การพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันแจ้งเตือนสภาวะอากาศด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งร่วมกับแผนที่ภูมิศาสตร์

ธนพนธ์ ตันสุขี[1], อุบลรัตน์ ศิริสุขโภคา[1] และ ไพศาล สิมาเลาเต่า[1*]

[1]สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
*paisan.smlt@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ออกแบบ และพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันแจ้งเตือนสภาวะอากาศด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งร่วมกับแผนที่ภูมิศาสตร์ และ 2) หาประสิทธิภาพของเว็บแอปพลิเคชันแจ้งเตือนสภาวะอากาศด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งร่วมกับแผนที่ภูมิศาสตร์ เครื่องมือในการวิจัย ประกอบด้วย เครื่องมือในการทดลอง คือ เว็บแอปพลิเคชันแจ้งเตือนสภาวะอากาศด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งร่วมกับแผนที่ภูมิศาสตร์ที่พัฒนาด้วยภาษา C/C++, HTML, CSS, PHP เชื่อมต่อกับฐานข้อมูล MySQL และเครื่องมือในการรวบรวมข้อมูล คือ แบบประเมินประสิทธิภาพเว็บแอปพลิเคชัน วิธีดำเนินการวิจัย ประกอบด้วย 1) วิเคราะห์ปัญหาและความต้องการ 2) ออกแบบระบบ 3) พัฒนาระบบ 4) ทดสอบระบบ และ 5) ประเมินผลโดยผู้เชี่ยวชาญที่ได้มาจากการเลือกแบบเจาะจง จำนวน 3 คน

ผลการวิจัยพบว่า 1) เว็บแอปพลิเคชันแจ้งเตือนสภาวะอากาศด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งร่วมกับแผนที่ภูมิศาสตร์สามารถใช้งานได้เป็นอย่างดีมีประสิทธิภาพ และ 2) ผลการประเมินประสิทธิภาพเว็บแอปพลิเคชันแจ้งเตือนสภาวะอากาศด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งร่วมกับแผนที่ภูมิศาสตร์โดยผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 คน อยู่ในระดับดีมาก ($\bar{X}$=4.51, S.D.=0.53)

คำสำคัญ: สภาวะอากาศ อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง แผนที่ภูมิศาสตร์

Development of Internet of Things Weather Alert Web Application with Geographic Map

Tanapon Tansukee[1], Ubonrat Sirisukpoca[1] and Paisan Simalaotao[1*]

[1]Computer Science, Faculty of Science and Technology, Nakhon Pathom Rajabhat University
*paisan.smlt@gmail.com

Abstract

The objectives of this research are: 1) to design and develop an internet of things weather alert web application with geographic map, and 2) to determine the effectiveness of the development of an internet of things weather alert web application with geographic map. The research tools consisted of experimental tool and data collecting tool. Experimental tool is internet of things weather alert web application with geographic maps developed with C/C++, HTML, PHP connecting to MySQL database. Data collecting tool is system efficiency evaluation form. Research methodology can be classified into 5 steps: 1) problem and requirement analysis, 2) system design, 3) system development, 4) system testing, and 5) system evaluation by three purposively selected experts.

The findings from this research are: 1) the internet of things weather alert web application with geographic map can be performed well, and 2) the efficiency of the proposed system evaluated by three experts is in highest level ($\overline{X}$=4.51, S.D.=0.53).

Keywords: Weather, Internet of Things (IoT), Geographic Map

1. บทนำ

ปัจจุบันปัญหามลพิษทางอากาศเป็นปัญหาหนึ่งที่สำคัญและทวีความรุนแรงมากขึ้น สาเหตุมาจากการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากร ซึ่งกิจวัตรประจำวันส่งผลต่อการใช้พลังงานที่มากขึ้นส่งผลให้ปริมาณอากาศเสียที่มาจากการผลิตของภาคอุตสาหกรรม ภาคการเกษตร และการคมนาคม เป็นต้น รวมถึงอาจเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ ได้แก่ ฝุ่นละอองจากลมพายุ ภูเขาไฟระเบิด แผ่นดินไหว ไฟไหม้ป่า โดยปริมาณอากาศเสียจากสาเหตุดังกล่าวนั้นถูกปล่อยออกมาในรูปของฝุ่นละออง ซึ่งสามารถส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และสุขอนามัยของประชาชนทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยเฉพาะฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5) หากมีค่าเกินมาตรฐานคุณภาพอากาศจะส่งผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจของผู้คน โดยข้อมูลจากทั้งภาคธุรกิจและราชการพบว่า ปัญหาหมอกควันส่งผลกระทบต่อคุณภาพชีวิตและสุขภาพของประชาชนในวงกว้าง ทำให้จำนวนผู้ป่วยด้วยโรคระบบทางเดินหายใจ โรคหัวใจ ผิวหนัง ดวงตา รวมไปถึงผู้ป่วยด้านสุขภาพจิตเพิ่มขึ้น

จากปัญหาข้างต้น ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการลดความเสี่ยงจากปัญหาของคุณภาพอากาศที่สามารถส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนในพื้นที่ จึงพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันแจ้งเตือนสภาวะอากาศด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งร่วมกับแผนที่ภูมิศาสตร์ โดยใช้แนวคิดการออกแบบฐานข้อมูล การพัฒนาระบบ และการตรวจจับค่ามลพิษของเซนเซอร์ต่าง ๆ ประกอบด้วย อุณหภูมิ ความชื้น ค่าฝุ่น PM2.5 และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ เพื่อให้ผู้ใช้เฝ้าระวังตนเองได้

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

2.1 เพื่อออกแบบและพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันแจ้งเตือนสภาวะอากาศด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งร่วมกับแผนที่ภูมิศาสตร์

2.2 เพื่อหาประสิทธิภาพของเว็บแอปพลิเคชันแจ้งเตือนสภาวะอากาศด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งร่วมกับแผนที่ภูมิศาสตร์

3. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1.1 อินเทอร์เน็ตเพื่อสรรพสิ่ง (Internet of Things) หรือ IOT [1] หมายถึง สภาพแวดล้อมอันประกอบด้วยสรรพสิ่งที่สามารถสื่อสารและเชื่อมต่อกันได้ผ่านโพรโทคอลการสื่อสารทั้งแบบใช้สายและไร้สาย โดยสรรพสิ่งต่าง ๆ มีวิธีการระบุตัวตนได้ รับรู้บริบทของสภาพแวดล้อมได้ และมีปฏิสัมพันธ์โต้ตอบและทำงานร่วมกันได้ ความสามารถในการสื่อสารของสรรพสิ่งนี้จะนำไปสู่นวัตกรรมและบริการใหม่อีกมากมาย ตัวอย่างเช่น เซนเซอร์ภายในบ้านตรวจจับการเคลื่อนไหวของผู้อยู่อาศัย และส่งสัญญาณไปสั่งเปิด-ปิดสวิตซ์ไฟตามห้องต่าง ๆ ที่มีคนหรือไม่มีคนอยู่ อุปกรณ์วัดสัญญาณชีพของผู้ป่วยหรือผู้สูงอายุและส่งข้อมูลไปยังบุคลากรทางการแพทย์ หรือส่งข้อความเรียกหน่วยกู้ชีพหรือรถฉุกเฉิน เป็นต้น

