การพัฒนาต้นแบบระบบตรวจจับและแจ้งเตือนฝุ่นละอองโดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตในทุกสรรพสิ่ง

THE DEVELOPMENT OF DUST DETECTION AND WARNING SYSTEM PROTOTYPES BY INTERNET OF THINGS

จิรวิญญ์ ดีเจริญชิตพงศ์, พลวัฒน์ ต่อตระกูล
คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยนอร์ทกรุงเทพ, ponlawat.to@northbkk.ac.th
Jirawin Deecharoenchitpong, Ponlawat Tortrakul
Faculty of Information technology North Bangkok University, ponlawat.to@northbkk.ac.th

บทคัดย่อ

การพัฒนาต้นแบบระบบตรวจจับและแจ้งเตือนฝุ่นละอองโดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตในทุกสรรพสิ่ง จัดทำขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบตรวจจับและแจ้งเตือนฝุ่นละอองโดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตในทุกสรรพสิ่ง มีการจัดเก็บข้อมูลบนระบบเครือข่ายแบบกลุ่มเมฆ และแสดงคุณภาพของอากาศ PM2.5 โดยการพัฒนาระบบจะใช้ Arduino IDE ในการพัฒนาต้นแบบ หลังจากการพัฒนาต้นแบบเสร็จได้มีการประเมินประสิทธิภาพของระบบด้วยวิธี Block Box Testing โดยผู้เชี่ยวชาญ 5 ท่าน ผู้ใช้งานทั่วไป จำนวน 31 ท่าน การประเมินผลแบ่งออกเป็น 4 ด้าน คือ ด้านความต้องการของผู้ใช้ ด้านหน้าที่ของระบบ ด้านการใช้งานระบบ และด้านความปลอดภัย โดยพบว่าหลังจากการใช้งานระบบโดยผู้เชี่ยวชาญ มีค่าเฉลี่ย 3.78 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.33 ซึ่งอยู่ในระดับดี ผู้ใช้งานทั่วไป มีค่าเฉลี่ย 3.95 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.26 อยู่ในระดับดี แสดงให้เห็นว่าการพัฒนาต้นแบบเป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้จริงในอนาคต
คำสำคัญ: มาตรฐานของฝุ่นละอองขนาดเล็ก, อินเทอร์เน็ตในทุกสรรพสิ่ง

Abstract

The development prototype of dust detection and warning system using the Internet of Things (IoT). The purpose is to develop a system of dust detection and warning system using IoT on Cloud storage network and show PM2.5 on smartphone devices. The system development will use Arduino IDE to develop the prototype. After development a system to access the performance of the system by Block Box Testing by experts 5 and 31 general users can be evaluated prototype and further divided 4 performance groups. Functional Requirement Test, Function Test, Usability Test. It was found that the user of expert system 3.65 average and standard deviation for 0.48 is good level. Users was 3.70 average and standard deviation for 0.53 at a good level. The system meets the objectives defined oval. Can be applied to practical use in the future.
Keywords: Particulate Matters, Internet of Things

บทนำ

ในปัจจุบันสภาพปัญหามลพิษสิ่งแวดล้อมในประเทศไทยได้ถึงขั้นวิกฤต โดยจะเห็นได้จากสภาพหมอกและควันของไอเสียรถยนต์ที่รวมตัวกันเรียกว่า สมอก (Smog) โดยหน่วยงานกรมควบคุมมลพิษได้มีการแจ้งเตือนให้ประชาชนระมัดระวังและให้สวมหน้ากากป้องกันฝุ่นละออก PM 2.5 ซึ่งฝุ่นละอองในอากาศเป็นสารแขวนลอยในบรรยากาศมีส่วนประกอบ เช่น โลหะหนัก สารเคมี เชื้อโรค ฯลฯ ที่เรียกตามขนาด ได้แก่ PM10 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 10 ไมคอน และ PM2.5 ขนาดไม่เกิน 2.5 ไมคอน โดยฝุ่นละอองขนาด 2.5 ไมคอนนี้มีขนาดเล็กกว่าเส้นผมของมนุษย์ ทำให้ขนจมูกไม่สามารถกรองได้ จึงสามารถแพร่กระจายเข้าสู่ทางเดินหายใน กระแสเลือด และแทรกซึมสู่กระบวนการทำงานของอวัยวะต่างๆ ทำให้เพิ่มความเสี่ยงของการเป็นโรคระบบทางเดินหายในแบบเรื้อรังและมะเร็ง [กรมควบคุมมลพิษ, 2562]

