



การพัฒนาชุดอุปกรณ์อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งสำหรับติดตามอุณหภูมิและความชื้นของการเก็บรักษายา

วิจิตตรา คุ่มวงศ์¹, สรวง รุ่งประกายพรรณ^{2,*}

¹ งานบริหารคลังยาและเวชภัณฑ์ กลุ่มงานเภสัชกรรม โรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชสระแก้ว สระแก้ว

² สาขาวิชาชีวการแพทย์และสารสนเทศศาสตร์ทางสุขภาพ คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร
วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ นครปฐม

* ติดต่อผู้พิมพ์: rungpragayphan_s@su.ac.th

บทคัดย่อ

การควบคุมสภาวะการเก็บรักษายาที่ได้มาตรฐานเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ผู้ป่วยมั่นใจได้ว่ายาที่ได้รับจากโรงพยาบาลมีคุณภาพ อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อความคงตัวของยา ดังนั้นระบบติดตามอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์จึงเป็นสิ่งที่จำเป็นต่อกระบวนการเก็บรักษา ยา โดยระบบที่ดีต้องสามารถแสดงข้อมูลได้แบบเป็นปัจจุบัน (real time) รองรับการเรียกดูข้อมูลได้ตลอดเวลา มีการแจ้งเตือนกรณีที่อุณหภูมิหรือความชื้นสัมพัทธ์ออกนอกช่วงที่กำหนด และช่วยลดความผิดพลาดของบุคคลในระบบงานได้ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและประเมินประสิทธิภาพชุดอุปกรณ์อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) สำหรับติดตามอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สำหรับเก็บรักษา ยา โดยชุดอุปกรณ์ IoT สำหรับติดตามอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ประกอบด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ชนิด NodeMCU V2 LUA based ESP8266-12E และเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ DHT22 ใช้โปรแกรม Arduino IDE ในการเขียนชุดคำสั่งด้วยภาษา C/C++ อาศัยคลาวด์เซิร์ฟเวอร์ NETPIE2020 ในการรับข้อมูลออนไลน์จากชุดอุปกรณ์ และติดตั้งระบบแจ้งเตือนผ่าน Line notification ชุดอุปกรณ์ IoT ที่พัฒนาขึ้นสามารถเก็บค่าและรายงานผลออนไลน์ผ่านคลาวด์เซิร์ฟเวอร์ได้ และสามารถแจ้งเตือนผ่าน Line notification เมื่ออุณหภูมิหรือความชื้นสัมพัทธ์มีค่าสูงเกินจากค่าที่กำหนดจากการประเมินประสิทธิภาพของชุดอุปกรณ์ด้วยการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยที่เก็บได้จากชุดอุปกรณ์ IoT และอุปกรณ์มาตรฐาน LogTag[®] โดยเก็บข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ทุก 30 นาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และ 30 วินาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และใช้สถิติ One Way ANOVA ในการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยพบว่า ชุดอุปกรณ์ IoT ที่พัฒนาขึ้นมีความเที่ยงในการวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้จากชุดอุปกรณ์ IoT มีความแตกต่างกับจากค่าที่ได้จาก LogTag[®] ที่ (p -value = 0.05) ดังนั้นก่อนนำชุดอุปกรณ์ IoT สำหรับติดตามอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่พัฒนาขึ้นมาใช้งานจริง จำเป็นต้องทำการสอบเทียบ (calibration) กับอุปกรณ์มาตรฐานเช่น LogTag[®] เสียก่อน

คำสำคัญ: อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง, อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์, LogTag[®], การสอบเทียบ

รับต้นฉบับ: 24 พฤษภาคม 2565; แก้ไข: 24 มิถุนายน 2565; ตอรับตีพิมพ์: 25 กรกฎาคม 2565

DEVELOPING AN INTERNET OF THINGS DEVICE TO TRACK THE TEMPERATURE AND HUMIDITY OF MEDICAL STORAGE

Wichittra Kumwong¹, Suang Rungpragayphan^{2,*}

¹ Unit of Drug Inventory, Pharmacy Department, Sakaeo Crown Price Hospital, Sakaeo

² Department of Biomedicine and Health Informatics, Faculty of Pharmacy, Silpakorn University, Sanamchandra Palace, Nakhon Pathom

* Corresponding author: rungpragayphan_s@su.ac.th

ABSTRACT

A standardized drug storage system is one factor that ensures patients receive quality medicine from a hospital. Temperature and humidity are two of the most important factors affecting the stability of medications. Therefore, a temperature and humidity monitoring system is critical to the pharmaceutical storage process. An effective system must be capable of displaying information in real-time. It should be able to notify the person in charge if temperature or humidity is outside the specified range, thus reducing human errors. This study focused on developing IoT devices to measure temperature and humidity and to evaluate their performance. The IoT devices were composed of the NodeMCU V2 LUA based ESP8266-12E and the DHT22 temperature and humidity sensor. The Arduino IDE program was used to write instructions in C/C++. The NETPIE2020 cloud server was used for online data access. A notification system via Line notification was also established. The IoT devices can collect and report data online and notify via Line when the temperature or humidity needs to be adjusted. Temperature and humidity data from the IoT devices were compared to that of a standardized LogTag[®]. Temperature and humidity data were collected every 30 minutes for 24 hours, and every 30 seconds for 1 hour. The means of the temperature and humidity from devices were compared using One Way ANOVA. Results showed that the IoT devices measured the temperature and humidity reliably. However, the means of the temperature and relative humidity from the IoT devices differed from the LogTag[®] significantly at p -value of 0.05. Therefore, it is important to calibrate the developed IoT devices with standard equipment such as LogTag[®] prior to being implemented.

Keywords: Internet of Things (IoT), temperature and humidity, LogTag[®], calibration

Received: 24 May 2022; Revised: 24 June 2022; Accepted: 25 July 2022

บทนำ

ตามมาตรฐานหลักปฏิบัติที่ดีในการจัดเก็บและกระจายยาและเวชภัณฑ์ (Guide to good storage & distribution practice for pharmaceutical products; GSDP) ขององค์การอนามัยโลก (WHO) ได้ให้คำแนะนำสถานะการจัดเก็บยาและเวชภัณฑ์ กรณีที่ระบุจัดเก็บในอุณหภูมิห้อง (Store under ambient conditions) หมายถึงการเก็บในที่แห้ง (ความชื้นสัมพัทธ์ไม่เกิน 60%) สถานที่จัดเก็บมีอากาศถ่ายเทดี อุณหภูมิอยู่ระหว่าง 15-30°C และป้องกันแสง⁽¹⁾ สำหรับประเทศไทย โลจิสติกส์ของอุตสาหกรรมยาเริ่มดำเนินการตาม “หลักเกณฑ์วิธีการที่ดีในการจัดส่งยา (GDP)” และ “หลักเกณฑ์วิธีการที่ดีในการจัดเก็บยา (GSP)” ซึ่ง ออย. ได้ประกาศใช้เป็นกฎหมายสำหรับกลุ่มยาชีววัตถุ ท้ายคำสั่งกระทรวงสาธารณสุข ที่ 942/2556^(2, 3) ห้องยาและคลังยาของโรงพยาบาลเป็นสถานที่เก็บยาที่ต้องดูแลให้อยู่ในสภาพดี ไม่เสื่อมสภาพหรือเสียหาย จำเป็นต้องมีระบบควบคุมปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อความคงตัวของยา อุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อความคงตัวของยา ยาที่ต้องเก็บในสถานะอุณหภูมิเฉพาะ มักจะสลายตัวหรือเสื่อมสภาพอย่างรวดเร็ว หากเก็บนอกสถานะอุณหภูมิที่กำหนด เช่น ยาฉีดอินซูลินจะมีอายุได้ 2 ปี ถ้าเก็บในสถานะแนะนำที่ 2-8°C แต่จะมีอายุเพียงแค่ 1 เดือนถ้าเก็บที่อุณหภูมิห้อง ความชื้นสัมพัทธ์เป็นอีกปัจจัยที่ส่งผลต่อความคงตัวของยาโดยเฉพาะยาแบบของแข็ง ความชื้นสัมพัทธ์ที่สูงขึ้นมักเพิ่มการสลายตัวของยาโดยเฉพาะยาที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ง่าย^(4, 5) ปัจจุบันโรงพยาบาลของรัฐส่วนใหญ่ ทำการติดตามค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของคลังยาใหญ่ และคลังยาย่อยด้วยวิธีการอ่านค่าจากเครื่องวัด และจดบันทึกอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ด้วยคน ส่งผลให้กระบวนการติดตามค่าไม่ทันเหตุการณ์หรือมีความคลาดเคลื่อน ทำให้มีความเสี่ยงต่ออุบัติการณ์ที่สร้างความเสียหาย จากสถานการณ์และแนวโน้มในปี พ.ศ. 2560 ประเทศไทยมีมูลค่าของตลาดยาประมาณ 180,000 ล้าน

บาท มีขนาดตลาดใหญ่เป็นอันดับ 2 ของภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ตลาดยาในประเทศไทยมีมูลค่าเกือบ 1 ใน 5 ของค่าใช้จ่ายในการรักษาพยาบาลทั้งหมด โดยมูลค่าการจำหน่ายยาผ่านโรงพยาบาลมีสัดส่วนถึง 80% ของมูลค่าตลาดยาทั้งหมด⁽³⁾ จากการสำรวจปัญหาความคงสภาพของผลิตภัณฑ์ยาในบัญชียาหลักแห่งชาติที่จัดซื้อและสำรองไว้ในหน่วยให้บริการทางสุขภาพ ระหว่างปี 2536 – 2537 พบตัวยามีปัญหาความคงสภาพ 206 ตัวยา เมื่อพิจารณาคลังเวชภัณฑ์ของโรงพยาบาลมีสภาพไม่เหมาะสมในการเก็บสำรองยาอยู่ที่ 40% แบ่งเป็นมีเครื่องปรับอากาศแต่อุณหภูมิเฉลี่ยมากกว่า 25°C 14.1% และไม่มีเครื่องปรับอากาศ 17.0% ปัญหาความคงสภาพที่พบมากที่สุดคือการเปลี่ยนแปลงของลักษณะภายนอก 74.8%⁽⁶⁾ ซึ่งกระบวนการดังกล่าวอาจส่งผลให้เกิดการสลายตัวของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บรักษาที่ไม่เหมาะสม จากปัจจัยด้านอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และแสง เป็นต้น ซึ่งสารที่เกิดขึ้นอาจส่งผลต่อความปลอดภัยต่อผู้ป่วยได้⁽⁷⁾

"อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง" หรือ Internet of Things (IoT) หมายถึง ระบบโครงข่ายที่รองรับการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์หลากหลายชนิด ตั้งแต่ คอมพิวเตอร์ โทรศัพท์เคลื่อนที่ อุปกรณ์โครงข่าย อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เซนเซอร์ และวัตถุต่าง ๆ เข้าด้วยกัน ทำให้มนุษย์สามารถสั่งการ ควบคุมการใช้งานอุปกรณ์ต่าง ๆ ผ่านทางโครงข่ายอินเทอร์เน็ต⁽⁸⁾ สำนักงาน กสทช. ได้สนับสนุนนโยบาย Thailand 4.0 ของประเทศ โดยได้ดำเนินการจัดทำร่างประกาศให้มีการใช้งาน IoT ในย่านความถี่ 920 – 925 MHz ซึ่งส่งเสริมให้เกิดการใช้งาน IoT เพิ่มมากขึ้นอย่างกว้างขวาง ทั้งในภาคอุตสาหกรรมและครัวเรือน⁽⁸⁾ มีการนำ IoT มาประยุกต์ใช้ในงานต่าง ๆ ที่หลากหลายดังตัวอย่าง ได้แก่ 1) **ทางด้านการเกษตร** มีการพัฒนาระบบ IoT สำหรับวัดและควบคุมการปรับ pH ของน้ำที่ใช้ในการเกษตร⁽⁹⁾ จากการศึกษา⁽¹⁰⁾ ได้รวบรวมการนำเซนเซอร์แบบต่าง ๆ ที่นำมาใช้ในระบบการเกษตร เช่น

Photodiode ใช้แสงในการวัดคุณสมบัติต่าง ๆ ของดิน Tensiometer เพื่อใช้วัดความอัดแน่นของดิน Ion-Selective Electrodes (ISE) and Ion-Selective Field Effect Transistor sensors (ISFET) คือการใช้ไอเล็กโตรดเพื่อตรวจหาไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปแทสเซียมในดิน หรือแม้แต่การให้ตำแหน่ง GPS ที่แม่นยำ เป็นต้น

2) ทางด้านการแพทย์ มีการพัฒนาระบบจัดการคลังเลือดโดยใช้ IoT ตรวจสอบอุณหภูมิในตัวเย็นเก็บเลือด รวมถึงแจ้งเตือนผ่านไลน์กรณีที่อุณหภูมิออกนอกช่วงที่กำหนดพร้อมกับอุปกรณ์ติดตามตำแหน่งแบบ Real-time⁽¹¹⁾ โดยช่วงที่มีการแพร่ระบาดของโควิด-19 ได้มีการนำ IoT มาใช้ในหลาย ๆ ส่วน เช่น ระบบการให้คำปรึกษาผ่าน Telehealth การประยุกต์ใช้เพื่อติดตามผู้ป่วยที่ติดเชื้อ การให้ข้อมูลแบบ real-time ขณะที่มีการแพร่ระบาดของเชื้อ หรือแม้แต่การนำมาใช้เพื่อให้ได้ผลพยากรณ์การระบาดของโรคที่แม่นยำ เป็นต้น⁽¹²⁾

3) ทางด้านอุตสาหกรรม มีการพัฒนาระบบไฟส่องสว่างและกล้องวงจรปิดในโรงงาน⁽¹³⁾ และระบบควบคุมและติดตามอุณหภูมิห้องแช่แข็งในอุตสาหกรรมการชำแหละเนื้อสัตว์⁽¹⁴⁾ ระบบ Smart-Grid เพื่อให้ในการติดตามกำลังไฟฟ้าจากสายส่งไฟฟ้าแรงสูงเพื่อป้องกันการเกิดภัยพิบัติ หรือการควบคุมระบบโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะ ระบบ Smart buildings เพื่อใช้ในการเข้าถึงการควบคุมระบบบริการทั่วไปภายในตึกอัจฉริยะ หรือ Smart Industry คือการควบคุมพลังงานระยะไกลอย่างมีประสิทธิภาพผ่านการระบบติดตามและระบบการช่วยตัดสินใจที่เหมาะสม⁽¹⁵⁾

จากประโยชน์และความสามารถของ IoT การศึกษาครั้งนี้จึงมุ่งนำเทคโนโลยี IoT มาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาระบบติดตามอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของห้องเก็บยาและเวชภัณฑ์แบบออนไลน์ พร้อมระบบแจ้งเตือนผ่าน Line notification กรณีที่อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ออกนอกช่วงที่กำหนด โดยได้พัฒนาชุดอุปกรณ์ต้นแบบพร้อมศึกษาประสิทธิภาพของชุดอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้น

วิธีการศึกษา

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงพัฒนา (Developmental Research) ได้รับการยกเว้นการพิจารณา (exception review) จากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยศิลปากร REC 64.0624-086-3873 โดยการศึกษาแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ 1) การพัฒนาชุดอุปกรณ์ IoT สำหรับวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของห้องเก็บยาผ่านคลาวด์เซิร์ฟเวอร์ NETPIE2020 และ 2) การประเมินประสิทธิภาพของชุดอุปกรณ์ IoT ที่พัฒนาขึ้นเปรียบเทียบกับอุปกรณ์มาตรฐาน LogTag®

1. การพัฒนาชุดอุปกรณ์ IoT สำหรับวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ผ่านคลาวด์เซิร์ฟเวอร์ NETPIE2020

ฮาร์ดแวร์สำหรับการพัฒนาชุดอุปกรณ์ ประกอบด้วย 1) NodeMCU V2 LUA based ESP8266-12E 2) เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ชนิด DHT22 3) สายแพ Female to Female 4) สาย Micro usb 5) โมดูลชาร์จแบตเตอรี่ชนิด 18650 พร้อมวงจรจ่ายไฟ 3.7V และ 6) แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน NCR18650B ใช้โปรแกรม Arduino IDE ในการเขียนคำสั่งและการจัดการอุปกรณ์ใช้ภาษา C/C++ และใช้คลาวด์เซิร์ฟเวอร์ NETPIE2020 การพัฒนาชุดอุปกรณ์ประกอบด้วย 6 ขั้นตอนดังนี้

1.1 การสร้างบัญชีผู้ใช้งานและสร้างโปรเจกใหม่
เปิดเว็บไซต์ NETPIE.io กดปุ่ม “Sign up” ด้านบนขวาของหน้าเว็บไซต์ กรอกข้อมูลตามที่กำหนด และกดปุ่ม “Sign up” เป็นอันเสร็จสิ้น

1.2 การสร้าง Token จาก Line Notify เปิดเว็บไซต์ <http://notify-bot.line.me/en/> กดปุ่ม “เข้าสู่ระบบ” ด้านบนขวาของหน้าเว็บไซต์ Log in เข้าสู่ระบบโดยใช้ E-mail และ Password ของ Line ที่ต้องการใช้งาน จากนั้นกดปุ่มที่ชื่อ Line ด้านบนขวาของหน้าเว็บไซต์ และเลือก “หน้าของฉัน” กดปุ่ม “ออก Token” ตั้งชื่อ Token และเลือกห้องแชทที่ต้องการส่งข้อความแจ้งเตือน กดปุ่ม “ออก Token” อีกครั้ง ระบบจะส่งรหัส Token ให้

คัดลอกแล้วนำไปวางที่ตำแหน่ง “Linetoken” ในส่วนของ Device Trigger บนเซิร์ฟเวอร์ NETPIE2020

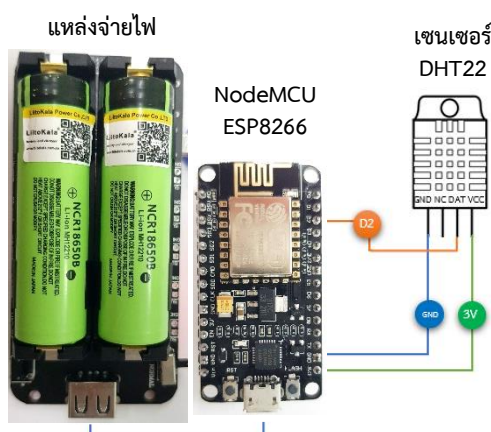
1.3 การเขียนและอัปโหลดคำสั่งเข้าบอร์ดของอุปกรณ์ IoT เพื่อการเชื่อมต่อเซิร์ฟเวอร์ ติดตั้งไลบรารี PubSubClient ให้กับ Arduino IDE เพื่อช่วยให้ NodeMCU ESP8266 สามารถสื่อสารผ่านโปรโตคอล MQTT และไลบรารี DHT.h สำหรับตรวจวัดค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ กำหนดค่าสำหรับการเชื่อมต่อ Wi-Fi และ MQTT โดยกำหนด 1) SSID และ Password ของเครือข่าย Wi-Fi ที่ต้องการให้บอร์ดเชื่อมต่อ 2) ชื่อเครื่องเซิร์ฟเวอร์ที่ให้บริการ MQTT และหมายเลข Port 3) ข้อมูลสำคัญเพื่อใช้ระบุตัวตนในการเข้าเชื่อมต่อกับ NETPIE2020 ได้แก่ Client, Username และ Password ที่ได้จาก Device key และ Secret ที่ขอใน NETPIE.io ทำการเขียนคำสั่งสำหรับควบคุมการทำงานของบอร์ดและเซนเซอร์ ด้วยโปรแกรม Arduino IDE โดยสามารถดูโค้ดคำสั่งได้ที่ <https://bit.ly/3NdORHE>

