> ที่เป็นอุปกรณ์มาตรฐานที่ใช้ในการเปรียบเทียบ จากการทดสอบค่าทางสถิติด้วยวิธี ANOVA พบว่าค่า Sig = 0.000 ดังนั้นค่าเฉลี่ยของความชื้นสัมพัทธ์อย่างน้อย 1 คู่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 หลังทำการทดสอบหาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยเป็นรายคู่ด้วยวิธี Scheffe's เพื่อทำการคัดเลือกอุปกรณ์ที่มีค่าของข้อมูลแตกต่างจากอุปกรณ์มาตรฐานออกจากกลุ่ม ซึ่งพบว่าค่าเฉลี่ยของความชื้นสัมพัทธ์พบความแตกต่างของอุปกรณ์ IoT อุปกรณ์ที่ 1, 2, 3 และ 4 เมื่อเปรียบเทียบกับ LogTag<sup>®</sup> โดยที่เครื่องวัดดิจิทัลไม่มีความแตกต่างกับ LogTag<sup>®</sup> จากผลที่ได้ อาจมีประเด็นข้อสังเกตคือ ค่าที่อ่านได้จากเครื่องวัดดิจิทัลเป็นจำนวนเต็ม แต่อุปกรณ์ IoT และ LogTag<sup>®</sup> อ่านค่าได้เป็นทศนิยม 1 ตำแหน่ง ดังนั้นการที่ค่าเฉลี่ยของความชื้นสัมพัทธ์ของเครื่องวัดดิจิทัลไม่มีความแตกต่างจาก LogTag<sup>®</sup> นั้น อาจมีความผิดพลาดประเภทที่ 2 (Type II error) สรุปได้ว่าค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์ของอุปกรณ์ IoT 4 อุปกรณ์ และเครื่องวัดดิจิทัลมากกว่า LogTag<sup>®</sup>

### การทดสอบที่ 2: การทดสอบประสิทธิภาพด้านอุณหภูมิ

จากการทดสอบค่าทางสถิติด้วยวิธี ANOVA พบว่าค่า Sig = 0.000 ดังนั้นค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิอย่างน้อย 1 คู่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 หลังทำการทดสอบหาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยเป็นรายคู่ด้วยวิธี Scheffe' เพื่อทำการคัดเลือกอุปกรณ์ที่มีค่าของข้อมูลแตกต่างจาก LogTag<sup>®</sup> ออกจากกลุ่ม พบว่าค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิมีความแตกต่างคือเครื่องวัดดิจิทัล อุปกรณ์ IoT อุปกรณ์ที่ 2, 3 และ 4 เมื่อเปรียบเทียบกับ LogTag<sup>®</sup> โดยที่อุปกรณ์ IoT อุปกรณ์ที่ 1 ไม่มีความแตกต่างกับ LogTag<sup>®</sup> เมื่อพิจารณาความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างอุปกรณ์ IoT พบว่าอุปกรณ์ที่ 2 และ 4 ไม่มีความแตกต่างกัน สรุปได้ว่าค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของอุปกรณ์ IoT 4 อุปกรณ์ เครื่องวัดดิจิทัล น้อยกว่า LogTag<sup>®</sup>

### การทดสอบที่ 3: การทดสอบความเที่ยงของเครื่องมือ

ข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์จากอุปกรณ์ IoT 4 อุปกรณ์ เครื่องวัดดิจิทัล และ LogTag<sup>®</sup> มีความเที่ยงต่ำเนื่องจากมีจุดของข้อมูลกระจายทั่วทั้ง 4 ควอไทล์ แต่มีความแม่นยำสูงเนื่องจากมีค่ากลางที่ใกล้เคียงกันภายในกลุ่มอุปกรณ์ IoT มีความแตกต่างเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบ LogTag<sup>®</sup> และมีความแตกต่างเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องวัดดิจิทัล

ข้อมูลจากอุณหภูมิจากอุปกรณ์ IoT 4 อุปกรณ์ เครื่องวัดดิจิทัล และ LogTag<sup>®</sup> มีความเที่ยงสูงเนื่องจากมีจุดของข้อมูลกระจายทั่วทั้ง 4 ควอไทล์น้อยมาก และมีความแม่นยำสูงเนื่องจากมีค่ากลางที่ใกล้เคียงกันภายในกลุ่มอุปกรณ์ IoT แต่มีความแตกต่างเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับ LogTag<sup>®</sup> และมีความแตกต่างเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องวัดดิจิทัล



#### การทดสอบที่ 4: การทดสอบปัจจัยที่ส่งผลต่อความแปรปรวนของข้อมูลจากการทดสอบที่

##### 1 และ 2

เมื่อทำการทดสอบโดยนำ LogTag® วางในบ้านพัก ปิดเครื่องปรับอากาศ พบว่าสถานะที่ปิดเครื่องปรับอากาศจะมีความชื้นสัมพัทธ์ค่อนข้างคงที่ ไม่พบการแปรปรวนขึ้นลงของกราฟจากการทดสอบสะท้อนให้เห็นว่าการใช้ข้อมูลที่เก็บช่วงเวลา 24 ชั่วโมง จากการทดสอบที่ 1 นั้น มีปัจจัยภายนอกซึ่งมีผลต่อค่าของทั้งอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ เห็นได้จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เทียบกับเวลาที่มีการขึ้น-ลงของข้อมูลตลอดระยะเวลาที่เก็บข้อมูล โดยที่ปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าเฉลี่ยคือ สถานะของห้องเก็บยาที่มีการตั้งค่าการทำงานของเครื่องปรับอากาศ โดยมีทำงานเป็นรอบๆ เมื่ออุณหภูมิสูงกว่าค่าที่กำหนด เครื่องปรับอากาศจะเร่งการทำงานโดยการลดอุณหภูมิลงจนอุณหภูมิลดต่ำกว่าค่าที่กำหนด เครื่องปรับอากาศจะหยุดการทำงานและจะเริ่มการทำงานใหม่อีกครั้งเมื่ออุณหภูมิห้องสูงกว่าค่าที่กำหนดอีกครั้ง เห็นได้จากกราฟของการทดสอบที่ 4 เก็บข้อมูลที่สถานะปิดเครื่องปรับอากาศ จะเห็นกราฟของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่มีเส้นกราฟคงที่ไม่พบการขึ้น-ลงของกราฟตลอดช่วงการเก็บข้อมูล

