

การพัฒนาระบบต้นแบบรักษาความปลอดภัยของเตาแก๊ส สำหรับบ้านพักอาศัยด้วยเทคโนโลยีสมองกลฝังตัว

The Development of a Prototype Gas Stove Safety System for Residential Buildings Using Embedded Systems Technology

ยุติธรรม ประมว^{1*} และกิงแก้ว อ่อนสำริ¹

Yutitham Parama^{1*} and Kingkaew Oonsamri¹

¹ สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกาแพงเพชร 62000

¹ Department of Computer Science, Faculty of Science and Technology,

Kamphaeng Phet Rajabhat University 62000

Corresponding author E-mail: keng2007@gmail.com

บทคัดย่อ

งานการวิจัยนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) พัฒนาระบบต้นแบบรักษาความปลอดภัยของเตาแก๊สสำหรับบ้านพักอาศัยด้วยเทคโนโลยีสมองกลฝังตัว 2) ประเมินประสิทธิภาพของระบบต้นแบบฯ 3) ประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบต้นแบบฯ ซึ่งประกอบด้วยส่วนหลัก คือ หน่วยควบคุมหลัก และหน่วยตรวจจับแก๊สรั่วที่สามารถทำงานอัตโนมัติและสั่งการโดยผู้ใช้งาน รวมถึงการตั้งเวลาใช้งานและการเปิด/ปิด มีระบบการแจ้งเตือนด้วยสีดวงไฟและเสียงระบบต้นแบบฯ ประกอบด้วยบอร์ด Arduino Uno R3, เซนเซอร์ตรวจจับแก๊สแบบ MQ-6, แก๊สโซลินอยด์วาล์ว, แป้นพิมพ์, จอแสดงผลแบบ LCD, เสียงแจ้งเตือนและสัญญาณไฟ LED การทดสอบประสิทธิภาพของระบบต้นแบบฯ ทั้งแบบหน่วยย่อย (Unit Test) 4 ฟังก์ชัน และระบบองค์รวม (System Test) 4 ฟังก์ชัน และการศึกษาความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบต้นแบบฯ สถิติที่ใช้คือ ค่าเฉลี่ย ร้อยละ และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลการศึกษาพบว่า การทดสอบประสิทธิภาพของระบบต้นแบบฯ ด้านการกระจายตัวของแก๊สตามระยะทางด้านการปิดแก๊สอัตโนมัติ ด้านการตั้งเวลาทำงานอัตโนมัติ ด้านการแจ้งเตือนตามระดับความเข้มข้นของแก๊สที่ 400 ppm สามารถทำงานได้คิดเป็นร้อยละ 100 และระดับความพึงพอใจของผู้ใช้งานอยู่ในระดับ ความพึงพอใจมากที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.57 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.52

คำสำคัญ : ต้นแบบระบบรักษาความปลอดภัย, เตาแก๊สบ้านพักอาศัย, สมองกลฝังตัว

Abstract

The objectives of this research were to 1) develop a prototype safety system for household gas stoves using an embedded system technology, 2) evaluate the efficiency of the prototype system, and 3) assess user satisfaction with the prototype system. The prototype system consists of two main components: a main control unit and a gas leakage detection unit. The system operates in both automatic and user-controlled modes, with functions including scheduled operation and on/off control and visual and audible notification system. The prototype is developed using an Arduino Uno R3 board, an MQ-6 gas sensor, a gas solenoid valve, a keypad, an LCD display, an audible and LED notification. System performance evaluation includes unit testing with four functions and system testing with four functions, as well as a study of user satisfaction with the prototype system. The statistical methods used for data analysis included

mean, percentage, and standard deviation. The results showed that the efficiency of the prototype based on unit testing achieved 100% on all 4 functions which are gas dispersion over the distance, automatic gas shutoff, automatic operation scheduling, and gas concentration alert notification at 400 ppm. Similarly, the system testing results also demonstrated 100% efficiency on all 4 functions which were gas dispersion over distance, automatic gas shutoff, automatic operation scheduling, and gas concentration alert notification at 400 ppm. Furthermore, user satisfaction rate of the prototype system was at the highest level, with an average score of 4.57 and a standard deviation of 0.52

Keywords : prototype gas stove security system, residential gas stoves, embedded systems

บทนำ

ในวิถีชีวิตของคนส่วนใหญ่ในยุคปัจจุบัน การประกอบอาหารสำหรับบ้านพักมักจะใช้พลังงานเชื้อเพลิงจากแก๊สธรรมชาติ ซึ่งมีความสะดวกและรวดเร็วกว่าการใช้พลังงานจากธรรมชาติอื่น ๆ การใช้พลังงานแก๊สหุงต้มในครัวเรือนถือว่ามีต้นทุนต่ำใช้งานสะดวกและให้พลังงานความร้อนสูง สำหรับประเทศไทยมีสถิติการใช้แก๊สปิโตรเลียมเหลว (LPG) อยู่ที่ 5,127 พันตัน โดยแบ่งเป็นภาคอุตสาหกรรม 45% และภาคครัวเรือน 31% หรือประมาณ 1,589.37 พันตัน (กระทรวงพลังงาน, 2566) แต่ในการใช้งานเตาแก๊สภายในบ้านพักอาศัยนั้นมีความเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุจากการรั่วไหลของแก๊ส ในห้องครัวนั้นถึงแก๊สเป็นหนึ่งในปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดการระเบิดและเพลิงไหม้ (กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย, 2565) เนื่องจากแก๊สเป็นเชื้อเพลิงที่มีคุณสมบัติไวไฟสูงมาก สำหรับแก๊สหุงต้ม (LPG) เป็นเชื้อเพลิงชนิดหนึ่งที่ได้มาจากกระบวนการกลั่นน้ำมันดิบในโรงกลั่นน้ำมัน และจากกระบวนการแยกก๊าซธรรมชาติในโรงแยกก๊าซ ที่มีส่วนผสมจากบิวเทนและสารโพรเพน และมีน้ำหนักมากกว่าอากาศจึงทำให้เกิดการสะสมและลุกไหม้ได้ง่าย (สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, 2551) ดังนั้นหากเกิดแก๊สรั่วไหลทั้งในขณะที่ใช้งานเตาแก๊สอยู่หรือไม่ได้ใช้งานอยู่ก็ตาม จะส่งผลให้เกิดความสูญเสียต่อชีวิตและทรัพย์สินอย่างร้ายแรง โดยเฉพาะในครัวเรือนที่ขาดระบบเฝ้าระวังและแจ้งเตือนที่มีประสิทธิภาพดังตัวอย่างเหตุการณ์แก๊สรั่วและแก๊สระเบิดในบ้านพักอาศัยที่ส่งผลต่อชีวิตและทรัพย์สินของประชาชนอยู่เป็นประจำ (ไทยรัฐออนไลน์, 2568) และเตาแก๊สก็มักจะเป็นองค์ประกอบหนึ่งซึ่งส่งผลให้เกิดการรั่วไหลของแก๊สได้ โดยส่วนใหญ่ของการใช้งานในบ้านพักอาศัยมักใช้เตาอยู่ 3 ชนิดที่ให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่แตกต่างกันคือ เตาทอร์โบ เตาจุดไฟอัตโนมัติ และเตาแก๊สประสิทธิภาพสูง ซึ่งให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อน 35-40%, 42-48% และ 53% ตามลำดับ