1.4 การต่อวงจรบนอุปกรณ์ IoT จัดทำอุปกรณ์ IoT ตามขั้นตอน 1) ใช้สายแพต่อขา GPIO ที่ D2 จากบอร์ด NodeMCU ESP8266 กับขา DAT ของเซนเซอร์ เพื่อส่งค่าที่อ่านได้จากเซนเซอร์ไปที่บอร์ด 2) ใช้สายแพต่อขา GPIO ที่ 3V3 จากบอร์ด กับขา VCC ของเซนเซอร์ เพื่อส่งกระแสไฟ 3V จากเซนเซอร์ไปที่บอร์ด 3) ใช้สายแพต่อขา GPIO ที่ GND จากบอร์ด กับขา GND ของเซนเซอร์

เพื่อเป็นสายกาวด์ และ 4) ใช้สาย Micro usb cable ด้าน USB 5V output ต่อกับกับแหล่งจ่ายไฟโมดูลชาร์จแบตเตอรี่ 18650 กับ Micro USB บนบอร์ด ^(16, 17) ดังรูปที่ 1

1.5 การตั้งค่าการเชื่อมต่ออุปกรณ์ IoT กับเซิร์ฟเวอร์ เขียนคำสั่งเพื่อสร้าง Device Schema โดยตั้งค่า additionalProperties เป็น True เพื่ออนุญาตให้บันทึกค่าทั้งหมด รวมถึงค่าที่อยู่นอกเหนือจาก properties ลงใน shadow กำหนดให้จัดเก็บตัวแปร 2 ตัวได้แก่ Temperature และ Humidity โดยจัดเก็บค่าตัวแปรเป็น number

1.6 การสร้างการแจ้งเตือนผ่าน Line Notification ทำการตั้งค่า 2 ส่วนคือ 1) Event Hook ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการกำหนดว่า เมื่อเกิด Trigger ขึ้นให้ดำเนินการอะไรบ้าง สร้างคำสั่งสำหรับการทำ Line Notification ซึ่งต้องกำหนดค่า Attributes 4 ส่วน ได้แก่ 1.1) Body ซึ่งเป็นข้อความหลักที่จะส่งไปยังปลายทาง 1.2) Header ข้อมูลเพิ่มเติมที่ต้องการส่งไปยังปลายทาง เช่น Authorization, Content-Type เป็นต้น 1.3) Method ส่วนที่กำหนดวิธีการส่ง notification (GET, POST หรือ PUT) และ 1.4) Uri Endpoint กำหนดปลายทางว่าต้องการให้ส่งไปที่ใด 2) Device Trigger เป็นคำสั่งสำหรับการตั้งค่า Line Notification บน NETPIE2020 โดยสามารถดูโค้ดคำสั่งได้ที่ <https://bit.ly/3HLI9HC>



รูปที่ 1 การต่อแผงวงจรบนอุปกรณ์ IoT

2. การทดสอบประสิทธิภาพชุดอุปกรณ์ IoT ที่พัฒนาขึ้น

ติดตั้งชุดอุปกรณ์ IoT ที่พัฒนาขึ้น 4 ชุด กำหนดชื่อเป็น Device_01 – 04 อุปกรณ์ IoT ทั้ง 4 ใช้พลังงานไฟฟ้าจากการต่อตรง ชุดอุปกรณ์ถูกบรรจุในกล่องพลาสติกใส ส่วนเซนเซอร์ DHT22 อยู่ภายนอกกล่องเพื่อให้สามารถตรวจสอบสถานะของอากาศได้ดีที่สุด และ LogTag® รุ่น HAXO-8 สถานที่เก็บข้อมูลคือห้องเก็บยาเม็ดและยาฉีดชั้น 2 ของอาคารบริหารคลังยาและเวชภัณฑ์ โรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชสระแก้ว จ.สระแก้ว (13°49'05.8"N 102°04'20.7"E) ห้องได้รับแสงส่องสว่างตลอดทั้งช่วงบ่าย จุดที่ทำการศึกษเป็นบริเวณใกล้กับประตูทางเข้า-ออกของห้อง ไม่ติดกับผนังทั้ง 3 ด้านที่สัมผัสแสงแดด ซึ่งเป็นตำแหน่งที่มีปลั๊กสำหรับเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าสำหรับอุปกรณ์ IoT Device_01 – 04 และ LogTag วางในตำแหน่งใกล้เคียงกัน โดยกำหนดช่วงในการควบคุมอุณหภูมิ $\leq 30^{\circ}\text{C}$ และความชื้นสัมพัทธ์ $\leq 60\%\text{RH}$ ภายในห้องมีระบบควบคุมอุณหภูมิด้วยเครื่องปรับอากาศ 2 ชุดที่ตั้งเวลาทำงานสลับกันตลอด 24 ชั่วโมง ตามค่าอุณหภูมิที่กำหนด เก็บข้อมูลอุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$) และความชื้นสัมพัทธ์ ($\%\text{RH}$) 2 ลักษณะได้แก่ 1) ทุก 30 นาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (15:40 ของวันที่ 25 พฤศจิกายน 2564 - 15:40 ของวันที่ 26 พฤศจิกายน 2564) และ 2) ทุก 30 วินาที เป็นเวลา 30 นาที (9:27–10:26 ของวันที่ 29 พฤศจิกายน 2564) เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้จากอุปกรณ์แต่ละชิ้น ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ด้วยสถิติ One Way ANOVA โดยใช้โปรแกรม IBM SPSS Statistic เวอร์ชัน 26 ในการวิเคราะห์ กรณีผลทดสอบด้วย One Way ANOVA แสดงค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างน้อย 1 คู่ จะใช้สถิติการเปรียบเทียบพหุคูณด้วยวิธี Scheffe

ผลการศึกษา

1. การพัฒนาชุดอุปกรณ์ IoT สำหรับวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ผ่านคลาวด์เซิร์ฟเวอร์ NETPIE2020

ชุดอุปกรณ์ IoT สำหรับวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่พัฒนาขึ้นใช้ Microcontroller (MCU) ชนิด NodeMCU V2 LUA based ESP8266-12E และเซนเซอร์ DHT22 สำหรับการวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ MCU สำหรับงาน IoT ที่แพร่หลายและมีคุณสมบัติใกล้เคียงกัน ได้แก่ ESP8266, ESP32 และ Arduino Nano โดย ESP8266 นั้นใช้งานง่าย ไม่ต้องต่ออุปกรณ์เสริม สามารถเขียนคำสั่งโดยใช้ฟังก์ชันของ Arduino ได้ มีไลบรารีรองรับจำนวนมาก และรองรับการสื่อสารไร้สายผ่าน Wi-Fi ย่าน 2.4GHz^(9, 14, 16-20) สำหรับ ESP32 รองรับการทำงานพื้นฐานเหมือน ESP8266 แต่มี CPU แบบ dual core และเพิ่มคุณสมบัติในเรื่องการสื่อสารโดยเพิ่มโปรโตคอล 802.11n ซึ่งทำความเร็วได้มากกว่าเดิมถึง 2 เท่าและลดสัญญาณรบกวนได้มากกว่า มีสัญญาณเชื่อมต่อมากกว่า พร้อมทั้งมีเซนเซอร์ในตัวได้แก่ เซนเซอร์อุณหภูมิ เซนเซอร์สนามแม่เหล็ก และเซนเซอร์สัมผัส แต่ไม่มีเซนเซอร์ความชื้นสัมพัทธ์ และมีราคาที่สูงกว่า ESP8266^(21, 22) ส่วน Arduino Nano นั้นมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับ ESP8266 และ ESP32 แต่การใช้งานยากกว่า ไม่รองรับ Wi-Fi และไม่มีเซนเซอร์ที่มาพร้อมกับบอร์ด^(23, 24) การศึกษานี้ผู้วิจัยเลือกใช้ ESP8266 เนื่องจากใช้งานง่าย มีคุณสมบัติเพียงพอต่อความต้องการและคุ้มค่างบราคาที่สุด สำหรับ NodeMCU เป็นเฟิร์มแวร์ที่ทำงานบน ESP8266 (รองรับ ESP32 ด้วย) ซึ่งช่วยให้สามารถเขียนโปรแกรมด้วยภาษา LUA ลงบอร์ดได้

ในส่วนของเซนเซอร์สำหรับวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า DHT22 เป็นเซนเซอร์ที่มีประสิทธิภาพเป็นที่นิยมรับในภาคอุตสาหกรรม และมีการนำมาประยุกต์ใช้ในงานทางด้าน IoT จำนวนมาก^(11, 16) เมื่อพิจารณาค่า accuracy ของ DHT22 เทียบกับเซนเซอร์อื่นได้แก่ BME280 และ AHT20 พบว่ามีค่าในระดับที่ใกล้เคียงกัน^(25, 26) แต่ BME280 และ AHT20 ต้องการบอร์ดทดลองเป็นตัวเชื่อมระหว่างเซนเซอร์กับ MCU ผู้วิจัยเลือกใช้ DHT22 ในการพัฒนาชุด

อุปกรณ์ในการศึกษานี้เพราะมีตัวอย่างการใช้งาน ข้อมูลสำหรับการพัฒนาให้ศึกษาจำนวนมาก รวมถึงความพร้อมใช้ของเซนเซอร์ที่ไม่ต้องการอุปกรณ์เสริมอื่น

