



รายงานการวิจัย

ถังดับเพลิงอัตโนมัติ

Automatic Fire Extinguishing

คณะผู้วิจัย

- | | |
|--|--------------|
| 1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชูศักดิ์ กมลขันติธร | ผู้วิจัยหลัก |
| 2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์เอกพล อนุสุเรนทร์ | ผู้วิจัยร่วม |
| 3. รองศาสตราจารย์ชัยณรงค์ วิเศษศักดิ์วิชัย | ผู้วิจัยร่วม |

โครงการวิจัยทุนสนับสนุนงานวิจัยของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

งบประมาณเงินรายได้ พ.ศ. 2562

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้สำเร็จได้ด้วยความอนุเคราะห์ทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ประจำปีงบประมาณ 2562 ผู้เขียนขอขอบพระคุณผู้ร่วมวิจัยทุกท่าน และขอขอบพระคุณบิดา มารดา และภรรยาของข้าพเจ้าที่เป็นกำลังใจแก่ผู้เขียนเสมอมา อันเป็นแนวทางไปสู่ความสำเร็จของผู้เขียน

คณะผู้จัดทำ



หัวข้องานวิจัย	ถังดับเพลิงอัตโนมัติ
ผู้เขียน	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชูศักดิ์ กมลขันติธร ผู้ช่วยศาสตราจารย์เอกพล อนุสุเรนทร์ รองศาสตราจารย์ชัยณรงค์ วิเศษศักดิ์วิชัย
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและโทรคมนาคม
คณะ	วิศวกรรมศาสตร์
พ.ศ	2562

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้จึงนำเสนอถังดับเพลิงอัตโนมัติ สำหรับพื้นที่ปิดที่เสี่ยงต่อการเกิดเพลิงไหม้ได้ง่าย อาทิเช่น ภายในบ้านเรือนหรือที่อยู่อาศัย เช่น ห้องพระ ห้องครัว ห้องนั่งเล่น เป็นต้น ภายในสำนักงานหรือโรงงานอุตสาหกรรม เช่น ห้องทำงาน ห้องจัดเก็บเอกสาร และบริเวณที่มีเชื้อเพลิงหรือวัสดุติดไฟง่าย เป็นต้น โดยถังดับเพลิงอัตโนมัติจะประกอบด้วยส่วนสำคัญ 4 ส่วน คือ 1) ส่วนตรวจจับโดยเซ็นเซอร์คาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon Dioxide Sensor) และเซ็นเซอร์ก๊าซออกซิเจน (Oxygen Sensor) ในส่วนนี้จะตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และออกซิเจนซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดการลุกไหม้ 2) ส่วนการควบคุมเพลิงไหม้ ในส่วนนี้จะเป็ถังดับเพลิงชนิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์พร้อมกลไกการควบคุม ตามมาตรฐาน NFPA 10 ของสหรัฐอเมริกา 3) ส่วนประมวลผล เป็นส่วนการวิเคราะห์และการตัดสินใจสั่งการให้ส่วนการควบคุมเพลิงไหม้ทำงาน โดยอาศัยข้อมูลจากส่วนตรวจจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และตรวจจับก๊าซออกซิเจน สำหรับการวินิจฉัยว่าเหตุการณ์ลุกไหม้นั้น ๆ จะลุกลามเป็นเหตุเพลิงไหม้หรือไม่ 4) ส่วนการสื่อสารผ่านแอปพลิเคชันในระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ของสมาร์ทโฟน ในส่วนนี้จะเป็นการสื่อสารถึงผู้ควบคุมดูแลเมื่อเกิดเหตุการณ์เพลิงไหม้ขึ้น และสามารถสั่งการส่วนการควบคุมเพลิงไหม้ได้

คำสำคัญ เซ็นเซอร์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เซ็นเซอร์ก๊าซออกซิเจน ถังดับเพลิงชนิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

Title Automatic Fire Extinguishing
Author Assist. Prof. Choosak Kamonkhantithorn
Assist. Prof. Ekkapol Anusurain
Assoc. Prof. Chainarong Wisassakwichai
Department Electrical and Telecommunication Engineering
Faculty Engineering
B.E. 2019

Abstract

This research therefore offers automatic fire extinguishers. For closed areas Which is at risk of fire easily For example, inside a house or residence, such as a shrine room, kitchen, living room, etc. within an office or industrial plant, such as a working room, document storage room And areas with fuel or flammable materials, etc. The automatic fire extinguishers consist of 4 important parts: 1) Carbon Dioxide Sensor and Oxygen Sensor. This section will detect the change of carbon dioxide and oxygen levels which causes burning. 2) Fire control, this section is a carbon dioxide fire extinguisher with control system according to the NFPA 10 standards of the United States of America. 3) The processing section is the analysis and decision making process for the fire control work based on data from the carbon dioxide gas and oxygen gas detector. For the diagnosis that the fire event will spread as a fire or not. 4) The communication through applications in the android operating system of smartphones. This section will communicate to the supervisor when a fire occurs and can command the fire control afterward.

Keywords carbon dioxide sensor, oxygen sensor, carbon dioxide fire extinguisher

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตปริญญานิพนธ์	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 การทบทวนวรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 การทบทวนวรรณกรรม	3
2.2 ทฤษฎีการเกิดไฟ	12
2.3 ถังดับเพลิง	14
2.4 โมดูลเซ็นเซอร์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	17
2.5 โมดูลเซ็นเซอร์ก๊าซออกซิเจน	18
2.6 ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP8266	18
2.7 ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์	20
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	26
3.1 แผนการดำเนินงาน	26
3.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน และการออกแบบ	29

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	70
4.1 ผลการวิจัย	70
4.2 การอภิปรายผล	89
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	90
5.1 สรุปผลการวิจัย	90
5.2 ข้อเสนอแนะ	91
เอกสารอ้างอิง	92
ประวัตินักวิจัย	93



สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ผลการทดสอบขั้นตอนวิธีการตรวจจับเปลวไฟ	10
3.1	แผนการดำเนินงาน	28
3.2	ผลการทดลองกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของกระดาษ จำนวน 15 แผ่น	34
3.3	ผลการทดลองกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของกระดาษ จำนวน 30 แผ่น	36
3.4	ผลการทดลองกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของกระดาษ จำนวน 45 แผ่น	38
3.5	ผลการทดลองกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของไม้ จำนวน 30 ชิ้น	40
3.6	ผลการทดลองกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของไม้ จำนวน 60 ชิ้น	42
3.7	ผลการทดลองกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของไม้ จำนวน 90 ชิ้น	44
3.8	ผลการทดลองกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของผ้า จำนวน 30 กรัม	46
3.9	ผลการทดลองกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของผ้า จำนวน 60 กรัม	48
3.10	ผลการทดลองกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของผ้า จำนวน 90 กรัม	50
3.11	ผลการทดลองกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของพลาสติก จำนวน 30 กรัม	52
3.12	ผลการทดลองกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของพลาสติก จำนวน 60 กรัม	54
3.13	ผลการทดลองกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของพลาสติก จำนวน 90 กรัม	56
4.1	หัวข้อการทดลอง ชนิดวัสดุ และปริมาณ สำหรับการทดลองกรณีการเกิด อัคคีภัยจากการลุกไหม้ของกระดาษ ไม้ ผ้า และพลาสติก	71
4.2	ผลการทดลองกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของกระดาษ จำนวน 15 แผ่น	71
4.3	ผลการทดลองกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของกระดาษ จำนวน 30 แผ่น	73
4.4	ผลการทดลองกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของกระดาษ จำนวน 45 แผ่น	74

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.5	ผลการทดลองกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของไม้ จำนวน 30 ชั้น	76
4.6	ผลการทดลองกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของไม้ จำนวน 60 ชั้น	77
4.7	ผลการทดลองกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของไม้ จำนวน 90 ชั้น	79
4.8	ผลการทดลองกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของผ้า จำนวน 30 กรัม	80
4.9	ผลการทดลองกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของผ้า จำนวน 60 กรัม	82
4.10	ผลการทดลองกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของผ้า จำนวน 90 กรัม	83
4.11	ผลการทดลองกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของพลาสติก จำนวน 30 กรัม	85
4.12	ผลการทดลองกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของพลาสติก จำนวน 60 กรัม	86
4.13	ผลการทดลองกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของพลาสติก จำนวน 90 กรัม	88



สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	เครื่องตรวจจับควันบุหรี่	3
2.2	แผนผังของระบบตรวจจับควันบุหรี่	4
2.3	การติดตั้งของระบบตรวจจับควันบุหรี่	4
2.4	ระบบแจ้งเตือนทำงาน	5
2.5	ระบบรักษาความปลอดภัยในบ้านด้วยแอนดรอยด์	6
2.6	แผนผังการทำงานของระบบรักษาความปลอดภัยในบ้านด้วยแอนดรอยด์	6
2.7	การทำงานของระบบดับเพลิงโดยใช้รีโมทคอนโทรลผ่านเว็บเบราว์เซอร์	7
2.8	การทำงานของระบบตรวจจับควันและเพลิงไหม้ผ่านเครือข่ายไร้สาย	8
2.9	แผนผังการทำงานของระบบ	8
2.10	โครงสร้างระบบการเตือนเพลิงไหม้	9
2.11	ความส่องสว่างแปรผันตามพื้นที่เปลวไฟ	9
2.12	ความส่องสว่างแปรผันตามพื้นที่ ๆ เป็นหิน	10
2.13	ภาพทดสอบที่ 1	11
2.14	ภาพทดสอบที่ 3	11
2.15	ภาพทดสอบที่ 4	11
2.16	ภาพทดสอบที่ 7	11
2.17	ภาพทดสอบที่ 9	11
2.18	โครงสร้างสามเหลี่ยมของไฟ	12
2.19	ช่วงการลุกไหม้ของเชื้อเพลิง	14
2.20	ถังดับเพลิงชนิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	16
2.21	โมดูลเซ็นเซอร์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	17
2.22	ตำแหน่งขาของโมดูลเซ็นเซอร์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	17
2.23	โมดูลเซ็นเซอร์ก๊าซออกซิเจน	18
2.24	ลักษณะไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP8266	18
2.25	ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์เวอร์ชันต่าง ๆ	20
2.26	โครงสร้างระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์	21
2.27	โครงสร้างชั้นแอปพลิเคชัน	22
2.28	โครงสร้างชั้นแอปพลิเคชันเฟรมเวิร์ค (Application Framework)	22

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
2.29	โครงสร้างชั้นไลบรารี	23
2.30	โครงสร้างชั้นคอร์เนลของลินุกซ์	24
3.1	แผนภูมิสายงานขั้นตอนการดำเนินงาน	26
3.2	แบบห้องที่ออกแบบและสร้าง พร้อมตำแหน่งติดตั้งชุดตรวจจับ	29
3.3	วงจรตรวจจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซออกซิเจน	30
3.4	การประกอบวงจรตรวจจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซออกซิเจนลงบนบอร์ด	30
3.5	ค่าคาร์บอนไดออกไซด์ และออกซิเจนจากการทดสอบ	31
3.6	การวัดเปรียบเทียบระหว่างวงจรตรวจจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซออกซิเจนที่ออกแบบกับเครื่องมือวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ Thermo-Hygro CO2 meter และเครื่องมือวัดออกซิเจน Personal Safety Oxygen Monitor SAO2	31
3.7	การวัดเปรียบเทียบระหว่างวงจรตรวจจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับเครื่องมือวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ Thermo-Hygro CO2 meter	32
3.8	การวัดเปรียบเทียบระหว่างวงจรตรวจจับก๊าซออกซิเจนที่ออกแบบกับเครื่องมือวัดก๊าซออกซิเจน Personal Safety Oxygen Monitor SAO2	32
3.9	โครงสร้างการทำงานระบบแจ้งเตือนและควบคุมการเกิดอัคคีภัยผ่านสมาร์ตโฟน	58
3.10	วงจรตรวจจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซออกซิเจน	59
3.11	แผนภูมิสายงานของระบบแจ้งเตือนและควบคุมการเกิดอัคคีภัยผ่านสมาร์ตโฟน	60
3.12	แพลตฟอร์ม NETPIE	61
3.13	NETPIE Freeboard	62
3.14	หน้าจอของโปรแกรม Thunkable	62
3.15	หน้าจอการลากและวางส่วนประกอบต่าง ๆ ของโปรแกรม Thunkable	63
3.16	หน้าจอบล็อกคำสั่งของโปรแกรม Thunkable	64
3.17	แผนภูมิสายงานแอปพลิเคชันในระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ สำหรับการแจ้งเตือน และควบคุมการเกิดอัคคีภัยผ่านสมาร์ตโฟน	65
3.18	หน้าจอของแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์มือถือ	66

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
3.19	การประกาศตัวแปรที่จะใช้ในโปรแกรม	66
3.20	การตั้งค่าเริ่มต้นให้แก่ส่วนควบคุมต่าง ๆ ในโปรแกรม	67
3.21	ส่วนรับข้อมูลจาก NETPIE เพื่อนำมาแสดงบนหน้าจอโทรศัพท์ในรูปแบบของกราฟและตัวเลขพร้อมตัดสั่นใจเมื่อก๊าซออกเจนมีค่าต่ำและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าสูง และขึ้นข้อความแจ้งเตือนพร้อมทั้งรูปภาพบนหน้าจอโทรศัพท์	68
3.22	ส่วนแสดงข้อผิดพลาดถ้าแอปพลิเคชันติดต่อกับ NETPIE ผ่านอินเทอร์เน็ตไม่ได้	69
4.1	การแจ้งเตือนกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของกระดาษ จำนวน 15 แผ่น	72
4.2	การแจ้งเตือนกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของกระดาษ จำนวน 30 แผ่น	74
4.3	การแจ้งเตือนกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของกระดาษ จำนวน 45 แผ่น	75
4.4	การแจ้งเตือนกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของไม้ จำนวน 30 ชิ้น	77
4.5	การแจ้งเตือนกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของไม้ จำนวน 60 ชิ้น	78
4.6	การแจ้งเตือนกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของไม้ จำนวน 90 ชิ้น	80
4.7	การแจ้งเตือนกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของผ้า จำนวน 30 กรัม	81
4.8	การแจ้งเตือนกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของผ้า จำนวน 60 กรัม	83
4.9	การแจ้งเตือนกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของผ้า จำนวน 90 กรัม	84
4.10	การแจ้งเตือนกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของพลาสติก จำนวน 30 กรัม	86
4.11	การแจ้งเตือนกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของพลาสติก จำนวน 60 กรัม	87
4.12	การแจ้งเตือนกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของพลาสติก จำนวน 90 กรัม	89

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

LEL	อัตราส่วนอย่างต่ำที่ทำให้เชื้อเพลิงกับอากาศสามารถจุดติดเป็นเปลวไฟได้
IM	อัตราส่วนพอเหมาะที่ทำให้เชื้อเพลิงและอากาศเกิดจุดติดอย่างรวดเร็วและให้อุณหภูมิสูงสุด
UEL	อัตราส่วนที่มีสารที่เป็นเชื้อเพลิงมากเกินไปทำให้จุดติดไม่สมบูรณ์
ppm	หนึ่งในล้านส่วน



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

การป้องกันอัคคีภัยเบื้องต้นสำหรับประชาชนโดยทั่วไปก็คือ การใช้ถังดับเพลิง (Fire Extinguisher) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ดับเพลิงแบบเคลื่อนที่ ประกอบด้วยถังแรงดันซึ่งบรรจุน้ำ หรือสารเคมีดับไฟอื่น ๆ พร้อมมือจับ, ไก่เปิดและปิด, สลักนิรภัย, และสายฉีด ออกแบบไว้สำหรับการดับเพลิงไหม้ที่ยังไม่ลุกลาม ตัวถังดับเพลิงมักจะเป็นสีแดงเพื่อให้มองเห็นได้ง่าย และติดตั้งไว้เป็นระยะห่าง ๆ กันภายในอาคาร ซึ่งเมื่อเกิดเหตุเพลิงไหม้ ผู้ใช้สามารถหิ้วถังจากจุดติดตั้งมาในบริเวณที่เกิดเหตุ ดึงสลักนิรภัยออก จับสายฉีดให้ปลายหันเข้าหาเปลวไฟ และเมื่อทำการบีบไก่น้ำหรือสารเคมีที่อยู่ภายในถังก็จะพุ่งตรงไปยังบริเวณที่เกิดเพลิงไหม้ และดับไฟลงได้ในที่สุด ทั้งนี้ประสิทธิภาพการดับไฟที่เกิดจากเชื้อเพลิงแต่ละชนิดจะแตกต่างกันไป ขึ้นกับชนิดของสารดับเพลิงซึ่งบรรจุอยู่ในถัง แต่จุดอ่อนของถังดับเพลิงประเภทนี้คือ “ขณะที่เกิดเหตุเพลิงไหม้จะต้องมีผู้ที่เห็นเหตุการณ์เพลิงไหม้นั้น จึงจะสามารถนำถังดับเพลิงที่ติดตั้งอยู่ภายในบริเวณนั้น มาทำการดับเพลิงในเบื้องต้นได้ เพื่อมิให้เพลิงลุกลามต่อไปจนเกินควบคุม แต่หากขณะเกิดเหตุเพลิงไหม้ขึ้น และมีได้มีผู้พบเห็นเหตุการณ์เพลิงไหม้นั้น ก็ไม่สามารถนำถังดับเพลิงที่ติดตั้งอยู่ในบริเวณนั้นมาทำการดับเพลิงเบื้องต้นได้ เพลิงไหม้ดังกล่าวก็จะลุกลามเกินควบคุม”

ดังนั้นโครงการวิจัยนี้จึงนำเสนอถังดับเพลิงอัตโนมัติ สำหรับพื้นที่ปิด ที่เสี่ยงต่อการเกิดเพลิงไหม้ได้ง่าย อาทิเช่น ภายในบ้านเรือนหรือที่อยู่อาศัย เช่น ห้องพระ ห้องครัว ห้องนั่งเล่น เป็นต้น ภายในสำนักงานหรือโรงงานอุตสาหกรรม เช่น ห้องทำงาน ห้องจัดเก็บเอกสาร และบริเวณที่มีเชื้อเพลิงหรือวัสดุติดไฟง่าย เป็นต้น โดยถังดับเพลิงอัตโนมัติจะประกอบด้วยส่วนสำคัญ 4 ส่วน คือ 1) ส่วนตรวจจับ โดยเซ็นเซอร์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon Dioxide Sensor) และเซ็นเซอร์ก๊าซออกซิเจน (Oxygen Sensor) ในส่วนนี้จะตรวจจับ การเปลี่ยนแปลงของระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และออกซิเจนซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดการลุกไหม้ 2) ส่วนการควบคุมเพลิงไหม้ ในส่วนนี้จะเป็นถังดับเพลิงชนิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์พร้อมกลไกการควบคุม ตามมาตรฐาน NFPA 10 ของสหรัฐอเมริกา 3) ส่วนประมวลผล เป็นส่วนการวิเคราะห์และการตัดสินใจสั่งการให้ส่วนการควบคุมเพลิงไหม้ทำงาน โดยอาศัยข้อมูลจากส่วนตรวจจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และตรวจจับก๊าซออกซิเจน สำหรับการวินิจฉัยว่าเหตุการณ์ลุกไหม้นั้น ๆ จะลุกลามเป็นเหตุเพลิงไหม้หรือไม่ 4) ส่วนการสื่อสารผ่านแอปพลิเคชันในระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ของสมาร์ทโฟน ในส่วนนี้จะเป็นการสื่อสารถึงผู้ควบคุมดูแลเมื่อเกิดเหตุการณ์เพลิงไหม้ขึ้น และสามารถสั่งการส่วนการควบคุมเพลิงไหม้ได้

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 ออกแบบขั้นตอนวิธี (Algorithm) ประเมินเหตุอัคคีภัย
- 1.2.2 ออกแบบและพัฒนาแอปพลิเคชันในระบบแอนดรอยด์สำหรับการแจ้งเตือนการเกิดอัคคีภัย และการควบคุมอัคคีภัยผ่านสมาร์ทโฟน
- 1.2.3 ออกแบบและจัดสร้างถึงดับเพลิงอัตโนมัติ

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1.3.1 ออกแบบและจัดสร้างถึงดับเพลิงอัตโนมัติ ที่ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 4 ส่วน คือ 1) ส่วนตรวจจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และตรวจจับก๊าซออกซิเจน 2) ส่วนการควบคุมเพลิงไหม้ จะเป็นถึงดับเพลิงชนิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์พร้อมกลไกการควบคุม 3) ส่วนประเมินเหตุอัคคีภัย เพื่อตัดสินใจสั่งการให้ส่วนการควบคุมเพลิงไหม้ทำงาน โดยอาศัยข้อมูลจากส่วนตรวจจับก๊าซ 4) ส่วนการสื่อสารผ่านแอปพลิเคชัน ในระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ของสมาร์ทโฟน

1.3.2 ออกแบบขั้นตอนวิธีการวิเคราะห์และการตัดสินใจเหตุอัคคีภัย

1.3.3 ออกแบบและพัฒนาแอปพลิเคชันในระบบแอนดรอยด์สำหรับการแจ้งเตือนการเกิดอัคคีภัย และการควบคุมอัคคีภัย

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ได้ต้นแบบถึงดับเพลิงอัตโนมัติ
- 1.4.2 นำเสนอผลงานในลักษณะของบทความวิจัย
- 1.4.3 เผยแพร่องค์ความรู้จากงานวิจัยให้นักวิจัยหรือบุคคลที่สนใจนำไปประยุกต์ใช้ต่อไป
- 1.4.4 หน่วยงานรัฐหรือเอกชนสามารถนำองค์ความรู้จากงานวิจัยไปสร้างใช้งานได้

บทที่ 2

การทบทวนวรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาเกี่ยวกับการออกแบบ และจัดสร้างถังดับเพลิงอัตโนมัติ จำเป็นต้องศึกษาหลักการ และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องดังนี้

2.1 การทบทวนวรรณกรรม

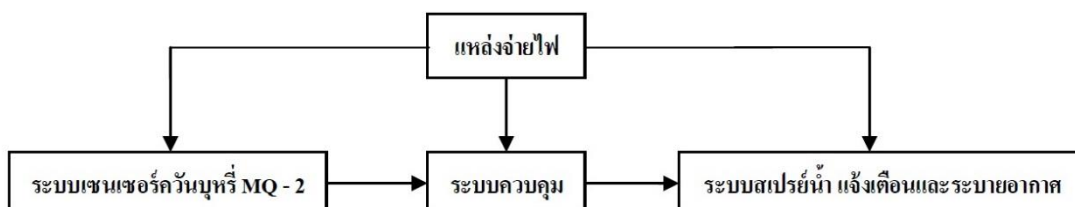
จากความสำคัญ และที่มาของปัญหาดังกล่าว ถังดับเพลิงอัตโนมัติ จึงมีความวิสัย หลากหลายได้นำเสนอวิธีการต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ ดังนี้

2.1.1 ปริญญาณิพนธ์ “เครื่องตรวจจับควันบุหรี่” โดย ภาณุพงศ์ แนวนัน, ศิริชัย มีศรี และ ชุตัญญ์ กมลขันติธร [1] ได้ศึกษาและออกแบบระบบตรวจจับควันบุหรี่ สาเหตุจากยังมีบุคคลบางกลุ่ม ซึ่งยังฝ่าฝืนสูบบุหรี่ในที่ห้ามสูบ ปริญญาณิพนธ์นี้จึงได้ออกแบบสร้างเครื่องตรวจจับควันบุหรี่ในพื้นที่ ห้ามสูบโดยใช้โมดูลเซ็นเซอร์ก๊าซ MQ-2 เป็นตัวตรวจจับควันแล้วแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้าส่งมาที่ขา อินพุตของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เพื่อทำการประมวลผล จากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์จะ สั่งงานผ่านเอาต์พุตไปยังหลอดไฟแจ้งเตือนและพัดลมดูดอากาศ เพื่อเป็นการแจ้งเตือนผู้ที่สูบบุหรี่ใน ที่ที่ห้ามสูบและระบายควันบุหรี่ออกจากพื้นที่นั้นด้วยซึ่งจะช่วยป้องกันการสูบบุหรี่ในที่ที่ห้ามสูบอีก ทางนอกเหนือจากป้ายห้ามสูบบุหรี่ แสดงดังภาพที่ 2.1



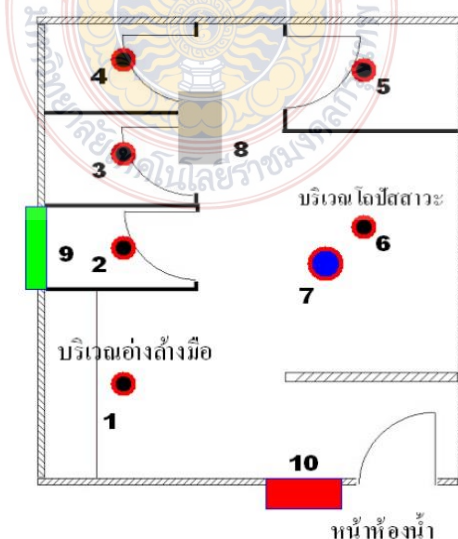
ภาพที่ 2.1 เครื่องตรวจจับควันบุหรี่ [1]

การออกแบบระบบตรวจจับควันบุหรี่ แสดงดังภาพที่ 2.2 ซึ่งประกอบด้วย แหล่งจ่ายไฟ โมดูลเซ็นเซอร์ก๊าซ MQ-2 ระบบควบคุม ระบบสเปรย์น้ำ แฉงเตอนและระบายอากาศ

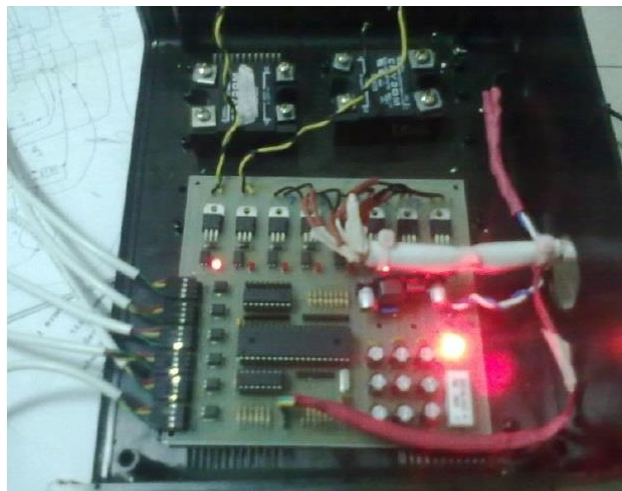


ภาพที่ 2.2 แผนผังของระบบตรวจจับควันบุหรี่ [1]

การติดตั้งระบบตรวจจับควันบุหรี่ จะติดตั้งที่ห้องน้ำชายชั้น 5 ณ อาคาร 48 ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ โดยห้องน้ำมีขนาด $4.2 \times 5.6 \times 2.5$ เมตร ตำแหน่งการติดตั้งและส่วนประกอบต่าง ๆ ของระบบตรวจจับควันบุหรี่ได้ แสดงดังภาพที่ 2.3 หมายเลข 1-6 คือ โมดูลเซ็นเซอร์ก๊าซ MQ-2 จำนวน 6 ชุด ติดตั้งเหนือฝ้า หมายเลข 7 คือ สปริงเกอร์ ติดตั้งเหนือฝ้า หมายเลข 8 คือ ระบบควบคุม ติดตั้งเหนือฝ้า หมายเลข 9 คือ พัดลมระบายอากาศโดยติดตั้งบริเวณหน้าต่าง หมายเลข 10 คือ ไซเรนแฉงเตอนและไฟแฉงสถานะ ติดตั้งด้านหน้าของห้องน้ำ แสดงดังภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 การติดตั้งของระบบตรวจจับควันบุหรี่ [1]



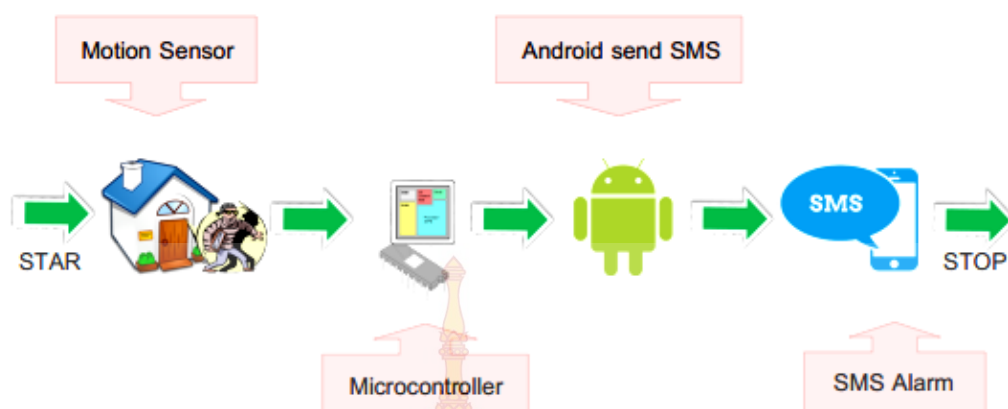
ภาพที่ 2.4 ระบบแจ้งเตือนทำงาน [1]

การทดสอบระบบตรวจจับควันบุหรี่ โดยการจ่ายไฟให้กับระบบตรวจจับควันบุหรี่แล้ววัดแรงดันเซ็นเซอร์หรือแรงดันที่ตกคร่อมความต้านทานปรับค่าได้ สังเกตแรงดันที่วัดได้ ถ้าในสภาวะปกติแรงดันเซ็นเซอร์จะไม่สูงกว่า 0.6 โวลต์ หรือต่ำกว่านี้มากเกินไป ส่วนการทดสอบระบบแจ้งเตือน จะทำการปล่อยควันบุหรี่ให้กับเซ็นเซอร์แล้วสังเกตหลอดแอลอีดีของระบบควบคุมว่าเปล่งแสงหรือไม่ ถ้าแอลอีดีเปล่งแสงแสดงว่าระบบแจ้งเตือนทำงาน แสดงดังภาพที่ 2.4

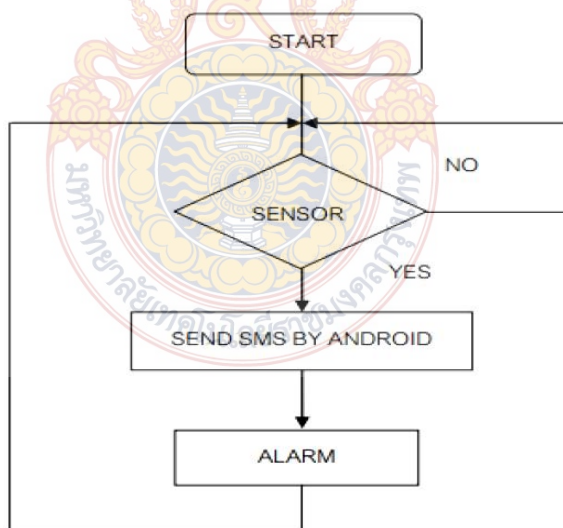
จากผลการทดลองสรุปได้ว่า ระยะห่างระหว่างโมดูลเซ็นเซอร์ก๊าซ MQ-2 กับบุหรี่ มีผลต่อการทำงานของเซ็นเซอร์เป็นอย่างมาก ยิ่งระยะห่างที่มากการตรวจจับควันบุหรี่จะยิ่งทำได้ยาก เพราะควันบุหรี่จะแพร่กระจายเมื่อเวลาผ่านไป ความหนาแน่นของควันบุหรี่จะลดลง และด้วยระยะห่างเซ็นเซอร์กับบุหรี่ที่มากขึ้น ทำให้ควันบุหรี่ต้องใช้เวลามากขึ้นในการเคลื่อนที่สู่เซ็นเซอร์ แรงดันเซ็นเซอร์จึงไม่สามารถเพิ่มขึ้นได้ถึงระดับแรงดันเริ่มเปลี่ยน ระบบแจ้งเตือนจึงไม่ทำงาน ส่วนการปรับความไวเซ็นเซอร์ก็มีผลต่อการตรวจจับควันบุหรี่เช่นกัน เพราะการปรับแรงดันปกติให้ใกล้กับแรงดันเริ่มเปลี่ยน จะทำให้แรงดันทำงานขึ้นไปถึงระดับแรงดันเริ่มเปลี่ยนได้ง่าย แต่ที่ระดับความไวเซ็นเซอร์ต่ำ ๆ เซ็นเซอร์ไม่อาจตรวจจับควันบุหรี่ได้เลยเพราะต้องใช้ความหนาแน่นของควันบุหรี่มาก แรงดันเซ็นเซอร์จึงขึ้นไปไม่ถึงระดับแรงดันเริ่มเปลี่ยน ระบบตรวจจับควันบุหรี่สามารถตรวจจับควันได้ทุกตำแหน่งของห้องน้ำ แต่ระยะเวลาในการตรวจจับจะแตกต่างกันไปตามระยะห่างระหว่างเซ็นเซอร์กับควันบุหรี่

2.1.2 ปริญญานิพนธ์ “ระบบรักษาความปลอดภัยในบ้านด้วยแอนดรอยด์” โดย สุกาญจน์ รูโธสง, และอภิสิทธิ์ ภูถนนวนอก [2] นำเสนอการออกแบบและสร้างระบบรักษาความปลอดภัยที่รองรับการใช้งานด้วยระบบแอนดรอยด์ระบบทำงานโดยอาศัยเซ็นเซอร์ตรวจจับความเคลื่อนไหว เมื่อมีผู้บุกรุกเข้า

มาและตรวจจับความเคลื่อนไหวได้เซ็นเซอร์จะส่งสัญญาณไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์จากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งสัญญาณผ่านทาง Wireless เป็นข้อความแจ้งเตือนแบบเอสเอ็มเอสไปยังโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบแอนดรอยด์ของเจ้าของบ้านเพื่อเป็นการช่วยป้องกันปัญหาการโจรกรรมและช่วยเตือนภัยจากโจรผู้ร้ายแม้ในกรณีที่ไม่มีคนอยู่บ้าน แสดงดังภาพที่ 2.5 และภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.5 ระบบรักษาความปลอดภัยในบ้านด้วยแอนดรอยด์ [2]

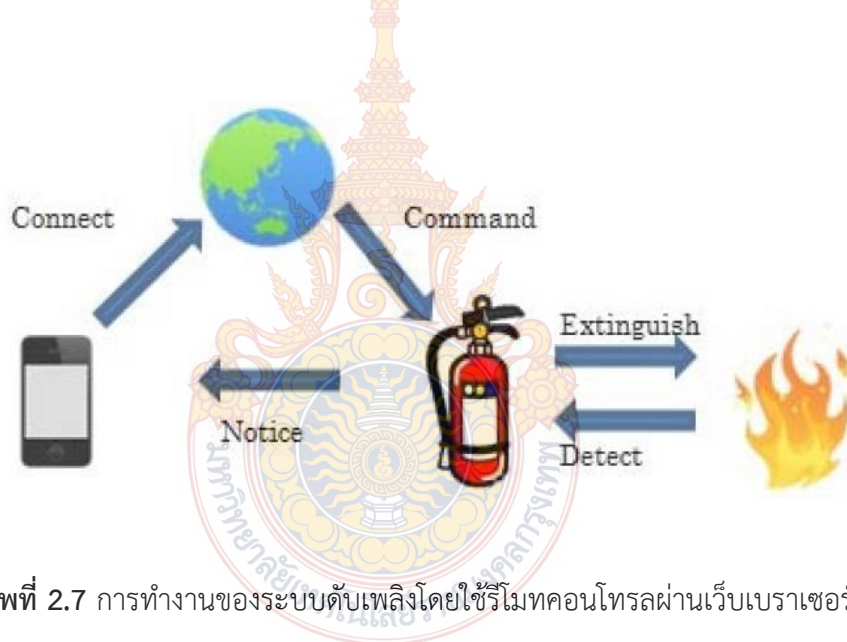


ภาพที่ 2.6 แผนผังการทำงานของระบบรักษาความปลอดภัยในบ้านด้วยแอนดรอยด์ [2]

