ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย)

ปริญญา

วิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย — **สาขา**

วิศวกรรมศาสตร์ — **คณะ**

เรื่อง การประมาณเวลาตอบสนองอุปกรณ์ตรวจจับความร้อนจากผลกระทบของเพดานเอียงที่มีโครงสร้างของคานด้วยแบบจำลองเพลิงไหม้พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

Estimating Heat Detector Response Time from the Effect of Sloped Beamed Ceilings by Computational Fluid Dynamics Fire Model

นามผู้วิจัย นายภูษณ แสงเพ็ชร

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

(รองศาสตราจารย์วรางรัตน์ จันทสาโร, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ณัฐศักดิ์ บุญมี, Ph.D.)

ประธานสาขาวิชา .....

(รองศาสตราจารย์เสรี เศวตเศรนี, D.Eng.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ..... **เดือน** ..... **พ.ศ.** .....

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การประมาณเวลาตอบสนองอุปกรณ์ตรวจจับความร้อน จากผลกระทบของเพดานเอียงที่มีโครงสร้างของคาน ด้วยแบบจำลองเพลิงไหม้พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

Estimating Heat Detector Response Time from the Effect of Sloped Beamed Ceilings by Computational Fluid Dynamics Fire Model

โดย

นายภูษณ แสงเพ็ชร

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย)
พ.ศ. 2555

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภูษณ แสงเพ็ชร 2555: การประมาณเวลาตอบสนองอุปกรณ์ตรวจจับความร้อน จากผลกระทบของเพดานเอียงที่มีโครงสร้างของคาน ด้วยแบบจำลองเพลิงไหม้พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย) สาขาวิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์วรางรัตน์ จันทสาโร, Ph.D. 84 หน้า

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอผลการศึกษาพฤติกรรมของควันไหลใต้เพดานและการประมาณค่าเวลาตอบสนองของอุปกรณ์ตรวจจับความร้อน จากผลกระทบของเพดานที่มีคาน, เพดานเอียง และเพดานเอียงที่มีคาน สำหรับหกรูปทรงของเพดานที่มีลักษณะต่างกัน ดังนี้ เพดานพื้นแนวระดับ , เพดานพื้นแนวระดับที่มีคาน, เพดานพื้นเอียงความชัน 13^{o}, เพดานพื้นเอียงความชัน 13^{o} ที่มีคาน , เพดานพื้นเอียงความชัน 24^{o} และ เพดานพื้นเอียงความชัน 24^{o} ที่มีคาน โดยทั้งหมดมีตำแหน่งของกองเพลิงวางไว้ที่กลางห้องและกำหนดให้ใช้ดัชนีการลุกลามไฟอย่างเร็วสำหรับอัตราการปล่อยพลังงานความร้อนของเชื้อเพลิง

รูปทรงของเพดานทั้งหมดนี้จะถูกจำลองโดยใช้แบบจำลองเพลิงไหม้พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (FDS) ซึ่งพัฒนาโดย สถาบันมาตรฐานและเทคโนโลยีแห่งชาติ ประเทศสหรัฐอเมริกา (NIST) และนำผลจากแบบจำลองมาเปรียบเทียบกับการทดลองหกการทดลองในห้องปฏิบัติการของ NIST ซึ่งได้ศึกษาผลกระทบของเพดานที่มีคาน, เพดานเอียง และเพดานเอียงที่มีคาน กับเวลาตอบสนองของหัวสปริงเกอร์ โดยแบบจำลองจะกำหนดให้ค่าดัชนีการตอบสนองของอุปกรณ์ (RTI)และอุณหภูมิที่อุปกรณ์เริ่มทำงานของอุปกรณ์ตรวจจับความร้อน ให้เท่ากับค่าจากการทดลองของหัวสปริงเกอร์

แบบจำลองFDS เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับการทดลอง จะพบว่าแนวโน้มของเวลาตอบสนองของอุปกรณ์จะเป็นไปในทำนองเดียวกันในกรณีของเพดานพื้นเรียบแนวระดับมีความชันเพิ่มขึ้นเป็น 24^{o} และกรณีของเพดานพื้นเรียบแนวระดับมีโครงสร้างของคานเพิ่มขึ้น ทั้งสองกรณีนี้จะทำให้เวลาตอบสนองของอุปกรณ์มีค่าเพิ่มขึ้นเหมือนกัน โดยค่าเวลาตอบสนองของอุปกรณ์ที่ได้จากแบบจำลอง FDS จะใกล้เคียงกับการทดลองมากที่สุดในกรณีของเพดานพื้นเรียบแนวระดับที่มีคาน และจะแตกต่างกับการทดลองมากที่สุดในกรณีของเพดานพื้นเรียบเอียงความชัน 24 ^{o}

_____ _____ ___ / ___ / ___

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Pusana Saengpet 2012: Estimating Heat Detector Response Time from the Effect of Sloped Beamed Ceilings by Computational Fluid Dynamics Fire Model. Master of Engineering (Fire Protection Engineering), Major Field: Fire Protection Engineering, Faculty of Engineering. Thesis Advisor: Associate Professor Varangrat Juntasaro, Ph.D. 84 pages.

This thesis presents a study of ceiling jet behavior and estimates the activation times of a heat detector from the effects of beamed, sloped and sloped beamed ceilings. Six different geometries were studied. The geometries included a flat horizontal ceiling, a horizontal beamed ceiling, a smooth ceiling with a slope of 13°, a beamed ceiling with a slope of 13°, a smooth ceiling with a slope of 24°, and a beamed ceiling with a slope of 24°. For all configuration, a burner was placed away from any wall (detached burner) within the room and the fast fire growth rate was used for the heat release rate.

All geometries were modeled using the computational fluid dynamics fire model Fire Dynamics Simulator (FDS) to compare the test data of Vettori 's experiments that studying the effects of beamed, sloped, and sloped beamed ceilings on the activation times of a quick response sprinkler. By these models were used the response time index and activation temperature of the heat detector to be same with the sprinkler used in the experiments.

The FDS models when compared with the experiment were found that the trend of the time response of the device was similar for increasing the slope of the flat horizontal ceiling to 24°, and adding beams to the smooth horizontal ceiling. Both cases, the trend of the time response of the device has increased as well. The response time of the FDS model was most nearby to the experiments in the case of the horizontal beamed ceiling and the most difference in the case of the smooth ceiling with a slope of 24°.

_____ _____ ___ / ___ / ____

Student's signature Thesis Advisor's signature

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์วรางรัตน์ จันทสาโร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และผู้ช่วยศาสตราจารย์ณัฐศักดิ์ บุญมี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วมที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำและตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์เสรี เศวตเศรณี ประธานโครงการวิศวกรรมป้องกันอัคคีภัยที่จัดตั้งโครงการวิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย ซึ่งเป็นประโยชน์ในการศึกษาและการทำงานในทางวิศวกรรมได้เป็นอย่างยิ่ง

ขอขอบพระคุณอาจารย์ประจำโครงการฯทุกท่าน ที่ได้ให้ความรู้ ตลอดจนเจ้าหน้าที่ของโครงการที่ช่วยเหลือในการติดต่อประสานงานต่างๆ

ขอขอบคุณ บิดา มารดา ญาติสนิท มิตรสหาย ทุกๆ ท่านที่ให้กำลังใจสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์นี้ จนสำเร็จลุล่วงไปได้

ภูษณ แสงเพ็ชร

กันยายน 2555

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(7)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	46
อุปกรณ์	46
วิธีการ	46
ผลและวิจารณ์	53
ผล	53
วิจารณ์	69
สรุปและข้อเสนอแนะ	70
สรุป	70
ข้อเสนอแนะ	71
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	72
ภาคผนวก	74
ภาคผนวก ก การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับความร้อน	75
ภาคผนวก ข ข้อแนะนำในการเลือกอุปกรณ์ตรวจจับ	80
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	84

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ตัวอย่างสัมประสิทธิ์การลามไฟ (α) ของเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ	23
2	ตัวอย่างสัมประสิทธิ์การลามไฟและอัตราการปล่อยพลังงานความร้อนสูงสุดของเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ	24
3	สัมประสิทธิ์การลามไฟตามการจัดลำดับของ NFPA 204 (2002)	25
4	สัมประสิทธิ์การลามไฟตามลักษณะการใช้งาน	26
5	ช่วงอุณหภูมิใช้งานของอุปกรณ์ตรวจจับความร้อนแบบอุณหภูมิคงที่ (NFPA 13)	27
6	ค่าเฉลี่ย $\dot{Q}$ ที่เปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลาของแบบกึ่งค่าพิกัดการคายความร้อนคงที่	33
7	เวลาตอบสนองของหัวสปริงเกอร์สำหรับเพดานพื้นเรียบแนวระดับและเพดานแนวระดับที่มีคาน	43
8	เวลาตอบสนองของหัวสปริงเกอร์สำหรับเพดานพื้นเรียบเอียงความชัน 13^{o} และเพดานพื้นเอียงความชัน 13^{o} ที่มีคาน	43
9	เวลาตอบสนองของหัวสปริงเกอร์สำหรับเพดานพื้นเรียบเอียงความชัน 24^{o} และเพดานเอียงความชัน 24^{o} ที่มีคาน	44
10	เวลาตอบสนองของหัวสปริงเกอร์สำหรับเพดานพื้นเรียบแนวระดับ, เพดานพื้นเรียบเอียงความชัน 13^{o} และเพดานพื้นเรียบเอียงความชัน 24^{o}	44
11	เวลาตอบสนองของหัวสปริงเกอร์สำหรับเพดานแนวระดับที่มีคาน, เพดานเอียงความชัน 13^{o} ที่มีคานและเพดานเอียงความชัน 24^{o} ที่มีคาน	45
12	แสดงจำนวนของเซลที่ใช้ตามรูปทรงเพดานในแบบจำลอง	50
13	คุณสมบัติของวัสดุ	50
14	ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง	52
15	เปรียบเทียบเวลาตอบสนองของอุปกรณ์และตำแหน่งที่อุปกรณ์เริ่มทำงานระหว่างแบบจำลอง FDS 5 กับการทดลองจริง สำหรับทุกกรณีที่เพดานเป็นพื้นเรียบ	64

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
16	เปรียบเทียบเวลาตอบสนองของอุปกรณ์และตำแหน่งที่อุปกรณ์เริ่มทำงาน ระหว่างแบบจำลอง FDS 5 กับการทดลองจริง สำหรับทุกกรณีที่เพดานมีคาน	65
17	เปรียบเทียบเวลาตอบสนองของอุปกรณ์และตำแหน่งที่อุปกรณ์เริ่มทำงาน ระหว่างแบบจำลอง FDS 5 กับการทดลองจริงสำหรับทุกกรณีที่เพดานเป็นพื้นเรียบและเป็นเพดานมีคาน	67

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ลำควันสมมาตร (Axisymmetric plume)	5
2	การเปลี่ยนแปลงความเร็วอุณหภูมิและอัตราการไหลของลำควันตามระดับความสูง	6
3	ความเร็วของลำควันที่ระดับความสูงช่วงต่างๆ	7
4	ผลต่างอุณหภูมิของลำควัน ΔT_0 ที่ความสูงช่วงต่างๆ	9
5	ไดอะแกรมแสดงอัตราการไหลของลำควันของกองเพลิง	10
6	กลุ่มควันไหลใต้เพดาน (Ceiling Jet)	13
7	กลุ่มควันไหลใต้เพดานแบบอิสระ (Unconfined ceiling jet)	14
8	กลุ่มควันไหลใต้เพดานแบบพื้นที่จำกัด (Unconfined ceiling jet)	15
9	ออกซิเจนแคลอริมิเตอร์ (Oxygen calorimeter)	17
10	ค่าอัตราการปลดปล่อยพลังงานของโซฟาแบบต่างๆ	18
11	ช่วงการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงในเหตุอัคคีภัย	20
12	อัตราการปล่อยพลังงานความร้อนในระยะลามไฟตามมาตรฐาน NFPA 204	25
13	รูปอุปกรณ์ตรวจจับความร้อน	28
14	แสดงความสัมพันธ์ของ r/H ในการเลือกใช้สูตรการคำนวณ	32
15	แสดงอุณหภูมิเพิ่มขึ้นในช่วงระยะแรกของการลุกไหม้เป็น สัดส่วนกับกำลังสองของเวลาที่ผ่านไปสำหรับเชื้อเพลิในอาคารทั่วไป	34
16	การปรับเทียบข้อมูลสำหรับอัตราการปล่อยพลังงานความร้อนของกองเพลิงสี่เหลี่ยม	42
17	แสดงตำแหน่งที่อยู่ของคานที่วางในแบบจำลอง	47
18	แสดงตำแหน่งการวางของกองเพลิงในแบบจำลองและระยะห่างของอุปกรณ์ตรวจจับความร้อนในแนวระดับ	48
19	แสดงเพดานมีรูปทรงลาดเอียงเป็นความชัน 13^{o} และ 24^{o}	48
20	ตัวอย่างแบบจำลองแสดงตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับความร้อนบนเพดานพื้นแนวระดับที่มีคาน	49

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
21	ตัวอย่างแบบจำลองแสดงตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับความร้อนบนเพดานพื้นเอียงความชัน 13° ที่มีคาน	49
22	ตัวอย่างแบบจำลองแสดงตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับความร้อนบนเพดานพื้นเอียงความชัน 24° ที่มีคาน	49
23	อัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนของกองเพลิงจากแบบจำลองที่เวลา 0-150 วินาที	53
24	พฤติกรรมการแพร่กระจายตัวของควันไหลใต้เพดานกรณีของเพดานแนวระดับที่ตำแหน่งกองเพลิงวางกลางห้อง	54
25	พฤติกรรมการแพร่กระจายตัวของควันไหลใต้เพดานกรณีขอเพดานแนวระดับมีคานที่ตำแหน่งกองเพลิงวางกลางห้อง	55
26	พฤติกรรมการแพร่กระจายตัวของควันไหลใต้เพดานกรณีของเพดานพื้นเอียงความชัน 13° ที่ตำแหน่งกองเพลิงวางกลางห้อง	56
27	พฤติกรรมการแพร่กระจายตัวของควันไหลใต้เพดานของแบบจำลองเพดานพื้นเอียงความชัน 13° ที่มีคานตำแหน่งกองเพลิงวางกลางห้อง	57
28	พฤติกรรมการแพร่กระจายตัวของควันไหลใต้เพดานกรณีของเพดานพื้นเอียงความชัน 24° ที่ตำแหน่งกองเพลิงวางกลางห้อง	58
29	พฤติกรรมการแพร่กระจายตัวของควันไหลใต้เพดานของแบบจำลองเพดานพื้นเอียงความชัน 24° ที่มีคานตำแหน่งกองเพลิงวางกลางห้อง	59
30	ภาพตัดขวางแนวแกน X ที่ X = 5.45 แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิของควันไหลใต้เพดาน ณ.เวลาตอบสนองของอุปกรณ์ตรวจจับความร้อนที่ 79 s	60
31	ภาพตัดขวางแนวแกน X ที่ X = 5.45 แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิของควันไหลใต้เพดาน ณ.เวลาตอบสนองของอุปกรณ์ตรวจจับความร้อนที่ 85 s	61
32	ภาพตัดขวางแนวแกน X ที่ X = 5.45 แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิของควันไหลใต้เพดาน ณ.เวลาตอบสนองของอุปกรณ์ตรวจจับความร้อนที่ 90 s	61
33	ภาพตัดขวางแนวแกน X ที่ X = 1.85 แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิของควันไหลใต้เพดาน ณ.เวลาตอบสนองของอุปกรณ์ตรวจจับความร้อนที่ 90 s	62

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

34 ภาพตัดขวางแนวแกน X ที่ X = 5.45 แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิของควันไหลใต้เพดาน ณ.เวลาตอบสนองของอุปกรณ์ตรวจจับความร้อนที่ 103 s 62

35 ภาพตัดขวางแนวแกน X ที่ X = 5.45 แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิของควันไหลใต้เพดาน ณ.เวลาตอบสนองของอุปกรณ์ตรวจจับความร้อนที่ 97 s 63

36 กราฟเปรียบเทียบเวลาตอบสนองของอุปกรณ์และตำแหน่งที่อุปกรณ์เริ่มทำงานระหว่างแบบจำลอง FDS 5 กับการทดลองจริง สำหรับทุกกรณีที่เพดานเป็นพื้นเรียบ 64

37 กราฟเปรียบเทียบเวลาตอบสนองของอุปกรณ์และตำแหน่งที่อุปกรณ์เริ่มทำงานระหว่างแบบจำลอง FDS 5 กับการทดลองจริง สำหรับทุกกรณีที่เพดานมีคาน 66

38 กราฟเปรียบเทียบเวลาตอบสนองของอุปกรณ์และตำแหน่งที่อุปกรณ์เริ่มทำงานระหว่างแบบจำลอง FDS 5 กับการทดลองจริง สำหรับทุกกรณีที่เพดานเป็นพื้นเรียบและเป็นเพดานมีคาน 68

ภาพผนวกที่

ก1 แบบตัวอย่างระยะห่างในการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับความร้อน 77

ก2 แบบตัวอย่างการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับความร้อน สำหรับพื้นผิวเอียง 79

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

h	=	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนแบบการพาความร้อน, $kW/m^2 \cdot °C$
A	=	พื้นที่ที่ถูกความร้อน, m^2
T_g	=	อุณหภูมิของแก๊สที่ถ่ายเทไปที่อุปกรณ์, $°C$
T_d	=	อุณหภูมิที่ตั้งไว้ให้อุปกรณ์ทำงาน, $°C$
u_0	=	ความเร็วของควัน (Plume velocity), m/s
u_{CJ}	=	ความเร็วสูงสุดในการไหลของกลุ่มควันไหลใต้เพดาน, m/s
$\dot{Q}$	=	อัตราการปล่อยพลังงานความร้อนของกองเพลิง, kW
z	=	ความสูงโดยวัดจากผิวหน้าของกองเพลิง, m
T_0	=	อุณหภูมิกึ่งกลางของลำควัน, $°C$
T_{CJ}	=	อุณหภูมิของกลุ่มควันไหลใต้เพดาน, $°C$
T_∞	=	อุณหภูมิของอากาศ, $°C$
$\dot{m}_p$	=	อัตราการไหลของลำควัน, kg/s
L_f	=	ความสูงเฉลี่ยของเปลวไฟ, m
h_b	=	ความลึกของคาน, m
H	=	ความสูงจากผิวของเชื้อเพลิง, m
R	=	รัศมีการกระจายตัวของควัน, m
$\dot{m}''f$	=	อัตราการเผาไหม้ต่อพื้นที่สูงสุด, $g/m^2 . s$
χ	=	ประสิทธิภาพการเผาไหม้
ΔH_C	=	ความร้อนจริงของการเผาไหม้, kJ/g
A	=	พื้นที่หน้าตัดเชื้อเพลิง, m^2
t	=	เวลา, sec
α	=	ค่าสัมประสิทธิ์การลามไฟ (Growth factor), kW/s^2
t_g	=	เวลาที่เชื้อเพลิงนั้นๆ ลุกไหม้จนค่าถึง 1055 kW, sec
c_p	=	ค่าความร้อนจำเพาะของวัสดุ, $kJ/kg . {}^oC$
k	=	สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Conductivity),W/mk
ρ	=	ความหนาแน่นของวัสดุ, kg/m^3
τ	=	Time constant ของชิ้นส่วนที่ไวต่อความร้อน, sec

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การประมาณเวลาตอบสนองอุปกรณ์ตรวจจับความร้อน จากผลกระทบของเพดานเอียงที่มีโครงสร้างของคาน ด้วยแบบจำลองเพลิงไหม้พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

Estimating Heat Detector Response Time from the Effect of Sloped Beamed Ceilings by Computational Fluid Dynamics Fire Model

คำนำ

ปัจจุบันอัคคีภัยหรือเพลิงไหม้สร้างความสูญเสียทั้งแก่ชีวิตและทรัพย์สินเป็นจำนวนมาก เราจึงจำเป็นต้องมีระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้ ทำหน้าที่แจ้งเหตุให้คนที่อยู่ในอาคารทราบอย่างรวดเร็วก่อนที่ไฟไหม้จะลุกลาม เพื่อความปลอดภัยของชีวิต ทำให้คนมีโอกาสหนีไฟไปยังที่ปลอดภัยได้เร็วขึ้น และสามารถดับเพลิงไหม้ในระยะเริ่มต้นได้ทัน เพื่อความปลอดภัยของชีวิตและทรัพย์สิน

อุปกรณ์ตรวจจับความร้อนเป็นหนึ่งในอุปกรณ์ของระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้ ที่ไม่ใช่อุปกรณ์หลักในการช่วยชีวิต แต่มีไว้เพื่อป้องกันทรัพย์สิน สามารถตรวจจับความร้อนจากไอร้อนของควันที่เกิดจากเพลิงไหม้อย่างรวดเร็ว การออกแบบระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้ ที่ใช้อุปกรณ์ตรวจจับความร้อน ต้องพิจารณาถึงตำแหน่งติดตั้งและระยะห่างของอุปกรณ์ตรวจจับความร้อนด้วย เป็นปัจจัยที่สำคัญ นอกเหนือจากชนิดของอุปกรณ์และมาตรฐานการติดตั้ง เพราะจะเป็นตัวแปรสำคัญที่ทำให้อุปกรณ์ตรวจจับความร้อนทำงานได้ภายในเวลาที่กำหนดหรือไม่

การวิจัยนี้ศึกษาผลกระทบของเพดานเอียงที่มีโครงสร้างของคาน ว่ามีผลต่อเวลาตอบของอุปกรณ์ตรวจจับความร้อนอย่างไร ด้วยแบบจำลองเพลิงไหม้พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamics Fire Modeling) เพื่อเป็นแนวทางให้ผู้ออกแบบ สามารถนำค่าประมาณของเวลาตอบสนองนี้ ไปกำหนดเวลาขั้นต่ำก่อนที่จะทำให้เกิดอันตรายต่อชีวิตคน โครงสร้างอาคารหรือทรัพย์สิน ก่อนนำเวลาไปคำนวณหาระยะห่างของอุปกรณ์ตรวจจับความร้อนต่อไป

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาพฤติกรรมการไหลของควันใต้เพดานเอียง, เพดานที่มีคาน และเพดานเอียงที่มีคาน ด้วยแบบจำลองเพลิงไหม้พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

2. เพื่อประมาณค่าเวลาตอบสนองของอุปกรณ์ตรวจจับความร้อนซึ่งติดตั้งใต้เพดานเอียง, เพดานที่มีคาน และเพดานเอียงที่มีคาน ด้วยแบบจำลองเพลิงไหม้พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ทราบพฤติกรรมการไหลของควันใต้เพดานเอียง, เพดานที่มีคาน และเพดานเอียงที่มีคาน

2. ได้ทราบผลกระทบของเพดานเอียง, เพดานที่มีคาน และเพดานเอียงที่มีคาน ว่ามีผลต่อเวลาตอบสนองของอุปกรณ์ตรวจจับความร้อนอย่างไร

ขอบเขตของการวิจัย

1. ใช้โปรแกรม Fire Dynamics Simulator version 5 (McGrattan *et.,al*, 2007) จำลองการทำงานของอุปกรณ์ตรวจจับความร้อนเท่านั้นไม่มีการทดลองในห้องปฏิบัติการจริง