จากการทดสอบแสดงให้เห็นว่าชุดอุปกรณ์ IoT จากแหล่งที่มาเดียวกันมีความแตกต่างในการวัดค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เมื่อเปรียบเทียบกับ LogTag® ดังนั้นก่อนการนำมาใช้งานจริงมีความจำเป็นต้องทำการสอบเทียบ (Calibration) กับอุปกรณ์มาตรฐาน เพื่อให้ค่าที่อ่านได้จากชุดอุปกรณ์ IoT ไม่ว่าจะเป็นตัวใด ก็จะสามารถอ่านค่าได้ถูกต้องไม่แตกต่างจากอุปกรณ์มาตรฐาน โดยวิธีการการสอบเทียบชุดอุปกรณ์ IoT สามารถทำได้โดยเปรียบเทียบค่าสัมบูรณ์ของค่าความแตกต่างอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในการทดสอบที่ 2 ของแต่ละชุดอุปกรณ์กับค่าที่อ่านได้จาก LogTag® ที่ช่วงเวลาต่างๆ ซึ่งก็คือค่าความคลาดเคลื่อน (Error) ทำการหาค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนของชุดอุปกรณ์แต่ละตัว กรณีการอ่านค่าอุณหภูมิจะนำค่าความคลาดเคลื่อนมาบวกจากค่าที่ชุดอุปกรณ์อ่านได้ และกรณีการอ่านค่าความชื้นสัมพัทธ์จะนำค่าความคลาดเคลื่อนมาลบจากค่าที่ชุดอุปกรณ์อ่านได้

## 5.4 การศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของอุปกรณ์ IoT ผ่านเครือข่ายไร้สาย

### 5.4.1 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ

จากผลการศึกษาพบว่าโครงการพัฒนาชุดอุปกรณ์ IoT โดยใช้เครือข่าย Wi-Fi ให้ค่า NPV > 0 จึงเป็นโครงการที่คุ้มค่าแก่การลงทุน แม้จะประเมินที่ปีที่ 1 ก็ตาม ส่วนโครงการ LoRaWAN และการใช้วิธีแบบเดิมให้ค่า NPV < 0 ที่ทุกๆ ปีที่ประเมินดังนั้นจึงเป็นโครงการที่ไม่สมควรแก่การลงทุน

### 5.4.2 อัตราผลตอบแทนจากการลงทุน

จากผลการศึกษาพบว่าโครงการพัฒนาชุดอุปกรณ์ IoT โดยใช้เครือข่าย Wi-Fi ให้ค่า ROI มากที่สุด จึงเป็นโครงการที่คุ้มค่าแก่การลงทุน แม้จะประเมินที่ปีที่ 1 ก็ตาม ส่วนโครงการ LoRaWAN และการใช้วิธีแบบเดิมให้ค่า ROI < 0 ที่ทุกๆ ปีที่ประเมินดังนั้นจึงเป็นโครงการที่ไม่สมควรแก่การลงทุน

### 5.4.3 อัตราส่วนระหว่างผลได้ต่อต้นทุน

จากผลการศึกษาพบว่าโครงการพัฒนาชุดอุปกรณ์ IoT โดยใช้เครือข่าย Wi-Fi ให้ค่า BCR > 1 จึงเป็นโครงการที่คุ้มค่าแก่การลงทุน แม้จะประเมินที่ปีที่ 1 ก็ตาม ส่วนโครงการ LoRaWAN และการใช้วิธีแบบเดิมให้ค่า BCR < 1 ที่ทุกๆ ปีที่ประเมินดังนั้นจึงเป็นโครงการที่ไม่สมควรแก่การลงทุน

จากการศึกษาพบว่าค่าต้นทุนของ LoRaWAN มีค่าสูงมาก โดยที่ประโยชน์ที่ได้แตกต่างกันเล็กน้อยเมื่อเทียบกับ Wi-Fi เป็นผลจากการลงทุนในเรื่องของการปรับโครงสร้างพื้นฐานขนาดใหญ่ เช่น การติดตั้งเสากระจายสัญญาณแตกต่างกับ Wi-Fi ที่ไม่มีค่าใช้จ่ายดังกล่าว ทำให้ความคุ้มค่าที่ประเมินจากตัวชี้วัดโครงการและเศรษฐศาสตร์ของ Wi-Fi มีความคุ้มค่ามากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ LoRaWAN

### ข้อเสนอแนะ

จากผลของงานวิจัยในส่วนของการพัฒนาอุปกรณ์ IoT สำหรับวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์นั้น ต้นแบบที่ได้จากงานวิจัยสามารถนำไปต่อยอดใช้งานได้จริงในคลังยาและเวชภัณฑ์ หรือในด้านอุตสาหกรรมอื่นๆ ที่มีความต้องการในการควบคุมในส่วนของอุณหภูมิและความชื้นของสินค้า หรือแม้แต่ในด้านการเกษตรก็สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ โดยการใช้งานสามารถให้ค่าข้อมูลแบบออนไลน์ แสดงผลบน Dashboard ที่ง่ายต่อการเข้าใจ รวมไปถึงยังสามารถแจ้งเตือนกรณีที่ค่าข้อมูลออกนอกช่วงที่กำหนดได้ ซึ่งการใช้งานอุปกรณ์ดังกล่าวค่อนข้างมีความยืดหยุ่นเนื่องจากสามารถปรับค่าต่างๆ ให้เหมาะสมกับการใช้งานได้ เช่น การปรับเปลี่ยนระยะเวลาในการสุ่มเก็บข้อมูล ค่าวิกฤตที่ต้องการให้อุปกรณ์แจ้งเตือน นอกจากนี้ในส่วนของการเวิร์กเวอร์ในงานวิจัยได้