จากผลการทดลองระบบรักษาความปลอดภัยในบ้านด้วยแอนดรอยด์สามารถใช้งานได้จริงในที่อยู่อาศัยโดยการนำเอาทฤษฎีและหลักการของเซ็นเซอร์และไมโครคอนโทรลเลอร์มา

ประยุกต์ใช้เพื่อการออกแบบและสร้างระบบรักษาความปลอดภัยในบ้านแต่ก็ยังมีความท้าทายที่เมื่อได้รับสัญญาณผ่านระบบแอนตรอยด์บนโทรศัพท์เคลื่อนที่ หากอยู่ในระยะที่ไกลจากตัวบ้านมาก ๆ จะไม่สามารถแก้ไขปัญหาการลักขโมยจากผู้บุกรุกได้ทันทั่วทั้งที่ และโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มีระบบแอนตรอยด์มักมีราคาค่อนข้างสูง

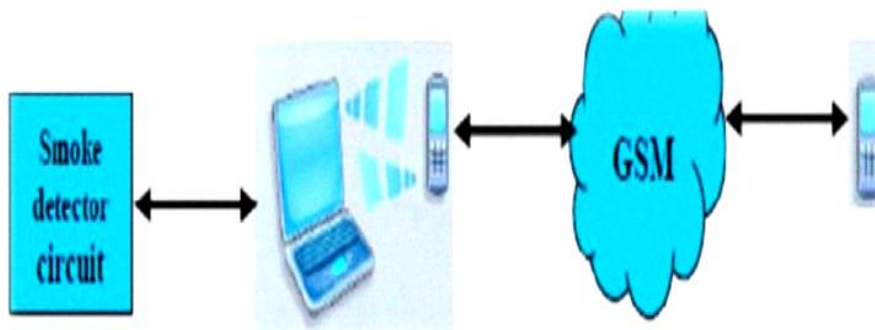
2.1.3 งานวิจัย “Improvement of Full Automatic Fire Extinguish System for Residential Use” โดย Ryo Takeuchi, Kouki Yamaguchi, and Hayato Takahashi [3] นำเสนอการปรับปรุงระบบดับเพลิงเพื่อตรวจจับการเกิดไฟไหม้ ระบบนี้สามารถทำการดับเพลิงได้โดยอัตโนมัติในบ้านที่ติดตั้งเครื่องดับเพลิง คุณสมบัติของระบบสามารถใช้เครื่องดับเพลิงได้โดยใช้รีโมทคอนโทรลผ่านทางเว็บเบราว์เซอร์นอกจากนี้การประมวลผลภาพของกล้องอินฟราเรดจะใช้ OpenCV เป็นผลให้ตรวจจับไฟโดยอัตโนมัติและส่งการแจ้งเตือนไปยังผู้ใช้ในการศึกษานี้ยังได้ปรับปรุงระบบเพื่อให้สามารถตรวจจับการดับเพลิงได้หลายประเภท แสดงดังภาพที่ 2.7



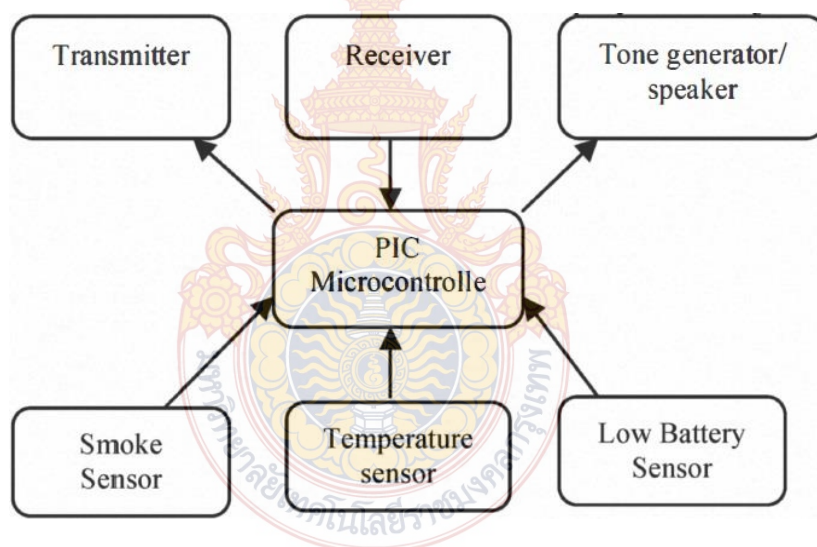
ภาพที่ 2.7 การทำงานของระบบดับเพลิงโดยใช้รีโมทคอนโทรลผ่านทางเว็บเบราว์เซอร์ [3]

2.1.4 งานวิจัย “Wireless security control system & sensor network for smoke & fire detection” โดย Molla Shahadat, Hossain Lipu, and Tahia Fahrin Karim [4] นำเสนอการออกแบบระบบตรวจจับควันแบบไร้สายและเครือข่าย เครือข่ายไร้สายสำหรับการแจ้งเตือนและการปิดเครื่องตรวจจับควันไฟทั้งหมดในเครือข่าย หากปิดเครื่องตรวจจับควันหนึ่งเครื่อง โมดูลฮาร์ดแวร์ประกอบด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC เซ็นเซอร์อุณหภูมิ เซ็นเซอร์ควันไฟ เซ็นเซอร์แบตเตอรี่ต่ำ เครื่องส่งสัญญาณและตัวรับสัญญาณ ส่วนประกอบของซอฟต์แวร์ประกอบด้วยโปรแกรมและรหัสที่ใช้ทำงานผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC เครื่องตรวจจับควันสามารถทำงานได้อย่าง

ถูกต้องและเป็นไปตามที่ได้มีการวางแผนและออกแบบไว้อย่างสมบูรณ์ แสดงดังภาพที่ 2.8 และภาพที่ 2.9 ตามลำดับ

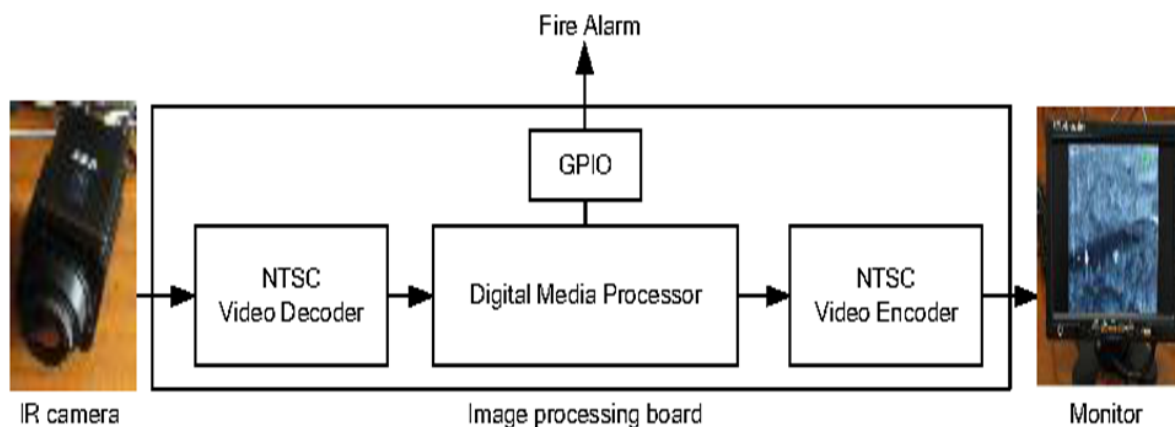


ภาพที่ 2.8 การทำงานของระบบตรวจจับควันและเพลิงไหม้ผ่านเครือข่ายไร้สาย [4]



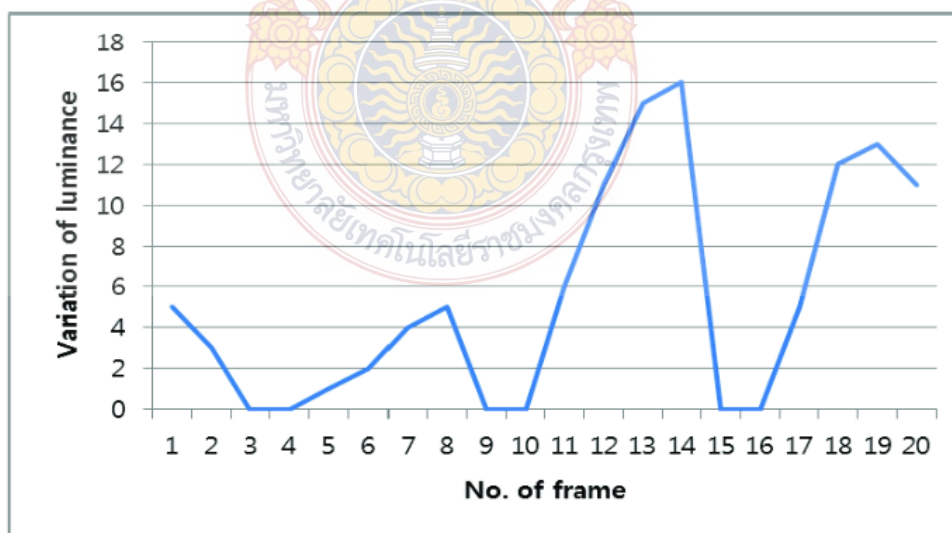
ภาพที่ 2.9 แผนผังการทำงานของระบบ [4]

2.1.4 งานวิจัย “A Fire Alarm Vision System Based on IR Image Processing” โดย Won-Ho Kim, Seung-Kyeom Kim, Jong-Ho Lee and Chang-Ho Hyun [5] นำเสนอระบบการเตือนเพลิงไหม้ โดยอาศัยขั้นตอนวิธี (Algorithm) การตรวจจับเปลวไฟจากภาพอินฟราเรดดังภาพที่ 2.10

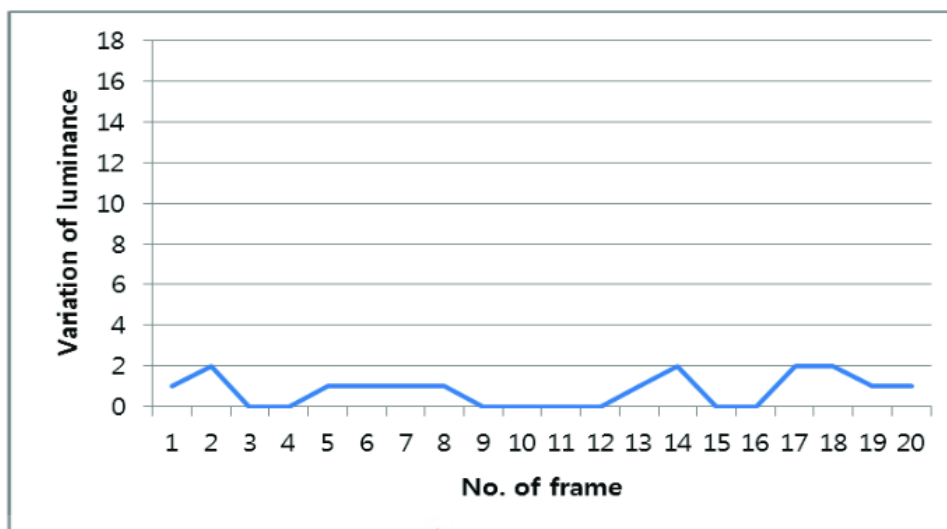


ภาพที่ 2.10 โครงสร้างระบบการเตือนเพลิงไหม้ [5]

ขั้นตอนวิธีการตรวจจับเปลวไฟจะวัดค่าความส่องสว่างของบล็อกเปลวไฟของภาพอินฟราเรด และจะกำหนดการเกิดเปลวไฟตามปริมาณการเปลี่ยนแปลงของความส่องสว่าง ดังภาพที่ 2.11 ความส่องสว่างแปรผันตามพื้นที่เปลวไฟ หากพื้นที่เปลวไฟมากความส่องสว่างก็จะมาก ในทางตรงกันข้ามหากพื้นที่เปลวไฟน้อยค่าความส่องสว่างก็จะน้อย และภาพที่ 2.12 แสดงความส่องสว่างที่เกิดขึ้นที่พื้นผิวที่เป็นหิน ซึ่งมีใช้เปลวไฟ ดังนั้นค่าความส่องสว่างก็จะมีค่าน้อย



ภาพที่ 2.11 ความส่องสว่างแปรผันตามพื้นที่เปลวไฟ [5]



ภาพที่ 2.12 ความส่องสว่างแปรผันตามพื้นที่ ๆ เป็นหิน [5]

ตารางที่ 2.1 ผลการทดสอบขั้นตอนวิธีการตรวจจับเปลวไฟ [5]

No.	Flame detection	Remarks
Test image 1	O	Fire included
Test image 2	O	Fire included
Test image 3	O	Fire included
Test image 4	O	Non- Fire included
Test image 5	X	Non- Fire included
Test image 6	O	Fire included
Test image 7	X	Fire included
Test image 8	O	Fire included
Test image 9	O	Non- Fire included
Test image 10	O	Fire included

ผลจากการทดสอบแสดงดังตารางที่ 2.1 จากภาพที่ 2.13 ภาพทดสอบที่ 1 มีช่องไฟอยู่ทางด้านซ้ายของภาพ ระบบสามารถตรวจจับได้เปลวไฟได้อย่างถูกต้อง จากภาพที่ 2.14 ภาพทดสอบที่ 3 มีพื้นที่ไฟและเปลวไฟ ระบบสามารถตรวจจับได้เปลวไฟได้อย่างถูกต้อง จากภาพที่ 2.15 ภาพทดสอบที่ 4 ไม่ใช่บริเวณที่เกิดเพลิงไหม้ ระบบสามารถตรวจจับได้เปลวไฟได้อย่างถูกต้อง จากภาพที่ 2.16 ภาพทดสอบที่ 7 เป็นบริเวณที่เกิดเพลิงไหม้ แต่ไม่ปรากฏสัญญาณเตือน เนื่องจากความผันผวนของเปลวไฟมีน้อยมากและอยู่ห่างไกล จากภาพที่ 2.17 ภาพทดสอบที่ 9 ไม่ใช่บริเวณที่เกิดเพลิงไหม้ แต่มีสัญญาณเตือน สาเหตุจากอุณหภูมิของเครื่องยนต์ที่สูง และการเคลื่อนที่ของรถชุด ซึ่งจากการทดสอบ

ระบบการเตือนเพลิงไหม้ โดยอาศัยขั้นตอนวิธีการตรวจจับเปลวไฟจากภาพอินฟราเรดมีความถูกต้องอยู่ที่ 85.7 เปอร์เซ็นต์



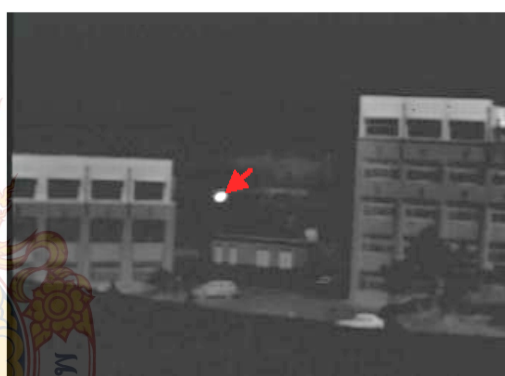
ภาพที่ 2.13 ภาพทดสอบที่ 1



ภาพที่ 2.14 ภาพทดสอบที่ 3



ภาพที่ 2.15 ภาพทดสอบที่ 4



ภาพที่ 2.16 ภาพทดสอบที่ 7



ภาพที่ 2.17 ภาพทดสอบที่ 9

2.2 ทฤษฎีการเกิดไฟ [6]

การสันดาปหรือการเผาไหม้ (Combustion) คือ ปฏิกิริยาทางเคมีซึ่งเชื้อเพลิงได้รวมตัวกับออกซิเจนจากอากาศและปล่อยพลังงานความร้อนและแสงสว่าง

สามเหลี่ยมของไฟ (Fire Triangle) ต้องมีองค์ประกอบ 4 อย่างเพื่อทำให้เกิดไฟขึ้นคือ

1) เชื้อเพลิง (Fuel) คือ วัตถุใด ๆ ก็ตามที่สามารถทำปฏิกิริยากับออกซิเจนได้อย่างรวดเร็วในการเผาไหม้ เช่น ก๊าซ ไม้ กระดาษ น้ำมัน โลหะ พลาสติก เป็นต้น เชื้อเพลิงที่อยู่ในสถานะก๊าซจะสามารถลุกไหม้ไฟได้ แต่เชื้อเพลิงที่อยู่ในสถานะของแข็งและของเหลวจะไม่สามารถลุกไหม้ไฟได้ ถ้าโมเลกุลที่ผิวของเชื้อเพลิงไม่อยู่ในสภาพที่เป็นก๊าซ การที่โมเลกุลของของแข็งหรือของเหลวนั้นจะสามารถแปรสภาพ กลายเป็นก๊าซได้นั้นจะต้องอาศัยความร้อนที่แตกต่างกันตามชนิดของเชื้อเพลิงแต่ละชนิด

2) ออกซิเจน (Oxygen) อากาศที่อยู่รอบ ๆ ตัวนั้นมีก๊าซออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ ประมาณ 21 เปอร์เซ็นต์ แต่การเผาไหม้แต่ละครั้งนั้นจะต้องการออกซิเจนประมาณ 16 เปอร์เซ็นต์ เท่านั้น ดังนั้นจะเห็นว่าเชื้อเพลิงทุกชนิดที่อยู่ในบรรยากาศรอบ ๆ ตัวนั้นจะถูกล้อมรอบด้วยออกซิเจน ซึ่งมีปริมาณเพียงพอสำหรับการเผาไหม้ยิ่งถ้าปริมาณออกซิเจนยิ่งมากเชื้อเพลิงก็ยิ่งติดไฟได้ดีขึ้น และเชื้อเพลิงบางประเภทจะมีออกซิเจนในตัวเองอย่างเพียงพอที่จะทำให้ตัวเองไหม้ได้โดยไม่ต้องใช้ออกซิเจนที่อยู่โดยรอบเลย

3) ความร้อน (Heat) คือ พลังงานที่ทำให้เชื้อเพลิงแต่ละชนิดเกิดการคายไ้ออกมา



ภาพที่ 2.18 โครงสร้างสามเหลี่ยมของไฟ [6]

4) ปฏิกิริยาลูกโซ่ (Chain Reaction) หรือการเผาไหม้อย่างต่อเนื่อง คือ กระบวนการเผาไหม้ที่เริ่มตั้งแต่เชื้อเพลิงได้รับความร้อนจนติดไฟเมื่อเกิดไฟขึ้น หมายถึง การเกิดปฏิกิริยา กล่าวคือ อะตอมจะถูกเหวี่ยงออกจากโมเลกุลของเชื้อเพลิง กลายเป็นอนุมูลอิสระ และอนุมูลอิสระเหล่านี้จะกลับไปอยู่ที่ฐานของไฟอย่างรวดเร็วทำให้เกิดเปลวไฟ แสดงดังภาพที่ 2.18 แหล่งกำเนิดอัคคีภัยเป็นสาเหตุของการจุดติดไฟมีสาเหตุและแหล่งกำเนิดแตกต่างกันไปดังต่อไปนี้

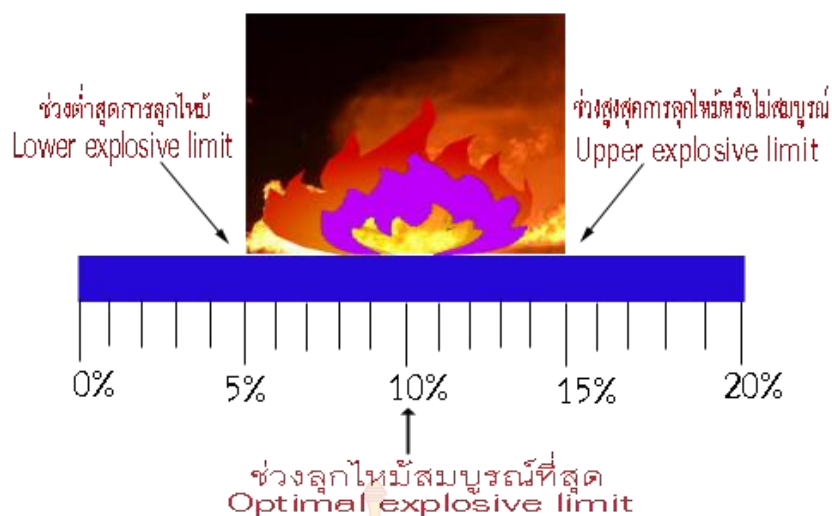
- 1) อุปกรณ์ไฟฟ้า
- 2) การสูบบุหรี่หรือการจุดไฟ
- 3) ความเสียหายขององค์ประกอบเครื่องจักร เครื่องยนต์
- 4) เครื่องทำความร้อน
- 5) วัตถุที่มีผิวร้อนจัด เช่น เหล็กที่ถูกเผา ท่อไอน้ำ
- 6) เต้าเผาซึ่งไม่มีฝาปิดหรือเปลวไฟที่ไม่มีสิ่งปกคลุม
- 7) การเชื่อมและตัดโลหะ
- 8) การลุกไหม้ด้วยตัวเอง เกิดจากการสะสมของสารบางชนิด เช่น พวกละอองแห้ง ถ่านหินจะก่อให้เกิดความร้อนขึ้นในตัวของมันเอง จนกระทั่งถึงจุดติดไฟ
- 9) เกิดจากการวางเพลิง
- 10) ประกายไฟที่เกิดจากเครื่องจักรขัดข้อง
- 11) โลหะหรือวัตถุหลอมเหลว
- 12) ไฟฟ้าสถิต
- 13) ปฏิกิริยาของสารเคมีบางชนิด เช่น โซเดียม โพแทสเซียม ฟอสฟอรัส เมื่อสัมผัสกับน้ำ อากาศ หรือวัสดุอื่น ๆ ทำให้เกิดการลุกไหม้ได้
- 14) สภาพบรรยากาศที่มีสิ่งปนเปื้อนก่อให้เกิดการระเบิดได้
- 15) จากสาเหตุอื่น ๆ

ช่วงการลุกไหม้ของเชื้อเพลิง (Flammable Range)

LEL (Lower Explosive Limit) คือ อัตราส่วนอย่างต่ำที่ทำให้เชื้อเพลิงกับอากาศสามารถจุดติดเป็นเปลวไฟได้

IM (Ideal Mixture) คือ อัตราส่วนพอเหมาะที่ทำให้เชื้อเพลิงและอากาศเกิดจุดติดอย่างรวดเร็ว และให้อุณหภูมิสูงสุด

UEL (Upper Explosive Limit) คือ อัตราส่วนที่มีสารที่เป็นเชื้อเพลิงมากเกินไปทำให้จุดติดไม่สมบูรณ์ แสดงดังภาพที่ 2.19



ภาพที่ 2.19 ช่วงการลุกไหม้ของเชื้อเพลิง [6]

การเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์เกิดขึ้นเนื่องจากปริมาณของออกซิเจนลดน้อยลงซึ่งสามารถสังเกตเห็นได้จากสีของเปลวไฟที่เปลี่ยนไป เมื่อมีออกซิเจนในปริมาณที่เหมาะสมเปลวไฟจะมีสีเหลืองสว่าง เมื่อออกซิเจนลดน้อยลงสีของเปลวไฟจะเริ่มเปลี่ยนเป็นสีเหลืองส้ม ส้มแก่ และเป็นสีแดง เมื่อมีปริมาณออกซิเจนต่ำมากไฟจะเริ่มดับด้วยตนเองได้เนื่องจากขาดออกซิเจน การพัฒนาของไฟ การเผาไหม้ทำให้เกิดก๊าซและควันไฟ ซึ่งแบ่งเป็น 4 ช่วง คือ

- 1) ช่วงลุกไหม้ (Ignition) เป็นช่วงของการเริ่มลุกไหม้ที่จุดต้นเพลิง
- 2) ช่วงขยายตัว (Growth) เป็นช่วงไฟเริ่มลุกไหม้มากขึ้น มีการลุกลามด้วยวิธีการต่าง ๆ
- 3) ช่วงลุกไหม้เต็มที่ (Fully Developed) เป็นช่วงการลุกไหม้อย่างเต็มที่ที่มีขนาดใหญ่เต็มพื้นที่ของการเกิดเพลิงไหม้
- 4) ช่วงไฟมอด (Decay) เป็นช่วงที่ไฟเริ่มขาดปัจจัยในการลุกไหม้ ตามองค์ประกอบของไฟ คือเชื้อเพลิง ความร้อน ออกซิเจน ทำให้ไฟมอดและดับลงในที่สุด

2.3 ถังดับเพลิง [7]

ถังดับเพลิง (Fire Extinguisher) เป็นอุปกรณ์ดับเพลิงแบบเคลื่อนที่ ซึ่งจะประกอบไปด้วยถังแรงดันซึ่งบรรจุน้ำหรือสารเคมีดับไฟอื่น ๆ พร้อมมือจับ ไก่เปิด/ปิด สลักนิรภัย และสายฉีด ออกแบบไว้สำหรับการดับเพลิงไหม้ที่ยังไม่ลุกลามตัว ถังดับเพลิงจะเป็นสีแดงเพื่อให้มองเห็นได้ง่ายและติดตั้งไว้เป็นระยะห่าง ๆ กันภายในอาคารซึ่งเมื่อเกิดเหตุเพลิงไหม้ ผู้ใช้สามารถหิ้วถังจากจุดติดตั้งมาในบริเวณที่เกิดเหตุ ดึงสลักนิรภัยออก จับสายฉีดให้ปลายหันเข้าหาเปลวไฟ และเมื่อทำการบีบไก่น้ำ

หรือสารเคมีที่อยู่ภายในถังก็จะพุ่งตรงไปยังบริเวณที่ไฟไหม้และดับไฟลงในที่สุดทั้งนี้ประสิทธิภาพการดับไฟที่เกิดจากเชื้อเพลิงแต่ละชนิดจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของสารดับเพลิงซึ่งบรรจุอยู่ในถังชนิดของถังดับเพลิงจะจัดแบ่งไว้ตามประเภทของเชื้อเพลิงซึ่งถังนั้นดับได้ โดยจะระบุไว้อย่างชัดเจนบนฉลากข้างถัง ซึ่งในประเทศไทยจะการใช้การแบ่งประเภทตามมาตรฐาน NFPA 10 ของสหรัฐอเมริกา ดังนี้

ประเภท A เป็นสัญลักษณ์รูปตัว A ในสามเหลี่ยมสีเขียว สามารถดับไฟที่เกิดจากของแข็ง เช่น ฟืน ยาง ไม้ ผ้า กระดาษ พลาสติก หนังสือตัว ปอเน่น ด้าย และ เชื้อประทุ วิธีการดับเพลิงที่ดีที่สุดสำหรับเพลิงประเภทนี้คือ การลดความร้อนโดยใช้น้ำฉีด

ประเภท B เป็นสัญลักษณ์รูปตัว B ในสี่เหลี่ยมสีแดง สามารถดับไฟที่เกิดจากของเหลว และ แก๊ส เช่น น้ำมันทุกชนิด สารโซเว้น แก๊ส ทินเนอร์ แอลกอฮอล์ ยางมะตอย จาระบี และ ก๊าซติดไฟทุกชนิด

ประเภท C เป็นสัญลักษณ์รูปตัว C ในวงกลมสีฟ้า สามารถดับไฟที่เกิดจากเชื้อเพลิงที่มีลักษณะเป็นของแข็ง หรือมีกระแสไฟฟ้าไหลอยู่ เช่น อุปกรณ์ไฟฟ้าทุกชนิด

ประเภท D เป็นสัญลักษณ์รูปตัว D ในรูปดาว 5 แฉก สามารถดับไฟที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาของโลหะ

ประเภท K เป็นสัญลักษณ์รูปตัว K ในรูปหกเหลี่ยมสีดำ สามารถดับไฟที่เกิดจากไขมันสัตว์ หรือน้ำมันทำอาหาร

ถังดับเพลิงที่ใช้เป็นชนิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มีคุณสมบัติ ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่ติดไฟ และไม่นำสื่อทางไฟฟ้า ก๊าซที่ฉีดออกมาจะเป็นไอเย็นจัดคล้ายน้ำแข็งแห้ง ลดความร้อนของไฟได้ ไม่ทิ้งคราบสกปรกหลังฉีดและความเสียหายต่อวัสดุและอุปกรณ์ทางไฟฟ้า สามารถดับไฟประเภท A คือ เพลิงไหม้ที่เกิดจากของแข็ง เช่น ฟืน ยาง ไม้ ผ้า กระดาษ พลาสติก ส่วนไฟประเภท B คือ เพลิงที่ไหม้ในของเหลวติดไฟและก๊าซติดไฟ เช่น น้ำมัน ก๊าซหุงต้ม และประเภท C คือ เพลิงที่ไหม้จากอุปกรณ์ไฟฟ้า ที่มีกระแสไฟฟ้าไหลอยู่ เช่น ไฟฟ้าลัดวงจร หลังจากฉีดใช้งานแล้วสามารถเก็บน้ำยาส่วนที่เหลือไว้ใช้ได้

Carbon Dioxide หรือเรียกย่อ ๆ ว่า CO₂ เป็นก๊าซที่มีอยู่ทั่วไปในอากาศเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เกิดจากหลายวิธีเช่น การเผาไหม้จากกระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมเป็นต้น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ถูกนำมาใช้ในวงการดับเพลิงมานานหลายปี เมื่อนำมาใช้ในการดับเพลิงจะถูกเก็บอยู่ในถังบรรจุชนิดทนแรงดัน ซึ่งมีอยู่ 2 วิธี คือ

1) เก็บในภาชนะบรรจุชนิดทนแรงดันสูง ไม่ควบคุมอุณหภูมิ (High Pressure Cylinder) จะใช้งานที่อุณหภูมิห้องปกติอยู่ในสถานะก๊าซ

2) เก็บอยู่ในถังชนิดทนแรงดันพร้อมควบคุมอุณหภูมิ (Low Pressure Tank) โดย ควบคุมอุณหภูมิให้คงที่เท่ากับ -180 ฟาเรนไฮต์ ตลอดเวลาซึ่งจะถูกเก็บในสถานะของเหลว

เมื่อฉีดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาจากถังบรรจุ จะถูกฉีดออกไปตามแนวท่อไปยังหัวฉีด (Nozzle) ตามจุดต่าง ๆ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เป็นของเหลวจำนวน 1 ปอนด์นั้นเมื่อเปลี่ยนสถานะเป็นก๊าซในบรรยากาศปกติสามารถขยายตัวได้ประมาณ 2.5 เมตร โดยส่วนใหญ่แล้วจะถูกเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นก๊าซ แต่จะมีบางส่วนที่เป็น Dry Ice หรือ Snow ซึ่งเป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่งของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เมื่อทำการฉีดอันดับแรกจะกลายเป็นหมอกและควันและจำนวนของ Snow จะเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณการฉีด ซึ่งสามารถดูได้ตามเส้นทางการฉีด และระเหยกลายเป็นก๊าซได้อย่างรวดเร็วสามารถทิ้งเอาไว้เช่นนั้นโดยไม่ต้องทำความสะอาดใด ๆ ซึ่งมันจะทำให้หน้าที่ดูดความร้อนและลดอุณหภูมิภายในพื้นที่ลงให้ต่ำกว่าจุดติดไฟ

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มีน้ำหนักมากกว่าอากาศ 1.5 เท่า โดยหลักการดับเพลิงคือ การทำให้ปริมาณของก๊าซออกซิเจนหรือปริมาณไอของเชื้อเพลิงในอากาศลดลงจนถึงจุดที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นสารเคมีชนิดหนึ่งที่ใช้ประโยชน์ในการดับเพลิงมีสูตรทางเคมีว่า CO_2 โดยปกติอากาศที่เราใช้ในการหายใจประกอบด้วย ออกซิเจน 21 เปอร์เซ็นต์ ไนโตรเจน 79 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอนไดออกไซด์ 0.03 เปอร์เซ็นต์ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีหลายสถานะโดยเฉพาะสถานะก๊าซ ซึ่งเป็นก๊าซที่ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น เมื่อใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในการดับเพลิง จะคลุมบริเวณไฟไหม้ทำให้ระดับความเข้มข้นของออกซิเจนลดลงหรือปริมาณเชื้อเพลิงในอากาศลดลงจนถึงจุดที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้ ระบบดับเพลิงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ประกอบด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นก๊าซเฉื่อย ไม่กัดกร่อน ไม่มีพิษ และไม่เป็นตัวนำทางไฟฟ้า จัดเป็นน้ำยาดับเพลิงชนิดสะอาด แสดงดังภาพที่ 2.20



ภาพที่ 2.20 ถังดับเพลิงชนิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ [7]

2.4 โมดูลเซ็นเซอร์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ [8]

งานวิจัยนี้ใช้โมดูลเซ็นเซอร์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของบริษัท SenseAir รุ่น S8 แสดงดังภาพที่ 2.21 ซึ่งสามารถวัดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ได้สูงถึง 10,000 พีพีเอ็ม (ppm) สามารถติดต่อสื่อสารกับไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วยการสื่อสารแบบ UART ใช้โปรโตคอลแบบ MODBUS ใช้เทคนิคการวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แบบ Non-Dispersive Infrared (NDIR) สามารถทำการสอบเทียบความแม่นยำได้ด้วยตัวของมันเอง ข้อมูลปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะถูกวัดค่าทุก ๆ 2 วินาที ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถที่จะอ่านค่าปริมาณดังกล่าวได้ผ่านทางขา Tx และ Rx ดังแสดงในภาพที่ 2.22 โดยใช้โปรโตคอลแบบ MODBUS และเนื่องจากตัวตรวจจับภายในเซ็นเซอร์ตัวนี้เมื่อใช้ไปเป็นระยะเวลานานจะมีการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานภายในทำให้การวัดค่ามีความผิดพลาด จึงต้องมีการชดเชยความผิดพลาดนี้ โดยภายในเซ็นเซอร์จะมีการทำ Automatic Baseline Correction ทุก ๆ 60 วันโดยอัตโนมัติ



ภาพที่ 2.21 โมดูลเซ็นเซอร์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ [8]



ภาพที่ 2.22 ตำแหน่งขาของโมดูลเซ็นเซอร์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ [8]

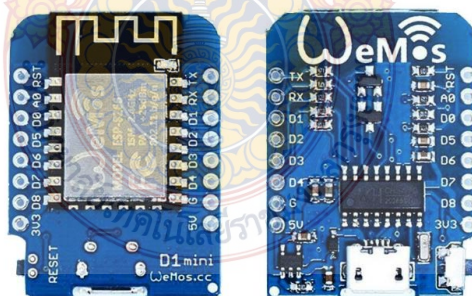
2.5 โมดูลเซ็นเซอร์ก๊าซออกซิเจน [9]