2. แบบจำลองจะจำลองการทำงานของอุปกรณ์ตรวจจับความร้อน ภายในห้องที่มีกองเพลิงลุกติดไฟอยู่ โดยจะสร้างเป็นห้องขนาด 7.3 m x 5.5 m ผนังกำแพงและเพดานเป็นโครงไม้ปกคลุมด้วยแผ่นยิปซัม 12.7 mm และพื้นเป็นแผ่นไม้อัดหนา 12.7 mm มีความสูงของเพดานเริ่มต้นที่ 2.4 m มีช่องเปิดเป็นประตูทางเข้าทางด้านของห้องขนาด 1 m x 2.1 m ภายในห้องติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับความร้อนบนเพดาน 4 หัว ซึ่งงานวิจัยนี้จะทำการศึกษากับรูปทรงของเพดานที่มีลักษณะแตกต่างกัน 6 รูปแบบ คือ เพดานพื้นแนวระดับ, เพดานพื้นแนวระดับที่มีคาน, เพดานพื้นเอียงความชัน 13^{o}, เพดานพื้นเอียงความชัน 13^{o} ที่มีคาน, เพดานพื้นเอียงความชัน 24^{o} และเพดานพื้นเอียงความชัน 24^{o} ที่มีคาน โดยในกรณีที่เป็นเพดานที่คาน จะกำหนดให้มีคานทั้ง 2 คานที่มีขนาดหน้าตัด 0.2 m x 0.25 m ระยะห่าง 2.3 m เท่ากันตลอดช่วงของคาน และวิ่งจากหน้าห้องไปถึงหลังห้อง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3. แบบจำลองจะวางตำแหน่งของกองเพลิงไว้ที่กลางห้อง (Detached Burner) โดยจะสร้างกองเพลิงสี่เหลี่ยมขนาด 0.7 m x 1 m และ สูง 0.3 m ที่มีก๊าซมีเทนเป็นเชื้อเพลิง อัตราการปล่อยพลังงานความร้อนเป็น 1055 kW และมีค่าดัชนีอัตราการลุกลามไฟ, α เท่ากับ 0.0468 kW/s^2

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การตรวจเอกสาร

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1. ทฤษฎีลำควัน (Fire Plume Theory)

ลำควัน หรือ พลูม (Plume) คือ ลำของควันซึ่งเป็นแก๊สผลิตภัณฑ์จากการเผาไหม้ลอยตัวขึ้นไปในแนวดิ่งเนื่องจากแรงลอยตัว (Buoyancy force) แรงลอยตัว คือ แรงที่เกิดจากความหนาแน่นที่แตกต่างของควันและอากาศ อุณหภูมิของแก๊สจะแปรผกผันกับความหนาแน่นของแก๊ส ดังนั้น ควันซึ่งร้อนกว่าอากาศจึงมีความหนาแน่นต่ำ (เบา) กว่าอากาศที่เย็นกว่าทำให้ควันลอยตัวสูงขึ้นไปในแนวดิ่ง เนื่องจากการไหลของมวลของแก๊สต้องมีความต่อเนื่อง อากาศจึงไหลเข้ามาแทนที่ควันร้อนที่ลอยตัวขึ้นไป เราเรียกการไหลเติมของอากาศเข้ามาในลำควันว่าการเอ็นเทรนเม็นท์ (Entertainment) ลักษณะการไหลของลำควันที่เกิดจากกองเพลิงขนาดเล็กจะมีการไหลแบบราบเรียบ อย่างไรก็ตาม เมื่อกองเพลิงมีขนาดใหญ่การไหลของลำควันจะเปลี่ยนเป็นการไหลแบบปั่นป่วน ซึ่งลักษณะการไหลที่ปั่นป่วนของลำควันนี้จะช่วยให้อากาศที่อยู่โดยรอบลำควันไหลเติมเข้ามาในกองเพลิงและลำควันมากขึ้น ความเร็ว และทิศทางการพัดของลมก็เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลกระทบต่อลักษณะการไหลและรูปแบบของลำควัน เมื่อมีลมพัดลำควันก็จะเอียงไปในทิศทางการพัดของลม อย่างไรก็ตามสำหรับลำควันที่เกิดจากเพลิงไหม้ภายในห้องที่อากาศภายในห้องค่อนข้างสงบนิ่ง ลำควันจะมีลักษณะสมมาตรตามแกนในแนวดิ่ง ซึ่งเราเรียกลำควันในลักษณะนี้ว่าลำควันสมมาตร (Axisymmetric plume) ดังแสดงในรูปที่ 1 McCaffrey (1979) ได้แบ่งช่วงของลำควันสมมาตรตามระยะความสูงในแนวดิ่งวัดจากผิวหน้าของกองเพลิง ออกเป็น 3 ช่วง คือ

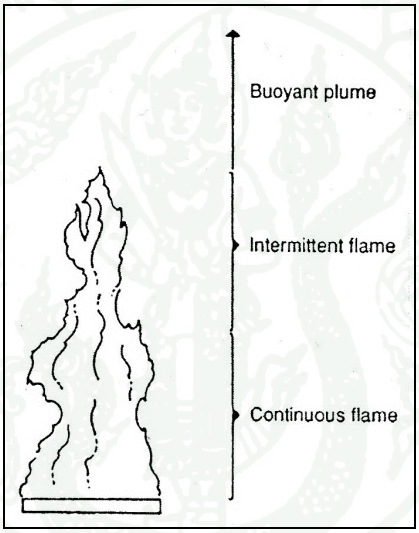
ช่วงเปลวไฟต่อเนื่อง (Continuous flame) คือ ช่วงความสูงที่วัดจากผิวหน้าของกองเพลิงจนถึงระดับสูงสุดที่มีเปลวไฟปรากฏอยู่อย่างต่อเนื่องตลอดเวลา เนื่องจากช่วงนี้เป็นช่วงที่เชื้อเพลิงและอากาศเกิดการเผาไหม้ อุณหภูมิของลำควันในช่วงนี้จึงมีค่าสูงซึ่งโดยประมาณจะเท่ากับอุณหภูมิของเปลวไฟนั้นเอง

ช่วงเปลวไฟบางส่วน (Intermittent flame) คือ ช่วงความสูงที่การเผาไหม้ของเชื้อเพลิง กับอากาศ เกือบจะสมบูรณ์แล้วทำให้มองเห็นเปลวไฟปรากฏอยู่เพียงบางส่วนบางช่วงเวลาไม่ต่อเนื่อง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ความเร็ว ในการไหลของลำควันจะมีค่าค่อนข้างคงที่ การไหลเติมของอากาศจากภายนอก เข้ามาผสมกับควันทำให้ อัตราการไหลของลำควันเพิ่มขึ้นตามความสูง

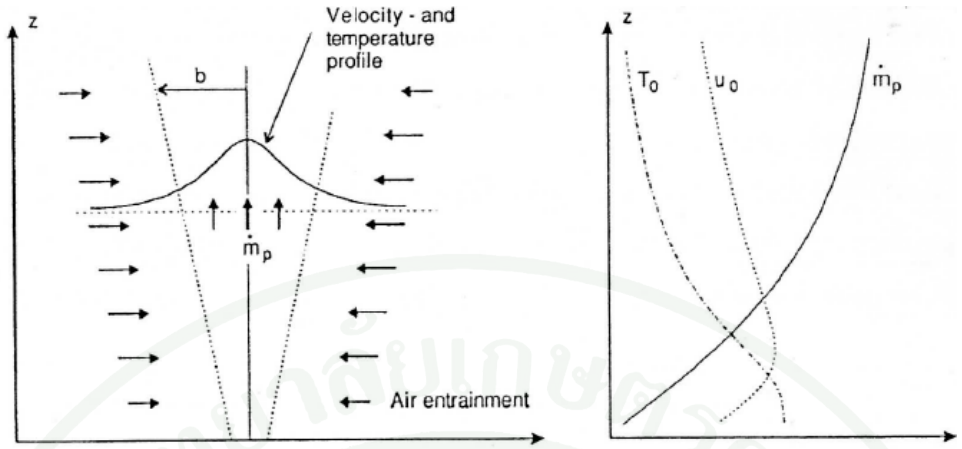
ช่วงพลูม (Plume) เป็นช่วงที่การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเสร็จสมบูรณ์แล้ว ดังนั้นลำควันในช่วงนี้จะประกอบไปด้วยควันร้อนและอากาศที่ไหลเติมมาจากสิ่งแวดล้อมโดยรอบเท่านั้น ความเร็วและอุณหภูมิของลำควันในช่วงนี้จะแปรผกผันกับความสูงเนื่องจากมีอากาศซึ่งเย็นกว่าโดยรอบไหลเข้ามาผสมเจือจางทำให้ลำควันเย็นลง อย่างไรก็ตามการไหลเติมของอากาศโดยรอบลำควันจะทำให้อัตราการไหลของลำควันเพิ่มขึ้นตามระดับความสูง



ภาพที่ 1 ลำควันสมมาตร (Axisymmetric plume)

ในการศึกษาพฤติกรรมของลำควันนั้นเราจะสนใจใน 3 ปริมาณของลำควัน คือ ความเร็วของลำควัน (Plume velocity), อุณหภูมิของลำควัน (Plume temperature) และอัตราการไหลของลำควัน (Plume mass flow rate) ซึ่งปริมาณทั้ง 3 ของลำควันนี้จะมีการเปลี่ยนแปลงตามลำดับความสูง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 2_ การเปลี่ยนแปลงความเร็วอุณหภูมิและอัตราการไหลของลำควันตามระดับความสูง

1.1 ความเร็วของลำควัน (Plume Velocity)

ความเร็วในดิ่งของลำควันที่ระดับความสูงต่างๆ จะมีค่าสูงที่สุดที่กึ่งกลางของลำควัน และจะมีค่าลดลงจนเท่ากับความเร็วในแนวดิ่งของอากาศที่ไหลอยู่โดยรอบ เราจะแทน ความเร็วของลำควัน (Plume velocity, u_0) ที่ระดับความสูงต่างๆ ด้วยความเร็วของลำควันที่ตำแหน่งกึ่งกลางตามแนวแกนของลำควัน McCaffrey (1979) ได้ทำการทดลองเพื่อหาความเร็วของลำควันของการเผากองเพลิงที่มีอัตราการปล่อยพลังงานที่ระดับต่างๆ และพบว่า ความเร็วของลำควันในแต่ละช่วงต่างจะมีความสัมพันธ์กับระดับความสูงและอัตราการปล่อยพลังงานของกองเพลิงตามสมการที่ (1) ดังนี้

$$\frac{z}{\dot{Q}^{2/5}} < 0.08 \qquad u_0 = 6.8z^{1/2} \qquad \text{Continuous Flame}$$

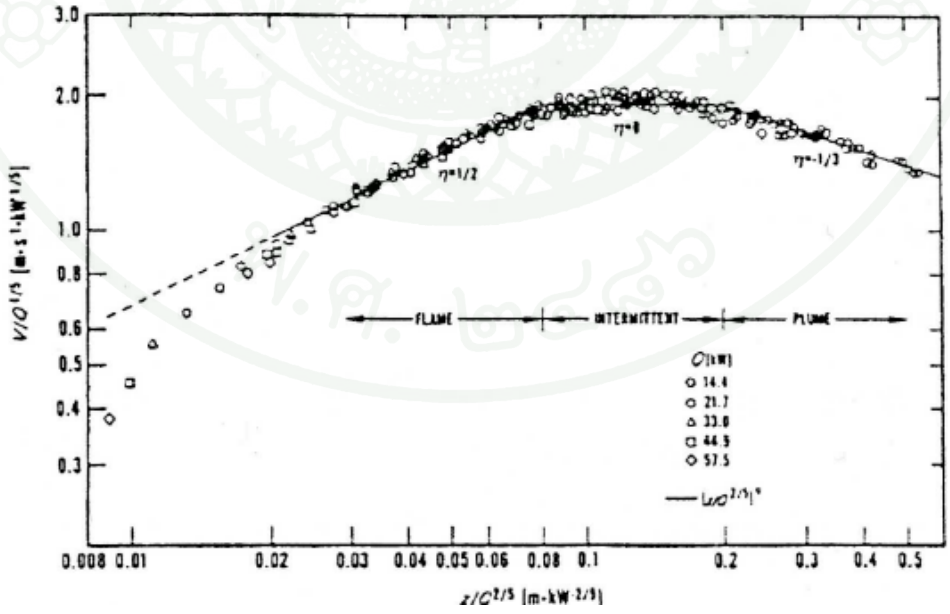
$$0.08 < \frac{z}{\dot{Q}^{2/5}} < 0.2 \quad u_0 = 1.9z^{1/5} \qquad \text{Intermittent} \qquad (1)$$

$$\frac{z}{\dot{Q}^{2/5}} > 0.2 \qquad u_0 = 1.1z^{-1/3}\dot{Q}^{1/3} \qquad \text{Plume}$$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

โดย u_0 คือ ความเร็วของควัน (Plume velocity, m/s), $\dot{Q}$ คือ อัตราการปล่อยพลังงานความร้อนของกองเพลิง (Energy release rate, KW), และ z คือ ความสูงโดยวัดจากผิวหน้าของกองเพลิง (m)

จากสมการที่ (1) เราสามารถพล็อตความเร็วของลำควันในเทอม $u_0/\dot{Q}^{1/3}$ กับความสูงในเทอม $z/\dot{Q}^{2/5}$ ได้ดังแสดงรูปที่ 3 ในช่วงเปลวไฟต่อเนื่องความเร็วของลำควันควันจะเพิ่มขึ้นตามระดับความสูง ทั้งนี้เพราะว่าการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงในช่วงนี้ยังดำเนินไปไม่สมบูรณ์ เมื่อความสูงเพิ่มขึ้น เชื้อเพลิงมีเวลาเผาไหม้กับอากาศแล้วปล่อยพลังงานความร้อนออกมาได้มากขึ้น ทำให้ความเร็วของลำควันเพิ่มขึ้นเมื่อความสูงเพิ่มขึ้น ในช่วงที่สองของลำควัน คือ ช่วงเปลวไฟบางส่วน ความเร็วของลำควันมีค่าค่อนข้างคงที่ไม่ขึ้นกับระดับความสูง ทั้งนี้เพราะว่าการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงในช่วงนี้เกือบจะเสร็จสมบูรณ์แล้ว ดังนั้นเมื่อระดับความสูงเพิ่มขึ้น การเผาไหม้จึงไม่ได้คายพลังงานความร้อนออกมาให้กับลำควันมากเท่าใดนัก ความเร็วของลำควันจึงไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อระดับความสูงเพิ่มขึ้น ในช่วงพลูมซึ่งเป็นช่วงสุดท้ายของลำควัน ความเร็วของลำควันจะลดลงเมื่อความสูงเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เพราะว่าในช่วงพลูมอากาศซึ่งไหลเติมเข้ามาผสมกับควันจากด้านข้างโดยรอบลำควันจะไปเจือจางทำให้ควันมีอุณหภูมิลดลง ยิ่งความสูงเพิ่มมากขึ้นปริมาณของอากาศที่ไหลมาผสมกับควันก็เพิ่มมากขึ้น อุณหภูมิของควันลดต่ำลง ความเร็วของลำควันจึงลดต่ำลง



ภาพที่ 3 ความเร็วของลำควันที่ระดับความสูงช่วงต่างๆ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.2 อุณหภูมิของลำควัน (Plume temperature)

อุณหภูมิของลำควันจะมีค่าสูงที่สุดที่กึ่งกลางของลำควันและจะมีค่าลดลงจนเท่ากับอุณหภูมิของอากาศโดยรอบที่ตำแหน่งขอบของลำควัน ลักษณะการกระจายอุณหภูมิของลำควันตามแนวรัศมีจะมีลักษณะคล้ายกับการกระจายความเร็วของลำควัน ดังแสดงในภาพที่ 2 เราจะแทนอุณหภูมิของลำควัน ที่ระดับความสูงต่างๆ ด้วย อุณหภูมิที่กึ่งกลางลำควัน (Centerline temperature) ซึ่งแทนด้วยสัญลักษณ์ T_0 McCaffrey (1979) ได้หาความสัมพันธ์ของ ΔT_0 ซึ่งเป็นผลต่างระหว่างอุณหภูมิของลำควันกับอุณหภูมิของอากาศโดยรอบหรือ $\Delta T_0 = T_0 - T_\infty$ ที่ความสูงของลำควันในช่วงต่างๆ ไว้ในสมการที่ (2)

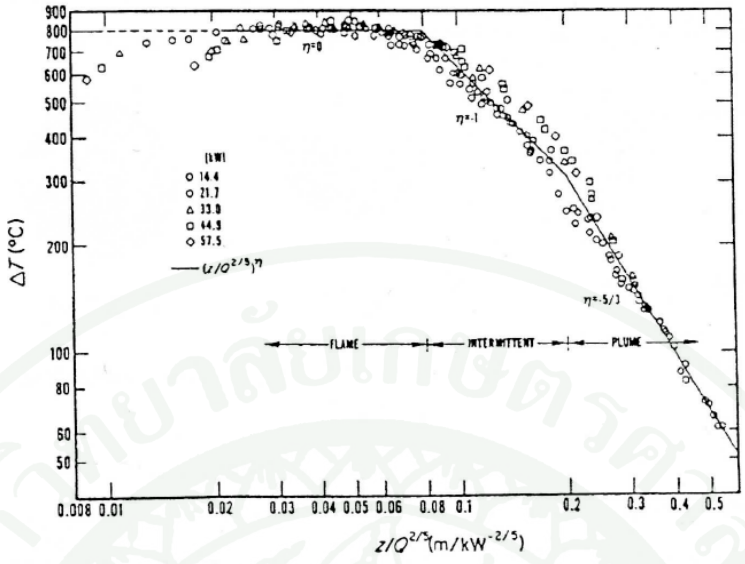
$$\frac{z}{\dot{Q}^{2/5}} < 0.08 \qquad \Delta T_0 = 2.91 T_\infty \qquad \text{Continuous Flame}$$

$$0.08 < \frac{z}{\dot{Q}^{2/5}} < 0.2 \quad \Delta T_0 = 0.227\left(\frac{\dot{Q}^{2/5}}{z}\right) T_\infty \qquad \text{Intermittent} \qquad (2)$$

$$\frac{z}{\dot{Q}^{2/5}} > 0.2 \qquad \Delta T_0 = 0.076 T_\infty \left(\frac{\dot{Q}^{2/5}}{z}\right)^{5/3} \qquad \text{Plume}$$

โดย ΔT_0 คือ ผลต่างของอุณหภูมิของลำควันกับอุณหภูมิของอากาศในหน่วย $^\circ C$ หรือ $K, \dot{Q}$ คือ อัตราการปล่อยพลังงานความร้อนของกองเพลิง (Energy release rate, kW), z คือ ระดับความสูงโดยวัดจากผิวหน้าของกองเพลิง (m), และ T_∞ อุณหภูมิของอากาศ (โดยปรกติมีค่าประมาณ $25\,^\circ C$ หรือ 298 K)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 4 ผลต่างอุณหภูมิของลำควัน ΔT_0 ที่ความสูงช่วงต่างๆ

จากสมการที่ (2) เราสามารถพล็อตกราฟระหว่างผลต่างอุณหภูมิของลำควัน ΔT กับระดับความสูงในเทอม $z/\dot{Q}^{2/5}$ ได้แสดงในภาพที่ 4 ในช่วงเปลวไฟต่อเนื่องอุณหภูมิของลำควันมีค่าคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามความสูงเนื่องจากในช่วงนี้อุณหภูมิของลำควัน ก็คือ อุณหภูมิของเปลวไฟนั่นเอง จากกราฟในรูปที่ 4 พบว่า อุณหภูมิของลำควันในช่วงเปลวไฟต่อเนื่องจะมีค่าสูงกว่าอากาศโดยรอบโดยประมาณ $800\,^{\circ}C$ ในช่วงเปลวไฟบางส่วนและช่วงพลูมอุณหภูมิของลำควันจะลดลงเมื่อความสูงเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เพราะว่าเมื่อระดับความสูงเพิ่มขึ้น อากาศจะไหลเติมเข้ามาในลำควันมากขึ้น อุณหภูมิของลำควันจึงลดลง

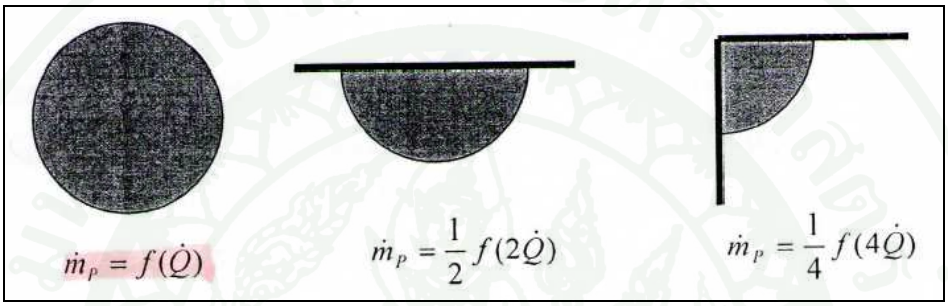
1.3 อัตราการไหลของลำควัน (Plume Mass Flow Rate)

เมื่อลำควันลอยตัวขึ้นไปในแนวดิ่ง อากาศโดยรอบควันจะไหลเข้ามาผสมกับควัน ทำให้อัตราการไหลของลำควันเพิ่มมากขึ้นเมื่อระดับความสูงเพิ่มขึ้น Zukoski (1995) วิศวกรชาวญี่ปุ่นได้ทำการทดลอง หาอัตราการไหลของลำควันและได้ประมาณค่าอัตราการไหลของลำควันที่เกิดจากกองเพลิงที่อยู่กลางห้อง ดังแสดงในสมการที่ (3)

$$\dot{m}_p = 0.071\dot{Q}^{1/3}z^{5/3} \qquad (3)$$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

โดย $\dot{m}_p$ คือ อัตราการไหลของลำควันในหน่วย kg/s, $\dot{Q}$ คือ อัตราการปล่อยพลังงานความร้อนของกองเพลิง (Energy release rate, kW), และ z คือ ระดับความสูงโดยวัดจากผิวหน้าของกองเพลิง (m) สมการที่ (3) จะใช้ในการหาอัตราการไหลของลำควันในกรณีที่กองเพลิงอยู่กลางห้องหรือในบริเวณพื้นที่โล่งไม่มีสิ่งที่กีดขวางการไหลเติมของอากาศโดยรอบลำควัน ในกรณีที่กองเพลิงเกิดที่กำแพงหรือมุมผนัง เราสามารถปรับปรุงสมการที่ (3) เพื่อคำนวณหาอัตราการไหลของลำควัน ได้ดังนี้



ภาพที่ 5 ไดอะแกรมแสดงอัตราการไหลของลำควันของกองเพลิง

1.3.1 กองเพลิงเกิดที่กำแพง (Wall Plume)

ผนังหรือกำแพงจะกีดขวางทำให้อัตราการไหลเติมของอากาศโดยรอบลำควันลดลงโดยประมาณครึ่งหนึ่ง ในขณะเดียวกันการสะท้อนของรังสีความร้อนจากกำแพงกลับมาที่กองเพลิงจะทำให้อัตราการปล่อยพลังงานของกองเพลิงมีค่าเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าโดยประมาณดังแสดงในภาพที่ 5 ดังนั้นเราสามารถอาศัยข้อเท็จจริงนี้ในการปรับปรุงสมการที่ (3) เพื่อหาอัตราการไหลของลำควันได้ เมื่อกองเพลิงเกิดที่กำแพง ได้ดังนี้

$$\dot{m}_{p,wall} = \frac{1}{2} 0.071 \left(2\dot{Q}\right)^{1/3} z^{5/3} \quad \text{หรือ}$$

$$\dot{m}_{p,wall} = 0.045 \left(2\dot{Q}\right)^{1/3} z^{5/3} \qquad (4)$$

โดย $\dot{m}_{p,wall}$ คือ อัตราการไหลของลำควันของกองเพลิงที่กำแพงในหน่วย kg /s

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.3.2 กองเพลิงเกิดที่มุมห้อง (Corner Plume)