แสดงถึงข้อดีข้อด้อยของการใช้งานทำให้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างตรงกับความต้องการของผู้ใช้งานได้มากขึ้น โดยข้อที่ผู้ใช้งานควรให้ความสำคัญคือ ความแม่นยำและเที่ยงตรงของอุปกรณ์ที่นำมาใช้งาน ควรได้รับการสอบเทียบเบื้องต้นจากอุปกรณ์มาตรฐาน ในส่วนของการเก็บค่าอุณหภูมิและความชื้นในทดสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์ IoT ควรมีการควบคุมอุณหภูมิภายในห้องที่ใช้เก็บตัวอย่างหรือทำให้สภาวะใกล้เคียงกันที่สุดหากต้องมีการทดลองซ้ำ เพื่อลดปัจจัยที่อาจจะส่งผลต่อการวิเคราะห์ทางสถิติได้ สุดท้ายในการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ต้นทุนที่นำมาคำนวณควรจะเป็นต้นทุนที่ห้วงเวลาใกล้เคียงกัน เนื่องจากเทคโนโลยีมีการพัฒนาอย่างรวดเร็ว ระยะเวลาที่แตกต่างกันอาจส่งผลต่อราคา ประสิทธิภาพ คุณภาพ และข้อจำกัดของเทคโนโลยีนั้นๆ ได้เช่นกัน







ภาคผนวก ก  
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

## หนังสือเวียนขอความอนุเคราะห์ตอบแบบสอบถาม

งานบริหารคลังยาและเวชภัณฑ์ กลุ่มงานเภสัชกรรม  
โรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชสระแก้ว

วันที่ 25 กรกฎาคม 2564

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์ตอบแบบสอบถาม

เรียน หัวหน้ากลุ่มงานเภสัชกรรม/เภสัชกรหัวหน้างานบริหารคลังยา

ด้วยข้าพเจ้านางสาววิจิตตรา คุ่มวงษ์ ตำแหน่งเภสัชกรชำนาญการ งานบริหารคลังยาและเวชภัณฑ์ กลุ่มงานเภสัชกรรม โรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชสระแก้ว จังหวัดสระแก้ว ผู้วิจัย เป็นนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา ภาควิชาสารสนเทศศาสตร์ทางสุขภาพ คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ได้ทำการศึกษาวิจัยเรื่อง การวิเคราะห์ต้นทุนผลได้ของการใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งสำหรับการติดตาม อุณหภูมิและความชื้นของการเก็บรักษา ยา : กรณีศึกษาโรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชสระแก้ว โดยโครงการวิจัยดังกล่าวได้รับการพิจารณารับรองจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยศิลปากร โดยโครงการวิจัยเข้าข่ายโครงการวิจัยที่ได้รับการยกเว้นการพิจารณา (Exemption review)

การนี้ ข้าพเจ้านางสาววิจิตตรา คุ่มวงษ์ ใคร่ขอความอนุเคราะห์จากท่าน ซึ่งเป็น หัวหน้ากลุ่มงานเภสัชกรรม และ/หรือ เภสัชกรหัวหน้างานบริหารคลังยา เข้าร่วมตอบแบบสอบถามงานวิจัยดังกล่าว ทางลิงค์ <https://forms.gle/2vhDYuK8YpWm6MvC6> หรือสแกนคิวอาร์โค้ดตามที่แนบมาด้วยนี้ (ด้านท้าย) และขอความกรุณาตอบแบบสอบถามภายในวันที่ 31 สิงหาคม 2564 ทั้งนี้หากท่านมีข้อสงสัยประการใด สามารถติดต่อผู้วิจัยได้ที่หมายเลขโทรศัพท์ 094-471-5663 หรืออีเมล [kumwong\\_w@silpakorn.edu](mailto:kumwong_w@silpakorn.edu)

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณา โดยผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าจะได้รับความอนุเคราะห์และขอขอบพระคุณอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย



ขอแสดงความนับถือ

วิจิตตรา

(นางสาววิจิตตรา คุ่มวงษ์)

เภสัชกรชำนาญการ

## แบบสอบถามเพื่อการวิจัย

เรื่อง สำรวจความเต็มใจที่จะจ่ายในบริการสำหรับการติดตามอุณหภูมิและความชื้นของการเก็บรักษายา

### คำชี้แจง

1. แบบสอบถามนี้เป็นส่วนหนึ่งของการวิจัยเพื่อศึกษาค่าความเต็มใจที่จะจ่าย Customers' willingness to pay (WTP) ในบริการสำหรับการติดตามอุณหภูมิและความชื้นของการเก็บรักษา ยา โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ศึกษาการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการนำระบบการสื่อสารไร้สายผ่านเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง
2. กลุ่มเป้าหมาย ที่ขอความอนุเคราะห์ตอบแบบสอบถาม ได้แก่ เกษักรหัวหน้ากลุ่มงานเภสัชกรรมหรือเภสัชกรหัวหน้างานบริหารคลังยาและเวชภัณฑ์ ในโรงพยาบาลขนาดทั่วไป (Standard-level Hospital, S) ทั่วประเทศไทย สังกัดกระทรวงสาธารณสุข
3. แบบสอบถามแบ่งเป็น 2 ส่วน ประกอบด้วย
  - ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป
  - ส่วนที่ 2 ค่าความเต็มใจที่จะจ่ายในบริการสำหรับการติดตามอุณหภูมิและความชื้นของการเก็บรักษา
4. ข้อมูลที่ท่านตอบจะไม่มีเปิดเผยข้อมูลเชื่อมโยงไปถึงบุคคลหรือสถานพยาบาล จึงไม่ต้องกังวลผลกระทบต่อท่าน หรือหน่วยงานของท่าน
5. หากมีข้อสงสัยหรือต้องการรายละเอียดเพิ่มเติม สามารถติดต่อกับวิจัยหลักได้ที่ นางสาว วิจิตตรา คุ้มวงศ์ เภสัชกรชำนาญการ โรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชสระแก้ว โทร 094-4715663 อีเมลล์ kumwong\_w@silpakorn.edu