3.1.2 แผนที่ภูมิศาสตร์ [2] หมายถึง สื่อรูปแบบหนึ่งที่ถ่ายทอดข้อมูลของโลกในรูปกราฟิก โดยการย่อส่วนให้เล็กลงด้วยมาตราส่วนขนาดต่าง ๆ และเส้นโครงแผนที่แบบต่าง ๆ ให้เข้าใจตรงตามวัตถุประสงค์ด้วยการใช้สัญลักษณ์ ” ดังนั้น จึงกล่าวไว้ว่าแผนที่เป็นสิ่งที่มนุษย์สร้างขึ้นเพื่อแสดงลักษณะของพื้นผิวโลก และสิ่งที่ปรากฏอยู่บนพื้นผิวโลก ทั้งที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติและสิ่งที่มนุษย์สร้างขึ้น ด้วยการย่อส่วนให้มีขนาดเล็กลงตามอัตราส่วนที่ต้องการและใช้สัญลักษณ์แทนสิ่งต่าง ๆ ที่มีอยู่จริงบนผิวโลก ทั้งนี้จะคงความเหมือนจริงทั้งขนาด รูปร่าง ทิศทาง และตำแหน่งที่ตั้งไว้

3.1.3 Arduino IDE [3] เป็นซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการพัฒนางานสำหรับบอร์ด Arduino นั่นคือโปรแกรมที่เรียกว่า Arduino IDE ในการเขียนโปรแกรมและคอมไพล์ลงบอร์ด IDE ย่อมาจาก (Integrated Development Environment) คือ ส่วนเสริมของระบบการพัฒนาหรือตัวช่วยต่าง ๆ ที่จะคอยช่วยเหลือ Developer หรือช่วยเหลือคนที่พัฒนาแอปพลิเคชันเพื่อเสริมให้เกิดความรวดเร็ว ถูกต้อง แม่นยำ ตรวจสอบระบบที่จัดทำได้ ทำให้การพัฒนางานต่าง ๆ เร็วมากขึ้น

3.1.4 Visual Studio Code [4] หรือ VS Code จากบริษัทไมโครซอฟต์ เป็นโปรแกรมประเภท Editor ใช้ในการแก้ไขโค้ดที่มีขนาดเล็ก แต่มีประสิทธิภาพสูง เป็น Open Source โปรแกรมจึงสามารถนำมาใช้งานได้โดยไม่มีค่าใช้จ่าย เหมาะสำหรับนักพัฒนาโปรแกรมที่ต้องการใช้งานหลายแพลตฟอร์ม รองรับการใช้งานทั้งบน Windows, macOS และ Linux รองรับหลายภาษาทั้ง JavaScript, TypeScript, Node.js และสามารถเชื่อมต่อกับ Git ได้ง่าย สามารถนำมาใช้งานได้ง่ายไม่ซับซ้อน มีเครื่องมือและส่วนขยายต่าง ๆ ให้เลือกใช้มากมาย รองรับการเปิดใช้งานภาษาอื่น ๆ ทั้ง ภาษา C++, C#, Java, Python, PHP หรือ Go สามารถปรับเปลี่ยน Themes ได้ มีส่วน Debugger และ Commands เป็นต้น

3.1.5 MySQL [5] คือ โปรแกรมระบบจัดการฐานข้อมูล ที่พัฒนาโดยบริษัท MySQL AB มีหน้าที่เก็บข้อมูลอย่างเป็นระบบ รองรับคำสั่ง SQL เป็นเครื่องมือสำหรับเก็บข้อมูลที่ต้องใช้ร่วมกับเครื่องมือหรือโปรแกรมอื่นอย่างบูรณาการ เพื่อให้ได้ระบบงานที่รองรับความต้องการของผู้ใช้ เช่น ทำงานร่วมกับเครื่องบริการเว็บ (Web Server) เพื่อให้บริการแก่ภาษาสคริปต์ที่ทำงานฝั่งเครื่องบริการ (Server-Side Script) เช่น ภาษา PHP ภาษา aps.net หรือภาษาเจเอสพี เป็นต้น หรือทำงานร่วมกับโปรแกรมประยุกต์ (Application Program) เช่น ภาษาวิชวลเบสิกดอทเน็ต ภาษาจาวา หรือภาษาซีชาร์ป เป็นต้น โปรแกรมถูกออกแบบให้สามารถทำงานได้บนระบบปฏิบัติการที่หลากหลาย และเป็นระบบฐานข้อมูลโอเพนซอร์ซที่ถูกนำไปใช้งานมากที่สุด

3.1.6 LINE Notify [6] เป็นบริการรับการแจ้งเตือนจากบัญชีทางการในรูปแบบ API สำหรับโปรแกรมเมอร์ นักพัฒนาซอฟต์แวร์ นำไปใช้ต่อยอดพัฒนาโปรเจคต่าง ๆ เชื่อมต่อกับเว็บเซอร์วิส เช่น Github IFTTT และ Mackerl สร้างการแจ้งเตือนแบบข้อความไปยังกลุ่มหรือบัญชีส่วนตัวได้โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย ยกเว้นกรณีที่เชื่อมต่อกับเว็บเซอร์วิสอื่น ๆ ซึ่งอาจมีบางบริการที่ใช้ได้เฉพาะบัญชีแบบเสียค่าบริการเท่านั้น

3.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สิทธิโชค สินคุ่ย [7] ทำวิจัยเรื่อง การพัฒนาระบบเฝ้าระวังฝุ่นละอองขนาดเล็กและคุณภาพอากาศ โดยใช้เทคโนโลยี IoT ร่วมกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ มีจุดประสงค์เพื่อพัฒนาระบบฐานข้อมูลและพัฒนาระบบแจ้งเตือนคุณภาพอากาศด้วยเซนเซอร์ที่มีต้นทุนต่ำ มีประสิทธิภาพในการใช้งาน ซึ่งเป็นการพัฒนาต่อยอดที่จะสามารถช่วยลดต้นทุนได้หลักการทำงานของ