ในกรณีที่กองเพลิงเกิดที่มุมห้อง อัตราการไหลเติมของอากาศจะลดลงประมาณหนึ่งในสี่ของการไหลเติมของอากาศเมื่อกองเพลิงเกิดกลางห้อง ในขณะเดียวกันพลังงานความร้อนของกองเพลิงจะเพิ่มขึ้นประมาณ 4 เท่าเนื่องจากการสะท้อนรังสีความร้อนกลับมาที่กองเพลิงจากมุมห้องดังแสดงใน ภาพที่ 5 ดังนั้น เราสามารถปรับปรุงสมการที่ (3) เพื่อหาอัตราการไหลของลำควันเมื่อกองเพลิงเกิดที่มุมห้องได้เป็น

$$\dot{m}_{P,Corner} = \frac{1}{4}0.071\left(4\dot{Q}\right)^{1/3} z^{5/3} \qquad \text{หรือ}$$

$$\dot{m}_{P,Corner} = 0.028\dot{Q}^{1/3} z^{5/3} \tag{5}$$

โดย $\dot{m}_{P,Corner}$ คือ อัตราการไหลของลำควันของกองเพลิงที่มุมห้องในหน่วย kg/s

อัตราการเกิดควันในสมการ (3) เป็นการประมาณอัตราการไหลของลำควันจากพลังงานความร้อนทั้งหมดที่ปล่อยออกมาจากการเผาไหม้ของกองเพลิง ในการเผาไหม้แบบปั่นป่วนความร้อนจากการเผาไหม้ ส่วนหนึ่งจะสูญเสียไปให้กับสิ่งแวดล้อมโดยการแผ่รังสี ความร้อนส่วนที่เหลือจะถูกถ่ายเทให้กับลำควัน โดยการพาความร้อน ซึ่งพลังงานความร้อนโดยการพาความร้อนจะมีค่าโดยประมาณเท่ากับ 70 เปอร์เซ็นต์ ของอัตราการปล่อยความร้อนทั้งหมด หรือ

$$\dot{Q}_c = 0.7\dot{Q} \tag{6}$$

โดย $\dot{Q}_c$ คือ อัตราการปล่อยพลังงานความร้อนโดยการพาความร้อน (Convective heat release rate) และ $\dot{Q}$ คือ อัตราการปล่อยพลังงานความร้อนของกองเพลิง

1.4 ความสูงของเปลวไฟ (Flame Height)

ความสูงของเปลวไฟคือระยะทางที่เชื้อเพลิงใช้ในการเผาไหม้กับอากาศ การเผาไหม้ของกองเพลิงขนาดเล็กจะเป็นไปอย่างราบเรียบทำให้เปลวไฟมีความสูงที่ค่อนข้างคงที่ แต่เมื่อกอง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพลิงมีขนาดใหญ่ขึ้นการเผาไหม้จะเปลี่ยนไปเป็นการเผาไหม้แบบปั่นป่วนซึ่งทำให้เปลวไฟมีความสูงไม่คงที่แปรเปลี่ยนไปตามเวลา McCaffrey (1979) ได้ทำการศึกษาลักษณะการเผาไหม้ของกองเพลิงพบว่า ความสูงของเปลวไฟจะเปลี่ยนแปลงตามเวลา โดยจะมีค่าเพิ่มขึ้นและลดลงรอบความสูงเฉลี่ยค่าหนึ่ง เราสามารถประมาณค่าความสูงเฉลี่ยของเปลวเพลิงได้จากความสัมพันธ์

$$L_f = 0.23\dot{Q}^{2/5} - 1.02D \qquad (7)$$

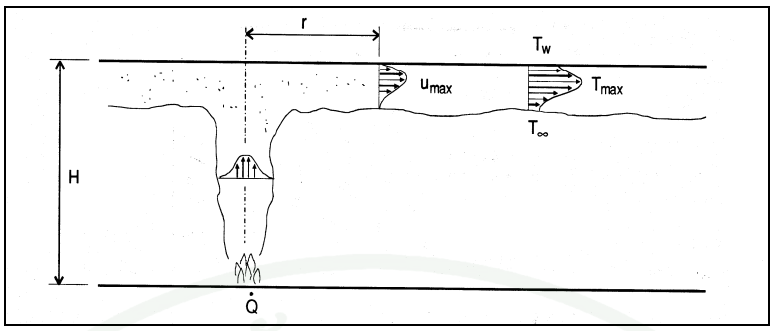
โดย L_f คือความสูงเฉลี่ยของเปลวไฟ (m), $\dot{Q}$ คือ อัตราการปล่อยพลังงานความร้อนของกองเพลิง(kW) ,และ D คือเส้นผ่านศูนย์กลางของกองเพลิง (m) ในกรณีที่พื้นที่การเผาไหม้ของกองเพลิงไม่เป็นวงกลม เราสามารถหาเส้นผ่านศูนย์กลางเทียบเท่าของกองเพลิง ได้จาก $D_{eq} = \sqrt{4A/\pi}$ โดย A คือ พื้นที่ของกองเพลิง (m^2)

2. ทฤษฎีกลุ่มควันไหลใต้เพดาน (Ceiling Jet Theory)

เมื่อควันลอยขึ้นไปกระทบเพดาน ควันจะเคลื่อนที่กระจายออกโดยรอบตามแนวรังสี ดังแสดงในภาพที่ 6 เราเรียกลักษณะควันที่ไหลใต้เพดานว่า กลุ่มควันไหลใต้เพดาน (Ceiling jet) อุณหภูมิและความเร็วของกลุ่มควันไหลใต้เพดาน มีความสัมพันธ์โดยตรงกับเวลาตอบสนองของอุปกรณ์อัตโนมัติ ที่ติดตั้งในระบบป้องกันอัคคีภัย เช่น หัวกระจายน้ำดับเพลิงอัตโนมัติ อุปกรณ์ตรวจจับความร้อน เป็นต้น ดังนั้นเพื่อให้การติดตั้งอุปกรณ์ในระบบป้องอัคคีภัยเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ เราจึงควรศึกษาวิธีการเพื่อประมาณหาค่าอุณหภูมิและความเร็วของกลุ่มควันไหลใต้เพดาน

ลักษณะการไหลของกลุ่มควันไหลใต้เพดานสามารถแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะตามอัตราส่วนความลึกของคาน (h_b) ต่อความสูงจากผิวของเชื้อเพลิง (H) หรือ h_b/H (ดูในภาพที่ 7 และภาพที่ 8 ประกอบ) คือ 1) กลุ่มควันไหลใต้เพดานแบบอิสระ (Unconfined ceiling jet) เมื่อ $h_b/H < 1/5$ และ 2) กลุ่มควันไหลใต้เพดานแบบพื้นที่จำกัด (Confined ceiling jet) เมื่อ $h_b/H > 1/5$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 6 กลุ่มควันไหลใต้เพดาน (Ceiling Jet)

2.1 กลุ่มควันไหลใต้เพดานแบบอิสระ (Unconfined ceiling jet)

การไหลของควันในแบบนี้ ความลึกของคานมีผลกระทบน้อยต่อการกระจายตัวของกลุ่มควัน ทำให้ควันสามารถกระจายตัวไปในแนวรัศมีได้อย่างอิสระ ดังแสดงในภาพที่ 7 เราสามารถหาอุณหภูมิและ ความเร็วในการไหลของควันได้จากความสัมพันธ์ที่เสนอโดย Alpert (1971) ดังแสดงด้านล่างนี้

อุณหภูมิสูงสุดของควันใต้เพดานที่ระยะ R

$$R/H < 0.18 \qquad \Delta T_{CJ} = \frac{16.9\dot{Q}^{2/3}}{H^{5/3}}$$

$$R/H > 0.18 \qquad \Delta T_{CJ} = \frac{5.38\left(\dot{Q}/R\right)^{2/3}}{H} \tag{8}$$

ความเร็วในการไหลสูงสุดของควันใต้เพดานที่ระยะ R

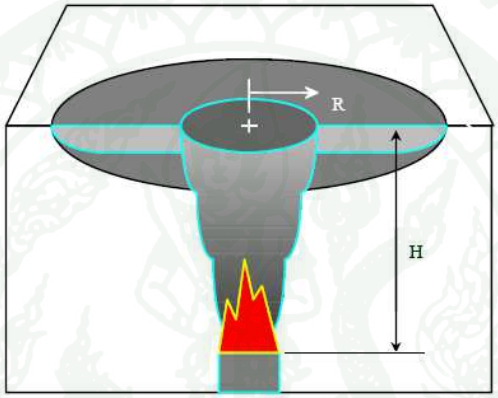
$$R/H < 0.15 \qquad u_{CJ} = 0.96\left(\frac{\dot{Q}}{H}\right)^{1/3}$$

$$R/H > 0.15 \qquad u_{CJ} = \frac{0.195\dot{Q}^{1/3}H^{1/2}}{R^{5/6}} \tag{9}$$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

โดย $\Delta T_{CJ} = T_{CJ} - T_{\infty}$ คือ ผลต่างอุณหภูมิของกลุ่มควันไหลใต้เพดานกับอุณหภูมิอากาศ, u_{CJ} คือ ความเร็วสูงสุดในการไหลของกลุ่มควันไหลใต้เพดาน และ H ความสูงจากผิวบนของเชื้อเพลิงถึงเพดานห้องในหน่วย m

จะสังเกตได้ว่าสำหรับการไหลของกลุ่มควันไหลใต้เพดานแบบอิสระ เมื่อ $R/H < 0.18$ อุณหภูมิของควันใต้เพดานไม่ขึ้นกับ R ในขณะที่ความเร็วของควันใต้เพดานจะไม่ขึ้นกับ R เมื่อ $R/H < 0.15$



ภาพที่ 7 กลุ่มควันไหลใต้เพดานแบบอิสระ (Unconfined ceiling jet)

2.2 กลุ่มควันไหลใต้เพดานแบบพื้นที่จำกัด (Confined ceiling jet)

เมื่อกลุ่มควันใต้เพดานไหลไปกระทบกับคานหรือกำแพงของช่องทางเดิน (Corridor) ซึ่งมีระยะห่างไม่มาก ควันจะไหลไปตามช่องระหว่างคานหรือช่องทางเดินในลักษณะการไหลในช่อง (Channel flow) มากกว่าที่จะไหลกระจายไปในแนวรัศมี Delichatsios (1981) ได้ทำการศึกษาเพื่อหาค่าอุณหภูมิและความเร็วกลุ่มควันไหลใต้เพดานแบบพื้นที่จำกัดที่ระยะ L ตามแนวระดับจากกองเพลิงไว้

ดังแสดงในรูปที่ 8 พบว่า เมื่ออัตราส่วนระหว่างระยะห่างระหว่างคาน (W) ต่อความสูงจากผิวบนของเชื้อเพลิงถึงเพดาน (H) มีค่าอยู่ระหว่าง 0.4 ถึง 1.2 ($0.4 < W/H < 1.2$) อุณหภูมิและความเร็วของกลุ่มควันไหล ใต้เพดานสามารถคำนวณได้โดย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

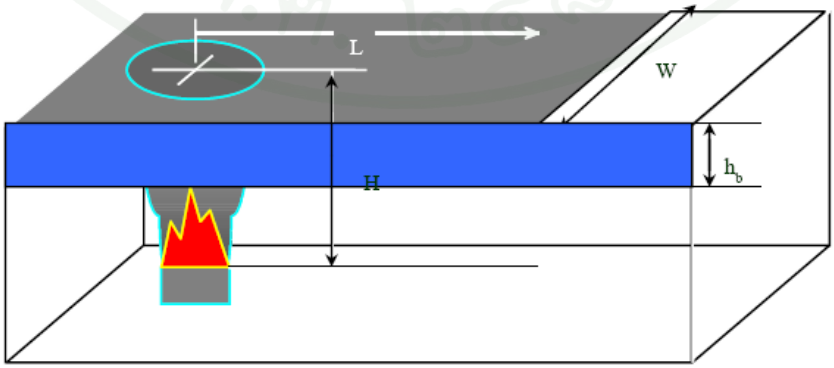
$$\frac{\Delta T_{CJ}}{\Delta T_0} = 0.37\left(\frac{H}{W}\right)^{1/3} \exp\left[-0.16\left(\frac{L}{H}\right)\left(\frac{W}{H}\right)^{1/3}\right] \quad (10)$$

$$\frac{u_{CJ}}{u_0} = \frac{0.27}{(W/H)^{1/3}} \quad (11)$$

โดย $\Delta T_{CJ} = T_{CJ} - T_\infty$ คือ ผลต่างอุณหภูมิของควันไหลใต้เพดานกับอากาศ, ΔT_0 คือ ผลต่างอุณหภูมิของลำควันที่ความสูง H, u_{CJ} คือ ความเร็วของกลุ่มควันไหลใต้เพดาน, u_0 ความเร็วของลำควันที่ความสูง H, H คือ ความสูงจากผิวบนของเชื้อเพลิงถึงเพดานและ W คือ ระยะห่างระหว่างช่องคานหรือช่องทางเดิน

สมการที่ 10 และ 11 จะใช้ได้เมื่อ L > W/2 ในกรณีที่ L < W/2 อุณหภูมิและความเร็วของควันไหลใต้เพดานจะมีลักษณะการไหลเหมือนกับควันไหลใต้เพดานแบบอิสระ (ซึ่งอาจคำนวณจากสมการที่ 8 สำหรับอุณหภูมิและสมการที่ 9 สำหรับความเร็วควัน)

ในกรณีที่ระยะห่างระหว่างคานมีค่ามาก (W/H > 1.2) Delichatsios (1981) เสนอว่าอุณหภูมิและความเร็วของควันไหลใต้เพดานสามารถคำนวณได้ในลักษณะเดียวกับควันไหลใต้เพดานอย่างอิสระ ถ้าคานมีความหนาไม่มาก ควันที่ไหลระหว่างช่องคานจะมีโอกาสไหลล้นไปสู่ช่องระหว่างคานที่อยู่ติดกันทำให้อุณหภูมิและความเร็วของควันที่คำนวณจากสมการที่ 8 และ 9 มีค่าคลาดเคลื่อน Evans (2000) เสนอว่าความหนาของคานควรมีค่าอย่างน้อยมากกว่า $0.126H^{4/3}W^{4/3}$ หรือ $\left((h_b/H) > 0.126(H/W)^{1/3}\right)$ เพื่อป้องกันการไหลล้นของควันระหว่างช่องคาน



ภาพที่ 8 กลุ่มควันไหลใต้เพดานแบบพื้นที่จำกัด (Unconfined ceiling jet)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3. อัตราการปล่อยพลังงานความร้อน (Heat Release Rate)

อัตราการปล่อยพลังงานความร้อน (Heat release rate, $\dot{Q}$) คือ อัตราที่พลังงานความร้อนถูกปล่อยออกมาจากการเผาไหม้ เราสามารถคำนวณหาอัตราการปล่อยความร้อนของกองเพลิงได้จาก

$$\dot{Q} = \dot{m}''_f A \chi \Delta H_C \tag{12}$$

โดย $\dot{Q}$ คือ อัตราการปล่อยพลังงานความร้อน (kW), $\dot{m}''_f$ คือ ฟลักซ์การเผาไหม้ (g/m^2-s), A คือ พื้นที่ของการเผาไหม้ (m^2), χ คือ ประสิทธิภาพการเผาไหม้ (Combustion efficiency), และ ΔH_C คือ ความร้อนของการเผาไหม้ (Heat of combustion, kJ/g)

ความร้อนของเผาไหม้เป็นพลังงานความร้อนที่เชื้อเพลิงปล่อยออกมาได้ต่อมวลของเชื้อเพลิงที่เผาไหม้ เมื่อการเผาไหม้เป็นไปอย่างสมบูรณ์ (Complete Combustion) เราสามารถคำนวณหาความร้อนของ การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแต่ละชนิดได้จากกฎการอนุรักษ์พลังงานของปฏิกิริยาเคมีระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศ ซึ่งค่าความร้อนที่ได้นี้จะถือเป็นค่าทางทฤษฎี อย่างไรก็ตามในเหตุอัคคีภัยการเผาไหม้มักจะเกิดขึ้นอย่างไม่สมบูรณ์ทำให้ความร้อนที่ปล่อยออกมามีค่าน้อยกว่าค่าทางทฤษฎี เราเรียกความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ จริงนี้ว่า ความร้อนของการเผาไหม้จริง (Effective heat of combustion, $\Delta H_{C,eff}$) ในการเผาไหม้จะมีเขม่า (Soot) ซึ่งเป็นอนุภาพของคาร์บอนที่ยังไม่เผาไหม้เกิดขึ้นในกองเพลิงและลำควัน เขม่าเป็นดัชนีตัวหนึ่งที่แสดงถึงการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ การเผาไหม้ยิ่งไม่สมบูรณ์มาเท่าใดปริมาณเขม่าที่เกิดขึ้นก็จะมากตามไปด้วย อัตราส่วนของความร้อนของการเผาไหม้จริงต่อความร้อนของการเผาไหม้ทางทฤษฎี เรียกว่าประสิทธิภาพการเผาไหม้ (χ) โดย

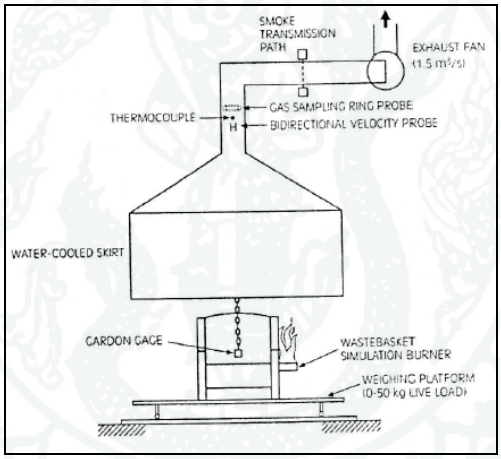
$$\chi = \frac{\Delta H_{C,eff}}{\Delta H_C} \tag{13}$$

เชื้อเพลิงที่เผาไหม้แล้วไม่เกิดหรือเกิดเขม่าน้อย เช่น แอลกอฮอล์ เมื่อเผาไหม้จะมีเขม่าน้อยมาก หรือไม่มีเลย ทำให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ของแอลกอฮอล์มีค่าเกือบ 100 % ในทางตรงกันข้าม การเผาไหม้น้ำมันดิบ (Crude oil) จะมีเขม่าควันสูงมาก ประสิทธิภาพการเผาไหม้จึงมีค่าต่ำอยู่ในช่วง ประมาณเพียง 60 ถึง 70% ในทางปฏิบัติเราสามารถหาความร้อนของการเผาไหม้จริงได้จาก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การเผาเชื้อเพลิง ในอุปกรณ์ที่เรียกว่า ออกซิเจนแคลอริมิเตอร์ (Oxygen calorimeter) ดังแสดงใน ภาพที่ 9

ในออกซิเจนแคลอริมิเตอร์เชื้อเพลิงจะถูกปล่อยให้เผาไหม้อย่างอิสระ ควันซึ่งเป็นแก๊สผลิตภัณฑ์การเผาไหม้จะถูกเก็บตัวอย่างโดยตัวเก็บควัน (Gas sampling probe) ตัวอย่างควันเหล่านี้จะถูกนำไป วิเคราะห์เพื่อหาอัตราการใช้ออกซิเจนแล้วนำมาคำนวณหาค่าความร้อนของการเผาไหม้จริง ในการเผาไหม้ ของเชื้อเพลิงซึ่งโดยส่วนใหญ่เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน พบว่าเชื้อเพลิงจะคายพลังงานความร้อนออกมาประมาณ 13 kJ ต่อ 1 g ของออกซิเจนที่เผาไหม้ ดังนั้น ถ้าเราทราบว่าออกซิเจนถูกใช้ไปในการเผาไหม้เท่าใด (ในอากาศ 1 g ประกอบด้วยออกซิเจน 0.233 g) เราก็สามารถหาพลังงานความร้อน ที่ปล่อยออกมาจากการเผาไหม้ได้



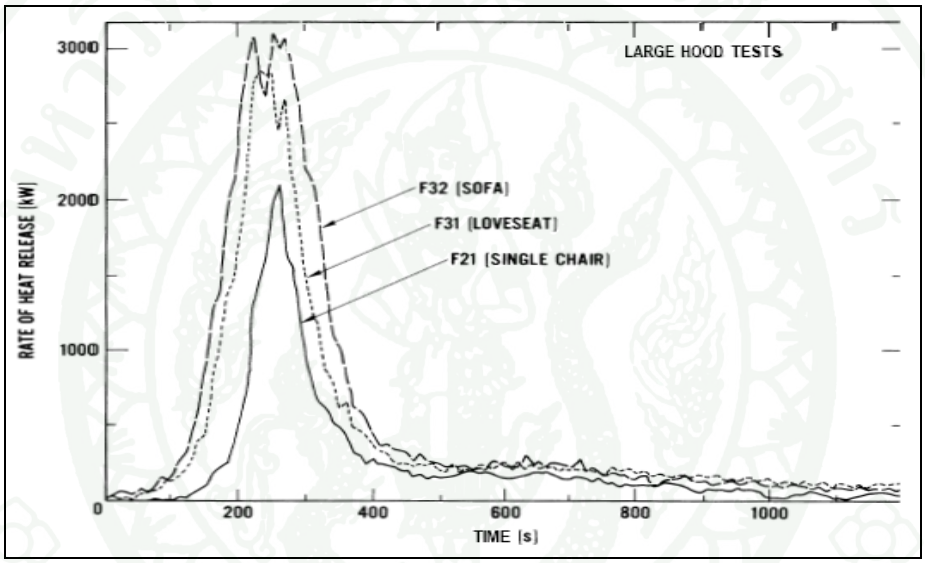
ภาพที่ 9 ออกซิเจนแคลอริมิเตอร์ (Oxygen calorimeter)

3.1 อัตราการปล่อยพลังงานความร้อนจากการทดลอง (Experimental Heal Release Rate)

เราได้ศึกษาถึงการคำนวณหาอัตราการเผาไหม้และอัตราการปล่อยพลังงานความร้อนของเชื้อเพลิงที่เป็นของเหลวและของแข็งสำหรับการเผาไหม้ในสภาวะคงตัว แต่สำหรับการเผาไหม้ในเหตุอัคคีภัยของเชื้อเพลิงภายในอาคารบ้านเรือนทั่วๆ ไป เช่น โต๊ะ, เก้าอี้ไม้, เก้าอี้หุ้มเบาะ, เก้าอี้โซฟา, และเฟอร์นิเจอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการตกแต่ง เป็นต้น อัตราการเผาไหม้และอัตราการปล่อยพลังงานความร้อนจะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา ซึ่งในทางปฏิบัติแล้ววิธีการที่จะประมาณหาค่าอัตราการปล่อยพลังงานของเชื้อเพลิงเหล่านี้สามารถทำได้จากการวัดค่าโดยตรงจากการเผาเชื้อเพลิง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เหล่านั้นจริงๆ เราจะใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า ออกซิเจนแคลอริมิเตอร์ หรือ เฟอร์นิเจอร์แคลอริมิเตอร์ (Furniture calorimeter) ในการหาอัตราการปล่อยพลังงานความร้อน โดยใช้ออกซิเจนแคลอริมิเตอร์ เราจะอาศัยหลักการที่ส่า เชื้อเพลิงโดยส่วนใหญ่จะปล่อยพลังงานความร้อนโดยประมาณเท่ากับ 13 kJ ต่อ 1 kg ของออกซิเจน ที่ใช้ไปในการเผาไหม้ ดังนั้น ถ้าเราทราบถึงอัตราการใช้ออกซิเจนเราก็สามารถคำนวณหาอัตรา การปล่อยพลังงานความร้อนของเชื้อเพลิงเหล่านั้นได้ ตัวอย่างของอัตราการปล่อยพลังงานความร้อน ที่ได้จากการเผาเฟอร์นิเจอร์ชนิดต่างๆ ในออกซิเจนแคลอริมิเตอร์ได้นำแสดงไว้ในภาพที่ 10