งานวิจัยนี้จะใช้โมดูลเซ็นเซอร์ก๊าซออกซิเจน ME2-O2 ดังภาพที่ 2.23 เป็นตัวตรวจจับก๊าซออกซิเจนแบบแอนะล็อก ซึ่งจะทำการทดสอบและวัดค่าความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนในอากาศ โดยใช้พื้นฐานสำคัญของหลักการทางไฟฟ้าเคมี ซึ่งจะทำให้กระแสที่ไหลของอิเล็กโทรดที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าภายใน เปลี่ยนไปเมื่อตรวจจับก๊าซได้ สามารถตรวจจับก๊าซออกซิเจนได้ในช่วง 0 – 25 เปอร์เซ็นต์ ให้เอาต์พุตเป็นกระแสไฟฟ้าในช่วง 0 – 140 ไมโครแอมแปร์



ภาพที่ 2.23 โมดูลเซ็นเซอร์ก๊าซออกซิเจน [9]

2.6 ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP8266 [10]



ภาพที่ 2.24 ลักษณะไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP8266

ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP8266 ดังภาพที่ 2.24 คือ โมดูลวางขายซึ่งภายในมีเฟิร์มแวร์ทำงานในลักษณะ Serial-to-WiFi ที่ช่วยให้อุปกรณ์อื่น ๆ เช่น ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถต่อเข้ากับอินเทอร์เน็ตได้โดยใช้การสื่อสารแบบอนุกรม และใช้คำสั่ง AT ในการควบคุมการทำงาน ต่อมาผู้พัฒนาได้พัฒนาเฟิร์มแวร์ให้เป็นแพลตฟอร์มและใช้ภาษา LUA ในการเขียนโปรแกรม ด้วยความเป็นแพลตฟอร์มที่สะดวกต่อการใช้งาน ทางผู้พัฒนาจึงจับ ESP8266 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์หนึ่ง

ใน Arduino IDE ทำให้สามารถเขียนโปรแกรมด้วยภาษา C/C++ ได้ และสำหรับใครที่ใช้งาน Arduino อยู่แล้วสามารถใช้งานบน Arduino IDE ได้ทันที

ปัจจุบันกระแสการใช้งาน IoT (Internet Of Things) กำลังมาแรง ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP8266 จึงเป็นที่นิยมเป็นอย่างมาก เพราะเป็นอุปกรณ์ที่มีขนาดเล็ก ราคาถูก ใช้งานง่ายเหมาะสำหรับนำมาพัฒนา IoT โดยมีคุณสมบัติดังนี้

SDIO 2.0, SPI, UART Interface

32-pin QFN package

Integrated RF switch, balun, 24dBm PA, DCXO, and PMU

Integrated RISC processor, on-chip memory and external memory interfaces

Integrated MAC/baseband processors

Quality of Service management

I2S interface for high fidelity audio applications

On-chip low-dropout linear regulators for all internal supplies

Proprietary spurious-free clock generation architecture

Integrated WEP, TKIP, AES, and WAPI engines

Specification :

802.11 b/g/n

Wi-Fi Direct (P2P), soft-AP

Integrated TCP/IP protocol stack

Integrated TR switch, balun, LNA, power amplifier and matching network

Integrated PLLs, regulators, DCXO and power management units

+19.5dBm output power in 802.11b mode

Power down leakage current of <10uA

Integrated low power 32-bit CPU could be used as application processor

SDIO 1.1/2.0, SPI, UART

STBC, 1x1 MIMO, 2x1 MIMO

A-MPDU & A-MSDU aggregation & 0.4ms guard interval

Wake up and transmit packets in < 2ms

Standby power consumption of < 1.0mW (DTIM3)

ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP8266 เป็นตัวประมวลผลหลักและรับส่งข้อมูลผ่านสายพาวาย และใช้ SenseAir รุ่น S8 เป็นตัวตรวจจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เนื่องจากสามารถวัดค่าได้ในช่วงกว้าง ตอบสนองต่อการวัดได้อย่างรวดเร็ว หาซื้อได้ง่ายราคาไม่แพง และได้ใช้ ME2-O2 เป็นตัวตรวจจับก๊าซออกซิเจน เนื่องจากหาซื้อได้ง่ายและวัดค่าได้แม่นยำ

2.7 ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์

ในโลกของการติดต่อสื่อสารในปัจจุบันได้มีการพัฒนาที่ก้าวหน้าเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะการสื่อสารแบบไร้สายที่ได้มีการพัฒนาความเร็วในการรับส่งข้อมูลที่สูงขึ้น จากเดิมที่มีการส่งได้เพียงข้อความสั้น Short Message Service และ Multimedia Messaging Service ปัจจุบันสามารถทำการโทรศัพท์แบบเห็นหน้าคู่สนทนากันได้ แต่ต้องผ่านทางระบบของพาวายหรือระบบ Third Generation of Mobile Telephone โดยระบบปฏิบัติการบนอุปกรณ์ดังกล่าวมีอยู่หลายตัว เช่น ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ และระบบปฏิบัติการไอโอเอส เป็นต้น โดยลักษณะของระบบปฏิบัติการข้างต้นส่วนมากจะเป็นประเภทไม่เปิดเผยซอร์สโค้ดต้นฉบับ ซึ่งหมายความว่า ระบบปฏิบัติการดังกล่าวไม่สามารถนำมาศึกษาตัดแปลงการทำงานของระบบปฏิบัติการเพื่อนำไปใช้งานตามที่ต้องการได้ จึงทำให้เกิดความไม่สะดวกในการพัฒนา



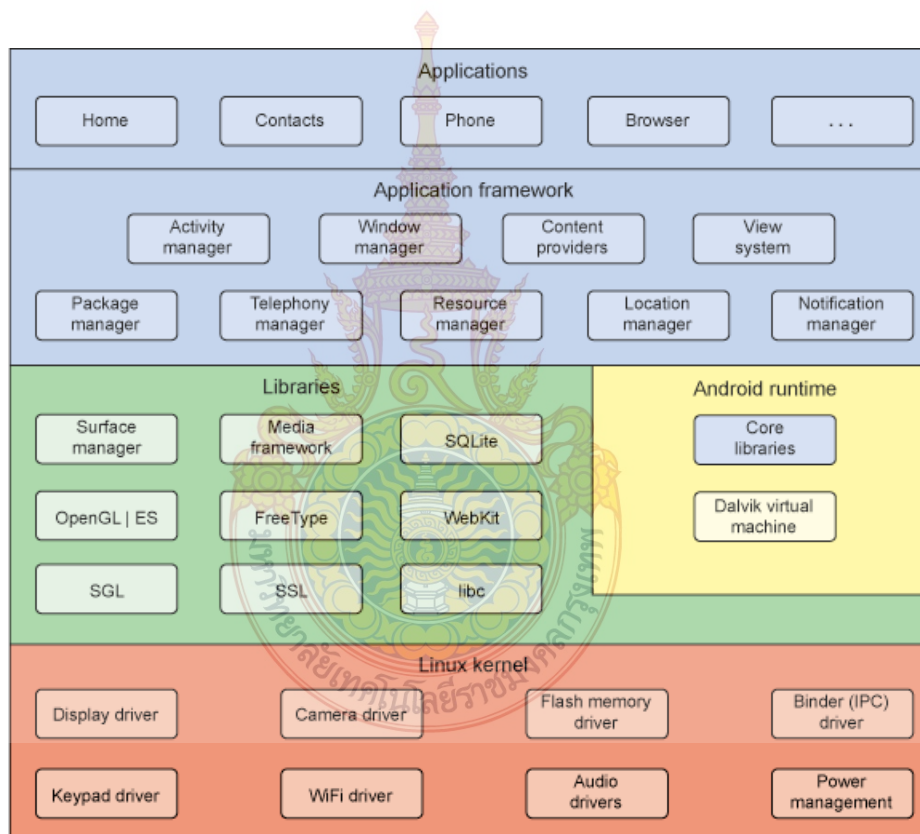
ภาพที่ 2.25 ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์เวอร์ชันต่าง ๆ

แอนดรอยด์คือ ระบบปฏิบัติการสำหรับอุปกรณ์พกพา ดังภาพที่ 2.25 เช่น โทรศัพท์มือถือ แท็บเล็ต คอมพิวเตอร์ และเนตบุ๊ก เป็นต้น ทำงานบนเคอร์เนลของลินุกซ์ แอนดรอยด์เป็นระบบปฏิบัติการแบบเปิดเผยซอร์สโค้ดต้นฉบับ สามารถแก้ไขโค้ดต่าง ๆ ด้วยภาษาจาวา (Java) และ

ควบคุมอุปกรณ์ผ่านทางชุด Java Libraries ที่ถูกพัฒนาขึ้น โดยใช้คอร์เนลของลินุกซ์เป็นพื้นฐานของระบบและใช้ภาษา Java ในการพัฒนาแอปพลิเคชัน

2.7.1 โครงสร้างระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์

แอนดรอยด์เป็นซอฟต์แวร์ที่มีโครงสร้างแบบเรียงทับซ้อน ซึ่งรวมเอาระบบปฏิบัติการมิตเดิลแวร์และแอปพลิเคชันที่สำคัญเข้าไว้ด้วยกัน เพื่อใช้สำหรับทำงานบนอุปกรณ์พกพาเคลื่อนที่ เช่น โทรศัพท์มือถือ เป็นต้น การทำงานของแอนดรอยด์มีพื้นฐานอยู่บนระบบคอร์เนลของลินุกซ์ ซึ่งใช้ Android Software Development Kit (Android SDK) เป็นเครื่องมือสำหรับการพัฒนาแอปพลิเคชันบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์และใช้ภาษา Java ในการพัฒนา สถาปัตยกรรมของแอนดรอยด์ (Android Architecture) นั้นถูกแบ่งออกเป็น 4 ชั้นหลัก ดังภาพที่ 2.26



ภาพที่ 2.26 โครงสร้างระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์

2.7.1.1 ชั้นแอปพลิเคชัน (Application)

ชั้นนี้จะเป็นชั้นที่อยู่บนสุดของโครงสร้างสถาปัตยกรรมแอนดรอยด์ ซึ่งเป็นส่วนของแอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้นมาใช้งาน ดังภาพที่ 2.27 เช่น แอปพลิเคชันรับส่งอีเมล ข้อความ

ปฏิทิน แผนที่ เว็บเบราว์เซอร์ และรายชื่อผู้ติดต่อ เป็นต้น ซึ่งแอปพลิเคชันจะอยู่ในรูปแบบของไฟล์ .apk



ภาพที่ 2.27 โครงสร้างชั้นแอปพลิเคชัน

2.7.1.2 ชั้นแอปพลิเคชันเฟรมเวิร์ค (Application Framework)

ในชั้นนี้อำนวยความสะดวกให้นักพัฒนาสามารถเข้าเรียกใช้งานโดยผ่าน Application Programming Interface ซึ่งระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ออกแบบไว้เพื่อลดความซ้ำซ้อนในการทำงาน โดยในชั้นนี้ประกอบด้วยแอปพลิเคชันเฟรมเวิร์ค ดังภาพที่ 2.28 ดังนี้

- (1) View System เป็นส่วนที่ใช้ในการควบคุมการทำงานสำหรับการสร้างแอปพลิเคชัน เช่น List Grids, Text Boxes, Buttons และ Embeddable Web Browser
- (2) Location Manager เป็นส่วนที่จัดการเกี่ยวกับตำแหน่งของเครื่องอุปกรณ์พกพาเคลื่อนที่
- (3) Content Provider เป็นส่วนที่ใช้ควบคุมการเข้าถึงข้อมูลที่มีการใช้งานร่วมกันระหว่างแอปพลิเคชันที่แตกต่างกัน เช่น ข้อมูลผู้ติดต่อ เป็นต้น
- (4) Resource Manager เป็นส่วนที่จัดการข้อมูลต่าง ๆ ที่ไม่ใช่ส่วนของโค้ดโปรแกรม เช่น รูปภาพ ซึ่งจะอยู่ในไดเรกทอรี
- (5) Notification Manager เป็นส่วนที่ควบคุมอีเวนต์ต่าง ๆ ที่แสดงบนแถบสถานะ เช่น ในกรณีที่ได้รับความหรือสายที่ไม่ได้รับและการแจ้งเตือนอื่น ๆ เป็นต้น
- (6) Activity Manager เป็นส่วนควบคุมของแอปพลิเคชัน

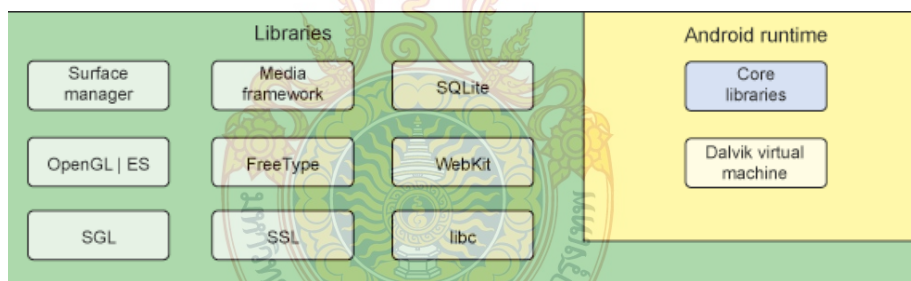


ภาพที่ 2.28 โครงสร้างชั้นแอปพลิเคชันเฟรมเวิร์ค (Application Framework)

2.7.1.3 ชั้นไลบรารี (Library)

แอนดรอยด์ได้รวบรวมกลุ่มของไลบรารีต่าง ๆ ที่สำคัญและมีความจำเป็นเอาไว้มากมาย ดังภาพที่ 2.29 เพื่ออำนวยความสะดวกให้กับนักพัฒนาและง่ายต่อการพัฒนาโปรแกรม โดยตัวอย่างของไลบรารีที่สำคัญ เช่น

- (1) System C Library เป็นกลุ่มของไลบรารีมาตรฐานที่อยู่บนพื้นฐานของภาษา C ไลบรารี
- (2) Media Libraries เป็นกลุ่มการทำงานมัลติมีเดีย เช่น MPEG4, H.264, MP3, AAC, AMR, JPG และ PNG เป็นต้น
- (3) Surface Manager เป็นกลุ่มการจัดการรูปแบบหน้าจอ
- (4) 2D/3D Library เป็นกลุ่มของกราฟิกแบบ 2 มิติ และแบบ 3 มิติ
- (5) FreeType เป็นกลุ่มของบิตแมป และเวกเตอร์สำหรับการเรนเดอร์ภาพ
- (6) SQLite เป็นกลุ่มของฐานข้อมูล โดยนักพัฒนาสามารถใช้ฐานข้อมูลนี้เก็บข้อมูลแอปพลิเคชันต่าง ๆ ได้
- (7) Browser Engine เป็นกลุ่มของการแสดงผลบนเว็บเบราว์เซอร์ซึ่งจะมีลักษณะคล้ายกับ Google Chrome



ภาพที่ 2.29 โครงสร้างชั้นไลบรารี

2.7.1.4 แอนดรอยด์ Runtime

เป็นชั้นย่อยที่อยู่ในชั้นไลบรารี ซึ่งจะประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ

- (1) Dalvik Virtual Machine (Dalvik VM) ส่วนนี้ถูกเขียนด้วยภาษาจาวา เพื่อใช้เฉพาะการใช้งานในอุปกรณ์เคลื่อนที่ Dalvik VM จะแตกต่างจาก Java Virtual Machine (Java VM) คือ Dalvik VM จะรันไฟล์ .dex ที่คอมไพล์มาจากไฟล์ .class และ .jar โดยมี tool ที่ชื่อว่า dx ทำหน้าที่ในการบีบอัดคลาสจาวา ทั้งนี้ไฟล์ .dex จะมีขนาดกะทัดรัดและเหมาะสมกับอุปกรณ์เคลื่อนที่มากกว่า .class เพื่อต้องการใช้พลังงานจากแบตเตอรี่อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

(2) Core Java Library ส่วนนี้เป็นไลบรารีมาตรฐาน แต่ก็มีความแตกต่างจากไลบรารีของ Java Standard Edition และ Java Mobile Edition

2.7.1.5 ชั้นเคอร์เนลของลินุกซ์

ระบบแอนดรอยด์นั้นถูกสร้างบนพื้นฐานของระบบปฏิบัติการลินุกซ์ ดังภาพที่ 2.30 โดยในชั้นนี้จะมีฟังก์ชันการทำงานหลาย ๆ ส่วน แต่โดยส่วนมากแล้วจะเกี่ยวข้องกับฮาร์ดแวร์โดยตรง เช่น การจัดการหน่วยความจำและการเชื่อมต่อเครือข่าย เป็นต้น



ภาพที่ 2.30 โครงสร้างชั้นเคอร์เนลของลินุกซ์

2.7.2 แอปพลิเคชัน

แอปพลิเคชัน คือ โปรแกรมที่อำนวยความสะดวกในด้านต่าง ๆ ที่ออกแบบมาสำหรับโทรศัพท์ แท็บเล็ต หรืออุปกรณ์เคลื่อนที่ ในแต่ละระบบปฏิบัติการจะมีผู้พัฒนาแอปพลิเคชันขึ้นมามากมาย เพื่อให้ตรงกับความต้องการของผู้ใช้งาน ซึ่งจะมีให้ดาวน์โหลดทั้งฟรีและจ่ายเงิน ทั้งในด้านการศึกษา ด้านการสื่อสาร หรือแม้แต่ด้านความบันเทิงต่าง ๆ เป็นต้น โมบายแอปพลิเคชันจะแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ เนทีฟ แอปพลิเคชัน (Native Application), ไฮบริด แอปพลิเคชัน (Hybrid Application) และเว็บ แอปพลิเคชัน (Web Application)

เนทีฟ แอปพลิเคชัน คือ แอปพลิเคชันที่ถูกพัฒนามาด้วย Library หรือ SDK เครื่องมือที่เอาไว้สำหรับพัฒนาโปรแกรมหรือแอปพลิเคชันของระบบปฏิบัติการโทรศัพท์นั้น ๆ โดยเฉพาะ เช่น ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ใช้ Android SDK ระบบปฏิบัติการไอโอเอสใช้ Objective C และ Windows Phone ใช้ C# เป็นต้น

ไฮบริด แอปพลิเคชัน คือ แอปพลิเคชันที่ถูกพัฒนาขึ้นมาด้วยจุดประสงค์ที่ต้องการให้สามารถ รันบนระบบปฏิบัติการได้ทุกระบบปฏิบัติการโดยใช้เฟรมเวิร์กเข้าช่วย เพื่อให้สามารถทำงานได้ทุกระบบปฏิบัติการ

เว็บ แอปพลิเคชัน คือ แอปพลิเคชันที่ถูกเขียนขึ้นมาเพื่อเป็นบราวเซอร์สำหรับการใช้งานเว็บเพจต่าง ๆ ซึ่งถูกปรับแต่งให้แสดงผลแต่ส่วนที่จำเป็น เพื่อลดทรัพยากรในการประมวลผลของ

ตัวเครื่องสมาร์ทโฟนหรือแท็บเล็ต ทำให้โหลดหน้าเว็บไซต์ได้เร็วขึ้น และยังสามารถใช้งานผ่านอินเทอร์เน็ตและอินทราเน็ตในความเร็วต่ำได้



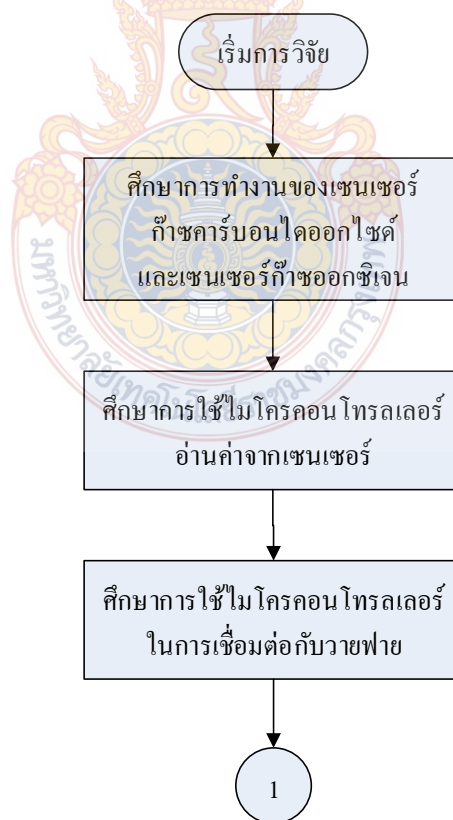
บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

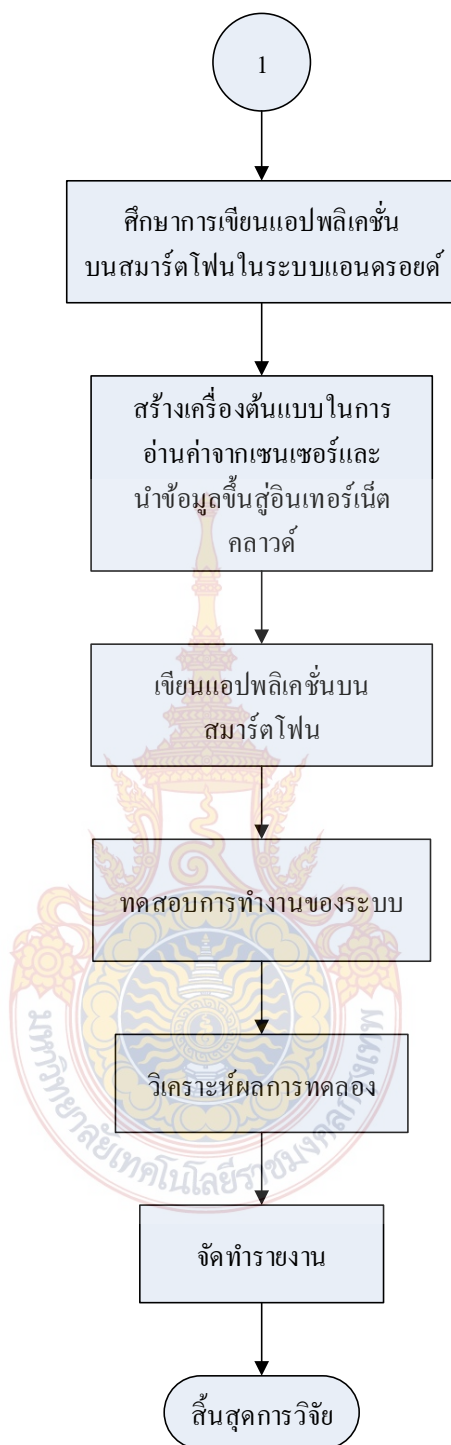
ในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของขั้นตอนวิธีการดำเนินการวิจัยเรื่องถึงดับเพลิงอัตโนมัติ ซึ่งประกอบไปด้วยรายละเอียดเกี่ยวกับการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ การเชื่อมต่อกับสายพาย การทำงานของเซ็นเซอร์วัดค่าออกซิเจนและเซ็นเซอร์วัดค่าคาร์บอนไดออกไซด์ การนำข้อมูลที่อ่านได้จากเซ็นเซอร์ขึ้นสู่อินเทอร์เนตคลาวด์ การเขียนแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์มือถือในระบบแอนดรอยด์ เพื่อนำค่าจากอินเทอร์เนตคลาวด์มาแสดงผล

3.1 แผนการดำเนินงาน

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงแผนการดำเนินงานในการออกแบบ และสร้างทั้งในส่วนฮาร์ดแวร์และส่วนของซอฟต์แวร์ และพัฒนาแอปพลิเคชันในระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์สำหรับการแจ้งเตือน และควบคุมการเกิดอัคคีภัยผ่านสมาร์ทโฟน



ภาพที่ 3.1 แผนภูมิสายงานขั้นตอนการดำเนินงาน

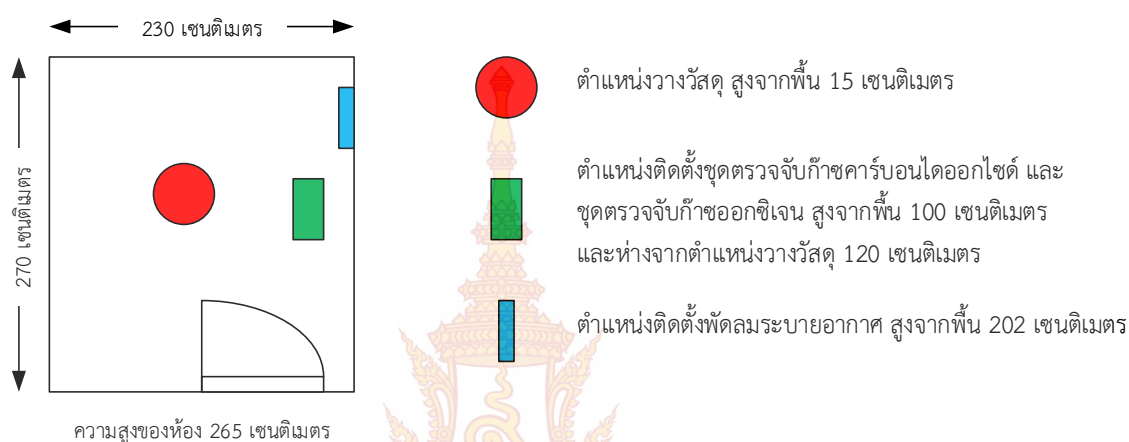


ภาพที่ 3.1 แผนภูมิสายงานขั้นตอนการดำเนินงาน (ต่อ)

3.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน และการออกแบบ

ขั้นตอนการวิจัยที่ 1 ออกแบบและสร้างห้องจำลองปิด เพื่อการทดสอบและบันทึกผล

ออกแบบและสร้างห้องจำลองปิด ขนาดกว้าง 230 เซนติเมตร ยาว 270 เซนติเมตร สูง 265 เซนติเมตร พร้อมติดตั้งพัดลมระบายอากาศขนาด ยี่ห้อ PANASONIC รุ่น FV-20AUT3 ปริมาตร กระแสลม $9.7 \text{ m}^3/\text{min}$ สูงจากพื้น 202 เซนติเมตร และติดตั้งชุดตรวจจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และชุดตรวจจับก๊าซออกซิเจน สูงจากพื้น 100 เซนติเมตร และห่างจากตำแหน่งวางวัสดุ 120 เซนติเมตร ดังภาพที่ 3.2

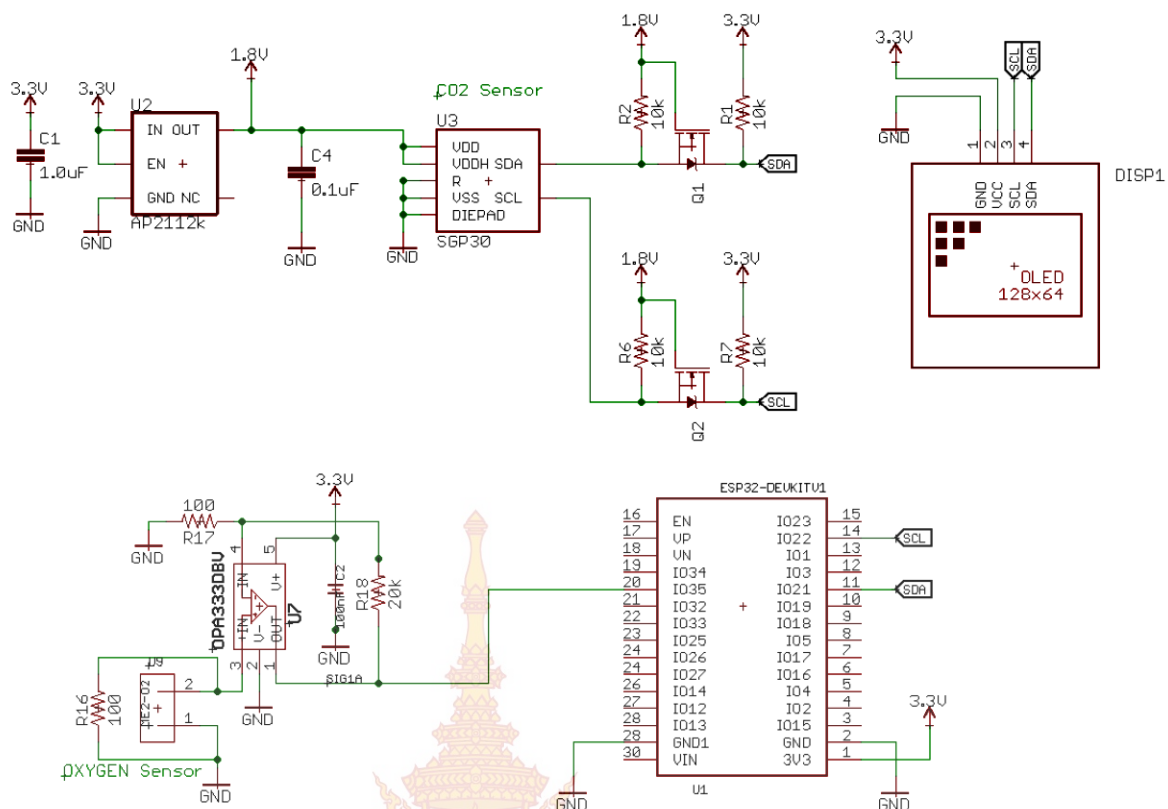


ภาพที่ 3.2 แบบห้องที่ออกแบบและสร้าง พร้อมตำแหน่งติดตั้งชุดตรวจจับ

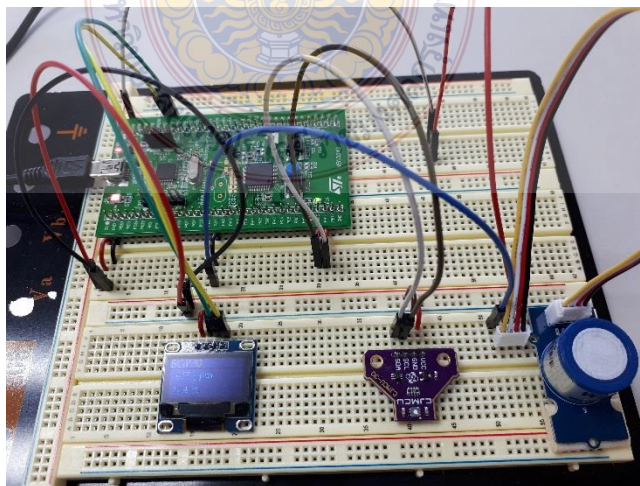
ขั้นตอนการวิจัยที่ 2 ออกแบบสร้างชุดตรวจจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และออกซิเจนพร้อม ทดสอบการทำงาน

ขั้นตอนที่ 1 ออกแบบวงจรตรวจจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซออกซิเจน ดังแสดงในภาพที่ 3.3 จัดหาอุปกรณ์ และประกอบวงจรลงบอร์ด พร้อมทำการทดสอบ ดังภาพที่ 3.4 และภาพที่ 3.5

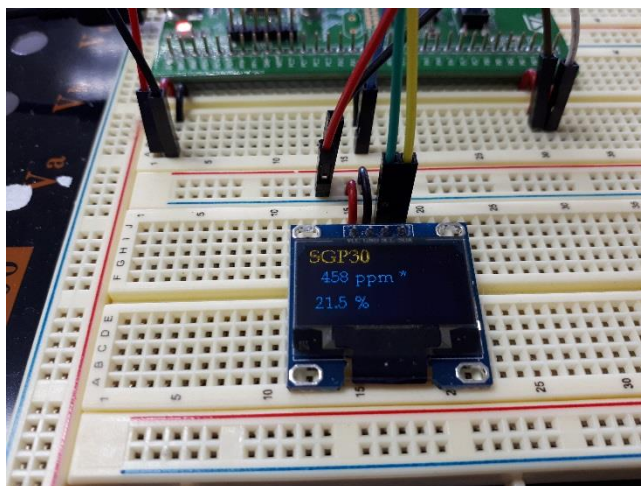
งานวิจัยนี้ใช้ ESP32 ต่อร่วมกับตัวตรวจจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เบอร์ SGP30 ผ่านการสื่อสารแบบ I2C และต่อตัวตรวจจับก๊าซออกซิเจนเบอร์ ME2-02 ผ่านขาอินพุตแบบแอนะล็อก เนื่องจาก SGP30 ต้องการระดับแรงดันไฟเลี้ยง 1.8 โวลต์ ดังนั้นจึงใช้ไอซี AP2112k ทำหน้าที่รักษา ระดับแรงดัน วงจรส่วนอื่นสามารถใช้แรงดัน 3.3 โวลต์ ที่จ่ายออกมาจากบอร์ด ESP32 ได้ มีการแสดงผลการทำงานบนจอ OLED ขนาด 128x64 พิกเซล



ภาพที่ 3.3 วงจรตรวจจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซออกซิเจน

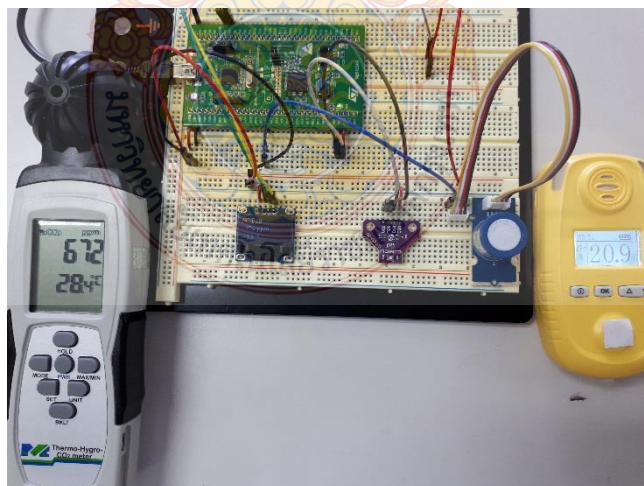


ภาพที่ 3.4 การประกอบวงจรตรวจจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซออกซิเจนลงบนบอร์ด

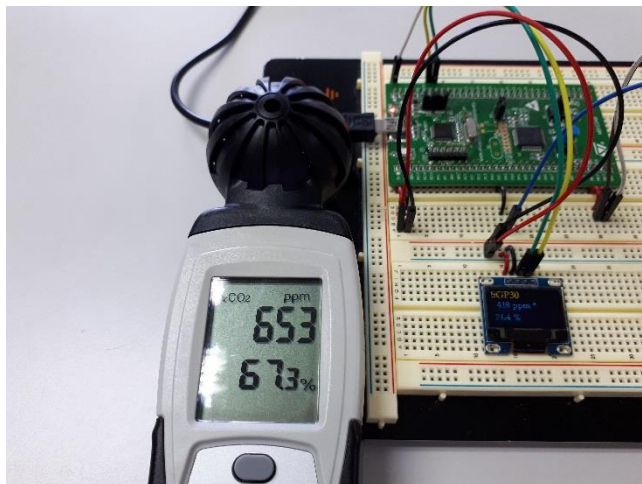


ภาพที่ 3.5 ค่าคาร์บอนไดออกไซด์ และออกซิเจนจากการทดสอบ

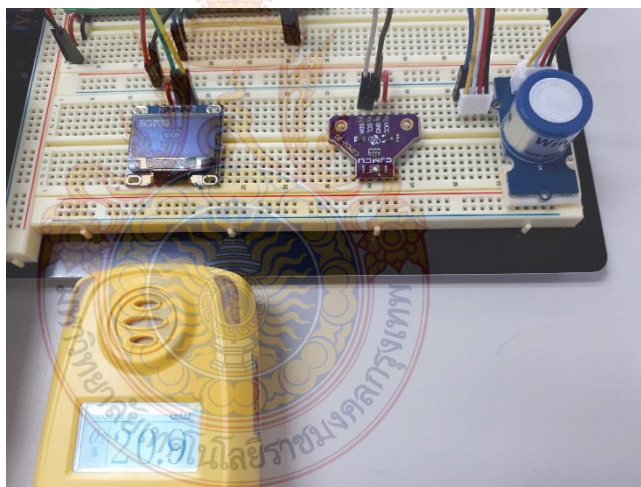
ขั้นตอนที่ 2 ทำการทดสอบเปรียบเทียบระหว่างวงจรตรวจจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซออกซิเจนที่ออกแบบกับเครื่องมือวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซออกซิเจน ดังภาพที่ 3.6 ถึงภาพที่ 3.8