ขอขอบคุณท่านที่ให้ความร่วมมือในการตอบแบบสอบถามนี้

ผู้วิจัย

### การยินยอมให้ข้อมูลในการวิจัยโดยสมัครใจ

การให้ข้อมูลในครั้งนี้ ผู้วิจัยต้องการนำผลการศึกษาไปประกอบการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการนำระบบการสื่อสารไร้สายผ่านเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง โดยเป็นการตอบแบบสอบถามโดยสมัครใจ หากท่านยินยอมให้ข้อมูล กรุณาเลือก “ยินยอม” หากท่านไม่สะดวกท่านสามารถเลือก “ไม่ยินยอม” และออกจากหน้าแบบสำรวจนี้ โดยไม่ต้องตอบคำถามใดๆ ในหน้าถัดไป

ข้าพเจ้ายินยอมให้ข้อมูลการวิจัยโดยสมัครใจ

ยินยอม

ไม่ยินยอม (ถ้าท่านเลือกข้อนี้ ท่านไม่จำเป็นต้องตอบคำถามในหน้าถัดไป)

### ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป

คำชี้แจง โปรดทำเครื่องหมาย (✓) ลงในช่องว่างที่ตรงกับคำตอบของท่านมากที่สุด หรือเติมข้อความลงในช่องว่างที่กำหนดไว้ให้สมบูรณ์

| ส่วนที่ 1                          | ข้อมูลทั่วไป                        |      |                                     |      |
|------------------------------------|-------------------------------------|------|-------------------------------------|------|
| 1. เพศ                             | ○ ชาย                               |      | ○ หญิง                              |      |
| 2. อายุ                            | ○ < 30 ปี                           |      | ○ 31 – 40 ปี                        |      |
|                                    | ○ 40 – 50 ปี                        |      | ○ > 50 ปีขึ้นไป                     |      |
| 3. โรงพยาบาลสังกัด                 | ○ กระทรวงสาธารณสุข                  |      | ○ อื่นๆ _____<br>(ระบุ)             |      |
| 4. ชื่อโรงพยาบาล                   | _____                               |      | จังหวัด _____                       |      |
| 5. เขตที่โรงพยาบาลสังกัด           | ○ 1                                 | ○ 2  | ○ 3                                 | ○ 4  |
|                                    | ○ 5                                 | ○ 6  | ○ 7                                 | ○ 8  |
|                                    | ○ 9                                 | ○ 10 | ○ 11                                | ○ 12 |
|                                    | ○ อื่นๆ _____ (ระบุ)                |      |                                     |      |
| 6. ตำแหน่งในกลุ่มงาน/ฝ่ายเภสัชกรรม | ○ หัวหน้ากลุ่มงาน                   |      | ○ หัวหน้างานบริหารคลังยาและเวชภัณฑ์ |      |
|                                    |                                     |      | ○ หัวหน้างานจัดซื้อ                 |      |
|                                    |                                     |      | ○ หัวหน้างานคลัง                    |      |
| 7. ระดับการศึกษา                   | ○ ปริญญาตรี                         |      | ○ ปริญญาโท                          |      |
|                                    | ○ ปริญญาเอก                         |      |                                     |      |
| 8. อัตราคงคลังยาเฉลี่ย             | _ . _ เดือน (ระบุ ทศนิยม 2 ตำแหน่ง) |      |                                     |      |
| 9. มูลค่าคงคลังยาเฉลี่ย            | _____ บาท                           |      |                                     |      |



**ส่วนที่ 2** แบบสอบถามความเต็มใจที่จะจ่ายในบริการสำหรับการติดตามอุณหภูมิและความชื้นของการเก็บรักษา; Customers' willingness to pay (WTP)

**คำถาม :** ท่านมีความยินดีจ่ายค่าบริการหรือลงทุน ในระบบการติดตามอุณหภูมิและความชื้นของการเก็บรักษา (คลังเก็บยาและเวชภัณฑ์) ของหน่วยงานท่าน (โปรดพิจารณามูลค่ายาคงคลังของท่านประกอบ)

เป็นเงินเฉลี่ย.....บาท/เดือน

ขอขอบพระคุณทุกท่านเป็นอย่างยิ่งในการเสียสละเวลาอันมีค่าเพื่อตอบแบบสอบถามนี้

**หมายเหตุ** ส่งแบบสอบถามผ่านระบบ Google form สํารวจในโรงพยาบาลขนาดทั่วไป (S) จำนวนทั้งหมด 51 โรงพยาบาลในประเทศไทย และรูปแบบหนังสือแจ้งเวียน





ภาคผนวก ข

ใบเสนอราคาจากผู้ให้บริการเครือข่าย LoRaWAN

## ใบเสนอราคาผู้ให้บริการ LoRaWAN

| ใบเสนอราคา/Quotation   |  |                  |                 |               |
|--|--|------------------|-----------------|---------------|
| บริการ แบบรายเดือน   |  |                  |                 |               |
| ผู้ให้บริการ   | โรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชสระแก้ว  | เลขที่ใบเสนอราคา |                 |               |
| 283 ต.สุวรรณศรี ต.สระแก้ว อ.เมืองสระแก้ว จ.สระแก้ว 27000   |  | วันที่           | 14 สิงหาคม 2563 |               |
| โทรศัพท์   |  | พนักงานขาย       |                 |               |
| อีเมล  |  | E-Mail Address   |                 |               |
|  |  | โทรศัพท์         |                 |               |
| ลำดับ  | รายละเอียดสินค้า   | จำนวน            | ราคา/หน่วย      | ราคารวม/เดือน |
| 1  | LoRaWAN sensor node  | 45               | 15,000.00       | 675,000.00    |
| 2  | Sensor ตรวจวัดอุณหภูมิในตู้เย็นแช่อา   | 17               | 5,000.00        | 85,000.00     |
| 3  | Sensor ตรวจวัดอุณหภูมิความชื้นในห้องเก็บยา   | 21               | 3,200.00        | 67,200.00     |
| 4  | Sensor ควบคุมการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบติดผนัง<br>Dashboard Monitoring System<br>- Design UX/UI For All Sensor<br>- Time Series Report for all Sensor<br>- Real Time Monitor & Report for all Sensor - User Management | 7                | 3,500.00        | 24,500.00     |
| 5  | - Support Connect to Big data Platform (Cloudera Platform) - Voice Notification (10 Times per Mounth)<br>- Line Notification Unlimit<br>- Postgresql Database & Backup Data system<br>- Responsive Web Design              | 1                | 300,000.00      | 300,000.00    |
| 6  | IRIS Cloud by CAT - CPU :2vCPU, RAM : 4GB, HardDisk : SSD 120 GB, 1 year   | 1                | 45,000.00       | 45,000.00     |
| 7  | LoraWAN connectivity AirTime   | 45               | 300.00          | 13,500.00     |
| 8  | ค่าติดตั้งอุปกรณ์,ค่าติดตั้งระบบ Monitor,ค่าติดตั้งระบบฐานข้อมูล   | 1                | 329,000.00      | 329,000.00    |
| 9  | อบรมเจ้าหน้าที่  | 1                | 96,000.00       | 96,000.00     |
|  |  |                  | Total           | 1,635,200.00  |
|  |  |                  | Vat 7%          | 114,464.00    |
| หนึ่งล้านเจ็ดแสนสี่หมื่นเก้าพันหกหรือหกสิบสี่บาทถ้วน   |  |                  | TOTAL           | 1,749,664.00  |
| หมายเหตุ   |  |                  |                 |               |
| - โดยเป็นราคารวมภาษีมูลค่าเพิ่ม 7%<br>- ราคานี้รวมค่า MA ในปีแรกแล้ว<br>- ค่า MA รวม IRIS Cloud ในปีที่ 2 - 5 ราคาคือ 360,000 บาท โดยเป็นราคารวมภาษีมูลค่าเพิ่ม 7% |  |                  |                 |               |
| ผู้ให้บริการลงนามยอมรับข้อตกลงดังกล่าว   |  | Quotation By     |                 |               |
| ลงวันที่ ลงชื่อ (signature) .....<br>ตัวบรรจง ( )<br>ตำแหน่ง..... /.....   |  |                  |                 |               |