ภาพที่ 10 ค่าอัตราการปลดปล่อยพลังงานของโซฟาแบบต่างๆ

ที่มา: Quintiere (1997)

จากภาพที่ 10 จะเห็นได้ว่าหลังจากเชื้อเพลิงจุดติดไฟ อัตราการปล่อยพลังงานความร้อนจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจะถึงค่าสูงสุด ซึ่งเรียกว่า อัตราการปล่อยพลังงานความร้อนสูงสุด (Maximum heat release rate) ช่วงเวลาตั้งแต่เชื้อเพลิงจุดติดไฟจนกระทั่งการเผาไหม้ปล่อยพลังงานความร้อนออกมาเท่ากับ ค่าสูงสุด เรียกว่า ระยะลามไฟ (Growth phase) หลังจากนั้นการเผาไหม้จะดำเนินไปในสภาวะคงตัว โดยมีอัตราการปล่อยพลังงานความร้อนเท่ากับค่าอัตราการปล่อยพลังงานความร้อนสูงสุด เราเรียกว่าการเผาไหม้ในช่วงนี้ว่า ระยะการเผาไหม้ในสภาวะคงตัว (Steady Phase) หรือ ระยะเพลิงพัฒนาโดยสมบูรณ์ (Fully developed fire) เมื่อเชื้อเพลิงถูกเผาไหม้หมดลง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อัตราการปล่อยพลังงานความร้อนจะลดลงจนกระทั่งเพลิงดับลง เราจะเรียกการเผาไหม้ของกองเพลิงในช่วงนี้ว่า ระยะมอดดับ (Decay Phase)

อัตราการปล่อยพลังงานความร้อนสูงสุดเป็นพารามิเตอร์ที่บอกถึงพลังงานความร้อนสูงสุดที่เชื้อเพลิงแต่ละชนิดสามารถปล่อยออกมาได้ ซึ่งค่าอัตราการปล่อยพลังงานสูงสุดของเชื้อเพลิงบางชนิดได้นำมาแสดงไว้ในตารางที่ 2 เราสามารถใช้ค่าอัตราการปล่อยพลังงานความร้อนสูงสุดเป็นขีดจำกัดบนในการสร้างแบบจำลองการเผาไหม้ที่มีอัตราเปลี่ยนแปลงตามเวลา

3.2 การกำหนดอัตราการปล่อยพลังงานจากเพลิงไหม้เพื่อการออกแบบระบบป้องกันอัคคีภัย (The Design Fire)

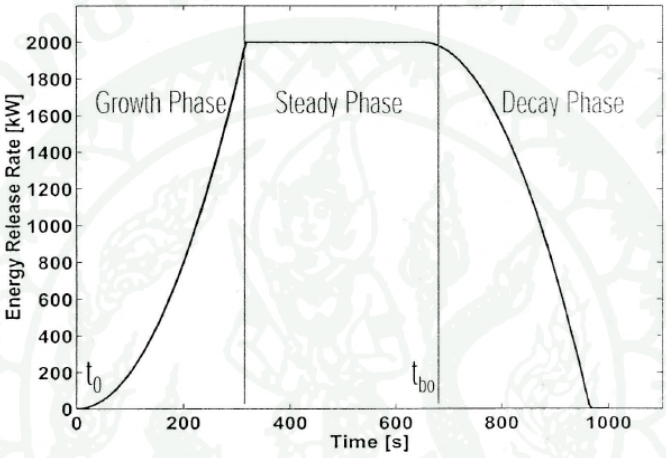
ในการออกแบบระบบป้องกันอัคคีภัย โดยทั่วไปมีวัตถุประสงค์อยู่ 2 ประการ คือ ออกแบบโดยคำนึงถึงความปลอดภัยของชีวิตเป็นหลัก (Life Safety) และ 2) ออกแบบโดยคำนึงถึงความมั่นคงของโครงสร้างอาคาร (Structure stability of building) ในกรณีที่คำนึงถึงความปลอดภัยของโครงสร้างอาคาร ช่วงเวลาของการเกิดเพลิงไหม้ที่คำนึงถึงจะค่อนข้างยาว (30 นาที ถึง 2 ชั่วโมง) โดยส่วนใหญ่แล้วเพลิงไหม้จะสามารถพัฒนาจนถึงระยะเพลิงพัฒนาโดยสมบูรณ์ (Fully developed fire) ในทางกลับกันคำนึงถึง ความปลอดภัยของชีวิตเป็นหลัก ระยะเวลาของการเกิดเพลิงไหม้แล้วก่อให้เกิดอันตรายต่อชีวิต มีช่วงเวลาสั้นกว่า (30 นาที) ดังนั้นการกำหนดอัตราการปล่อยพลังงานจากเพลิงไหม้จะต้องมีความสัมพันธ์ กับวัตถุประสงค์ในการออกแบบ

การกำหนดอัตราการปล่อยพลังงานความร้อนจากเพลิงไหม้ ก็คือ การคาดคะเนว่าถ้าเกิดเพลิงไหม้ขึ้นกับเชื้อเพลิงที่มีอยู่ภายในห้อง การเผาไหม้จะมีการปล่อยพลังงานความร้อนออกมาเท่าใดและในระยะเวลานานเท่าใด พลังงานความร้อนที่ถูกปล่อยออกมานี้จะมีผลโดยตรงต่ออุณหภูมิภายในห้อง อัตราการเกิดควัน, อัตราการลดตัวของชั้นควัน, ระยะเวลาที่อุปกรณ์ตรวจจับในระบบป้องกันอัคคีภัยจะทำงานความสูงของเปลวไฟ เป็นต้น ดังนั้นการกำหนดอัตราการปล่อยความร้อนจึงเป็นจุดเริ่มต้นที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในการออกแบบระบบป้องกันอัคคีภัยให้มีประสิทธิภาพ

เราไม่สามารถจะจำลองเหตุการณ์เพลิงไหม้ที่เป็นไปได้ทั้งหมดที่สามารถเกิดขึ้นกับอาคารได้ ในความจริงเราจะออกแบบระบบป้องกันอัคคีภัยเพื่อให้สามารถป้องกันเหตุเพลิงไหม้ที่มี

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

โอกาสจะเกิดขึ้นได้มากที่สุดหรือเหตุเพลิงไหม้ที่เกิดขึ้นแล้วส่งผลเลวร้ายที่สุด เกิดขึ้นได้มากที่สุดหรือเหตุเพลิงไหม้ที่เกิดขึ้นแล้วส่งผลเลวร้ายที่สุด (Worst case scenario) เท่านั้น จากข้อเท็จจริงดังกล่าว การจะกำหนดอัตราการปล่อยพลังงานความร้อนให้สัมพันธ์กับเหตุเพลิงไหม้จึงไม่มีหลักการตายตัว วิศวกรผู้ออกแบบต้องอาศัยวิจารณญาณและประสบการณ์เข้าช่วยในการตัดสินใจ อย่างไรก็ตามจากสังเกต พฤติกรรมการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง เราอาจแบ่งช่วงการเผาไหม้ในเหตุอัคคีภัยออกได้เป็น 3 ระยะดังแสดงในภาพที่ 11



ภาพที่ 11 ช่วงการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงในเหตุอัคคีภัย

ระยะลามไฟ (Growth Phase) ในระยะนี้ การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงจะเป็นไปอย่างรวดเร็ว เนื่องจากออกซิเจนภายในห้องมีอยู่เป็นจำนวนมาก ดังนั้นอัตราการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงจะขึ้นอยู่กับจำนวนของเชื้อเพลิง (Fuel-limited) อัตราการปล่อยพลังงานความร้อนจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเป็นทวีคูณกับเวลา จากการทดลองโดยการเผาเชื้อเพลิงจริงๆ พบว่า อัตราการปล่อยพลังงานความร้อนจะแปรผัน โดยตรงกับเวลานับตั้งแต่เชื้อเพลิงจุดติดไฟยกกำลังสอง ซึ่งเรียกว่า t-square fire โดย

$$\dot{Q} = \alpha t^2 \tag{14}$$

โดย $\dot{Q}$ คือ อัตราการปล่อยพลังงานความร้อนในหน่วย kW, t คือ เวลาของการเผาไหม้ โดยนับตั้งแต่เวลาที่เชื้อเพลิงเริ่มลุกติดไฟในหน่วยวินาที และ α คือ ค่าสัมประสิทธิ์การลามไฟ (Growth factor) ในหน่วย kW/s^2

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สัมประสิทธิ์การลามไฟเป็นค่าคงที่ที่ได้จากการทดลอง โดย $\alpha = 1055/(t_{1055})^2$ เมื่อ t_{1055} คือ เวลาที่เชื้อเพลิงใช้นับตั้งแต่จุดติดไฟจนกระทั่งการเผาไหม้สามารถปล่อยพลังงานความร้อนออกมาได้เท่ากับ 1055 kW (1000 Btu/s) เชื้อเพลิงที่มีสัมประสิทธิ์การลามไฟสูงจะมีอัตราการลามไฟสูง หลังจากเชื้อเพลิงจุดติดไฟการเผาไหม้จะดำเนินไปอย่างรวดเร็ว ตารางที่ 1 และตารางที่ 2 ได้แสดงค่าสัมประสิทธิ์การลามไฟของเชื้อเพลิงหลากชนิดที่สามารถพบได้ในห้องทั่วๆ ไปไว้ เวลา t_0 ที่แสดงในตารางที่ 1 หมายถึง ระยะเวลาที่ใช้ในการให้ความร้อนแก่เชื้อเพลิงจนกระทั่งเชื้อเพลิงจุดติดไฟ

NFPA 204 (2002) (Standard for Heat and Smoke Venting) ได้จัดลำดับของอัตราการลามไฟ (Growth rate) ตามค่าสัมประสิทธิ์การลามไฟออกเป็น 4 ระดับดังแสดงในตารางที่ 3 ถ้า α มีค่าเท่ากับ 0.19 kW/s^2 เชื้อเพลิงจะมีอัตราการลามไฟอย่างรวดเร็วมาก (Ultra Fast) ถ้า α มีค่าเท่ากับ 0.047 kW/s^2 เชื้อเพลิงจะมีอัตราการลามไฟอย่างรวดเร็ว (Fast) ถ้า α มีค่าเท่ากับ 0.012 kW/s^2 เชื้อเพลิงจะมีอัตราการลามไฟอย่างปานกลาง (Medium) และถ้า α มีค่าเท่ากับ 0.003 kW/s^2 เชื้อเพลิงจะมีอัตราการลามไฟเป็นไปอย่างเชื่องช้า ภาพที่ 12 ได้เปรียบเทียบการปล่อยพลังงานในระยะลามไฟของเชื้อเพลิงที่มีค่าสัมประสิทธิ์การลามไฟค่าต่างๆ ตามมาตรฐาน NFPA 204

ถ้ารู้ว่าเชื้อเพลิงภายในห้องประกอบไปด้วยอะไรบ้าง เราจะสามารถหาสัมประสิทธิ์การลามไฟของห้องได้โดยดูจากตารางที่ 1 หรือ 2 อย่างไรก็ตามในบางครั้งเป็นเรื่องยากที่จะระบุว่าภายในห้องประกอบไปด้วยเชื้อเพลิงอะไรบ้าง ดังนั้นเราอาจจะประมาณค่าสัมประสิทธิ์การลามไฟโดยพิจารณาจากลักษณะการใช้งานของห้องหรือพื้นที่เหล่านั้น สัมประสิทธิ์การลามไฟตามลักษณะการใช้งานได้ถูกแสดงไว้ในตารางที่ 4 สัมประสิทธิ์การลามไฟในตารางที่ 4 เป็นค่าแนะนำโดยประมาณเท่านั้น ในการกำหนดอัตราการปล่อยพลังงานความร้อนจริง วิศวกรผู้ออกแบบระบบป้องกันอัคคีภัยต้องมีการตรวจสอบปริมาณ

ระยะเผาไหม้ในสภาวะคงตัว (Steady Phase) หรือ ระยะเพลิงพัฒนาโดยสมบูรณ์ (Fully Developed Phase) ในระยะนี้อัตราการปล่อยพลังงานความร้อนจะมีค่าเท่ากับ อัตราการปล่อยพลังงานความร้อนค่าสูงสุด (Maximum heat release rate, Q_{max}) อัตราการปล่อยพลังงานความร้อนในช่วงนี้จะถูกจำกัดโดยปริมาณออกซิเจนที่มีอยู่ภายในห้อง เราสามารถประมาณค่า Q_{max} ได้โดยคำนวณจากค่าอัตราการเผาไหม้สูงสุด ตามสมการที่ (12) ถ้าเราทราบถึงชนิดของเชื้อเพลิง แต่ในกรณีที่เราไม่ทราบถึงชนิดของเชื้อเพลิง เราจำเป็นต้องอาศัยวิจารณญาณทางวิศวกรรมช่วยในการ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตัดสินใจ เช่น ในกรณีของการเกิดเพลิงไหม้ Q_{max} อาจประมาณได้จากปริมาณของอากาศ (ออกซิเจน) ที่มีอยู่ในห้องโดยอาศัยหลักที่ว่า 1 g ของออกซิเจน ที่เผาไหม้จะปล่อยพลังงานความร้อน 13 kJ

ระยะมอดดับ (Decay Phase) โดยทั่วไปแล้วกำหนดอัตราการปล่อยพลังงานความร้อนเพื่อการออกแบบระบบป้องกันอัคคีภัยโดยคำนึงถึงความปลอดภัยของชีวิตเป็นหลัก จะกำหนดเฉพาะในช่วงระยะเวลาสั้นๆ เพียง 10 ถึง 30 นาทีแรกของการเกิดเพลิงไหม้ ทั้งนี้เพราะว่าในทางปฏิบัติแล้วผู้ที่อยู่ภายในบริเวณที่เกิดเพลิงไหม้ควรได้รับการช่วยเหลือให้หนีออกจากบริเวณเหล่านั้นภายในระยะการหนีไฟตามที่กำหนด ดังนั้นเราจึงสามารถกำหนดให้อัตราการปล่อยพลังงานให้คงตัวอยู่ในระบบการเผาไหม้ในสภาวะคงตัวจนจบการวิเคราะห์ได้ อย่างไรก็ตามถ้าเราทราบถึงจำนวนเชื้อเพลิงที่มีอยู่ภายในห้องที่เกิดเพลิงไหม้ เราสามารถประมาณระยะเวลาทั้งหมดที่เพลิงจะลุกไหม้ภายในห้องได้โดย

$$t_b = t_0 + t_{bo} \approx \frac{Q_{total}}{\dot{Q}_{\max}} \tag{15}$$

โดย t_b คือ ระยะเวลาทั้งหมดของเพลิงไหม้, t_0 คือ ระยะเวลาเพื่อการจุดติดไฟของเชื้อเพลิง, t_{bo} คือ ระยะเวลาที่เชื้อเพลงเผาไหม้หมดไป, Q_{total} คือ โหลดความร้อนของเชื้อเพลิงทั้งหมดภายในห้อง และ $\dot{Q}_{\max}$ คือ อัตราการปล่อยพลังงานความร้อนสูงสุด

จากการพัฒนาของเพลิงไหม้ทั้ง 3 ระยะเราสามารถเขียนความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการปล่อยพลังงานความร้อนกับเวลาการเผาไหม้ได้โดย

$$\begin{aligned} t < t_0 : &\qquad \dot{Q} = \dot{Q}_{\text{int}} \\ t_0 < t < t_{b0} : &\qquad \dot{Q} = \min\left(\dot{Q}_{\text{int}} + \alpha\left(t - t_0\right)^2, \dot{Q}_{\max}\right) \\ t > t_{b0} : &\qquad \dot{Q} = \min\left(0, \left(\min \dot{Q}_{\text{int}} + \alpha\left(t - t_0\right)^2, \dot{Q}_{\max}\right) - \alpha\left(t - t_{bo}\right)^2\right) \end{aligned} \tag{16}$$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

โดย $\dot{Q}_{\text{int}}$ คือ อัตราการปล่อยพลังงานความร้อนเริ่มต้นก่อนเชื้อเพลิงจุดติดไฟ (Initial heat release rate, kW)

ในช่วงเวลาก่อนเชื้อเพลิงจุดติดไฟ ($t < t_0$) กองเพลิงมีอัตราการปล่อยพลังงานความร้อนเท่ากับอัตราการปล่อยพลังงานความร้อนเริ่มต้น $\dot{Q}_{\text{int}}$ หลังจากเชื้อเพลิงจุดติดไฟ ($t_0 < t < t_{b0}$) กองเพลิงจะมีอัตราการปล่อยพลังงานความร้อนเพิ่มขึ้นแปรผันตามเวลาในการเผาไหม้ยกกำลังสอง แต่เนื่องจากการเผาไหม้มีออกซิเจนในปริมาณจำกัด กองเพลิงจึงสามารถปล่อยพลังงานความร้อนออกมาได้มากที่สุดเท่ากับ $Q_{\max}$ เท่านั้น หลังจากเชื้อเพลิงเผาไหม้หมดไป ($t > t_{b0}$) อัตราการปล่อยพลังงานความร้อนจะลดลงจนเท่ากับศูนย์เมื่อเพลิงมอดดับลง

ตารางที่ 1 ตัวอย่างสัมประสิทธิ์การลามไฟ (α) ของเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ

เชื้อเพลิง	α (kW/s^2)	t_0 (s)
ตู้เสื้อผ้าโครงโลหะ 41.4 kg	0.4220	10
เก้าอี้หุ้มเบาะสองที่นั่ง (Love seat) 39.2 kg	0.0066	140
เก้าอี้ 28.15 kg (ช่วงเริ่มต้นการเผาไหม้)	0.0344	110
ตู้เสื้อผ้าโครงโลหะ 40.8 kg (ช่วงเริ่มต้นการเผาไหม้)	0.1055	30
ตู้เสื้อผ้าโครงโลหะ 40.8 kg (ช่วงท้ายของการเผาไหม้)	0.0733	60
เก้าอี้ 28.3 Kg	0.0086	400
เก้าอี้หุ้มเบาะสองที่นั่ง (Love seat) 39.6 kg	0.2931	145
เก้าอี้โซฟา 51.5 Kg	0.1055	50
ตู้เสื้อผ้าไม้อัด 1/2 นิ้ว พร้อมเสื้อผ้า 68.8 Kg	0.8612	20
ตู้เสื้อผ้าไม้อัด 1/8 นิ้ว พร้อมเสื้อผ้า 36.0 Kg	0.6594	40
เก้าอี้ปรับพนักได้หุ้มเบาะ โครงโลหะ 20.8 Kg	0.0365	30
ที่นอนพร้อมฐานเตียง 62.36 Kg (ช่วงเริ่มต้นการเผาไหม้)	0.0086	400
ที่นอนพร้อมฐานเตียง 62.36 Kg (ช่วงท้ายของการเผาไหม้)	0.0009	90
เก้าอี้ Easychair 23.02 Kg	0.1876	3700

ที่มา: Karlsson and Quintiere (1999)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 2 ตัวอย่างสัมประสิทธิ์การลามไฟและอัตราการปล่อยพลังงานความร้อนสูงสุดของเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ

เชื้อเพลิง	α (kW/s^2)	$\dot{Q}$ (kW/m^2)
ที่นอนทำจากวัสดุป้องกันการลามไฟ (Fire retarded material)	S	17
โซฟาหุ้มเบาะ ขนาดเล็ก	M	170
โซฟาหุ้มเบาะ ขนาดกลาง	S	400
เบาะที่นอนทำจากฝ้ายและ Polyester พร้อมชุดเครื่องนอน	M	656
กล่องกระดาษเปล่า สูง 15 ฟุต	F	1700
กล่องกระดาษบรรจุด้วยขวดพลาสติก สูง 15 ฟุต	UF	1985
ถุงบรรจุด้วยซองจดหมายสูง 5 ฟุต	F	400
อ่างไฟน้ำมันดีเซลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 3 ft	F	1985
อ่างไฟน้ำมันเบนซินขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 3 ft	UF	3290
อ่างไฟเมทิลแอลกอฮอล์ (Methyl alcohol pool fire)	UF	740
ฐานรองไม้สำหรับวางของ (Wooded pallet) สูง 1 ½ ft	M	1420
ฐานรองไม้สำหรับวางของ (Wooded pallet) สูง 5 ft	F	3970
ตู้เสื้อผ้าทำจาก Particleboard	F	2550
ตู้เสื้อผ้าทำจากไม้อัดบาง พ่นสารกันการลามไฟโดยรอบ	UF	3855

หมายเหตุ S = Slow, M = Medium, F = Fast, UF = Ultra-Fast

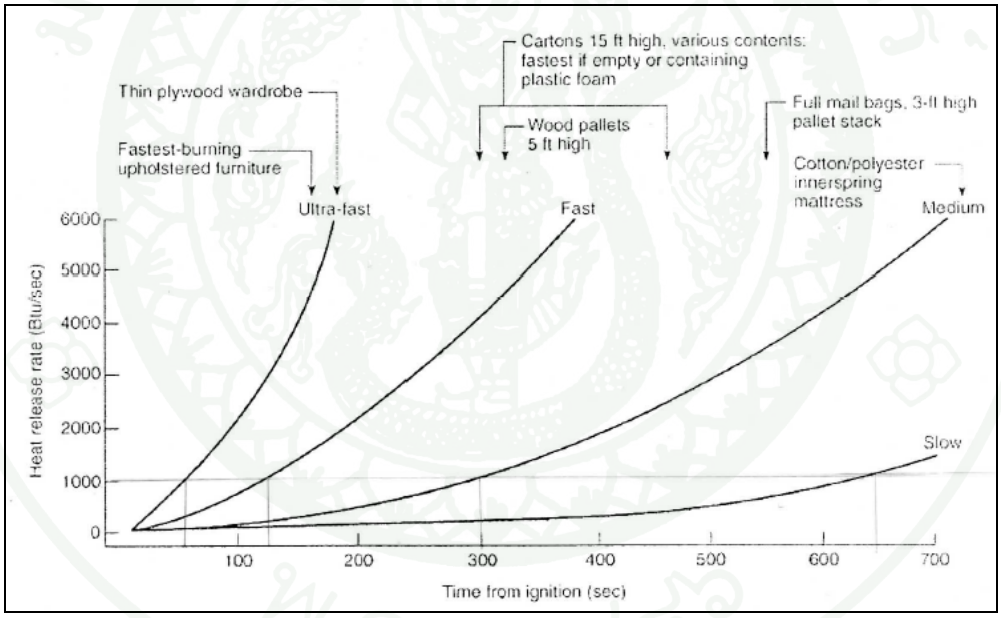
ที่มา: Karlsson and Quintiere (1999)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 3 สัมประสิทธิ์การลามไฟตามการจัดลำดับของ NFPA 204

อัตราการลามไฟ	α (kW/s^2)	t_{1055} (s)
รวดเร็วมาก (Ultra-Fast)	0.190	75
รวดเร็ว (Fast)	0.047	150
ปานกลาง (Medium)	0.012	300
ช้า (Slow)	0.003	600