อินเทอร์เน็ตในทุกสรรพสิ่ง (Internet of Things) หรือ IoT หมายถึง เทคโนโลยีที่ก่อให้เกิดการเชื่อมโยงกับของหรือสิ่งของ มนุษย์ ข้อมูล และการบริการเข้ากับเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โดยมีปัจจัยที่สำคัญในการทำให้เกิด IoT ได้คือ การบรรจุอุปกรณ์สมองฝังตัวหรือ Embedded System Device เข้าไปใน “สิ่งของ” หรือเครื่องมือ เครื่องใช้ต่างๆ มีตัวตรวจจับหรือเซนเซอร์เพื่อตรวจวัดค่าที่สนใจ แล้วส่งมายังส่วนสมองกล เพื่อส่งต่อมายังส่วนประมวลผลกลางและฐานข้อมูลผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต หรือที่เรียกว่า คลาวด์เซิร์ฟเวอร์ (Cloud Server) [ธีรวุธ จิตพรมมา และชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล, 2560] ด้วยการนำอุปกรณ์สมองกลฝังตัวบรรจุลงใน สิ่งของต่างๆ ทำให้สิ่งของ เหล่านั้นทำงานในแบบอัจฉริยะได้ อุปกรณ์เครื่องใช้ต่างๆ ในบ้าน ในโรงงาน ในที่ทำงาน ในยานพาหนะ ล้วนแล้วใช้สมองกลฝังตัวเพิ่มมากขึ้น ทำให้สามารถทำงานได้ด้วยตนเอง และรวมเข้าเป็นส่วนหนึ่งของระบบใหญ่ เกิดการเชื่อมโยงการทำงานเป็นระบบได้ การทำให้ “สิ่งของ” ทำงานร่วมกันผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ทำให้เกิดนิยามของเทคโนโลยี Internet of Things หรือ IoT เป็นการขยายขอบเขตการทำงานของอินเทอร์เน็ตให้กว้างและลึกลง ไปถึงการเชื่อมต่อเพื่อสื่อสารของมูลกับ “สิ่งของ” ทำให้เกิดการรับส่งข้อมูลและตอบสนองในแบบทุกที่ทุกเวลาและทุกสิ่งของได้ในที่สุด

Internet of Things เป็นระบบการทำงานของสิ่งของอย่างอัตโนมัติ ซึ่งอาจเป็น Person to Things: P2T หรือ Things to Things: T2T เป็นการประยุกต์ใช้งานได้มาก นับเป็นเทคโนโลยีที่มีความเจริญเติบโตทางด้านการประยุกต์ และการให้บริการบน IoT สูง และมีคุณค่าทางเศรษฐกิจ เป็นระบบเปิดที่พัฒนาต่อยอดได้มาก นับเป็นเทคโนโลยีที่ได้รับความสนใจ [ธีรวุธ จิตพรมมา และชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล, 2560]

การทำงานบนพื้นฐานระบบอัจฉริยะเริ่มจาก Machine to Machine (M2M) เป็นการเชื่อมโยงระหว่างอุปกรณ์กับอุปกรณ์ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของ IoT โดยอุปกรณ์ต่างๆ จะเชื่อมต่อกัน ทั้งแบบเชื่อมต่อตรงหรือผ่านเครือข่าย ทำให้กลายเป็นส่วนขยายของอินเทอร์เน็ต ดังนั้นการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานให้รองรับกับ IoT จึงต้องมีการเพิ่มความเร็ว เพิ่มขนาดช่องสัญญาณ เพิ่มขีดความสามารถของเครือข่ายให้มีความอัจฉริยะ โดยใช้เครือข่ายเป็นฐาน เพื่อใช้ข้อมูลร่วมกัน

ประโยชน์ของ Internet of Things ตัวอย่างของการใช้ประโยชน์จาก IoT ที่แสดงให้เห็นถึงความสำพันธ์ของผู้คน ชุมชน การดำรงชีวิตสมัยใหม่ผ่านทางเทคโนโลยี IoT เริ่มจาก นักเรียน นักศึกษา ได้เรียนรู้เกี่ยวกับอุปกรณ์ IoT จนนำไปสู่การสร้างโครงงานเพื่อส่งต่อหรือร้องขอข้อมูลเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ ทำให้กลุ่มนี้เป็นกลุ่มคนในอนาคตที่จะพัฒนาและบำรุงรักษาเทคโนโลยีต่อไป

รูปที่ 1 แนวคิดของ Internet of Things [Esther Gons, 2555]

ดังนั้นผู้วิจัยจึงเล็งเห็นว่าควรมีการพัฒนาระบบตรวจจับและแจ้งเตือนฝุ่นละอองในอากาศจะสามารถนำไปติดตั้งในบริเวณที่มีฝุ่นละออง PM2.5 ที่เกินมาตรฐาน หากมีฝุ่นละอองเกินมาตรฐานระบบจะสามารถแจ้งเตือนเพื่อนำไปสู่ปฏิบัติการด้านการควบคุมทำการทำงานของระบบกรองอากาศเพื่อทำการกรองอากาศอีกครั้งเพื่อให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ซึ่งจะทำให้ลดปริมาณฝุ่นละออง PM2.5 ที่เป็นอันตราย และช่วยให้ช่วยลดปริมาณฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นในปัจจุบันขณะนี้เพื่อให้อากาศมีคุณภาพที่ดีขึ้นต่อไป