ระบบที่พัฒนาขึ้นจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนส่งข้อมูลจากเซนเซอร์ ส่วนรับข้อมูล และวิเคราะห์ข้อมูล โดยเซนเซอร์จะส่งข้อมูลในทันทีที่เปิดใช้งาน ไปยังส่วนของเซิร์ฟเวอร์ที่เป็นส่วนรับและจัดเก็บข้อมูล จากนั้นระบบจะทำการวิเคราะห์ข้อมูลในการรายงานและแจ้งเตือนปริมาณฝุ่นละออง รวมถึงการพัฒนาเว็บไซต์และแอปพลิเคชันที่จะเป็นส่วนสำคัญในการนำเสนอข้อมูลที่เป็นระบบรายงานผลแบบออนไลน์ เพื่อให้ผู้รับข้อมูลเข้าถึงข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว ทันสถานการณ์ และเข้าใจง่าย

ศิริชัย และพงษ์พิสิฐ [8] ทำวิจัยเรื่อง อุปกรณ์ IoT รดน้ำอัตโนมัติอ้างอิงตามความชื้นในดินและสภาพอากาศ งานวิจัยนี้นำเสนออุปกรณ์ไอโอทีรดน้ำต้นไม้อัตโนมัติโดยใช้ sensor ความชื้นในดินและผลการพยากรณ์อากาศในการประมวลผลตัดสินใจสั่งการรดน้ำ ผลจากการทดสอบพบว่า อุปกรณ์ ไอโอทีสามารถเก็บค่าจาก sensor แล้วส่งไปยังเอพีไอให้ทำการประมวลผลร่วมกับสภาพอากาศเพื่อตัดสินใจสั่งการรดน้ำหรือไม่สั่งการรดน้ำได้ ตามที่ผู้วิจัยกำหนดไว้ และสามารถส่งข้อความแจ้งไปยังผู้ใช้งานถึงสถานการณ์ทำงานว่ามีการรดน้ำหรือไม่และเหตุผลที่ตัดสินใจสั่งการในรูปแบบนั้น

สิทธิโชค, อรรควุธ และธนาพล [9] ทำวิจัย เรื่อง การพัฒนาระบบแจ้งเตือนสภาวะแวดล้อมทางการเกษตรโดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง กรณีศึกษา สวนมะม่วง การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ออกแบบและพัฒนาระบบแจ้งเตือนสภาวะแวดล้อมทางการเกษตรโดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง และ 2) ศึกษาผลการทดลองใช้ระบบแจ้งเตือนสภาวะแวดล้อมทางการเกษตรโดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ 1) ระบบแจ้งเตือนสภาวะแวดล้อมทางการเกษตรโดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง 2) แบบบันทึกการทดสอบประสิทธิภาพของระบบ การทดสอบประสิทธิภาพของระบบด้วยการตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ ดังต่อไปนี้ 1) ความเข้มข้นของแสง 2) ค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ และ 3) ค่าความชื้นในดิน สถิติที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าสถิติทดสอบที ผลการวิจัยพบว่า 1) ผลการออกแบบและพัฒนาระบบแจ้งเตือนสภาวะแวดล้อมทางการเกษตรโดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง กรณีศึกษาสวนมะม่วง พบว่า มีองค์ประกอบ 3 ส่วน ได้แก่ 1.1) ส่วนรับค่า 1.2) ส่วนประมวลผล และ 1.3) ส่วนรายงานผล ที่สามารถทำการส่งข้อมูลต่าง ๆ ผ่านระบบเครือข่ายไร้สายมายังแสดงผลและแจ้งเตือนยังอุปกรณ์เคลื่อนที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพตามวัตถุประสงค์ที่ได้ตั้งไว้ และ 2) การศึกษาผลการทดลองใช้ระบบแจ้งเตือนสภาวะแวดล้อมทางการเกษตรโดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง กรณีศึกษา สวนมะม่วง พบว่า มีการแสดงผลได้ดังนี้ 2.1) ค่าความเข้มข้นของแสง สามารถวัดได้ตั้งแต่ 20,000-30,000 Lux ค่าความเหมาะสม จะอยู่ช่วงระหว่าง 25,000-27,000 Lux 2.2) ค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ สามารถวัดได้ตั้งแต่ 0–100 (°C) ค่าความเหมาะสม จะอยู่ช่วงระหว่าง 20–34 (°C) และ 2.3) ค่าความชื้นในดิน สามารถวัดได้ตั้งแต่ 20%RH–98%RH ค่าความเหมาะสม จะอยู่ช่วงระหว่าง 20–34 (°C) ≤40%RH และ ≥65%RH

สายชล [10] ทำวิจัยเรื่อง การพัฒนาระบบตรวจวัดคุณภาพอากาศสำหรับการประเมินและตรวจสอบคุณภาพอากาศภายในมหาวิทยาลัยนเรศวรด้วยเทคนิค IoT และ GIS โดยผู้วิจัยได้พัฒนาระบบเฝ้าระวังและติดตามคุณภาพอากาศด้วยเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายสำหรับใช้รายงานผล และพัฒนาระบบแจ้งเตือนคุณภาพอากาศแบบเรียลไทม์ด้วยเซนเซอร์ที่มีต้นทุนต่ำ มีประสิทธิภาพในการใช้งาน ซึ่งเป็นการพัฒนาต่อยอดที่จะสามารถช่วยลดต้นทุนได้ หลักการทำงานของระบบที่พัฒนาขึ้นจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ 1) ส่วนส่งข้อมูลจากเซนเซอร์ ส่วนรับข้อมูล และวิเคราะห์ข้อมูล โดยเซนเซอร์จะทำการส่งข้อมูลไปยังส่วนของเซิร์ฟเวอร์ที่เป็นส่วนรับ และจัดเก็บข้อมูลทันทีหลังจากที่มีการเรียกใช้งาน รวมถึงการพัฒนาเว็บไซต์แอปพลิเคชัน เป็นส่วนสำคัญในการนำเสนอข้อมูลที่เป็นระบบรายงานผลแบบออนไลน์ เพื่อให้ผู้รับข้อมูลเข้าถึงข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว ทันสถานการณ์ และ เข้าใจง่าย 2) ระบบแสดงผลข้อมูลแบบเรียลไทม์บนสมาร์ทโฟนด้วย Blynk Application ที่สามารถแสดงข้อมูลแบบเรียลไทม์ได้