ที่มา: NFPA 204 (2002)



ภาพที่ 12 อัตราการปล่อยพลังงานความร้อนในระยะลามไฟตามมาตรฐาน NFPA 204

ที่มา: NFPA 204 (2002)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 4 สัมประสิทธิ์การลามไฟตามลักษณะการใช้งาน

ลักษณะการใช้งาน	อัตราการลามไฟ
ห้องพักอาศัย	ปานกลาง
โรงแรม, สถานรบเลี้ยงเด็ก	รวดเร็ว
ห้างสรรพสินค้า, สถานบันเทิง	รวดเร็วมาก
โรงเรียน, สำนักงาน	รวดเร็ว
โรงงานอุตสาหกรรม	ไม่กำหนด

ที่มา: Karlsson and Quintiere (1999)

4. อุปกรณ์ตรวจจับความร้อน (Heat Detector)

อุปกรณ์ตรวจจับความร้อน (Heat Detector) ที่มีอยู่ในประเทศไทย จะแบ่งออกได้เป็น 2 แบบหลักๆ คือ แบบ Mechanical Heat Detectors และ แบบ Electronic Heat Detectors โดยทั้ง 2 แบบ นี้จะใช้หลักการตรวจจับอุณหภูมิเหมือนกัน และมีชนิดในการตรวจจับอุณหภูมิที่เหมือนกัน แต่จะมีหลักการทำงานของโลหะสั่งงานภายในตัวอุปกรณ์ที่แตกต่างกัน ซึ่งแบบ Mechanical Heat Detectors ชนิดของอุปกรณ์โลหะสั่งงานภายในตัวอุปกรณ์ จะคืนตัวกลับสู่สภาพเดิมได้ไม่เหมือนเดิม หากทดสอบการทำงานหรือตรวจจับเหตุเพลิงไหม้ไปแล้ว ซึ่งอาจจะทำให้ไม่สามารถทำงานตรวจจับเพลิงไหม้ได้อีกต่อไป ส่วนในแบบ Electronic Heat Detectors ชนิดอุปกรณ์โลหะสั่งงานภายในอุปกรณ์ สามารถคืนตัวกลับสู่สภาพการใช้งานตรวจจับได้เหมือนเดิม แม้จะทดสอบการทำงาน หรือตรวจจับเหตุเพลิงไหม้ไปแล้ว และสามารถจะทำงานตรวจจับเหตุเพลิงไหม้ได้อีกในครั้งต่อๆ ไป โดยไม่ต้องกลัวว่าอุปกรณ์จะเสียหรือพังจากการทำงานหรือการทดสอบระบบ

อุปกรณ์ตรวจจับความร้อน จะเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ตรวจจับความร้อนจากเหตุเพลิงไหม้ที่เกิดขึ้นภายในตัวอาคารสถานที่ ซึ่งใช้วิธีการตรวจจับอุณหภูมิความร้อนของเหตุเพลิงไหม้ที่ตรวจจับได้ โดยการตรวจจับอุณหภูมิความร้อนจากเหตุเพลิงไหม้นี้จะแบ่งแยกเป็น 3 ชนิด ในการตรวจจับให้เลือกใช้งาน คือ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4.1 Fixed Temperature Heat Detectors

อุปกรณ์ตรวจจับความร้อนชนิดจับอุณหภูมิคงที่ อุปกรณ์แบบชนิดนี้จะทำงานก็ต่อเมื่ออุณหภูมิของเซ็นเซอร์สูงถึงจุดที่ได้กำหนด ในการตรวจจับจะอาศัยหลักการของโลหะสองชนิด ซึ่งเมื่อถูกความร้อนแล้วจะเกิดสัมประสิทธิ์การขยายตัวที่แตกต่างกัน เมื่อนำโลหะทั้งสองมาแนบติดกัน และถูกความร้อนจะเกิดการขยายตัวที่แตกต่างกัน ทำให้โลหะเกิดการบิดตัวโค้งงอไปอีกด้านหนึ่ง แล้วจะส่งสัญญาณไปยังตู้ควบคุมระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้ อุปกรณ์ตรวจจับความร้อนแบบอุณหภูมิคงที่ ออกแบบตามช่วงอุณหภูมิใช้งานดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ช่วงอุณหภูมิใช้งานของอุปกรณ์ตรวจจับความร้อนแบบอุณหภูมิคงที่

เกณฑ์อุณหภูมิ	ช่วงอุณหภูมิ	
	องศาเซลเซียส	องศาฟาเรนไฮต์
ต่ำ (low)	37.8-56.7	100-134
ทั่วไป (ordinary)	57.2-78.9	135-174
กลาง(intermediate)	79.4-120.6	175-249
สูง(high)	121-162.2	250-324

ที่มา: (NFPA 13, 2007)

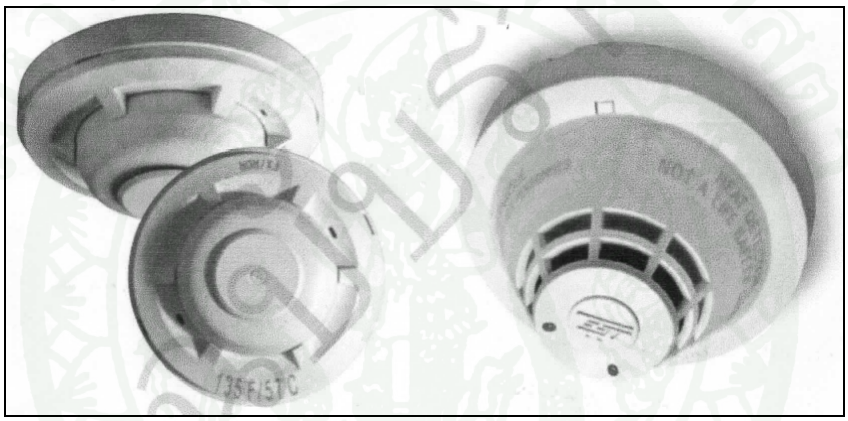
4.2 Rate of Rise Heat Detectors

อุปกรณ์ตรวจจับความร้อน ชนิดตรวจจับอัตราการเพิ่มของอุณหภูมิ อุปกรณ์ชนิดนี้จะทำงานก็ต่อเมื่อมีอัตราการเพิ่มของอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 8.3°C (15°F) ใน 1 นาทีในการทำงานตรวจจับจะอาศัยหลักการอากาศในส่วนด้านบนของส่วนรับความร้อน เมื่อถูกความร้อนจะขยายตัวอย่างรวดเร็วมากจนอากาศที่ขยายไม่สามารถที่จะเล็ดลอดออกมาในช่องระบายได้ทำให้เกิดความดันสูงมากขึ้น และจะไปดันแผ่นไดอะเฟรมให้ไปดันขาคอนแท็กได้แตะกัน แล้วจะส่งสัญญาณไปยังตู้ควบคุมระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4.3 Combination Heat Detectors (Fixed Temperature and Rate of Rise)

อุปกรณ์ตรวจจับความร้อนทั้งชนิดจับอุณหภูมิคงที่ กับชนิดจับอัตราการเพิ่มของอุณหภูมิ อุปกรณ์ชนิดนี้จะรวมเอาคุณสมบัติการตรวจจับความร้อน ชนิดจับอุณหภูมิคงที่ และจับอัตราการเพิ่มของอุณหภูมิมารวมอยู่ในตัวเดียวกัน เพื่อการตรวจจับความร้อนที่อาจเกิดขึ้นได้ทั้งสองลักษณะ ซึ่งทำให้ได้การตรวจจับที่ดี และรวดเร็วกว่า การตรวจจับเพียงชนิดเดียว เมื่อตรวจจับเหตุเพลิงไหม้ได้จะส่งสัญญาณไปที่ตู้ควบคุมระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้



ภาพที่ 13 รูปอุปกรณ์ตรวจจับความร้อน

5. การคำนวณเวลาการตอบสนอง และระยะห่างของอุปกรณ์ตรวจจับความร้อน

อุปกรณ์ตรวจจับความร้อนและหัวกระจายน้ำดับเพลิงนั้นถูกออกแบบมาเพื่อให้ทำงานเมื่อเกิดเพลิงไหม้ให้เร็วที่สุดเท่าที่จะทำได้ เพื่อให้สามารถอพยพออกจากสถานที่เกิดเหตุ และทำการดับเพลิงได้อย่างทันทีทันใดก่อนที่ไฟจะลุกลามเป็นไฟขนาดใหญ่ ดังนั้น ระยะห่างของอุปกรณ์ตรวจจับจึงเป็นปัจจัยที่สำคัญนอกเหนือจากชนิดอุปกรณ์และมาตรฐานการติดตั้ง หรืออาจกล่าวได้ว่าระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ตรวจจับ จะเป็นตัวแปรที่สำคัญที่ทำให้อุปกรณ์ทำงานได้ภายในเวลาที่กำหนดหรือไม่ ทั้งนี้การออกแบบอย่างถูกต้องในลักษณะ Performance-based จะต้องกำหนดเวลาขั้นต่ำก่อนที่จะทำให้เกิดอันตรายต่อชีวิตคน โครงสร้างอาคารหรือทรัพย์สิน แล้วจึงนำเวลาไปคำนวณหาระยะห่างของอุปกรณ์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

5.1 โมเดลถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer Model)

จากหลักการสมดุลพลังงานที่นิยาม พลังงานรวม คือ พลังงานจากการนำ พลังงานจากการพา และพลังงานจากการแผ่รังสีรวมกัน สามารถเขียนเป็นสมการพื้นฐาน ได้ดังนี้

$$\dot{Q}_{total} = \dot{Q}_{cond} + \dot{Q}_{conv} + \dot{Q}_{rad} \tag{17}$$

ในการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนไปสู่อุปกรณ์ตรวจจับความร้อน (Heat Detector) ได้ตัดการถ่ายเทความร้อนแบบนำความร้อนและแบบการแผ่รังสีออก เพราะถือว่ามีค่าน้อยมากและเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ไปในทางที่เพิ่มความปลอดภัยมากยิ่งขึ้น ดั้งนั้นการถ่ายเทความร้อนจากไฟไปสู่อุปกรณ์ตรวจจับความร้อนสามารถเขียนสมการ ได้ดังนี้

$$\dot{Q}_{conv} = hA\left(T_g - T_d\right) \tag{18}$$

$$\dot{Q}_{total} = hA(T_g - T_d) \tag{19}$$

$\dot{Q}$: ค่าพิกัดการคายความร้อน, kW

h : สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนแบบการพาความร้อน $\frac{kW}{m^2 \cdot °C}$

A : พื้นที่ที่ถูกความร้อน, m^2

T_g : อุณหภูมิของแก๊สที่ถ่ายเทไปที่อุปกรณ์, $°C$

T_d : อุณหภูมิที่ตั้งไว้ให้อุปกรณ์ทำงาน, $°C$

ด้วยหลักการวิเคราะห์แบบ Lumped-mass ซึ่งถูกนำมาใช้เป็นจุดเริ่มต้นในการวิเคราะห์ ลักษณะของการถ่ายเทความร้อนจากอุณหภูมิของแก๊ส (T_g) จะไปสู่ชิ้นส่วนที่ไวต่อความร้อนที่อุปกรณ์ตรวจจับความร้อน ดังนั้นสมการอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ของชิ้นส่วนที่ไวต่อความร้อนคือ

$$\frac{dT_d}{dt} = \frac{\dot{Q}_{conv}}{mc} \tag{20}$$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

m : มวลของชิ้นส่วนที่ไวต่อความร้อน, kg

c_p : ความร้อนจำเพาะของชิ้นส่วนที่ไวต่อความร้อน $\frac{kJ}{kg°C}$

$$\frac{dT_d}{dt} = \frac{hA\left(T_g - T_d\right)}{mc_p} \tag{21}$$

$$\tau = \frac{mc_p}{hA} \tag{22}$$

ดังนั้น $$\frac{dT_d}{dt} = \frac{1}{\tau}\left(T_g - T_d\right) \tag{23}$$

$\tau =$ Time Constant ของชิ้นส่วนที่ไวต่อความร้อน (วินาที)

จากสมการที่ 23 จะเห็นว่าถ้ามวลของชิ้นส่วนที่ไวต่อความร้อนมากขึ้น จะทำให้ค่า τ มากขึ้น นั่นคือ อัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของชิ้นส่วนที่ไวต่อความร้อนจะช้าลง เนื่องจาก m, c_p และ A ของชิ้นส่วนไวต่อความร้อนจะมีค่าคงที่ แต่ค่า h จะแปรเปลี่ยน ตามรากที่สองของความเร็วของแก๊สหรือ ค่าเรโนลด์นัมเบอร์ (Re)

$$h \quad \alpha \quad \sqrt{u} \tag{24}$$

$$h \quad \alpha \quad \frac{1}{\tau} \tag{25}$$

ดังนั้น $$\frac{1}{\tau} \quad \alpha \quad \sqrt{u} \tag{26}$$

$$\tau\sqrt{u} = \text{constant} \tag{27}$$

$$\tau_0\sqrt{u_0} = \text{constant} = \text{RTI} \tag{28}$$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

หาค่า RTI (Response Time Index) ซึ่งเป็นค่าคงที่ของส่วนที่ไวต่อความร้อนนั้นๆ จะทำในห้องทดลอง โดยกำหนดให้ค่าความเร็วของแก๊สคงที่ (U_o เป็นค่ามาตรฐาน) และจับเวลาเพื่อหาค่า τ_0 เมื่อทราบค่า RTI แล้วก็สามารถหาค่าที่ความเร็วของแก๊สที่ผ่านอุปกรณ์ต่างๆ กันได้ ดังนั้น อัตราการ เปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของชิ้นส่วนที่ไวต่อความร้อน ภายในอุปกรณ์ตรวจจับความร้อน (Heat Detector) สามารถเขียนสมการใหม่ ได้ดังนี้

$$\frac{dT_d}{dt} = \frac{\sqrt{u}}{RTI}\left(T_g - T_d\right) \tag{29}$$

ผลเฉลยของสมการคือ

$$\frac{\Delta T_d}{\Delta T_g} = 1 - \exp\left(\frac{-t\sqrt{u}}{RTI}\right) \tag{30}$$

5.2 โมเดลของการคำนวณการตอบสนองของอุปกรณ์

การคำนวณการตอบสนองของอุปกรณ์ตรวจจับความร้อน หรือชิ้นส่วนไวต่อความร้อนนั้น จำเป็นต้องรู้ค่าทางฟิสิกส์ที่สำคัญ ได้แก่ ค่าอุณหภูมิของแก๊สในชั้นบน (Upper Gas Temperature) และค่าความเร็วของแก๊ส (Gas Velocity) ณ ตำแหน่งของอุปกรณ์ที่ติดตั้งอยู่ใต้เพดาน ในการนี้จะต้องใช้โมเดลของ Alpert (1972) การคำนวณค่าที่สำคัญดังกล่าว เรียกว่า Fire Models แบ่งออกได้เป็น 3 แบบ ได้แก่

5.2.1 แบบค่าพิกัดการคายความร้อนคงที่ (Heat Release Steady State Fire Model)

Alpert (1972) เป็นนักวิจัยที่ Factory Mutual ได้ทำการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าพิกัดการคายความร้อนกับอุณหภูมิและความเร็วของแก๊สที่ตำแหน่งต่างๆ โดยตั้งสมมติฐานว่า ค่าพิกัดคายความร้อนมีค่าคงที่ (Steady-State Fire) รวมทั้งเพดานในห้องทดลองเรียน โดยผลการทดลอง จึงได้สมการต่างๆ ที่มีความสัมพันธ์กัน ดังต่อไปนี้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

$$T_g - T_a = 5.38\frac{\left(\dot{Q}/r\right)^{2/3}}{H} \qquad R/H > 0.18 \tag{31}$$

$$T_g - T_a = \frac{16.9\dot{Q}^{2/3}}{H^{5/3}} \qquad R/H \le 0.18 \tag{32}$$

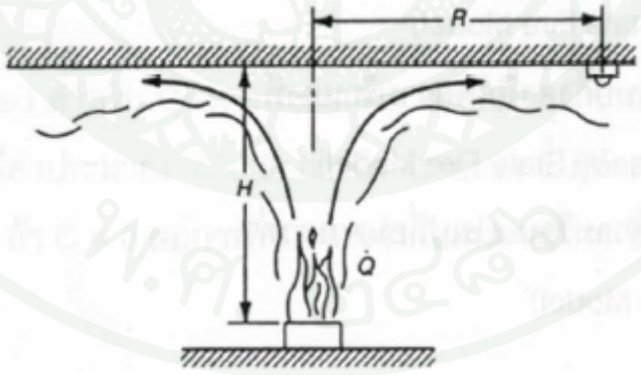
T_a : อุณหภูมิแวดล้อม $°C$

$\dot{Q}$: ค่าพิกัดการคายความร้อนรวม หรือ Total Heat Release Rate (kW)

r : ระยะทางจากกึ่งกลางของ Fire Plume ถึงตำแหน่งที่ต้องคำนวณ (m)

H : ความสูงเพดานเหนือกองเพลิง (m)

สมการที่ 31 เป็นสมการเพื่อหาค่าอุณหภูมิของแก๊สที่ตำแหน่งต่างๆ ที่ห่างออกไป จากกึ่งกลางของ Fire plume หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่าเป็นการคำนวณเพื่อหาค่าอุณหภูมิของแก๊สใน Ceiling Jet $\left(r/H > 0.18\right)$ ส่วนสมการที่ 32 จะไม่มีค่าตัวแปร r ปรากฏในสมการ ใช้เพื่อหาค่าอุณหภูมิของแก๊สภายใน Fire Plume $\left(r/H < 0.18\right)$ หรือระยะจากกึ่งกลางของ Fire Plume ถึงจุดเปลี่ยนหรือหักเลี้ยว (Turning Point)



ภาพที่ 14 แสดงความสัมพันธ์ของ r/H ในการเลือกใช้สูตรการคำนวณ

$$u = \frac{0.2\dot{Q}^{1/3}H^{1/2}}{r^{5/6}} \qquad r/H > 0.15 \tag{33}$$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

$$u = 0.95\left(\frac{\dot{Q}}{H}\right)^{1/3} \qquad r/H \le 0.15 \qquad (34)$$

สมการที่ 33 และ 34 ใช้เพื่อคำนวณความเร็วของแก๊สใน Ceiling jet และ Fire plume มีหน่วยเป็น m/s ตามลำดับ จากสมการทั้งสี่สมการ สามารถนำไปแทนค่าในสมการที่ 30 ซึ่งได้มาจาก โมเดลการถ่ายเทความร้อนสำหรับอุปกรณ์ตรวจจับความร้อน เพื่อคำนวณหาค่าอุณหภูมิและความเร็ว ที่อุปกรณ์ในระยะเวลาที่กำหนดหรือคำนวณหาเวลาในการตอบสนองของอุปกรณ์

5.2.2 แบบกึ่งค่าพิกัดการคายความร้อนคงที่ (Quasi State Fire Model)

โมเดลนี้ใช้สมการคำนวณแบบข้อ 5.2.1 โดยคำนวณเป็นชุดของค่าพิกัดการคายความร้อน $\dot{Q}$ ที่เปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลาที่กำหนดแล้วเฉลี่ยค่า $\dot{Q}$ การใช้โมเดลแบบนี้จะทำให้ได้ผลลัพธ์ที่ละเอียดขึ้นอีกระดับหนึ่ง และกำหนดค่าพิกัดการคายความร้อนในช่วงเวลาสั้นๆ ก็จะได้ผลลัพธ์ที่ละเอียดมากยิ่งขึ้น ตัวอย่างการเฉลี่ยค่า $\dot{Q}$ จะได้ข้อมูล ดังนี้

ตารางที่ 6 ค่าเฉลี่ย $\dot{Q}$ ที่เปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลาของแบบกึ่งค่าพิกัดการคายความร้อนคงที่

t (Sec)	Q (kW)
0-60	42
60-120	381
120-180	1058
180-240	2073
240-300	3426
300-360	5718

5.2.3 แบบค่าพิกัดความร้อนแปรเปลี่ยนตามเวลา (Power-Law Fire Model)

Heskestad and Delichatsios (1978) ซึ่งเป็นนักวิจัยที่ Factory Mutual เช่นกันได้ทำการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าพิกัดการคายความร้อนแบบแปรเปลี่ยนตามเวลา กับอุณหภูมิและความเร็วของแก๊สที่ตำแหน่งใดๆ ที่กำหนดขึ้น โมเดลนี้มีหลายรายละเอียดอยู่ในภาคผนวก NFPA 72 (1993) เพื่อใช้ในการคำนวณหาค่าอุณหภูมิและความเร็วที่อุปกรณ์ใน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ระยะเวลาที่กำหนด หรือคำนวณหาเวลาในการตอบสนองของอุปกรณ์ ซึ่งความสัมพันธ์นี้เขียนเป็นสมการ ได้ดังนี้

$$\dot{Q} = \alpha t^{p} \tag{35}$$

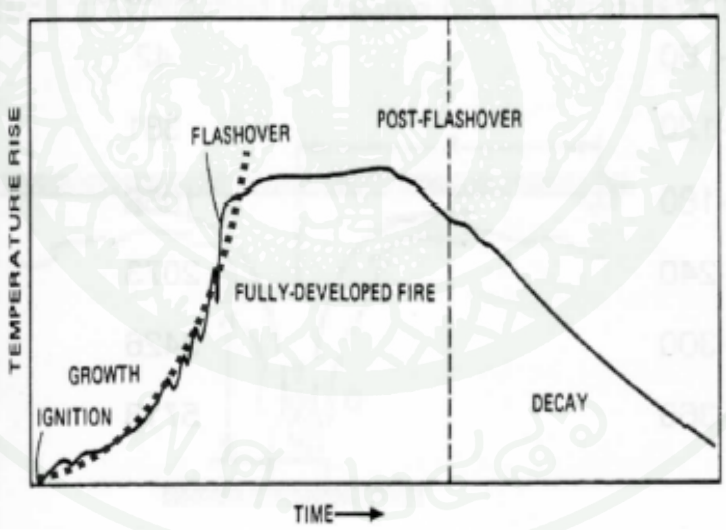
$\dot{Q}$: ค่าพิกัดการคายความร้อนรวมหรือ Total Release Rate, kW

α : ค่าคงที่ของการพัฒนาไฟของเชื้อเพลิงแต่ละประเภท, kW/sec^2

p : ค่ายกกำลัง กำหนดตามประเภทของเชื้อเพลิง

t : เวลา, Sec

ในงานวิจัยนี้จะกำหนดให้ p = 2 เพราะเชื้อเพลิง รวมทั้งการกระจายของเชื้อเพลิง ส่วนใหญ่ภายในอาคารจะมีการพัฒนาของไฟอยู่ในช่วง p = 2 มีอาคารบางประเภทเท่านั้น เช่น คลังเก็บสินค้าที่เก็บสินค้าแบบเรียงซ้อนกันหลายระดับ เช่น เชื้อเพลิงประเภทยาง เป็นต้น ค่า p อาจมีค่าเท่ากับ 6 หรือ 9 ก็ได้ ดังนั้นการใช้โมเดลนี้จะต้องเข้าใจที่มาของสมการด้วย