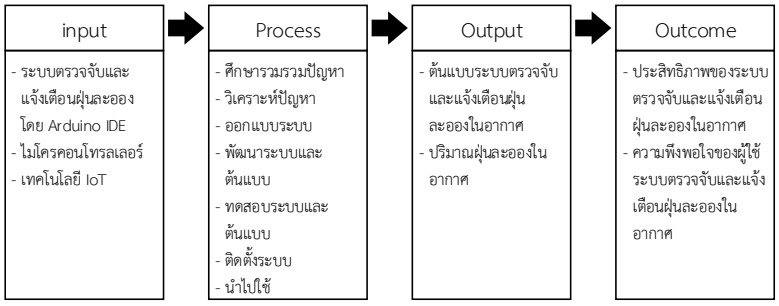
วัตถุประสงค์

1. เพื่อพัฒนาต้นแบบระบบตรวจจับและแจ้งเตือนฝุ่นละอองในอากาศขนาด PM 2.5
2. เพื่อหาประสิทธิภาพและความพึงพอใจที่มีต่อระบบตรวจจับและแจ้งเตือนฝุ่นละอองในอากาศ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ต้นแบบระบบตรวจจับและแจ้งเตือนฝุ่นละอองในอากาศเพื่อใช้สำหรับระบบกรองอากาศ
2. ได้แนวทางในการพัฒนาระบบระบบตรวจจับและแจ้งเตือนนำไปติดตั้งในบริเวณที่เกิดปัญหา

กรอบแนวคิด



รูปที่ 2 กรอบแนวคิด (Conceptual Framework)

การศึกษาต้นแบบระบบตรวจจับและแจ้งเตือนฝุ่นละอองในอากาศ เป็นการศึกษาปริมาณฝุ่นละอองในอากาศบริเวณเขตสายไหม และนำผลมาใช้ในการหาประสิทธิภาพของของต้นแบบ โดยมีตัวแปรต้นคือ ต้นแบบระบบตรวจจับและแจ้งเตือนฝุ่นละอองในอากาศ และตัวแปรตาม คือ ประสิทธิภาพการใช้งานของต้นแบบ

วิธีดำเนินการวิจัย

ในการพัฒนาระบบตรวจจับและแจ้งเตือนฝุ่นละอองในอากาศ ได้มีการศึกษาการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ การทำงานของเซนเซอร์ และซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการพัฒนาระบบโดยมีรายละเอียดดังนี้

1) ฮาร์ดแวร์

เครื่องมือใช้ในการดำเนินการวิจัยระบบตรวจจับและแจ้งเตือนฝุ่นละอองในอากาศ ทางผู้วิจัยได้มีการออกแบบระบบควบคุมในส่วนของฮาร์ดแวร์ไมโครคอนโทรลเลอร์และอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมโดยเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล ESP8266 ที่เรียกว่า NodeMCU V2 เป็นโมดูลที่มี Wi-Fi อยู่ในตัวโมดูลสามารถเชื่อมต่อเครือข่ายไร้สายได้ง่าย และมีขนาดเล็กสามารถทำงานร่วมกับโมดูลของ Arduino UNO R3 ได้ทันที สามารถเชื่อมต่อไปยังโครงข่ายอินเทอร์เน็ตได้ง่าย และใช้แรงดันในการทำงาน 3.3V จึงทำให้ประหยัดพลังงาน และมีราคาค่อนข้างถูกใช้งานได้ง่าย สามารถอัพเดตเฟิร์มแวร์ (Firmware) ได้ ภาษาที่ใช้เป็นแบบ Open Source [ภาวิช วัฒนวาณิชกร, 2558] เขียนโปรแกรมด้วยภาษา Lau ปัจจุบันมีนักพัฒนาได้ปรับปรุงให้สามารถ

ทำงานร่วมกับ Arduino IDE [ศิวกร จินดารัตน์, 2557] จึงทำให้ใช้งานกับภาษา C/C++ ได้สะดวกยิ่งขึ้น รวมทั้งมีไลบรารี่ (Library) ที่ถูกพัฒนาโดยนักพัฒนาเพิ่มขึ้นและมีโมดูลใช้งานร่วมกับ NodeMCU ได้อย่างมากมาย ดังรูปที่ 3