ด้านการป้องกันและตรวจจับการเกิดแก๊สรั่วของประเทศไทย ได้มีการพัฒนาเครื่องตรวจจับสัญญาณจับตัดแก๊สอัตโนมัติ (Gas Detector) ภายใต้อินเตอร์เน็ต (CG) โดยในระยะแรกได้มีการส่งอุปกรณ์เตือนแก๊สรั่วจากต่างประเทศและทดลองใช้พบว่ายังไม่ตอบโจทย์เพราะมีเพียงเตือนภัยเมื่อแก๊สรั่วเท่านั้นแต่ยังไม่มีระบบการตัดการรั่วของแก๊สอย่างอัตโนมัติและต่อมาได้พัฒนาให้มีความสามารถในการเตือนและการตัดแก๊สอัตโนมัติที่มีจำหน่ายอยู่ในปัจจุบัน (บริษัทเอนเนอเจติก แอนด์อินทีเกรเทด, 2564) สำหรับการพัฒนานวัตกรรมเพื่อการป้องกันการเกิดเพลิงไหม้จากแก๊สรั่วภายในบ้านพักอาศัย พบว่า มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาระบบเตือนภัยและป้องกันแก๊สรั่ว อาทิ 1) การพัฒนาระบบตรวจจับควันและแก๊ส LPG ภายในห้องครัว โดยใช้บอร์ด NodeMCU ESP8266 ใช้เซ็นเซอร์ MQ-2 จำนวน 2 ตัว และมีการแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชัน line notify หลักการทำงาน คือ หากเซ็นเซอร์ MQ-2 ตรวจพบปริมาณควันไฟและแก๊สเกิน 600 ppm ระบบจะทำการส่งข้อความแจ้งเตือนไปยัง line notify ของผู้ใช้งานทันที (เกียรติศักดิ์ กับปิยะ และวริยา เยนเปิง, 2564) 2) การพัฒนาระบบรักษาความปลอดภัยในการใช้แก๊สหุงต้มในครัวเรือน โดยได้ทำการศึกษาในเรื่องของความปลอดภัยของแก๊สหุงต้มในกรณีที่เกิดแก๊สรั่วไหลและได้ทำการ

พัฒนาระบบการพัฒนาแบบรักษาความปลอดภัยในการใช้แก๊สหุงต้มในครัวเรือนโดยใช้ NodeMCU ESP8266, Sensor MQ-6, DHT22, Buzzer, LED สีแดง เทียว โดยระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถตรวจจับการรั่วไหลของแก๊สและความร้อนที่เกิดจากอัคคีภัยได้เมื่อเกิดเหตุแก๊สรั่วไหลหรือความร้อนสูง ระบบจะรับข้อมูลแล้วส่งข้อมูลไปยังสัญญาณเตือนภัย พร้อมทั้งส่งข้อความแจ้งเตือนเข้าแอปพลิเคชันไลน์ให้กับผู้ใช้งาน (วันชัย เจือทรัพย์, วิโรวรรณ แสนชนะ, และคัชรินทร์ ทองฟัก, 2564) 3) การพัฒนาอุปกรณ์ตรวจจับการรั่วไหลของแก๊ส LPG และอุปกรณ์ปิดวาล์วถึงแก๊สอัตโนมัติด้วยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง โดยใช้เซนเซอร์แก๊ส MQ-5 ร่วมกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ NodeMCU ESP8266 V2 เพื่อรับค่าและตรวจสอบความเข้มข้นของแก๊สที่มีค่าเกินกว่าระดับปลอดภัยและให้ส่งการแจ้งเตือนผ่าน Line Notify พร้อมกับระบบปิดวาล์วอัตโนมัติที่ควบคุมด้วย Servo Motor โดยปล่อยแก๊สห่างจากระยะการวัด 5 เซนติเมตร ในระยะเวลา 10 วินาที กำหนดค่าความเข้มข้นที่ไม่เกิน 500 ppm จะให้ทำงานทันที (ทรรศนีย์ หัตถิยา, มุสลิม สะอู, นูรุลฮูดา ยูโซะ, และพิตริยา สาและ, 2568) 4) การพัฒนาระบบระบบตรวจจับการรั่วไหลของแก๊สแบบใช้เซ็นเซอร์ โดยใช้บอร์ด Arduino Uno R3 เซนเซอร์แก๊ส MQ-6, Buzzer, LED และจอ LCD หลักการทำงานคือเมื่อเซนเซอร์ตรวจพบแก๊สรั่วจะส่งข้อมูลเป็นเลข 1 และจอ LCD จะแสดงผลจากการตรวจพบแก๊สรั่ว จากนั้นจะส่งเสียงเตือนรวมถึง LED สีแดงจะติดและเมื่อเซนเซอร์ไม่พบแก๊สรั่วจะส่งข้อมูลเป็นเลข 0 และจอ LCD จะแสดงผลไม่พบแก๊สรั่ว จากนั้นจะแสดง LED สีเขียว (Khan, M. M., 2020) และ 5) การวิเคราะห์ผลการวัดของอุปกรณ์ตรวจจับการรั่วไหลของแก๊ส LPG โดยใช้บอร์ด Arduino Uno R3 เซนเซอร์ตรวจจับแก๊ส MQ-6 และจอ LCD เพื่อตรวจสอบปัจจัยด้านระยะทาง โดยการติดตั้งเซนเซอร์ไว้ด้านล่างถึงแก๊สด้วยความสูง 33 เซนติเมตร จากนั้นจะเปิดแก๊สให้รั่วโดยวัดค่าความเข้มข้นที่ระยะทางที่กำหนดไว้ที่ระยะ 10, 30, 50, 70, 90, 110 เซนติเมตรตามลำดับ ถ้าเซนเซอร์สามารถตรวจจับแก๊สได้ก็แสดงผลปริมาณแก๊สที่ตรวจจับได้ทางหน้าจอ LCD ผลการทดสอบที่ระยะ 10 ถึง 30 เซนติเมตร เซนเซอร์มีความไวในการตรวจจับมากและที่ระยะ 30 ถึง 110 เซนติเมตร มีความสามารถตรวจจับได้เพียง 10 เปอร์เซ็นต์ (Sujiwa, A., & Prasetyo, H. P., 2020)

จากปัญหาและผลการศึกษา คณะผู้วิจัยได้เล็งเห็นความสำคัญของการพัฒนานวัตกรรมเพื่อช่วยป้องกันเหตุที่จะเกิดขึ้นกับผู้ใช้เตาแก๊สในอาคารบ้านพักอาศัยด้วยการใช้นวัตกรรมอัจฉริยะ โดยมีแนวคิดในการพัฒนาต้นแบบรักษาความปลอดภัยของเตาแก๊สสำหรับบ้านพักอาศัยด้วยเทคโนโลยีสมองกลฝังตัว ที่มีความสามารถในการตรวจจับแก๊สในระยะการกระจายตัวที่ได้ทดสอบ รวมถึงการควบคุมให้ปิดแก๊สอัตโนมัติเมื่อมีความเข้มข้นตามที่กำหนดไว้ และมีการแจ้งเตือนผู้ใช้ด้วยไฟและเสียงเมื่อเกิดแก๊สรั่ว รวมถึงความสามารถในการใช้งานแบบกึ่งอัตโนมัติโดยตั้งเวลาในการทำงานและสั่งปิดแก๊สได้อย่างอัตโนมัติตามที่ผู้ใช้กำหนด