สุทธิศักดิ์ และคณะ [11] ทำวิจัยเรื่อง การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตสำหรับทุกสรรพสิ่งรายงานค่าละอองฝุ่นขนาดเล็ก PM2.5 งานวิจัยนี้จัดทำขึ้นเพื่อสร้างระบบอินเทอร์เน็ตสำหรับทุกสรรพสิ่งต้นแบบมาใช้เป็นเครื่องมือในการตรวจสอบค่าละอองฝุ่นขนาดเล็ก PM2.5 ในอากาศแบบเรียลไทม์ที่ติดตั้งบริเวณมหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต และสำนักงานเทศบาลนครภูเก็ต โดยตัวอุปกรณ์จะใช้บอร์ด NodeMCU ESP8266 และติดตั้งเซนเซอร์สำหรับวัดค่าอุณหภูมิ ความชื้น และค่าละอองฝุ่นขนาดเล็ก PM2.5 ซึ่งอุปกรณ์จะส่งข้อมูลไปบันทึกบนเครื่องแม่ข่ายที่เป็นฐานข้อมูล Mysql และสร้าง Dashboard เพื่อนำเสนอข้อมูลจากฐานข้อมูล จากการทดสอบโดยนำอุปกรณ์ไปใช้งานจริง พบว่าได้ผลลัพธ์ค่อนข้างดี ประสิทธิภาพอุปกรณ์ทำงานได้ตามปกติเมื่อเปิดทำงานต่อเนื่อง 30 วัน คิดเป็นร้อยละ 100

นงเยาว์ [12] ทำวิจัยเรื่อง การศึกษาเปรียบเทียบความถูกต้องและแม่นยำของเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ สภาพอากาศ สำหรับงาน IoT ในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน วิธีดำเนินการวิจัยใช้อุปกรณ์เซนเซอร์จำนวน 8 ชนิด ได้แก่ DHT11, DHT12, DHT21/AM2301, DHT22, DHT22/AM2302, DS3231, LM35, MLX90614 มาทดสอบโดยใช้งานร่วมกับบอร์ด NodeMCU ESP8266 และเขียนโค้ดด้วยภาษา C เพื่อหาผลลัพธ์ และนำไปทดสอบในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน ระหว่างพื้นที่ปิดคือห้องเซิร์ฟเวอร์มหาวิทยาลัยศรีปทุม วิทยาเขตชลบุรี และพื้นที่โล่งแจ้ง ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบการตรวจจับอุณหภูมิของเซนเซอร์แต่ละชนิดในห้องเซิร์ฟเวอร์จะเปรียบเทียบกับเครื่องวัดอุณหภูมิภายในห้องเซิร์ฟเวอร์ ส่วนการตรวจจับอุณหภูมิในพื้นที่โล่งแจ้งใช้เปรียบเทียบค่ากับเครื่องวัดอุณหภูมิ Hetaida รุ่น HTD8808E เพื่อเทียบเคียงความถูกต้องและแม่นยำในการตรวจจับอุณหภูมิของเซนเซอร์ที่นำมาทดสอบ พบว่า การตรวจจับอุณหภูมิในพื้นที่ห้องปิดคือห้องเซิร์ฟเวอร์ของมหาวิทยาลัยศรีปทุม วิทยาเขตชลบุรี อุปกรณ์เซนเซอร์ที่ตรวจจับอุณหภูมิได้ถูกต้องและแม่นยำกว่าชนิดอื่นคือ DHT11 มีความถูกต้องแม่นยำคิดเป็นร้อยละ 98.11 และมีความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 0.4 °C และการทดสอบการตรวจจับอุณหภูมิในพื้นที่โล่งแจ้งพบว่า เซนเซอร์ที่ตรวจจับอุณหภูมิได้ถูกต้องและแม่นยำกว่าชนิดอื่นมี 2 ชนิด ได้แก่ DHT11 และ DS3231 ให้ค่าความความถูกต้องแม่นยำคิดเป็นร้อยละ 98.22 และมีความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 0.5 °C และผลลัพธ์ที่ได้จากงานวิจัยสรุปได้ว่า อุปกรณ์เซนเซอร์ที่ตรวจจับอุณหภูมิให้ค่าความถูกต้องและแม่นยำเมื่อนำมาตรวจจับอุณหภูมิในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน ยังสามารถตรวจจับอุณหภูมิได้ถูกต้องและแม่นยำ

ไพศาล และอุบลรัตน์ [13] ทำวิจัยเรื่อง การพัฒนาโมเดลการแพร่ของโรคระบาดบนระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ผ่านไดนามิคเว็บเซอร์วิส มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาโมเดลการแพร่ของ โรคระบาดบนระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ผ่านไดนามิคเว็บเซอร์วิส เป็นงานวิจัยที่พัฒนาในรูปแบบของเว็บแอปพลิเคชันโดยนำเสนอโมเดลการแพร่ระบาด บนระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ซึ่งพัฒนาด้วยภาษา HTML, PHP, Java Script, CSS และ API service เชื่อมต่อกับฐานข้อมูล MySQL ผลการประเมินคุณภาพของระบบจากผู้เชี่ยวชาญอยู่ในระดับดี

4. วิธีดำเนินการวิจัย

ในการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันแจ้งเตือนสภาวะอากาศด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งร่วมกับแผนที่ภูมิศาสตร์ มีขั้นตอนวิธีในการดำเนินการวิจัย ตามแนวคิดวงจรการพัฒนาระบบ (System Development Life Cycle : SDLC) ดังนี้

4.1 การศึกษาเบื้องต้น

ผู้วิจัยศึกษาค้นคว้าข้อมูลรายลเอียดเกี่ยวกับอุณหภูมิ ความชื้น และปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ โดยกำหนดพื้นที่เป้าหมายเป็นบริเวณหอพักของมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

4.2 การกำหนดความต้องการของระบบ

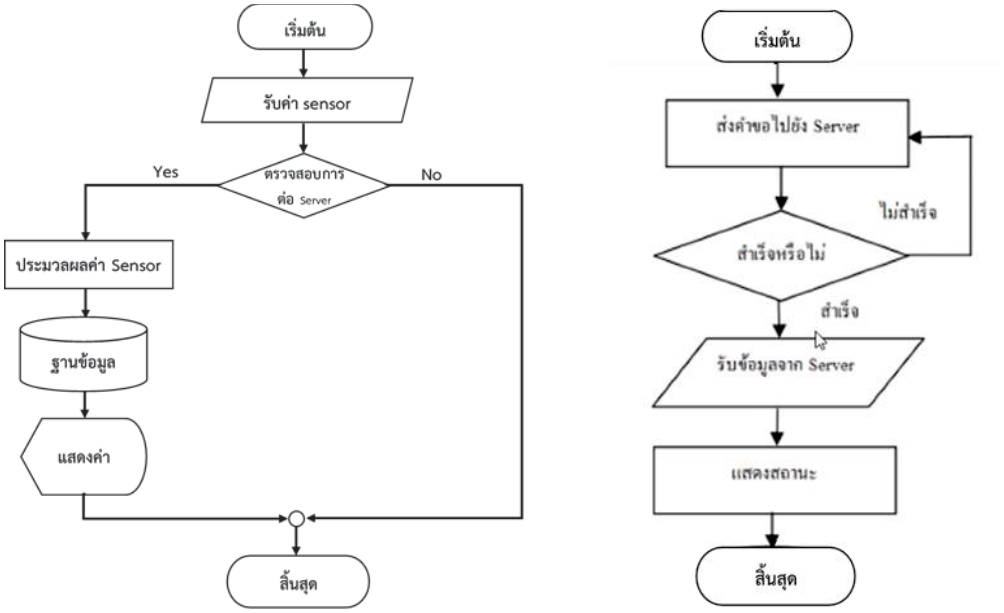
ผู้วิจัยได้กำหนดความต้องการของระบบ โดยชุดอุปกรณ์อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งที่พัฒนาขึ้น สามารถตรวจจับ และวัดค่าสัญญาณเกี่ยวกับสภาวะอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพ มีความถูกต้องและแม่นยำในเรื่องของการวัดอุณหภูมิ ความชื้น และปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 และผู้ใช้งานสามารถดูการแจ้งเตือนสภาวะอากาศผ่านแอปพลิเคชันไลน์หรือเว็บไซต์ได้