## Calibration Certification

**Product:** SHT1x / SHT2x / SHT7x Series  
**Description:** Digital Humidity and Temperature Sensors

The above mentioned products are calibrated to meet the specifications according to the corresponding Sensirion data sheet. Each device is individually tested after its calibration.

Sensirion uses transfer standards for the calibration. These transfer standards are themselves subject to a scheduled calibration procedure. The calibration of the reference itself used for the calibration of the transfer standards is performed by an ISO/IEC 17025 accredited laboratory.

The accreditation body is full member of the International Laboratory Accreditation Cooperation ([www.ilac.org](http://www.ilac.org)). Calibration certificates issued by facilities accredited by a signatory to the ILAC Mutual Recognition Arrangement (MRA) are accepted by all signatories to the ILAC MRA.

This provides traceability of measurement to recognized national standards and to units of measurement realized at the "National Physical Laboratory" (NPL) or other recognized national standards laboratories like "Physikalisch-Technische Bundesanstalt" (PTB) or "National Institute of Standards and Technology" (NIST).

Staefa, August 2010



Dr. Felix Mayer  
Co-CEO, Sensirion AG



Andreas Kaatz  
Quality Manager, Sensirion AG

# CERTIFICATE OF ACCURACY

We, the Manufacturer,

## LogTag Recorders (HK) Limited

Rm 2302, 23/F, Seaview Commercial Building, 21-24 Connaught Road West,  
Sheung Wan Hong Kong Tel: +649 444 5881

declare that the product

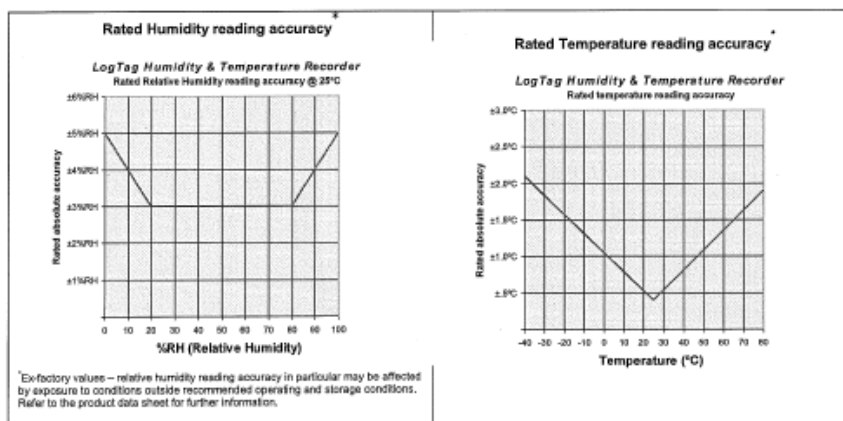
*LogTag Humidity & Temperature Recorder*

Model number: **HAXO-8**

With externally affixed serial numbers

1010046121 – 1010046620

Is in conformance to the published accuracy specifications, as show  
below:



The humidity & temperature sensor employed in the LogTag HAXO-8 humidity & temperature recorder is rated by the supplier & manufacturer to be interchangeable with accuracy sufficient to meet or better the above rated accuracy. Sensor manufacturer's report is available on request.

This certificate is issued by: **LOGTAG RECORDERS (HK) LIMITED**

Dated: **14<sup>th</sup> February 2014**

Signed:

  
LogTag Recorders (HK) Limited



ภาคผนวก ง  
หนังสือขออนุมัติจริยธรรมวิจัย



มหาวิทยาลัยศิลปากร

หนังสือฉบับนี้ให้ไว้เพื่อแสดงว่า

รหัสโครงการ: REC 64.0624-086-3873

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย): การวิเคราะห์ต้นทุนผลได้ของการใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งสำหรับการติดตามอุณหภูมิและความชื้นของการเก็บรักษายา : กรณีศึกษาโรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชสระแก้ว

ชื่อโครงการ (ภาษาอังกฤษ): Cost-Benefit Analysis of using Internet of Things technology for Temperature and Humidity tracking of Medical Storage: A case study of Sakaeo Crown Prince Hospital

ผู้วิจัยหลัก: นางสาววิจิตตรา คุ้มวงศ์

สังกัด: คณะเภสัชศาสตร์

เอกสารที่รับรอง:

1. แบบเสนอเพื่อขอรับการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ เวอร์ชัน 01 ฉบับลงวันที่ 24 มิถุนายน 2564
2. แบบเสนอโครงการวิจัยเพื่อการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ (ฉบับภาษาไทย) เวอร์ชัน 01 ฉบับลงวันที่ 24 มิถุนายน 2564