รูปที่ 3 อุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์ NodeMCU ESP8266 (จิรวิญญ์ ดีเจริญชิตพงศ์, 2562)

รีเลย์ (Relay) เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดหนึ่ง ซึ่งทำหน้าที่ตัดต่อวงจรแบบเดียวกับสวิตช์ โดยควบคุมการทำงานด้วยไฟฟ้า Relay มีหลายประเภท ตั้งแต่ Relay ขนาดเล็กที่ใช้ในงานอิเล็กทรอนิกส์ทั่วไป จนถึง Relay ขนาดใหญ่ที่ใช้ในงานไฟฟ้าแรงสูง โดยมีรูปร่างหน้าตาแตกต่างกันออกไป แต่มีหลักการทำงานที่คล้ายคลึงกัน สำหรับการนำ Relay ไปใช้งาน จะใช้ในการตัดต่อวงจร [ภาวิช วัฒนวาณิชกร, 2558] ทั้งนี้ Relay ยังสามารถเลือกใช้งานได้หลากหลายรูปแบบ ดังรูปที่ 4

รูปที่ 4 Relay Module ที่ใช้ควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้า (จิรวิญญ์ ดีเจริญชิตพงศ์, 2562)

PM2.5 เซ็นเซอร์ตรวจจับฝุ่นละออง วัดคุณภาพอากาศ Laser Dust Sensor PMS3003 เป็นเซ็นเซอร์วัดคุณภาพอากาศ ตรวจจับฝุ่น pm2.5 ใช้พัดลมดูดอากาศเข้าไปในตัวเซนเซอร์ แล้วตรวจจับฝุ่นด้วยแสงเลเซอร์ เป็นของบริษัท Plantower โดย PM2.5 Dust Sensor - PMS7003 ของเซนเซอร์ตรวจจับฝุ่นละอองในอากาศ ขนาดของตัวโมดูลมีขนาดเล็ก ใช้งานง่าย สามารถใช้ร่วมกับไมโครคอนโทรเลอร์ได้หลากหลาย มีการสื่อสารแบบ UART เซนเซอร์ตัวนี้สามารถตรวจจับอนุภาคได้ตั้งแต่ 0 ถึง 500 μg/m3 โดยขนาดอนุภาคที่ตรวจจับได้คือ PM1.0, PM2.5 และ PM10 ขนาดอนุภาคที่เล็กที่สุดที่ตรวจจับได้คือ 0.3 μg/m3 ใช้แรงดันไฟฟ้าต่ำสุด 4.5 โวลต์ สูงสุดไม่เกิน 5.5 v มีขนาด 50×43×21 มิลลิเมตร

รูปที่ 5 Dust Sensor PMS3003 (จิรวิญญ์ ดีเจริญชิตพงศ์, 2562)

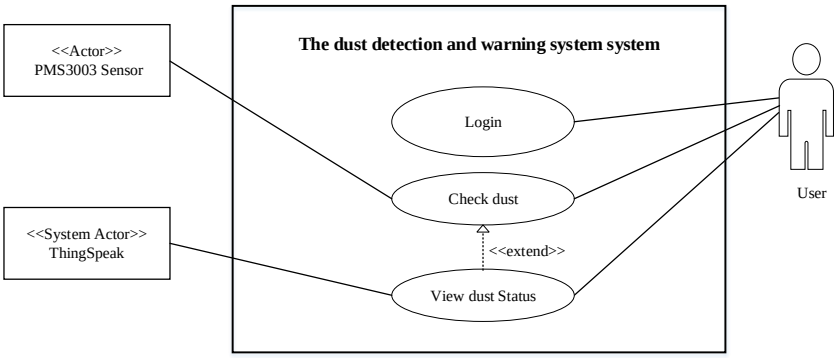
2) ซอฟต์แวร์

การพัฒนาโปรแกรมสำหรับ NodeMCU โดยในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ภาษา C/C++ แบบโอเพ่นซอร์ส (Open Source) นำมาใช้ในการพัฒนาระบบโดยใช้ Arduino IDE เวอร์ชัน 1.8.9 ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์ที่นำคอมไพเลอร์และไลบรารีของ ESP8266 รวมเข้าไว้ด้วยกัน เพื่อใช้สำหรับการพัฒนาโปรแกรมให้สะดวกยิ่งขึ้น โดยมีความสามารถในการบรรจุฟังก์ชันเพิ่มเติมได้สำหรับใช้ติดต่อกับฮาร์ดแวร์และเซนเซอร์ได้หลากหลาย รวมทั้งยังมีไลบรารีสำหรับใช้ในการติดต่อกับเครือข่ายอินเทอร์เน็ตผ่านทาง WiFi และสนับสนุนสำหรับการพัฒนาโปรแกรมด้วยเพียงโปรแกรมเดียว ตั้งแต่การเขียนโปรแกรม การคอมไพล์ จนถึงการอัปโหลดโค้ดไปยัง NodeMCU ทำให้การพัฒนาระบบทำให้ง่ายต่อความเข้าใจและใช้งาน ปัจจุบันได้มีนักพัฒนาได้ร่วมกันพัฒนาไลบรารีเพิ่มมากขึ้นทำให้ Arduino IDE มีความสามารถเพิ่มขึ้นและรองรับการพัฒนากับไมโครคอนโทรลเลอร์ใหม่ๆ มากขึ้น ดังรูปที่ 6

