

## ระบบตรวจจับและช่วยเร่งระบายควันอัตโนมัติบนเครือข่าย IoT ร่วมกับ ระบบสำรองไฟเพื่อเสริมความปลอดภัยในอาคาร

### IoT-Based Automated Smoke Detection and Ventilation System with Backup Power Supply for Building Safety

ธฤต ไชยมงคล<sup>1\*</sup> ศุภเกียรติ สุภสินธุ์<sup>2</sup> และ อนุชาติ รังสิยานนท์<sup>1</sup>  
Tharit Chaimongkol<sup>1\*</sup>, Supakiat Supasin<sup>2</sup> and Arnuchart Rangsiyanon<sup>1</sup>

Received: 2 February 2026

Revised: 17 May 2026

Accepted: 29 May 2026

#### Abstract

This research aimed to develop Internet of Things (IoT)-based automated smoke detection and ventilation system with backup power supply for building safety, and to evaluate the technical performance of a IoT-based automated smoke detection and ventilation system with backup power supply for building safety. This study employed a research and development approach. The system consisted of an MQ-2 smoke sensor, a Raspberry Pi Pico W microcontroller, a ventilation fan, a 12V 8Ah backup power supply, a web server, and a network-based notification system. When smoke concentration exceeded 400 ppm, the system automatically triggered the fan, transmitted data to the monitoring system, and instantly notified users. Experiments were conducted in an enclosed 2×2×2.5 meters simulated area, with an approximate volume of 10 cubic meters. Data from five trials were analyzed using mean, standard deviation, and the percentage reduction of smoke concentration. The results showed that, the efficiency of the smoke detection and automatic smoke exhaust system on the IoT network can operate continuously under the main power outage and was able to reduce the smoke concentration by 75.7 percent in an average time of 48.6 seconds. It can work with uninterruptible power systems continuously and can be used to enhance safety in small enclosed spaces.

**Keywords:** Smoke detection system; Smoke ventilation system; Internet of Things

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบตรวจจับควันและช่วยเร่งระบายควันอัตโนมัติบนเครือข่าย IoT ร่วมกับระบบสำรองไฟเพื่อเสริมความปลอดภัยในอาคาร และเพื่อประเมินประสิทธิภาพเชิงเทคนิคของระบบตรวจจับควันและช่วยเร่งระบายควันอัตโนมัติบนเครือข่าย IoT ร่วมกับระบบสำรอง

<sup>1</sup>วิทยาลัยเทคนิคเชียงใหม่ สถาบันการอาชีวศึกษาภาคเหนือ 1 จ.เชียงใหม่ 50300

<sup>1</sup>Chiang Mai Technical College, Institute of Vocational Education Northern Region 1, Chiang Mai Province, 50300, Thailand

<sup>2</sup>มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา จ.เชียงใหม่ 50300

<sup>2</sup>Rajamangala University of Technology Lanna, Chiang Mai Province, 50300, Thailand

\*Corresponding Author, E-mail: tharitc@gmail.com

ไฟเพื่อเสริมความปลอดภัยในอาคาร การวิจัยนี้เป็นการวิจัยและพัฒนา ระบบที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วย เซนเซอร์ตรวจจับควัน MQ-2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ Raspberry Pi Pico W พัดลมระบายอากาศ แหล่งจ่ายไฟสำรอง 12V 8Ah ระบบ Web Server และระบบแจ้งเตือนผ่านเครือข่าย โดยเมื่อค่าความเข้มข้นของควันเกิน 400 ppm ระบบจะสั่งให้พัดลมระบายอากาศทำงาน โดยอัตโนมัติพร้อมส่งข้อมูลไปยังระบบแสดงผลและแจ้งเตือนผู้ใช้งานทันที การทดสอบดำเนินการในพื้นที่จำลองแบบปิดขนาด 2×2×2.5 เมตร ปริมาตรประมาณ 10 ลูกบาศก์เมตร ทดลองซ้ำ 5 ครั้ง และวิเคราะห์ข้อมูลด้วยค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และร้อยละการลดลงของความเข้มข้นของควัน ผลการวิจัยพบว่า ประสิทธิภาพ ระบบตรวจจับควันและช่วยเร่งระบายควันอัตโนมัติบนเครือข่าย IoT สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง ภายใต้สภาวะไฟฟ้าหลักขัดข้องและสามารถลดค่าความเข้มข้นของควันลงร้อยละ 75.7 ภายในเวลาเฉลี่ย 48.6 วินาที ค่าความแม่นยำของการตรวจจับ ตอบสนอง และแจ้งเตือนผ่านเครือข่ายร้อยละ 100 ซึ่งชี้ให้เห็นว่าระบบที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพในการตรวจจับช่วยเร่งระบายควัน สามารถทำงานร่วมกับ ระบบสำรองไฟได้อย่างต่อเนื่องและประยุกต์ใช้เสริมความปลอดภัยในพื้นที่ปิดขนาดเล็กได้อย่างเหมาะสม