ภาพที่ 15 แสดงอุณหภูมิเพิ่มขึ้นในช่วงระยะแรกของการลุกไหม้เป็น สัดส่วนกับกำลังสองของเวลาที่ผ่านไปสำหรับเชื้อเพลิในอาคารทั่วไป

$$\alpha = \frac{1055}{t_g^2} \tag{36}$$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

t_g (Fire Growth Time) คือ เวลาที่เชื้อเพลิงนั้นๆ ลุกไหม้จนค่า $\dot{Q}$ ถึง 1055 kW ผลการทดลองทำให้ได้สมการต่างๆ ที่มีความสัมพันธ์กันในรูปแบบที่ไม่มีมิติ หรือไม่มีหน่วย ดังนี้

$$u^* = \frac{u}{A^{1/5}\alpha^{1/5}H^{1/5}} \quad \text{(ความเร็วของแก๊ส)} \tag{37}$$

$$A = \frac{g}{C_p T_a \rho_o} \quad \text{(คุณสมบัติของอากาศที่ร่วมเข้ามา)} \tag{38}$$

$$\Delta T^* = \frac{\Delta T}{A^{2/5}\left(T_a/g\right)\alpha^{2/5}H^{-3/5}} \quad \text{(อุณหภูมิของแก๊ส)} \tag{39}$$

$$t^* = \frac{t}{A^{-1/5}\alpha^{-1/5}H^{4/5}} \quad \text{(เวลา)} \tag{40}$$

$$t_f^* = 0.861\left(1 + r/H\right) \text{ (เวลาที่แก๊สเดินทางถึงอุปกรณ์)} \tag{41}$$

กรณีที่ $t^* \le t_f^*$: $\Delta T^* = 0$ (42)

กรณีที่ $t^* > t_f^*$: $\Delta T^* = \left[\frac{t^* - t_f^*}{D}\right]^{4/3}$ (43)

ดังนั้น $D = 0.146 + 0.242(r/H)$ (44)

$$\frac{u^*}{\Delta T^{*1/2}} = 0.59(r/H)^{-0.63} \tag{45}$$

โมเดลการถ่ายเทความร้อน สามารถคำนวณหาอุณหภูมิที่แปรเปลี่ยนตามเวลาสำหรับอุปกรณ์ตรวจจับความร้อน ดังนี้

$$\frac{dT_d}{dt} = \frac{u^{1/2}}{RTI}\left(T_g - T_d\right) \tag{46}$$

$$\frac{dT_d\left(t\right)}{dt_d} = \frac{4}{3}\frac{\Delta T}{\Delta T^*}\Delta T^{*1/4}\frac{\left(1 - e^{-Y}\right)}{\left(1/T^*\right)D} \tag{47}$$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

$$T_d(t) - T_d(0) = \frac{\Delta T}{\Delta T^*} \Delta T^* \left[1 - \frac{\left(1 - e^{-Y}\right)}{Y} \right] \tag{48}$$

$$Y = \frac{3}{4} \left(\sqrt{\frac{u}{u^*}} \right) \left(\sqrt{\frac{u^*}{\Delta T^{*1/2}}} \right) \left(\frac{\Delta T^*}{RTI} \frac{t}{t^*} D \right) \tag{49}$$

สมการที่ 35 ถึง 49 ทำให้เราสามารถคำนวณหาค่าอุณหภูมิที่อุปกรณ์ตรวจจับความร้อนได้ ณ ขณะใดขณะหนึ่ง หรือคำนวณหาค่าเวลาที่อุปกรณ์ตรวจจับความร้อนที่กำหนดนั้นทำงาน

5.2.4 ข้อจำกัดของโมเดล

ข้อจำกัดดังต่อไปนี้มีความสำคัญมาก ทั้งนี้เพื่อให้ผู้ใช้โมเดลมีความเข้าใจและนำไปใช้อย่างถูกต้อง บนสมมติฐานที่กำหนดไว้จากการทดลอง แล้วหาความสัมพันธ์ขึ้นมาจนเป็นสมการต่างๆ ที่กล่าวมาข้างต้น

5.2.4.1 ผลจาก Boundary เมื่อเพิ่มระยะทางให้ห่างออกไป ทั้งอุณหภูมิและความเร็วของแก๊สก็จะลดลงเข้าหาค่าแวดล้อมค่าอุณหภูมิและความเร็วของแก๊ส จะมีค่าสูงสุดที่ระยะต่ำจากเพดานลงมา 1% ของความสูงของเพดาน

5.2.4.2 โมเดลของ Alpert แบบค่าพิกัดการคายความร้อนแบบคงที่ ไม่นำเวลาการเดินทางของแก๊สไปที่อุปกรณ์มาคำนวณด้วย ใช้ค่าพิกัดการคายความร้อนที่ไม่แปรเปลี่ยนตามเวลา

5.2.4.3 โมเดลของ Alpert แบบกึ่งค่าพิกัดการคายความร้อนแบบคงที่ ไม่นำเวลาการเดินทางของแก๊สไปที่อุปกรณ์มาคำนวณด้วย สมมติโดยการเฉลี่ยค่าพิกัดความร้อนในช่วงเวลาที่กำหนดสั้นๆ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

5.2.4.4 โมเดลแบบค่าพิกัดการคายความร้อนแปรเปลี่ยนเวลา เพลิงลูกไหม้จริงจะเวลาอยู่อีกช่วงหนึ่งก่อนที่จะเริ่มพัฒนาเชื้อเพลิงในช่วงต้นมีการพัฒนาตามหลักการ Power Law แต่อาจเปลี่ยนเมื่อเชื้อเพลิงกำลังจะหมดไป

5.2.4.5 โมเดลทั้งหมด ไม่ได้นำผลจากผนัง คาน มาพิจารณาโดยถือว่าเป็นเพดานเรียบและไม่มีที่สิ้นสุด

จากงานวิจัยเพื่อพัฒนาโมเดลการวิเคราะห์ต่างๆ ดังที่กล่าวมาข้างต้นทำให้คำนวณหาเวลา ที่อุปกรณ์ตรวจจับความร้อนและหัวกระจายน้ำดับเพลิงอัตโนมัติจะตอบสนอง (Response) ได้จากเชื้อเพลิงประเภทต่างๆ โดยโมเดลแบบค่าพิกัดการคายความร้อนคงที่เหมาะกับการใช้คำนวณการประมาณขั้นต้น รวมทั้งใช้กับเชื้อเพลิง เช่น ของเหลวไวไฟที่มีค่า $\dot{Q}$ ค่อนข้างคงที่ ส่วนโมเดลที่ใช้กับ $\dot{Q}$ ที่แปรเปลี่ยนตามเวลาจะทำให้ได้ผลลัพธ์ที่แม่นยำ ซึ่งจะต้องใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณความเข้าใจเรื่องโมเดลของเพลิงไหม้ (Fire Models) และโมเดลการตอบสนองของอุปกรณ์ตรวจจับความร้อนและหัวกระจายน้ำ ดับเพลิงอัตโนมัติ (Heat Detector & Sprinkler Response Model) จะช่วยให้วิศวกรนำวิธีการเหล่านี้ไปประยุกต์ใช้การออกแบบงานตามวิธี Performance-based แทนการใช้ Prescriptive-based สำหรับงานที่มีลักษณะพิเศษที่ไม่เหมาะสมที่อาจทำให้ต้นทุนในการลงทุนการป้องกันสูงเกินความจำเป็น

6. การจำลองพฤติกรรมของเพลิงไหม้ด้วยแบบจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ Fire Dynamics Simulator (FDS)

ปัจจุบันการใช้แบบจำลองเพลิงไหม้พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (CFD fire modeling) ในการประเมินสภาวะภายในห้องขณะเกิดเพลิงไหม้ เพื่อใช้ในการออกแบบระบบป้องกันอัคคีภัยและระบบควบคุมควันไฟภายในอาคารให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ได้ใช้กันอย่างกว้างขวางและเป็นที่ยอมรับมากยิ่งขึ้น ตัวอย่างโปรแกรมพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณที่มีความสามารถหลายอย่าง รวมถึงความสามารถในการคำนวณเกี่ยวกับพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของควัน อันเนื่องมากจากเพลิงไหม้ เช่น Fluent, Fire Dynamics Simulator (FDS) เป็นต้น ในบรรดาโปรแกรมที่กล่าวมาข้างต้นนี้ FDS เป็นโปรแกรมที่ได้รับการพัฒนาขึ้นมาอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะสำหรับวิเคราะห์ปัญหาด้านอัคคีภัย ซึ่งปัจจุบันเป็นโปรแกรมรุ่นที่ 5 โดย National Institute of Standards and Technology (NIST) ประเทศสหรัฐอเมริกา

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

แบบจำลองพลศาสตร์อัคคีภัย FDS จำลองพฤติกรรมการไหลของควันใต้เพดานโดยการแก้ระบบสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยซึ่งประกอบด้วย

สมการอนุรักษ์มวล (conservation of mass)

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot \rho \bar{u} = 0 \tag{50}$$

สมการอนุรักษ์มวลย่อย (conservation of species)

$$\frac{\partial (\rho Y_l)}{\partial t} + \nabla \cdot \rho Y_l \bar{u} = \nabla \cdot \rho D_l Y_l + \dot{m}_l''' \tag{51}$$

สมการอนุรักษ์โมเมนตัม (conservation of momentum)

$$\rho \left(\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} + (\bar{u} \cdot \nabla) \bar{u} \right) + \nabla p = \rho \bar{g} + \bar{f} + \nabla \tau \tag{52}$$

สมการอนุรักษ์โมเมนตัม (conservation of momentum)

$$\frac{\partial (\rho h)}{\partial t} + \nabla \cdot \rho h \bar{u} = \frac{Dp}{Dt} - \nabla \cdot \bar{q}_r + \nabla \cdot k \nabla T + \sum_l \nabla \cdot h_l \rho D_l \nabla Y_l \tag{53}$$

โดย ρ คือ ความหนาแน่น $\bar{u}$ คือ เวกเตอร์ความเร็ว Y_l คือ เศษส่วนโดยมวลของมวลย่อยที่ l $\dot{m}''' l$ คือ อัตราการทำปฏิกิริยาต่อปริมาตรของมวลย่อยที่ l D_l คือ สัมประสิทธิ์การแพร่ของมวลย่อยที่ l p คือ ความดัน $\bar{f}$ คือ แรงภายนอกที่กระทำต่อของไหล τ คือ viscous stress tensor h คือ เอนทัลปี $\bar{q}_r$ คือ ฟลักซ์การแผ่รังสีความร้อน k คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อน และ T คือ อุณหภูมิ

โปรแกรม FDS ใช้แบบจำลอง Large Eddy Simulation (LES) ของ Smagorinsky (1963) การจำลองพฤติกรรมการไหลแบบปั่นป่วนโดยเทอม viscous stress tensor τ เขียนในรูป

$$\tau = \mu_{LES} \left(\text{def } \bar{u} - \frac{2}{3} (\nabla \cdot \bar{u}) \text{I} \right) \tag{54}$$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

โดย $$\mu_{LES} = \rho(Cs\Delta)^2\left(2(\text{def}\,\bar{u})\cdot(\text{def}\,\bar{u}) - \frac{2}{3}(\nabla\cdot\bar{u})^2\right)^{1/2} \quad (55)$$

เมื่อ $$\text{def}\,\bar{u} = \frac{1}{2}\left(\nabla\cdot\bar{u} + (\nabla\cdot\bar{u})^t\right) \quad (56)$$

ซึ่ง $\text{def}\,\bar{u}$ คือ อัตราการเปลี่ยนรูปของ stress tensor (stress tensor deformation), I คือ เมตริกเอกลักษณ์ μ_{LES} คือ ความหนืดของ LES Cs คือค่าคงที่ของ Smagorinsky

โปรแกรม FDS ใช้แบบจำลอง mixture fraction ในการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงกับอากาศ โดยอาศัยสมมุติฐานที่ว่า อัตราการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงกับออกซิเจนถูกควบคุมโดยอัตราของการที่เชื้อเพลิงกับออกซิเจนเข้าผสมกัน (mixing controlled combustion) และทันทีที่เชื้อเพลิงกับออกซิเจนผสมกันเชื้อเพลิงจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนอย่างรวดเร็ว (infinitely fast chemical reaction) ได้เป็นแก๊สผลิตภัณฑ์การเผาไหม้ที่เกิดจากการเผาไหม้โดยสมบูรณ์ (stoichiometric combustion) ตัวแปร mixture fraction เขียนได้ตามการเสนอของ Mell *et.al.,* (1996) ดังนี้

$$\nu_F \text{Fuel} + \nu_0 O_2 \rightarrow \sum_i \nu_{p,i} \text{Products}$$

$$Z = \frac{sY_F - \left(Y_O - Y_O^\infty\right)}{sY_F^I + Y_O^\infty} \quad (57)$$

$$s = \frac{\nu_0 M_0}{\nu_F M_F} \quad (58)$$

โดย Z คือ mixture fraction Y_F คือเศษส่วนโดยมวลของเชื้อเพลิง Y_F^I คือ เศษส่วนโดยมวลของเพลิงเชื้อเพลิงจากแหล่งกำเนิด Y_O คือ เศษส่วนโดยมวลของออกซิเจน Y_O^∞ คือ เศษส่วนโดยมวลของออกซิเจนในอากาศและ s คือ อัตราส่วนโดยมวลของออกซิเจนต่อเชื้อเพลิงที่ทำปฏิกิริยาโดยสมบรูณ์ (stoichiometric oxygen to fuel mass ratio)

ตัวแปร mixture fraction เป็นปริมาณสเกลาร์ เขียนในเทอมของสมการการเคลื่อนที่ของปริมาณสเกลาร์ (scalar transport equation) ได้โดยอาศัยสมการที่ 51 และ 57 ซึ่ง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

$$\rho\left(\frac{\partial Z}{\partial t}+\bar{u}\cdot\nabla Z\right)=\nabla\cdot\rho D\nabla Z \tag{59}$$

สมการอนุรักษ์ของปริมาณต่างๆ (สมการที่ 50 ถึง 59) สามารถหาผลเฉลยได้โดยอาศัยระเบียบวิธีเชิงตัวเลข

โปรแกรม FDS ใช้หลักการที่เหมือนกับแบบจำลอง CFD คือ แบ่งห้องหรืออาคารออกเป็นส่วนเล็กๆ ในลักษณะที่เรียกว่า Computational Cell เพื่อใช้คำนวณความหนาแน่น, ความเร็ว, อุณหภูมิ, ความดัน และความเข้มข้นของแก๊สในแต่ละช่อง โดยใช้กฎการอนุรักษ์มวลและพลังงาน FDS จะใช้คุณสมบัติของวัสดุต่างๆ เช่น ผนังห้อง พื้นห้อง และเพดาน ในการจำลองเหตุการณ์การเกิดเพลิงไหม้ ความสามารถในการแสดงผลของแบบจำลองนี้ขึ้นอยู่กับการออกแบบจำนวน cell ลักษณะเดียวกับคุณภาพของภาพดิจิตอลขึ้นอยู่กับจำนวนพิกเซล (Pixel) ดังนั้นผู้ใช้งานต้องตัดสินใจว่าต้องการผลลัพธ์ที่มีความละเอียดมากน้อยเพียงใด โดยเวลาที่ใช้ในการทอลองจะเร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับจำนวน Cell และ ระยะเวลาของการคำนวณแบบจำลองเพลิงไหม้

ในงานวิจัยนี้ ใช้โปรแกรม Pyrosim 2010 (Thunderhead Engineering, 2010) มาสร้างรูปร่างของแบบจำลองเพลิงไหม้ สำหรับทำการคำนวณแบบจำลองเพลิงไหม้ เพื่อหาผลลัพธ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นด้วยโปรแกรม FDS และใช้โปรแกรม Smoke View (NFPA 204, 2002) เข้ามาในการแสดงผลของผลลัพธ์นั้น Smoke View สามารถแสดงผลจากแบบจำลอง FDS ได้ทั้งในลักษณะ 2 มิติ และ 3 มิติ โดย Smoke View จะแสดงผลของข้อมูลแบบ ค่าของข้อมูล ณ เวลาใดเวลาหนึ่ง โดยข้อมูลประเภทเดียวกัน นอกจากนั้นยังสามารถแสดงผลในรูปแบบอื่นๆ ได้ด้วย โดยแต่ละเทคนิคจะถูกเลือกใช้ตามวัตถุประสงค์หรือลักษณะปัญหาที่แตกต่างกัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปี ค. ศ. 2003 Vettori (2003) ได้ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ อาคาร 205 ของ National Institute of Standard and Technology (NIST) ประเทศสหรัฐอเมริกา เพื่อศึกษาผลกระทบของเพดานที่มีโครงสร้างของคาน, เพดานเอียง และเพดานเอียงที่มีโครงสร้างของคาน ต่อระยะเวลาการตอบสนองของหัวสปริงเกอร์ (Effect of Beamed ,Sloped and Sloped Beamed Ceilings on the Activation Time of a Residential Sprinkler) โดยได้เผาไหม้กองเพลิงในห้องปฏิบัติการที่มีขนาด 7.3 m x 5.5 m มีผนังกำแพงและเพดานเป็นโครงไม้ปกคลุมด้วยแผ่นยิปซัม 12.7 mm พื้นเป็นแผ่นไม้อัดหนา 12.7 mm มีความสูงของเพดานเริ่มต้นที่ 2.4 m. และมีช่องเปิดเป็นประตูทางเข้าทางด้านของห้องขนาด 1 m. x 2.1 m โดยจะติดตั้งหัวสปริงเกอร์บนเพดาน 4 หัว ที่มีระยะห่างระหว่างหัวสปริงเกอร์เป็นไปตามมาตรฐานNational Fire Protection Association (NFPA) 13D (NFPA 72, 1993)

การทดลองนี้จะเปลี่ยนรูปทรงของเพดานให้แตกต่างกัน 6 แบบ ดังนี้ เพดานพื้นแนวระดับ, เพดานพื้นแนวระดับที่มีคาน, เพดานพื้นเอียงความชัน 13^{o} , เพดานพื้นเอียงความชัน 13^{o} ที่มีคาน, เพดานพื้นเอียงความชัน 24^{o} และ เพดานพื้นเอียงความชัน 24^{o} ที่มีคาน สำโดยกรณีที่เพดานมีคานจะกำหนดให้มีคาน 2 คานที่มีขนาดหน้าตัด 0.2 m x 0.25 m ระยะห่าง 2.3 m เท่ากันตลอดช่วงของคานที่วิ่งจากหน้าห้องไปถึงหลังห้อง

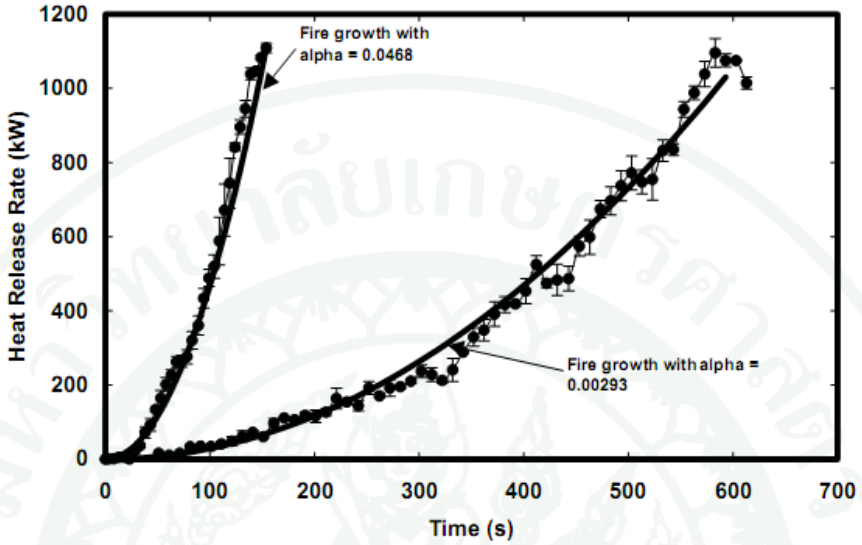
การทดลองจะติดตั้งหัวสปริงเกอร์ทั้งหมด 4 หัว ที่มีค่าActivation Temperature 68 ± 2.4 Co และมีค่า Response Time Index (RTI) 56 (m-s)1/2 โดยจะรักษาระยะห่างของการติดตั้งในแนวระดับให้คงที่ในทุกๆกรณีของการทดลอง จะมีแต่ความสูงในแนวดิ่งเท่านั้นที่มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น เมื่อเพดานมีความชันขึ้นเป็น 13^{o} และ 24^{o}

กองเพลิงที่ใช้ในการทดลอง จะเป็นกองเพลิงสี่เหลี่ยมขนาด 0.7 m x 1 m และสูง 0.3 m มีอัตราส่วนของก๊าซมีเทน 95% ที่ใช้เป็นเชื้อเพลิง อัตราการปล่อยพลังงานของเชื้อเพลิงเป็นทวีคูณกับเวลากำลังสอง (t-square fire) ตามสมการ $\dot{Q} = \alpha t^2$

ถ้าให้ t_{1055} เป็นระยะเวลาที่วัตถุเริ่มติดไฟจนสามารถปล่อยพลังงานความร้อนได้ 1055 kW $\alpha = 1055 / t_{1055}^2$ จะเป็นดัชนีบอกถึงอัตราการลุกลามไฟของเชื้อเพลิงโดย $\alpha = 0.0468 kW / s^2$ จะ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เป็นดัชนีบอกถึงอัตราการลุกลามไฟอย่างเร็ว และ $\alpha = 0.00293 kW/s^2$ จะเป็นดัชนีบอกถึงอัตราการลุกลามไฟอย่างช้า



ภาพที่ 16 การปรับเทียบข้อมูลสำหรับอัตราการปล่อยพลังงานความร้อนของกองเพลิงสี่เหลี่ยม

ที่มา: NFPA 92B (2000)

เมื่อวางตำแหน่งของกองเพลิงในห้องปฏิบัติการที่ตำแหน่งกลางห้อง (Detached Burner) จากการทดลองจะได้เวลาตอบสนองของหัวสปริงเกอร์ที่เริ่มทำงาน ดังตารางที่ 7 -11

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 7 เวลาตอบสนองของหัวสปริงเกอร์สำหรับเพดานพื้นเรียบแนวระดับและเพดานแนวระดับที่มีคาน

ตำแหน่งกองเพลิง	ดัชนีการลามไฟ	ค่าเวลาตอบสนองของสปริงเกอร์ที่วัดได้จากการทดลองและตำแหน่งแรกที่สปริงเกอร์เริ่มทำงาน	
		เพดานพื้นเรียบแนวระดับ	เพดานแนวระดับที่มีคาน
กลางห้อง	เร็ว	70s สปริงเกอร์ 2	76s สปริงเกอร์ 1+3
		60s สปริงเกอร์ 1	79s สปริงเกอร์ 3+4
		ค่าเฉลี่ย 65s	ค่าเฉลี่ย 78s +20%
กลางห้อง	ช้า	206s สปริงเกอร์ 1	215s สปริงเกอร์ 4
		211s สปริงเกอร์ 2	221s สปริงเกอร์ 4
		ค่าเฉลี่ย 209s	ค่าเฉลี่ย 218s +4%

ที่มา: Vettori (2003)

ตารางที่ 8 เวลาตอบสนองของหัวสปริงเกอร์สำหรับเพดานพื้นเรียบเอียงความชัน 13^{o} และเพดานพื้นเอียงความชัน 13^{o} ที่มีคาน