ได้ผ่านการรับรองจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยศิลปากร โดยยึดหลักเกณฑ์ตามคำประกาศ เฮลซิงกิ (Declaration of Helsinki) และมีความสอดคล้องกับหลักจริยธรรมสากล ตลอดจนกฎหมายข้อบังคับ และข้อกำหนดภายในประเทศ



(ศาสตราจารย์ ดร.พรศักดิ์ ตรีอมรศักดิ์)

ประธานกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์  
มหาวิทยาลัยศิลปากร

หมายเลขใบรับรอง COE 64.0628-085

วันที่รับรอง: 28 มิถุนายน พ.ศ.2564

สำนักงานบริหารการวิจัย นวัตกรรมและการสร้างสรรค์

6 ถนนราชพรรคาใน ตำบลพระปฐมเจดีย์ อำเภอเมืองนครปฐม จังหวัดนครปฐม 73000

โทร 0-3425-5808 โทรสาร (Fax) : 0-3425-5808

email : su.ethicshuman@gmail.com





## รายการอ้างอิง

1. วิทวัส พันธ์มงคล, นิธิเจน กิตติรัชกุล, ศิธรณ์ กุลโกสิน, สราวุธ ชัยระ, มณีโชติรัตน์ สันธิ, อนุรักษ์ บุตราช, et al. การประเมินความคุ้มค่าและความเป็นไปได้ของบริการตรวจเพทซีทีในประเทศไทย (Economic evaluation and feasibility of PET/CT service in Thailand) [รายงานวิจัย]. นนทบุรี:2562.
2. Poenicke O, Groneberg M, Richter K. Method for the planning of IoT use cases in Smart Logistics Zones. IFAC-PapersOnLine. 2019;52(13):2449-54.
3. Ibrahim DM, editor Internet of Things Technology based on LoRaWAN Revolution. 2019 10th International Conference on Information and Communication Systems (ICICS); 2019 11-13 June 2019.
4. Mesquita J, Guimarães D, Pereira C, Santos F, Almeida L, editors. Assessing the ESP8266 WiFi module for the Internet of Things. 2018 IEEE 23rd International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA); 2018 4-7 Sept. 2018.
5. World Health Organization. Guide to good storage practices for pharmaceuticals [Annex 9]. Geneva: World Health Organization; 2003 [cited 2019 May 9]. Available from: [https://www.who.int/medicines/areas/quality\\_safety/quality\\_assurance/GuideGoodStoragePracticesTRS908Annex9.pdf?ua=1](https://www.who.int/medicines/areas/quality_safety/quality_assurance/GuideGoodStoragePracticesTRS908Annex9.pdf?ua=1).
6. Ministry of Public Health. Instruction of the Ministry of Public Health No. 942/2022 regarding the amendment of the alfa and beta formulation of epoetin. 2022 [cited 2019 May 29]. Available from: <https://www.fda.moph.go.th/sites/drug/Shared%20Documents/Law7.1-Order-Edit/56-942.pdf>.
7. Santhyanon N. Pharmaceutical Stability and Storage. Thai Pharmaceutical and Health Science Journal [Internet]. Jan – Apr 2008 [cited 2019 Jun 10]; 3(1):[180-7 pp.]. Available from: <http://ejournals.swu.ac.th/index.php/pharm/article/view/2725/2735>.
8. Wikipedia®. การประมวลผลแบบกลุ่มเมฆ: Wikipedia®; 2561 [cited 2564 3 เมษายน]. Available from: <https://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%9B%E0%B8%A3%E0%B8%B0%E0%B8%A1%E0%B8%A7%E0%B8%A5%E0%B8%9C%E0%B8%A5%E0%B9%81%E>

[0%B8%9A%E0%B8%9A%E0%B8%81%E0%B8%A5%E0%B8%B8%E0%B9%88%E0%B8%A1%E0%B9%80%E0%B8%A1%E0%B8%86.](#)

9. swasdiclub. Cloud คืออะไร [cited 2564 3 เมษายน]. Available from: <https://swasdi.club/what-is-cloud-%e0%b8%84%e0%b8%b7%e0%b8%ad-%e0%b8%ad%e0%b8%b0%e0%b9%84%e0%b8%a3/>.
10. Narkthong N. ใช้งานร่วมกับ NETPIE 2563 [cited 2564 3 เมษายน]. Available from: <https://docs.makerplayground.io/intro/iot/netpie>.
11. Narkthong N. ใช้งานร่วมกับ Blynk 2563 [cited 2564 3 เมษายน]. Available from: <https://docs.makerplayground.io/intro/iot/blynk>.
12. Sikimić M, Amović M, Vujović V, Suknović B, Manjak D, editors. An Overview of Wireless Technologies for IoT Network. 2020 19th International Symposium INFOTEH-JAHORINA (INFOTEH); 2020 18-20 March 2020.
13. Mekki K, Bajic E, Chaxel F, Meyer F. A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment. ICT Express. 2019;5(1):1-7.
14. Ray PP. A survey on Internet of Things architectures. Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences. 2018;30(3):291-319.
15. Raza U, Kulkarni P, Sooriyabandara M. Low Power Wide Area Networks: An Overview. IEEE Communications Surveys & Tutorials. 2017;19(2):855-73.
16. ปรีชา กอเจริญ. เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายสำหรับอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง. NBTC Journal. 2017;2:268-87.
17. Asst.Prof.Mahasak k. Internet of Things (IoT) [cited 2021 Sep 25]. Available from: [http://203.155.220.230/bmainfo/data\\_DDS/document/internet-of-things.pdf](http://203.155.220.230/bmainfo/data_DDS/document/internet-of-things.pdf).
18. National Broadcasting and Telecommunications Commission (NBTC). Internet of Things Technology and Thailand 4.0 Policy 2017 [cited 2018 Apr 15]. Available from: <http://www.nbtc.go.th/getattachment/Services/quarter2560/%E0%B8%9B%E0%B8%B5-2560/%E0%B9%84%E0%B8%95%E0%B8%A3%E0%B8%A1%E0%B8%B2%E0%B8%AA-3-%E0%B8%9B%E0%B8%B5-2560/%E0%B9%80%E0%B8%AD%E0%B8%81%E0%B8%AA%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B9%81%E0%B8%99%E0%B8%9A.pdf.aspx>.