ภาพที่ 3.6 การวัดเปรียบเทียบระหว่างวงจรตรวจจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซออกซิเจนที่ออกแบบกับเครื่องมือวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ Thermo-Hygro CO2 meter และเครื่องมือวัดออกซิเจน Personal Safety Oxygen Monitor SAO2



ภาพที่ 3.7 การวัดเปรียบเทียบระหว่างวงจรตรวจจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับเครื่องมือวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ Thermo-Hygro CO2 meter



ภาพที่ 3.8 การวัดเปรียบเทียบระหว่างวงจรตรวจจับก๊าซออกซิเจนที่ออกแบบกับเครื่องมือวัดก๊าซออกซิเจน Personal Safety Oxygen Monitor SAO2

แต่ภายหลังการทดลองผู้วิจัยได้เปลี่ยนมาใช้ ESP8266 และออกแบบวงจรตรวจจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซออกซิเจนใหม่ดังภาพที่ 3.10 โดย ESP8266 โมดูลวางฟลายซึ่งภายในมีเฟิร์มแวร์ทำงานในลักษณะ Serial-to-WiFi ที่ช่วยให้อุปกรณ์อื่น ๆ เช่น ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถ

ต่อเข้ากับอินเทอร์เน็ตได้ โดยใช้การสื่อสารแบบอนุกรม และใช้คำสั่ง AT ในการควบคุมการทำงาน ต่อมาผู้พัฒนาได้พัฒนาเฟิร์มแวร์ให้เป็นแพลตฟอร์มและใช้ภาษา LUA ในการเขียนโปรแกรม ด้วยความที่เป็นแพลตฟอร์มที่สะดวกต่อการใช้งาน ทางผู้พัฒนาจึงจับ ESP8266 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์หนึ่งใน Arduino IDE ทำให้สามารถเขียนโปรแกรมด้วยภาษา C/C++ ได้ และสำหรับผู้ใช้งาน Arduino อยู่แล้วสามารถใช้งานบน Arduino IDE ได้ทันที ปัจจุบันการใช้งาน IoT (Internet of Things) กำลังมาแรง ESP8266 จึงเป็นที่นิยมเป็นอย่างมาก เพราะเป็นอุปกรณ์ที่มีขนาดเล็ก ราคาถูก ใช้งานง่ายเหมาะสำหรับนำมาพัฒนา IoT

สรุปผลการทดลอง

จากผลการดำเนินงานสรุปได้ว่าการออกแบบวงจรตรวจจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซออกซิเจน และทดสอบการทำงานดังภาพที่ 3.4 ถึงภาพที่ 3.8 วงจรที่ออกแบบสามารถตรวจจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซออกซิเจนได้ตามการเปลี่ยนแปลงของก๊าซ แต่เพื่อให้วงจรตามที่ต้องการมีความถูกต้อง จึงได้ทำการทดสอบเปรียบเทียบกับเครื่องมือวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ Thermo-Hygro CO2 meter และเครื่องมือวัดออกซิเจน Personal Safety Oxygen Monitor SAO2 ดังภาพที่ 3.5 ผลปรากฏว่าวงจรตรวจจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์วัดค่าได้ 418 ppm ในขณะที่เครื่องมือวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ Thermo-Hygro CO2 meter วัดค่าได้ 653 ppm ดังภาพที่ 3.7 และวงจรตรวจจับก๊าซออกซิเจนวัดค่าได้ 21.4 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่เครื่องมือวัดก๊าซออกซิเจน Personal Safety Oxygen Monitor SAO2 วัดค่าได้ 20.9 เปอร์เซ็นต์ ดังภาพที่ 3.8 ซึ่งจะเห็นว่ามีค่าใกล้เคียงกัน แต่ต้องทำการปรับเทียบต่อไป

ขั้นตอนการวิจัยที่ 3 ออกแบบขั้นตอนวิธีประเมินเหตุอัคคีภัยพร้อมทดสอบการทำงาน

การออกแบบขั้นตอนวิธีประเมินเหตุอัคคีภัย อาศัยข้อมูลการทดลองจากโครงการวิจัย “การวิเคราะห์ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซออกซิเจนที่มีต่อการเกิดอัคคีภัย” งบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2562 โดยมีผลการทดลองดังตารางที่ 3.2 ถึง ตารางที่ 3.13

ตารางที่ 3.2 ผลการทดลองกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของกระดาษ จำนวน 15 แผ่น

เวลา (นาทื : วินาที)	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3		ค่าเฉลี่ย	
	CO2 (พีพีเอ็ม)	O2 (เปอร์เซ็นต์)	CO2 (พีพีเอ็ม)	O2 (เปอร์เซ็นต์)	CO2 (พีพีเอ็ม)	O2 (เปอร์เซ็นต์)	CO2 (พีพีเอ็ม)	O2 (เปอร์เซ็นต์)
00:00	450	20.9	445	21.2	445	21.3	446.67	21.13
00:10	450	20.9	444	21.2	444	21.3	446.00	21.13
00:20	451	20.9	443	21.2	443	21.3	445.67	21.13
00:30	452	20.9	443	21.2	444	21.3	446.33	21.13
00:40	451	20.9	443	21.2	445	21.3	446.33	21.13
00:50	453	20.9	444	21.2	447	21.3	448.00	21.13
01:00	461	20.9	447	21.2	447	21.3	451.67	21.13
01:10	470	20.9	458	21.2	458	21.3	462.00	21.13
01:20	568	20.9	633	20.9	535	21.3	578.67	21.03
01:30	671	20.9	876	20.9	826	21.2	791.00	21.00
01:40	867	20.9	1,339	20.9	1,156	20.9	1,120.67	20.90
01:50	1,018	20.9	1,874	20.9	1,800	20.9	1,564.00	20.90
02:00	1,231	20.9	2,241	20.9	2,249	20.9	1,907.00	20.90
02:10	1,626	20.9	2,724	20.9	2,843	20.9	2,397.67	20.90
02:20	1,888	20.9	2,996	20.9	3,154	20.9	2,679.33	20.90
02:30	2,313	20.6	3,237	20.9	3,465	20.9	3,005.00	20.80
02:40	2,734	20.6	3,516	20.9	3,587	20.9	3,279.00	20.80
02:50	2,993	20.6	3,644	20.9	3,709	20.9	3,448.67	20.80
03:00	3,342	20.6	3,717	20.9	3,744	20.9	3,601.00	20.80
03:10	3,494	20.6	3,720	20.9	3,737	20.9	3,650.33	20.80
03:20	3,617	20.6	3,714	20.9	3,729	20.9	3,686.67	20.80
03:30	3,741	20.6	3,706	20.9	3,720	20.9	3,722.33	20.80
03:40	3,782	20.6	3,694	20.9	3,702	20.9	3,726.00	20.80
03:50	3,806	20.6	3,680	20.9	3,694	20.9	3,726.67	20.80
04:00	3,801	20.6	3,660	20.9	3,681	20.9	3,714.00	20.80
04:10	3,761	20.6	3,658	20.9	3,663	20.9	3,694.00	20.80
04:20	3,721	20.6	3,641	20.9	3,652	20.9	3,671.33	20.80
04:30	3,700	20.6	3,533	20.9	3,635	20.9	3,622.67	20.80

ตารางที่ 3.2 ผลการทดลองกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของกระดาษ จำนวน 15 แผ่น (ต่อ)

เวลา (นาทื : วินาที)	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3		ค่าเฉลี่ย	
	CO2 (พีพีเอ็ม)	O2 (เปอร์เซ็นต์)	CO2 (พีพีเอ็ม)	O2 (เปอร์เซ็นต์)	CO2 (พีพีเอ็ม)	O2 (เปอร์เซ็นต์)	CO2 (พีพีเอ็ม)	O2 (เปอร์เซ็นต์)
04:40	3,668	20.6	3,619	20.9	3,630	20.9	3,639.00	20.80
04:50	3,532	20.6	3,607	20.9	3,619	20.9	3,586.00	20.80
05:00	3,612	20.6	3,606	20.9	3,619	20.9	3,612.33	20.80
05:10	3,603	20.6	3,591	20.9	3,624	20.9	3,606.00	20.80
05:20	3,592	20.6	3,568	20.9	3,630	20.9	3,596.67	20.80
05:30	3,566	20.6	3,532	20.9	3,627	20.9	3,575.00	20.80
05:40	3,551	20.6	3,502	20.9	3,608	20.9	3,553.67	20.80
05:50	3,522	20.6	3,460	20.9	3,585	20.9	3,522.33	20.80
06:00	3,505	20.6	3,433	20.9	3,547	20.9	3,495.00	20.80
06:10	3,487	20.9	3,398	20.9	3,509	20.9	3,464.67	20.90
06:20	3,447	20.9	3,384	20.9	3,472	20.9	3,434.33	20.90
06:30	3,417	20.9	3,372	20.9	3,433	20.9	3,407.33	20.90
06:40	3,373	20.9	3,371	20.9	3,376	20.9	3,373.33	20.90
06:50	3,361	20.9	3,368	20.9	3,341	20.9	3,356.67	20.90
07:00	3,352	20.9	3,357	20.9	3,276	20.9	3,328.33	20.90
07:10	3,375	20.9	3,338	20.9	3,209	20.9	3,307.33	20.90
07:20	3,398	20.9	3,328	20.9	3,112	20.9	3,279.33	20.90
07:30	3,401	20.9	3,312	20.9	3,063	20.9	3,258.67	20.90
07:40	3,396	20.9	3,297	20.9	3,015	20.9	3,236.00	20.90
07:50	3,393	20.9	3,281	20.9	2,950	20.9	3,208.00	20.90
08:00	3,382	20.9	3,275	20.9	2,935	20.9	3,197.33	20.90

ตารางที่ 3.3 ผลการทดลองกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของกระดาษ จำนวน 30 แผ่น

เวลา (นาทื : วินาที)	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3		ค่าเฉลี่ย	
	CO2	O2	CO2	O2	CO2	O2	CO2	O2
	(พีพีเอ็ม)	(เปอร์เซ็นต์)	(พีพีเอ็ม)	(เปอร์เซ็นต์)	(พีพีเอ็ม)	(เปอร์เซ็นต์)	(พีพีเอ็ม)	(เปอร์เซ็นต์)
00:00	475	21.2	488	21.3	488	21.4	483.67	21.30
00:10	483	21.2	485	21.3	488	21.4	485.33	21.30
00:20	488	21.2	489	21.3	488	21.4	488.33	21.30
00:30	499	21.2	484	21.3	490	21.4	491.00	21.30
00:40	506	21.2	484	21.3	492	21.4	494.00	21.30
00:50	512	21.2	484	21.3	495	21.4	497.00	21.30
01:00	514	21.2	486	21.3	499	21.4	499.67	21.30
01:10	520	21.2	516	21.3	527	21.3	521.00	21.27
01:20	532	20.9	840	20.9	655	21.3	675.67	21.03
01:30	617	20.9	1,239	20.9	1,099	20.9	985.00	20.90
01:40	1,020	20.9	2,115	20.9	1,637	20.9	1,590.67	20.90
01:50	1,489	20.9	2,866	20.9	2,748	20.9	2,367.67	20.90
02:00	2,455	20.9	4,085	20.9	3,592	20.9	3,377.33	20.90
02:10	3,256	20.9	4,883	20.9	4,892	20.9	4,343.67	20.90
02:20	4,476	20.6	5,902	20.6	5,661	20.9	5,346.33	20.70
02:30	5,528	20.5	6,434	20.6	6,327	20.9	6,096.33	20.67
02:40	6,111	20.5	7,008	20.6	7,056	20.6	6,725.00	20.57
02:50	6,505	20.5	7,239	20.6	7,394	20.6	7,046.00	20.57
03:00	6,852	20.5	7,470	20.6	7,682	20.6	7,334.67	20.57
03:10	6,991	20.5	7,543	20.6	7,752	20.6	7,428.67	20.57
03:20	7,053	20.5	7,560	20.6	7,799	20.6	7,470.67	20.57
03:30	7,012	20.5	7,545	20.6	7,804	20.6	7,453.67	20.57
03:40	6,996	20.4	7,502	20.5	7,829	20.6	7,442.33	20.50
03:50	6,981	20.5	7,434	20.5	7,844	20.6	7,419.67	20.53
04:00	6,990	20.5	7,387	20.5	7,838	20.6	7,405.00	20.53
04:10	6,988	20.4	7,298	20.5	7,845	20.6	7,377.00	20.50
04:20	7,002	20.4	7,272	20.5	7,828	20.6	7,367.33	20.50
04:30	7,008	20.5	7,217	20.5	7,815	20.6	7,346.67	20.53

ตารางที่ 3.3 ผลการทดลองกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของกระดาษ จำนวน 30 แผ่น (ต่อ)

เวลา (นาทื : วินาที)	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3		ค่าเฉลี่ย	
	CO2	O2	CO2	O2	CO2	O2	CO2	O2
	(พีพีเอ็ม)	(เปอร์เซ็นต์)	(พีพีเอ็ม)	(เปอร์เซ็นต์)	(พีพีเอ็ม)	(เปอร์เซ็นต์)	(พีพีเอ็ม)	(เปอร์เซ็นต์)
04:40	7,000	20.5	7,165	20.6	7,798	20.6	7,321.00	20.57
04:50	6,978	20.5	7,127	20.6	7,770	20.6	7,291.67	20.57
05:00	6,904	20.5	7,084	20.6	7,740	20.6	7,242.67	20.57
05:10	6,882	20.5	7,031	20.6	7,670	20.6	7,194.33	20.57
05:20	6,844	20.5	7,006	20.6	7,578	20.6	7,142.67	20.57
05:30	6,789	20.5	6,964	20.6	7,504	20.6	7,085.67	20.57
05:40	6,762	20.5	6,928	20.6	7,402	20.9	7,030.67	20.67
05:50	6,700	20.5	6,897	20.9	7,347	20.9	6,981.33	20.77
06:00	6,673	20.5	6,845	20.6	7,280	20.9	6,932.67	20.67
06:10	6,666	20.5	6,802	20.6	7,212	20.9	6,893.33	20.67
06:20	6,666	20.6	6,786	20.9	7,126	20.9	6,859.33	20.80
06:30	6,647	20.6	6,745	20.9	7,091	20.9	6,827.67	20.80
06:40	6,616	20.6	6,706	20.9	7,051	20.9	6,791.00	20.80
06:50	6,553	20.6	6,630	20.9	6,982	20.9	6,721.67	20.80
07:00	6,481	20.6	6,568	20.9	6,936	20.9	6,661.67	20.80
07:10	6,352	20.9	6,499	20.9	6,841	20.9	6,564.00	20.90
07:20	6,277	20.6	6,479	20.9	6,789	20.9	6,515.00	20.80
07:30	6,143	20.6	6,476	20.9	6,731	20.9	6,450.00	20.80
07:40	6,139	20.6	6,498	20.9	6,698	20.9	6,445.00	20.80
07:50	6,124	20.9	6,517	20.9	6,663	20.9	6,434.67	20.90
08:00	6,074	20.6	6,517	20.9	6,648	20.9	6,413.00	20.80

ตารางที่ 3.4 ผลการทดลองกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของกระดาษ จำนวน 45 แผ่น

เวลา (นาทื : วินาที)	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3		ค่าเฉลี่ย	
	CO2	O2	CO2	O2	CO2	O2	CO2	O2
	(พีพีเอ็ม)	(เปอร์เซ็นต์)	(พีพีเอ็ม)	(เปอร์เซ็นต์)	(พีพีเอ็ม)	(เปอร์เซ็นต์)	(พีพีเอ็ม)	(เปอร์เซ็นต์)
00:00	460	21.4	451	21.6	472	21.6	461.00	21.53
00:10	460	21.4	452	21.6	472	21.6	461.33	21.53
00:20	460	21.4	456	21.5	472	21.6	462.67	21.50
00:30	461	21.4	460	21.6	472	21.6	464.33	21.53
00:40	462	21.4	469	21.6	474	21.5	468.33	21.50
00:50	470	21.3	499	21.4	516	21.4	495.00	21.37
01:00	859	21.2	716	21.3	1,025	21.3	866.67	21.27
01:10	1,316	20.9	1,462	20.9	1,636	20.9	1,471.33	20.90
01:20	2,400	20.9	2,777	20.9	2,473	20.9	2,550.00	20.90
01:30	3,314	20.9	3,832	20.9	4,109	20.9	3,751.67	20.90
01:40	5,009	20.6	5,543	20.9	5,350	20.9	5,300.67	20.80
01:50	6,193	20.5	6,687	20.6	7,096	20.6	6,658.67	20.57
02:00	7,306	20.5	8,206	20.6	8,544	20.5	8,018.67	20.53
02:10	8,576	20.4	8,962	20.5	9,343	20.5	8,960.33	20.47
02:20	9,200	20.4	9,450	20.5	10,000	20.5	9,550.00	20.47
02:30	9,850	20.4	9,889	20.5	10,000	20.5	9,913.00	20.47
02:40	10,000	20.3	10,000	20.5	10,000	20.4	10,000.00	20.40
02:50	10,000	20.3	10,000	20.5	10,000	20.4	10,000.00	20.40
03:00	10,000	20.3	10,000	20.4	10,000	20.4	10,000.00	20.37
03:10	10,000	20.3	10,000	20.4	10,000	20.4	10,000.00	20.37
03:20	10,000	20.3	10,000	20.4	10,000	20.4	10,000.00	20.37
03:30	10,000	20.3	10,000	20.4	10,000	20.4	10,000.00	20.37
03:40	10,000	20.3	9,996	20.4	10,000	20.4	9,998.67	20.37
03:50	9,811	20.3	9,904	20.4	10,000	20.4	9,905.00	20.37
04:00	9,733	20.2	9,843	20.4	10,000	20.4	9,858.67	20.33
04:10	9,651	20.3	9,815	20.3	10,000	20.4	9,822.00	20.33
04:20	9,575	20.3	9,843	20.4	10,000	20.4	9,806.00	20.37
04:30	9,539	20.3	9,850	20.5	10,000	20.4	9,796.33	20.40

ตารางที่ 3.4 ผลการทดลองกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของกระดาษ จำนวน 45 แผ่น (ต่อ)

เวลา (นาทื : วินาที)	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3		ค่าเฉลี่ย	
	CO2	O2	CO2	O2	CO2	O2	CO2	O2
	(ฟิฟเอ็ม)	(เปอร์เซ็นต์)	(ฟิฟเอ็ม)	(เปอร์เซ็นต์)	(ฟิฟเอ็ม)	(เปอร์เซ็นต์)	(ฟิฟเอ็ม)	(เปอร์เซ็นต์)
04:40	9,445	20.3	9,815	20.5	10,000	20.5	9,753.33	20.43
04:50	9,328	20.3	9,772	20.5	10,000	20.5	9,700.00	20.43
05:00	9,313	20.4	9,627	20.5	10,000	20.4	9,646.67	20.43
05:10	9,211	20.4	9,482	20.5	10,000	20.4	9,564.33	20.43
05:20	9,172	20.4	9,305	20.5	10,000	20.5	9,492.33	20.47
05:30	9,167	20.4	9,133	20.5	9,960	20.5	9,420.00	20.47
05:40	9,141	20.5	9,011	20.5	9,860	20.5	9,337.33	20.50
05:50	9,076	20.5	8,909	20.6	9,798	20.5	9,261.00	20.53
06:00	8,969	20.5	8,810	20.6	9,720	20.6	9,166.33	20.57
06:10	8,861	20.5	8,723	20.6	9,640	20.6	9,074.67	20.57
06:20	8,735	20.5	8,564	20.6	9,550	20.6	8,949.67	20.57
06:30	8,696	20.4	8,477	20.9	9,337	20.6	8,836.67	20.63
06:40	8,701	20.5	8,361	20.9	9,183	20.9	8,748.33	20.77
06:50	8,666	20.5	8,330	20.9	9,041	20.6	8,679.00	20.67
07:00	8,657	20.5	8,247	20.9	8,919	20.9	8,607.67	20.77
07:10	8,690	20.5	8,221	20.9	8,848	20.9	8,586.33	20.77
07:20	8,703	20.6	8,168	20.9	8,671	20.9	8,514.00	20.80
07:30	8,693	20.9	8,146	20.9	8,569	20.9	8,469.33	20.90
07:40	8,591	20.6	8,073	20.9	8,475	20.9	8,379.67	20.80
07:50	8,503	20.6	8,024	20.9	8,371	20.9	8,299.33	20.80
08:00	8,420	20.6	7,943	20.9	8,299	20.9	8,220.67	20.80

ตารางที่ 3.5 ผลการทดลองกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของไม้ จำนวน 30 ชิ้น

เวลา (นาทื : วินาที)	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3		ค่าเฉลี่ย	
	CO2	O2	CO2	O2	CO2	O2	CO2	O2
	(พีพีเอ็ม)	(เปอร์เซ็นต์)	(พีพีเอ็ม)	(เปอร์เซ็นต์)	(พีพีเอ็ม)	(เปอร์เซ็นต์)	(พีพีเอ็ม)	(เปอร์เซ็นต์)
00:00	466	21.3	475	21.3	436	21.4	459.00	21.33
00:10	464	21.3	479	21.3	438	21.3	460.33	21.30
00:20	447	21.3	484	21.3	441	21.3	457.33	21.30
00:30	449	21.3	489	21.3	442	21.3	460.00	21.30
00:40	455	21.3	492	21.3	446	21.3	464.33	21.30
00:50	459	21.3	497	21.3	452	21.3	469.33	21.30
01:00	467	21.3	499	21.3	465	21.3	477.00	21.30
01:10	478	21.3	502	21.3	483	21.3	487.67	21.30
01:20	547	21.2	508	21.3	512	21.3	522.33	21.27
01:30	631	21.2	521	21.3	602	21.3	584.67	21.27
01:40	775	21.2	541	21.3	659	21.3	658.33	21.27
01:50	891	21.2	566	21.3	774	21.3	743.67	21.27
02:00	1,083	21.2	603	21.3	867	21.2	851.00	21.23
02:10	1,234	21.2	658	21.2	1,051	21.2	981.00	21.20
02:20	1,484	20.9	736	21.2	1,400	20.9	1,206.67	21.00
02:30	1,679	20.9	813	21.2	1,687	20.9	1,393.00	21.00
02:40	1,959	20.9	945	21.2	2,069	20.9	1,657.67	21.00
02:50	2,121	20.9	1,051	21.2	2,284	20.9	1,818.67	21.00
03:00	2,268	20.9	1,208	21.2	2,480	20.9	1,985.33	21.00
03:10	2,452	20.9	1,304	21.2	2,703	20.9	2,153.00	21.00
03:20	2,560	20.9	1,449	20.9	2,823	20.9	2,277.33	20.90
03:30	2,691	20.9	1,578	20.9	2,940	20.9	2,403.00	20.90
03:40	2,749	20.9	1,802	20.9	2,967	20.9	2,506.00	20.90
03:50	2,816	20.9	1,968	20.9	2,973	20.9	2,585.67	20.90
04:00	2,865	20.9	2,211	20.9	2,959	20.9	2,678.33	20.90
04:10	2,894	20.9	2,362	20.9	2,916	20.9	2,724.00	20.90
04:20	2,918	20.9	2,514	20.9	2,883	20.9	2,771.67	20.90
04:30	2,921	20.9	2,716	20.9	2,843	20.9	2,826.67	20.90

ตารางที่ 3.5 ผลการทดลองกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของไม้ จำนวน 30 ขึ้น (ต่อ)

เวลา (นาทื : วินาที)	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3		ค่าเฉลี่ย	
	CO2	O2	CO2	O2	CO2	O2	CO2	O2
	(พีพีเอ็ม)	(เปอร์เซ็นต์)	(พีพีเอ็ม)	(เปอร์เซ็นต์)	(พีพีเอ็ม)	(เปอร์เซ็นต์)	(พีพีเอ็ม)	(เปอร์เซ็นต์)
04:40	2,915	20.9	2,827	20.9	2,831	20.9	2,857.67	20.90
04:50	2,915	20.9	2,958	20.9	2,827	20.9	2,900.00	20.90
05:00	2,916	20.9	3,037	20.9	2,824	20.9	2,925.67	20.90
05:10	2,917	20.9	3,113	20.9	2,829	20.9	2,953.00	20.90
05:20	2,913	20.9	3,179	20.9	2,828	20.9	2,973.33	20.90
05:30	2,903	20.9	3,196	20.9	2,817	20.9	2,972.00	20.90
05:40	2,895	20.9	3,188	20.9	2,802	20.9	2,961.67	20.90
05:50	2,882	20.9	3,174	20.9	2,786	20.9	2,947.33	20.90
06:00	2,871	20.9	3,148	20.9	2,767	20.9	2,928.67	20.90
06:10	2,858	20.9	3,090	20.9	2,757	20.9	2,901.67	20.90
06:20	2,848	20.9	3,078	20.9	2,747	20.9	2,891.00	20.90
06:30	2,841	20.9	3,075	20.9	2,739	20.9	2,885.00	20.90
06:40	2,839	20.9	3,067	20.9	2,720	20.9	2,875.33	20.90
06:50	2,836	20.9	3,057	20.9	2,700	20.9	2,864.33	20.90
07:00	2,838	20.9	3,047	20.9	2,689	20.9	2,858.00	20.90
07:10	2,837	20.9	3,009	20.9	2,683	20.9	2,843.00	20.90
07:20	2,833	20.9	2,980	20.9	2,675	20.9	2,829.33	20.90
07:30	2,822	20.9	2,952	20.9	2,675	20.9	2,816.33	20.90
07:40	2,799	20.9	2,936	20.9	2,679	20.9	2,804.67	20.90
07:50	2,783	20.9	2,911	20.9	2,675	20.9	2,789.67	20.90
08:00	2,763	20.9	2,881	20.9	2,673	20.9	2,772.33	20.90

ตารางที่ 3.6 ผลการทดลองกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของไม้ จำนวน 60 ชิ้น

เวลา (นาทื : วินาที)	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3		ค่าเฉลี่ย	
	CO2 (พีพีเอ็ม)	O2 (เปอร์เซ็นต์)	CO2 (พีพีเอ็ม)	O2 (เปอร์เซ็นต์)	CO2 (พีพีเอ็ม)	O2 (เปอร์เซ็นต์)	CO2 (พีพีเอ็ม)	O2 (เปอร์เซ็นต์)
00:00	459	21.3	453	21.5	468	21.5	460.00	21.43
00:10	462	21.3	455	21.4	471	21.4	462.67	21.37
00:20	465	21.3	459	21.4	469	21.4	464.33	21.37
00:30	468	21.3	462	21.4	467	21.4	465.67	21.37
00:40	469	21.3	464	21.4	468	21.4	467.00	21.37
00:50	471	21.3	467	21.4	474	21.4	470.67	21.37
01:00	480	21.3	475	21.4	486	21.4	480.33	21.37
01:10	506	21.3	496	21.3	584	21.4	528.67	21.33
01:20	626	21.3	552	21.4	677	21.3	618.33	21.33
01:30	768	21.2	628	21.3	847	21.3	747.67	21.27
01:40	878	21.2	738	21.3	1,000	21.3	872.00	21.27
01:50	1,078	21.2	832	21.3	1,239	21.2	1,049.67	21.23
02:00	1,242	21.2	1,052	21.2	1,678	21.2	1,324.00	21.20
02:10	1,540	20.9	1,243	21.2	1,971	20.9	1,584.67	21.00
02:20	1,775	20.9	1,428	21.2	2,441	20.9	1,881.33	21.00
02:30	2,148	20.9	1,718	21.2	2,961	20.9	2,275.67	21.00
02:40	2,370	20.9	1,988	20.9	3,311	20.9	2,556.33	20.90
02:50	2,592	20.9	2,135	20.9	3,802	20.9	2,843.00	20.90
03:00	2,908	20.9	2,307	20.9	4,094	20.9	3,103.00	20.90
03:10	3,089	20.9	2,392	20.9	4,502	20.9	3,327.67	20.90
03:20	3,332	20.9	2,479	20.9	4,735	20.9	3,515.33	20.90
03:30	3,484	20.9	2,520	20.9	4,895	20.9	3,633.00	20.90
03:40	3,729	20.9	2,608	20.9	5,016	20.9	3,784.33	20.90
03:50	3,904	20.9	2,667	20.9	5,034	20.9	3,868.33	20.90
04:00	4,119	20.9	2,747	20.9	5,055	20.9	3,973.67	20.90
04:10	4,289	20.9	2,852	20.9	5,058	20.9	4,066.33	20.90
04:20	4,531	20.9	2,953	20.9	5,052	20.9	4,178.67	20.90
04:30	4,667	20.9	3,128	20.9	5,033	20.9	4,276.00	20.90

ตารางที่ 3.6 ผลการทดลองกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของไม้ จำนวน 60 ขึ้น (ต่อ)

เวลา (นาทื : วินาที)	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3		ค่าเฉลี่ย	
	CO2 (พีพีเอ็ม)	O2 (เปอร์เซ็นต์)	CO2 (พีพีเอ็ม)	O2 (เปอร์เซ็นต์)	CO2 (พีพีเอ็ม)	O2 (เปอร์เซ็นต์)	CO2 (พีพีเอ็ม)	O2 (เปอร์เซ็นต์)
04:40	4,838	20.9	3,242	20.9	5,002	20.9	4,360.67	20.90
04:50	4,902	20.9	3,407	20.9	4,966	20.9	4,425.00	20.90
05:00	4,950	20.9	3,528	20.9	4,911	20.9	4,463.00	20.90
05:10	4,999	20.9	3,763	20.9	4,866	20.9	4,542.67	20.90
05:20	5,012	20.9	3,894	20.9	4,798	20.9	4,568.00	20.90
05:30	4,992	20.9	4,077	20.9	4,749	20.9	4,606.00	20.90
05:40	4,968	20.9	4,214	20.9	4,720	20.9	4,634.00	20.90
05:50	4,904	20.9	4,395	20.9	4,723	20.9	4,674.00	20.90
06:00	4,848	20.9	4,527	20.9	4,745	20.9	4,706.67	20.90
06:10	4,806	20.9	4,700	20.9	4,799	20.9	4,768.33	20.90
06:20	4,787	20.9	4,811	20.9	4,819	20.9	4,805.67	20.90
06:30	4,781	20.9	4,909	20.9	4,815	20.9	4,835.00	20.90
06:40	4,767	20.9	5,017	20.9	4,805	20.9	4,863.00	20.90
06:50	4,747	20.9	5,068	20.9	4,790	20.9	4,868.33	20.90
07:00	4,726	20.9	5,116	20.9	4,758	20.9	4,866.67	20.90
07:10	4,719	20.9	5,129	20.9	4,732	20.9	4,860.00	20.90
07:20	4,724	20.9	5,102	20.9	4,635	20.9	4,820.33	20.90
07:30	4,726	20.9	5,098	20.9	4,558	20.9	4,794.00	20.90
07:40	4,710	20.9	5,087	20.9	4,490	20.9	4,762.33	20.90
07:50	4,687	20.9	5,046	20.9	4,371	20.9	4,701.33	20.90
08:00	4,669	20.9	5,020	20.9	4,289	20.9	4,659.33	20.90

ตารางที่ 3.7 ผลการทดลองกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของไม้ จำนวน 90 ชิ้น

เวลา (นาทื : วินาที)	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3		ค่าเฉลี่ย	
	CO2 (พีพีเอ็ม)	O2 (เปอร์เซ็นต์)	CO2 (พีพีเอ็ม)	O2 (เปอร์เซ็นต์)	CO2 (พีพีเอ็ม)	O2 (เปอร์เซ็นต์)	CO2 (พีพีเอ็ม)	O2 (เปอร์เซ็นต์)
00:00	442	21.5	535	21.3	450	21.5	475.67	21.43
00:10	442	21.5	537	21.3	450	21.5	476.33	21.43
00:20	442	21.5	536	21.3	450	21.5	476.00	21.43
00:30	443	21.5	535	21.3	451	21.5	476.33	21.43
00:40	445	21.5	534	21.3	451	21.5	476.67	21.43
00:50	454	21.5	531	21.3	450	21.5	478.33	21.43
01:00	514	21.4	531	21.3	450	21.5	498.33	21.40
01:10	674	21.4	547	21.3	453	21.5	558.00	21.40
01:20	832	21.3	623	21.3	465	21.4	640.00	21.33
01:30	1,155	21.3	830	21.3	594	21.4	859.67	21.33
01:40	1,393	21.3	981	21.2	717	21.4	1,030.33	21.30
01:50	1,779	21.2	1,137	21.2	1,010	21.3	1,308.67	21.23
02:00	2,057	21.2	1,414	21.2	1,475	21.2	1,648.67	21.20
02:10	2,578	20.9	1,639	20.9	1,921	20.9	2,046.00	20.90
02:20	2,950	20.9	1,934	20.9	2,770	20.9	2,551.33	20.90
02:30	3,530	20.9	2,139	20.9	3,457	20.9	3,042.00	20.90
02:40	3,909	20.9	2,448	20.9	4,563	20.9	3,640.00	20.90
02:50	4,390	20.9	2,667	20.9	5,326	20.9	4,127.67	20.90
03:00	4,752	20.9	3,044	20.9	6,052	20.9	4,616.00	20.90
03:10	5,356	20.9	3,413	20.9	6,883	20.9	5,217.33	20.90
03:20	5,786	20.9	3,673	20.9	7,267	20.9	5,575.33	20.90
03:30	6,188	20.9	3,930	20.9	7,737	20.6	5,951.67	20.80
03:40	6,787	20.6	4,332	20.9	7,936	20.6	6,351.67	20.70
03:50	7,142	20.5	4,586	20.9	8,110	20.6	6,612.67	20.67
04:00	7,715	20.5	4,950	20.9	8,106	20.6	6,923.67	20.67
04:10	8,102	20.5	5,186	20.9	8,103	20.6	7,130.33	20.67
04:20	8,301	20.5	5,483	20.9	8,072	20.6	7,285.33	20.67
04:30	8,487	20.5	5,924	20.9	8,033	20.6	7,481.33	20.67

ตารางที่ 3.7 ผลการทดลองกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของไม้ จำนวน 90 ขึ้น (ต่อ)