รูปที่ 6 Arduino IDE เวอร์ชัน 1.8.9 (จิรวิญญ์ ดีเจริญชิตพงศ์, 2562)

ThingSpeak.com เป็นผู้ให้บริการด้าน IoT Cloud โดยระบบเหล่านี้ให้บริการในการเก็บข้อมูล เช่น ข้อมูลที่ได้จากเซนเซอร์ตรวจวัดค่าต่างๆทางกายภาพ หรืออุปกรณ์ที่เรียกว่า IoT Devices สามารถแชร์ข้อมูลผ่านเว็บ และแสดงข้อมูลเชิงกราฟิก (เช่น เป็นรูปกราฟ) ผ่านหน้าเว็บได้ อัพเดทข้อมูลบนหน้าเว็บได้โดยอัตโนมัติ สามารถนำเข้าหรือดึงข้อมูลออก (data import / export) ในรูปแบบอย่างเช่น JSON หรือ XML เป็นต้น ผ่านโปรโตคอล HTTP ดังนั้นจึงสามารถใช้ภาษาคอมพิวเตอร์ได้หลายภาษา เช่น C/C++, Python, Java, JavaScript เป็นต้น ในการเชื่อมต่อกับระบบดังกล่าว

รูปที่ 9 แสดงผู้ให้บริการด้าน IoT Cloud ของ ThingSpeak (จิรวิญญ์ ดีเจริญชิตพงศ์, 2562)



รูปที่ 7 Use Case Diagram ระบบตรวจจับและแจ้งเตือนฝุ่นละอองในอากาศ (จิรวิญญ์ ดีเจริญชิตพงศ์, 2562)

การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยได้ทำการเก็บรวมรวมข้อมูลปริมาณฝุ่นละอองในอากาศในช่วงระหว่างเดือน มกราคม – เมษายน 2562 โดยการเก็บข้อมูลปริมาณฝุ่นละอองในอากาศบริเวณเขตสายไหมเพื่อนำมาใช้การวิเคราะห์ข้อมูล

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

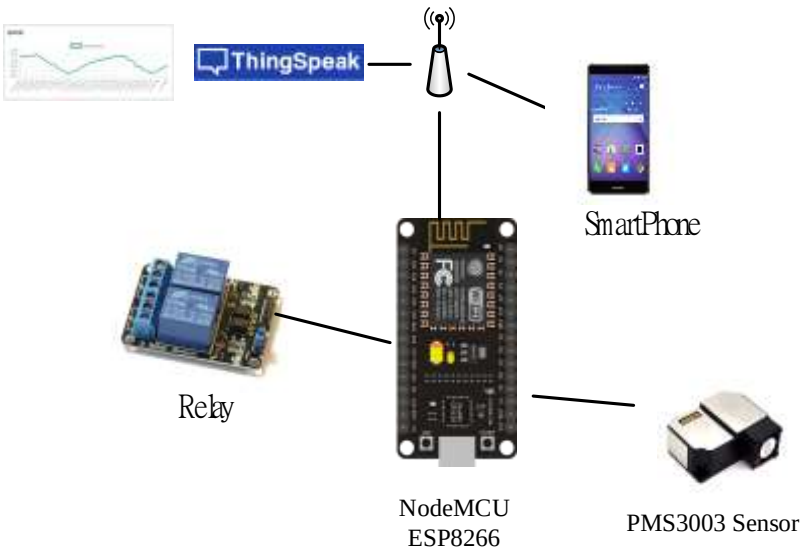
1. ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ เป็นผู้ที่พักอาศัยอยู่บริเวณเขตสายไหม จังหวัดกรุงเทพมหานคร บริเวณโดยรอบของมหาวิทยาลัยนอร์ทกรุงเทพวิทยาเขตสะพานใหม่

2. กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย เป็นนักศึกษาและผู้ที่พักอาศัย ในแขวงคลองถนน เขตสายไหม จังหวัดกรุงเทพมหานคร จำนวน 31 คน โดยวิธีการสุ่มแบบเจาะจง

การวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยได้หาประสิทธิภาพของระบบตรวจจับและแจ้งเตือนฝุ่นละอองในอากาศ และความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบ โดยใช้ค่าเฉลี่ยเลขคณิต ($\bar{x}$) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) โดยมีข้อคำถามและตอบโดยให้เป็นแบบสอบถามประมาณค่า 5 ระดับ คือ ดีมาก ดี ปานกลาง น้อย น้อยที่สุด ตามมาตราวัดของลิเคิร์ท

ระดับความพึงพอใจ	เกณฑ์การประเมิน
ดีมาก	4.21 – 5.00
ดี	3.41 – 4.20
ปานกลาง	2.61 – 3.40
น้อย	1.81 – 2.60
น้อยที่สุด	1.00 – 1.80

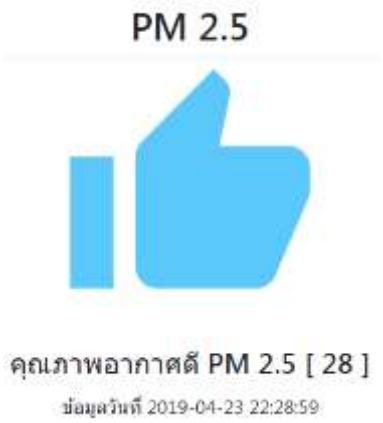


รูปที่ 8 แสดงการทำงานของต้นแบบตรวจจับและแจ้งเตือนฝุ่นละอองในอากาศ (จิรวิญญ์ ดีเจริญชิตพงศ์, 2562)

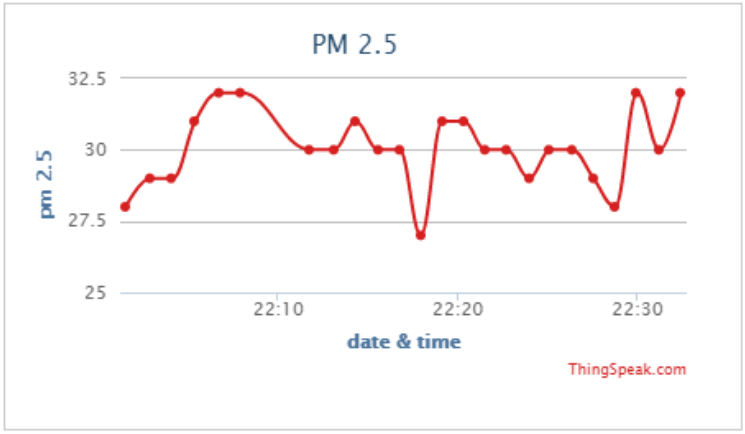
ผลการวิจัย

1. การทดสอบระบบ

การพัฒนาระบบตรวจจับและแจ้งเตือนฝุ่นละอองในอากาศโดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตในทุกสรรพสิ่งได้พัฒนาต้นแบบของระบบตรวจจับและแจ้งเตือนฝุ่นละอองในอากาศ โดยการเก็บข้อมูลปริมาณฝุ่นละอองในอากาศที่มีขนาด 2.5 ไมครอนในเขตสายไหมเพื่อหาปริมาณฝุ่นละอองในบริเวณที่พักอาศัย จากการพัฒนาต้นแบบระบบสามารถแสดงและแจ้งเตือนปริมาณฝุ่นละอองในอากาศได้ดังภาพประกอบ 10



รูปที่ 10 แสดงจำนวนฝุ่นละอองขนาด 2.5 ไมครอน (จิรวิญญ์ ดีเจริญชิตพงศ์, 2562)



รูปที่ 11 กราฟแสดงจำนวนฝุ่นละอองขนาด 2.5 ไมครอน (จิรวิญญ์ ดีเจริญชิตพงศ์, 2562)

2. การทดสอบประสิทธิภาพโดยผู้เชี่ยวชาญ

การพัฒนาระบบตรวจจับและแจ้งเตือนฝุ่นละอองในอากาศโดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตในทุกสรรพสิ่งได้ทำการประเมินประสิทธิภาพของระบบในแต่ละด้าน โดยใช้ค่าเฉลี่ยเลขคณิต ($\bar{x}$) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) เพื่อวัดประสิทธิภาพ ซึ่งประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญและผู้ใช้งานทั่วไป โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบโดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน ได้ผลการประเมินประสิทธิภาพโดยมีรายละเอียดดังแสดงในตาราง 1

ตาราง 1 แสดงผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบโดยผู้เชี่ยวชาญ

รายการประเมิน	ระดับประสิทธิภาพ	
	$\bar{x}$	S.D.
1. ด้านความต้องการของผู้ใช้	3.80	0.45
2. ด้านประสิทธิภาพการทำงานของระบบ	3.60	0.32
3. ด้านการใช้งานต้นแบบ	3.90	0.26
4. ด้านความปลอดภัย	3.80	0.29
สรุป	3.78	0.33