4.3 การออกแบบระบบ

การออกแบบเว็บแอปพลิเคชันแจ้งเตือนสภาวะอากาศด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งร่วมกับแผนที่ภูมิศาสตร์ มีการออกแบบส่วนต่าง ๆ ดังนี้

4.3.1 การออกแบบส่วนผังงานของระบบ (System Flowchart)

ส่วนการทำงานของแอปพลิเคชันแจ้งเตือนสภาวะอากาศด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งร่วมกับแผนที่ภูมิศาสตร์ มีการรับค่าจากเซนเซอร์ ตรวจสอบค่าเซนเซอร์ที่ได้ บันทึกข้อมูลลงในฐานข้อมูล และแสดงค่าต่าง ๆ บนหน้าเว็บแอปพลิเคชัน ดังภาพที่ 1 (ก) และส่วนของการติดต่อกับ Server ดังภาพที่ 1 (ข)

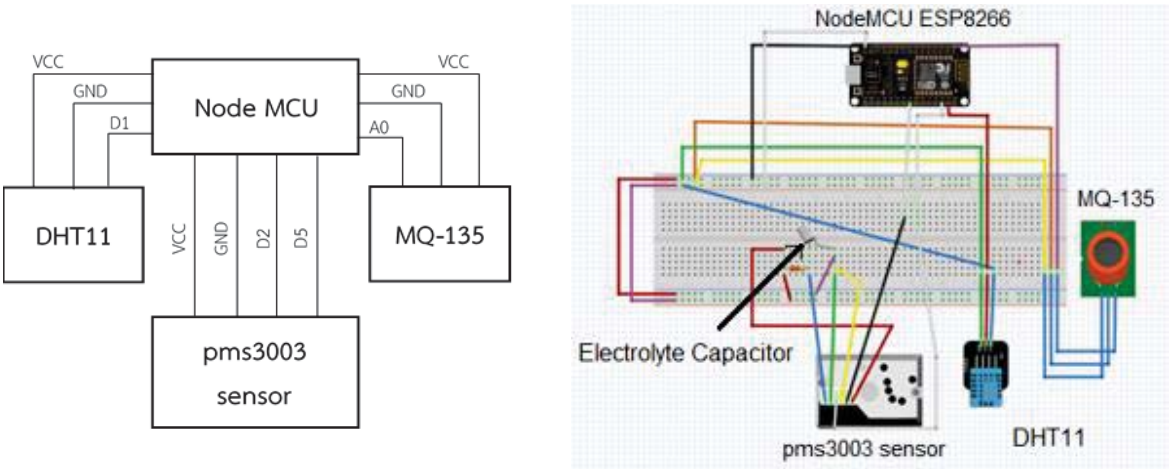


(ก) เว็บแอปพลิเคชันแจ้งเตือนสภาวะอากาศ (ข) การเชื่อมต่อกับ Server

ภาพที่ 1 Flowchart การทำงานส่วนผังงานของระบบ

4.3.2 การออกแบบวงจร

ในส่วนของการต่อวงจร ผู้วิจัยต่อวงจรโดยนำขา Vin ขา Gnd และ D1 ของ Node MCU ต่อเข้ากับ Breadboard โดยขา Vin ต่อช่องลบ ขา Gnd ต่อช่องบวก ขา Vcc ขา Gnd และ ขา D1 ของ DHT11 ต่อลงช่องลบ และช่องบวกของ Breadboard ขา Vcc และขา Gnd ของ MQ-135 ต่อลงช่องลบ และช่องบวกของ Breadboard และต่อขา A0 กับ MQ-135 ขา Vcc และขา Gnd ของ pms3003 sensor ต่อลงช่องลบและช่องบวกของ board และต่อขา D2, D5 ลงใน Node MCU และต่อ pms3003 sensor ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 การออกแบบวงจร

4.4 การพัฒนาระบบ

การพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันแจ้งเตือนสภาวะอากาศด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งร่วมกับแผนที่ภูมิศาสตร์ แบ่งออกเป็น 2 ส่วนดังนี้

4.4.1 ผู้วิจัยเลือกใช้โปรแกรม Arduino IDE ในการเขียนโปรแกรมภาษา C/C++ ควบคุมอุปกรณ์อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง โดยอุปกรณ์ที่ใช้ในการพัฒนาระบบ ประกอบด้วย NodeMCU ESP8266, Breadboard, สาย Jumper, DHT11, pms3003 sensor (dust-sensor), MQ-135, Resistor และ Electrolyte Capacitor ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในการพัฒนา

ชื่ออุปกรณ์	จำนวน	หน่วย	ชื่ออุปกรณ์	จำนวน	หน่วย
NodeMCU ESP8266	1	ชิ้น	pms3003 sensor (dust-sensor)	1	ชิ้น
Breadboard	1	บอร์ด	MQ-135	1	ชิ้น
สาย Jumper	20	เส้น	Resistor	1	ชิ้น
DHT11	1	ชิ้น	Electrolyte Capacitor	1	ชิ้น

4.4.2 การพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน ใช้ภาษา HTML, CSS และ PHP เชื่อมต่อฐานข้อมูล MySQL ในการสร้างเว็บแอปพลิเคชันเพื่อเป็นตัวกลางในการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์กับฐานข้อมูล

4.5 การทดสอบระบบ

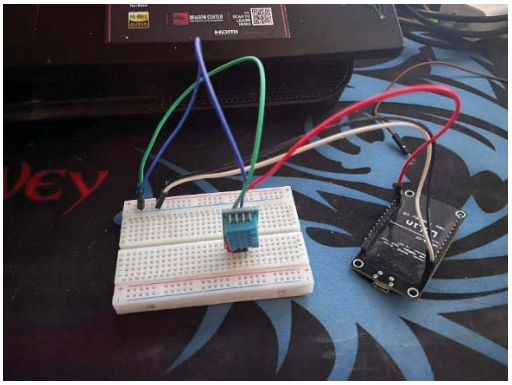
เมื่อทำการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันแจ้งเตือนสภาวะอากาศด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งร่วมกับแผนที่ภูมิศาสตร์ ซึ่งใช้สำหรับวัดอุณหภูมิ ความชื้น และปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 บนอุปกรณ์พกพาเสร็จแล้ว จึงได้ทดสอบระบบในบริเวณหอพักของมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม เพื่อทดสอบหาข้อผิดพลาดของระบบ เพื่อที่จะได้แก้ไข และทดสอบระบบว่าตรงตามวัตถุประสงค์ที่ได้กำหนดไว้หรือไม่ โดยทดสอบการตรวจจับสภาพอากาศและมลพิษและการส่งค่าไปยังฐานข้อมูลและแสดงผลบนเว็บแอปพลิเคชัน