โดยมีวัตถุประสงค์ของงานวิจัย ดังนี้

- 1) พัฒนาระบบต้นแบบรักษาความปลอดภัยของเตาแก๊สสำหรับบ้านพักอาศัยด้วยเทคโนโลยีสมองกลฝังตัว
- 2) ประเมินประสิทธิภาพของระบบต้นแบบฯ
- 3) ประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบต้นแบบฯ

วิธีการดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ได้ประยุกต์หลักการวิจัยและพัฒนา (กิตติยา วงษ์ขันธ, 2561) แบ่งเป็น 4 ขั้นตอนดังนี้

1. การศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย

1.1 แก๊สหุงต้ม (Liquefied Petroleum Gas) มีชื่อทางการว่าแก๊สปิโตรเลียมเหลว หรือแก๊ส LPG ที่นิยมใช้ในครัวเรือนซึ่งมีส่วนประกอบของโพรเพน (Propane) และบิวเทน (Butane) มีคุณสมบัติหนักกว่าอากาศ ทำให้เกิดการสะสม และลุกไหม้ได้ง่ายเป็นเชื้อเพลิงที่สะอาด ไม่มีเขม่าและขี้เถ้า ติดไฟง่าย ดับได้รวดเร็ว ให้เปลวไฟความร้อนสูง ไม่มีสีไม่มีกลิ่นแต่ผู้ผลิตนำมาเติมสารให้มีกลิ่นฉุน (Mercaptans) เพื่อตรวจสอบได้ง่าย เมื่อเกิดการรั่วไหลจะลอยต่ำลงสู่พื้นด้านล่าง โดยแก๊สปริมาณ 1 ลิตรจะขยายตัวเป็นไอได้ประมาณ 250 ลิตร (สำนักงาน

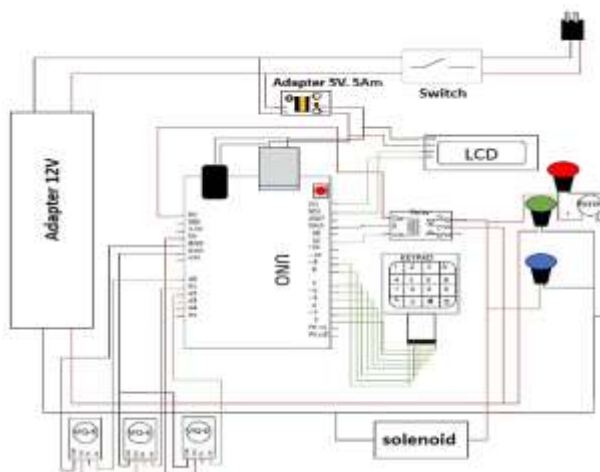
นโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2551) ในการวัดความเข้มข้นของแก๊ส LPG จะวัดที่หน่วยเป็น ppm (Parts Per Million) คือหน่วยที่ใช้บอกปริมาณของสารอย่างหนึ่งที่เจือปนอยู่ในอากาศ เช่น 10,000 ppm จะมีแก๊สปนอยู่ในอากาศ 1% และแก๊สที่รั่วไหลเป็นอันตรายต่อร่างกายมนุษย์ไม่ควรเกิน 1,000 ppm (บริษัท เอนเนอเจทติก แอนด์ อินทีเกรท จำกัด , 2564) และมีความเสี่ยงต่อการติดไฟหรือการระเบิดไม่ควรเกิน 2,000 ppm หรือประมาณ 10%LEL ที่รับรองโดยองค์กรระดับสากล NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health) ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยใช้อุปกรณ์สำหรับวัดแก๊สจะมีหน่วย % LEL หรือ %Vol(Volume) (NIOSH, 1994) แต่จากการศึกษางานวิจัยพบว่าความเข้มข้นที่ระดับตั้งแต่ 200-10,000 ppm อาจก่อให้เกิดการจุดระเบิดได้มากขึ้นแต่ก็ยังนับว่าเป็นช่วงที่ยังต่ำกว่าเกณฑ์การระเบิดตามค่า LEL ของแก๊ส LPG (Sriwati et., 2018) ระยะการตรวจจับแก๊สที่แม่นยำของเซนเซอร์ MQ-6 ได้ดีอยู่ที่ระยะ 18 เซนติเมตร (Noorly Evalina Fatkiyah et al., 2017) จากข้อมูลดังกล่าวและงานวิจัยข้างต้น ผู้วิจัยจึงได้พิจารณาค่าความเข้มข้นของแก๊สที่ระดับ 400 ppm เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและความปลอดภัยให้สูงขึ้น

1.2 เทคโนโลยีที่ใช้ในการพัฒนาระบบต้นแบบรักษาความปลอดภัยของเตาแก๊สสำหรับบ้านพักอาศัยด้วยเทคโนโลยีสมองกลฝังตัว จากการศึกษางานวิจัยพบว่า อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เหมาะสมมีความสามารถในการนำมาพัฒนาระบบต้นแบบฯ ได้เป็นอย่างดี ประกอบด้วย บอร์ดสมองกลฝังตัวที่มีชุดไมโครคอนโทรลเลอร์เซนเซอร์ตรวจจับแก๊ส LPG ชนิด MQ-6 จำนวน 3 ตัว รีเลย์สวิตช์ชนิด 2 ช่องแรงดันไฟฟ้า 5Volt ชุดควบคุมการเปิดปิดวาล์วแก๊สอัตโนมัติหรือโซลินอยด์วาล์ว แป้นพิมพ์สำหรับการตั้งค่าการเปิดหรือปิดการใช้งานโดยผู้ใช้ Keypad 4x4 Matrix จอภาพแสดงข้อมูลแบบ LCD หลอดไฟแจ้งเตือนผลการตรวจจับแก๊ส LED และสัญญาณเตือนด้วยเสียง Buzzer แหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าแรงดัน 5Volt และ 12Volt

2. การออกแบบและพัฒนาระบบ

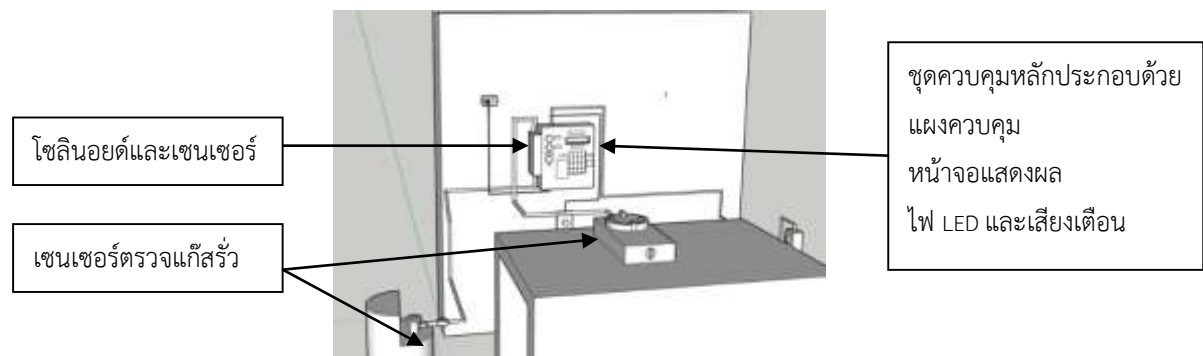
2.1 การออกแบบระบบต้นแบบรักษาความปลอดภัยของเตาแก๊สสำหรับบ้านพักอาศัยด้วยเทคโนโลยีสมองกลฝังตัว แบ่งออกเป็นสามส่วนประกอบสองส่วนหลัก ดังนี้