จากตาราง 1 เมื่อพิจารณาผลการประเมินประสิทธิภาพโดยผู้เชี่ยวชาญของระบบตรวจจับและแจ้งเตือนฝุ่นละอองในอากาศ ด้านความต้องการของผู้ใช้ มีประสิทธิภาพอยู่ในเกณฑ์ระดับดี $\bar{x}$ = 3.80 และ S.D. = 0.45 ด้านประสิทธิภาพการทำงานของระบบ มีประสิทธิภาพอยู่ในเกณฑ์ระดับปานกลาง $\bar{x}$ = 3.60 และ S.D. = 0.32 ด้านการใช้งานต้นแบบ มีประสิทธิภาพอยู่ในเกณฑ์ระดับดี $\bar{x}$ = 3.90 และ S.D. = 0.26 ด้านความปลอดภัย มีประสิทธิภาพอยู่ในเกณฑ์ระดับดี $\bar{x}$ = 3.80 และ S.D. = 0.29

โดยประสิทธิภาพของผู้เชี่ยวชาญอยู่ในระดับดีทั้ง 4 ด้าน คือ ด้านประสิทธิภาพการทำงานของ ด้านความต้องการของผู้ใช้ ด้านการใช้งานต้นแบบ และด้านความปลอดภัย ประสิทธิภาพโดยรวมโดยผู้เชี่ยวชาญอยู่ในระดับดี โดยมี $\bar{x}$ = 3.78 และ S.D. = 0.33

3. การประเมินประสิทธิภาพและความพึงพอใจ

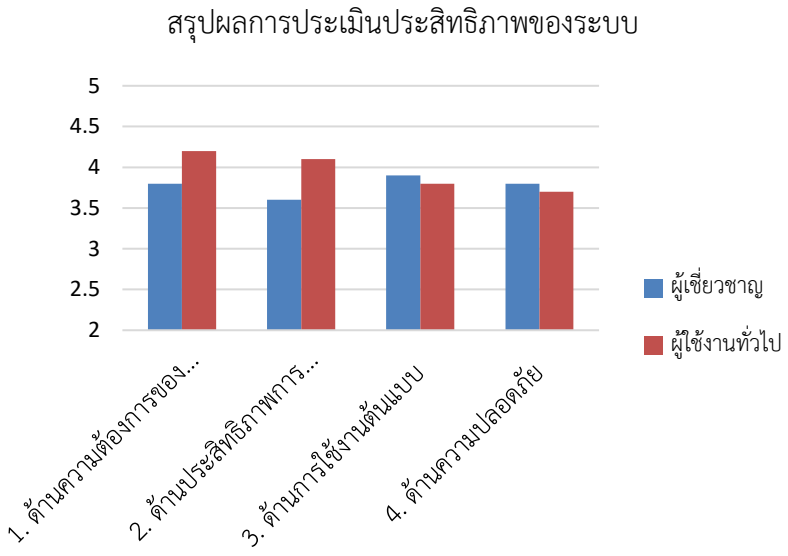
ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบตรวจจับและแจ้งเตือนฝุ่นละอองในอากาศโดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตในทุกสรรพสิ่ง โดยใช้ค่าเฉลี่ยเลขคณิต ($\bar{x}$) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) และค่าระดับประสิทธิภาพ ซึ่งประเมินโดยผู้ใช้งานทั่วไป จำนวน 31 ท่าน โดยรายละเอียดดังแสดงในตาราง 2

ตาราง 2 แสดงผลการประเมินประสิทธิภาพและความพึงพอใจของผู้ใช้

รายการประเมิน	ระดับประสิทธิภาพ	
	$\bar{x}$	S.D.
1. ด้านความต้องการของผู้ใช้	4.20	0.25
2. ด้านประสิทธิภาพการทำงานของระบบ	4.10	0.26
3. ด้านการใช้งานต้นแบบ	3.80	0.21
4. ด้านความปลอดภัย	3.70	0.31
สรุป	3.95	0.26

จากตารางที่ 2 เมื่อพิจารณาผลการประเมินประสิทธิภาพและความพึงพอใจของผู้ใช้ต่อระบบตรวจจับและแจ้งเตือนฝุ่นละอองในอากาศ ด้านความต้องการของผู้ใช้ มีประสิทธิภาพอยู่ในเกณฑ์ระดับดี $\bar{x}$ = 4.20 และ S.D. = 0.25 ด้านประสิทธิภาพการทำงานของระบบ มีประสิทธิภาพอยู่ในเกณฑ์ระดับดี $\bar{x}$ = 4.10 และ S.D. = 0.26 ด้านการใช้งานต้นแบบ มีประสิทธิภาพอยู่ในเกณฑ์ระดับดี $\bar{x}$ = 3.80 และ S.D. = 0.21 ด้านความปลอดภัย มีประสิทธิภาพอยู่ในเกณฑ์ระดับดี $\bar{x}$ = 3.70 และ S.D. = 0.31