5. ผลการวิจัย

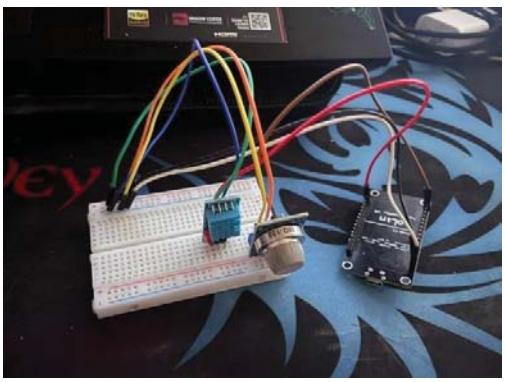
5.1 ผลการพัฒนาระบบ

การพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันแจ้งเตือนสภาวะอากาศด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งร่วมกับแผนที่ภูมิศาสตร์ มีการทำงานของระบบแยกเป็น 2 ส่วน โดยในแต่ละส่วนมีรายละเอียดดังนี้

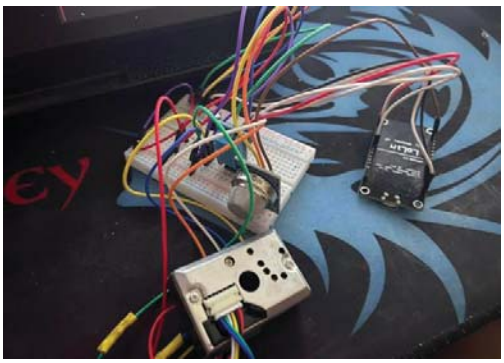
5.1.1 ผลการพัฒนาชุดอุปกรณ์ควบคุม ผู้วิจัยได้จัดวางอุปกรณ์ต่าง ๆ ตามที่ได้ออกแบบวงจรไว้ในขั้นตอนของการดำเนินงาน โดยเชื่อมต่อ DHT11 ต่อเข้า NodeMCU ESP8266 ลงเบรดบอร์ด ดังภาพที่ 3 (ก) เชื่อมต่อ MQ-135 ต่อเข้า NodeMCU ลงเบรดบอร์ด ดังภาพที่ 3 (ข) เชื่อมต่อ Dust-Sensor ต่อเข้า NodeMCU ลงเบรดบอร์ด ดังภาพที่ 3 (ค) และภาพรวมของวงจร ดังภาพที่ 3 (ง)



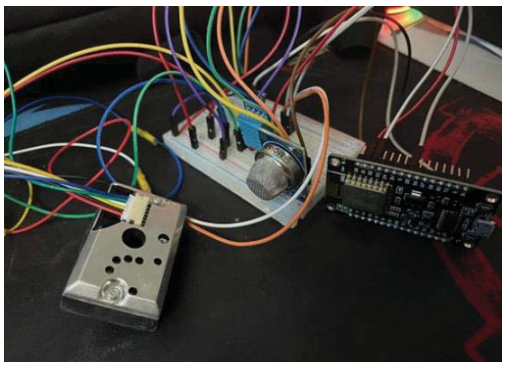
(ก) เซนเซอร์ DHT11 ต่อเข้า NodeMCU ลงเบรดบอร์ด



(ข) เซนเซอร์ MQ-135 ต่อลงเบรดบอร์ด



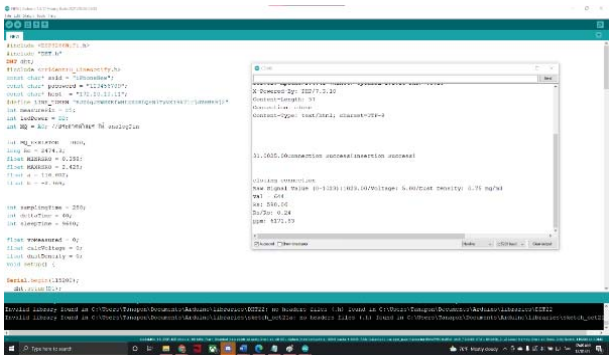
(ค) เซนเซอร์ Dust-Sensor ต่อลงเบรดบอร์ด



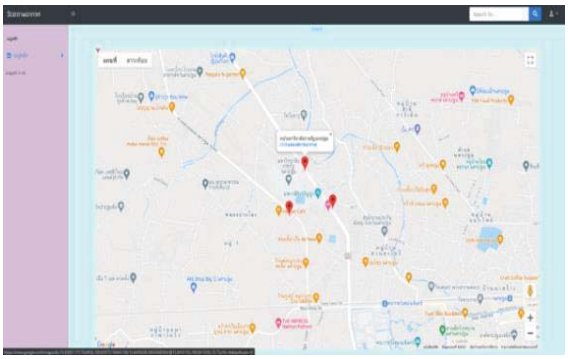
(ง) ภาพรวมของวงจร

ภาพที่ 3 ผลการพัฒนาชุดควบคุมอุปกรณ์

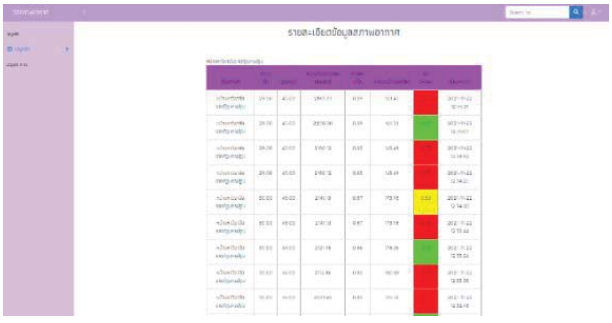
5.1.2 ผลพัฒนาระบบ เมื่อเริ่มการใช้งาน จะแสดงค่าอุณหภูมิ ความชื้น ค่า PM2.5 แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ดังภาพที่ 4 (ก) ในเว็บแอปพลิเคชัน ผู้ใช้งานสามารถปักหมุดสถานที่แล้วแสดงค่าละติจูดและลองจิจูดเพื่อวางแท่นวัดสภาวะอากาศ และสามารถดูรายละเอียดเกี่ยวกับการปักหมุด ซึ่งจะบอกเกี่ยวกับชื่อสถานที่ที่ปักหมุดแล้วแสดงค่าละติจูดและลองจิจูด ดังภาพที่ 4 (ข) สามารถดูรายละเอียดข้อมูล ชื่อสถานที่ ความชื้น อุณหภูมิ แก๊ส ที่แสดงในแต่ละวัน ดังภาพที่ 4 (ค) และมีการแสดงค่าอุณหภูมิ อากาศ ความชื้น แก๊ส และส่งการแจ้งเตือนไปที่เว็บแอปพลิเคชันไลน์ ดังภาพที่ 4 (ง)