2.1.1 ระบบฮาร์ดแวร์ (Hardware System) ในการเชื่อมต่อวงจรและอุปกรณ์การทำงานของระบบต้นแบบฯ ดังภาพที่ 1 โดยมีหลักการทำงานโดยรวมดังนี้ เมื่อเสียบปลั๊กเปิดสวิตช์แล้วไฟ LED สีเขียวจะติดและแสดงค่าของเซนเซอร์ทุกตัวออกทางจอภาพ LCD จากนั้นผู้ใช้เลือกการใช้งานแบบเปิดปิดเองหรือตั้งเวลาการทำงานแบบตั้งเวลาอัตโนมัติได้ โดยถ้ากด A ระบบแก๊สเปิดและไฟ LED สีฟ้าจะติด ถ้ากด B จะปิดระบบ แต่ถ้าผู้ใช้เลือกหมายเลข 1-6 จะเป็นการทำงานแบบตั้งเวลาอัตโนมัติ ระบบทั้งหมดจะตรวจสอบแก๊สรั่วด้วยการสั่งปิดโซลินอยด์วาล์วอัตโนมัติ พร้อมเสียงแจ้งเตือนและไฟ LED สีแดง โดยมีขั้นตอนการทำงาน ดังภาพที่ 4-1 และ ภาพที่ 4-2



ภาพที่ 1 วงจรการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ทั้งระบบ

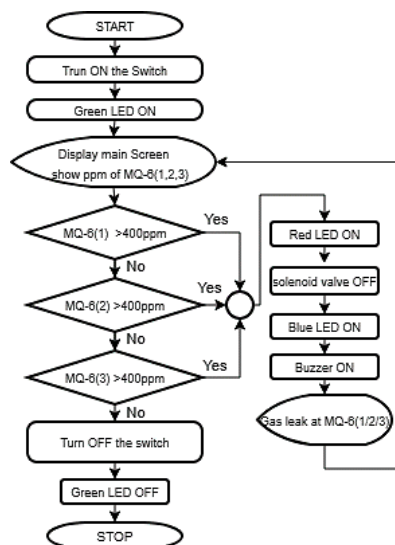
จากนั้นได้ทำการออกแบบโครงสร้างของการจัดวางอุปกรณ์หลักและส่วนเชื่อมต่อของระบบต้นแบบรักษาความปลอดภัยของเตาแก๊สสำหรับบ้านพักอาศัย ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ระบบต้นแบบรักษาความปลอดภัยของเตาแก๊สสำหรับบ้านพักอาศัย

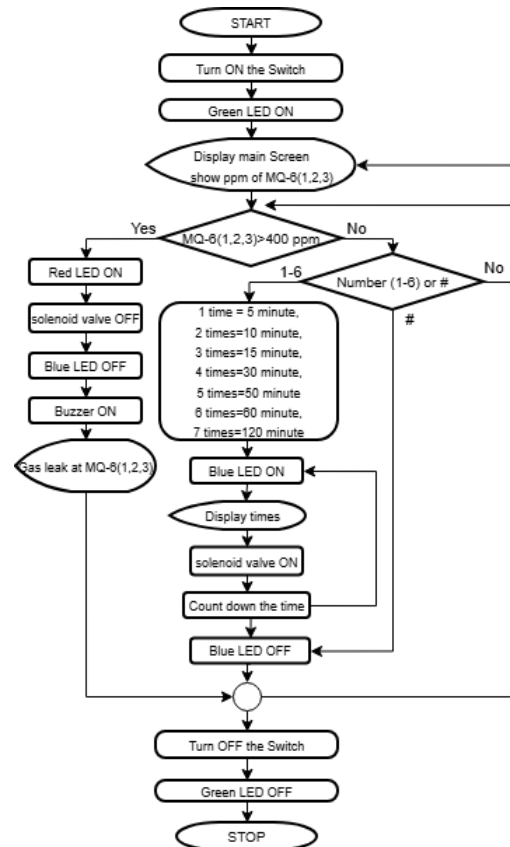
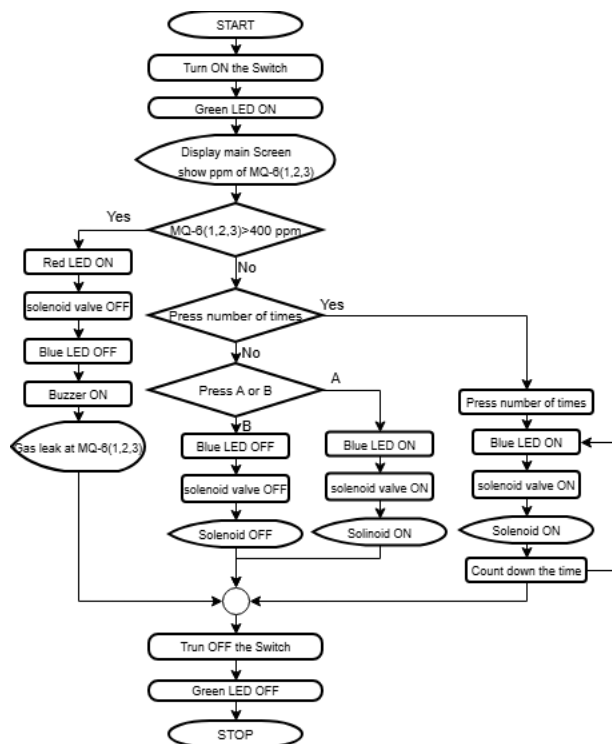
2.1.2 ระบบโปรแกรมควบคุมการทำงาน (Software System) ระบบการสั่งงานของโปรแกรมต่อการใช้งานอุปกรณ์ มีความสามารถในการทำงานได้ 2 รูปแบบ คือ

1) การใช้งานทั่วไป หมายถึง เมื่อตรวจพบแก๊สรั่วเกิน 400 ppm ระบบจะปิดอัตโนมัติ ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ขั้นตอนการทำงานแบบการใช้งานทั่วไป

2) การใช้งานแบบทางเลือก หมายถึง การกดเปิดและปิดโดยผู้ใช้งาน หรือเลือกการตั้งเวลาจากการเลือกฟังก์ชันของเวลาแบบอัตโนมัติ มีหลักการทำงานโดยรวม ดังภาพที่ 4-1 และ ภาพที่ 4-2