**คำสำคัญ:** ระบบตรวจจับควัน; ระบบระบายควัน; อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

## บทนำ

อัคคีภัยในอาคารเป็นหนึ่งในภัยพิบัติที่ก่อให้เกิดความสูญเสียต่อชีวิตและทรัพย์สินอย่างรุนแรง ไม่ว่าจะเป็นอาคารพักอาศัย อาคารสำนักงาน หรืออาคารอุตสาหกรรม งานวิจัยด้านวิศวกรรมป้องกัน อัคคีภัยได้ระบุอย่างชัดเจนว่าสาเหตุการเสียชีวิตส่วนใหญ่ในเหตุเพลิงไหม้ไม่ได้เกิดจากเปลวไฟโดยตรง หากแต่เกิดจากการสูดดมควันพิษที่สะสมอยู่ในพื้นที่ปิด (Hurley et al., 2016) ควันไฟประกอบด้วย ก๊าซอันตราย เช่น คาร์บอนมอนอกไซด์ และก๊าซพิษอื่น ๆ ที่สามารถทำให้ผู้ประสบภัยหมดสติและเสียชีวิตได้อย่างรวดเร็ว รวมถึงลดทัศนวิสัยในการมองเห็นเส้นทางหนีไฟจนเป็นอุปสรรคต่อการอพยพ (Rattanaburi, 2020) ซึ่งอาจเกิดจากปัญหาอาคารทั่วไปมักไม่มีระบบระบายควัน การระบายอากาศที่มีอยู่ ส่วนใหญ่เป็นเพียงพัดลมทั่วไปที่ออกแบบมาสำหรับสภาวะการใช้งานปกติ มิใช่เพื่อรับมือกับปริมาณ ควันพิษที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและรุนแรงในสถานการณ์เพลิงไหม้ มาตรฐานความปลอดภัยอัคคีภัยระดับสากล จึงได้กำหนดให้ระบบควบคุมและระบายควัน เป็นองค์ประกอบสำคัญในการลดการสะสมของ ควันและเพิ่มความปลอดภัยในการอพยพ (National Fire Protection Association, 2021) และมาตรฐาน ASHRAE ที่เน้นถึงความสำคัญของระบบระบายอากาศที่มีประสิทธิภาพในการควบคุมคุณภาพอากาศ และลดความเข้มข้นของมลพิษภายในอาคาร (ASHRAE, 2019) และปัญหาซ้ำเติมสถานการณ์ให้รุนแรงยิ่งขึ้นเมื่อเกิดเพลิงไหม้ ระบบไฟฟ้าหลักของอาคารมักหยุดทำงานส่งผลให้พัดลมระบายอากาศหยุด

ทำงานทันที ทำให้ควันพิษสะสมตัวอย่างรวดเร็วโดยไม่มีระบบใดช่วยระบายออก (Klote & Milke, 2002) งานวิจัยด้าน IoT สำหรับความปลอดภัยจากอัคคีภัยได้ชี้ให้เห็นว่าระบบตรวจจับและตอบสนองแบบ Real-time สามารถเพิ่มความรวดเร็วในการเฝ้าระวังและการแจ้งเตือนเหตุฉุกเฉินได้ Park et al. (2023) จำแนกรูปแบบสัญญาณของระบบตรวจจับอัคคีภัยบน IoT ด้วยตรรกศาสตร์คลุมเครือเพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือของการตรวจจับ เช่นเดียวกัน Zhao et al. (2023) ที่เสนอระบบตอบสนองล่วงหน้าแบบ Real-time สำหรับอัคคีภัยในอาคารสูงบนพื้นฐาน IoT อย่างไรก็ตามระบบลักษณะดังกล่าวต้องมีความต่อเนื่องในการทำงานเมื่อไฟฟ้าหลักขัดข้องซึ่งเป็นเงื่อนไขสำคัญในสถานการณ์เพลิงไหม้จริง

จากการทบทวนงานวิจัยพบว่าระบบอัคคีภัยบนฐาน IoT ส่วนใหญ่ยังมุ่งเน้นการตรวจจับควันหรือเปลวไฟ วิเคราะห์สัญญาณจากเซนเซอร์และแจ้งเตือนผู้ใช้งาน ขณะที่การบูรณาการระบบตรวจจับควัน การช่วยเร่งระบายควันอัตโนมัติ การติดตามผลผ่าน Web-based Monitoring การแจ้งเตือนผ่านเครือข่าย และแหล่งจ่ายไฟสำรองไว้ในระบบต้นทุนต่ำเดียวกันยังมีจำกัด งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดพัฒนาจัดการไว้ในระบบเดียวเพื่อให้ระบบสามารถตรวจจับ แจ้งเตือน ควบคุมพัดลมระบายควันและทำงานต่อเนื่องได้แม้ไฟฟ้าหลักขัดข้อง โดยเลือกใช้ Raspberry Pi Pico W เป็นหน่วยควบคุมหลักของระบบในการรับค่าความเข้มข้นของควันจากเซนเซอร์ MQ-2 เปรียบเทียบกับค่าขีดจำกัดที่กำหนด และสั่งงานพัดลมระบายอากาศได้โดยอัตโนมัติทันที ใช้ระบบ Web Server เพื่อแสดงผลและติดตามสถานะการทำงานของระบบแบบ Real-time ทำให้ผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบระดับควัน สถานะพัดลม และสถานะการแจ้งเตือนได้อย่างต่อเนื่อง ส่วนระบบแจ้งเตือนผ่านเครือข่ายถูกนำมาใช้เพื่อเพิ่มความรวดเร็วในการรับรู้เหตุการณ์ โดยเฉพาะในสถานการณ์เพลิงไหม้ที่ผู้ใช้งานอาจไม่ได้อยู่ในพื้นที่เกิดเหตุโดยตรง

### วัตถุประสงค์การวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ ดังนี้

1. เพื่อพัฒนาระบบระบบตรวจจับควันและช่วยเร่งระบายควันอัตโนมัติบนเครือข่าย IoT ร่วมกับระบบสำรองไฟเพื่อเสริมความปลอดภัยในอาคาร
2. เพื่อประเมินประสิทธิภาพเชิงเทคนิคของระบบระบบตรวจจับควันและช่วยเร่งระบายควันอัตโนมัติบนเครือข่าย IoT ร่วมกับระบบสำรองไฟเพื่อเสริมความปลอดภัยในอาคาร