โดยผลการประเมินประสิทธิภาพและความพึงพอใจของผู้ใช้ต่อระบบที่ได้อยู่ในระดับดีทั้ง 4 ด้าน คือด้านประสิทธิภาพการทำงานของระบบ ด้านความต้องการของผู้ใช้ ด้านการใช้งานต้นแบบ และด้านความปลอดภัย ซึ่งมีประสิทธิภาพและความพึงพอใจของผู้ใช้โดยรวมอยู่ในระดับดี โดยมี $\bar{x}$ = 3.95 และ S.D. = 0.26



รูปที่ 12 แสดงผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบ (จิรวิญญ์ ดีเจริญชิตพงศ์, 2562)

สรุปผล

ผลจากการวิจัยต้นแบบระบบตรวจจับและแจ้งเตือนฝุ่นละอองในอากาศในพื้นที่บริเวณเขตสายไหม ได้มีการออกแบบและพัฒนาระบบขึ้นมาเพื่อใช้สำหรับตรวจจับและแจ้งเตือนฝุ่นละอองในอากาศ โดยนำไปติดตั้งในบริเวณที่พักอาศัยเพื่อตรวจจับปริมาณของฝุ่นละอองที่อาจเกิดมาตรฐาน

จากการศึกษาวิจัยพบว่าระบบตรวจจับและแจ้งเตือนฝุ่นละอองในอากาศมีประสิทธิภาพโดยรวมของผู้เชี่ยวชาญอยู่ในระดับโดยมีค่า $\bar{X}$ = 3.65 และ S.D. = 0.48 และผลการประสิทธิภาพโดยผู้ใช้งานทั่วไปอยู่ในระดับดี โดยมีค่า $\bar{X}$= 3.70 และ S.D. = 0.53 โดยมีการประเมินประสิทธิภาพทั้ง 4 ด้าน ได้แก่ ด้านประสิทธิภาพการทำงานของระบบ ด้านความต้องการของผู้ใช้ ด้านการใช้งานต้นแบบ และด้านความปลอดภัย สามารถสรุปได้ว่าการพัฒนาต้นแบบเป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานจริงได้ต่อไป

ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาต้นแบบระบบตรวจจับและแจ้งเตือนฝุ่นละอองในอากาศ มีการวัดประสิทธิภาพใน ด้านประสิทธิภาพการทำงานของระบบ ด้านความต้องการของผู้ใช้ ด้านการใช้งานต้นแบบ และด้านความปลอดภัย ซึ่งในงานวิจัยในครั้งต่อไปควรจะมีการวัดประสิทธิภาพในด้านอื่นๆ ประกอบเช่น อัตราความเร็วและค่าความผิดพลาดของเซ็นเซอร์รวมทั้งเรื่องของความแรงของสัญญาณของเครือข่ายไร้สาย และเวลาตอบสนองการทำงานของระบบ รวมทั้งการแยกแยะประมาณปริมาณไอน้ำและฝุ่นละออกขนาดอื่นอีกด้วย

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงลงได้ ด้วยความร่วมมือจากบุคลากรที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยที่ได้รับความร่วมมือในการตอบแบบสอบถามอย่างดียิ่ง รวมถึงผู้เชี่ยวชาญในการตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือซึ่งผู้วิจัยต้องขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้ และท้ายสุดนี้ตอบขอขอบคุณมหาวิทยาลัยนอร์ทกรุงเทพที่ได้ให้ทุนสนับสนุนในการทำวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมควบคุมมลพิษ,“ความรู้เกี่ยวกับ PM2.5.” URL: http://www.greennet.or.th, เข้าถึงเมื่อ 10 มกราคม 2562.

[2] ธีรวุธ จิตพรมมา และชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล.(2560). “*เริ่มต้นเรียนรู้และพัฒนาอุปกรณ์ Internet of Things (IoT) กับ NodeMCU*”. กรุงเทพฯ: บริษัท อินโนเวตีฟ เอ็กเพอริเมนต์ จำกัด.

[8] Esther Gons. (2012). “*Internet of Things*, (Online)”. URL: http://wilgengebroed.nl/. Accessed when 10 November 2012.

[5] ภาวิช วัฒนวาณิชกร. (2558). ระบบควบคุมบ้านอัจฉริยะ. (ปริญญานิพนธ์), มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

[6] ศิวกร จินดารัตน์. (2557). ระบบจัดการฟาร์มไก่อัจฉริยะด้วยราสเบอรี่ไพและอาดุยโน่. (ปริญญานิพนธ์), มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.