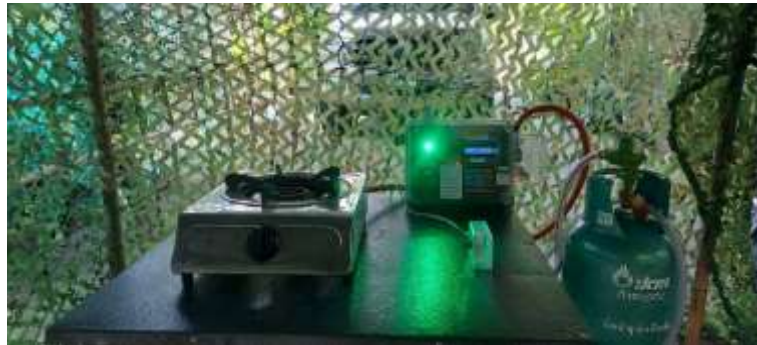


ภาพ 4-1 การทำงานแบบทางเลือกแบบเปิด/ปิด

ภาพ 4-2 การทำงานแบบการตั้งเวลาโดยผู้ใช้

2.2 การพัฒนาระบบต้นแบบรักษาความปลอดภัยของเตาแก๊สสำหรับบ้านพักอาศัยด้วยเทคโนโลยีสมองกลฝังตัว ได้พัฒนาแบบชุดกล่องวงจรที่ทำงานตามขั้นตอนของระบบโปรแกรมการทำงานที่ออกแบบไว้ โดยใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และระบบอัตโนมัติที่สำคัญต่าง ๆ อาทิ บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno R3 เซนเซอร์ตรวจจับแก๊ส MQ-6 แก๊สโซลินอยด์วาล์ว แผงแป้นพิมพ์พิเศษสำหรับป้อนคำสั่ง ดวงไฟสีเขียว สีแดงและสีฟ้า ส่งสัญญาณเสียงเตือนด้วย Buzzer โดยมีจอแสดงผลแบบ LCD ใช้แสดงข้อความแจ้งค่าของแก๊สที่ตรวจจับได้ในแต่ละจุดที่พบแก๊สรั่ว และแสดงการนับเวลาถอยหลังตามที่ผู้ใช้กำหนดเอง และมีฟังก์ชันของเวลาอัตโนมัติที่กำหนดไว้จำนวน 7 ระยะคือ 5, 10, 15, 30, 50, 60, 120 นาที จากนั้นได้นำระบบต้นแบบฯ ที่ได้ไปให้ผู้เชี่ยวชาญซึ่งเป็นอาจารย์ของมหาวิทยาลัยฯ จำนวน 3 ท่าน ประเมินประสิทธิภาพการทำงานและความปลอดภัยของระบบ

3. การทดสอบประสิทธิภาพระบบต้นแบบรักษาความปลอดภัยของเตาแก๊สสำหรับบ้านพักอาศัยด้วยเทคโนโลยีสมองกลฝังตัว ผู้วิจัยได้ทำการตรวจสอบและปรับค่าของเซนเซอร์แก๊ส MQ-6 จำนวน 3 ตัวที่นำมาใช้ในการวิจัยให้มีค่าการตรวจจับความเข้มข้นของแก๊สใกล้เคียงกันมากที่สุดก่อนการนำไปใช้งานจริง จากนั้นจึงนำประกอบเข้ากับระบบตามจุดที่ได้กำหนดไว้ 3 จุด คือ 1) บริเวณขอบเตาแก๊สด้านล่าง 2) ชุดกล่องตรวจจับที่ใกล้กับวาล์วของถังแก๊ส ที่ระยะห่างจากวาล์ว 20 เซนติเมตร 3) ภายในกล่องโซลินอยด์วาล์ว จากนั้นได้ออกแบบห้องปฏิบัติการโดย จำลองห้องทดสอบภายนอกอาคารให้มีลักษณะเป็นระบบกึ่งปิดมีอากาศถ่ายเทได้สะดวกเพื่อความปลอดภัย ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 การทดสอบระบบต้นแบบรักษาความปลอดภัยของเตาแก๊สสำหรับบ้านพักอาศัยด้วยเทคโนโลยีสมองกลฝังตัว

4. การออกแบบวิธีการประเมินผลของระบบต้นแบบฯ

4.1 การออกแบบวิธีการประเมินประสิทธิภาพของระบบต้นแบบฯ ได้กำหนดระดับของการทดสอบ (Level Testing) แบ่งระดับการทดสอบออกเป็น 2 ระดับคือ ทดสอบหน่วยย่อยหรือเรียกว่า Mock Test และการทดสอบระบบจริง โดยประยุกต์หลักการทดสอบประสิทธิภาพระบบแบบพีระมิด (Stephan, 2019) โดยแบ่งเป็นการประเมินสองขั้นตอนคือ การทดสอบแบบหน่วยย่อย (Unit Test) เป็นการทดสอบการทำงานของแต่ละส่วนของระบบว่าทำงานได้อย่างถูกต้องก่อนการนำไปใช้งานจริง และการทดสอบระบบแบบองค์รวม (System Test) เป็นการทดสอบทั้งระบบให้ถูกต้องสัมพันธ์กัน โดยแบ่งออกเป็น 4 ฟังก์ชัน ดังนี้

- 1) ประสิทธิภาพด้านการตรวจจับแก๊สรั่วโดยการวัดการกระจายตัวของแก๊ส
- 2) ประสิทธิภาพด้านความสามารถในการควบคุมการปิดแก๊สโดยอัตโนมัติ
- 3) ประสิทธิภาพด้านการกำหนดเวลาการใช้งานโดยผู้ใช้และเวลาอัตโนมัติ
- 4) ประสิทธิภาพด้านการแจ้งเตือนเมื่อตรวจพบแก๊สรั่ว

4.2 การประเมินผลความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบต้นแบบฯ โดยการสร้างแบบประเมินความพึงพอใจฯ แบบมาตราส่วนประมาณค่าแบบ 5 ระดับโดยหลักการลิเคิร์ท (บุญชม ศรีสะอาด, 2554) จากนั้นนำไปให้ผู้เชี่ยวชาญประเมินความสอดคล้องของข้อคำถาม (IOC) ก่อนการนำไปใช้ประเมินกับกลุ่มตัวอย่าง

ผลการวิจัย

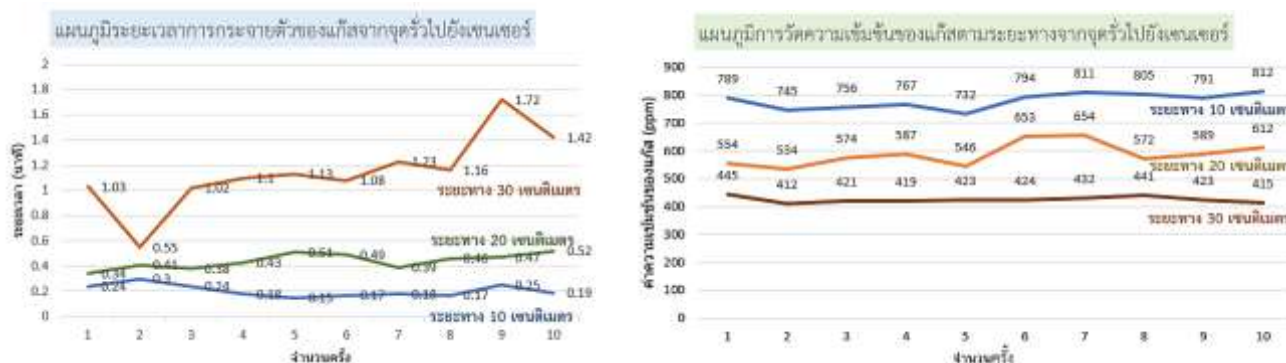
การพัฒนาาระบบต้นแบบรักษาความปลอดภัยของเตาแก๊สสำหรับบ้านพักอาศัยด้วยเทคโนโลยีสมองกลฝังตัวที่ได้ออกแบบข้างต้นได้ผล ดังนี้