### ทบทวนวรรณกรรม

ระบบตรวจจับควันและก๊าซสามารถใช้เซนเซอร์เพื่อตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของก๊าซในอากาศ โดยเซนเซอร์ MQ-2 เป็นเซนเซอร์ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการตรวจจับก๊าซไวไฟและควัน โดยทำงานบนหลักการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานของสารกึ่งตัวนำเมื่อสัมผัสกับก๊าซ (Zhengzhou Winsen Electronics Technology Co., Ltd., 2015) และสามารถนำมาใช้ร่วมกับไมโคร

คอนโทรลเลอร์เพื่อควบคุมระบบระบายอากาศแบบอัตโนมัติ การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งกับระบบความปลอดภัยในอาคารมีบทบาทมากขึ้น โดยเฉพาะการใช้เซนเซอร์เพื่อตรวจจับควัน ก๊าซ อุณหภูมิ และสถานะความเสี่ยงในพื้นที่ปิด Shaharuddin et al. (2023) สรุปได้ว่า IoT sensor ในบริบทอาคารอัจฉริยะสามารถสนับสนุนการตรวจจับอัคคีภัยในอาคาร การติดตามสถานะแบบ Real-time และการสื่อสารข้อมูลเพื่อการตอบสนองเหตุฉุกเฉินได้ อย่างไรก็ตามงานวิจัยจำนวนมากยังเน้นการรับรู้สัญญาณและการแจ้งเตือนเป็นหลัก จึงยังมีพื้นที่สำหรับการพัฒนาระบบที่เชื่อมโยงการตรวจจับ การแสดงผล และการสั่งงานอุปกรณ์ระบายควันร่วมกัน ข้อจำกัดที่สำคัญของระบบระบายอากาศและระบบป้องกันอัคคีภัยในปัจจุบันคือ การพึ่งพาแหล่งจ่ายไฟหลักของอาคาร (Rattanaburi, 2020) เมื่อเกิดเหตุเพลิงไหม้ ระบบไฟฟ้าหลักมักจะถูกตัดขาดหรือได้รับความเสียหาย ส่งผลให้ระบบระบายควันและระบบแจ้งเตือนหยุดทำงานในจังหวะที่จำเป็นที่สุด การบูรณาการระบบแหล่งจ่ายไฟสำรองเข้ากับระบบระบายควันอัตโนมัติ จึงเป็นแนวทางสำคัญที่จะช่วยอุดช่องโหว่ดังกล่าว ทำให้ระบบสามารถทำงานได้อย่างเป็นอิสระและช่วยลดความเข้มข้นของควันเพื่อยืดเวลาในการอพยพได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด งานวิจัยสมัยใหม่ในปี ค.ศ. 2023 แสดงให้เห็นว่าระบบ IoT ด้านอัคคีภัยพัฒนาไปสู่การตรวจจับแบบ Real-time การวิเคราะห์สัญญาณและการตอบสนองอัตโนมัติ โดย Park et al. (2023) ศึกษาการจำแนกรูปแบบสัญญาณของระบบตรวจจับอัคคีภัยบน IoT ด้วยตรรกศาสตร์คลุมเครือเพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือของการแจ้งเตือน ขณะที่ Zhao et al. (2023) นำเสนอระบบตอบสนองล่วงหน้าแบบ Real-time สำหรับอัคคีภัยในอาคารสูงบนพื้นฐาน IoT ซึ่งให้ความสำคัญกับการจำกัดการแพร่กระจายของไฟและควัน เมื่อพิจารณาพร้อมกับข้อเสนอของ Shaharuddin et al. (2023) จะเห็นว่าช่องว่างสำคัญคือการบูรณาการระบบตรวจจับควัน ระบบช่วยเร่งระบายควัน Web-based monitoring การแจ้งเตือนผ่านเครือข่าย และแหล่งจ่ายไฟสำรองไว้ในต้นแบบเดียวที่มีต้นทุนเหมาะสมสำหรับอาคารทั่วไปหรือพื้นที่ปิดขนาดเล็ก