ในการพัฒนาชุดอุปกรณ์ IoT สำหรับวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ให้สามารถทำงานผ่านคลาวด์ได้ ผู้วิจัยเลือกใช้ NETPIE2020 ซึ่งเป็นคลาวด์แพลตฟอร์มสำหรับ IoT ที่พัฒนาโดยเนคเทคร่วมกับ สวทช. ซึ่งให้บริการฟรีและเป็นที่ยอมรับสำหรับการพัฒนาในประเทศไทย มีแหล่งสืบค้นข้อมูลที่เป็นภาษาไทยค่อนข้างมาก มีข้อมูลอัปเดตอยู่เสมอ มีตัวอย่างพร้อมทั้งคำสั่งเบื้องต้นในการใช้งาน มีหน้าเพจที่สามารถเข้าไปสอบถามกรณีมีปัญหาการใช้งาน ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบการใช้งาน NETPIE2020 กับคลาวด์แพลตฟอร์มที่เป็นที่ยอมรับอีกชนิดหนึ่งได้แก่ Blynk (ไม่ได้แสดงผลการศึกษา) ผลการศึกษาพบว่า NETPIE2020 มีความเหมาะสมกับงานวิจัยมากกว่าทั้งในแง่ของคุณสมบัติที่สามารถทำได้ ตอบสนองต่อความต้องการภายใต้เงื่อนไขของการใช้งานฟรี และการสนับสนุนเมื่อมีปัญหาการใช้งาน ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือก NETPIE2020 สำหรับการพัฒนาชุดอุปกรณ์ นอกจากการใช้คลาวด์แพลตฟอร์มแล้ว การทำงานผ่านคลาวด์ยังสามารถทำได้โดยอาศัย Flow-Based Programing เช่น Node-RED สำหรับช่วยเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ IoT ส่วนต่อประสานโปรแกรมประยุกต์ (API) และคลาวด์เซิร์ฟเวอร์ให้ง่ายขึ้นด้วยการใช้ภาพแทนการเขียนโค้ดคำสั่ง แต่จากการสืบค้นเบื้องต้นมีผู้กล่าวถึงปัญหาสำหรับ Node-RED คือ ตัวแพคเกจบางอย่างหรือไลบรารีที่ใช้เก่าไป และต้องมีเซิร์ฟเวอร์ของตัวเอง⁽²⁷⁻²⁹⁾

จากการศึกษาชุดอุปกรณ์ IoT สำหรับวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ต้นแบบที่ 1 ซึ่งใช้ MCU ชนิด NodeMCU V2 LUA based ESP8266-12E และเซนเซอร์ DHT22 สำหรับวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ดังที่กล่าวข้างต้น ต่อกับโมดูลชาร์จแบตเตอรี่ชนิด 18650 พร้อมวงจรจ่ายไฟ 3.7V แบบรางคู่ และแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน NCR18650B จำนวน 2 ก้อน เมื่อทดสอบการใช้งาน

เบื้องต้นบนคลาวด์เซิร์ฟเวอร์ NETPIE2020 พบว่าจากแบตเตอรี่ที่ชาร์จไฟเต็ม สามารถเก็บข้อมูลต่อเนื่องได้น้อยกว่า 24 ชั่วโมง เนื่องจากโมดูลชาร์จแบตเตอรี่ชนิด 18650 แบบรางคู่ที่ใช้ มีการเขียนคำสั่งให้หยุดจ่ายไฟอัตโนมัติเมื่อมีกระแสไฟน้อยกว่า 30 mA ไว้ในแผงวงจร ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้พัฒนาชุดอุปกรณ์ IoT ต้นแบบที่ 2 ซึ่งมีการเปลี่ยนอุปกรณ์ในการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แก่บอร์ดเป็นโมดูลชาร์จแบตเตอรี่ชนิด 18650 3V แบบรางเดี่ยว และปรับชุดคำสั่งใหม่ให้อุปกรณ์สามารถเข้าสู่โหมด Deep Sleep จากแบตเตอรี่เดิมที่มี rated capacity เท่ากับ 3200 mAh ทำให้อุปกรณ์ต้นแบบที่ 2 ทำงานต่อเนื่องได้ประมาณ 30-33 วัน/การชาร์จเต็ม 1 ครั้ง อย่างไรก็ตามเมื่อนำเครื่องถึงการใช้งาน อุปกรณ์ IoT ต้นแบบที่ 2 ที่ต้องเปลี่ยนแบตเตอรี่ทุก 30 วันไปใช้งานจริง หากติดตั้งชุดอุปกรณ์ IoT ตามจุดที่ต้องติดตามอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ทั้งหมดของโรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชสระแก้ว ซึ่งมีมากกว่า 20 จุด คาดว่าจะเกิดความไม่สะดวกในการเตรียมแบตเตอรี่สำรองและอุปกรณ์สำหรับชาร์จแบตเตอรี่ รวมถึงการลดลงของค่าความจุของแบตเตอรี่เมื่ออายุการใช้งานผ่านไป ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพในการจ่ายกระแสไฟไปยังบอร์ดลดลง เป็นผลให้ระยะเวลาในการใช้งานสั้นตามลงไปด้วย ดังนั้นเพื่อการใช้งานชุดอุปกรณ์ IoT ในระยะยาว การใช้ไฟจากแหล่งจ่ายไฟโดยตรงผ่านตัวแปลงจะมีความเหมาะสมในการใช้งานมากที่สุด ผู้วิจัยจึงได้พัฒนาอุปกรณ์ IoT ต้นแบบที่ 3 โดยเปลี่ยนเป็นใช้ไฟจากแหล่งจ่ายไฟโดยตรง

2. ประสิทธิภาพของชุดอุปกรณ์ IoT ที่พัฒนาขึ้น

การทดสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์ IoT ที่พัฒนาขึ้น มุ่งวัดความตรงและความเที่ยงของการอ่านและบันทึกค่าของอุปกรณ์เทียบกับอุปกรณ์มาตรฐาน (LogTag®) ทำโดยการนำค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่บันทึกได้จากแต่ละอุปกรณ์ภายใต้สภาพแวดล้อมเดียวกัน มาหาค่าเฉลี่ยและเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยสถิติ one way ANOVA โดยทำการเก็บข้อมูล

2 แบบดังนี้ 1) เก็บข้อมูลทุก 30 นาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อให้มีจำนวนข้อมูล (ครั้ง) มากพอ (มากกว่า 30 จุด) สำหรับความน่าเชื่อถือในการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วย one way ANOVA และครอบคลุม 1 รอบวันเพื่อดูลักษณะของข้อมูลที่มีปัจจัยเกี่ยวกับเวลาระหว่างวัน 2) เก็บข้อมูลในช่วงเวลาที่สั้นลงเหลือ 1 ชั่วโมง โดยเก็บข้อมูลทุก 30 วินาที เพื่อลดความแปรปรวนของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เนื่องจากช่วงเวลาของวันที่อาจมีผล ซึ่งความแปรปรวนที่สูงจะมีผลต่อการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วย ANOVA

2.1 ประสิทธิภาพการวัดความชื้นสัมพัทธ์

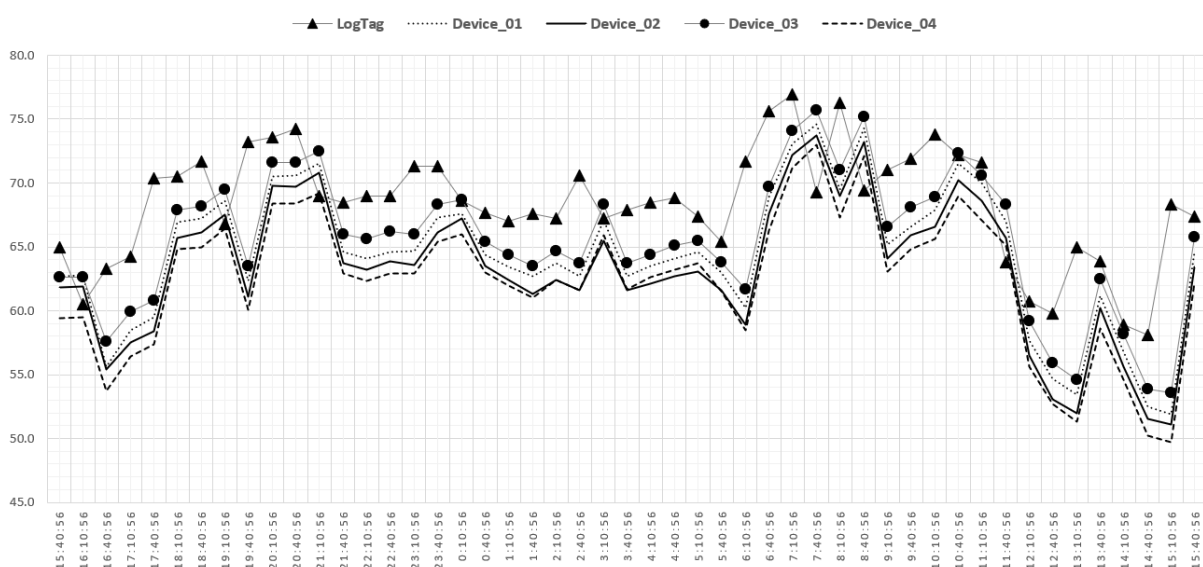
2.1.1 เก็บข้อมูลทุก 30 นาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

จากการเก็บข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ ทุก 30 นาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ด้วยอุปกรณ์ IoT 4 ชุด และ LogTag® ซึ่งใช้เป็นมาตรฐานสำหรับการเทียบประสิทธิภาพ เมื่อนำข้อมูลที่ได้ออกมาพล็อตกราฟเส้นระหว่างค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่อ่านได้กับเวลา พบรูปแบบการกระจายตัวของข้อมูลของอุปกรณ์ทั้ง 4 อุปกรณ์เกาะกลุ่มกันอย่างชัดเจน มีลักษณะการแกว่งเป็นไปในทิศทางเดียวกับ LogTag® เส้นกราฟของข้อมูลจากอุปกรณ์ IoT ในภาพรวมจะต่ำกว่าเส้นกราฟของข้อมูลจาก LogTag® และเส้นกราฟของข้อมูลจาก