1) การพัฒนาาระบบต้นแบบรักษาความปลอดภัยของเตาแก๊สสำหรับบ้านพักอาศัยด้วยเทคโนโลยีสมองกลฝังตัว ปรากฏผล ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 การพัฒนาาระบบต้นแบบรักษาความปลอดภัยของเตาแก๊สสำหรับบ้านพักอาศัยด้วยเทคโนโลยีสมองกลฝังตัว

2) การประเมินประสิทธิภาพของระบบต้นแบบรักษาความปลอดภัยของเตาแก๊สสำหรับบ้านพักอาศัยด้วยเทคโนโลยีสมองกลฝังตัว ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพของการตรวจจับแก๊สที่ระยะทางตามที่ได้ศึกษา งานวิจัย โดยกำหนดที่ระยะทางไว้ที่ 10, 20 และ 30 เซนติเมตร (Sujiwa, A., & Prasetyo, H. P., 2019) และทดลองใช้ค่าความเข้มข้นของแก๊สไม่เกิน 400 ppm เพื่อเพิ่มความปลอดภัยให้สูงขึ้น ปรากฏผลดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ผลการตรวจจับแก๊สรั่วโดยวัดระยะเวลาและความเข้มข้นของแก๊ส ตามระยะทางที่กำหนด

จากภาพที่ 7 แสดงถึงประสิทธิภาพการตรวจจับแก๊สรั่วโดยวัดค่าการกระจายตัวของแก๊สที่ระยะทาง 10, 20 และ 30 เซนติเมตร พบว่า มีความสัมพันธ์กับระยะเวลาและความเข้มข้นของแก๊ส กล่าวคือ ถ้าระยะทางใกล้ ค่าความเข้มข้นของแก๊สที่ตรวจจับได้จะมีค่าสูง โดยมีค่าเฉลี่ย 780.20, 587.50 และ 425.50 ตามลำดับ และมีระยะเวลาที่สั้น โดยมีค่าเฉลี่ย 0.21, 0.44 และ 1.14 นาที ตามลำดับ

การประเมินประสิทธิภาพของระบบต้นแบบฯ ด้านความสามารถในการควบคุมการปิดแก๊สโดยอัตโนมัติ เมื่อตรวจพบแก๊สรั่วในบริเวณตำแหน่งที่กำหนด ปรากฏผลดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการประเมินประสิทธิภาพด้านความสามารถในการควบคุมการปิดแก๊สโดยอัตโนมัติ

ตำแหน่งการตรวจจับแก๊สรั่ว	จำนวน(ครั้ง)	ผลการควบคุมการปิดแก๊ส (ครั้ง)	คิดเป็นร้อยละ
เซนเซอร์ที่โซลินอยด์วาล์ว	10	10	100
เซนเซอร์ที่ถังแก๊ส	10	10	100
เซนเซอร์ที่เตาแก๊ส	10	10	100
ค่าเฉลี่ย	10	10	100

จากตารางที่ 1 แสดงผลการประเมินประสิทธิภาพด้านความสามารถในการควบคุมการปิดแก๊ส โดยอัตโนมัติ พบว่า ระบบต้นแบบฯ สามารถตรวจจับแก๊สรั่วในตำแหน่งที่มีเซนเซอร์ติดตั้ง โดยการทดสอบการวัดค่าของเซนเซอร์ตำแหน่งละ 10 ครั้ง ระบบสามารถปิดโซลินอยด์วาล์วเพื่อหยุดการจ่ายแก๊สได้ คิดเป็นร้อยละ 100

การประเมินประสิทธิภาพ ความสามารถในการทำงานของระบบต้นแบบฯ เมื่อผู้ใช้เลือกการใช้งานแบบเปิดและปิดเองโดยการกดปุ่ม A, B หรือกำหนดเวลาการใช้งานแบบอัตโนมัติตามฟังก์ชันที่กำหนด ปรากฏผลดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ประสิทธิภาพความสามารถในการทำงานของการกำหนดเวลาการใช้งานโดยผู้ใช้ หรือเลือกเวลาอัตโนมัติ

การเปิด/ปิด โดยผู้ใช้	ผลการทำงาน (ครั้งที่)										คิดเป็น ร้อยละ
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
A	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	100
B	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	100
การตั้งเวลา อัตโนมัติ (นาท)	ผลการทำงาน (ครั้งที่)										คิดเป็น ร้อยละ
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
5	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	100
10	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	100
15	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	100
30	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	100
50	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	100
60	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	100
120	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	100

จากตารางที่ 2 แสดงถึงประสิทธิภาพด้านการกำหนดเวลาการใช้งานโดยผู้ใช้และเวลาอัตโนมัติ ที่ได้กำหนดให้ผู้ใช้ตั้งเวลาที่ใกล้เคียงกับเวลาอัตโนมัติโดยได้กำหนดเวลา 5, 10, 20, 50, 100 นาที่ ตามลำดับ พบว่าระบบต้นแบบฯ สามารถทำงานตามเวลาได้ถูกต้องทุกครั้ง คิดเป็นร้อยละ 100 และผลการตั้งเวลาอัตโนมัติจากระบบที่ได้กำหนดให้ที่เวลา 5, 15, 30, 60 นาที่ ตามลำดับ พบว่า ระบบต้นแบบฯ สามารถทำงานตามเวลาได้ถูกต้องทุกครั้ง คิดเป็นร้อยละ 100

การประสิทธิภาพด้านการแจ้งเตือนเมื่อตรวจพบแก๊สรั่วของระบบต้นแบบฯ ปรากฏผลดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 ประสิทธิภาพการตรวจจับค่าความเข้มข้นของแก๊สที่เกิดการรั่วของเซนเซอร์ทั้งสามตำแหน่ง

จากภาพที่ 8 แสดงถึงประสิทธิภาพการแจ้งเตือนเมื่อตรวจพบแก๊สรั่วตรงตำแหน่งที่มีเซนเซอร์ติดตั้งอยู่ ซึ่งระบบต้นแบบฯ สามารถตรวจจับค่าความเข้มข้นของแก๊ส มีแจ้งเตือนด้วยเสียงและสั่งการให้ปิดโซลินอยด์วาล์วที่ตำแหน่งเตาแก๊สด้านล่างคิดเป็นค่าเฉลี่ย 644.20 ppm ที่ตำแหน่งวาล์วถึงแก๊สคิดเป็นค่าเฉลี่ย 459.70 ppm และที่ตำแหน่งโซลินอยด์วาล์วคิดเป็นค่าเฉลี่ย 866.80 ppm ระบบสามารถปิดแก๊สได้อย่างอัตโนมัติและถูกต้อง

3) การประเมินผลความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบต้นแบบรักษาความปลอดภัยของเตาแก๊สสำหรับบ้านพักอาศัยด้วยเทคโนโลยีสมองกลฝังตัว ผู้วิจัยได้ออกแบบประเมินความพึงพอใจและนำไปให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบประเด็นรายการประเมิน (IOC) และนำไปใช้กับกลุ่มตัวอย่างที่ใช้เตาแก๊สในบ้านพักอาศัย ที่ผู้วิจัยได้นำระบบไปติดตั้งทดสอบ โดยเลือกแบบเจาะจงเพื่อความสะดวกในการประสานงาน จำนวน 5 คน ปรากฏผลดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบต้นแบบรักษาความปลอดภัยของเตาแก๊สสำหรับบ้านพักอาศัยด้วยเทคโนโลยีสมองกลฝังตัว

รายการประเมิน	ผลการประเมิน		
	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	แปลผล
1. ระบบง่ายต่อการใช้งาน	4.60	0.55	มากที่สุด
2. ติดตั้งและเคลื่อนย้ายได้สะดวก	4.60	0.55	มากที่สุด
3. ระบบสามารถตั้งเวลาการใช้งานได้ดี	4.60	0.55	มากที่สุด
4. ระบบมีประสิทธิภาพในการแจ้งเตือนแก๊สรั่ว	4.80	0.45	มากที่สุด
5. ระบบความสามารถเปิด-ปิดแก๊ส ได้อย่างถูกต้อง	4.80	0.45	มากที่สุด
6. ระบบสามารถทำงานตามหน้าที่ได้ครบถ้วน	4.40	0.55	มาก
7. ระบบช่วยป้องกันความปลอดภัยได้ดี	4.40	0.55	มาก
8. ระบบโดยรวมสามารถใช้งานได้ดี	4.40	0.55	มาก
ค่าเฉลี่ย	4.57	0.52	มากที่สุด

จากตารางที่ 3 พบว่า การใช้งานระบบต้นแบบฯ มีความพึงพอใจในด้านประสิทธิภาพในการแจ้งเตือนแก๊สรั่ว และความสามารถเปิด-ปิดแก๊ส ได้อย่างถูกต้อง มีค่าเฉลี่ย 4.80 รองลงมาคือง่ายต่อการใช้งาน ติดตั้งและเคลื่อนย้ายได้สะดวก สามารถตั้งเวลาการใช้งานได้ดี มีค่าเฉลี่ย 4.60 ระดับความพึงพอใจในภาพรวม มีค่าเฉลี่ย 4.57 ซึ่งนับได้ว่ามีระดับความพึงพอใจ มากที่สุด

อภิปรายผล

การพัฒนาระบบต้นแบบรักษาความปลอดภัยของเตาแก๊สสำหรับบ้านพักอาศัยด้วยเทคโนโลยีสมองกลฝังตัว อภิปรายตามประเด็นที่สำคัญได้ ดังนี้

การพัฒนาระบบต้นแบบฯ เป็นการบูรณาการอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ระบบอัตโนมัติ และระบบอัจฉริยะเข้าด้วยกัน คือ บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno R3 เซนเซอร์ตรวจจับแก๊ส MQ-6 การใช้อุปกรณ์แจ้งเตือนด้วย Buzzer และ LED การแสดงผลแจ้งเตือนสถานะและค่าความเข้มข้นด้วยและเวลาด้วย LCD มีคุณสมบัติการทำงานที่หลากหลาย เช่น การตรวจจับแก๊สและสั่งให้ปิดแก๊สได้อย่างอัตโนมัติ โดยมีเสียงสัญญาณเตือนและแสดงสถานะการทำงานด้วยสีของหลอดไฟ LED ซึ่งสอดคล้องกับ วันชัย เจือทรัพย์, วิโรวรรณ แสนชนะ, และศุภรินทร์ ทองฟัก (2564) รวมถึงการแจ้งค่าความเข้มข้นของแก๊สที่จอภาพ LCD ซึ่งสอดคล้องกับ Khan, M. M. (2020) นอกจากนั้นการเพิ่มความสามารถในการตั้งเวลาโดยผู้ใช้ และเลือกเวลาการทำงานตามฟังก์ชันอย่างอัตโนมัติ จะช่วยให้ผู้ใช้งานมีความสะดวกมากยิ่งขึ้น

การประเมินประสิทธิภาพของระบบต้นแบบฯ ถึงแม้ว่าการตรวจจับแก๊สด้วย MQ-6 จะมีประสิทธิภาพดีที่สุดที่ระยะ 18 เซนติเมตร ระดับความเข้มข้นของแก๊สตั้งแต่ 200-10,000 ppm อาจก่อให้เกิดการจุดระเบิดได้มากขึ้น (Noorly Evalina Fatkiyah et al., 2017) ในการวิจัยครั้งนี้จึงมีความสนใจในการทดสอบที่ระยะ 10, 20, 30 เซนติเมตร โดยพบว่าค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นที่จับแก๊ส 780.20, 587.50 และ 425.50 ตามลำดับ และมี

ระยะเวลาเฉลี่ย 0.21, 0.44 และ 1.14 นาที ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับ ทรรศนีย์ หัตถิยาและคณะ (2568) ที่ปล่อยแก๊สห่างจากระยะการวัด 5 เซนติเมตร ในระยะเวลา 10 วินาที ที่กำหนดค่าความเข้มข้นที่ไม่เกิน 500 ppm จะให้ทำงานทันที และเกียร์ติคคี้ กับปิยะ และวริยา เียนเปิง (2563) ที่กำหนดไว้ 600 ppm ซึ่งผู้วิจัยจึงได้ทดลองกำหนดค่าความเข้มข้นที่ระดับ 400 ppm ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์อันตรายทั่วไปที่ความเข้มข้น 1000 ppm เพื่อให้ในแง่การป้องกันเชิงรุกเพื่อความปลอดภัยเพิ่มมากขึ้น ในส่วนระยะการติดตั้งเซนเซอร์ จะขึ้นอยู่กับตำแหน่งที่ใช้งาน คือ เตาแก๊สด้านล่าง วาล์วถึงแก๊ส และโซลินอยด์วาล์ว ระยะไม่เกิน 30 เซนติเมตร

อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้มีจุดเด่นโดยการรวมความสามารถที่ได้จากงานวิจัยที่ได้ศึกษา อาทิ ระบบต้นแบบฯ มีการแจ้งเตือนด้วยไฟสี เสียง และมีฟังก์ชันเปิดหรือปิดโดยผู้ใช้ และสามารถตั้งเวลาตามที่ระบบกำหนด อย่างไรก็ตามผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะสำหรับการนำไปพัฒนาเชิงพาณิชย์ 1) ควรปรับปรุงแบบการจัดวางอุปกรณ์ให้มีขนาดที่เล็กลงเพื่อความสะดวกในการติดตั้ง 2) ในการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้เพียงพอต่อการใช้งานของอุปกรณ์ทุกชนิดโดยเฉพาะ เซนเซอร์ MQ-6 ใช้แรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์ และแก๊สโซลินอยด์วาล์ว ใช้แรงดันไฟฟ้า 12 โวลต์ ซึ่งควรแยกแหล่งจ่ายออกจากกันเพื่อความปลอดภัยมากที่สุด 3) การใช้สายไฟและสายสัญญาณที่มีความไวของการจ่ายกระแสไฟฟ้าได้ดีที่สุด 4) ควรเลือกใช้แผงแป้นอักษร (Keyboard) แทนแผงแป้นพิเศษ (Keypad) เพื่อง่ายต่อการกด 5) ควรพัฒนาต่อยอดให้สามารถใช้กับเตาแก๊สได้หลากหลายประเภท