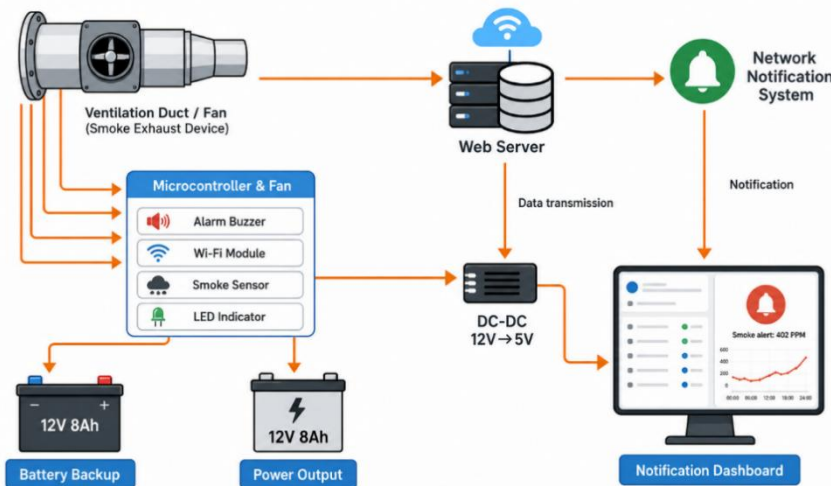
จากแนวคิดดังกล่าวสรุปกรอบการพัฒนาระบบในเชิงแบบจำลองเป็น 3 ระดับ ได้แก่ แบบจำลองทางกายภาพ แบบจำลองระบบไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ และแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ งานวิจัยนี้กำหนดให้พื้นที่จำลองทางกายภาพเป็นแบบปิดสภาพแวดล้อมที่มีการสะสมของควัน และใช้พัดลมระบายอากาศเป็นกลไกช่วยเร่งการไหลของอากาศเพื่อลดความเข้มข้นของควันภายในพื้นที่ แบบจำลองระบบไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์ และคอมพิวเตอร์ ใช้เซนเซอร์ MQ-2 สำหรับตรวจวัดค่าความเข้มข้นของควัน ไมโครคอนโทรลเลอร์ Raspberry Pi Pico W สำหรับประมวลผลและควบคุมการทำงานของระบบวงจรควบคุมพัดลมระบายอากาศ ระบบ Web Server สำหรับแสดงผลสถานะแบบ Real-time ระบบแจ้งเตือนผ่านเครือข่าย และแหล่งจ่ายไฟสำรองเพื่อให้ระบบสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องในกรณีไฟฟ้าหลักขัดข้อง สำหรับแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ ใช้ค่าความเข้มข้นของควันก่อนและหลังการทำงาน of ระบบเป็นตัวแปรหลักในการประเมินประสิทธิภาพ

### วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยและพัฒนา โดยดำเนินการวิจัย ดังนี้

#### การออกแบบระบบ (System Design)

ระบบตรวจจับและช่วยเร่งระบายควันอัตโนมัติบนเครือข่าย IoT ที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก ได้แก่ เซนเซอร์ตรวจจับควันทำหน้าที่ตรวจวัดความเข้มข้นของควันในอากาศและส่งข้อมูลไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ Raspberry Pi Pico W ซึ่งทำหน้าที่ประมวลผลข้อมูล ควบคุมการทำงานของระบบ และสื่อสารผ่านเครือข่าย Wi-Fi เมื่อค่าความเข้มข้นของควันสูงกว่าค่าที่กำหนด (400 ppm) ไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งให้พัดลมระบายอากาศทำงานโดยอัตโนมัติ พร้อมทั้งส่งข้อมูลไปยัง Web Server แจ้งเตือนผู้ใช้งานผ่านระบบแจ้งเตือนผ่านเครือข่าย ที่สำคัญแหล่งจ่ายไฟสำรองถูกออกแบบเพื่อให้ระบบสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องในกรณีที่ไฟฟ้าหลักขัดข้อง โดยโครงสร้างและหลักการทำงานของระบบแสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 โครงสร้างการทำงานของระบบตรวจจับและช่วยเร่งระบายควันอัตโนมัติบนเครือข่าย IoT ร่วมกับระบบสำรองไฟ

#### การพัฒนาแบบต้นแบบ (System Development)

การพัฒนาแบบต้นแบบดำเนินการโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ Raspberry Pi Pico W เป็นหน่วยประมวลผลหลัก โดยเชื่อมต่อกับเซนเซอร์ตรวจจับควันชนิด MQ-2 เพื่อวัดความเข้มข้นของควันในอากาศ ระบบควบคุมพัดลมถูกพัฒนาเพื่อให้สามารถทำงานโดยอัตโนมัติเมื่อค่าความเข้มข้นของควันเกินค่าที่กำหนด พร้อมทั้งติดตั้งอุปกรณ์แจ้งเตือนภายในพื้นที่ ได้แก่ Buzzer และ LED Indicator โดยสื่อสารข้อมูลดำเนินการผ่านโมดูล Wi-Fi ที่ติดตั้งอยู่ใน Raspberry Pi Pico W ข้อมูลจากเซนเซอร์จะถูกส่งไปยัง Web Server และจัดเก็บในระบบฐานข้อมูล จากนั้นแสดงผลผ่าน Dashboard แบบ Real-time เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถติดตามสถานะของระบบได้ และระบบสามารถส่งข้อความแจ้งเตือนผ่าน

เครือข่ายเมื่อค่าความเข้มข้นของควันทันทีที่กำหนด และมีการติดตั้งแหล่งจ่ายไฟสำรองขนาด 12V 8Ah เพื่อให้ระบบสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องในกรณีไฟฟ้าดับ

ระบบที่พัฒนาขึ้นมีสถาปัตยกรรมแบบ 3 ชั้น (Three-layer IoT Architecture) ดังนี้

ชั้นที่ 1 ชั้นการรับรู้ (Perception layer) ประกอบด้วยเซนเซอร์ MQ-2 ทำหน้าที่ตรวจวัดความเข้มข้นของควันทันทีและก๊าซไวไฟในช่วง 0–1,000 ppm โดยส่งสัญญาณอนาล็อกไปยัง Controller

ชั้นที่ 2 ชั้นเครือข่าย (Network layer) ไมโครคอนโทรลเลอร์ Raspberry Pi Pico W ทำหน้าที่เป็นทั้ง Edge Controller สำหรับประมวลผลสัญญาณเซนเซอร์ และ Gateway สำหรับสื่อสารข้อมูลผ่านโปรโตคอล Wi-Fi (IEEE 802.11b/g/n, 2.4 GHz) ไปยัง Web Server