เวลา (นาทื : วินาที)	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3		ค่าเฉลี่ย	
	CO2 (พีพีเอ็ม)	O2 (เปอร์เซ็นต์)	CO2 (พีพีเอ็ม)	O2 (เปอร์เซ็นต์)	CO2 (พีพีเอ็ม)	O2 (เปอร์เซ็นต์)	CO2 (พีพีเอ็ม)	O2 (เปอร์เซ็นต์)
04:40	8,548	20.5	6,342	20.6	8,010	20.5	7,633.33	20.53
04:50	8,630	20.5	6,597	20.6	7,997	20.6	7,741.33	20.57
05:00	8,632	20.5	6,951	20.6	7,963	20.6	7,848.67	20.57
05:10	8,646	20.5	7,177	20.5	7,916	20.6	7,913.00	20.53
05:20	8,639	20.5	7,529	20.5	7,880	20.6	8,016.00	20.53
05:30	8,614	20.5	7,730	20.5	7,834	20.6	8,059.33	20.53
05:40	8,568	20.5	7,908	20.5	7,777	20.6	8,084.33	20.53
05:50	8,534	20.6	7,977	20.5	7,730	20.6	8,080.33	20.57
06:00	8,429	20.6	8,010	20.5	7,671	20.6	8,036.67	20.57
06:10	8,338	20.6	8,077	20.5	7,606	20.9	8,007.00	20.67
06:20	8,090	20.6	8,123	20.5	7,447	20.9	7,886.67	20.67
06:30	7,918	20.6	8,171	20.5	7,219	20.9	7,769.33	20.67
06:40	7,756	20.6	8,176	20.5	7,133	20.9	7,688.33	20.67
06:50	7,641	20.9	8,179	20.5	7,057	20.9	7,625.67	20.77
07:00	7,497	20.9	8,168	20.5	6,937	20.9	7,534.00	20.77
07:10	7,417	20.9	8,137	20.5	6,874	20.9	7,476.00	20.77
07:20	7,323	20.9	8,119	20.5	6,754	20.9	7,398.67	20.77
07:30	7,226	20.9	8,111	20.5	6,675	20.9	7,337.33	20.77
07:40	7,181	20.9	8,105	20.5	6,573	20.9	7,286.33	20.77
07:50	7,078	20.9	8,093	20.5	6,519	20.9	7,230.00	20.77
08:00	7,026	20.9	8,079	20.5	6,480	20.9	7,195.00	20.77

ตารางที่ 3.8 ผลการทดลองกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของผ้า จำนวน 30 กรัม

เวลา (นาทื : วินาที)	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3		ค่าเฉลี่ย	
	CO2	O2	CO2	O2	CO2	O2	CO2	O2
	(พีพีเอ็ม)	(เปอร์เซ็นต์)	(พีพีเอ็ม)	(เปอร์เซ็นต์)	(พีพีเอ็ม)	(เปอร์เซ็นต์)	(พีพีเอ็ม)	(เปอร์เซ็นต์)
00:00	513	21.4	488	21.5	464	21.5	488.33	21.47
00:10	514	21.4	500	21.5	459	21.5	491.00	21.47
00:20	516	21.4	492	21.5	460	21.5	489.33	21.47
00:30	517	21.4	515	21.4	460	21.5	497.33	21.43
00:40	519	21.4	517	21.4	461	21.5	499.00	21.43
00:50	521	21.4	525	21.4	465	21.4	503.67	21.40
01:00	532	21.4	599	21.4	473	21.4	534.67	21.40
01:10	628	21.4	741	21.3	537	21.4	635.33	21.37
01:20	695	21.4	839	21.3	606	21.4	713.33	21.37
01:30	792	21.3	929	21.3	700	21.4	807.00	21.33
01:40	856	21.3	1,043	21.3	759	21.4	886.00	21.33
01:50	933	21.3	1,117	21.3	845	21.4	965.00	21.33
02:00	1,012	21.3	1,221	21.3	900	21.4	1,044.33	21.33
02:10	1,061	21.3	1,285	21.3	972	21.3	1,106.00	21.30
02:20	1,146	21.3	1,353	21.3	1,010	21.3	1,169.67	21.30
02:30	1,204	21.3	1,392	21.3	1,058	21.3	1,218.00	21.30
02:40	1,256	21.3	1,426	21.3	1,082	21.3	1,254.67	21.30
02:50	1,325	21.3	1,449	21.3	1,111	21.3	1,295.00	21.30
03:00	1,358	21.3	1,489	21.3	1,146	21.3	1,331.00	21.30
03:10	1,401	21.3	1,507	21.3	1,158	21.3	1,355.33	21.30
03:20	1,421	21.3	1,533	21.3	1,182	21.3	1,378.67	21.30
03:30	1,441	21.3	1,547	21.3	1,193	21.3	1,393.67	21.30
03:40	1,460	21.3	1,558	21.3	1,212	21.3	1,410.00	21.30
03:50	1,469	21.3	1,560	21.3	1,240	21.3	1,423.00	21.30
04:00	1,477	21.3	1,579	21.3	1,256	21.3	1,437.33	21.30
04:10	1,512	21.3	1,583	21.3	1,287	21.3	1,460.67	21.30
04:20	1,531	21.3	1,586	21.3	1,300	21.3	1,472.33	21.30
04:30	1,557	21.3	1,591	21.3	1,313	21.3	1,487.00	21.30

ตารางที่ 3.8 ผลการทดลองกรณีการเกิดอค์คิย์จากการลุกไหม้ของผ้า จำนวน 30 กรัม (ต่อ)

เวลา (นาทื : วินาที)	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3		ค่าเฉลี่ย	
	CO2 (พีพีเอ็ม)	O2 (เปอร์เซ็นต์)	CO2 (พีพีเอ็ม)	O2 (เปอร์เซ็นต์)	CO2 (พีพีเอ็ม)	O2 (เปอร์เซ็นต์)	CO2 (พีพีเอ็ม)	O2 (เปอร์เซ็นต์)
04:40	1,579	21.3	1,593	21.3	1,333	21.3	1,501.67	21.30
04:50	1,593	21.3	1,592	21.3	1,351	21.3	1,512.00	21.30
05:00	1,602	21.3	1,594	21.3	1,374	21.3	1,523.33	21.30
05:10	1,606	21.3	1,598	21.3	1,400	21.3	1,534.67	21.30
05:20	1,607	21.3	1,598	21.3	1,432	21.3	1,545.67	21.30
05:30	1,605	21.3	1,600	21.3	1,453	21.3	1,552.67	21.30
05:40	1,595	21.3	1,602	21.2	1,473	21.3	1,556.67	21.27
05:50	1,594	21.3	1,609	21.2	1,480	21.3	1,561.00	21.27
06:00	1,601	21.3	1,614	21.2	1,503	21.3	1,572.67	21.27
06:10	1,606	21.3	1,628	21.2	1,519	21.3	1,584.33	21.27
06:20	1,621	21.3	1,640	21.2	1,540	21.3	1,600.33	21.27
06:30	1,634	21.2	1,658	21.2	1,544	21.3	1,612.00	21.23
06:40	1,640	21.2	1,666	21.2	1,551	21.3	1,619.00	21.23
06:50	1,652	21.2	1,673	21.3	1,545	21.3	1,623.33	21.27
07:00	1,659	21.2	1,680	21.3	1,538	21.3	1,625.67	21.27
07:10	1,663	21.2	1,685	21.3	1,528	21.3	1,625.33	21.27
07:20	1,665	21.2	1,683	21.3	1,516	21.3	1,621.33	21.27
07:30	1,663	21.2	1,681	21.3	1,512	21.3	1,618.67	21.27
07:40	1,657	21.2	1,676	21.3	1,506	21.3	1,613.00	21.27
07:50	1,655	21.3	1,668	21.3	1,503	21.3	1,608.67	21.30
08:00	1,643	21.3	1,666	21.3	1,501	21.3	1,603.33	21.30

ตารางที่ 3.9 ผลการทดลองกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของผ้า จำนวน 60 กรัม

เวลา (นาทื : วินาที)	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3		ค่าเฉลี่ย	
	CO2	O2	CO2	O2	CO2	O2	CO2	O2
	(พีพีเอ็ม)	(เปอร์เซ็นต์)	(พีพีเอ็ม)	(เปอร์เซ็นต์)	(พีพีเอ็ม)	(เปอร์เซ็นต์)	(พีพีเอ็ม)	(เปอร์เซ็นต์)
00:00	473	21.3	480	21.4	493	21.6	482.00	21.43
00:10	478	21.3	483	21.4	497	21.5	486.00	21.40
00:20	484	21.3	487	21.4	505	21.5	492.00	21.40
00:30	487	21.3	489	21.4	505	21.4	493.67	21.37
00:40	490	21.3	492	21.4	505	21.4	495.67	21.37
00:50	494	21.3	497	21.4	506	21.4	499.00	21.37
01:00	499	21.3	502	21.3	512	21.4	504.33	21.33
01:10	503	21.3	518	21.3	525	21.4	515.33	21.33
01:20	511	21.3	632	21.3	552	21.4	565.00	21.33
01:30	521	21.3	764	21.3	688	21.3	657.67	21.30
01:40	595	21.3	964	21.3	804	21.3	787.67	21.30
01:50	679	21.3	1,091	21.3	1,002	21.3	924.00	21.30
02:00	769	21.2	1,277	21.3	1,146	21.3	1,064.00	21.27
02:10	921	21.2	1,379	21.2	1,355	21.2	1,218.33	21.20
02:20	1,021	21.2	1,495	21.2	1,483	21.2	1,333.00	21.20
02:30	1,169	21.2	1,643	21.2	1,589	21.2	1,467.00	21.20
02:40	1,261	21.2	1,733	21.2	1,714	21.2	1,569.33	21.20
02:50	1,385	20.9	1,847	21.2	1,776	21.2	1,669.33	21.10
03:00	1,524	20.9	1,926	21.2	1,852	21.2	1,767.33	21.10
03:10	1,614	20.9	2,020	21.2	1,901	21.2	1,845.00	21.10
03:20	1,744	20.9	2,093	21.2	1,960	21.2	1,932.33	21.10
03:30	1,825	20.9	2,190	20.9	2,001	21.2	2,005.33	21.00
03:40	1,917	20.9	2,246	20.9	2,065	21.2	2,076.00	21.00
03:50	2,071	20.9	2,332	20.9	2,096	20.9	2,166.33	20.90
04:00	2,163	20.9	2,392	20.9	2,152	20.9	2,235.67	20.90
04:10	2,343	20.9	2,468	20.9	2,190	20.9	2,333.67	20.90
04:20	2,461	20.9	2,522	20.9	2,236	20.9	2,406.33	20.90
04:30	2,620	20.9	2,598	20.9	2,271	20.9	2,496.33	20.90

ตารางที่ 3.9 ผลการทดลองกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของผ้า จำนวน 60 กรัม (ต่อ)

เวลา (นาทื : วินาที)	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3		ค่าเฉลี่ย	
	CO2	O2	CO2	O2	CO2	O2	CO2	O2
	(พีพีเอ็ม)	(เปอร์เซ็นต์)	(พีพีเอ็ม)	(เปอร์เซ็นต์)	(พีพีเอ็ม)	(เปอร์เซ็นต์)	(พีพีเอ็ม)	(เปอร์เซ็นต์)
04:40	2,712	20.9	2,656	20.9	2,309	20.9	2,559.00	20.90
04:50	2,824	20.9	2,708	20.9	2,344	20.9	2,625.33	20.90
05:00	2,889	20.9	2,792	20.9	2,386	20.9	2,689.00	20.90
05:10	2,987	20.9	2,833	20.9	2,460	20.9	2,760.00	20.90
05:20	3,050	20.9	2,903	20.9	2,482	20.9	2,811.67	20.90
05:30	3,148	20.9	2,933	20.9	2,530	20.9	2,870.33	20.90
05:40	3,198	20.9	2,968	20.9	2,573	20.9	2,913.00	20.90
05:50	3,251	20.9	3,010	20.9	2,601	20.9	2,954.00	20.90
06:00	3,288	20.9	3,037	20.9	2,652	20.9	2,992.33	20.90
06:10	3,344	20.9	3,086	20.9	2,683	20.9	3,037.67	20.90
06:20	3,389	20.9	3,127	20.9	2,706	20.9	3,074.00	20.90
06:30	3,412	20.9	3,161	20.9	2,746	20.9	3,106.33	20.90
06:40	3,455	20.9	3,204	20.9	2,776	20.9	3,145.00	20.90
06:50	3,485	20.9	3,229	20.9	2,820	20.9	3,178.00	20.90
07:00	3,508	20.9	3,286	20.9	2,840	20.9	3,211.33	20.90
07:10	3,520	20.9	3,326	20.9	2,874	20.9	3,240.00	20.90
07:20	3,528	20.9	3,356	20.9	2,897	20.9	3,260.33	20.90
07:30	3,515	20.9	3,386	20.9	2,936	20.9	3,279.00	20.90
07:40	3,514	20.9	3,410	20.9	2,951	20.9	3,291.67	20.90
07:50	3,509	20.9	3,415	20.9	3,002	20.9	3,308.67	20.90
08:00	3,510	20.9	3,418	20.9	3,039	20.9	3,322.33	20.90

ตารางที่ 3.10 ผลการทดลองกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของผ้า จำนวน 90 กรัม

เวลา (นาทื : วินาที)	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3		ค่าเฉลี่ย	
	CO2 (พีพีเอ็ม)	O2 (เปอร์เซ็นต์)	CO2 (พีพีเอ็ม)	O2 (เปอร์เซ็นต์)	CO2 (พีพีเอ็ม)	O2 (เปอร์เซ็นต์)	CO2 (พีพีเอ็ม)	O2 (เปอร์เซ็นต์)
00:00	479	21.4	467	21.6	445	21.7	463.67	21.57
00:10	480	21.5	472	21.5	448	21.6	466.67	21.53
00:20	481	21.4	478	21.5	454	21.6	471.00	21.50
00:30	481	21.4	484	21.5	460	21.5	475.00	21.47
00:40	481	21.4	488	21.5	466	21.5	478.33	21.47
00:50	481	21.4	496	21.5	472	21.5	483.00	21.47
01:00	483	21.4	502	21.5	487	21.5	490.67	21.47
01:10	487	21.4	511	21.4	551	21.4	516.33	21.40
01:20	575	21.4	544	21.4	687	21.4	602.00	21.40
01:30	689	21.3	623	21.4	784	21.4	698.67	21.37
01:40	867	21.3	764	21.4	942	21.4	857.67	21.37
01:50	1,064	21.3	868	21.3	1,048	21.4	993.33	21.33
02:00	1,215	21.3	1,046	21.3	1,212	21.3	1,157.67	21.30
02:10	1,365	21.2	1,180	21.3	1,316	21.3	1,287.00	21.27
02:20	1,601	21.2	1,371	21.3	1,409	21.3	1,460.33	21.27
02:30	1,740	21.2	1,485	21.3	1,536	21.3	1,587.00	21.27
02:40	1,937	21.2	1,671	21.2	1,604	21.3	1,737.33	21.23
02:50	2,052	21.2	1,782	21.2	1,700	21.3	1,844.67	21.23
03:00	2,150	20.9	1,937	21.2	1,766	21.3	1,951.00	21.13
03:10	2,278	20.9	2,052	21.2	1,881	21.3	2,070.33	21.13
03:20	2,389	20.9	2,194	21.2	1,952	21.2	2,178.33	21.10
03:30	2,492	20.9	2,291	20.9	2,056	21.2	2,279.67	21.00
03:40	2,633	20.9	2,392	20.9	2,166	21.2	2,397.00	21.00
03:50	2,720	20.9	2,550	20.9	2,226	21.2	2,498.67	21.00
04:00	2,849	20.9	2,633	20.9	2,301	21.2	2,594.33	21.00
04:10	2,935	20.9	2,762	20.9	2,416	21.2	2,704.33	21.00
04:20	3,045	20.9	2,874	20.9	2,493	20.9	2,804.00	20.90
04:30	3,115	20.9	2,949	20.9	2,612	20.9	2,892.00	20.90

ตารางที่ 3.10 ผลการทดลองกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของผ้า จำนวน 90 กรัม (ต่อ)

เวลา (นาทื : วินาที)	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3		ค่าเฉลี่ย	
	CO2 (พีพีเอ็ม)	O2 (เปอร์เซ็นต์)	CO2 (พีพีเอ็ม)	O2 (เปอร์เซ็นต์)	CO2 (พีพีเอ็ม)	O2 (เปอร์เซ็นต์)	CO2 (พีพีเอ็ม)	O2 (เปอร์เซ็นต์)
04:40	3,168	20.9	3,045	20.9	2,690	20.9	2,967.67	20.90
04:50	3,254	20.9	3,113	20.9	2,764	20.9	3,043.67	20.90
05:00	3,337	20.9	3,172	20.9	2,881	20.9	3,130.00	20.90
05:10	3,453	20.9	3,227	20.9	2,989	20.9	3,223.00	20.90
05:20	3,521	20.9	3,290	20.9	3,068	20.9	3,293.00	20.90
05:30	3,609	20.9	3,379	20.9	3,167	20.9	3,385.00	20.90
05:40	3,648	20.9	3,427	20.9	3,225	20.9	3,433.33	20.90
05:50	3,726	20.9	3,483	20.9	3,298	20.9	3,502.33	20.90
06:00	3,783	20.9	3,511	20.9	3,349	20.9	3,547.67	20.90
06:10	3,862	20.9	3,570	20.9	3,428	20.9	3,620.00	20.90
06:20	3,897	20.9	3,621	20.9	3,491	20.9	3,669.67	20.90
06:30	3,946	20.9	3,679	20.9	3,557	20.9	3,727.33	20.90
06:40	3,968	20.9	3,726	20.9	3,624	20.9	3,772.67	20.90
06:50	4,015	20.9	3,759	20.9	3,652	20.9	3,808.67	20.90
07:00	4,045	20.9	3,767	20.9	3,721	20.9	3,844.33	20.90
07:10	4,069	20.9	3,805	20.9	3,778	20.9	3,884.00	20.90
07:20	4,096	20.9	3,828	20.9	3,839	20.9	3,921.00	20.90
07:30	4,123	20.9	3,869	20.9	3,863	20.9	3,951.67	20.90
07:40	4,151	20.9	3,903	20.9	3,876	20.9	3,976.67	20.90
07:50	4,194	20.9	3,953	20.9	3,888	20.9	4,011.67	20.90
08:00	4,217	20.9	4,007	20.9	3,912	20.9	4,045.33	20.90

ตารางที่ 3.11 ผลการทดลองกรณีการเกิดอค์คิย์จากการลุกไหม้ของพลาสติก จำนวน 30 กรัม

เวลา (นาทื : วินาที)	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3		ค่าเฉลี่ย	
	CO2 (พีพีเอ็ม)	O2 (เปอร์เซ็นต์)	CO2 (พีพีเอ็ม)	O2 (เปอร์เซ็นต์)	CO2 (พีพีเอ็ม)	O2 (เปอร์เซ็นต์)	CO2 (พีพีเอ็ม)	O2 (เปอร์เซ็นต์)
00:00	630	21.4	582	21.4	517	21.6	576.33	21.47
00:10	626	21.4	584	21.4	538	21.5	582.67	21.43
00:20	621	21.4	586	21.4	521	21.5	576.00	21.43
00:30	620	21.4	589	21.4	527	21.5	578.67	21.43
00:40	619	21.4	602	21.4	532	21.5	584.33	21.43
00:50	619	21.4	685	21.4	565	21.5	623.00	21.43
01:00	628	21.4	890	21.3	754	21.4	757.33	21.37
01:10	780	21.4	1,008	21.3	920	21.3	902.67	21.33
01:20	913	21.4	1,193	21.3	1,159	21.3	1,088.33	21.33
01:30	1,112	21.3	1,307	21.3	1,301	21.3	1,240.00	21.30
01:40	1,250	21.3	1,450	21.3	1,468	21.3	1,389.33	21.30
01:50	1,385	21.3	1,538	21.3	1,577	21.3	1,500.00	21.30
02:00	1,579	21.3	1,651	21.3	1,714	21.2	1,648.00	21.27
02:10	1,712	21.2	1,711	21.3	1,786	21.2	1,736.33	21.23
02:20	1,884	21.2	1,781	21.3	1,806	21.2	1,823.67	21.23
02:30	2,001	21.2	1,817	21.3	1,956	21.2	1,924.67	21.23
02:40	2,175	21.2	1,851	21.2	2,068	21.2	2,031.33	21.20
02:50	2,270	21.2	1,913	21.2	2,147	21.2	2,110.00	21.20
03:00	2,365	21.2	1,940	21.2	2,235	21.2	2,180.00	21.20
03:10	2,404	21.2	1,970	21.2	2,292	21.2	2,222.00	21.20
03:20	2,467	20.9	1,990	21.2	2,363	20.9	2,273.33	21.00
03:30	2,506	20.9	2,024	21.2	2,394	20.9	2,308.00	21.00
03:40	2,546	20.9	2,051	21.2	2,431	20.9	2,342.67	21.00
03:50	2,564	20.9	2,088	21.2	2,470	20.9	2,374.00	21.00
04:00	2,587	20.9	2,110	21.2	2,507	20.9	2,401.33	21.00
04:10	2,608	20.9	2,117	21.2	2,534	20.9	2,419.67	21.00
04:20	2,607	20.9	2,132	21.2	2,589	20.9	2,442.67	21.00
04:30	2,639	20.9	2,157	21.2	2,598	20.9	2,464.67	21.00

ตารางที่ 3.11 ผลการทดลองกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของพลาสติก จำนวน 30 กรัม (ต่อ)

เวลา (นาทื : วินาที)	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3		ค่าเฉลี่ย	
	CO2 (ฟิฟเอ็ม)	O2 (เปอร์เซ็นต์)	CO2 (ฟิฟเอ็ม)	O2 (เปอร์เซ็นต์)	CO2 (ฟิฟเอ็ม)	O2 (เปอร์เซ็นต์)	CO2 (ฟิฟเอ็ม)	O2 (เปอร์เซ็นต์)
04:40	2,669	20.9	2,168	21.2	2,631	20.9	2,489.33	21.00
04:50	2,701	20.9	2,192	21.2	2,640	20.9	2,511.00	21.00
05:00	2,710	20.9	2,214	21.2	2,647	20.9	2,523.67	21.00
05:10	2,736	20.9	2,249	21.2	2,661	20.9	2,548.67	21.00
05:20	2,741	20.9	2,270	21.2	2,666	20.9	2,559.00	21.00
05:30	2,757	20.9	2,295	21.2	2,682	20.9	2,578.00	21.00
05:40	2,748	20.9	2,298	21.2	2,684	20.9	2,576.67	21.00
05:50	2,740	20.9	2,299	21.2	2,677	20.9	2,572.00	21.00
06:00	2,726	20.9	2,303	21.2	2,658	20.9	2,562.33	21.00
06:10	2,713	20.9	2,293	21.2	2,648	20.9	2,551.33	21.00
06:20	2,715	20.9	2,291	21.2	2,658	20.9	2,554.67	21.00
06:30	2,719	20.9	2,275	21.2	2,647	20.9	2,547.00	21.00
06:40	2,719	20.9	2,266	21.2	2,648	20.9	2,544.33	21.00
06:50	2,718	20.9	2,259	21.2	2,642	20.9	2,539.67	21.00
07:00	2,716	20.9	2,260	21.2	2,634	20.9	2,536.67	21.00
07:10	2,705	20.9	2,258	21.2	2,631	20.9	2,531.33	21.00
07:20	2,695	20.9	2,252	21.2	2,628	20.9	2,525.00	21.00
07:30	2,687	20.9	2,250	21.2	2,626	20.9	2,521.00	21.00
07:40	2,681	20.9	2,244	21.2	2,625	20.9	2,516.67	21.00
07:50	2,663	20.9	2,233	21.2	2,616	20.9	2,504.00	21.00
08:00	2,646	20.9	2,227	21.2	2,603	20.9	2,492.00	21.00

ตารางที่ 3.12 ผลการทดลองกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของพลาสติก จำนวน 60 กรัม

เวลา (นาทื : วินาที)	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3		ค่าเฉลี่ย	
	CO2 (พีพีเอ็ม)	O2 (เปอร์เซ็นต์)	CO2 (พีพีเอ็ม)	O2 (เปอร์เซ็นต์)	CO2 (พีพีเอ็ม)	O2 (เปอร์เซ็นต์)	CO2 (พีพีเอ็ม)	O2 (เปอร์เซ็นต์)
00:00	600	21.6	558	21.4	600	21.4	586.00	21.47
00:10	584	21.5	559	21.4	574	21.4	572.33	21.43
00:20	578	21.4	560	21.4	575	21.4	571.00	21.40
00:30	591	21.4	563	21.4	578	21.4	577.33	21.40
00:40	596	21.4	578	21.4	589	21.4	587.67	21.40
00:50	615	21.4	648	21.4	600	21.4	621.00	21.40
01:00	679	21.4	868	21.4	662	21.4	736.33	21.40
01:10	817	21.3	1,032	21.3	724	21.4	857.67	21.33
01:20	943	21.3	1,270	21.3	798	21.4	1,003.67	21.33
01:30	1,187	21.3	1,405	21.3	936	21.3	1,176.00	21.30
01:40	1,376	21.2	1,611	21.2	1,049	21.3	1,345.33	21.23
01:50	1,660	21.2	1,717	21.2	1,251	21.3	1,542.67	21.23
02:00	1,846	20.9	1,810	21.2	1,408	21.2	1,688.00	21.10
02:10	2,115	20.9	1,940	21.2	1,676	21.2	1,910.33	21.10
02:20	2,256	20.9	2,009	21.2	1,834	21.2	2,033.00	21.10
02:30	2,402	20.9	2,124	21.2	2,066	21.2	2,197.33	21.10
02:40	2,644	20.9	2,197	21.2	2,194	20.9	2,345.00	21.00
02:50	2,857	20.9	2,288	20.9	2,378	20.9	2,507.67	20.90
03:00	2,972	20.9	2,344	20.9	2,479	20.9	2,598.33	20.90
03:10	3,142	20.9	2,420	20.9	2,607	20.9	2,723.00	20.90
03:20	3,234	20.9	2,484	20.9	2,684	20.9	2,800.67	20.90
03:30	3,306	20.9	2,514	20.9	2,800	20.9	2,873.33	20.90
03:40	3,370	20.9	2,545	20.9	2,865	20.9	2,926.67	20.90
03:50	3,435	20.9	2,603	20.9	2,990	20.9	3,009.33	20.90
04:00	3,538	20.9	2,653	20.9	3,073	20.9	3,088.00	20.90
04:10	3,596	20.9	2,702	20.9	3,125	20.9	3,141.00	20.90
04:20	3,666	20.9	2,759	20.9	3,211	20.9	3,212.00	20.90
04:30	3,722	20.9	2,787	20.9	3,252	20.9	3,253.67	20.90

ตารางที่ 3.12 ผลการทดลองกรณีการเกิดอค์คิย์จากการลุกไหม้ของพลาสติก จำนวน 60 กรัม (ต่อ)

เวลา (นาทื : วินาที)	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3		ค่าเฉลี่ย	
	CO2	O2	CO2	O2	CO2	O2	CO2	O2
	(พีพีเอ็ม)	(เปอร์เซ็นต์)	(พีพีเอ็ม)	(เปอร์เซ็นต์)	(พีพีเอ็ม)	(เปอร์เซ็นต์)	(พีพีเอ็ม)	(เปอร์เซ็นต์)
04:40	3,806	20.9	2,839	20.9	3,294	20.9	3,313.00	20.90
04:50	3,865	20.9	2,862	20.9	3,313	20.9	3,346.67	20.90
05:00	3,943	20.9	2,881	20.9	3,357	20.9	3,393.67	20.90
05:10	4,003	20.9	2,928	20.9	3,385	20.9	3,438.67	20.90
05:20	4,090	20.9	2,966	20.9	3,408	20.9	3,488.00	20.90
05:30	4,125	20.9	2,986	20.9	3,413	20.9	3,508.00	20.90
05:40	4,191	20.9	2,996	20.9	3,434	20.9	3,540.33	20.90
05:50	4,207	20.9	3,048	20.9	3,470	20.9	3,575.00	20.90
06:00	4,212	20.9	3,085	20.9	3,533	20.9	3,610.00	20.90
06:10	4,207	20.9	3,149	20.9	3,542	20.9	3,632.67	20.90
06:20	4,191	20.9	3,188	20.9	3,555	20.9	3,644.67	20.90
06:30	4,184	20.9	3,220	20.9	3,559	20.9	3,654.33	20.90
06:40	4,159	20.9	3,239	20.9	3,561	20.9	3,653.00	20.90
06:50	4,125	20.9	3,241	20.9	3,558	20.9	3,641.33	20.90
07:00	4,114	20.9	3,235	20.9	3,557	20.9	3,635.33	20.90
07:10	4,095	20.9	3,231	20.9	3,551	20.9	3,625.67	20.90
07:20	4,074	20.9	3,227	20.9	3,552	20.9	3,617.67	20.90
07:30	4,058	20.9	3,224	20.9	3,561	20.9	3,614.33	20.90
07:40	4,044	20.9	3,216	20.9	3,563	20.9	3,607.67	20.90
07:50	4,014	20.9	3,209	20.9	3,564	20.9	3,595.67	20.90
08:00	3,983	20.9	3,195	20.9	3,562	20.9	3,580.00	20.90

ตารางที่ 3.13 ผลการทดลองกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของพลาสติก จำนวน 90 กรัม

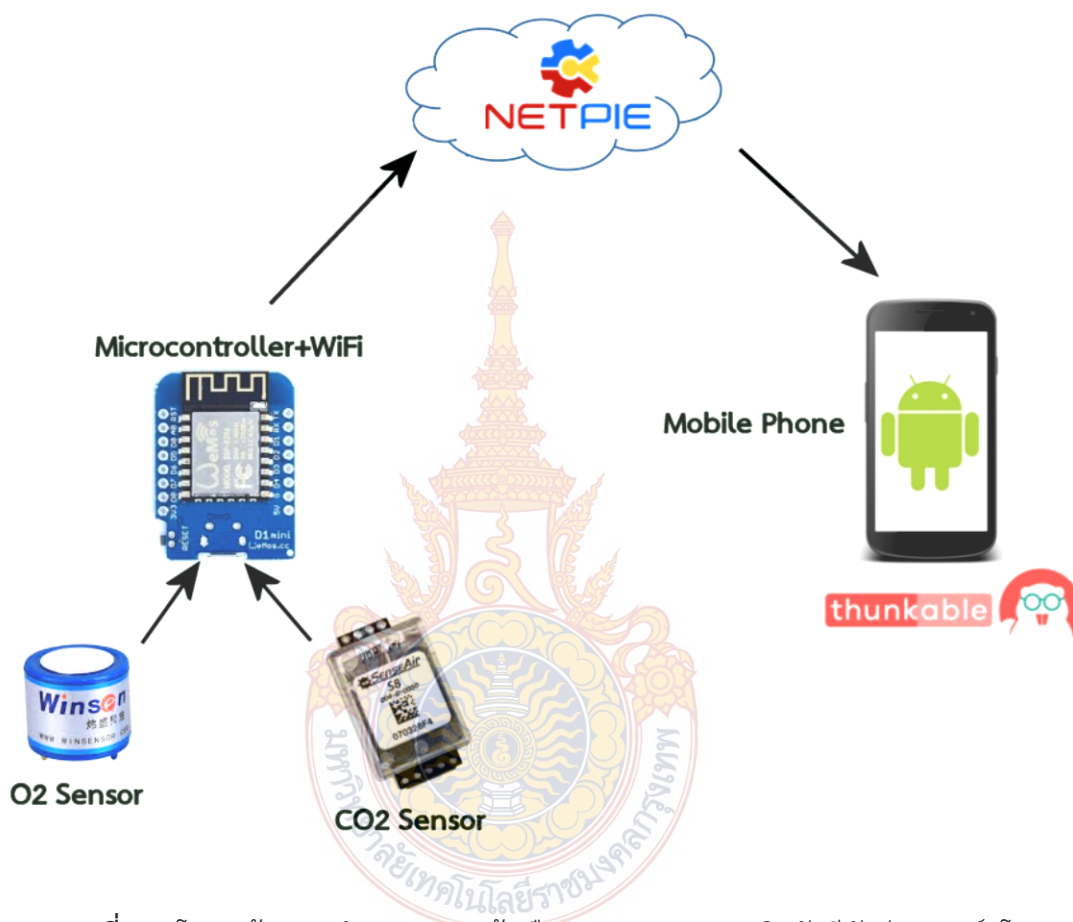
เวลา (นาทื : วินาที)	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3		ค่าเฉลี่ย	
	CO2 (พีพีเอ็ม)	O2 (เปอร์เซ็นต์)	CO2 (พีพีเอ็ม)	O2 (เปอร์เซ็นต์)	CO2 (พีพีเอ็ม)	O2 (เปอร์เซ็นต์)	CO2 (พีพีเอ็ม)	O2 (เปอร์เซ็นต์)
00:00	530	21.2	527	20.9	547	21.4	534.67	21.17
00:10	534	20.9	550	20.9	548	21.4	544.00	21.07
00:20	537	20.9	549	20.9	549	21.4	545.00	21.07
00:30	549	20.9	547	20.9	551	21.4	549.00	21.07
00:40	549	20.9	548	20.9	574	21.4	557.00	21.07
00:50	549	20.9	549	20.9	670	21.4	589.33	21.07
01:00	561	20.9	571	20.9	864	21.3	665.33	21.03
01:10	610	20.9	692	20.9	1,116	21.3	805.83	21.03
01:20	718	20.9	946	20.9	1,298	21.3	987.17	21.03
01:30	904	20.9	1,122	20.9	1,547	21.2	1,191.00	21.00
01:40	1,122	20.9	1,392	20.9	1,698	21.2	1,404.00	21.00
01:50	1,335	20.9	1,573	20.9	1,928	21.2	1,611.83	21.00
02:00	1,545	20.9	1,841	20.9	2,085	21.2	1,823.67	21.00
02:10	1,751	20.9	2,024	20.9	2,237	20.9	2,003.83	20.90
02:20	1,963	20.9	2,206	20.9	2,441	20.9	2,203.33	20.90
02:30	2,131	20.9	2,440	20.9	2,580	20.9	2,383.50	20.90
02:40	2,324	20.9	2,657	20.9	2,777	20.9	2,585.83	20.90
02:50	2,510	20.9	2,769	20.9	2,795	20.9	2,691.33	20.90
03:00	2,717	20.9	2,908	20.9	3,070	20.9	2,898.33	20.90
03:10	2,782	20.9	3,006	20.9	3,174	20.9	2,987.33	20.90
03:20	2,989	20.9	3,138	20.9	3,320	20.9	3,149.00	20.90
03:30	3,090	20.9	3,236	20.9	3,393	20.9	3,239.67	20.90
03:40	3,229	20.9	3,313	20.9	3,524	20.9	3,355.33	20.90
03:50	3,315	20.9	3,425	20.9	3,595	20.9	3,444.83	20.90
04:00	3,419	20.9	3,498	20.9	3,703	20.9	3,539.83	20.90
04:10	3,510	20.9	3,573	20.9	3,799	20.9	3,627.33	20.90
04:20	3,601	20.9	3,624	20.9	3,899	20.9	3,707.83	20.90
04:30	3,686	20.9	3,700	20.9	3,960	20.9	3,782.00	20.90

ตารางที่ 3.13 ผลการทดลองกรณีการเกิดอค์คิย์จากการลุกไหม้ของพลาสติก จำนวน 90 กรัม (ต่อ)