อุปกรณ์ IoT มีการเคลื่อนไปทางด้านขวาของเส้นกราฟของข้อมูลจาก LogTag® ดังแสดงในรูปที่ 2 ค่าเฉลี่ยของความชื้นสัมพัทธ์จากน้อยไปมากคือ LogTag® อุปกรณ์ที่ 1, 3, 2 และ 4 ตามลำดับ ผลจากการเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้จากอุปกรณ์ IoT และ LogTag® ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ด้วยวิธี ANOVA พบว่ามีค่าเฉลี่ยของอุปกรณ์ IoT อย่างน้อย 1 อุปกรณ์มีความแตกต่างจาก LogTag® อย่างมีนัยสำคัญ เมื่อทดสอบหาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยเป็นรายคู่ ด้วยวิธี Scheffe ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่าอุปกรณ์ IoT มีค่าเฉลี่ยของความชื้นสัมพัทธ์แตกต่างจาก LogTag® ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 1

2.1.2 เก็บข้อมูลทุก 30 วินาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

จากการเก็บข้อมูลทุก 30 วินาทีเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จะพบว่าค่าความชื้นสัมพัทธ์มีการแกว่งขึ้นลง ซึ่งอาจจะเกิดจากความผันแปรของความชื้นสัมพัทธ์ในช่วงเวลาที่แตกต่างกันของวัน ดังนั้นเพื่อลดปัจจัยความผันแปรของความชื้นสัมพัทธ์เนื่องจากช่วงเวลา ผู้วิจัยจึงได้ทดลองวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ทุก 30 วินาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง (บนสมมติฐานว่าในเวลา 1 ชั่วโมง ความชื้นสัมพัทธ์ไม่น่าจะมีความแตกต่างกันมากนัก) จากการเก็บข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์



รูปที่ 2 กราฟแสดงค่าความชื้นสัมพัทธ์ในช่วงเวลา 24 ชั่วโมง เปรียบเทียบ LogTag® กับอุปกรณ์ IoT

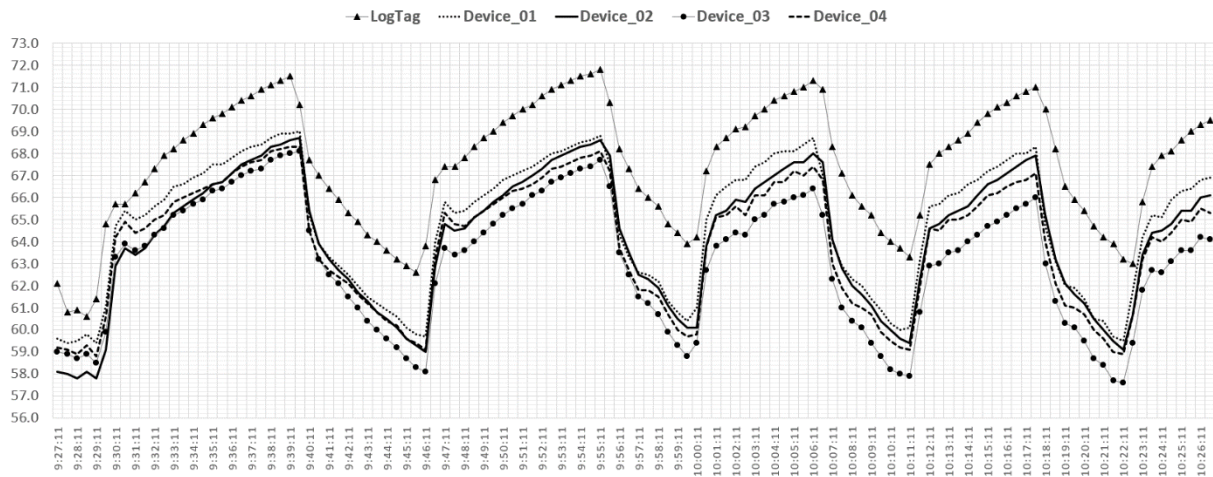
ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบพหุคูณของความขึ้นสัมพันธ์ระหว่าง LogTag® กับอุปกรณ์ IoT

(I) Device	(J) Device	Sig.
LogTag	Device_01	.006*
	Device_02	.000*
	Device_03	.107
	Device_04	.000*
Device_01	LogTag	.006*
	Device_02	.903
	Device_03	.893
	Device_04	.494
Device_02	LogTag	.000*
	Device_01	.903
	Device_03	.370
	Device_04	.954
Device_03	LogTag	.107
	Device_01	.893
	Device_02	.370
	Device_04	.082
Device_04	LogTag	.000*
	Device_01	.494
	Device_02	.954
	Device_03	.082

* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ทุก 30 วินาทีเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ด้วยอุปกรณ์ IoT 4 ชุด และ LogTag® นำข้อมูลที่ได้มาพลอตกราฟเส้นระหว่างค่าความขึ้นสัมพันธ์ที่อ่านได้กับเวลา พบรูปแบบการกระจายตัวของข้อมูลของอุปกรณ์ทั้ง 4 อุปกรณ์เกาะกลุ่มกันอย่างชัดเจน พบลักษณะการแกว่งเป็นไปในทิศทางเดียวกับ LogTag® แต่เส้นกราฟของข้อมูลจากอุปกรณ์ IoT ในภาพรวมจะต่ำกว่าเส้นกราฟของข้อมูลจาก LogTag® และเส้นกราฟของข้อมูลจากอุปกรณ์ IoT มีการเคลื่อนไหวทางด้านซ้ายของเส้นกราฟของข้อมูลจาก LogTag® ดังแสดงในรูปที่ 3 ค่าเฉลี่ยของความขึ้นสัมพันธ์จากน้อยไป

มากคือ อุปกรณ์ IoT ที่ 3, 4, 2, 1 และ LogTag® ตามลำดับ ผลจากการเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของความขึ้นสัมพันธ์ที่ได้จากอุปกรณ์ IoT และ LogTag® ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ด้วยวิธี ANOVA พบว่ามีค่าเฉลี่ยของอุปกรณ์ IoT อย่างน้อย 1 อุปกรณ์มีความแตกต่างจาก LogTag® อย่างมีนัยสำคัญ เมื่อทดสอบหาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยเป็นรายคู่ ด้วยวิธี Scheffe ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่าอุปกรณ์ IoT มีค่าเฉลี่ยของความขึ้นสัมพันธ์แตกต่างจาก LogTag® ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 2



รูปที่ 3 กราฟแสดงความขึ้นสัมพันธ์ในช่วง 1 ชั่วโมง เปรียบเทียบระหว่าง LogTag[®] กับอุปกรณ์ IoT

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบพหุคูณของความขึ้นสัมพันธ์ระหว่าง LogTag[®] กับอุปกรณ์ IoT

(I) Device	(J) Device	Sig.
LogTag	Device_01	.000*
	Device_02	.000*
	Device_03	.000*
	Device_04	.000*
Device_01	LogTag	.000*
	Device_02	.615
	Device_03	.001*
	Device_04	.310
Device_02	LogTag	.000*
	Device_01	.615
	Device_03	.093
	Device_04	.989
Device_03	LogTag	.000*
	Device_01	.001*
	Device_02	.093
	Device_04	.273
Device_04	LogTag	.000*
	Device_01	.310
	Device_02	.989
	Device_03	.273

* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

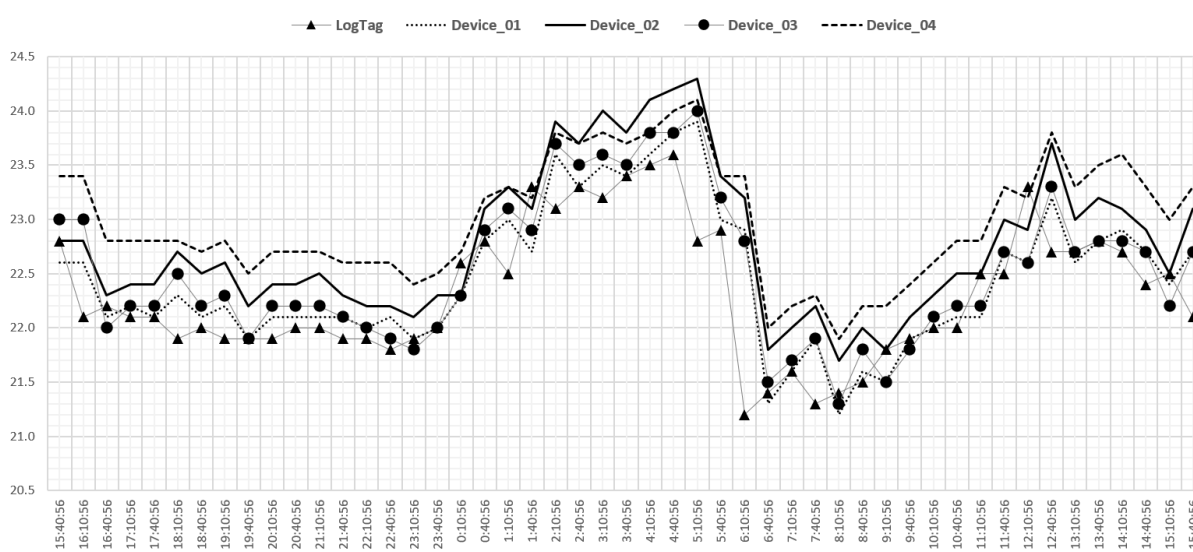
2.2 ประสิทธิภาพการวัดอุณหภูมิ

2.2.1 เก็บข้อมูลทุก 30 นาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

จากการเก็บข้อมูลอุณหภูมิ ทุก 30 นาทีเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ด้วยอุปกรณ์ IoT 4 ชุด และ LogTag® นำข้อมูลที่ได้มาพลอตกราฟเส้นระหว่างค่าอุณหภูมิที่อ่านได้กับเวลา พบรูปแบบการกระจายตัวของข้อมูลของอุปกรณ์ทั้ง 4 อุปกรณ์เกาะกลุ่มกันอย่างชัดเจน มีลักษณะการแกว่งเป็นไปในทิศทางเดียวกับ LogTag® แต่เส้นกราฟของข้อมูลจากอุปกรณ์ IoT ในภาพรวมจะสูงกว่าเส้นกราฟของข้อมูลจาก LogTag® และเส้นกราฟของข้อมูลจากอุปกรณ์ IoT มีการเคลื่อนไปทางด้านขวาของเส้นกราฟของข้อมูลจาก LogTag® ดังแสดงในรูปที่ 4 ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิจากน้อยไปมากคือ LogTag® อุปกรณ์ที่ 1, 3, 2 และ 4 ตามลำดับ ผลจากการเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิที่ได้จากอุปกรณ์ IoT และ LogTag® ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ด้วยวิธี ANOVA พบว่ามีค่าเฉลี่ยของอุปกรณ์ IoT อย่างน้อย 1 อุปกรณ์มีความแตกต่างจาก LogTag® อย่างมีนัยสำคัญ เพื่อทดสอบหาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยเป็นรายคู่ ใช้วิธี Scheffe ในการทดสอบที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่าอุปกรณ์ IoT มีค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิแตกต่างจาก LogTag® ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 3