ตำแหน่งกองเพลิง	ดัชนีการลามไฟ	ค่าเวลาตอบสนองของสปริงเกอร์ที่วัดได้จากการทดลองและตำแหน่งแรกที่สปริงเกอร์เริ่มทำงาน	
		เพดานพื้นเรียบเอียงความชัน 13^{o}	เพดานพื้นเอียงความชัน 13^{o}ที่มีคาน
กลางห้อง	เร็ว	71 s สปริงเกอร์ 1	63 s สปริงเกอร์ 2
		55 s สปริงเกอร์ 1	71 s สปริงเกอร์ 1
		ค่าเฉลี่ย 63 s	ค่าเฉลี่ย 67 s +6%
กลางห้อง	ช้า	181 s สปริงเกอร์ 1	216 s สปริงเกอร์ 2
		188 s สปริงเกอร์ 4	222 s สปริงเกอร์ 2
		ค่าเฉลี่ย 185 s	ค่าเฉลี่ย 219 s +18%

ที่มา: Vettori (2003)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 9 เวลาตอบสนองของหัวสปริงเกอร์สำเหรับเพดานพื้นเรียบเอียงความชัน 24° และเพดานเอียงความชัน 24° ที่มีคาน

ตำแหน่งกองเพลิง	ดัชนีการลามไฟ	ค่าเวลาตอบสนองของสปริงเกอร์ที่วัดได้จากการทดลองและตำแหน่งแรกที่สปริงเกอร์เริ่มทำงาน	
		เพดานพื้นเรียบเอียงความชัน 24°	เพดานพื้นเอียงความชัน 24°ที่มีคาน
กลางห้อง	เร็ว	64 s สปริงเกอร์ 1+2	85 s สปริงเกอร์ 1
		71 s สปริงเกอร์ 1+2	80 s สปริงเกอร์ 1
		ค่าเฉลี่ย 68 s	ค่าเฉลี่ย 83 s +22%
กลางห้อง	ช้า	188 s สปริงเกอร์ 1	228 s สปริงเกอร์ 2
		184 s สปริงเกอร์ 2	231 s สปริงเกอร์ 1
		ค่าเฉลี่ย 186 s	ค่าเฉลี่ย 230 s +24%

ที่มา: Vettori (2003)

ตารางที่ 10 เวลาตอบสนองของหัวสปริงเกอร์สำเหรับเพดานพื้นเรียบแนวระดับ, เพดานพื้นเรียบเอียงความชัน 13° และเพดานพื้นเรียบเอียงความชัน 24°

ตำแหน่งกองเพลิง	ดัชนีการลามไฟ	ค่าเวลาตอบสนองของสปริงเกอร์ที่วัดได้จากการทดลองและตำแหน่งแรกที่สปริงเกอร์เริ่มทำงาน		
		เพดานพื้นเรียบแนวระดับ	เพดานพื้นเรียบเอียงความชัน 13 °	เพดานพื้นเรียบเอียงความชัน 24 °
กลางห้อง	เร็ว	70 s สปริงเกอร์ 2	71 s สปริงเกอร์ 1	64 s สปริงเกอร์ 1+2
		60 s สปริงเกอร์ 1	55 s สปริงเกอร์ 1	71 s สปริงเกอร์ 1+2
		ค่าเฉลี่ย 65 s	ค่าเฉลี่ย 63s -3%	ค่าเฉลี่ย 68 s +5%
กลางห้อง	ช้า	206 s สปริงเกอร์ 1	181 s สปริงเกอร์ 1	188 s สปริงเกอร์ 1
		211 s สปริงเกอร์ 2	188 s สปริงเกอร์ 4	184 s สปริงเกอร์ 2
		ค่าเฉลี่ย 209 s	ค่าเฉลี่ย 185 s -11%	ค่าเฉลี่ย 186 s -11%

ที่มา: Vettori (2003)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 11 เวลาตอบสนองของหัวสปริงเกอร์สำหรับเพดานแนวระดับที่มีคาน, เพดานเอียงความชัน 13° ที่มีคานและเพดานเอียงความชัน 24° ที่มีคาน

ตำแหน่งกองเพลิง	ดัชนีการลามไฟ	ค่าเวลาตอบสนองของสปริงเกอร์ที่วัดได้จากการทดลองและตำแหน่งแรกที่สปริงเกอร์เริ่มทำงาน		
		เพดานแนวระดับที่มีคาน	เพดานพื้นเอียงความชัน 13 ° ที่มีคาน	เพดานพื้นเอียงความชัน 24 ° ที่มีคาน
กลางห้อง	เร็ว	76 s สปริงเกอร์ 1+3	63 s สปริงเกอร์ 2	85 s สปริงเกอร์ 1
		79 s สปริงเกอร์ 3+4	71 s สปริงเกอร์ 1	80 s สปริงเกอร์ 1
		ค่าเฉลี่ย 78 s	ค่าเฉลี่ย 67 s -14%	ค่าเฉลี่ย 83 s +6%
กลางห้อง	ช้า	215 s สปริงเกอร์ 4	216 s สปริงเกอร์ 2	228 s สปริงเกอร์ 2
		221 s สปริงเกอร์ 4	222 s สปริงเกอร์ 2	231 s สปริงเกอร์ 1
		ค่าเฉลี่ย 218 s	ค่าเฉลี่ย 219 s 0%	ค่าเฉลี่ย 230 s +6%

ที่มา: Vettori (2003)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. คอมพิวเตอร์แบบ Intel ® Core™ i5-2400 CPU @ 3.10 GHz / 500 GB HDD / 4.0 GB Memory

2. โปรแกรมจำลองพลศาสตร์อัคคีภัย (Fire Dynamic Simulator, FDS) รุ่นที่5 (McGrattan *et.al*., 2007) พร้อมโปรแกรม Smokeview (Forney, 2007) จากสถาบัน National Institute of Standard and Technology (NIST)

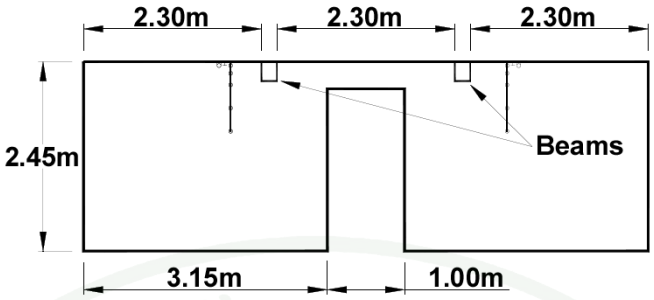
3. โปรแกรม PyroSim 2010 (Thunderhead Engineering, 2010)

วิธีการ

1. สร้างแบบจำลองของห้องโดยใช้โปรแกรม pyrosim 2010 ให้เหมือนกับงานวิจัยของ Vettori (2003) ที่ศึกษาผลกระทบของเพดานที่มีโครงสร้างของคาน, เพดานเอียง และเพดานเอียงที่มีคานต่อเวลาตอบสนองของหัวสปริงเกอร์ในห้องปฏิบัติการของ NIST ดังนี้ ห้องขนาด 7.3 m x 5.5 m ผนัง, กำแพง และเพดานเป็นแผ่นยิปซัมหนา 12.7 mm และพื้นเป็นแผ่นไม้อัดหนา 12.7 mm มีความสูงของเพดานเริ่มต้นที่ 2.4 m มีช่องเปิดเป็นประตูทางเข้าของห้องขนาด 1 m. x 2.1 m

แบบจำลองจะมีรูปทรงของเพดานที่แตกต่างกัน 6 รูปแบบ คือ เพดานพื้นระดับ, เพดานพื้นแนวระดับที่มีคาน, เพดานพื้นเอียงความชัน 13^{o}, เพดานพื้นเอียงความชัน 13^{o} ที่มีคาน, เพดานพื้นเอียงความชัน 24^{o} และเพดานพื้นเอียงความชัน 24^{o} ที่มีคาน โดยกรณีที่เพดานมีคาน จะกำหนดให้มีคาน 2 คานที่มีขนาดหน้าตัด 0.2 m x 0.25 m ระยะห่าง 2.3 m เท่ากันตลอดช่วงของคานที่วิ่งจากหน้าห้องไปถึงหลังห้องดังภาพที่ 17

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



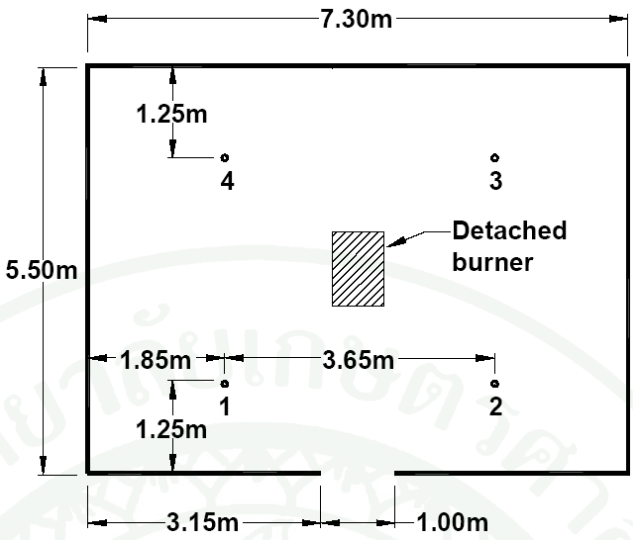
ภาพที่ 17 แสดงตำแหน่งที่อยู่ของคานที่วางในแบบจำลอง

2. ผู้วิจัยขอเสนองานวิจัยที่จะจำลองเพลิงไหม้ภายในห้อง เพื่อศึกษาพฤติกรรมของเพลิงไหม้แสดงการกระจายควันไฟใต้เพดาน และประมาณค่าเวลาตอบสนองของอุปกรณ์ตรวจจับความร้อนที่อาจเกิดขึ้นจาก เหตุการณ์เพลิงไหม้สมมุติเลวร้ายที่สุด (worst case scenario) ซึ่งในงานวิจัยนี้ก็คือ กรณีที่อุปกรณ์ตรวจจับความร้อน เริ่มทำงานที่เวลาตอบสนองเร็วที่สุด และเมื่อดูจากตารางที่ 7-11 พบว่าในการทดลองจริง เมื่อค่าดัชนีอัตราการลุกลามไฟอย่างเร็ว (α เท่ากับ 0.0468 kW/s^2) เปลี่ยนเป็นค่าดัชนีอัตราการลุกลามไฟเป็นอย่างช้า (α เท่ากับ 0.00293 kW/s^2) แล้วแนวโน้มของเวลาตอบสนองของอุปกรณ์จะช้าขึ้นในทุกๆ กรณีของการทดลอง ดังนั้นในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจึงกำหนดให้ใช้ค่าดัชนีอัตราการลุกลามไฟอย่างเร็วเท่านั้นในแบบจำลอง

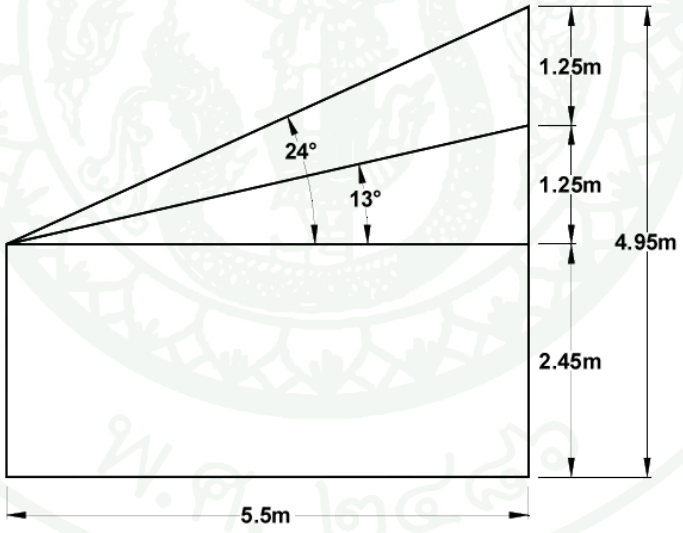
โดยแบบจำลองจะสร้างกองเพลิงเป็นสี่เหลี่ยมขนาด 0.7 m x 1 m และ สูง 0.3 m และตำแหน่งกองเพลิงวางไว้ที่กลางห้อง (Detached Burner) เท่านั้น มีก๊าซมีเทนเป็นเชื้อเพลิง และมีอัตราการปล่อยพลังงานความร้อนเป็น 1055 kW ดังภาพที่ 18

3. แบบจำลองจะติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับความร้อนทั้งหมด 4 หัว โดยมีระยะห่างในแนวระดับของแต่ละหัว ดังภาพที่ 18 และเมื่อเพดานมีรูปทรงลาดเอียงเป็นความชัน 13^{o} และ 24^{o} ดังภาพที่ 19 เมื่อความสูงระหว่างพื้นกับเพดานส่วนที่อยู่ด้านหน้าเพิ่มขึ้น ซึ่งทำให้ระยะต่างๆ ของอุปกรณ์ตรวจจับความร้อนก็จะเปลี่ยนไปด้วย การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับความร้อนจะปรับตำแหน่งของอุปกรณ์ตรวจจับความร้อน โดยรักษาตำแหน่งแนวระดับให้อยู่คงที่ มีแต่ความสูงในแนวดิ่งเท่านั้นที่มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

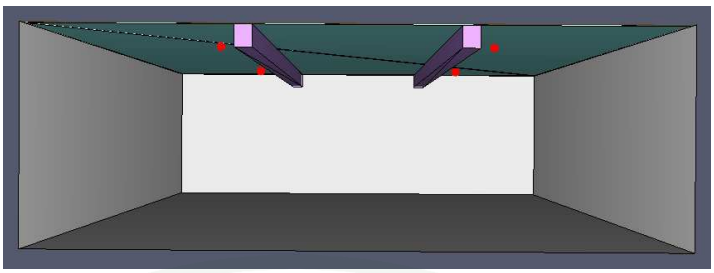


ภาพที่ 18 แสดงตำแหน่งการวางของกองเพลิงในแบบจำลองและระยะห่างของอุปกรณ์ตรวจจับความร้อนในแนวระดับ

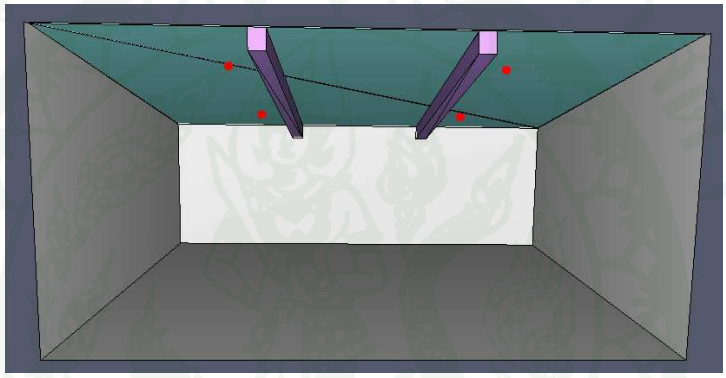


ภาพที่ 19 แสดงเพดานมีรูปทรงลาดเอียงเป็นความชัน 13^{o} และ 24^{o}

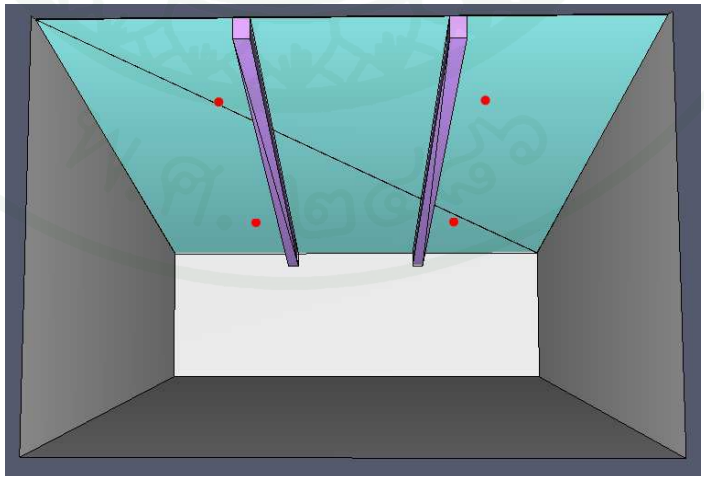
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 20 ตัวอย่างแบบจำลองแสดงตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับความร้อนบนเพดานพื้นแนวระดับที่มีคาน



ภาพที่ 21 ตัวอย่างแบบจำลองแสดงตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับความร้อนบนเพดานพื้นเอียงความชัน 13^{o} ที่มีคาน



ภาพที่ 22 ตัวอย่างแบบจำลองแสดงตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับความร้อนบนเพดานพื้นเอียงความชัน 24^{o} ที่มีคาน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4. แบบจำลองจะกำหนดขนาดของเซลที่ใช้ในแนวแกน X, Y และ Z เพื่อใช้ในการคำนวณแบบจำลองเพลิงไหม้พลศาสตร์ตามรูปทรงของเพดาน ดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 แสดงจำนวนของเซลที่ใช้ตามรูปทรงเพดานในแบบจำลอง

รูปทรงของเพดาน	ขนาดของเซลในแนวแกนx (m)	ขนาดของเซลในแนวแกนy (m)	ขนาดของเซลในแนวแกนz (m)	จำนวนของเซล (npx,npy,npz)
แนวระดับ	.05	.05	.05	960,000
พื้นเอียงความชัน 13^{o}	.05	.05	.05	1,210,048
พื้นเอียงความชัน 24^{o}	.05	.04	.04	2,197,650

5. กำหนดพารามิเตอร์ที่ใช้ ในการสร้างแบบจำลอง ด้วยโปรแกรม pyrosim 2010 ดังนี้

5.1 คุณสมบัติของวัสดุ

ตารางที่ 13 คุณสมบัติของวัสดุ

โครงสร้างของห้อง	วัสดุ	ค่าความร้อนจำเพาะ (kJ/kg.K)	ค่าการนำความร้อน (W/m.k)	ความหนาแน่น (kg/m^3)
เพดาน, ผนัง	GYPSUM	1.09	0.17	930
คาน	YELLOW PINE	2.85	14	640

5.2 อัตราการปล่อยพลังงานความร้อนของกองเพลิง

Heat Release Rate (HRR): 1507 kW/m^2

Ramp-Up Time: T^2 ,150 s

Extinguishing Coefficient: 0 1/s

Fixed Heat Flux

Surface Temperature: TMPA

Convective Heat Flux: 0 kW/m^2

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Emissivity: 0.9

5.3 คุณสมบัติของอุปกรณ์ตรวจจับความร้อน

Activation Temperature: 68^{o}C

Response Time Index: 56 (m.s)$^{1/2}$

5.4 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงมีเทน

Carbon atoms: 1

Hydrogen atoms: 4

Oxygen atoms: 0

Nitrogen atoms: 0

Ambient Oxygen Mass Fraction: 0.23

Mass Fraction of Fuel in Burner: 1

Upper limit on flame heat release rate: 200 kW/m^{2}

5.5 เวลาที่ใช้ในการคำนวณของแบบจำลอง

Start Time: 0 s

End Time: 160 s

6. เราสามารถแบ่งแบบจำลองที่มีลักษณะที่แตกต่างกัน จากการสร้างตามพารามิเตอร์ต่างๆ ซึ่งกำหนดในขอบเขตของงานวิจัยนี้ ได้ทั้งหมด 6 กรณี ดังตารางที่ 14

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 14 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง

กรณีที่	$\dot{Q}$ (kW/m^2)	จำนวนของเซล (npx,npy,npz)	ตำแหน่งของกองเพลิง	รูปทรงของเพดาน
1_H	1,507	960,000	กลางห้อง(Detached)	แนวระดับ
2_HB	1,507	960,000	กลางห้อง(Detached)	แนวระดับที่มีคาน
3_S13	1,507	1,210,048	กลางห้อง(Detached)	พื้นเอียงความชัน 13^o
4_S13B	1,507	1,210,048	กลางห้อง(Detached)	พื้นเอียงความชัน 13^o ที่มีคาน
5_S24	1,507	2,197,650	กลางห้อง(Detached)	พื้นเอียงความชัน 24^o
6_S24B	1,507	2,197,650	กลางห้อง(Detached)	พื้นเอียงความชัน 24^o ที่มีคาน

7. ในงานวิจัยนี้ได้ใช้โปรแกรม FDS version 5 (McGrattan *et.al.,* 2007) ในการทำการทดลองเชิงตัวเลขเพื่อเปรียบเทียบผลของเวลาตอบสนองของอุปกรณ์จากแบบจำลอง กับเวลาตอบสนองของอุปกรณ์จากการทดลองจริงที่ได้จากงานวิจัยของ Vettori (2003) ในห้องปฏิบัติการของ NIST

8. สรุปผลและวิจารณ์ ถึงผลกระทบของเพดานที่มีโครงสร้างของคาน, เพดานเอียง และเพดานเอียงที่มีโครงสร้างของคาน มีผลต่อเวลาการตอบสนองของอุปกรณ์ตรวจจับความร้อนอย่างไร

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

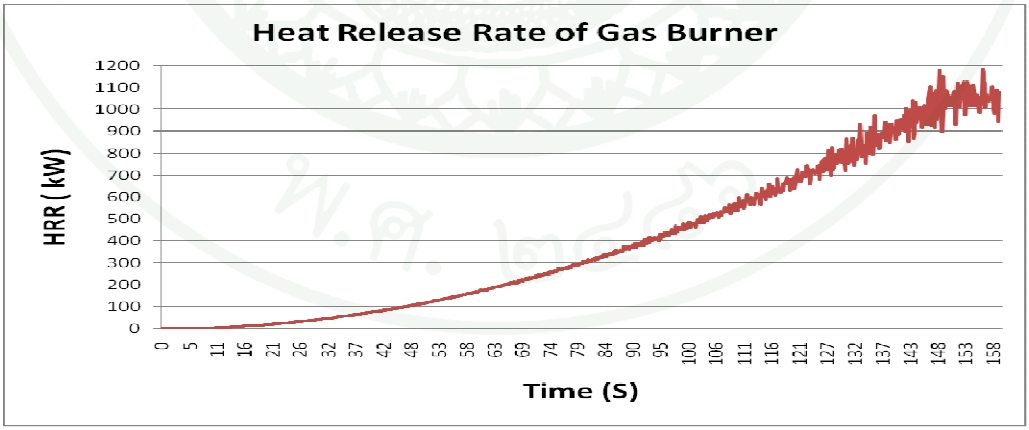
ผลและวิจารณ์

ผล

1. อัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อน (Heat Release Rate)

แบบจำลองนี้มีเจตนาจะสร้างแบบจำลองของกองเพลิง ที่มีอัตราการปล่อยพลังงานความร้อนเหมือนกับการทดลองจริงในงานวิจัยของ Vettori (2003) ที่ทดลองในห้องปฏิบัติการของ NIST เพื่อศึกษาผลกระทบของเพดานที่มีโครงสร้างของคาน, เพดานเอียง และเพดานเอียงที่มีโครงสร้างของคาน ต่อเวลาตอบสนองของหัวสปริงเกอร์

อัตราการปล่อยพลังงานความร้อนในงานวิจัยนี้ จะกำหนดค่าดัชนีอัตราการลุกลามไฟอย่างเร็วเท่านั้น หรือ α เท่ากับ 0.0468 kW/s^2 และจะแปรผันโดยตรงกับเวลานับตั้งแต่เชื้อเพลิงจุดติดไฟยกกำลังสองตามสมการ $\dot{Q} = \alpha t^2$ โดยเมื่ออัตราการปล่อยพลังงานความร้อนเท่ากับ 1055 kW เวลาที่เชื้อเพลิงใช้นับตั้งแต่จุดติดไฟจนกระทั่งการเผาไหม้สามารถปล่อยพลังงานความร้อนออกมาที่ 1055 kW จะเท่ากับ 150 วินาที ซึ่งอัตราการปล่อยพลังงานความร้อนของกองเพลิงที่สร้างจากแบบจำลอง จะเป็นไปตามภาพที่ 23