สรุปผล

การพัฒนาระบบต้นแบบรักษาความปลอดภัยของเตาแก๊สสำหรับบ้านพักอาศัยด้วยเทคโนโลยีสมองกลฝังตัวที่ใช้อุปกรณ์ขนาดเล็กราคาประหยัด มีสามารถทำงานได้อย่างอัตโนมัติและมีระบบอัจฉริยะที่สามารถตัดสินใจในการตรวจจับค่าความเข้มข้นของแก๊ส และการสั่งการปิดวาล์วแก๊สด้วยโซลินอยด์วาล์วมีความปลอดภัยสูง เหมาะสมกับการนำไปประยุกต์ใช้งานกับเตาแก๊สสำหรับบ้านพักอาศัยได้ดี มีประสิทธิภาพในการตรวจจับแก๊สรั่วโดยการวัดการกระจายตัวของแก๊ส ที่ระยะ 10, 20, 30 เซนติเมตร มีความสามารถในการควบคุมการปิดแก๊สโดยอัตโนมัติ ทุกครั้งที่พบแก๊สรั่วไหล สามารถการกำหนดเวลาการใช้งานโดยผู้ใช้และเวลาอัตโนมัติได้อย่างถูกต้อง สามารถด้านการแจ้งเตือนด้วยไฟและเสียงเมื่อตรวจพบแก๊สรั่ว ในด้านการนำไปใช้งานกับผู้ใช้พบว่าผู้ใช้งานระบบต้นแบบฯ มีระดับความพึงพอใจในระดับ มากที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ย 4.57 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.52

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณรองศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา ปัญญา คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภูมินทร์ ตันอุตม์ และนายกฤษณะ จันทร์ ที่ให้ความกรุณาช่วยกลั่นกรองบทความวิจัยและโปรแกรมวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ที่ให้การสนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย. (2565). *รายงานสถิติอุบัติเหตุจากอัคคีภัยในครัวเรือน*. กรุงเทพมหานคร: กระทรวงมหาดไทย.

กระทรวงพลังงาน. (2566). *สถานการณ์พลังงาน*. แหล่งข้อมูล:

<https://epo.go.th/index.php/th/component/k2/item/20153-news-281266-01>.

ค้นเมื่อ 28 พฤศจิกายน 2566.

- กิตติยา วงษ์ชัน. (2561). รูปแบบการวิจัยและพัฒนา (R&D) และรูปแบบการวิจัยเชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วม (PAR). แหล่งข้อมูล: https://www.ubu.ac.th/web/files_up/08f2018072012262188.pdf. ค้นเมื่อ 27 พฤศจิกายน 2566.
- เกียรติศักดิ์ กับปิยะ และวริยา เย็นเปิง. (2564). “สร้างสรรค์งานวิจัยบนฐานของนวัตกรรมสู่การยกระดับเศรษฐกิจฐานราก”. การประชุมวิชาการระดับชาติครั้งที่ 9. มหาวิทยาลัยราชภัฏจอมบึง.
- พรรศนีย์ หัตถิยา, มุสลิม สะอู, นุรุลฮูตา ยูโซะ, และฟิตรียา สาและ. (2568). การพัฒนาอุปกรณ์ตรวจจับการรั่วไหลของแก๊ส LPG และอุปกรณ์ปิดวาล์วถึงแก๊สอัตโนมัติด้วยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง. วารสารวิชาการ *Journal of Information Science and Technology*. Jul-Dec 2025. 15(2), 101-106.
- ไทยรัฐออนไลน์. (2568). แก๊สระเบิดในหมู่บ้าน จ.ปทุมธานี. แหล่งข้อมูล: <https://www.thairath.co.th/news/local/2888410>. ค้นเมื่อ 19 พฤศจิกายน 2568.
- บริษัท เอนเนอเจติก แอนด์อินทีเกรทจำกัด, (2564). จุดกำเนิด เครื่องตรวจจับสัญญาณจับแก๊สอัตโนมัติ (Gas Detector). แหล่งข้อมูล: <https://enerai.co.th/จุดกำเนิด-เครื่องตรวจจับสัญญาณ>. ค้นเมื่อ 28 พฤศจิกายน 2566.
- บุญชม ศรีสะอาด. (2554). *หลักการวิจัยเบื้องต้น*. พิมพ์ครั้งที่ 9. กรุงเทพฯ: สุวีริยาสาส์น.
- วันชัย เจือทรัพย์, วิโรวรรณ แสนชนะ, และคัชรินทร์ ทองฟัก. (2564). การพัฒนาระบบรักษาความปลอดภัยในการใช้ก๊าซหุงต้มในครัวเรือน. วารสารวิชาการ “การจัดการเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม”. ปีที่ 8 ฉบับที่ 1 มกราคม-มิถุนายน 2564.
- สำนักงานนโยบายและแผนพลังงานกระทรวงพลังงาน. (2551). *ก๊าซ LPG เชื้อเพลิงสำหรับการหุงต้ม*. แหล่งข้อมูล: https://www.eppo.go.th/images/Information_service/Publication/Knowledge/LPG%20energy.pdf. ค้นเมื่อ 28 พฤศจิกายน 2566.
- Khan, M. M. (2020). Sensor-based gas leakage detector system. *Engineering Proceedings*, 2(1), Article 74. <https://doi.org/10.3390/ecsa-7-08168>
- NIOSH. (1994). L.P.G. - IDLH. Centers for Disease Control and Prevention. Available: <https://www.cdc.gov/niosh/idlh/68476857.html>. Accessed Nov.28, 2023.
- Noorly Evalina Fatkiyah et al. (2017). The Use of MQ6 and Microcontroller of ATmega2360 as a Leaks Detection Device of Liquid Petroleum Gas (LPG). Budapest. *International Research in Exact Sciences*. 2(1): 389-393
- Sherwin Johanne D. Galceran Fatkiyah et al. (2023). Development and Comparison of Arduino Based MQ-2 and MQ-6 LPG Leak Sensors. *American Journal of Sensor Technology*. 7(1): 1-9.
- Sriwati, S., Ilahi, N. I., Musrawati, M., Baco, S., Suyuti, A., Achmad, A., & Umrianah, E. (2018). *Early leakage protection system of LPG (Liquefied Petroleum Gas) based on ATmega16 microcontroller*. Available: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/336/1/012021> Accessed Nov.28, 2023.
- Stephan, F. (2019). *Testing Pyramid*. Available: <https://www.kaizenko.com/what-is-the-testing-pyramid/> Accessed Nov.28, 2023.
- Sujiwa, A., & Prasetyo, H. P. (2020). Measurements analysis of MQ-6 LPG gas leak detection devices for distance factors. *Journal of Applied Electrical & Science Technology*, 2(1), 6-8. <https://doi.org/10.36456/jaest.v2i1.2694>