เวลา (นาที่ : วินาที)	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3		ค่าเฉลี่ย	
	CO2 (พีพีเอ็ม)	O2 (เปอร์เซ็นต์)	CO2 (พีพีเอ็ม)	O2 (เปอร์เซ็นต์)	CO2 (พีพีเอ็ม)	O2 (เปอร์เซ็นต์)	CO2 (พีพีเอ็ม)	O2 (เปอร์เซ็นต์)
04:40	3,762	20.9	3,739	20.9	4,016	20.9	3,838.83	20.90
04:50	3,830	20.9	3,790	20.9	4,115	20.9	3,911.67	20.90
05:00	3,878	20.9	3,827	20.9	4,190	20.9	3,964.83	20.90
05:10	3,953	20.9	3,837	20.6	4,280	20.9	4,023.17	20.80
05:20	4,009	20.9	3,874	20.6	4,381	20.9	4,087.83	20.80
05:30	4,059	20.9	3,873	20.6	4,378	20.9	4,103.17	20.80
05:40	4,128	20.9	3,862	20.6	4,449	20.9	4,146.17	20.80
05:50	4,126	20.9	3,858	20.6	4,490	20.9	4,157.83	20.80
06:00	4,156	20.9	3,862	20.6	4,521	20.9	4,179.50	20.80
06:10	4,174	20.9	3,867	20.6	4,604	20.9	4,215.00	20.80
06:20	4,192	20.9	3,869	20.6	4,617	20.9	4,225.83	20.80
06:30	4,236	20.9	3,870	20.6	4,651	20.9	4,252.17	20.80
06:40	4,243	20.9	3,869	20.6	4,697	20.9	4,269.67	20.80
06:50	4,261	20.9	3,868	20.6	4,734	20.9	4,287.50	20.80
07:00	4,283	20.9	3,848	20.6	4,777	20.9	4,302.67	20.80
07:10	4,301	20.9	3,826	20.9	4,796	20.9	4,307.67	20.90
07:20	4,313	20.9	3,800	20.9	4,804	20.9	4,305.50	20.90
07:30	4,311	20.9	3,783	20.9	4,838	20.9	4,310.67	20.90
07:40	4,302	20.9	3,761	20.9	4,854	20.9	4,305.67	20.90
07:50	4,311	20.9	3,758	20.9	4,852	20.9	4,306.83	20.90
08:00	4,308	20.9	3,748	20.9	4,854	20.9	4,303.17	20.90

ขั้นตอนการวิจัยที่ 4 ออกแบบและพัฒนาแอปพลิเคชันในระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์
สำหรับการแจ้งเตือนและควบคุมการเกิดอัคคีภัยผ่านสมาร์ทโฟน

ขั้นตอนที่ 1 โครงสร้างการทำงานระบบแจ้งเตือนและควบคุมการเกิดอัคคีภัยผ่านสมาร์ทโฟน แสดง
ดังภาพที่ 3.9

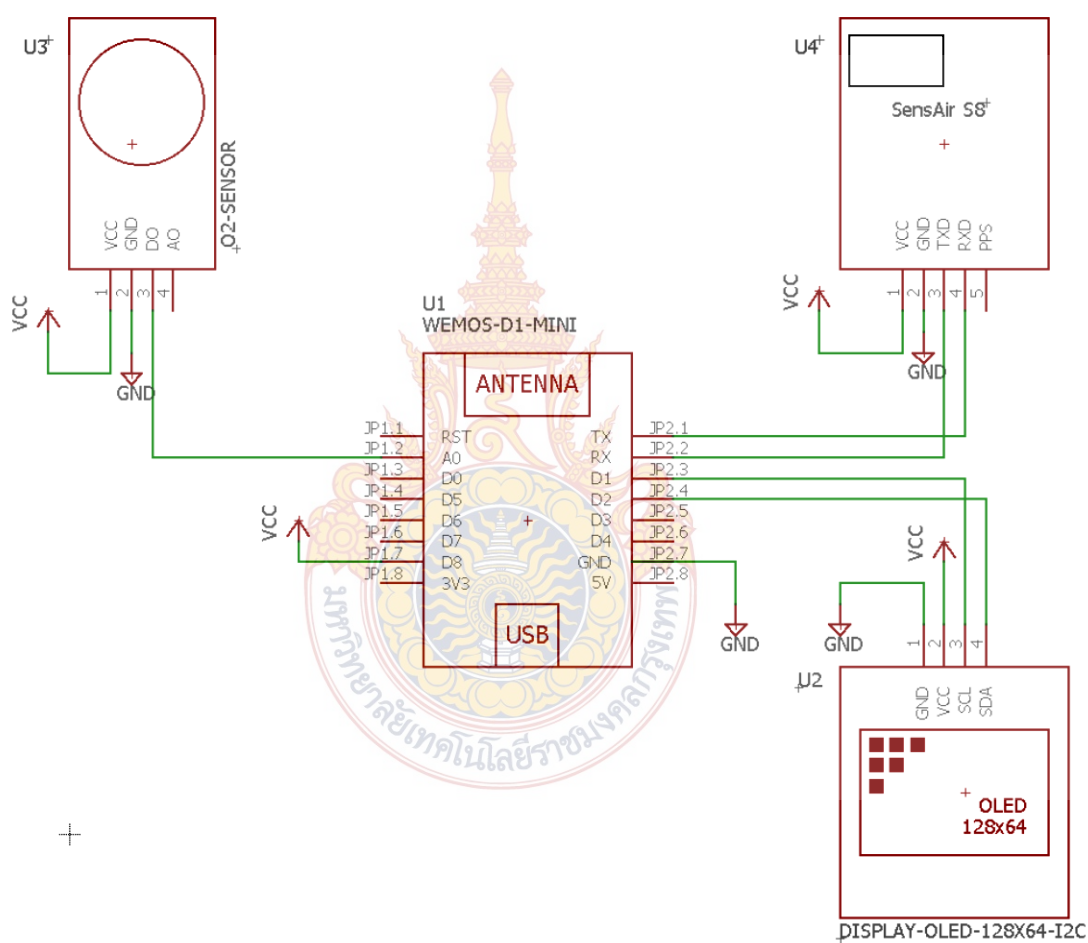


ภาพที่ 3.9 โครงสร้างการทำงานระบบแจ้งเตือนและควบคุมการเกิดอัคคีภัยผ่านสมาร์ทโฟน

จากภาพที่ 3.9 ระบบแจ้งเตือนและควบคุมการเกิดอัคคีภัยผ่านสมาร์ทโฟนมีการทำงาน
ดังนี้คือ ไมโครคอนโทรลเลอร์รับค่าจากเซ็นเซอร์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และเซ็นเซอร์ก๊าซออกซิเจน
มาทำการวิเคราะห์ว่า มีการเพิ่มขึ้นของระดับก๊าซทั้งสองในช่วงเวลาสั้น ๆ หรือไม่ หากใช่แสดงว่ามี
ความเป็นไปได้ที่จะเกิดอัคคีภัยเกิดขึ้น ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการส่งค่าระดับก๊าซทั้งสองและ
สถานะความเป็นไปได้ที่จะเกิดอัคคีภัยขึ้นไปยังอินเทอร์เน็ตคลาวด์ เพื่อที่แอปพลิเคชันบน
โทรศัพท์มือถือจะได้อ่านข้อมูลเหล่านี้จากอินเทอร์เน็ตคลาวด์แล้วนำไปแสดงผลให้ผู้ใช้งานได้ทราบ
และควบคุมการเกิดอัคคีภัยผ่านสมาร์ทโฟน

ขั้นตอนที่ 2 การปรับปรุงและออกแบบวงจรตรวจจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และออกซิเจน

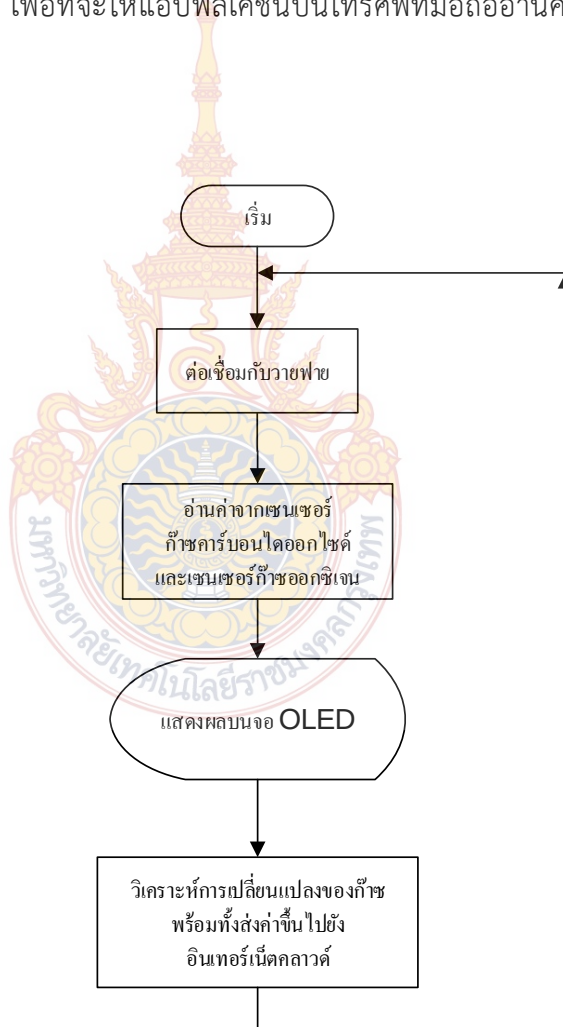
ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้เซ็นเซอร์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของบริษัท SenseAir รุ่น S8 ติดต่อสื่อสารกับไมโครคอนโทรลเลอร์แบบ UART ใช้โปรโตคอลแบบ MODBUS และได้เลือกใช้เซ็นเซอร์ก๊าซออกซิเจนของบริษัท Winsen ซึ่งให้เอาต์พุตเป็นแบบแอนะล็อก ซึ่งมีแรงดันอยู่ในช่วง 0 ถึง 3.3 โวลต์ ซึ่งจะแทนระดับของก๊าซออกซิเจนที่อยู่ในช่วง 0-21 เปอร์เซ็นต์ และใช้โมดูลไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP8266 ซึ่งสามารถติดต่ออ่าวายข่ายได้ของบริษัท WeMos รุ่น D1 Mini และแสดงผลระดับของก๊าซทั้งสองบนจอ OLED ขนาด 128x64 Pixel ดังวงจรภาพที่ 3.10



ภาพที่ 3.10 วงจรตรวจจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซออกซิเจน

จากวงจรในภาพที่ 3.10 ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการเชื่อมต่อกับระบบวายฟายที่ได้กำหนดไว้เพื่อทำการติดต่อกับอินเทอร์เน็ต จากนั้นจะรับค่าระดับก๊าซออกซิเจนในรูปแบบของสัญญาณแอนะล็อกผ่านทางขา A0 แล้วนำมาคำนวณให้เป็นระดับออกซิเจนที่อยู่ในหน่วยเปอร์เซ็นต์ และรับค่าระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ส่งมารูปแบบดิจิตอลผ่านโปรโตคอล MODBUS ที่วิ่งอยู่บนการติดต่อสื่อสารแบบ UART ในรูปแบบระดับก๊าซที่อยู่ในหน่วยพีพีเอ็ม (ppm) และแสดงระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และระดับก๊าซออกซิเจนบนหน้าจอ OLED

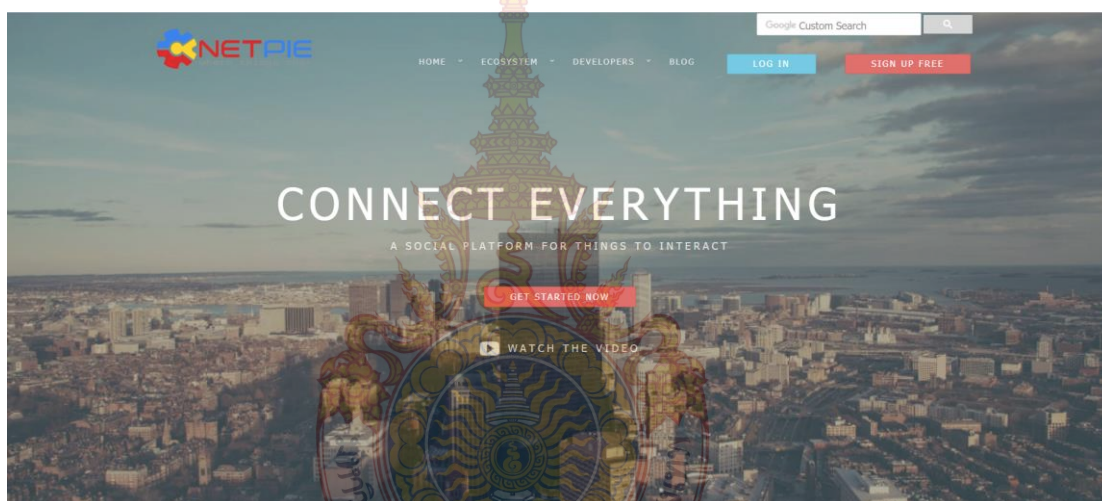
ในขณะที่รับค่าระดับของก๊าซทั้งสองเข้ามานั้น ได้นำค่าระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และค่าระดับก๊าซออกซิเจนมาทำการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของค่าทั้งสองว่าอยู่ในรูปแบบที่มีความเป็นไปได้ที่จะเกิดอัคคีภัยหรือไม่ ตามขั้นตอนวิธี (Algorithm) ประเมินเหตุอัคคีภัย พร้อมทั้งส่งข้อมูลขึ้นไปยังอินเทอร์เน็ตคลาวด์ด้วย เพื่อให้จะให้แอปพลิเคชันบนโทรศัพท์มือถืออ่านค่าออกไปแสดงแก่ผู้ใช้แสดงดังภาพที่ 3.11



ภาพที่ 3.11 แผนภูมิสายงานของระบบแจ้งเตือนและควบคุมการเกิดอัคคีภัยผ่านสมาร์ทโฟน

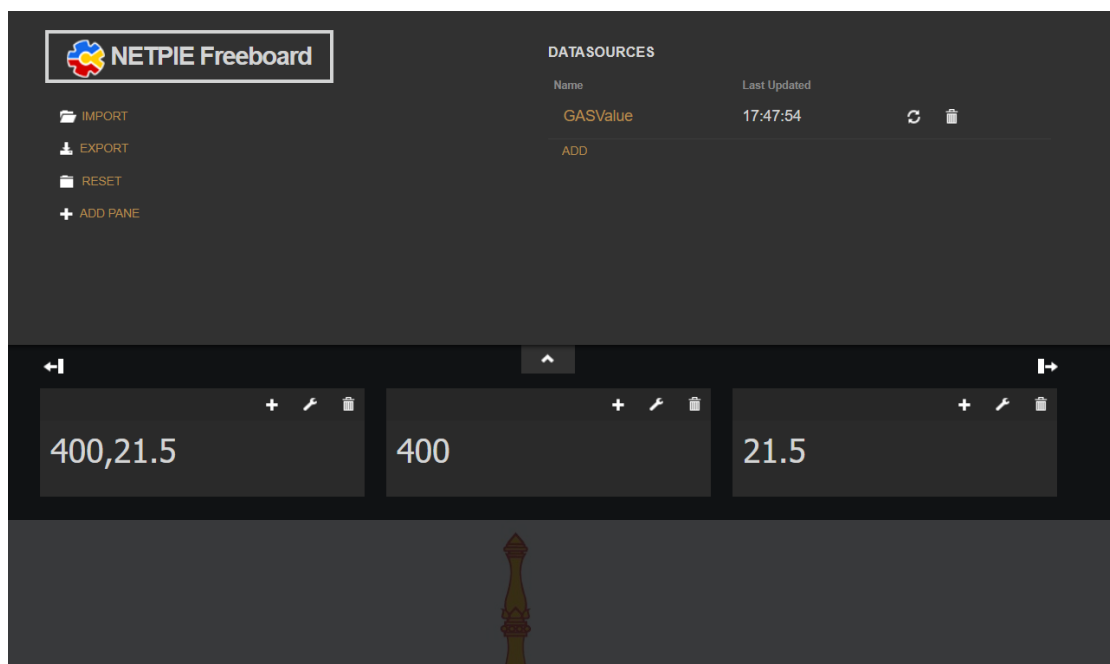
ขั้นตอนที่ 3 การใช้บริการแพลตฟอร์ม NETPIE

เพื่อความสะดวกในการส่งข้อมูลขึ้นไปยังอินเทอร์เน็ตคลาวด์นั้น จำเป็นต้องใช้บริการจากผู้ให้บริการที่เตรียมระบบนี้ไว้ให้แล้ว เมื่อปี พ.ศ. 2528 ทางศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติได้พัฒนาแพลตฟอร์มที่ชื่อ NETPIE (Network Platform for Internet of Everything) ขึ้นมา NETPIE คือ คลาวด์แพลตฟอร์ม (Cloud Platform) ที่ถูกออกแบบและพัฒนาขึ้นเพื่ออำนวยความสะดวกในการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ ช่วยให้อุปกรณ์ต่าง ๆ สามารถติดต่อสื่อสารกันได้โดยผ่านอินเทอร์เน็ต ทำให้ผู้ใช้ตัดปัญหาความยุ่งยากที่ต้องใช้วิธีการแบบเดิม ๆ เช่น ไม่ต้องใช้การ Fixed Public IP Address ไม่ต้องทำ Port Forwarding ไม่ต้องไปลงทะเบียนกับผู้ให้บริการ Dynamic DNS ซึ่งจะช่วยให้ลดความยุ่งยากในการติดต่อสื่อสารไปได้มาก สามารถเข้าไปสมัครใช้บริการได้ที่ netpie.io ดังแสดงในภาพที่ 3.12



ภาพที่ 3.12 แพลตฟอร์ม NETPIE

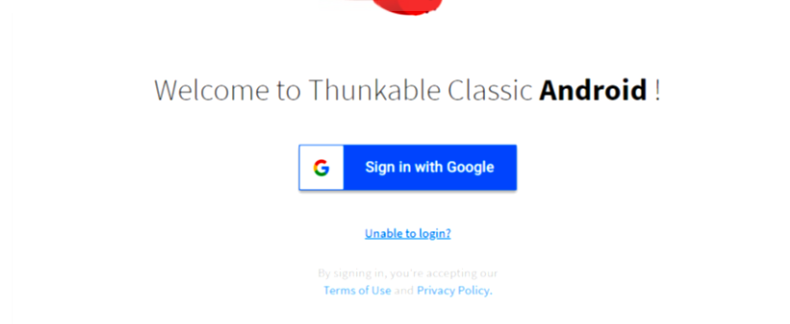
บน NETPIE จะมี NETPIE Freeboard ดังภาพที่ 3.13 ซึ่งสามารถแสดงผลค่าต่าง ๆ ที่อุปกรณ์ส่งขึ้นไปยังอินเทอร์เน็ตคลาวด์บนแพลตฟอร์มของ NETPIE ได้ ทำให้สามารถตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลได้สะดวก



ภาพที่ 3.13 NETPIE Freeboard

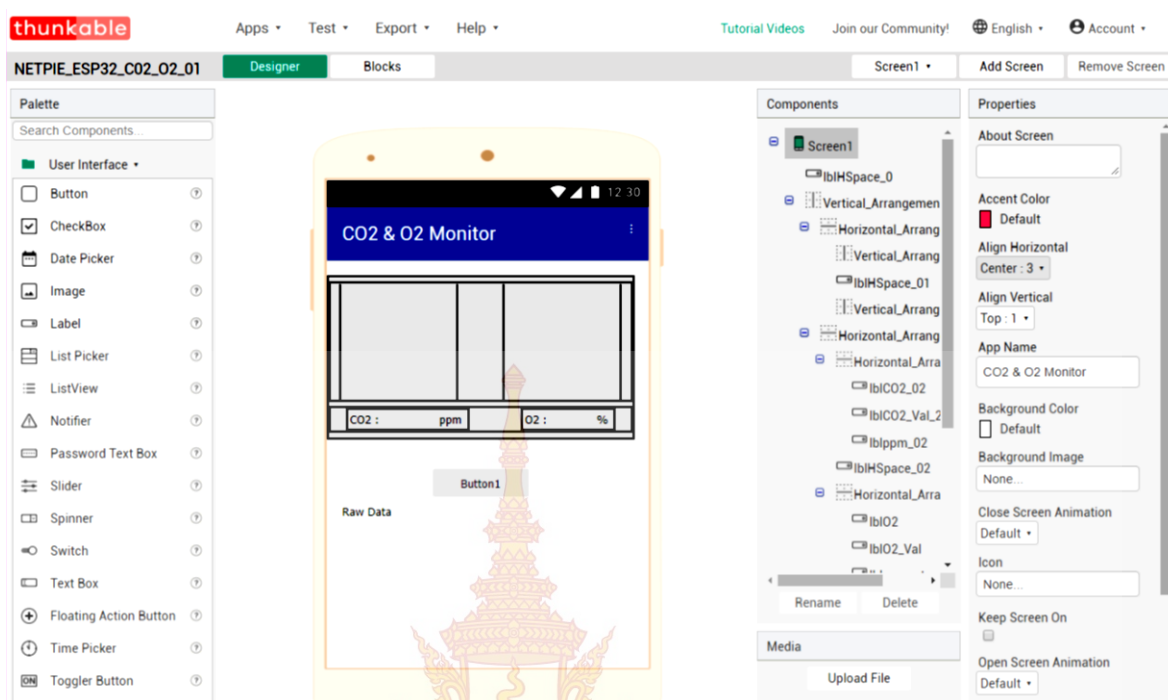
ขั้นตอนที่ 4 การเขียนแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์มือถือด้วย Thunkable

Thunkable เป็นโปรแกรมแบบ Online สำหรับใช้พัฒนาแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์มือถือทั้งระบบแอนดรอยด์และไอโอเอส ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะ Thunkable สำหรับโทรศัพท์มือถือระบบแอนดรอยด์ โดยสามารถเข้าถึงโปรแกรม Thunkable ได้ที่ <https://thunkable.com> แสดงหน้าจอ ดังภาพที่ 3.14



ภาพที่ 3.14 หน้าจอของโปรแกรม Thunkable

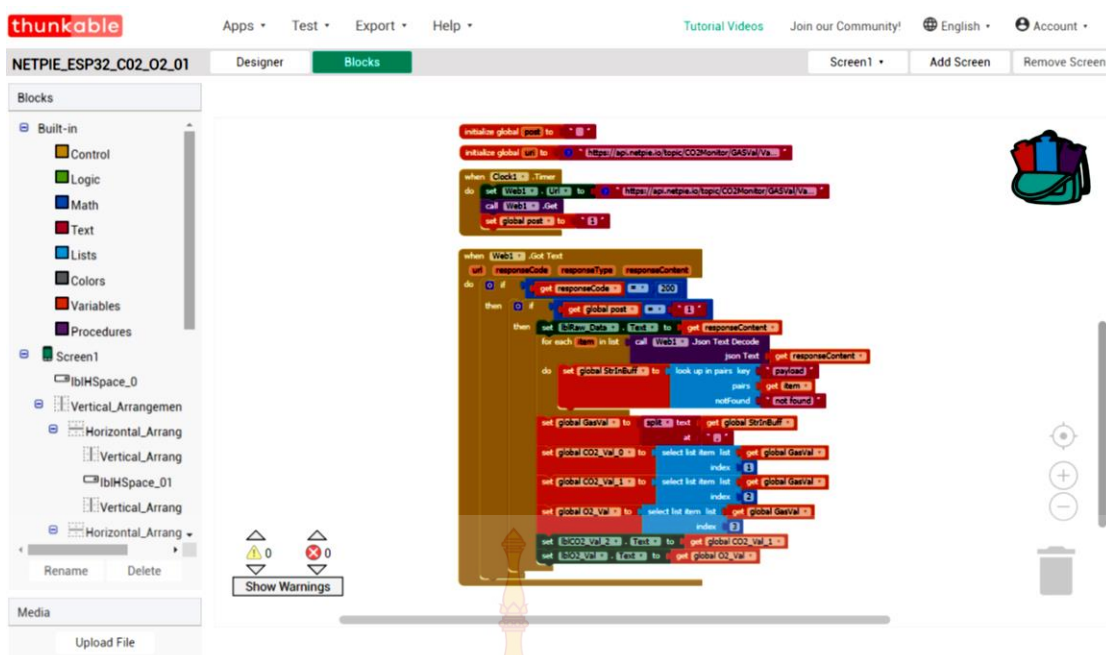
ในโปรแกรม Thunkable นี้สามารถที่จะออกแบบหน้าจอของแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์โดยใช้การลากและวางส่วนประกอบต่าง ๆ ได้ตามที่ต้องการ ดังภาพที่ 3.15



ภาพที่ 3.15 หน้าจอการลากและวางส่วนประกอบต่าง ๆ ของโปรแกรม Thunkable

เมื่อทำการลากและวางส่วนประกอบต่าง ๆ ตามที่ต้องการแล้ว สามารถที่จะเขียนโปรแกรมโดยการลากบล็อกต่าง ๆ ที่แทนคำสั่งของการเขียนโปรแกรม เพื่อให้ทำงานได้ตามที่ผู้ใช้ต้องการ มีบล็อกคำสั่งต่าง ๆ ที่จำเป็นเทียบเท่ากับการเขียนโปรแกรมทุกประการเช่น บล็อกของคำสั่ง if-else for while แสดงหน้าจอบล็อกคำสั่งของโปรแกรม Thunkable ดังภาพที่ 3.16

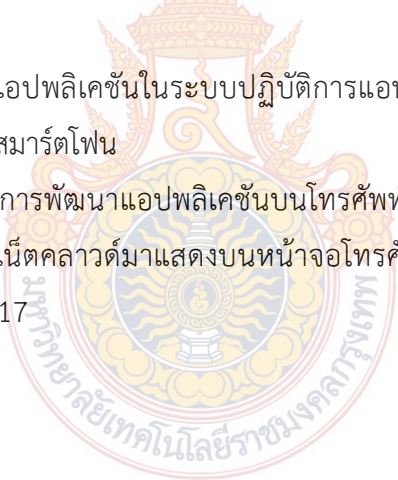
โปรแกรม Thunkable นี้ สามารถเขียนโปรแกรมโดยใช้บล็อกต่าง ๆ เพื่อให้แอปพลิเคชันบนโทรศัพท์ทำงานได้ทุกอย่างตามที่ต้องการเช่น รับค่าจากหน้าจอโทรศัพท์ คำนวณทางคณิตศาสตร์ แสดงค่าบนหน้าจอ ติดต่อกับอินเทอร์เน็ต เป็นต้น

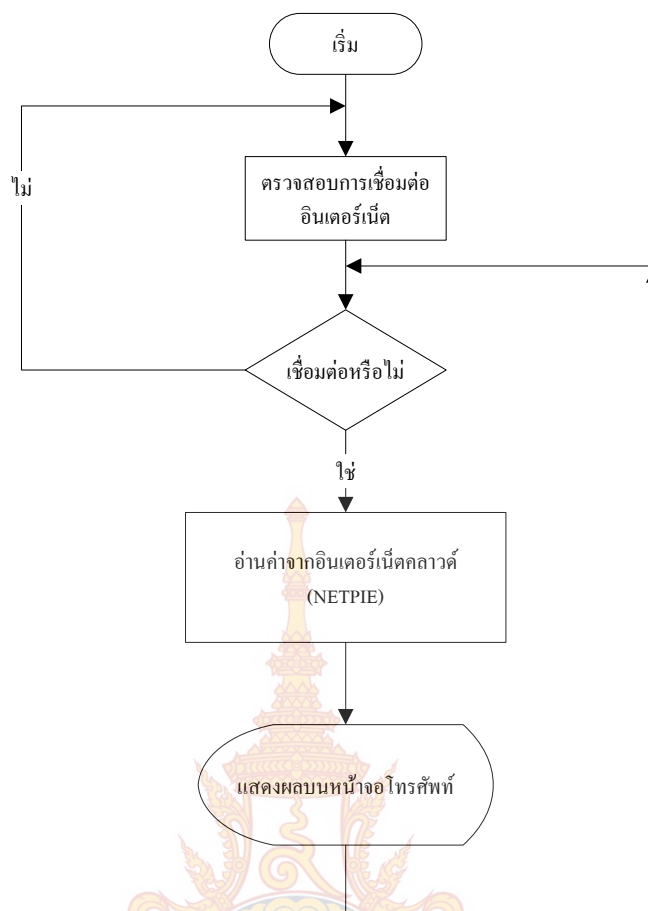


ภาพที่ 3.16 หน้าจอบล็อกคำสั่งของโปรแกรม Thunkable

ขั้นตอนที่ 5 การออกแบบแอปพลิเคชันในระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ สำหรับการแจ้งเตือน และ
ควบคุมการเกิดอัคคีภัยผ่านสมาร์ตโฟน

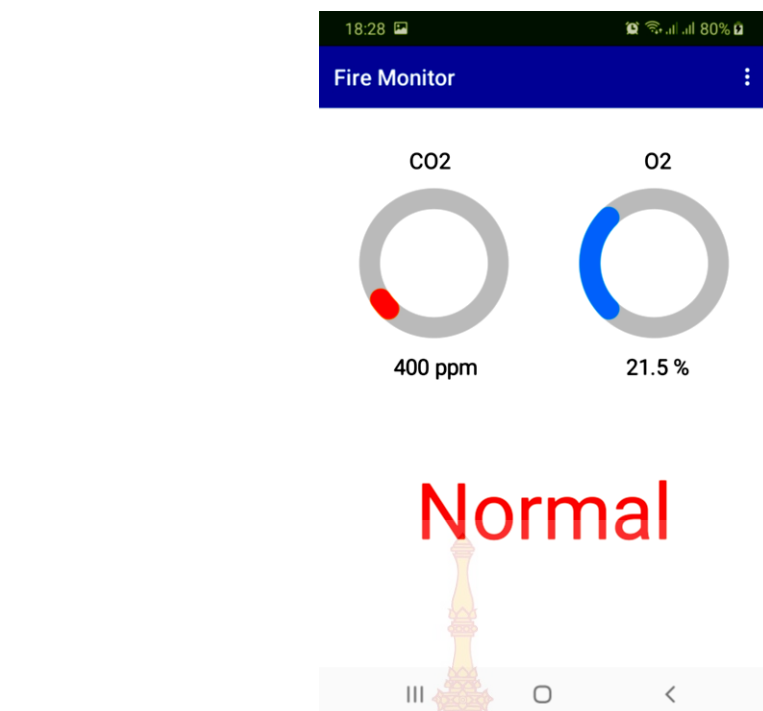
ในงานวิจัยนี้ ได้ทำการพัฒนาแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์มือถือโดยใช้โปรแกรม Thunkable ในการอ่านค่าจากอินเทอร์เนตคลาวด์มาแสดงบนหน้าจอโทรศัพท์มือถือเพื่อแจ้งเตือนผู้ใช้งาน ดังแผนภูมิสายงานในภาพที่ 3.17



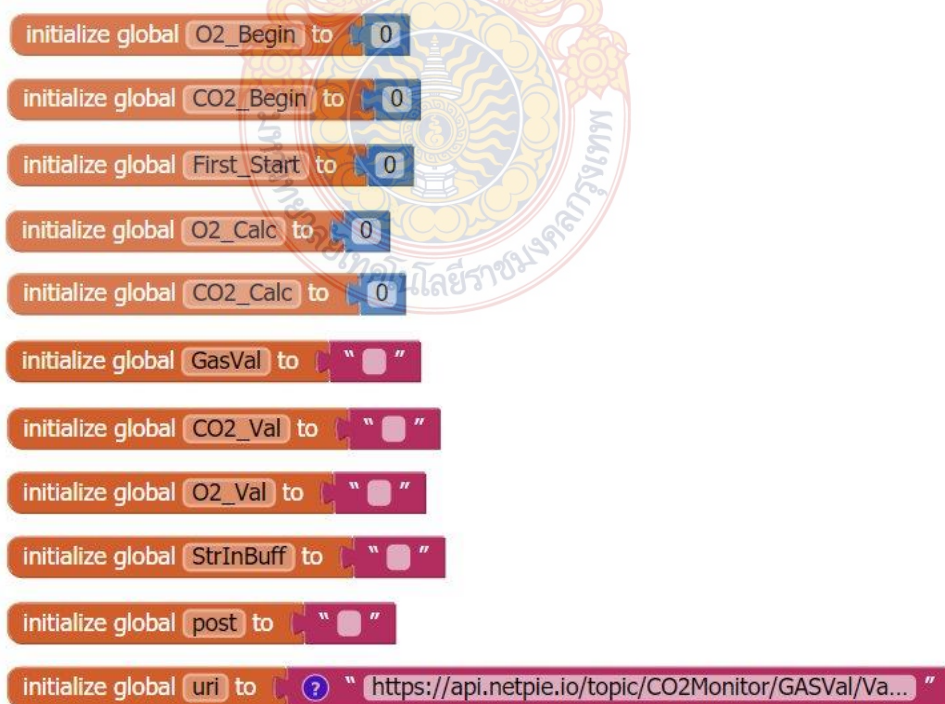


ภาพที่ 3.17 แผนภูมิสายงานแอปพลิเคชันในระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ สำหรับการแจ้งเตือน และควบคุมการเกิดอัคคีภัยผ่านสมาร์ทโฟน

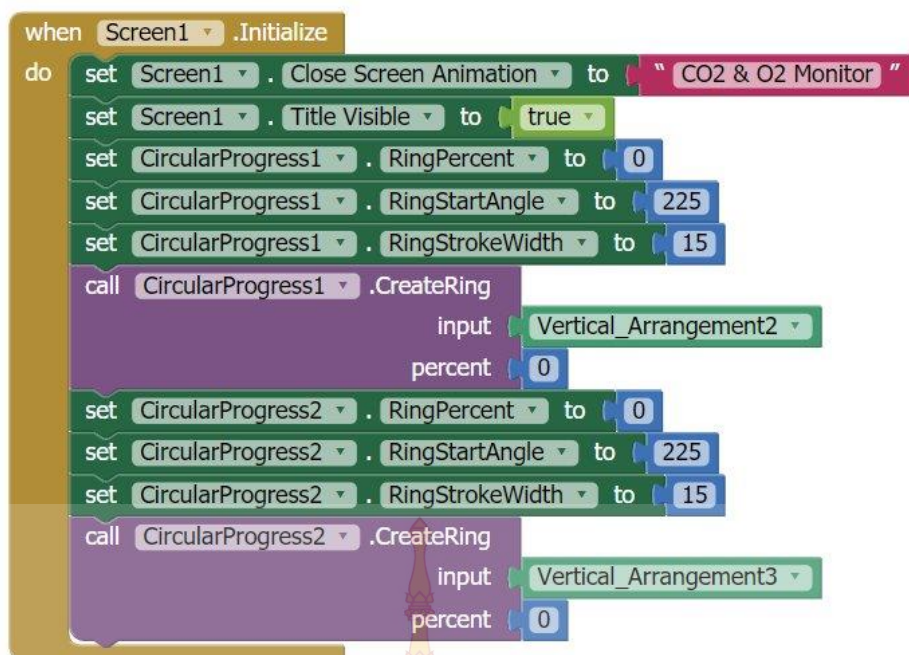
ในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบให้หน้าจอแสดงระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในหน่วยพีพีเอ็ม และแสดงระดับก๊าซออกซิเจนในหน่วยเปอร์เซ็นต์ ดังภาพที่ 3.18 และบล็อกของแอปพลิเคชัน แสดงดังภาพที่ 3.19 ถึง ภาพที่ 3.22



ภาพที่ 3.18 หน้าจอของแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์มือถือ