2.2.2 เก็บข้อมูลทุก 30 วินาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

เช่นเดียวกับประเด็นความชื้นสัมพัทธ์ เพื่อลดความผันแปรระหว่างช่วงเวลาในหนึ่งวัน ผู้วิจัยได้ทดลองเก็บข้อมูลอุณหภูมิทุก 30 วินาทีเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ด้วยอุปกรณ์ IoT 4 ชุด และ LogTag® นำข้อมูลที่ได้มาพลอตกราฟเส้นระหว่างค่าอุณหภูมิที่อ่านได้กับเวลา พบรูปแบบการกระจายตัวของข้อมูลของอุปกรณ์ทั้ง 4 อุปกรณ์เกาะกลุ่มกันอย่างชัดเจน ยกเว้นอุปกรณ์ที่ 3 ภาพรวมมีลักษณะการแกว่งเป็นไปในทิศทางเดียวกัน แต่เส้นกราฟของข้อมูลจากอุปกรณ์ IoT ในภาพรวมจะสูงกว่าเส้นกราฟของข้อมูลจาก LogTag® ดังแสดงในรูปที่ 5 ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิจากน้อยไปมากคือ LogTag® อุปกรณ์ที่ 1, 2, 4 และ 3 ตามลำดับ ผลจากการเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิที่ได้จากอุปกรณ์ IoT และ LogTag® ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ด้วยวิธี ANOVA พบว่ามีค่าเฉลี่ยของอุปกรณ์ IoT อย่างน้อย 1 อุปกรณ์มีความแตกต่างจาก LogTag® อย่างมีนัยสำคัญ เพื่อทดสอบหาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยเป็นรายคู่ ใช้วิธี Scheffe ในการทดสอบที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่าอุปกรณ์ IoT มีค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิแตกต่างจาก LogTag® ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 4

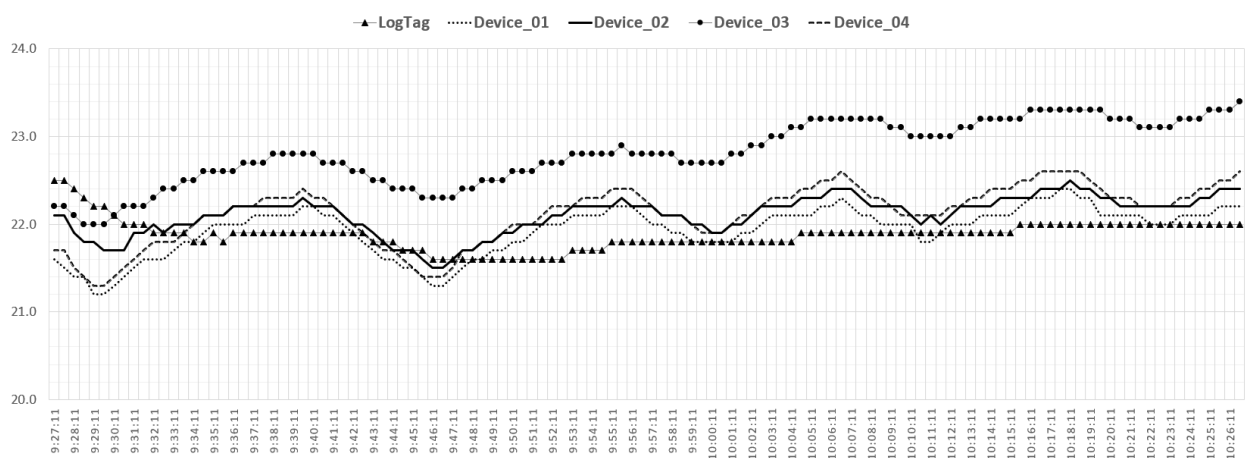


รูปที่ 4 กราฟแสดงอุณหภูมิช่วงเวลา 24 ชั่วโมง เปรียบเทียบระหว่าง LogTag® กับอุปกรณ์ IoT

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบพหุคูณของอุณหภูมิระหว่าง LogTag® กับอุปกรณ์ IoT

(I) Device	(J) Device	Sig.
LogTag	Device_01	.903
	Device_02	.016*
	Device_03	.674
	Device_04	.000*
Device_01	LogTag	.903
	Device_02	.184
	Device_03	.992
	Device_04	.002*
Device_02	LogTag	.016*
	Device_01	.184
	Device_03	.413
	Device_04	.565
Device_03	LogTag	.674
	Device_01	.992
	Device_02	.413
	Device_04	.009*
Device_04	LogTag	.000*
	Device_01	.002*
	Device_02	.565
	Device_03	.009*

* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05



รูปที่ 5 กราฟแสดงอุณหภูมิในช่วง 1 ชั่วโมง เปรียบเทียบระหว่าง LogTag® กับอุปกรณ์ IoT

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบพหุคูณของอุณหภูมิระหว่าง LogTag® กับอุปกรณ์ IoT

(I) Device	(J) Device	Sig.
LogTag	Device_01	.749
	Device_02	.000*
	Device_03	.000*
	Device_04	.000*
Device_01	LogTag	.749
	Device_02	.000*
	Device_03	.000*
	Device_04	.000*
Device_02	LogTag	.000*
	Device_01	.000*
	Device_03	.000*
	Device_04	.998
Device_03	LogTag	.000*
	Device_01	.000*
	Device_02	.000*
	Device_04	.000*
Device_04	LogTag	.000*
	Device_01	.000*
	Device_02	.998
	Device_03	.000*

* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

2.3 ความเที่ยงของอุปกรณ์ IoT ที่พัฒนาขึ้น

2.3.1 ความเที่ยงในการวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์

เมื่อนำข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ที่เก็บทุก 30 วินาทีเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากอุปกรณ์ IoT และ LogTag® มาพลอตกราฟกล่องระหว่างค่าความเที่ยงของความชื้นสัมพัทธ์ที่อ่านได้กับเวลา จะพบการกระจายตัวของค่าความเที่ยงอยู่ในช่วง 1.000 - 0.650 (ค่ายิ่งกว้างความเที่ยงยิ่งต่ำ) โดยกราฟของ LogTag® มีการกระจายตัวของข้อมูลแบบสมมาตรเป็นระฆังคว่ำและมีข้อมูลที่ผิดปกติที่ออกนอกช่วง (Outliner) กราฟของอุปกรณ์ IoT มีการกระจายตัวของข้อมูลเป็นแบบสมมาตร ไม่พบข้อมูล

ผิดปกติที่ออกนอกช่วง ทุกกราฟค่าเฉลี่ยและค่ากลางมีค่าใกล้เคียงกัน ดังแสดงในรูปที่ 6 จากข้อมูลแสดงให้เห็นว่าอุปกรณ์ IoT ทั้ง 4 อุปกรณ์และ LogTag® มีความเที่ยงในการวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์สูง

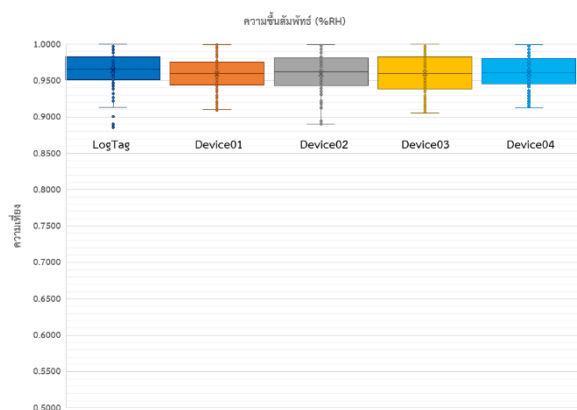
2.3.2 ความเที่ยงของอุณหภูมิ

เมื่อนำข้อมูลอุณหภูมิที่เก็บทุก 30 วินาทีเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากอุปกรณ์ IoT และ LogTag® มาพลอตกราฟกล่องระหว่างค่าความเที่ยงของอุณหภูมิที่อ่านได้กับเวลา จะพบการกระจายตัวของค่าความเที่ยงในช่วงของ 1.000 - 0.930 โดยกราฟ LogTag® มีการกระจายตัวของข้อมูลแบบสมมาตรเป็นระฆังคว่ำและพบข้อมูลผิดปกติที่ออกนอกช่วง

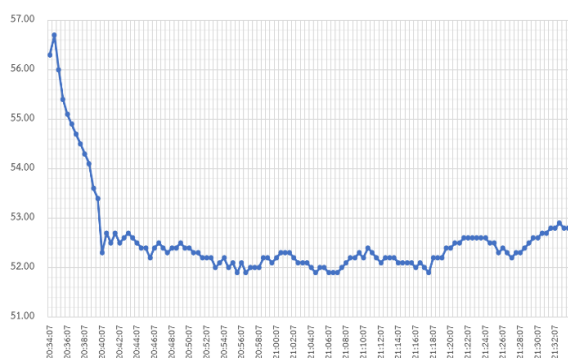
(Outliner) กราฟจากอุปกรณ์ IoT พบอุปกรณ์ที่ 1, 2 และ 4 มีการกระจายตัวของข้อมูลแบบเบ้ซ้าย อุปกรณ์ที่ 3 มีการกระจายตัวของข้อมูลเป็นแบบเบ้ขวา อุปกรณ์ที่ 1, 2 และ 4 พบข้อมูลผิดปกติที่ออกนอกช่วงเล็กน้อย ดังแสดงในรูปที่ 7 จากข้อมูลแสดงให้เห็นว่าอุปกรณ์ IoT ทั้ง 4 อุปกรณ์และ LogTag® มีความเที่ยงในการวัดค่าอุณหภูมิสูงเช่นกัน (สูงกว่าความเที่ยงในการวัดความชื้นสัมพัทธ์)