ชั้นที่ 3 ชั้นการประยุกต์ใช้ (Application layer) Web Server ทำหน้าที่จัดเก็บและแสดงผลข้อมูลแบบ Real-time ผ่าน Dashboard และระบบแจ้งเตือนผ่านเครือข่าย

การทำงานของระบบ ระบบจะทำงานตามขั้นตอน ดังนี้

1. เซนเซอร์ MQ-2 วัดค่าความเข้มข้นของควันทันทีอย่างต่อเนื่องทุก ๆ 1 วินาที และส่งสัญญาณอนาล็อกไปยัง Raspberry Pi Pico W

2. ไมโครคอนโทรลเลอร์แปลงค่าสัญญาณอนาล็อกเป็นหน่วย ppm โดยใช้สมการสอบเทียบของเซนเซอร์ MQ-2

3. ระบบเปรียบเทียบค่าที่อ่านได้กับค่า Threshold ที่กำหนดไว้ที่ 400 ppm

4. หากค่าความเข้มข้นของควันทันทีไม่เกิน 400 ppm ระบบจะบันทึกข้อมูล และแสดงผลบน Dashboard โดยไม่มีการแจ้งเตือน

5. หากค่าความเข้มข้นของควันทันทีเกิน 400 ppm ระบบจะดำเนินการพร้อมกัน 4 ส่วน ได้แก่สั่งงานพัดลมระบายอากาศผ่าน GPIO วัตต์โนมิตี เปิดสัญญาณเตือน Buzzer และ LED Indicator ภายในพื้นที่ ส่งข้อมูลไปยัง Web server ผ่าน HTTP POST และ ส่งการแจ้งเตือนไปยังผู้ใช้งานผ่านระบบแจ้งเตือนผ่านเครือข่าย

6. เมื่อค่าความเข้มข้นของควันทันทีลดลงต่ำกว่า 400 ppm ระบบจะหยุดพัดลมและส่งสัญญาณกลับสู่สถานะปกติ

7. ในกรณีไฟฟ้าหลักขัดข้อง วงจรสลับไฟอัตโนมัติจะเปลี่ยนไปใช้แหล่งจ่ายไฟสำรอง 12V 8Ah โดยไม่หยุดการทำงานของระบบ

#### การทดสอบประสิทธิภาพของระบบ (System Performance Testing)

ดำเนินการในพื้นที่จำลองแบบปิด ขนาด 2×2×2.5 เมตร ซึ่งออกแบบให้ใกล้เคียงกับห้องปิดในอาคารพักอาศัยหรืออาคารสำนักงานขนาดเล็ก ควันทันทีใช้ในการทดสอบเกิดจากการเผาไหม้ของวัสดุที่กำหนดในปริมาณคงที่เพื่อให้ได้ค่าความเข้มข้นเริ่มต้นในช่วง 480-510 ppm ก่อนการทดสอบ อุณหภูมิในพื้นที่ทดสอบอยู่ระหว่าง 28-32 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 55-70% ทำซ้ำ 5 ครั้งในสภาวะ

เดียวกัน และทดสอบภายใต้สภาวะไฟฟ้าดับ โดยตัดแหล่งจ่ายไฟหลักและให้ระบบทำงานผ่านแหล่งจ่ายไฟสำรอง โดยกำหนดพารามิเตอร์ประเมิน ได้แก่

1. ค่าความเข้มข้นของควันก่อน และ หลังการทำงานของระบบ (ppm)
2. ระยะเวลาในการลดความเข้มข้นของควัน (วินาที)
3. ระยะเวลาในการตอบสนองของระบบ
4. ความถูกต้องของการแจ้งเตือนผ่าน Web Server และระบบแจ้งเตือนผ่านเครือข่าย

#### การวิเคราะห์ข้อมูล

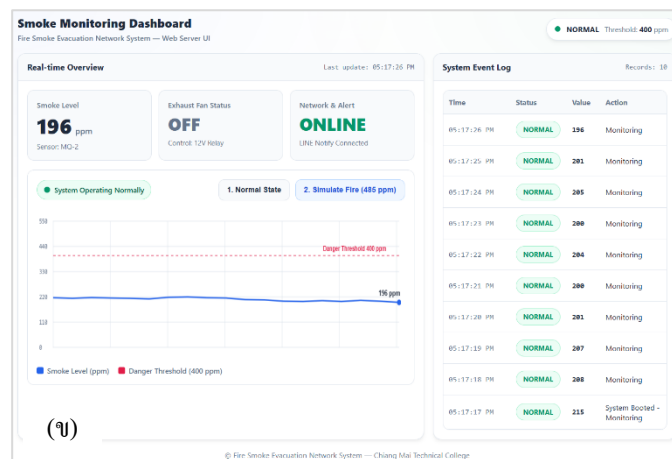
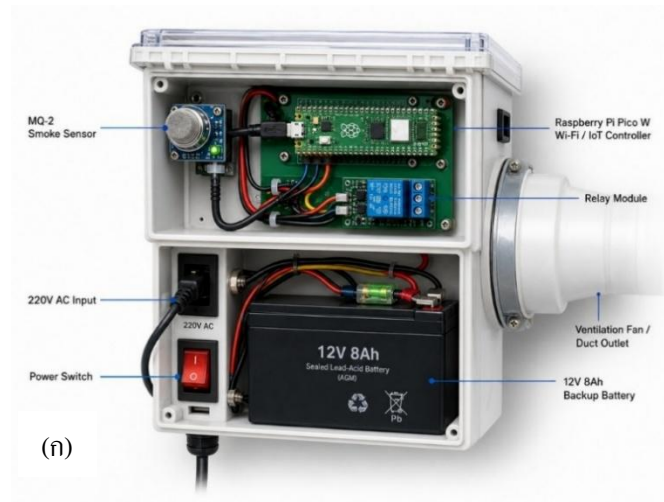
การวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติ ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และร้อยละการลดลงของความเข้มข้นของควัน กำหนดโดยใช้ สูตร:

$$\%Reduction = \frac{C_{before} - C_{after}}{C_{before}} \times 100$$

#### ผลการวิจัย

##### การออกแบบและพัฒนาระบบเครือข่ายช่วยเร่งระบายควัน

จากการออกแบบและพัฒนาระบบตรวจจับและช่วยเร่งระบายควัน อัตโนมัตินบนเครือข่าย IoT ร่วมกับระบบสำรองไฟเพื่อเสริมความปลอดภัยในอาคาร พบว่าได้ค้นแบบอุปกรณ์ที่ประกอบด้วย เซนเซอร์ตรวจจับควัน MQ-2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ Raspberry Pi Pico W โมดูลรีเลย์ พัฒนาระบายอากาศ แหล่งจ่ายไฟสำรองขนาด 12V 8Ah และส่วนเชื่อมต่อแหล่งจ่ายไฟหลัก โดยองค์ประกอบทั้งหมด ถูกติดตั้งรวมอยู่ภายในชุดเดียวกัน รวมทั้งโมดูล Wi-Fi ระบบ Web Server และระบบแจ้งเตือนผ่านเครือข่าย สำหรับแสดงผลและติดตามสถานะของระบบ ประกอบด้วยข้อมูลระดับควัน สถานะพัฒนาระบายอากาศ สถานะการเชื่อมต่อเครือข่าย และบันทึกเหตุการณ์ การทำงานของอุปกรณ์สามารถทำงานได้อย่างอิสระและมีประสิทธิภาพ การทำงานของระบบเริ่มด้วย เมื่อเซนเซอร์ตรวจพบค่าความเข้มข้นของควันเกินค่าที่กำหนด (400 ppm) ไมโครคอนโทรลเลอร์จะประมวลผลและส่งให้พัฒนาระบายอากาศทำงานโดยอัตโนมัติพร้อมทั้งส่งข้อมูลไปยัง Web Server ผ่านเครือข่าย Wi-Fi และแจ้งเตือนผู้ใช้งานผ่านระบบแจ้งเตือน ซึ่งช่วยให้สามารถติดตามสถานะของระบบได้แบบ Real-time แสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 (ก) แสดงต้นแบบระบบตรวจจับและช่วยเร่งระบายควันอัตโนมัติบนเครือข่าย IoT ร่วมกับระบบ  
 ถังรองไฟ และ (ข) ระบบ Web Server สำหรับแสดงผลและแจ้งเตือนสถานะแบบ Real-time

ในส่วนของความแตกต่างการระบายควันของระบบต้นแบบที่พัฒนาขึ้นกับการระบายควันแบบ  
 ธรรมชาติในเชิงลักษณะการทำงานภายใต้พื้นที่จำลองเดียวกัน สามารถอธิบายได้ดังนี้ ระบบที่พัฒนาขึ้น  
 สามารถมองเห็นถึงความแตกต่างด้านกลไกการตรวจจับ การสั่งงานอัตโนมัติ การช่วยเร่งระบายควัน การ  
 แจ้งเตือนผ่านเครือข่าย การช่วยเร่งระบายควันอย่างเป็นระบบ โดยเฉพาะความสามารถในการทำงาน  
 อัตโนมัติเมื่อค่าความเข้มข้นของควันเกินเกณฑ์ที่กำหนด และการทำงานต่อเนื่อง ได้ภายใต้สภาวะไฟฟ้า  
 หลักขัดข้อง แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ความแตกต่างลักษณะการทำงานของระบบที่พัฒนาขึ้นกับการระบายควันแบบธรรมชาติ

รายการเปรียบเทียบ	ระบบที่พัฒนาขึ้น	การระบายควันแบบธรรมชาติ
กลไกการตรวจจับควัน	ตรวจจับค่าความเข้มข้นของควันด้วยเซนเซอร์ MQ-2 แบบต่อเนื่อง	ไม่มีระบบตรวจจับควันอัตโนมัติ
การตอบสนองเมื่อค่าควันเกินเกณฑ์	ระบบสั่งงานพัดลมระบายอากาศอัตโนมัติเมื่อค่าควันเกิน 400 ppm	ไม่มีการสั่งงานอุปกรณ์ระบายควันโดยอัตโนมัติ
การช่วยเร่งระบายควัน	มีพัดลมช่วยเร่งระบายควันออกจากพื้นที่จำลอง	อาศัยการกระจายตัวของอากาศและช่องเปิดตามธรรมชาติ
ผลเชิงปริมาณจากการทดลอง	ลดค่าควันเฉลี่ยจาก 492 ppm เหลือ 119.6 ppm ภายในเวลาเฉลี่ย 48.6 วินาที คิดเป็นร้อยละ 75.7	ไม่รายงานเชิงปริมาณ เนื่องจากไม่ได้ออกแบบเป็นการทดลองวัดค่าการระบายแบบธรรมชาติ
การแจ้งเตือนผู้ใช้งาน	แจ้งเตือนผ่านระบบเครือข่ายเมื่อค่าควันเกินเกณฑ์	ไม่มีระบบแจ้งเตือนอัตโนมัติ
การติดตามสถานะ	แสดงผลผ่าน Web Server /Dashboard แบบ Real-time	ไม่มีระบบติดตามสถานะแบบ Real-time
การทำงานเมื่อไฟฟ้าหลักขัดข้อง	ทำงานต่อเนื่องได้ด้วยแหล่งจ่ายไฟสำรอง 12V 8Ah	ไม่ต้องใช้ระบบไฟฟ้าควบคุม แต่ไม่มีระบบตรวจจับแจ้งเตือน หรือช่วยเร่งระบายควันโดยอัตโนมัติ
แนวโน้มนำประสิทธิผล	สามารถตรวจจับแจ้งเตือน และช่วยเร่งลดความเข้มข้นของควันได้อย่างเป็นระบบ	เหมาะกับการระบายอากาศทั่วไป แต่ไม่สามารถควบคุมหรือตอบสนองต่อเหตุควันไฟได้โดยอัตโนมัติ