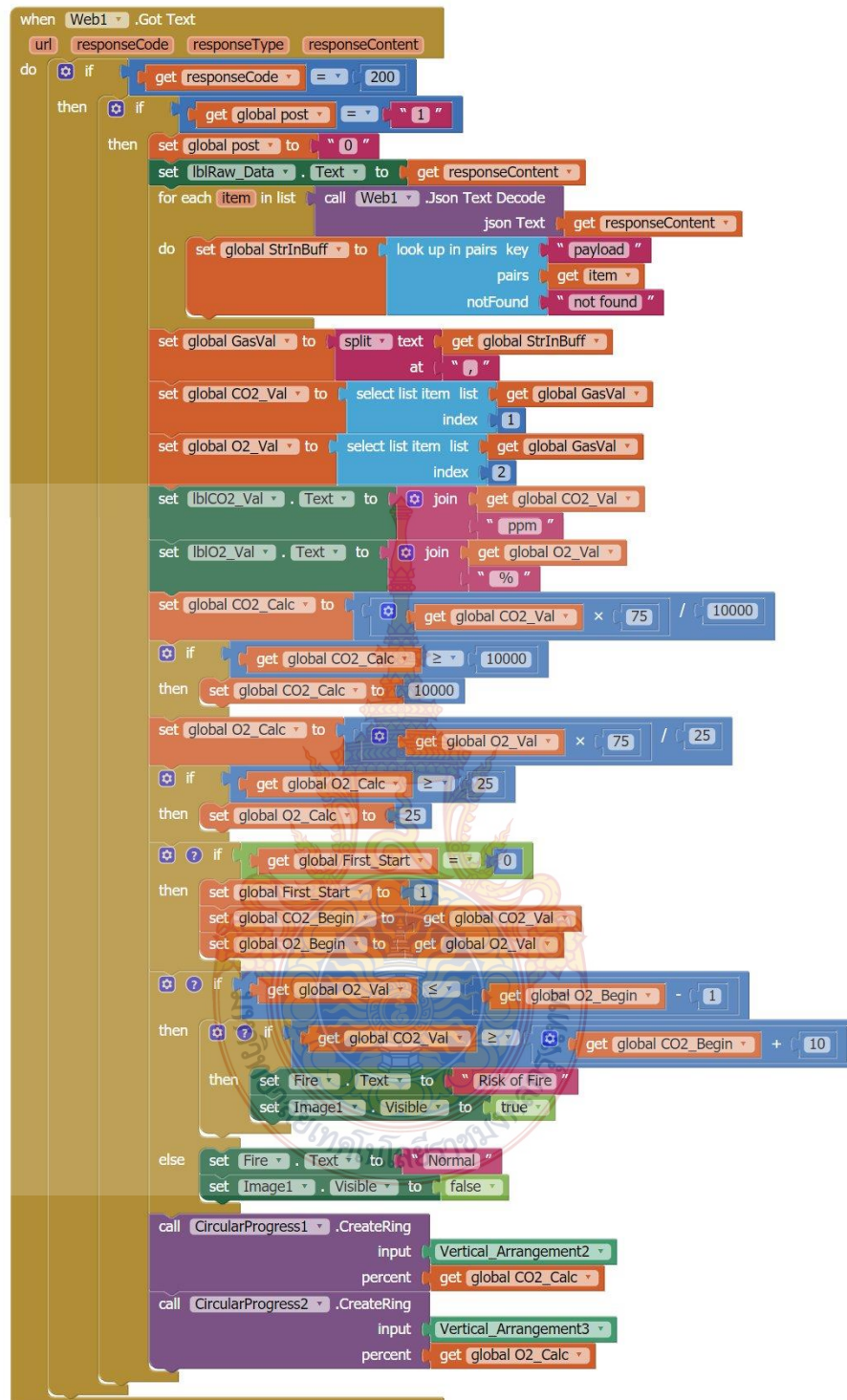


ภาพที่ 3.19 การประกาศตัวแปรที่จะใช้ในโปรแกรม

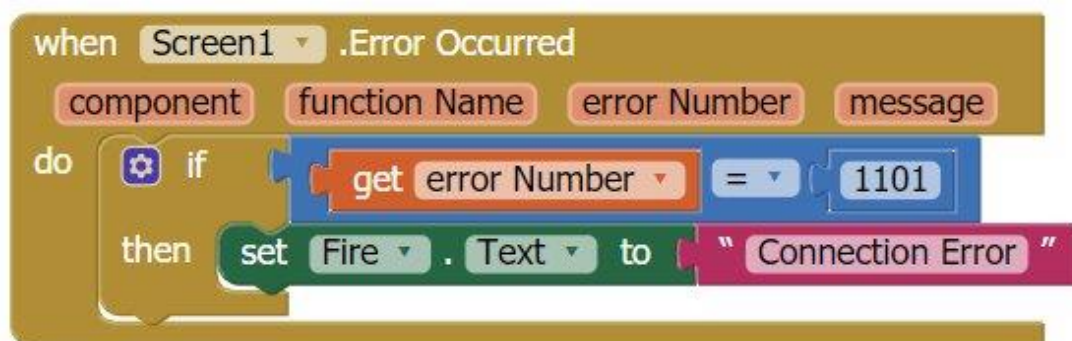


ภาพที่ 3.20 การตั้งค่าเริ่มต้นให้แก่ส่วนควบคุมต่าง ๆ ในโปรแกรม





ภาพที่ 3.21 ส่วนรับข้อมูลจาก NETPIE เพื่อนำมาแสดงบนหน้าจอโทรศัพท์ในรูปแบบของกราฟและตัวเลขพร้อมตัดสินใจเมื่อก๊าซออกเจนมีค่าต่ำและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าสูง และขึ้นข้อความแจ้งเตือนพร้อมทั้งรูปภาพบนหน้าจอโทรศัพท์



ภาพที่ 3.22 ส่วนแสดงข้อผิดพลาดถ้าแอปพลิเคชันติดต่อกับ NETPIE ผ่านอินเทอร์เน็ตไม่ได้



บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

จากการดำเนินงานในบทที่ 3 ได้แบ่งการดำเนินงานออกเป็น 4 ส่วน คือ (1) ออกแบบสร้างชุดตรวจจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และออกซิเจนพร้อมทดสอบการทำงาน (2) ออกแบบขั้นตอนวิธีประเมินเหตุอัคคีภัยพร้อมทดสอบการทำงาน (3) ออกแบบและพัฒนาแอปพลิเคชันในระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ สำหรับการแจ้งเตือน และควบคุมการเกิดอัคคีภัยผ่านสมาร์ทโฟน (4) ออกแบบและสร้างห้องจำลองปิด ขนาดกว้าง 230 เซนติเมตร ยาว 270 เซนติเมตร สูง 265 เซนติเมตร พร้อมติดตั้งพัดลมระบายอากาศขนาด ยี่ห้อ PANASONIC รุ่น FV-20AUT3 ปริมาตรกระแสลม 9.7 m³/min สูงจากพื้น 202 เซนติเมตร และติดตั้งชุดตรวจจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และชุดตรวจจับก๊าซออกซิเจน สูงจากพื้น 100 เซนติเมตร และห่างจากตำแหน่งวางวัสดุ 120 เซนติเมตร ดังภาพที่ 3.2 และได้กำหนดตัวแปรสำหรับโครงการวิจัยการวิเคราะห์ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซออกซิเจน ดังนี้

ตัวแปรต้นคือ	ประเภทและปริมาณของวัสดุที่เป็นสาเหตุของเพลิงไหม้ อาทิ กระดาษ ไม้ ผ้า และพลาสติก
ตัวแปรตามคือ	ระยะเวลาตั้งแต่ได้รับการแจ้งเตือนเหตุอัคคีภัยจนเหตุอัคคีภัยสิ้นสุดลง ด้วยการทำงานของถังดับเพลิงอัตโนมัติ
ตัวแปรควบคุมคือ	ห้องปิดขนาดกว้าง 230 เซนติเมตร ยาว 270 เซนติเมตร สูง 265 เซนติเมตร และติดตั้งถังดับเพลิงอัตโนมัติ วางห่างจากจุดเกิดอัคคีภัย 200 เซนติเมตร หัวดับเพลิงอยู่ในทิศทางเดียวกับจุดเกิดอัคคีภัย

4.1 ผลการวิจัย

หลังจากนั้นจึงดำเนินการทดลองถังดับเพลิงอัตโนมัติ ในกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของกระดาษ ไม้ ผ้า และพลาสติก ตามตารางที่ 4.1 และบันทึกผลการวิจัยตามที่ปรากฏในตารางการทดลองที่ 4.2 – 4.4 สำหรับกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของกระดาษ จำนวน 15 แผ่น 30 แผ่น และ 45 แผ่น ตามลำดับ ตารางการทดลองที่ 4.5 – 4.7 สำหรับกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของไม้ จำนวน 30 ชิ้น 60 ชิ้น และ 90 ชิ้น ตามลำดับ ตารางการทดลองที่ 4.8 – 4.10 สำหรับกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของผ้า จำนวน 30 กรัม 60 กรัม และ 90 กรัม ตามลำดับ และตารางการทดลองที่ 4.11 – 4.13 สำหรับกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของพลาสติก จำนวน 30 กรัม 60 กรัม และ 90 กรัม ตามลำดับ หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์ผลการวิจัย

ตารางที่ 4.1 หัวข้อการทดลอง ชนิดวัสดุ และปริมาณ สำหรับการทดลองกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของกระดาษ ไม้ ผ้า และพลาสติก

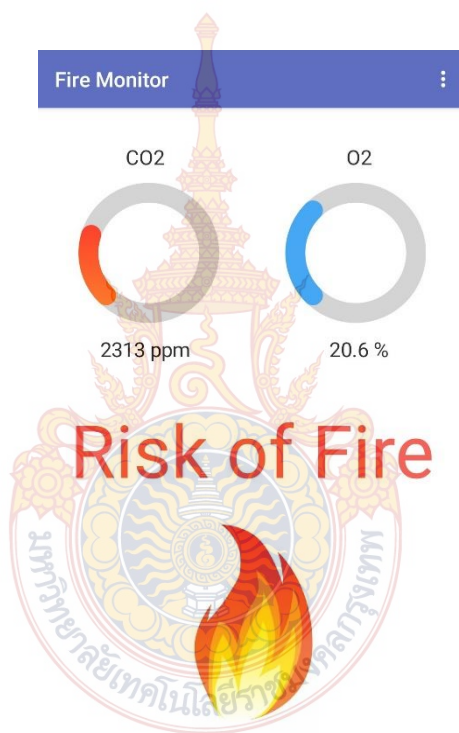
หัวข้อที่	การทดลอง กรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้	ปริมาณวัสดุ		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
1	กระดาษ	15 แผ่น	30 แผ่น	45 แผ่น
2	ไม้	30 ชิ้น	60 ชิ้น	90 ชิ้น
3	ผ้า	30 กรัม	60 กรัม	90 กรัม
4	พลาสติก	30 กรัม	60 กรัม	90 กรัม

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของกระดาษ จำนวน 15 แผ่น

การทดลอง ครั้งที่	ก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์ (พีพีเอ็ม)	ก๊าซ ออกซิเจน (เปอร์เซ็นต์)	แจ้งเตือน (นาที่ : วินาที)	ถึงดับเพลิง อัตโนมัติทำงาน (นาที่ : วินาที)	สิ้นสุดการเกิด อัคคีภัย (นาที่ : วินาที)
1	2,313	20.6	02:30	02:35	02:38
2	633	20.9	01:20	01:25	01:27
3	826	21.2	01:30	01:35	01:38

จากผลการทดลองกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของกระดาษ จำนวน 15 แผ่น ตามตารางที่ 4.2 โดยทำการทดลอง 3 ครั้ง กล่าวคือ การทดลองครั้งที่ 1 เมื่อเกิดการลุกไหม้ของกระดาษ ระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ในขณะที่ระดับก๊าซออกซิเจนจะยังคงที่อยู่ และเมื่อก๊าซออกซิเจนถูกนำไปช่วยในการลุกไหม้มากขึ้น ระดับก๊าซออกซิเจนลดลงในทันทีจาก 20.9 เปอร์เซ็นต์ เป็น 20.6 เปอร์เซ็นต์ ตามขั้นตอนวิธี (Algorithm) ประเมินเหตุอัคคีภัย ระบบจะทำการแจ้งเตือนกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของกระดาษที่เวลา 02:30 นาที่ ดังภาพที่ 4.1 ถึงดับเพลิงอัตโนมัติทำงานที่เวลา 02:35 นาที่ สิ้นสุดการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของกระดาษที่เวลา 02:38 นาที่ การทดลองครั้งที่ 2 เมื่อเกิดการลุกไหม้ของกระดาษ ระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ในขณะที่ระดับก๊าซออกซิเจนจะยังคงที่อยู่ และเมื่อก๊าซออกซิเจนถูกนำไปช่วยในการลุกไหม้มากขึ้น ระดับก๊าซออกซิเจนลดลงในทันทีจาก 21.2 เปอร์เซ็นต์ เป็น 20.9

เปอร์เซ็นต์ ตามขั้นตอนวิธีประเมินเหตุอัคคีภัย ระบบจะทำการแจ้งเตือนกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของกระดาด ที่เวลา 01:20 นาฬิกา ถึงดับเพลิงอัตโนมัติทำงานที่เวลา 01:25 นาฬิกา สิ้นสุดการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของกระดาดที่เวลา 01:27 นาฬิกา และการทดลองครั้งที่ 3 เมื่อเกิดการลุกไหม้ของกระดาด ระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ในขณะที่ระดับก๊าซออกซิเจนจะยังคงที่อยู่ และเมื่อก๊าซออกซิเจนถูกนำไปช่วยในการลุกไหม้มากขึ้น ระดับก๊าซออกซิเจนลดลงในทันทีจาก 21.3 เปอร์เซ็นต์ เป็น 21.2 เปอร์เซ็นต์ ตามขั้นตอนวิธีประเมินเหตุอัคคีภัย ระบบจะทำการแจ้งเตือนกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของกระดาดที่เวลา 01:30 นาฬิกา ถึงดับเพลิงอัตโนมัติทำงานที่เวลา 01:35 นาฬิกา สิ้นสุดการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของกระดาดที่เวลา 01:38 นาฬิกา

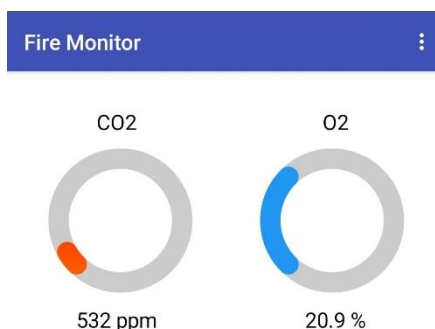


ภาพที่ 4.1 การแจ้งเตือนกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของกระดาด จำนวน 15 แผ่น

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของกระดาด จำนวน 30 แผ่น

การทดลอง ครั้งที่	ก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์ (พีพีเอ็ม)	ก๊าซ ออกซิเจน (เปอร์เซ็นต์)	แจ้งเตือน (นาที่ : วินาที)	ถังดับเพลิง อัตโนมัติทำงาน (นาที่ : วินาที)	สิ้นสุดการเกิด อัคคีภัย (นาที่ : วินาที)
1	532	20.9	01:20	01:25	01:28
2	840	20.9	01:20	01:25	01:28
3	527	21.3	01:10	01:15	01:20

จากผลการทดลองกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของกระดาด จำนวน 30 แผ่น ตามตารางที่ 4.3 โดยทำการทดลอง 3 ครั้ง กล่าวคือ การทดลองครั้งที่ 1 เมื่อเกิดการลุกไหม้ของกระดาดระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ในขณะที่ระดับก๊าซออกซิเจนจะยังคงที่อยู่ และเมื่อก๊าซออกซิเจนถูกนำไปช่วยในการลุกไหม้มากขึ้น ระดับก๊าซออกซิเจนลดลงในทันทีจาก 21.2 เปอร์เซ็นต์ เป็น 20.9 เปอร์เซ็นต์ ตามขั้นตอนวิธีประเมินเหตุอัคคีภัย ระบบจะทำการแจ้งเตือนกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของกระดาดที่เวลา 01:20 นาที่ ดังภาพที่ 4.2 ถังดับเพลิงอัตโนมัติทำงานที่เวลา 01:25 นาที่ สิ้นสุดการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของกระดาดที่เวลา 01:28 นาที่ การทดลองครั้งที่ 2 เมื่อเกิดการลุกไหม้ของกระดาด ระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ในขณะที่ระดับก๊าซออกซิเจนจะยังคงที่อยู่ และเมื่อก๊าซออกซิเจนถูกนำไปช่วยในการลุกไหม้มากขึ้น ระดับก๊าซออกซิเจนลดลงในทันทีจาก 21.3 เปอร์เซ็นต์ เป็น 20.9 เปอร์เซ็นต์ ตามขั้นตอนวิธีประเมินเหตุอัคคีภัย ระบบจะทำการแจ้งเตือนกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของกระดาดที่เวลา 01:20 นาที่ ถังดับเพลิงอัตโนมัติทำงานที่เวลา 01:25 นาที่ สิ้นสุดการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของกระดาดที่เวลา 01:28 นาที่ และการทดลองครั้งที่ 3 เมื่อเกิดการลุกไหม้ของกระดาด ระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ในขณะที่ระดับก๊าซออกซิเจนจะยังคงที่อยู่ และเมื่อก๊าซออกซิเจนถูกนำไปช่วยในการลุกไหม้มากขึ้น ระดับก๊าซออกซิเจนลดลงในทันทีจาก 21.4 เปอร์เซ็นต์ เป็น 21.3 เปอร์เซ็นต์ ตามขั้นตอนวิธีประเมินเหตุอัคคีภัย ระบบจะทำการแจ้งเตือนกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของกระดาดที่เวลา 01:10 นาที่ ถังดับเพลิงอัตโนมัติทำงานที่เวลา 01:15 นาที่ สิ้นสุดการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของกระดาดที่เวลา 01:20 นาที่



Risk of Fire



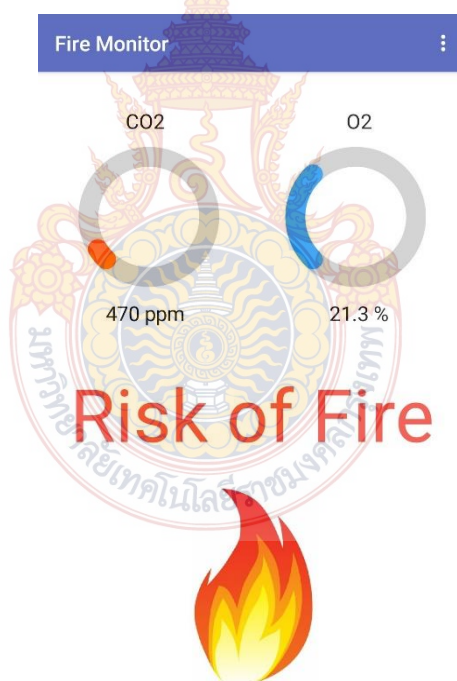
ภาพที่ 4.2 การแจ้งเตือนกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของกระดาศ จำนวน 30 แผ่น

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของกระดาศ จำนวน 45 แผ่น

การทดลอง ครั้งที่	ก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์ (พีพีเอ็ม)	ก๊าซ ออกซิเจน (เปอร์เซ็นต์)	แจ้งเตือน (นาที่ : วินาที)	ถึงดับเพลิง อัตโนมัติทำงาน (นาที่ : วินาที)	สิ้นสุดการเกิด อัคคีภัย (นาที่ : วินาที)
1	470	21.3	00:50	00:55	00:59
2	499	21.4	00:50	00:55	01:00
3	474	21.5	00:40	00:45	00:51

จากผลการทดลองกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของกระดาศ จำนวน 45 แผ่น ตามตารางที่ 4.4 โดยทำการทดลอง 3 ครั้ง กล่าวคือ การทดลองครั้งที่ 1 เมื่อเกิดการลุกไหม้ของกระดาศระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ในขณะที่ระดับก๊าซออกซิเจนจะยังคงที่อยู่ และเมื่อก๊าซออกซิเจนถูกนำไปช่วยในการลุกไหม้มากขึ้น ระดับก๊าซออกซิเจนลดลงในทันทีจาก 21.4 เปอร์เซ็นต์ เป็น 21.3 เปอร์เซ็นต์ ตามขั้นตอนวิธีประเมินเหตุอัคคีภัย ระบบจะทำการแจ้งเตือนกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของกระดาศที่เวลา 00:50 นาที่ ดังภาพที่ 4.3 ถึงดับเพลิงอัตโนมัติ

ทำงานที่เวลา 00:55 นาฬิกา สิ้นสุดการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของกระดาศที่เวลา 00:59 นาฬิกา การทดลองครั้งที่ 2 เมื่อเกิดการลุกไหม้ของกระดาศ ระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ในขณะที่ระดับก๊าซออกซิเจนจะยังคงที่อยู่ และเมื่อก๊าซออกซิเจนถูกนำไปช่วยในการลุกไหม้มากขึ้น ระดับก๊าซออกซิเจนลดลงในทันทีจาก 21.6 เปอร์เซ็นต์ เป็น 21.4 เปอร์เซ็นต์ ตามขั้นตอนวิธีประเมินเหตุอัคคีภัย ระบบจะทำการแจ้งเตือนกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของกระดาศที่เวลา 00:50 นาฬิกา ถึงดับเพลิงอัตโนมัติทำงานที่เวลา 00:55 นาฬิกา สิ้นสุดการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของกระดาศที่เวลา 01:00 นาฬิกา และการทดลองครั้งที่ 3 เมื่อเกิดการลุกไหม้ของกระดาศ ระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ในขณะที่ระดับก๊าซออกซิเจนจะยังคงที่อยู่ และเมื่อก๊าซออกซิเจนถูกนำไปช่วยในการลุกไหม้มากขึ้น ระดับก๊าซออกซิเจนลดลงในทันทีจาก 21.6 เปอร์เซ็นต์ เป็น 21.5 เปอร์เซ็นต์ ตามขั้นตอนวิธีประเมินเหตุอัคคีภัย ระบบจะทำการแจ้งเตือนกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของกระดาศที่เวลา 00:40 นาฬิกา ถึงดับเพลิงอัตโนมัติทำงานที่เวลา 00:45 นาฬิกา สิ้นสุดการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของกระดาศที่เวลา 00:51 นาฬิกา

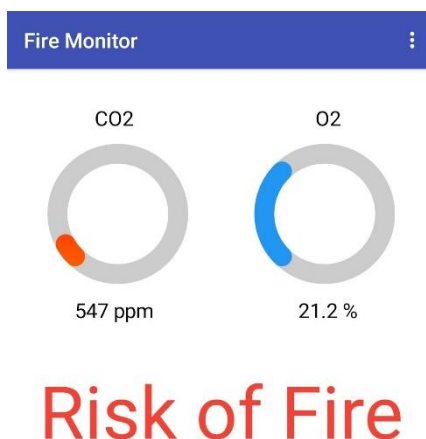


ภาพที่ 4.3 การแจ้งเตือนกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของกระดาศ จำนวน 45 แผ่น

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของไม้ จำนวน 30 ขึ้น

การทดลอง ครั้งที่	ก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์ (พีพีเอ็ม)	ก๊าซ ออกซิเจน (เปอร์เซ็นต์)	แจ้งเตือน (นาที่ : วินาที)	ถังดับเพลิง อัตโนมัติทำงาน (นาที่ : วินาที)	สิ้นสุดการเกิด อัคคีภัย (นาที่ : วินาที)
1	547	21.2	01:20	01:25	01:30
2	658	21.2	02:10	02:15	02:21
3	867	21.2	02:00	02:05	02:11

จากผลการทดลองกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของไม้ จำนวน 30 ขึ้น ตามตารางที่ 4.5 โดยทำการทดลอง 3 ครั้ง กล่าวคือ การทดลองครั้งที่ 1 เมื่อเกิดการลุกไหม้ของไม้ ระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ในขณะที่ระดับก๊าซออกซิเจนจะยังคงที่อยู่ และเมื่อก๊าซออกซิเจนถูกนำไปช่วยในการลุกไหม้มากขึ้น ระดับก๊าซออกซิเจนลดลงในทันทีจาก 21.3 เปอร์เซ็นต์ เป็น 21.2 เปอร์เซ็นต์ ตามขั้นตอนวิธี (Algorithm) ประเมินเหตุอัคคีภัย ระบบจะทำการแจ้งเตือนกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของไม้ที่เวลา 01:20 นาที่ ดังภาพที่ 4.4 ถังดับเพลิงอัตโนมัติทำงานที่เวลา 01:25 นาที่ สิ้นสุดการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของไม้ที่เวลา 01:30 นาที่ การทดลองครั้งที่ 2 เมื่อเกิดการลุกไหม้ของไม้ ระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ในขณะที่ระดับก๊าซออกซิเจนจะยังคงที่อยู่ และเมื่อก๊าซออกซิเจนถูกนำไปช่วยในการลุกไหม้มากขึ้น ระดับก๊าซออกซิเจนลดลงในทันทีจาก 21.3 เปอร์เซ็นต์ เป็น 21.2 เปอร์เซ็นต์ ตามขั้นตอนวิธี ประเมินเหตุอัคคีภัย ระบบจะทำการแจ้งเตือนกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของไม้ที่เวลา 02:10 นาที่ ถังดับเพลิงอัตโนมัติทำงานที่เวลา 02:15 นาที่ สิ้นสุดการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของไม้ที่เวลา 02:21 นาที่ และการทดลองครั้งที่ 3 เมื่อเกิดการลุกไหม้ของไม้ ระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ในขณะที่ระดับก๊าซออกซิเจนจะยังคงที่อยู่ และเมื่อก๊าซออกซิเจนถูกนำไปช่วยในการลุกไหม้มากขึ้น ระดับก๊าซออกซิเจนลดลงในทันทีจาก 21.3 เปอร์เซ็นต์ เป็น 21.2 เปอร์เซ็นต์ ตามขั้นตอนวิธี ประเมินเหตุอัคคีภัย ระบบจะทำการแจ้งเตือนกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของไม้ที่เวลา 02:00 นาที่ ถังดับเพลิงอัตโนมัติทำงานที่เวลา 02:05 นาที่ สิ้นสุดการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของไม้ที่เวลา 02:11 นาที่



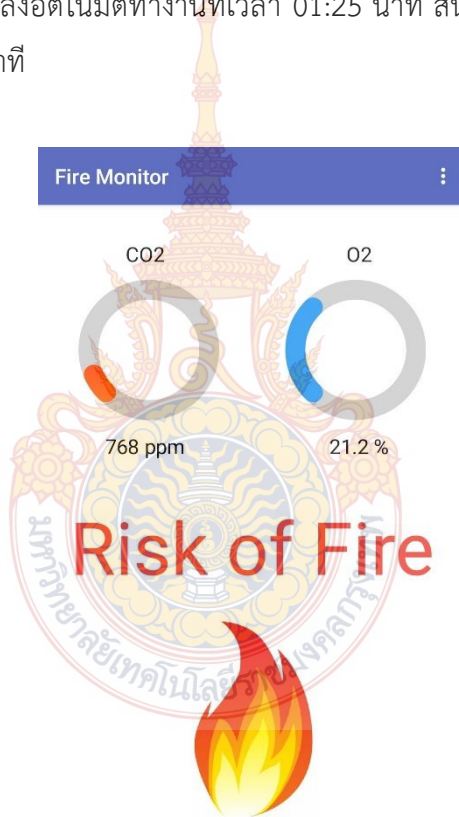
ภาพที่ 4.4 การแจ้งเตือนกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของไม้ จำนวน 30 ชิ้น

ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของไม้ จำนวน 60 ชิ้น

การทดลอง ครั้งที่	ก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์ (พีพีเอ็ม)	ก๊าซ ออกซิเจน (เปอร์เซ็นต์)	แจ้งเตือน (นาที่ : วินาที)	ถึงดับเพลิง อัตโนมัติทำงาน (นาที่ : วินาที)	สิ้นสุดการเกิด อัคคีภัย (นาที่ : วินาที)
1	768	21.2	01:30	01:35	01:43
2	496	21.3	01:10	01:15	01:23
3	677	21.3	01:20	01:25	01:32

จากผลการทดลองกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของไม้ จำนวน 60 ชิ้น ตามตารางที่ 4.6 โดยทำการทดลอง 3 ครั้ง กล่าวคือ การทดลองครั้งที่ 1 เมื่อเกิดการลุกไหม้ของไม้ ระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ในขณะที่ระดับก๊าซออกซิเจนจะยังคงที่อยู่ และเมื่อก๊าซออกซิเจนถูกนำไปช่วยในการลุกไหม้มากขึ้น ระดับก๊าซออกซิเจนลดลงในทันทีจาก 21.3 เปอร์เซ็นต์ เป็น 21.2 เปอร์เซ็นต์ ตามขั้นตอนวิธีประเมินเหตุอัคคีภัย ระบบจะทำการแจ้งเตือนกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของไม้ที่เวลา 01:30 นาที่ ดังภาพที่ 4.5 ถึงดับเพลิงอัตโนมัติทำงานที่เวลา 01:35 นาที่ สิ้นสุดการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของไม้ที่เวลา 01:43 นาที่ การทดลองครั้งที่ 2

เมื่อเกิดการลุกไหม้ของไม้ ระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ในขณะที่ระดับก๊าซออกซิเจนจะยังคงที่อยู่ และเมื่อก๊าซออกซิเจนถูกนำไปช่วยในการลุกไหม้มากขึ้น ระดับก๊าซออกซิเจนลดลงในทันทีจาก 21.4 เปอร์เซ็นต์ เป็น 21.3 เปอร์เซ็นต์ ตามขั้นตอนวิธีประเมินเหตุอัคคีภัย ระบบจะทำการแจ้งเตือนกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของไม้ที่เวลา 01:10 นาฬิกา ถึงดับเพลิงอัตโนมัติทำงานที่เวลา 01:15 นาฬิกา สิ้นสุดการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของไม้ที่เวลา 01:23 นาฬิกา และการทดลองครั้งที่ 3 เมื่อเกิดการลุกไหม้ของไม้ ระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ในขณะที่ระดับก๊าซออกซิเจนจะยังคงที่อยู่ และเมื่อก๊าซออกซิเจนถูกนำไปช่วยในการลุกไหม้มากขึ้น ระดับก๊าซออกซิเจนลดลงในทันทีจาก 21.4 เปอร์เซ็นต์ เป็น 21.3 เปอร์เซ็นต์ ตามขั้นตอนวิธีประเมินเหตุอัคคีภัย ระบบจะทำการแจ้งเตือนกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของไม้ที่เวลา 01:20 นาฬิกา ถึงดับเพลิงอัตโนมัติทำงานที่เวลา 01:25 นาฬิกา สิ้นสุดการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของไม้ที่เวลา 01:32 นาฬิกา

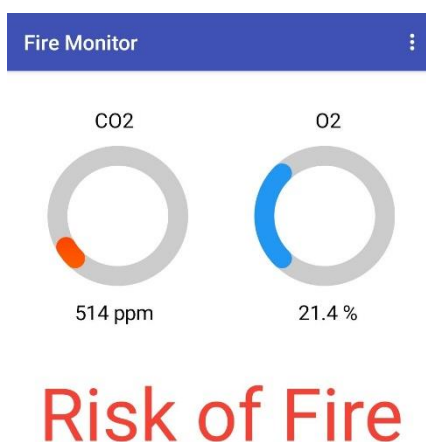


ภาพที่ 4.5 การแจ้งเตือนกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของไม้ จำนวน 60 ชิ้น

ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของไม้ จำนวน 90 ขึ้น

การทดลอง ครั้งที่	ก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์ (พีพีเอ็ม)	ก๊าซ ออกซิเจน (เปอร์เซ็นต์)	แจ้งเตือน (นาทิจ : วินาที)	ถึงดับเพลิง อัตโนมัติทำงาน (นาทิจ : วินาที)	สิ้นสุดการเกิด อัคคีภัย (นาทิจ : วินาที)
1	514	21.4	01:00	01:05	01:13
2	981	21.2	01:40	01:45	01:54
3	465	21.4	01:20	01:25	01:35

จากผลการทดลองกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของไม้ จำนวน 90 ขึ้น ตามตารางที่ 4.7 โดยทำการทดลอง 3 ครั้ง กล่าวคือ การทดลองครั้งที่ 1 เมื่อเกิดการลุกไหม้ของไม้ ระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ในขณะที่ระดับก๊าซออกซิเจนจะยังคงที่อยู่ และเมื่อก๊าซออกซิเจนถูกนำไปช่วยในการลุกไหม้มากขึ้น ระดับก๊าซออกซิเจนลดลงในทันทีจาก 21.5 เปอร์เซ็นต์ เป็น 21.4 เปอร์เซ็นต์ ตามขั้นตอนวิธีประเมินเหตุอัคคีภัย ระบบจะทำการแจ้งเตือนกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของไม้ที่เวลา 01:00 นาทิจ ดังภาพที่ 4.6 ถึงดับเพลิงอัตโนมัติทำงานที่เวลา 01:05 นาทิจ สิ้นสุดการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของไม้ที่เวลา 01:13 นาทิจ การทดลองครั้งที่ 2 เมื่อเกิดการลุกไหม้ของไม้ ระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ในขณะที่ระดับก๊าซออกซิเจนจะยังคงที่อยู่ และเมื่อก๊าซออกซิเจนถูกนำไปช่วยในการลุกไหม้มากขึ้น ระดับก๊าซออกซิเจนลดลงในทันทีจาก 21.3 เปอร์เซ็นต์ เป็น 21.2 เปอร์เซ็นต์ ตามขั้นตอนวิธีประเมินเหตุอัคคีภัย ระบบจะทำการแจ้งเตือนกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของไม้ที่เวลา 01:40 นาทิจ ถึงดับเพลิงอัตโนมัติทำงานที่เวลา 01:45 นาทิจ สิ้นสุดการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของไม้ที่เวลา 01:54 นาทิจ และการทดลองครั้งที่ 3 เมื่อเกิดการลุกไหม้ของไม้ ระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ในขณะที่ระดับก๊าซออกซิเจนจะยังคงที่อยู่ และเมื่อก๊าซออกซิเจนถูกนำไปช่วยในการลุกไหม้มากขึ้น ระดับก๊าซออกซิเจนลดลงในทันทีจาก 21.5 เปอร์เซ็นต์ เป็น 21.4 เปอร์เซ็นต์ ตามขั้นตอนวิธีประเมินเหตุอัคคีภัย ระบบจะทำการแจ้งเตือนกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของไม้ที่เวลา 01:20 นาทิจ ถึงดับเพลิงอัตโนมัติทำงานที่เวลา 01:25 นาทิจ สิ้นสุดการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของไม้ที่เวลา 01:35 นาทิจ



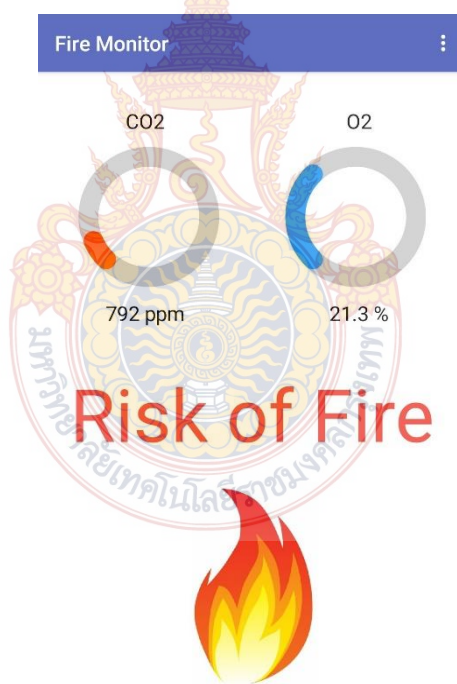
ภาพที่ 4.6 การแจ้งเตือนกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของไม้ จำนวน 90 ชิ้น