2.4 ปัจจัยที่ส่งผลต่อความแปรปรวนของข้อมูล

จากผลการทดสอบประสิทธิภาพของชุดอุปกรณ์ IoT ที่พัฒนาขึ้น พบข้อมูลมีการแกว่งขึ้นลงเป็นรอบ ๆ ทั้ง

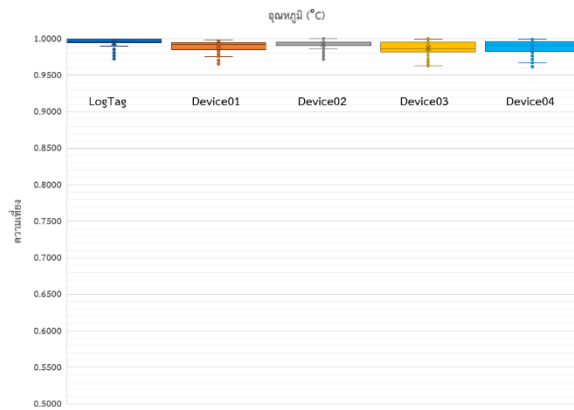


รูปที่ 6 กราฟความเที่ยงของความชื้นสัมพัทธ์
เปรียบเทียบระหว่าง LogTag® กับอุปกรณ์ IoT

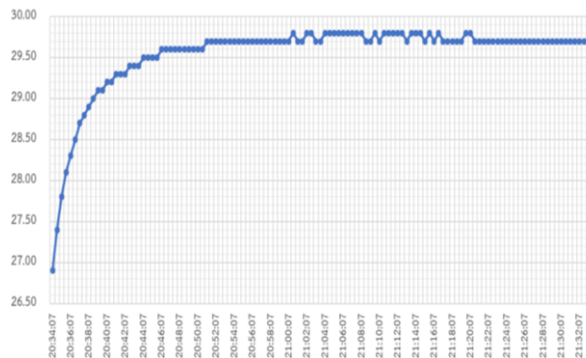


รูปที่ 8 กราฟความชื้นสัมพัทธ์ของ LogTag®

ในอุปกรณ์ IoT และ LogTag® ผู้วิจัยตั้งข้อสังเกตว่าอาจเป็นผลมาจากเครื่องปรับอากาศ ที่มีการตั้งการทำงานเปิด/ปิด ตามอุณหภูมิ ซึ่งอาจเป็นสาเหตุของข้อมูลที่เกิดขึ้นในการทดสอบดังกล่าวได้ การทดสอบนี้จึงนำ LogTag® วางในห้องที่ปิดเครื่องปรับอากาศ เก็บข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ทุก 30 วินาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์จาก LogTag® มีค่าเฉลี่ยของเท่ากับ 29.55, 52.56 ความแปรปรวนเท่ากับ 0.46, 0.88 ดังแสดงในรูปที่ 8 และ 9 ตามลำดับ



รูปที่ 7 กราฟความเที่ยงของอุณหภูมิเปรียบเทียบ
ระหว่าง LogTag® กับอุปกรณ์ IoT



รูปที่ 9 กราฟอุณหภูมิของ LogTag®

อภิปรายผลการศึกษา

การพัฒนาชุดอุปกรณ์ IoT สำหรับวัดอุณหภูมิและความชื้นผ่าน NETPIE2020 คลาวด์เซิร์ฟเวอร์

ผู้วิจัยได้พัฒนาชุดอุปกรณ์ IoT สำหรับวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ โดยใช้ MCU ชนิด NodeMCU V2 LUA based ESP8266-12E และเซนเซอร์ชนิด DHT22 ที่มีแหล่งพลังงานที่มีความแตกต่างกัน 3 รูปแบบ ต้นแบบที่ 1 ใช้แบตเตอรี่ชนิด NCR18650B Li-ion MH12210 จำนวน 2 ก้อน ผลการทดลองพบว่าต้นแบบที่ 1 สามารถเก็บข้อมูลได้น้อยกว่า 24 ชั่วโมง ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาและพัฒนาชุดต้นแบบที่ 2 โดยเปลี่ยนรางจ่ายไฟเป็นชนิด 1 ก้อนที่ไม่มีโมดูลที่รบกวนต่อการเพิ่มคำสั่งให้อุปกรณ์เข้าสู่โหมดประหยัดพลังงาน ผลที่ได้คืออุปกรณ์ต้นแบบที่ 2 สามารถเพิ่มระยะเวลาในการเก็บข้อมูลได้เพิ่มขึ้นจากเดิมเป็น 30 วัน แต่ยังคงต้องมีการเปลี่ยนแบตเตอรี่ ซึ่งเหมาะสำหรับการใช้งานนอกสถานที่ หรือบริเวณที่ไม่สามารถเดินสายไฟได้ และต้นแบบที่ 3 ซึ่งเปลี่ยนแหล่งพลังงานจากแบตเตอรี่เป็นการใช้ไฟจากแหล่งจ่ายไฟโดยตรง ช่วยลดปัญหาการเปลี่ยนแบตเตอรี่เมื่อหมดพลังงาน และเหมาะกับการใช้งานในบริเวณที่สามารถเดินสายไฟได้สะดวก

สำหรับการตั้งค่าคำสั่งกำหนดการทำงานของชุดอุปกรณ์และการแจ้งเตือนผ่าน Line notification สามารถกำหนดหรือปรับค่าได้ตามความต้องการของผู้ใช้งาน เช่น การกำหนดความถี่ในการเก็บข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ความถี่ในการแจ้งเตือนเมื่อค่าที่วัดได้เกินจากค่าที่กำหนด โดยนำเงื่อนไขที่ต้องการไปปรับส่วนของคำสั่ง (ผู้แก้ไขต้องมีความรู้พื้นฐานการเขียนโปรแกรม) ในส่วนของข้อความแจ้งเตือนผ่าน Line notification นั้น สามารถระบุข้อความที่แจ้งเตือนให้สอดคล้องกับตำแหน่งที่ติดตั้งอุปกรณ์ได้ การตั้งค่าการแจ้งเตือนสถานะของอุปกรณ์เมื่อมีปัญหาไฟฟ้าดับหรือสัญญาณขาดหาย และการแจ้งเตือนเมื่อสถานะของอุปกรณ์กลับสู่ปกติ ทั้งหมดสามารถตั้งค่าได้ในส่วนของ Schema และ Trigger ในคลาวด์เซิร์ฟเวอร์ NETPIE2020

ประสิทธิภาพของชุดอุปกรณ์ IoT ที่พัฒนาขึ้น

การทดสอบประสิทธิภาพในการอ่านและบันทึกค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอุปกรณ์ IoT ที่พัฒนาขึ้นเทียบกับอุปกรณ์มาตรฐาน LogTag® ภายใต้สภาพแวดล้อมเดียวกัน จากการเก็บข้อมูลทุก 30 นาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อนำข้อมูล (ค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์) มาพลอตกราฟ (รูปที่ 2 และรูปที่ 4) พบว่า มีความแตกต่างของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในระหว่างวันสูง โดยมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์จาก LogTag® เท่ากับ 0.618 และ 4.373 ตามลำดับ ขณะที่เมื่อเก็บข้อมูลในช่วงเวลาที่สั้นลงเหลือ 1 ชั่วโมง โดยเก็บข้อมูลทุก 30 วินาที เพื่อให้อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ไม่แปรปรวนมากเนื่องจากช่วงเวลาของวัน จากกราฟรูปที่ 3 และรูปที่ 5 พบการแกว่งของข้อมูลจากปัจจัยสิ่งแวดล้อม แต่ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์จาก LogTag® เป็น 0.167 และ 2.817 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับจะเห็นว่าการเก็บข้อมูลช่วงสั้น 1 ชั่วโมงจะมีความแปรปรวนของค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่า

จากการทดสอบความเที่ยงของอุปกรณ์ IoT พบว่าทุกอุปกรณ์มีความเที่ยงในการวัดความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิสูง แต่จากผลการศึกษาพบว่าค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่เก็บทุก 30 วินาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง มีลักษณะการแกว่งขึ้นลงเป็นรอบ (รูปที่ 3 และ 5) ซึ่งน่าจะมีสาเหตุมาจากการทำงานของเครื่องปรับอากาศที่มีการทำงานเป็นรอบ (เป่าลมแรงเมื่ออุณหภูมิสูงกว่าค่าอุณหภูมิที่ตั้งไว้ และทำงานน้อยลงเมื่ออุณหภูมิลดลงถึงค่าที่ตั้งไว้) ซึ่งจะพบการแกว่งขึ้นลงเป็นรอบ ๆ ของข้อมูลที่ชัดเจนมากในกราฟของความชื้นสัมพัทธ์ และพบการแกว่งเล็กน้อยในกราฟของอุณหภูมิ ผู้วิจัยได้ทดลองทำการเก็บข้อมูลในห้องที่ไม่เปิดเครื่องปรับอากาศพบว่า ไม่ปรากฏการแปรปรวนของข้อมูลทั้งความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิ นอกจากปัจจัยการทำงานของเครื่องปรับอากาศแล้ว อาจมีปัจจัยที่ไม่ทราบแน่ชัดที่อยู่ภายในการทำงานของ