(ก) หน้าต่างแสดงค่าสภาวะอากาศ



(ข) รายละเอียดหน้าที่ปักหมุดแผนที่



(ค) รายละเอียดเกี่ยวกับข้อมูลสภาวะอากาศในแต่ละวัน

(ง) การแจ้งเตือนสภาวะอากาศผ่านแอปพลิเคชันไลน์

ภาพที่ 4 ผลการพัฒนาระบบ

5.2 ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบ

ผลการประเมินประสิทธิภาพของเว็บแอปพลิเคชันแจ้งเตือนสภาวะอากาศด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งร่วมกับแผนที่ภูมิศาสตร์ โดยผู้เชี่ยวชาญที่ได้มาจากการเลือกแบบเจาะจง จำนวน 3 คน แสดงได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบ

ประเด็นประสิทธิภาพ	$\bar{X}$	S.D.	ประสิทธิภาพ
1. ประสิทธิภาพของระบบด้านตรงตามความต้องการ (Function Requirement)	4.53	0.58	ดีมาก
1.1 ความสามารถในการเรียกใช้งานในระบบฐานข้อมูล	4.67	0.58	ดีมาก
1.2 ความสามารถของระบบในการเพิ่ม ปรับปรุง และนำเสนอข้อมูล	4.33	0.58	ดี
1.3 ความสามารถในการทำงานร่วมกับแผนที่ภูมิศาสตร์	4.67	0.58	ดีมาก
1.4 ความสามารถของโมดูลในระบบอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง	4.67	0.58	ดีมาก
1.5 ความสามารถของระบบในภาพรวม	4.33	0.58	ดี
2. ประสิทธิภาพของระบบด้านสามารถทำงานได้ตามหน้าที่ (Function)	4.47	0.58	ดี
2.1 ความถูกต้องในการจัดประเภทข้อมูล	4.33	0.58	ดี
2.2 ความถูกต้องของระบบในการเพิ่ม ปรับปรุง และนำเสนอข้อมูล	4.33	0.58	ดี
2.3 ความถูกต้องในการทำงานร่วมกับแผนที่ภูมิศาสตร์	4.67	0.58	ดีมาก
2.4 ความถูกต้องของข้อมูลในระบบอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง	4.67	0.58	ดีมาก
2.5 ความถูกต้องของการทำงานระบบในภาพรวม	4.33	0.58	ดี
3. ประสิทธิภาพของระบบด้านความง่ายต่อการใช้งาน (Usability)	4.53	0.58	ดีมาก
3.1 ความง่ายในการเรียกใช้ระบบ	4.67	0.58	ดีมาก
3.2 ความเหมาะสมในการออกแบบหน้าจอโดยภาพรวม	4.67	0.58	ดีมาก
3.3 ความชัดเจนของข้อความที่แสดงบนจอภาพ	4.33	0.58	ดี
3.4 ความสะดวกในการเข้าใช้ระบบ	4.67	0.58	ดีมาก
3.5 ความน่าใช้ของระบบในภาพรวม	4.33	0.58	ดี
4. ประสิทธิภาพของระบบด้านความเร็ว (Performance)	4.53	0.46	ดีมาก
4.1 ความเร็วในการแสดงผลจากการเชื่อมโยงข้อมูลส่วนต่าง ๆ	4.67	0.58	ดีมาก
4.2 ความเร็วในการติดต่อกับระบบออนไลน์	4.67	0.58	ดีมาก
4.3 ความเร็วในการบันทึก ปรับปรุงข้อมูลผ่านระบบ	4.67	0.58	ดีมาก
4.4 ความเร็วในการนำเสนอข้อมูล	4.00	0.00	ดี
4.5 ความเร็วในการทำงานของระบบในภาพรวม	4.67	0.58	ดีมาก
5. ประสิทธิภาพของระบบ ด้านการรักษาความปลอดภัยของข้อมูล (Security)	4.46	0.43	ดี
5.1 การกำหนดสิทธิ์เข้าใช้ระบบมีความปลอดภัยในการใช้งาน	4.67	0.58	ดีมาก
5.2 ความปลอดภัยของระบบเครือข่าย	4.67	0.58	ดีมาก
5.3 ความปลอดภัยของการเข้าถึงข้อมูล	4.67	0.58	ดีมาก
5.4 การควบคุมให้ใช้งานตามสิทธิ์ผู้ใช้ได้อย่างถูกต้อง	4.00	0.00	ดี
5.5 การตรวจสอบสิทธิ์ก่อนใช้งานของผู้ใช้ระบบในระดับต่าง ๆ	4.33	0.58	ดี
5.6 มีระบบป้องกันภัยจากไวรัส หรือผู้บุกรุก	4.00	0.00	ดี
5.7 รองรับข้อมูลที่ตรงกับความต้องการ นำไปใช้ประโยชน์ได้	4.67	0.58	ดีมาก
5.8 การให้คำปรึกษาและแก้ปัญหาสำหรับการใช้งาน	4.67	0.58	ดีมาก
ผลการประเมินประสิทธิภาพรวมทุกด้าน	4.51	0.53	ดีมาก

จากตารางที่ 2 ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบ พบว่า ผลการประเมินประสิทธิภาพรวมทุกด้าน มีประสิทธิภาพอยู่ในระดับดีมาก ($\overline{X}$=4.51, S.D.=0.53) ประกอบด้วย 1) ประสิทธิภาพของระบบด้านตรงตามความต้องการ (Function Requirement) มีประสิทธิภาพอยู่ในระดับดีมาก ($\overline{X}$=4.53, S.D.=0.58) 2) ประสิทธิภาพของระบบด้านสามารถทำงานได้ตามหน้าที่ (Function) มีประสิทธิภาพอยู่ในระดับดี ($\overline{X}$=4.47, S.D.=0.58) 3) ประสิทธิภาพของระบบด้านความง่ายต่อการใช้งาน (Usability) มีประสิทธิภาพอยู่ในระดับดี ($\overline{X}$=4.53, S.D.=0.58) 4) ประสิทธิภาพของระบบด้านความเร็ว (Performance) มีประสิทธิภาพอยู่ในระดับดีมาก ($\overline{X}$=4.53, S.D.=0.46) และ 5) ประสิทธิภาพของระบบ ด้านการรักษาความปลอดภัยของข้อมูล (Security) มีประสิทธิภาพอยู่ในระดับดี ($\overline{X}$=4.46, S.D.=0.43)