19. Ngamwannakorn C, Rungrawiwon S, Maniniam A. Development of a small plant-based device control system with wireless technology through mobile applications on the Internet of Things concept. Yala: Yala Rajabhat University; 2018.
20. IoT Engineering Education [Internet] 2018 22 December 2020. [cited 2018 27 December 2020]. Available from:  
[https://www.facebook.com/iot.kmutnb/?ref=page\\_internal](https://www.facebook.com/iot.kmutnb/?ref=page_internal).
21. NETPIE. NETPIE 2020 Overview 2020 [cited 2020 27 December]. Available from:  
<https://docs.netpie.io/overview-netpie.html>.
22. Inc B. 2021 [cited 2021 30 October]. Available from: <https://blynk.io/>.
23. อูษา ฉายเกล็ดแก้ว, ยศ ตีระวัฒนานนท์. คู่มือการประเมินเทคโนโลยีด้านสุขภาพสำหรับประเทศไทย ฉบับที่ 2 พ.ศ. 2556. นนทบุรี: บริษัท โรงพิมพ์ วชิรรินทร์ พี.พี.; 2556.
24. พิธาน โฆษิตชัยวัฒน์. เกสซ์เศรษฐศาสตร์ 2560 [cited 2562 29 ตุลาคม]. Available from:  
<https://ccpe.pharmacycouncil.org/showfile.php?file=316%3B1>.
25. Guide to the processes of technology appraisal Process and methods [Internet]. The National Institute for Health and Care Excellence (NICE). 2018 [cited 20 August 2020]. Available from: <https://www.nice.org.uk/process/pmg19/chapter/acknowledgements>.
26. Alves AE, Câmara HVB, da Silva JV, de Souza RA, editors. Development of an automatic shutdown system for lighting and air conditioning by using Esp8266 to meet energy efficiency requirements in buildings. 2019 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference-Latin America (ISGT Latin America); 2019: IEEE.
27. Sheikh MF. A Novel IoT Switching Model Based on Cloud-Centric RTDBS. EAI Endorsed Transactions on Internet of Things [Internet]. Apr - Jul 2019; (19):[1-7 pp.]. Available from:  
<http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=asn&AN=142731682&site=eds-live&authtype=ip.uid>.
28. Manushri G, Jnanavi G, Sahil I, Manaswi P, Vishal G. Power Consumption Optimization in IoT based Wireless Sensor Node Using ESP8266. ITM Web of Conferences. 2020;32.
29. Abidi ME, Asnawi AL, Azmin NF, Jusoh A, Ibrahim SN, Ramli HAM, et al., editors. Development of voice control and home security for smart home automation. 2018 7th

International Conference on Computer and Communication Engineering (ICCCE); 2018: IEEE.

30. Pornkid U. Assessment of wireless network security Rajamangala University of Technology Phra Nakhon. Bangkok: Rajamangala University of Technology Phra Nakhon.; 2018.
31. Pitiphol P, Thanin M. The Testing of Client Controlled System by Diskless Server Management Software. *Journal of Project in Computer Science and Information Technology*. 2018;4:44-50.
32. Chonnikarn R, Mathuros P. Implementation of a Server Diskless for Automatic Classroom. *EAU Heritage Journal Science and Technology*. 2018;12(2):181-94.
33. Wongchanchomphu A, Khongnak W, Chotiraso P. Pharmacy control system using Raspberry Pi board. Nakhon Ratchasima: Suranaree University of Technology; 2015.
34. Srikoumnuan B, Buapradit P, Thongsukdee S. Temperature And Humidity Detection System Via Android Application. Nakhon Nayok: Srinakharinwirot University; 2014.
35. Keawwongill T, Tejo N, Pinjan S, editors. Development of Temperature Monitoring System of Blood Bank Refrigerator via Web Browser and Mobile Application. *Naresuan Conference Research 12<sup>th</sup>*; 2019; Phitsanulok.
36. Tadsuan S, Sukserm P. Measuring and Controlling the pH of Water by the Internet of Things. *Pathumwan Academic Journal*. 2020;10(28):60-78.
37. Busabong Z, Saenkham T, Poonsunk N, Dechbandid M. Developing an Online Blood Bank Management System with a Blood Bank Temperature Monitoring Device using Internet of Things Technology: a Case Study of Phutthaisong Hospital, Phutthaisong District, Buriram Province. *Journal of Innovative Technology Management Rajabhat Maha Sarakham University*. 2020;7(1):40-50.
38. Chatkaewmanee P, Kesarapong S, Wanayut W. Internet of Things for Automatic Temperature Recording System. *The 41<sup>st</sup> Electrical Engineering Conference (EECON-41)*; Ubon Ratchathani: Ubon Ratchathani University and Sripatum University; 2018.
39. Hidayati A, Nashiruddin MI. LPWA-based IoT Technology Selection for Smart Metering Deployment in Urban and Sub Urban Areas: A State Electricity Company Perspective. *Buletin Pos dan Telekomunikasi*. 2020;18(2):75-94.