### การทดสอบประสิทธิภาพในการลดความเข้มข้นของควัน

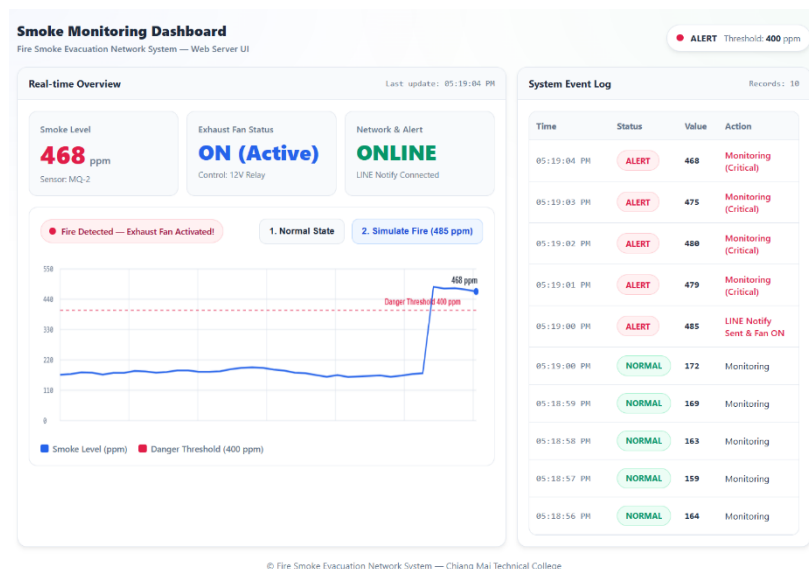
ประสิทธิภาพในการลดความเข้มข้นของควันพบว่า ระบบสามารถลดค่าความเข้มข้นของควันจากค่าเฉลี่ย 492 ppm ลงเหลือ 119.6 ppm ภายในเวลาเฉลี่ย 48.6 วินาที คิดเป็นร้อยละ 75.7 แสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการทดลองประสิทธิภาพการลดความเข้มข้นของควัน

ครั้งที่	ค่าวันก่อน (ppm)	ค่าวันหลัง (ppm)	ระยะเวลา (วินาที)	%Reduction
1	485	125	52	74.23
2	498	118	47	76.31
3	505	115	46	77.23
4	492	122	49	75.20
5	480	118	49	75.42
ค่าเฉลี่ย	492.0	119.6	48.6	75.70

### การประเมินประสิทธิภาพการตรวจจับ การตอบสนอง และการแจ้งเตือนผ่านเครือข่าย

ผลการประเมินพบว่า ระบบสามารถตรวจจับความเข้มข้นของควันได้อย่างถูกต้องโดยใช้เซนเซอร์ MQ-2 และประมวลผลผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ Raspberry Pi Pico W เมื่อค่าความเข้มข้นของควันเกินค่าที่กำหนด ระบบจะสั่งให้พัดลมทำงานทันที และส่งข้อมูลค่าความเข้มข้นของควันสถานะการทำงานของพัดลม สถานะการแจ้งเตือนไปยัง Web Server ผ่านเครือข่าย Wi-Fi อย่างต่อเนื่อง และแสดงผลทางหน้า Dashboard แบบ Real-time ดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ระบบแสดงผลการตรวจจับและติดตามสถานะผ่าน Web-based Monitoring Interface

### การทำงานของระบบ Web Server และระบบแจ้งเตือนผ่านเครือข่าย

พบว่า ระบบสามารถรับข้อมูลจากไมโครคอนโทรลเลอร์ จัดเก็บข้อมูลค่าความเข้มข้นของควันสถานะพัดลม และสถานะการแจ้งเตือนได้อย่างถูกต้อง โดยข้อมูลดังกล่าวถูกนำมาแสดงผลในรูปแบบตัวเลข กราฟแสดงแนวโน้ม และบันทึกเหตุการณ์ ในส่วนของระบบแจ้งเตือนผ่านเครือข่าย พบว่า เมื่อค่าความเข้มข้นของควันเกินค่าที่กำหนด ระบบสามารถส่งข้อความแจ้งเตือนไปยังผู้ใช้งานได้อย่างถูกต้องและรวดเร็ว ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการเฝ้าระวังและตอบสนองต่อเหตุการณ์ฉุกเฉินได้อย่างมีประสิทธิภาพ แสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 การแจ้งเตือนผ่านเครือข่ายเมื่อค่าความเข้มข้นของควันเกินค่าที่กำหนด

### อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

จากผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าระบบต้นแบบสามารถทำงานได้ครบตามหน้าที่ที่กำหนดได้แก่ การตรวจจับควัน การควบคุมพัดลมระบายอากาศ การแสดงผลผ่าน Web Server การแจ้งเตือนผ่านเครือข่ายและการทำงานด้วยระบบสำรองไฟ ระบบสามารถลดความเข้มข้นของควันได้ถึงร้อยละ 75.7 ภายในเวลาเฉลี่ย 48.6 วินาที สะท้อนให้เห็นว่าการผสานเซนเซอร์ตรวจจับควัน หน่วยควบคุม IoT พัดลมระบายอากาศและระบบสำรองไฟ สามารถช่วยให้ระบบตอบสนองต่อสถานการณ์ควันในพื้นที่จำลองได้อย่างเป็นระบบ แม้ว่าการทดลองดังกล่าวเป็นผลจากการทดสอบในสภาพแวดล้อมจำลอง มิใช่รับรองผ่านมาตรฐาน NFPA 92 อย่างไรก็ตามผลการประเมินเป็นไปในทิศทางเดียวกับแนวทางการควบคุมและระบายควันตามหลักการ NFPA 92 (2021) ที่มุ่งลดการสะสมของควันเพื่อสนับสนุนความปลอดภัยในการอพยพและสอดคล้องกับ ASHRAE (2019) ที่ให้ความสำคัญกับการระบายอากาศเพื่อลดความเข้มข้นของมลพิษภายในอาคาร สอดคล้องกับ Shaharuddin et al. (2023); Park et al. (2023); Zhao et al. (2023) ที่ชี้ให้เห็นบทบาทของ IoT sensor ในการเฝ้าระวังอัคคีภัยภายในอาคาร การตรวจจับ แจ้งเตือนและสนับสนุนการตอบสนองต่อเหตุอัคคีภัยแบบ Real-time สรุปได้ว่าระบบต้นแบบที่พัฒนาขึ้นสามารถตรวจจับค่าความเข้มข้นของควัน ด้วยเซนเซอร์ MQ-2 ประมวลผลผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ Raspberry Pi Pico W ควบคุมพัดลมระบายอากาศ และ แจ้งเตือนผ่านเครือข่าย ทำงานต่อเนื่องได้ด้วยแหล่งจ่ายไฟ

สำรอง 12V 8Ah ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งเป็นการบูรณาการทุกส่วนไว้ในระบบเดียว สามารถใช้เป็นแนวทางพัฒนาระบบเสริมความปลอดภัยในอาคารหรือพื้นที่ปิดขนาดเล็ก แม้ว่าผลการวิจัยจะไม่สามารถสรุปผลโดยตรงสำหรับอาคารขนาดใหญ่หรือสถานการณ์เพลิงไหม้จริงที่มีตัวแปรด้านอุณหภูมิ ทิศทางลม ชนิดวัสดุเชื้อเพลิง ปริมาณควัน และโครงสร้างอาคารแตกต่างกันได้ ดังนั้นงานวิจัยครั้งต่อไป เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ควรมีการทดสอบระบบในอาคารหรือพื้นที่ปิดที่มีขนาดใหญ่ รูปแบบช่องเปิดและทิศทางการไหลเวียนอากาศแตกต่างกัน เพิ่มจำนวนจุดตรวจจับควันในตำแหน่งต่าง ๆ ของพื้นที่ ศึกษาการจัดวางพัดลมและช่องระบายอากาศที่เหมาะสมตามหลักวิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย มีการบันทึกข้อมูลในระยะยาวต่อเนื่อง มีการสำรองข้อมูลบน Cloud หรือ Edge Server รวมทั้งพิจารณาประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อจำแนกระดับความเสี่ยงของควัน และสนับสนุนการตัดสินใจของระบบ แจ้งเตือนอัตโนมัติในอนาคต

### กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสถาบันการอาชีวศึกษาภาคเหนือ 1 ที่ให้ทุนสนับสนุนในการดำเนินงานวิจัย รวมถึงขอขอบคุณผู้เชี่ยวชาญและผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านที่ให้ความร่วมมือในการทดสอบและพัฒนา ระบบต้นแบบจนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

### References

- ASHRAE. (2019). *ASHRAE handbook-HVAC applications*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
- Hurley, M. J., Gottuk, D. T., Hall, J. R., Harada, K., Kuligowski, E. D., Puchovsky, M., Watts, J. M., Wieczorek, C. J., & Torero, J. L. (2016). *SFPE handbook of fire protection engineering* (5<sup>th</sup> ed.). Springer.
- Klote, J. H., & Milke, J. A. (2002). *Principles of Smoke Management*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
- National Fire Protection Association. (2021). *NFPA 92: Standard for smoke control systems*. NFPA.
- Park, S. H., Kim, D. H., & Kim, S. C. (2023). Recognition of IoT-based fire-detection system fire-signal patterns applying fuzzy logic. *Heliyon*, 9(2), e12964.
- Rattanaburi, P. (2020). Fire safety management in industrial buildings. *Thai Safety Engineering Journal*, 12(1), 15-22. (in Thai)
- Shaharuddin, S., Abdul Maulud, K. N., Syed Abdul Rahman, S. A. F., Che Ani, A. I., & Pradhan, B. (2023). The role of IoT sensor in smart building context for indoor fire hazard scenario: A systematic review of interdisciplinary articles. *Internet of Things*, 22, 100803.
- Zhao, H., Yu, Z., & Zhu, J. (2023). A real-time pre-response experiment system for high-rise building fires based on the Internet of Things. *Fire*, 6(7), 271.
- Zhengzhou Winsen Electronics Technology Co., Ltd. (2015). *MQ-2 semiconductor sensor for flammable gas: Manual, version 1.4*. <https://www.winsen-sensor.com>