6. สรุปผลการวิจัย

6.1 การพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันแจ้งเตือนสภาวะอากาศด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งร่วมกับแผนที่ภูมิศาสตร์ สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพดี โดยระบบสามารถตรวจจับสภาวะอากาศและมลพิษและบันทึกข้อมูลวัน เดือน ปี และเวลา ของการแจ้งเตือนสภาวะอากาศในแต่ละวันเข้าสู่ฐานข้อมูลเพื่อแสดงรายงานการแจ้งสภาวะอากาศ โดยสามารถดูรายละเอียดของสภาวะอากาศได้ผ่านตำแหน่งของสถานที่ที่ปักหมุดบนแผนที่ภูมิศาสตร์

6.2 การพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันแจ้งเตือนสภาวะอากาศด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งร่วมกับแผนที่ภูมิศาสตร์ มีผลการประเมินประสิทธิภาพรวมทุกด้าน อยู่ในระดับดีมาก ($\overline{X}$=4.51, S.D.=0.53)

7. ข้อเสนอแนะ

7.1 ควรเลือกใช้เซนเซอร์วัดสภาวะอากาศควบคู่กับเซนเซอร์ตัวอื่นเพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพมากขึ้น เพื่อให้เหมาะสมกับสภาวะอากาศที่ต้องการและพื้นที่เป้าหมายที่กำหนด เช่น Transmitter/thermo hygro sensor เป็นต้น

7.2 การวางชุดอุปกรณ์ควรกำหนดสถานที่ที่มีความเหมาะสม เช่น โรงอาหาร ที่จอดรถ เซเว่น หรือสถานที่ที่มีคนพลุกพล่าน

7.3 ควรทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแต่ละโมดูลว่าควรเลือกใช้เซนเซอร์ตัวใดในการทดลองให้เหมาะสมกับพื้นที่ และค่าที่ต้องการตรวจสอบก่อนพัฒนาระบบในอนาคต

7.4 สามารถนำข้อมูลสภาพอากาศที่บันทึกไว้ไปใช้ในการวางแผนการพัฒนาเชิงพื้นที่ร่วมกับหน่วยงานท้องถิ่น เพื่อลดปัญหาด้านสภาพอากาศในอนาคต

7.5 ควรมีการประเมินระบบจากกลุ่มผู้ใช้ร่วมด้วย เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือในการใช้งานระบบในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

[1] กลุ่มแอดวานซ์ รีเสิร์ช. (2560). **Internet of things (IOT) เมื่ออินเทอร์เน็ตเชื่อมต่อกับทุกสิ่ง.** ค้นเมื่อ 20 เมษายน 2565 จาก https://www.admissionpremium.com/content/1838

[2] ครูมอนสอนสังคม. (2560). **เครื่องมือทางภูมิศาสตร์.** ค้นเมื่อ 20 เมษายน 2565 จาก https://krumorn53.blogspot.com/2017/05/blog-post.html

[3] ทันพงษ์ ภู่รักษ์. (2561). **Arduino IDE ซอฟต์แวร์สำหรับโปรแกรมภาษา C.** ค้นเมื่อ 20 เมษายน 2565 จาก http://www.sbt.ac.th/new/sites/default/files/TNP_Unit_4.pdf

[4] Mindphp. (2560). **รู้จักกับ Visual Studio Code (วิชวล สตูดิโอ โค้ด) โปรแกรมฟรีจากค่ายไมโครซอฟท์.** ค้นเมื่อ 20 เมษายน 2565 จาก https://www.mindphp.com/บทความ/microsoft/4829-visual-studio-code.html

[5] ไอทีจีเนียส เอ็นจิเนียริ่ง. (2557). **MySQL คืออะไร.** ค้นเมื่อ 20 เมษายน 2565 จาก https://www.itgenius.co.th/article/(MySQL)%20คืออะไร.html

[6] LineOfficeAccount. (2564). **LINE Notify คืออะไร.** ค้นเมื่อ 14 เมษายน 2565 จาก https://www.lineofficialaccount.com/what_is_line_notify.php

[7] สิทธิโชค สินคุ่ย. (2562). **การพัฒนาระบบเฝ้าระวังฝุ่นละอองขนาดเล็กและคุณภาพอากาศ โดยใช้เทคโนโลยี IoT ร่วมกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์.** วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาภูมิศาสตร์ ภาควิชาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม คณะเกษตรศาสตร์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร.

[8] ศิริชัย แก้วมงคล และพงษ์พิสิฐ วุฒิดิษฐโชติ. (2563). อุปกรณ์ IoT รดน้ำอัตโนมัติอ้างอิงตามความชื้นในดินและสภาพอากาศ. **การประชุมทางวิชาการระดับชาติด้านคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ ครั้งที่ 16.** 25-30.

[9] สิทธิโชค พรรค์พิทักษ์, อรรควุธ แก้วสีขาว และธนาพล ตริสกุล. (2564). การพัฒนาระบบแจ้งเตือนสภาวะแวดล้อมทางการเกษตรโดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง กรณีศึกษา สวนมะม่วง. **วารสารวิชาการ “การจัดการเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม”.** 8 (1), 60-72.

[10] สายชล สุขโนนจารย์. (2563). **การพัฒนาระบบตรวจวัดคุณภาพอากาศสำหรับการประเมินและตรวจสอบคุณภาพอากาศภายในมหาวิทยาลัยนเรศวรด้วยเทคนิค IoT และ GIS.** วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาภูมิศาสตร์ ภาควิชาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม คณะเกษตรศาสตร์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร.

[11] สุทธิศักดิ์ ฮุยจันทา, สุทธิพงศ์ ประทุม, สถาพร ชูสว่าง และพิรุณ เป็นสุข. (2565). การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตสำหรับทุกสรรพสิ่งรายงานค่าละอองฝุ่นขนาดเล็ก PM2.5. **การประชุมวิชาการนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่ 15.** 609-615.

[12] นงเยาว์ สอนจะโปะ. (2564). การศึกษาเปรียบเทียบความถูกต้องและแม่นยำของเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ สภาพอากาศ สำหรับงาน IoT ในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน. **วารสารวิชาการศรีปทุม ชลบุรี.** 17 (4), 80-90.

[13] ไพศาล สิมาเลาเต่า และอุบลรัตน์ ศิริสุขโภคา. (2557). การพัฒนาโมเดลการแพร่ของโรคระบาดบนระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ผ่านไดนามิคเว็บเซอร์วิส. **วารสารเทคโนโลยีสารสนเทศ**. 10 (2), 1-6.