40. Kiesel R, Schmitt RH. Requirements for Economic Analysis of 5G Technology Implementation in Smart Factories from End-User Perspective. IEEE; 2020. p. 1-7.
41. Blythe JM, Johnson SD, Manning M. What is security worth to consumers? Investigating willingness to pay for secure Internet of Things devices. *Crime Science*. 2020;9(1):1-9.
42. คิตสม อัครนันท์, วรพณิชช์ นนทร์. ความเต็มใจจ่ายและการใช้ประโยชน์จากอินเทอร์เน็ตความเร็วสูงและการผลักดันเศรษฐกิจดิจิทัลจากองค์กรบริหารส่วนตำบล: กรณีศึกษา 3 จังหวัด ภาคเหนือของประเทศไทย. *MUT Journal of Business Administration*. 2015;12(2):54-72.
43. พรรณิธิดา เหล่าพวงศักดิ์, นพพร จันทร์นำชู, ณัฐกฤตย์ ดิฐวิรุฬห์. การวิเคราะห์ต้นทุนและผลประโยชน์ของโครงการสายเคเบิลเมืองสันป่าตอง-หางดง (ตอนที่ 1) จังหวัดเชียงใหม่. *วารสารวิทยาการจัดการและสารสนเทศศาสตร์*. 2554;2554(2 เมษายน).
44. Wibisono G, Saktiaji GP, Ibrahim I, editors. Techno economic analysis of smart meter reading implementation in PLN Bali using LoRa technology. 2017 International Conference on Broadband Communication, Wireless Sensors and Powering (BCWSP); 2017 21-23 Nov. 2017.
45. นิตาชล เกียรติกาญจนา, นนทร์ วรพณิชช์, editors. การศึกษาความคุ้มค่าทางการเงินในการใช้ระบบการเติมสินค้าคงคลังอัตโนมัติในธุรกิจค้าปลีกวัสดุก่อสร้าง. รายงานการประชุม Graduate School Conference; 2018; กรุงเทพฯ. บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา; 2018.
46. A. Carteni, I. Henke, M. I. Di Bartolomeo, M. Regna, editors. A Cost-Benefit Analysis of a Fully-Automated Driverless Metro Line in a High-Density Metropolitan Area in Italy. 2019 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2019 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe); 2019 11-14 June 2019.
47. พนิดา พงษ์ไพบูลย์, เอ็มอัชนา นิรันตสุขรัตน์, กุลชาติ มีทรัพย์หลาก. แพลตฟอร์มอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งฐานรากสำคัญสู่การสร้างสรรค่นวัตกรรมดิจิทัล (INTERNET OF THINGS PLATFORM-AN ESSENTIAL FOUNDATION FOR CREATING DIGITAL INNOVATION). *วารสารวิชาการ กสทช ประจำปี 2563 (NBTC Journal 2020)*. 2020:265-87.
48. Biogenetech. LogTag Temperature Recorder (HAXO-8).
49. นิภาพร ชำสอาด. อำนจการทดสอบของการใช้สถิติการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ; 2552.

50. Viroj J. One-Way ANOVA and Multiple Comparison in Public Health Research: A Case Study of Hemorrhagic Fever Protection. *Journal of Science and Technology Maharakham University*. 2015;34(3):304-11.
51. สุพัฒน์ สุขมลสันต์. การเปรียบเทียบก่อนและหลังการทดสอบรวมเพื่อการวิจัย (Priori and Posteriori Comparisons for a Research Study). *ภาษาปริทัศน์*. 2555(27):52-68.
52. สุพัฒน์ สุขมลสันต์. การเปรียบเทียบก่อนและหลังการทดสอบเพื่อการวิจัย. *วารสารวิชาการ มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ มนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์*. 2017;9(2):51-70.
53. Yu F, Zhu Z, Fan Z, editors. Study on the feasibility of LoRaWAN for smart city applications. 2017 IEEE 13th International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob); 2017 9-11 Oct. 2017.
54. ธเนศ ศรีวิชัยลำพันธ์. บทที่ 3 เถลถายการตัดสินใจเพื่อการลงทุน เชียงใหม่: คณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่; [cited 2564 3 มกราคม]. Available from: <http://fuangfah.econ.cmu.ac.th/teacher/thanes/files/%E0%B8%9A%E0%B8%97%E0%B8%97%E0%B8%B5%E0%B9%88%203%20%E0%B9%80%E0%B8%81%E0%B8%93%E0%B8%91%E0%B8%8C%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%95%E0%B8%B1%E0%B8%94%E0%B8%AA%E0%B8%B4%E0%B8%99%E0%B9%83%E0%B8%88%E0%B9%80%E0%B8%9E%E0%B8%B7%E0%B9%88%E0%B8%AD%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%A5%E0%B8%87%E0%B8%97%E0%B8%B8%E0%B8%99.doc>.
55. Blüher M, Saunders SJ, Mittard V, Torrejon Torres R, Davis JA, Saunders R. Critical Review of European Health-Economic Guidelines for the Health Technology Assessment of Medical Devices. *Front Med (Lausanne)*. 2019;6:278-.
56. กองโรคไม่ติดต่อ. โรงพยาบาลระดับ A, S และ M1 ในสังกัดสำนักงานปลัดกระทรวงสาธารณสุข จำนวน 117 แห่ง นนทบุรี: กรมควบคุมโรค; 2563 [cited 2564 18 เมษายน]. Available from: <http://www.thaincd.com/document/file/download/others/%E0%B8%A3%E0%B8%B2%E0%B8%A2%E0%B8%8A%E0%B8%B7%E0%B9%88%E0%B8%AD%E0%B8%A3%E0%B8%9E.%E0%B9%80%E0%B8%9B%E0%B9%89%E0%B8%B2%E0%B8%AB%E0%B8%A1%E0%B8%B2%E0%B8%A2%E0%B8%A3%E0%B8%B0%E0%B8%94%E0%B8%B1%E0%B8%9Aasm1update.pdf>.
57. Bierer A, Götze U, Köhler S, Lindner R. Control and Evaluation Concept for Smart MRO Approaches. *Procedia CIRP*. 2016;40:699-704.

58. กรมบัญชีกลาง. หลักเกณฑ์การคำนวณค่าเสื่อมราคาสินทรัพย์ถาวรสำหรับหน่วยงานภาครัฐ กรุงเทพฯ 2557 [cited 2564 9 ธันวาคม 2564]. Available from:

<http://www.med.swu.ac.th/supplies/images/V238.pdf>.





## ประวัติผู้เขียน

|                   |  |
|-------------------|--|
| ชื่อ-สกุล         | วิจิตตรา คุ่มวงษ์  |
| วัน เดือน ปี เกิด | 12 พฤศจิกายน 2529  |
| สถานที่เกิด       | ปราจีนบุรี   |
| วุฒิการศึกษา      | พ.ศ. 2552 – สำเร็จการศึกษาเภสัชศาสตรบัณฑิต<br>มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ |
| ที่อยู่ปัจจุบัน   | 448 หมู่ 1 ตำบลศาลาลำดวน อำเภอเมือง จังหวัดสระแก้ว 27000               |