เซ็นเซอร์ หรือส่วนอื่น ๆ ของอุปกรณ์ ทำให้มีความแตกต่างของความเที่ยงระหว่างอุปกรณ์

งานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้พัฒนาชุดอุปกรณ์และทดสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้น โดยเปรียบเทียบระหว่างอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นกับอุปกรณ์มาตรฐาน ซึ่งผู้วิจัยจะนำชุดอุปกรณ์ไปประยุกต์ใช้ในการติดตามอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในสถานการณ์จริงที่หลากหลายพร้อมการประเมินผลการใช้งานต่อไป

สรุปผลการศึกษา

จากการพัฒนาอุปกรณ์ IoT สำหรับวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ อุปกรณ์ต้นแบบที่ได้จากงานวิจัยสามารถทำงานได้มีประสิทธิภาพ สามารถนำไปต่อยอดใช้งานได้จริงในงานคลังยาและเวชภัณฑ์ หรือในด้านอุตสาหกรรมอื่น ๆ ที่มีความต้องการในการควบคุมในส่วน of อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของสินค้า หรือแม้แต่ในด้านการเกษตรก็สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ โดยการใช้งานสามารถให้ค่าข้อมูลแบบออนไลน์ แสดงผลบน Dashboard ที่ง่ายต่อการเข้าใจ รวมไปถึงยังสามารถแจ้งเตือนกรณีที่ค่าข้อมูลออกนอกช่วงที่กำหนดได้ ซึ่งการใช้งานอุปกรณ์ดังกล่าวค่อนข้างมีความยืดหยุ่นเนื่องจากสามารถปรับค่าต่าง ๆ ให้เหมาะสมกับการใช้งานได้ เช่น การปรับเปลี่ยนระยะเวลาในการเก็บข้อมูล ค่าวิกฤตที่ต้องการให้อุปกรณ์แจ้งเตือน ค่าใช้จ่ายในการพัฒนาอุปกรณ์ไม่สูงมาก สามารถเชื่อมต่อกับเครือข่าย Wi-Fi ในสำนักงานได้โดยไม่ต้องใช้อุปกรณ์เพิ่มเติม ค่าที่วัดได้จากอุปกรณ์มีความแม่นยำ จากการทดสอบแสดงให้เห็นว่าอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นวัดค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ได้แตกต่างจากอุปกรณ์มาตรฐาน ดังนั้นก่อนนำอุปกรณ์มาใช้จริงจำเป็นต้องทำการสอบเทียบกับอุปกรณ์มาตรฐานเสมอ⁽³⁰⁻³²⁾

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณโรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชสระแก้ว ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการเก็บข้อมูลวิจัย และ

เภสัชกรหญิงเสาวณีย์ ยถาภูษานนท์ หัวหน้ากลุ่มงานเภสัชกรรม ที่สนับสนุนงบประมาณสำหรับอุปกรณ์ในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

1. 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/publications/i/item/978-92-4-000182-4>.
2. 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 [Internet] 2022 [cited 2019 May 29]. Available from: <https://www.fda.moph.go.th/sites/drug/Shared%20Documents/Law7.1-Order-Edit/56-942.pdf>. (in Thai)
3. Wangmethuekul S, Nimkulrat S, Paothong P, Ekanankul S, Chalayut P, Sriamornsak P, et al. Drug manufacturing industry. In: Wichai C, editor. Thai drug system 2020. 1 ed. Bangkok: Health Systems Research Institute (HSRI); 2020. p. 467-508. (in Thai)
4. Chitrattha S. Drug stability [Internet] Bangkok: Center for Continuing Pharmaceutical Education; 2018 [cited 2019 Apr 12]. Available from: <https://ccpe.pharmacycouncil.org/showfile.php?file=484>. (in Thai)
5. Santhiyanon N. Pharmaceutical stability and storage. 2008 [cited 2019 Jun 10]; 3(1):[180-7 pp.]. Available from: <http://ejournals.swu.ac.th/index.php/pharm/article/view/2725/2735>. (in Thai)
6. Churairat R, Dechawut N, Longai P, Rojana K, Yaowalak W, Orapin T. Survey on Stability of Pharmaceutica Products in National List of Essential Drugs Used in Hospitals in Thailand. Siriraj Hospital Gazette. 1999;51:262-83. (in Thai)
7. Melo SR, Homem-de-Mello M, Silveira D, Simeoni LA. Advice on degradation products in pharmaceuticals: a toxicological evaluation. 2014;68(3):221-38.
8. National Broadcasting and Telecommunications Commission (NBTC). Internet of Things technology and Thailand 4.0 policy [Internet] 2017 [cited 2018 Apr 15]. Available from: <https://www.nbtc.go.th/getattachment//Services/quarter2560/%E0%B8%9B%E0%B8%B5-2561/32279/%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. (in Thai)
9. Tadsuan S, Sukserm P. Measuring and controlling the pH of water by the Internet of Things. *Pathumwan Acad J.* 2020;10(28):60-78. (in Thai)
 10. Boursianis AD, Papadopoulou MS, Diamantoulakis P, Liopa-Tsakalidi A, Barouchas P, Salahas G, et al. Internet of Things (IoT) and Agricultural Unmanned aerial Vehicles (UAVs) in smart farming: a comprehensive review. *Internet Things.* 2022; 18:100187.
 11. 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. (in Thai)
 12. Singh RP, Javaid M, Haleem A, Suman R. Internet of Things (IoT) applications to fight against COVID-19 pandemic. *Diabetes Metab Syndr.* 2020;14(4):521-4.
 13. 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 [Dissertation] Yala: Yala Rajabhat University; 2018. (in Thai)
 14. Chatkaewmanee P, Kesarapong S, Wanayut W. Internet of things for automatic temperature recording system. The 41st Electrical Engineering Conference (EECON-41); Nov 21-23; Ubon Ratchathani: Ubon Ratchathani University and Sripatum University; 2018. p. 153-7. (in Thai)
 15. Shafique K, Khawaja BA, Sabir F, Qazi S, Mustaqim M. Internet of Things (IoT) for next-generation smart systems: a review of current challenges, future trends and prospects for emerging 5G-IoT scenarios. *IEEE Access.* 2020;8:23022-40.
 16. Kodali RK, Mahesh KS, editors. Low cost ambient monitoring using ESP8266. 2016 2nd International Conference on Contemporary Computing and Informatics (IC3I); 2016 Dec 14-17 Amity University, Noida, India: IEEE Access; 2016.
 17. Kodali RK, Mahesh KS, editors. A low cost implementation of MQTT using ESP8266. 2016 2nd International Conference on Contemporary Computing and Informatics (IC3I); 2016 Dec 14-17 Amity University, Noida, India: IEEE Access.
 18. Manushri G, Jnanavi G, Sahil I, Manaswi P, Vishal G. Power consumption optimization in iot based wireless sensor node using ESP8266 [Internet] 2020 [Available from: <https://www.proquest.com/openview/70a752fef9418df8693bc7b1a99c659b/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2040552>.
 19. Agency TNSaTD. An official guide to NETPIE [Internet] 2017 [cited 2022 Jun 20]. Available from: <https://netpie.io/tutorials>. (in Thai)
 20. Sheikh MF. A novel IoT switching model based on cloud-centric RTDBS. *EAI Endorsed Trans Internet Things.* 2019(19):1-7.
 21. Modulemore. Nodemcu or ESP8266 or ESP32 is a good choice! what's the difference between nodemcu v2 and v3? [Internet] 2022 [cited 2022 Jun 21]. Available from: <https://www.modulemore.com/article>. (in Thai)
 22. ArduinoOne. ESP32 part 1 different types of ESP32 and their comparison with ESP8266 [Internet] 2019 [cited 2022 Jun 21]. Available from: <https://www.arduinoone.com/index.php?module=knowledge&id=36>. (in Thai)
 23. Difference between arduino nano & nodeMCU [Internet] 2015 [cited 2022 Jun 21]. Available from: <http://jjizaaa.blogspot.com/2015/09/arduino-nano-nodemcu.html>. (in Thai)
 24. Arduino. Arduino Nano [Internet] 2022 [Available from: <https://docs.arduino.cc/static/d5bad8dab890ea8da1a30396b0332b91/A000005-datasheet.pdf>.
 25. Seeed Technology Co. L. Seeed temperature sensor selection guide [Internet] 2021 [cited 2022 Jun 21]. Available from: https://wiki.seeedstudio.com/Sensor_temperature/.
 26. Evstigneev V, Kuznetsov P, Voronin D, Naumova V. Variant analysis of measurement components in environmental engineering. *IOP Conf Ser: Earth Environ Sci.* 2022;981(3).
 27. Supotsaeaa. Node-RED – host for node-RED [Internet] 2015 [cited 2022 Jun 23]. Available from: <https://supotsaeaa.wordpress.com/category/node-red/>. (in Thai)
 28. L MP. Assemble blynk and node-RED [Internet] 2018 [cited 2022 Jun 23]. Available from: <https://medium.com/mmp-li/%E0%B8%9B%E0%B8%A3%E0%B8%B0%E0%B8%81%E0%B8%AD%E0%B8%9A%E0%B8%A3%E0%B9%88%E0%B>

- 8% B2% E0% B8% 87- blynk-
% E0% B8% 81% E0% B8% B1% E0% B8% 9A- node- red-
54f67433805b. (in Thai)
29. Kittisak C. Node creation techniques to use with node-RED to do as we want [Internet] 2021 [cited 2022 Jun 23]. Available from: <https://nickuntitled.com/2021/03/27/customize-node-red-module-for-yourself/>. (in Thai)
30. Wongchanchomphu A, Khongnak W, Chotiraso P. Pharmacy control system using raspberry pi board [Dissertation] Nakhon Ratchasima: Suranaree University of Technology; 2019. (in Thai)
31. Srikoumnuan B, Buapradit P, Thongsukdee S. Temperature and humidity detection system via android application [Dissertation] Nakhon Nayok: Srinakharinwirot University; 2014. (in Thai)
32. 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 12th; 2019; Phitsanulok. (in Thai)