ตารางที่ 4.8 ผลการทดลองกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของผ้า จำนวน 30 กรัม

การทดลอง ครั้งที่	ก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์ (พีพีเอ็ม)	ก๊าซ ออกซิเจน (เปอร์เซ็นต์)	แจ้งเตือน (นาที่ : วินาที)	ถึงดับเพลิง อัตโนมัติทำงาน (นาที่ : วินาที)	สิ้นสุดการเกิด อัคคีภัย (นาที่ : วินาที)
1	792	21.3	01:30	01:35	01:40
2	515	21.4	00:30	00:35	00:40
3	465	21.4	00:50	00:55	01:00

จากผลการทดลองกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของผ้า จำนวน 30 กรัม ตามตารางที่ 4.8 โดยทำการทดลอง 3 ครั้ง กล่าวคือ การทดลองครั้งที่ 1 เมื่อเกิดการลุกไหม้ของผ้า ระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ในขณะที่ระดับก๊าซออกซิเจนจะยังคงที่อยู่ และเมื่อก๊าซออกซิเจนถูกนำไปช่วยในการลุกไหม้มากขึ้น ระดับก๊าซออกซิเจนลดลงในทันทีจาก 21.4 เปอร์เซ็นต์ เป็น 21.3 เปอร์เซ็นต์ ตามขั้นตอนวิธี (Algorithm) ประเมินเหตุอัคคีภัย ระบบจะทำการแจ้งเตือนกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของผ้าที่เวลา 01:30 นาที่ ดังภาพที่ 4.7 ถึงดับเพลิง

อัตโนมัติทำงานที่เวลา 01:35 นาฬิกา สิ้นสุดการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของผ้าที่เวลา 01:40 นาฬิกา การทดลองครั้งที่ 2 เมื่อเกิดการลุกไหม้ของผ้า ระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ในขณะที่ระดับก๊าซออกซิเจนจะยังคงที่อยู่ และเมื่อก๊าซออกซิเจนถูกนำไปช่วยในการลุกไหม้มากขึ้น ระดับก๊าซออกซิเจนลดลงในทันทีจาก 21.5 เปอร์เซ็นต์ เป็น 21.4 เปอร์เซ็นต์ ตามขั้นตอนวิธีประเมินเหตุอัคคีภัย ระบบจะทำการแจ้งเตือนกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของผ้าที่เวลา 00:30 นาฬิกา ถึงดับเพลิงอัตโนมัติทำงานที่เวลา 00:35 นาฬิกา สิ้นสุดการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของผ้าที่เวลา 00:40 นาฬิกา และการทดลองครั้งที่ 3 เมื่อเกิดการลุกไหม้ของผ้า ระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ในขณะที่ระดับก๊าซออกซิเจนจะยังคงที่อยู่ และเมื่อก๊าซออกซิเจนถูกนำไปช่วยในการลุกไหม้มากขึ้น ระดับก๊าซออกซิเจนลดลงในทันทีจาก 21.5 เปอร์เซ็นต์ เป็น 21.4 เปอร์เซ็นต์ ตามขั้นตอนวิธีประเมินเหตุอัคคีภัย ระบบจะทำการแจ้งเตือนกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของผ้าที่เวลา 00:50 นาฬิกา ถึงดับเพลิงอัตโนมัติทำงานที่เวลา 00:55 นาฬิกา สิ้นสุดการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของผ้าที่เวลา 01:00 นาฬิกา

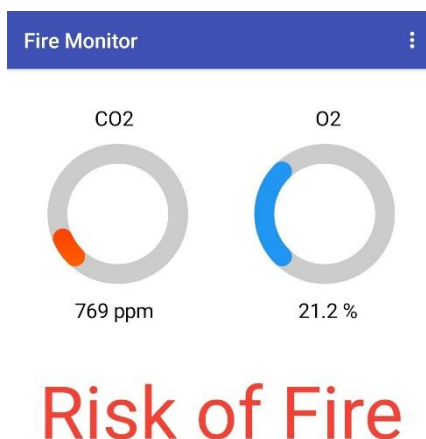


ภาพที่ 4.7 การแจ้งเตือนกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของผ้า จำนวน 30 กรัม

ตารางที่ 4.9 ผลการทดลองกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของผ้า จำนวน 60 กรัม

การทดลอง ครั้งที่	ก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์ (พีพีเอ็ม)	ก๊าซ ออกซิเจน (เปอร์เซ็นต์)	แจ้งเตือน (นาที่ : วินาที)	ถังดับเพลิง อัตโนมัติทำงาน (นาที่ : วินาที)	สิ้นสุดการเกิด อัคคีภัย (นาที่ : วินาที)
1	769	21.2	02:00	02:05	02:13
2	502	21.3	01:00	01:05	01:12
3	505	21.4	00:30	00:35	00:43

จากผลการทดลองกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของผ้า จำนวน 60 กรัม ตามตารางที่ 4.9 โดยทำการทดลอง 3 ครั้ง กล่าวคือ การทดลองครั้งที่ 1 เมื่อเกิดการลุกไหม้ของผ้า ระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ในขณะที่ระดับก๊าซออกซิเจนจะยังคงที่อยู่ และเมื่อก๊าซออกซิเจนถูกนำไปช่วยในการลุกไหม้มากขึ้น ระดับก๊าซออกซิเจนลดลงในทันทีจาก 21.3 เปอร์เซ็นต์ เป็น 21.2 เปอร์เซ็นต์ ตามขั้นตอนวิธี (Algorithm) ประเมินเหตุอัคคีภัย ระบบจะทำการแจ้งเตือนกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของผ้าที่เวลา 02:00 นาที่ ดังภาพที่ 4.8 ถังดับเพลิงอัตโนมัติทำงานที่เวลา 02:05 นาที่ สิ้นสุดการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของผ้าที่เวลา 02:13 นาที่ การทดลองครั้งที่ 2 เมื่อเกิดการลุกไหม้ของผ้า ระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ในขณะที่ระดับก๊าซออกซิเจนจะยังคงที่อยู่ และเมื่อก๊าซออกซิเจนถูกนำไปช่วยในการลุกไหม้มากขึ้น ระดับก๊าซออกซิเจนลดลงในทันทีจาก 21.4 เปอร์เซ็นต์ เป็น 21.3 เปอร์เซ็นต์ ตามขั้นตอนวิธี ประเมินเหตุอัคคีภัย ระบบจะทำการแจ้งเตือนกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของผ้าที่เวลา 01:00 นาที่ ถังดับเพลิงอัตโนมัติทำงานที่เวลา 01:05 นาที่ สิ้นสุดการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของผ้าที่เวลา 01:12 นาที่ และการทดลองครั้งที่ 3 เมื่อเกิดการลุกไหม้ของผ้า ระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ในขณะที่ระดับก๊าซออกซิเจนจะยังคงที่อยู่ และเมื่อก๊าซออกซิเจนถูกนำไปช่วยในการลุกไหม้มากขึ้น ระดับก๊าซออกซิเจนลดลงในทันทีจาก 21.5 เปอร์เซ็นต์ เป็น 21.4 เปอร์เซ็นต์ ตามขั้นตอนวิธีประเมินเหตุอัคคีภัย ระบบจะทำการแจ้งเตือนกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของผ้าที่เวลา 00:30 นาที่ ถังดับเพลิงอัตโนมัติทำงานที่เวลา 00:35 นาที่ สิ้นสุดการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของผ้าที่เวลา 00:43 นาที่



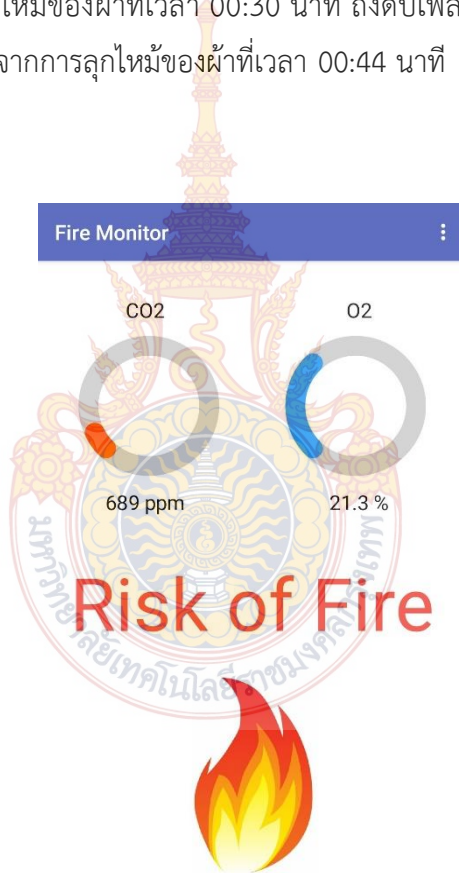
ภาพที่ 4.8 การแจ้งเตือนกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของผ้า จำนวน 60 กรัม

ตารางที่ 4.10 ผลการทดลองกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของผ้า จำนวน 90 กรัม

การทดลอง ครั้งที่	ก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์ (พีพีเอ็ม)	ก๊าซ ออกซิเจน (เปอร์เซ็นต์)	แจ้งเตือน (นาที่ : วินาที)	ถึงดับเพลิง อัตโนมัติทำงาน (นาที่ : วินาที)	สิ้นสุดการเกิด อัคคีภัย (นาที่ : วินาที)
1	689	21.3	01:30	01:35	01:43
2	511	21.4	01:10	01:15	01:25
3	460	21.5	00:30	00:35	00:44

จากผลการทดลองกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของผ้า จำนวน 90 กรัม ตามตารางที่ 4.10 โดยทำการทดลอง 3 ครั้ง กล่าวคือ การทดลองครั้งที่ 1 เมื่อเกิดการลุกไหม้ของผ้า ระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ในขณะที่ระดับก๊าซออกซิเจนจะยังคงที่อยู๋ และเมื่อก๊าซออกซิเจนถูกนำไปช่วยในการลุกไหม้มากขึ้น ระดับก๊าซออกซิเจนลดลงในทันทีจาก 21.4 เปอร์เซ็นต์ เป็น 21.3 เปอร์เซ็นต์ ตามขั้นตอนวิธี (Algorithm) ประเมินเหตุอัคคีภัย ระบบจะทำการแจ้งเตือนกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของผ้าที่เวลา 01:30 นาที่ ดังภาพที่ 4.9 ถึงดับเพลิงอัตโนมัติทำงานที่เวลา 01:35 นาที่ สิ้นสุดการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของผ้าที่เวลา 01:43 นาที่

การทดลองครั้งที่ 2 เมื่อเกิดการลุกไหม้ของผ้า ระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ในขณะที่ระดับก๊าซออกซิเจนจะยังคงที่อยู่ และเมื่อก๊าซออกซิเจนถูกนำไปช่วยในการลุกไหม้มากขึ้น ระดับก๊าซออกซิเจนลดลงในทันทีจาก 21.5 เปอร์เซ็นต์ เป็น 21.4 เปอร์เซ็นต์ ตามขั้นตอนวิธีประเมินเหตุอัคคีภัย ระบบจะทำการแจ้งเตือนกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของผ้าที่เวลา 01:10 นาที ถึงดับเพลิงอัตโนมัติทำงานที่เวลา 01:15 นาที สิ้นสุดการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของผ้าที่เวลา 01:25 นาที และการทดลองครั้งที่ 3 เมื่อเกิดการลุกไหม้ของผ้า ระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ในขณะที่ระดับก๊าซออกซิเจนจะยังคงที่อยู่ และเมื่อก๊าซออกซิเจนถูกนำไปช่วยในการลุกไหม้มากขึ้น ระดับก๊าซออกซิเจนลดลงในทันทีจาก 21.6 เปอร์เซ็นต์ เป็น 21.5 เปอร์เซ็นต์ ตามขั้นตอนวิธีประเมินเหตุอัคคีภัย ระบบจะทำการแจ้งเตือนกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของผ้าที่เวลา 00:30 นาที ถึงดับเพลิงอัตโนมัติทำงานที่เวลา 00:35 นาที สิ้นสุดการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของผ้าที่เวลา 00:44 นาที

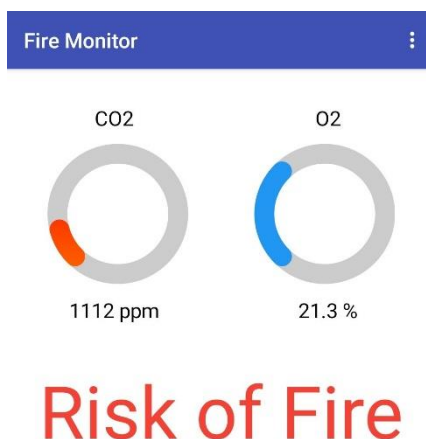


ภาพที่ 4.9 การแจ้งเตือนกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของผ้า จำนวน 90 กรัม

ตารางที่ 4.11 ผลการทดลองกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของพลาสติก จำนวน 30 กรัม

การทดลอง ครั้งที่	ก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์ (พีพีเอ็ม)	ก๊าซ ออกซิเจน (เปอร์เซ็นต์)	แจ้งเตือน (นาที่ : วินาที)	ถังดับเพลิง อัตโนมัติทำงาน (นาที่ : วินาที)	สิ้นสุดการเกิด อัคคีภัย (นาที่ : วินาที)
1	1,112	21.3	01:30	01:35	01:39
2	890	21.3	01:00	01:05	01:11
3	754	21.4	01:00	01:05	01:10

จากผลการทดลองกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของพลาสติก จำนวน 30 กรัม ตามตารางที่ 4.11 โดยทำการทดลอง 3 ครั้ง กล่าวคือ การทดลองครั้งที่ 1 เมื่อเกิดการลุกไหม้ของผ้าระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ในขณะที่ระดับก๊าซออกซิเจนจะยังคงที่อยู่ และเมื่อก๊าซออกซิเจนถูกนำไปช่วยในการลุกไหม้มากขึ้น ระดับก๊าซออกซิเจนลดลงในทันทีจาก 21.4 เปอร์เซ็นต์ เป็น 21.3 เปอร์เซ็นต์ ตามขั้นตอนวิธี (Algorithm) ประเมินเหตุอัคคีภัย ระบบจะทำการแจ้งเตือนกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของพลาสติกที่เวลา 01:30 นาที่ ดังภาพที่ 4.10 ถังดับเพลิงอัตโนมัติทำงานที่เวลา 01:35 นาที่ สิ้นสุดการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของพลาสติกที่เวลา 01:39 นาที่ การทดลองครั้งที่ 2 เมื่อเกิดการลุกไหม้ของพลาสติก ระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ในขณะที่ระดับก๊าซออกซิเจนจะยังคงที่อยู่ และเมื่อก๊าซออกซิเจนถูกนำไปช่วยในการลุกไหม้มากขึ้น ระดับก๊าซออกซิเจนลดลงในทันทีจาก 21.4 เปอร์เซ็นต์ เป็น 21.3 เปอร์เซ็นต์ ตามขั้นตอนวิธีประเมินเหตุอัคคีภัย ระบบจะทำการแจ้งเตือนกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของพลาสติกที่เวลา 01:00 นาที่ ถังดับเพลิงอัตโนมัติทำงานที่เวลา 01:05 นาที่ สิ้นสุดการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของพลาสติกที่เวลา 01:11 นาที่ และการทดลองครั้งที่ 3 เมื่อเกิดการลุกไหม้ของพลาสติก ระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ในขณะที่ระดับก๊าซออกซิเจนจะยังคงที่อยู่ และเมื่อก๊าซออกซิเจนถูกนำไปช่วยในการลุกไหม้มากขึ้น ระดับก๊าซออกซิเจนลดลงในทันทีจาก 21.5 เปอร์เซ็นต์ เป็น 21.4 เปอร์เซ็นต์ ตามขั้นตอนวิธีประเมินเหตุอัคคีภัย ระบบจะทำการแจ้งเตือนกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของพลาสติกที่เวลา 01:00 นาที่ ถังดับเพลิงอัตโนมัติทำงานที่เวลา 01:05 นาที่ สิ้นสุดการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของพลาสติกที่เวลา 01:10 นาที่



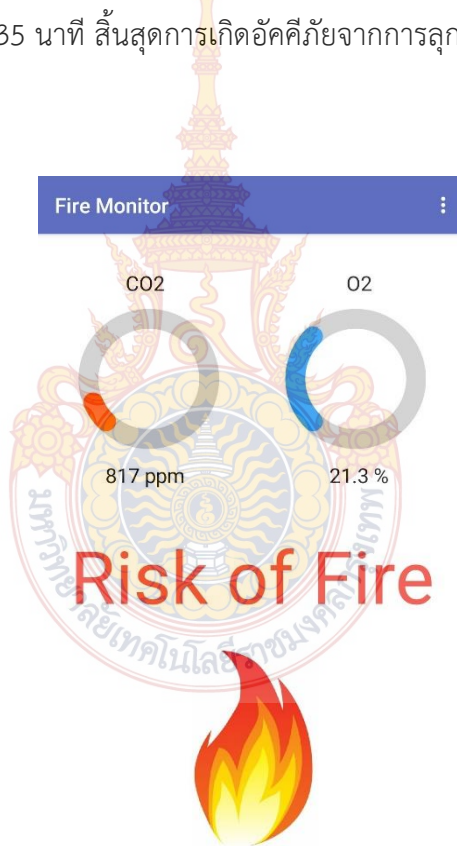
ภาพที่ 4.10 การแจ้งเตือนกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของพลาสติก จำนวน 30 กรัม

ตารางที่ 4.12 ผลการทดลองกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของพลาสติก จำนวน 60 กรัม

การทดลอง ครั้งที่	ก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์ (พีพีเอ็ม)	ก๊าซ ออกซิเจน (เปอร์เซ็นต์)	แจ้งเตือน (นาที่ : วินาที)	ถึงดับเพลิง อัตโนมัติทำงาน (นาที่ : วินาที)	สิ้นสุดการเกิด อัคคีภัย (นาที่ : วินาที)
1	817	21.3	01:10	01:15	01:22
2	1,032	21.3	01:10	01:15	01:22
3	936	21.3	01:30	01:35	01:41

จากผลการทดลองกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของพลาสติก จำนวน 60 กรัม ตามตารางที่ 4.12 โดยทำการทดลอง 3 ครั้ง กล่าวคือ การทดลองครั้งที่ 1 เมื่อเกิดการลุกไหม้ของผ้าระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ในขณะที่ระดับก๊าซออกซิเจนจะยังคงที่อยู่ และเมื่อก๊าซออกซิเจนถูกนำไปช่วยในการลุกไหม้มากขึ้น ระดับก๊าซออกซิเจนลดลงในทันทีจาก 21.4 เปอร์เซ็นต์ เป็น 21.3 เปอร์เซ็นต์ ตามขั้นตอนวิธี (Algorithm) ประเมินเหตุอัคคีภัย ระบบจะทำการแจ้งเตือนกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของพลาสติกที่เวลา 01:10 นาที่ ดังภาพที่ 4.11 ถึงดับเพลิงอัตโนมัติทำงานที่เวลา 01:15 นาที่ สิ้นสุดการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของพลาสติกที่เวลา

01:22 นาฬิกา การทดลองครั้งที่ 2 เมื่อเกิดการลุกไหม้ของพลาสติก ระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ในขณะที่ระดับก๊าซออกซิเจนจะยังคงที่อยู่ และเมื่อก๊าซออกซิเจนถูกนำไปช่วยในการลุกไหม้มากขึ้น ระดับก๊าซออกซิเจนลดลงในทันทีจาก 21.4 เปอร์เซ็นต์ เป็น 21.3 เปอร์เซ็นต์ ตามขั้นตอนวิธีประเมินเหตุอัคคีภัย ระบบจะทำการแจ้งเตือนกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของพลาสติกที่เวลา 01:10 นาฬิกา ถึงดับเพลิงอัตโนมัติทำงานที่เวลา 01:15 นาฬิกา สิ้นสุดการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของพลาสติกที่เวลา 01:22 นาฬิกา และการทดลองครั้งที่ 3 เมื่อเกิดการลุกไหม้ของพลาสติก ระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ในขณะที่ระดับก๊าซออกซิเจนจะยังคงที่อยู่ และเมื่อก๊าซออกซิเจนถูกนำไปช่วยในการลุกไหม้มากขึ้น ระดับก๊าซออกซิเจนลดลงในทันทีจาก 21.4 เปอร์เซ็นต์ เป็น 21.3 เปอร์เซ็นต์ ตามขั้นตอนวิธีประเมินเหตุอัคคีภัย ระบบจะทำการแจ้งเตือนกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของพลาสติกที่เวลา 01:30 นาฬิกา ถึงดับเพลิงอัตโนมัติทำงานที่เวลา 01:35 นาฬิกา สิ้นสุดการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของพลาสติกที่เวลา 01:41 นาฬิกา

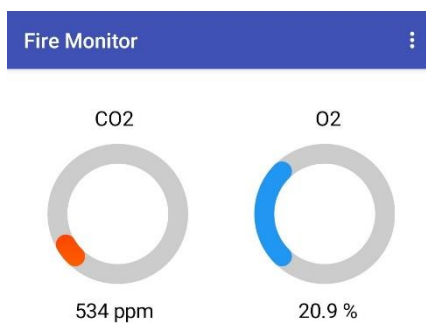


ภาพที่ 4.11 การแจ้งเตือนกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของพลาสติก จำนวน 60 กรัม

ตารางที่ 4.13 ผลการทดลองกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของพลาสติก จำนวน 90 กรัม

การทดลอง ครั้งที่	ก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์ (พีพีเอ็ม)	ก๊าซ ออกซิเจน (เปอร์เซ็นต์)	แจ้งเตือน (นาที่ : วินาที)	ถังดับเพลิง อัตโนมัติทำงาน (นาที่ : วินาที)	สิ้นสุดการเกิด อัคคีภัย (นาที่ : วินาที)
1	534	20.9	00:10	00:15	00:23
2	3,837	20.6	05:10	05:15	05:23
3	864	21.3	01:00	01:05	01:12

จากผลการทดลองกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของพลาสติก จำนวน 90 กรัม ตามตารางที่ 4.13 โดยทำการทดลอง 3 ครั้ง กล่าวคือ การทดลองครั้งที่ 1 เมื่อเกิดการลุกไหม้ของผ้าระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ในขณะที่ระดับก๊าซออกซิเจนจะยังคงที่อยู่ และเมื่อก๊าซออกซิเจนถูกนำไปช่วยในการลุกไหม้มากขึ้น ระดับก๊าซออกซิเจนลดลงในทันทีจาก 21.2 เปอร์เซ็นต์ เป็น 20.9 เปอร์เซ็นต์ ตามขั้นตอนวิธี (Algorithm) ประเมินเหตุอัคคีภัย ระบบจะทำการแจ้งเตือนกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของพลาสติกที่เวลา 01:10 นาที่ ดังภาพที่ 4.12 ถังดับเพลิงอัตโนมัติทำงานที่เวลา 01:15 นาที่ สิ้นสุดการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของพลาสติกที่เวลา 01:23 นาที่ การทดลองครั้งที่ 2 เมื่อเกิดการลุกไหม้ของพลาสติก ระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ในขณะที่ระดับก๊าซออกซิเจนจะยังคงที่อยู่ และเมื่อก๊าซออกซิเจนถูกนำไปช่วยในการลุกไหม้มากขึ้น ระดับก๊าซออกซิเจนลดลงในทันทีจาก 20.9 เปอร์เซ็นต์ เป็น 20.6 เปอร์เซ็นต์ ตามขั้นตอนวิธีประเมินเหตุอัคคีภัย ระบบจะทำการแจ้งเตือนกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของพลาสติกที่เวลา 05:10 นาที่ ถังดับเพลิงอัตโนมัติทำงานที่เวลา 05:15 นาที่ สิ้นสุดการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของพลาสติกที่เวลา 05:23 นาที่ และการทดลองครั้งที่ 3 เมื่อเกิดการลุกไหม้ของพลาสติก ระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ในขณะที่ระดับก๊าซออกซิเจนจะยังคงที่อยู่ และเมื่อก๊าซออกซิเจนถูกนำไปช่วยในการลุกไหม้มากขึ้น ระดับก๊าซออกซิเจนลดลงในทันทีจาก 21.4 เปอร์เซ็นต์ เป็น 21.3 เปอร์เซ็นต์ ตามขั้นตอนวิธีประเมินเหตุอัคคีภัย ระบบจะทำการแจ้งเตือนกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของพลาสติกที่เวลา 01:00 นาที่ ถังดับเพลิงอัตโนมัติทำงานที่เวลา 01:05 นาที่ สิ้นสุดการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของพลาสติกที่เวลา 01:12 นาที่



Risk of Fire



ภาพที่ 4.12 การแจ้งเตือนกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของพลาสติก จำนวน 90 กรัม

4.2 การอภิปรายผล

จากผลการทดลองดังตารางที่ 4.2 ถึง ตารางที่ 4.13 สำหรับกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของกระดาษ ไม้ ผ้า และพลาสติก ตามลำดับ ถึงดับเพลิงอัตโนมัติสามารถยุติเหตุเพลิงไหม้ได้จากการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และระดับก๊าซออกซิเจน ตามขั้นตอนวิธี (Algorithm) ประเมินเหตุอัคคีภัย กล่าวคือ เมื่อเกิดการลุกไหม้ขึ้นระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะค่อย ๆ สะสมเพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ ตามอัตราการลุกไหม้ และในระหว่างการลุกไหม้ที่ค่อย ๆ เพิ่มขึ้น จะมีการดึงก๊าซออกซิเจนไปใช้เพื่อช่วยในการลุกไหม้เพิ่มขึ้น ทำให้ระดับก๊าซออกซิเจนลดต่ำลง ระบบก็จะทำการแจ้งเตือนกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ทันที ดังภาพที่ 4.1 ถึง ภาพที่ 4.12 พร้อมถึงดับเพลิงอัตโนมัติทำงานเป็นเวลา 5 วินาที เพื่อยุติเหตุเพลิงไหม้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากผลการวิจัยและการวิจารณ์ในบทที่ 4 สรุปผลการวิจัยได้ว่า เมื่อกำหนดตัวแปรต้นคือ ประเภทและปริมาณของวัสดุที่เป็นสาเหตุของเพลิงไหม้ อาทิ กระดาษ ไม้ ผ้า และพลาสติก ตัวแปรตามคือ ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซออกซิเจน และมีตัวแปรควบคุมคือ ห้องปิดขนาดกว้าง 230 เซนติเมตร ยาว 270 เซนติเมตร สูง 265 เซนติเมตร เมื่อติดตั้งชุดตรวจจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และชุดตรวจจับก๊าซออกซิเจน สูงจากพื้น 100 เซนติเมตร และห่างจากตำแหน่งวางวัสดุ 120 เซนติเมตร ผลการวิจัยแสดงดังตารางที่ 4.2 ถึง ตารางที่ 4.13 สำหรับกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ของกระดาษ ไม้ ผ้า และพลาสติก ตามลำดับ ถังดับเพลิงอัตโนมัติสามารถทำงานได้ตามขอบเขตการวิจัย กล่าวคือ ถังดับเพลิงอัตโนมัติประกอบด้วยส่วนสำคัญ 4 ส่วน คือ 1) ส่วนตรวจจับ โดยเซ็นเซอร์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon Dioxide Sensor) และเซ็นเซอร์ก๊าซออกซิเจน (Oxygen Sensor) สามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และออกซิเจนซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดการลุกไหม้ 2) ส่วนการควบคุมเพลิงไหม้ ในส่วนนี้จะป้อนถึงถังดับเพลิงชนิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์พร้อมกลไกการควบคุม ตามมาตรฐาน NFPA 10 ของสหรัฐอเมริกา สามารถทำงานได้อย่างอัตโนมัติเมื่อเกิดเพลิงไหม้ 3) ส่วนประมวลผล เป็นส่วนการวิเคราะห์และการตัดสินใจสั่งการให้ส่วนการควบคุมเพลิงไหม้ทำงาน โดยอาศัยข้อมูลจากส่วนตรวจจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และตรวจจับก๊าซออกซิเจน สำหรับการวินิจฉัยว่าเหตุการณ์ลุกไหม้นั้น ๆ จะลุกลามเป็นเหตุเพลิงไหม้หรือไม่ กล่าวคือ เมื่อเกิดการลุกไหม้ขึ้นระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะค่อย ๆ สะสมเพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ ตามอัตราการลุกไหม้ และในระหว่างการลุกไหม้ที่ค่อย ๆ เพิ่มขึ้น จะมีการดึงก๊าซออกซิเจนไปใช้เพื่อช่วยในการลุกไหม้เพิ่มขึ้น ทำให้ระดับก๊าซออกซิเจนลดต่ำลง ระบบก็จะทำการแจ้งเตือนกรณีการเกิดอัคคีภัยจากการลุกไหม้ทันที ดังภาพที่ 4.1 ถึง ภาพที่ 4.12 พร้อมถังดับเพลิงอัตโนมัติทำงานเป็นเวลา 5 วินาที เพื่อยุติเหตุเพลิงไหม้ 4) ส่วนการสื่อสารผ่านแอปพลิเคชันในระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ของสมาร์ทโฟน ในส่วนนี้จะเป็นการสื่อสารถึงผู้ควบคุมดูแลเมื่อเกิดเหตุการณ์เพลิงไหม้ขึ้น ดังภาพที่ 4.1 ถึง ภาพที่ 4.12

5.2 ข้อเสนอแนะ

- (1) นำผลการวิจัยไปต่อยอดเพื่อสร้างระบบตรวจจับเหตุอัคคีภัยจากการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงของระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และระดับก๊าซออกซิเจน สำหรับพื้นที่เฉพาะต่อไป
- (2) นำผลการวิจัยบูรณาการกับการเรียนการสอนในรายวิชาที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยจากอัคคีภัย



เอกสารอ้างอิง

- [1] tester_seohan. 2559. สาเหตุการเกิดเพลิงไหม้ และวิธีป้องกันเหตุการณ์ไฟไหม้. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : <http://www.seohan.co.th/2016/12/08/สาเหตุการเกิดเพลิงไหม้-และวิธีป้องกัน-เหตุการณ์ไฟไหม้-seohan/> (12 กรกฎาคม 2560).
- [2] Ch.ChooChuay. 2556. การออกแบบระบบดับเพลิงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : <http://dpm.nida.ac.th/main/index.php/articles/fire/item/175-การออกแบบระบบดับเพลิงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์-carbon-dioxide> (12 กรกฎาคม 2560).
- [3] krunut. 2553. สมบัติของแก๊สออกซิเจน. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : <http://oknation.nationtv.tv/blog/krunut/2010/11/26/entry-1> (12 กรกฎาคม 2560).
- [4] สถานีดับเพลิงสามเสน. 2559. ประเภทของไฟ ตามมาตรฐาน NFPA 10. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : <http://www.samsenfire.com/article/83-fire-calss.html> (12 กรกฎาคม 2560).
- [5] ArduinoAll. 2560. MG-811 Carbon Dioxide Co2 Sensor Module. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : <https://www.arduinoall.com/product/1699/mg-811-carbon-dioxide-co2-sensor-module-เซนเซอร์วัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์-co2> (21 สิงหาคม 2560).
- [6] Fujikura. 2560. Oxygen Sensor Module. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : http://www.fujikura.co.jp/eng/products/electronics/sensors/03/2050143_12788.html (21 สิงหาคม 2560).
- [7] Won-Ho Kim, Seung-Kyeom Kim, Jong-Ho Lee and Chang-Ho Hyun. 2011. "A Fire Alarm Vision System Based on IR Image Processing." **IEEE Journals & Magazines**. vol. 2, no. 6 (November-December) : 291-293.
- [8] Ryo Takeuchi, Kouki Yamaguchi, and Hayato Takahashi. 2016. "Improvement of Full Automatic Fire Extinguish System for Residential Use." **IEEE Journals & Magazines**. vol. 4, no. 3 (May-June) : 93-98.
- [9] Molla Shahadat, Hossain Lipu, and Tahia Fahrin Karim. 2010. "Wireless security control system & sensor network for smoke & fire detection." **IEEE Journals & Magazines**. vol. 3, no. 4 (July-August) : 153-157.

ประวัตินักวิจัย



ประวัตินักวิจัย



1. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นายชูศักดิ์ กมลขันติธร
ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Mr. Choosak Kamonkhantithorn
2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน [REDACTED]
3. ตำแหน่งปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์
4. หน่วยงานและสถานที่ติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (e-mail)

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
เลขที่ 2 ถนนนางลิ้นจี่ แขวงทุ่งมหาเมฆ เขตสาทร กรุงเทพฯ 10120
โทรศัพท์ 081-777-4545 E-Mail : choosak.k@mail.rmutk.ac.th

5. ประวัติการศึกษา

ระดับการศึกษา	อักษรย่อปริญญา	วิชาเอก	สถานศึกษา	ปีที่สำเร็จ	ประเทศ
ปริญญาโท	วศ.ม.	วิศวกรรมไฟฟ้า	มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี	2546	ไทย
ปริญญาตรี	คอ.บ.	วิศวกรรมไฟฟ้า	มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี	2534	ไทย

ประวัตินักวิจัย



- ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นายเอกพล อนุสุเรนทร์
ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Mr.Ekkapol Anusurain
- เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน [REDACTED]
- ตำแหน่งปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์
- หน่วยงานและสถานที่อยู่ติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (e-mail)
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
เลขที่ 2 ถนนนางลิ้นจี่ แขวงทุ่งมหาเมฆ เขตสาทร กรุงเทพฯ 10120
โทรศัพท์ 083-993-2191 E-Mail : ekkapola@yahoo.com

5. ประวัติการศึกษา

ระดับการศึกษา	อักษรย่อปริญญา	วิชาเอก	สถานศึกษา	ปีที่สำเร็จ	ประเทศ
ปริญญาโท	วศ.ม.	วิศวกรรมไฟฟ้า	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	2542	ไทย
ปริญญาตรี	วศ.บ.	วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์	มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย	2538	ไทย

ประวัตินักวิจัย



- ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นายชัยณรงค์ วิเศษศักดิ์วิชัย
ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Mr.Chainarong Wisassakwichai
- เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน [REDACTED]
- ตำแหน่งปัจจุบัน รองศาสตราจารย์
- หน่วยงานและสถานที่ติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (e-mail)
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
เลขที่ 2 ถนนนางลิ้นจี่ แขวงทุ่งมหาเมฆ เขตสาทร กรุงเทพฯ 10120
โทรศัพท์ 089-760-1113 E-Mail :boonchuay.j@mail.rmutk.ac.th

5. ประวัติการศึกษา

ระดับการศึกษา	อักษรย่อปริญญา	วิชาเอก	สถานศึกษา	ปีที่สำเร็จ	ประเทศ
ปริญญาโท	วศ.ม.	วิศวกรรมไฟฟ้า	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	2540	ไทย
ปริญญาตรี	ค.อ.บ.	วิศวกรรมไฟฟ้า	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	2534	ไทย