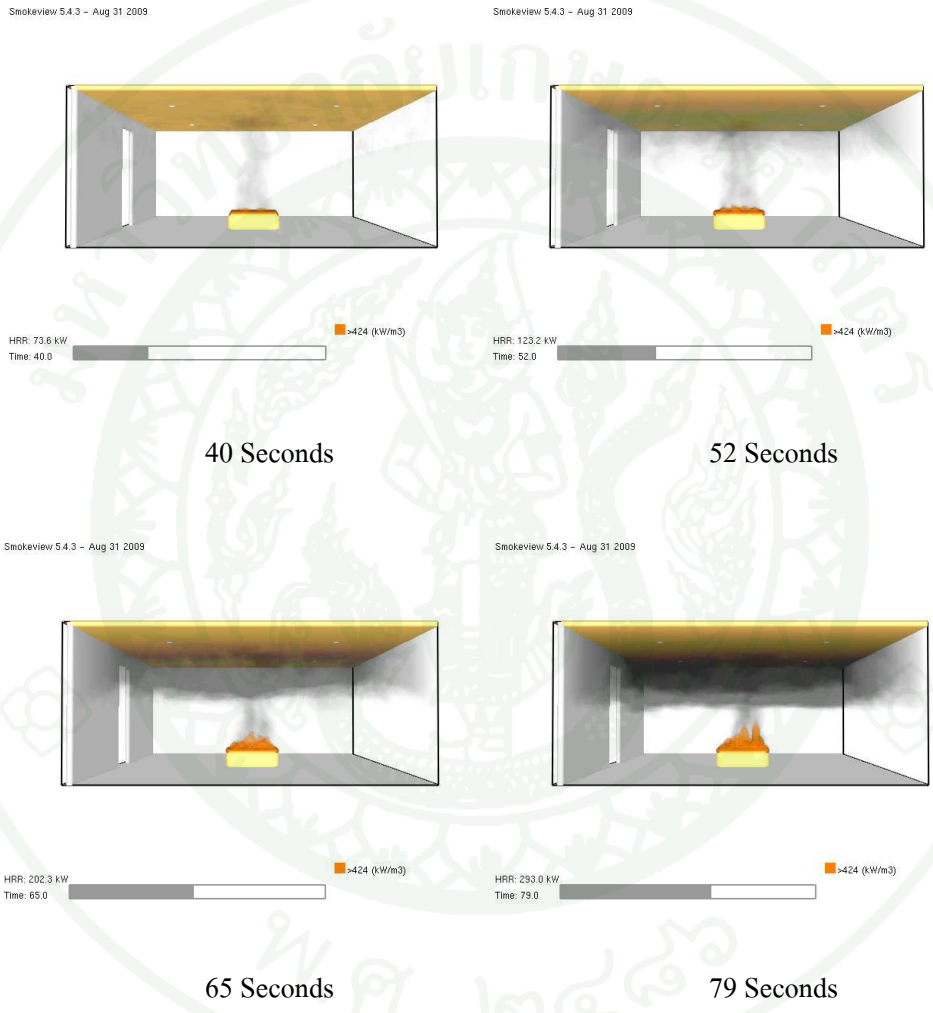


ภาพที่ 23 อัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนของกองเพลิงจากแบบจำลองที่เวลา 0-150 วินาที

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2. พฤติกรรมการแพร่กระจายของควันไหลใต้เพดานจากผลกระทบของเพดานที่มีคาน, เพดานเอียง และเพดานเอียงที่มีคาน

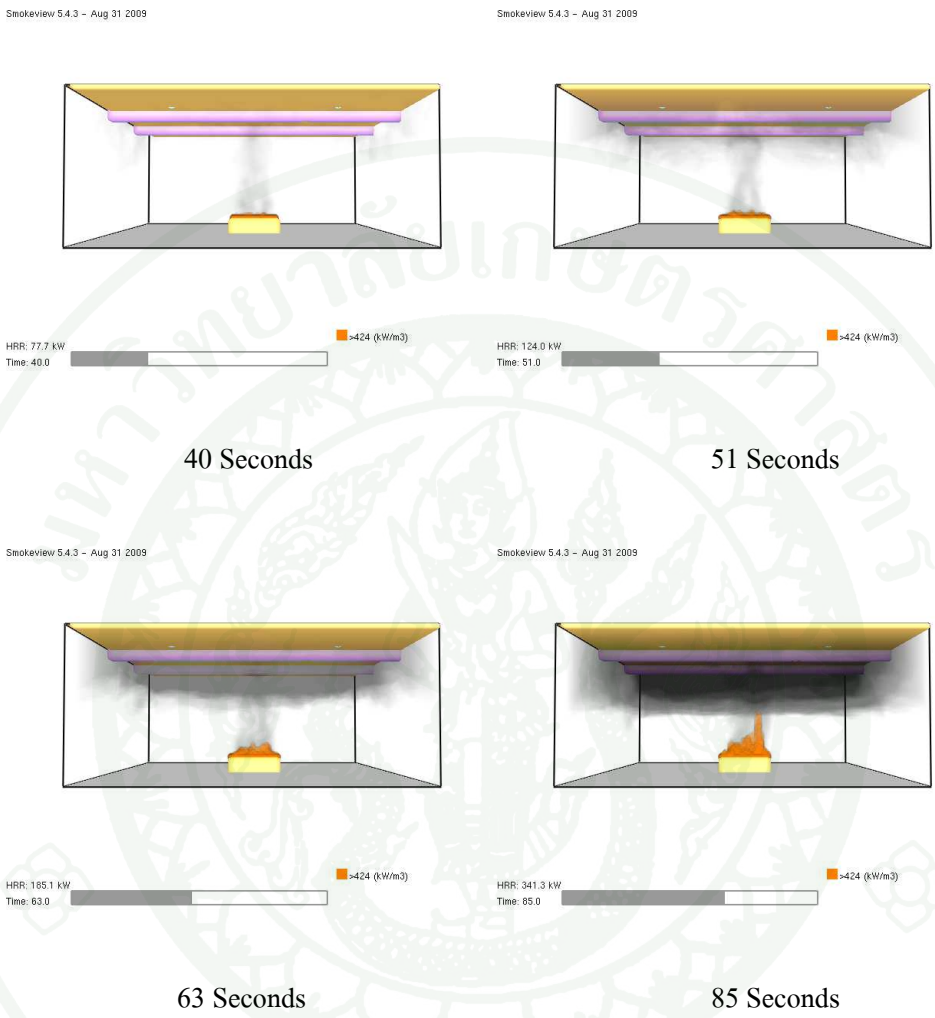
2.1 เพดานแนวระดับ (กรณีที่ 1_H)



ภาพที่ 24 พฤติกรรมการแพร่กระจายตัวของควันไหลใต้เพดานกรณีของเพดานแนวระดับที่ตำแหน่งกองเพลิงวางกลางห้อง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

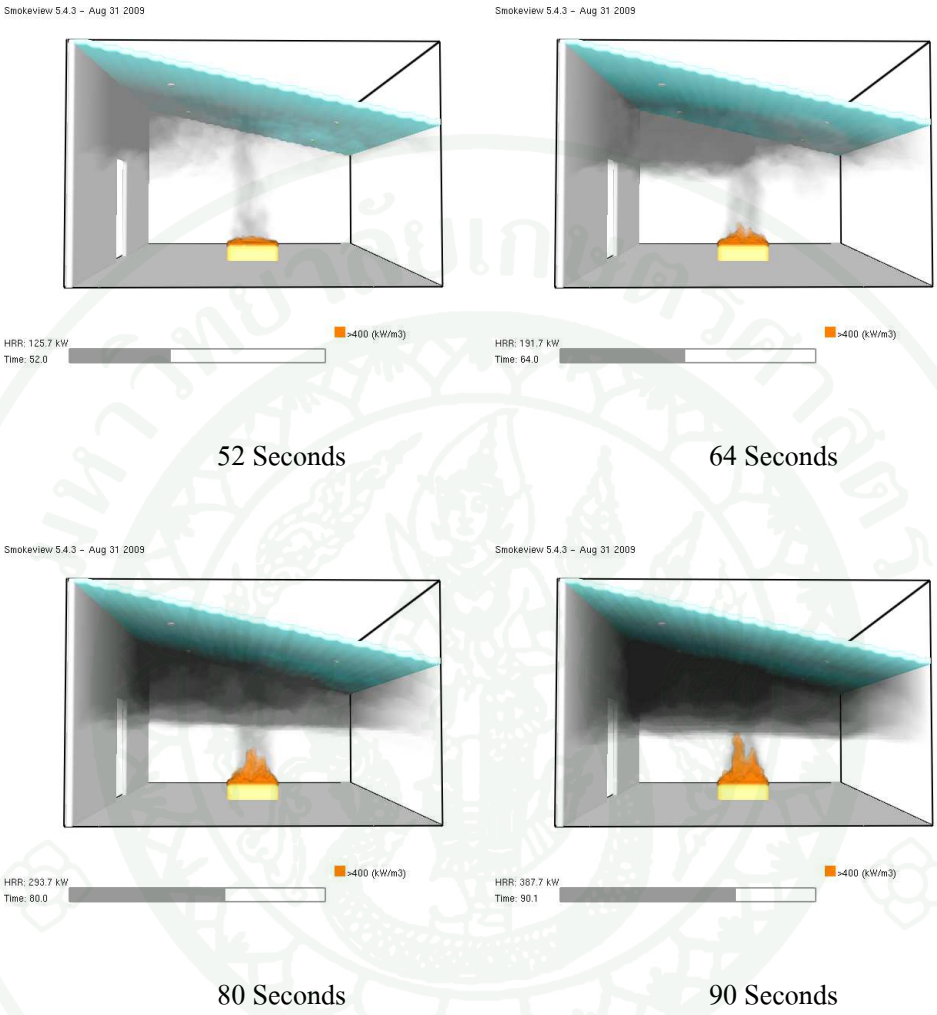
2.2 เพดานแนวระดับที่มีคาน (กรณีที่ 2_HB)



ภาพที่ 25 พฤติกรรมการแพร่กระจายตัวของควันไหลใต้เพดานกรณีขอเพดานแนวระดับมีคานที่ตำแหน่งกองเพลิงวางกลางห้อง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

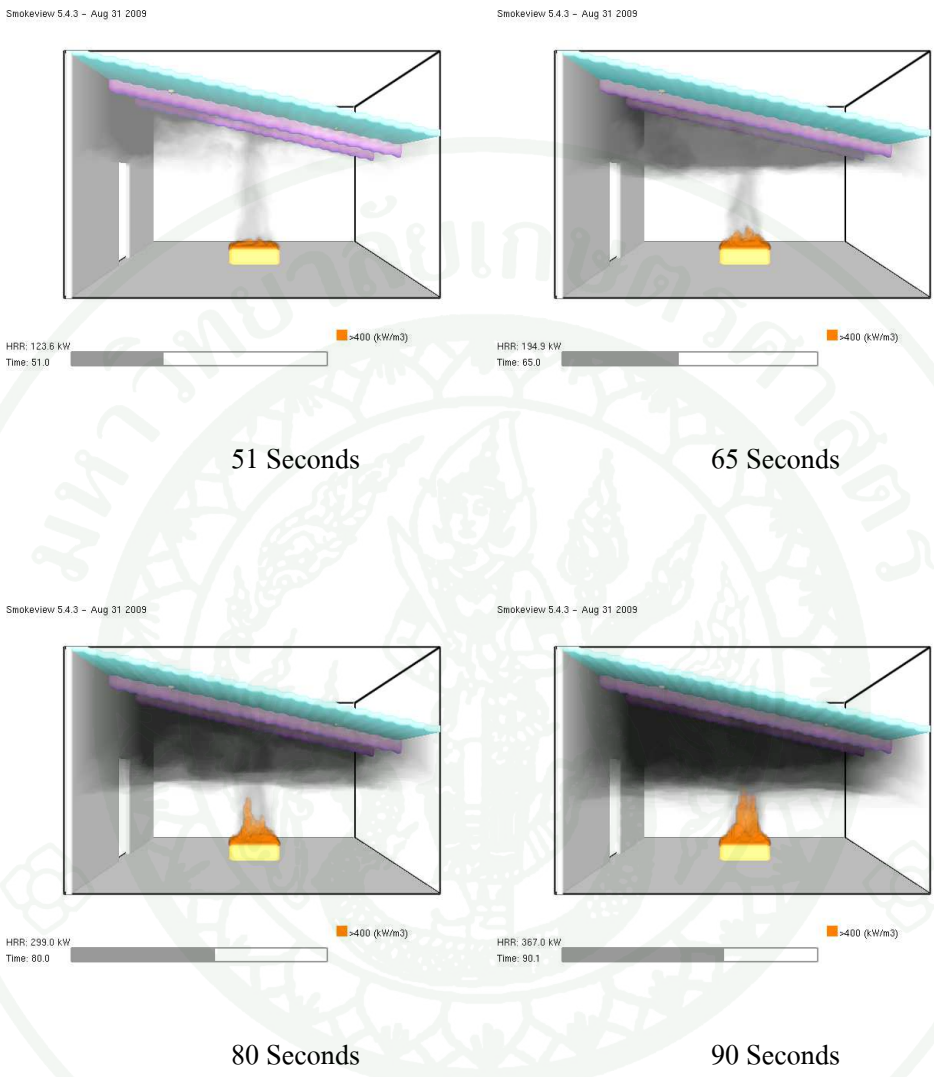
2.3 เพดานพื้นเอียงความชัน 13° (กรณีที่ 3_13S)



ภาพที่ 26 พฤติกรรมการแพร่กระจายตัวของควันไหลใต้เพดานกรณีของเพดานพื้นเอียงความชัน 13° ที่ตำแหน่งกองเพลิงวางกลางห้อง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

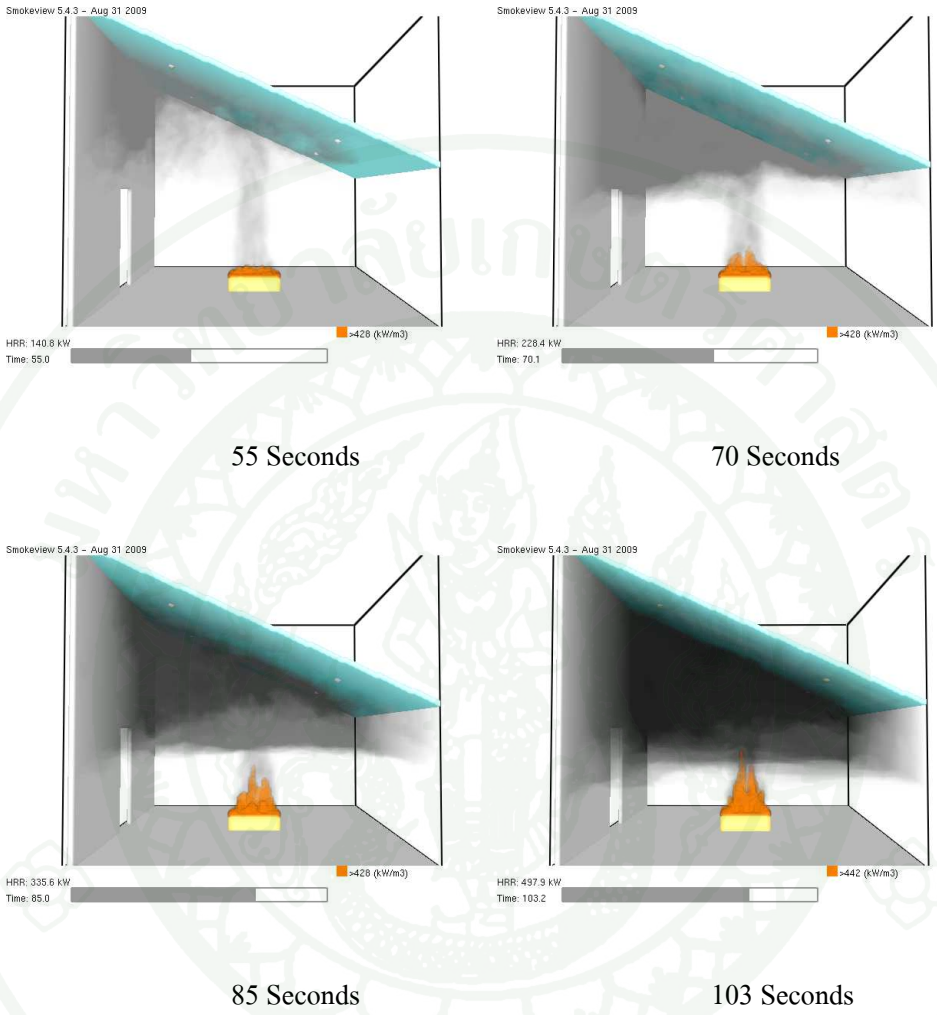
2.4 เพดานพื้นเอียงความชัน 13° ที่มีคาน (กรณีที่ 4_13B)



ภาพที่ 27 พฤติกรรมการแพร่กระจายตัวของควันไหลใต้เพดานของแบบจำลองเพดานพื้นเอียงความชัน 13° ที่มีคานตำแหน่งกองเพลิงวางกลางห้อง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

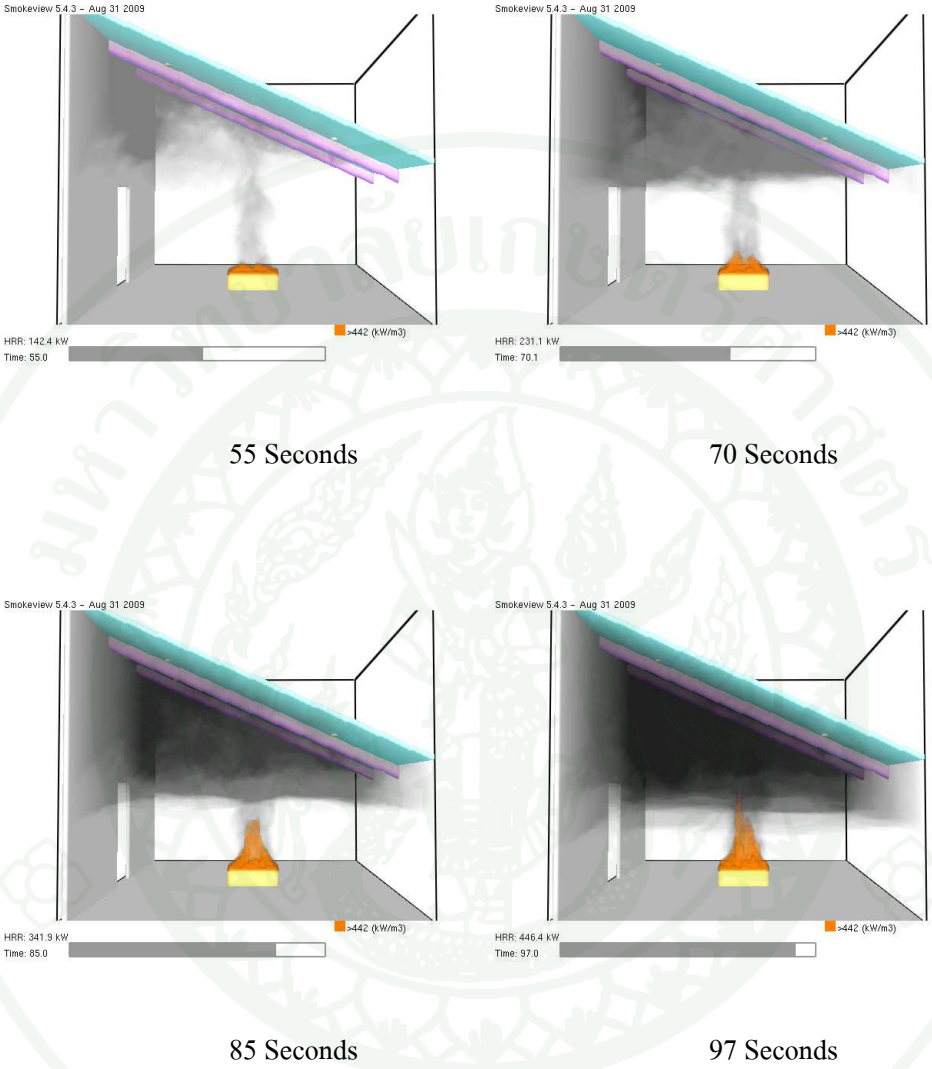
2.5 เพดานพื้นเอียงความชัน 24° (กรณีที่ 5_24S)



ภาพที่ 28 พฤติกรรมการแพร่กระจายตัวของควันไหลใต้เพดานกรณีของเพดานพื้นเอียงความชัน 24° ที่ตำแหน่งกองเพลิงวางกลางห้อง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.6 เพดานพื้นเอียงความชัน 24° ที่มีคาน (กรณีที่ 6_24B)



ภาพที่ 29 พฤติกรรมการแพร่กระจายตัวของควันไหลใต้เพดานของแบบจำลองเพดานพื้นเอียงความชัน 24° ที่มีคานตำแหน่งกองเพลิงวางกลางห้อง

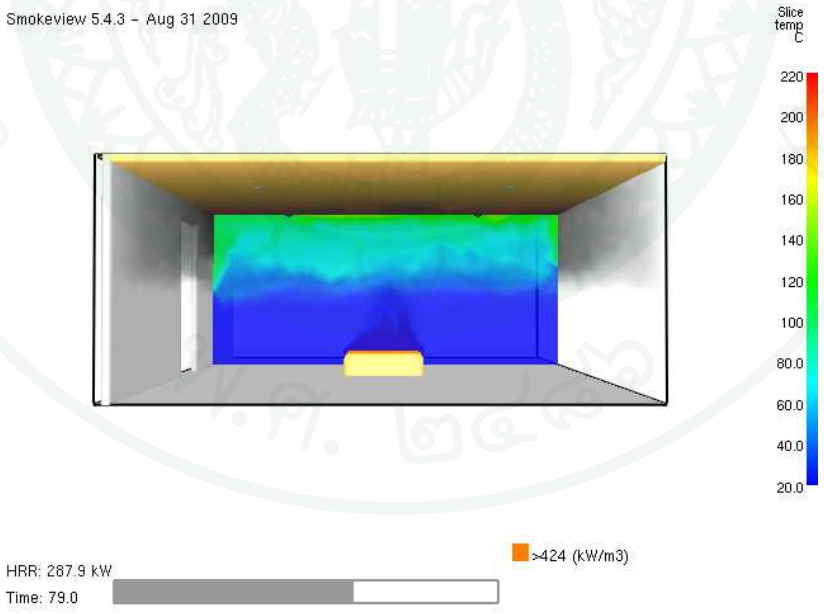
จากภาพที่ 24, 25, 26, 27, 28 และ 29 จะแสดงพฤติกรรมการแพร่กระจายของควันไหลใต้เพดานจากผลกระทบของเพดานที่มีคาน, เพดานเอียง และเพดานเอียงที่มีคาน เมื่อตำแหน่งกองเพลิงวางกลางห้อง ซึ่งพบว่าเมื่อสภาวะเริ่มต้นควันร้อนจะลอยตัวขึ้นไปในแนวดิ่งอย่างรวดเร็ว เนื่องจากแรงลอยตัว และเมื่อควันลอยไปกระทบเพดาน ควันก็จะเคลื่อนที่กระจายไปโดยรอบตามแนวขนานกับพื้นเพดาน กรณีที่แบบจำลองมีพื้นเพดานเอียง พฤติกรรมของควันก็จะมีแนวโน้ม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กระจายตัวลอยสูงขึ้นตามแนวขนานกับพื้นเพดานเอียง ส่วนในแบบจำลองที่มีคาน เมื่อควันลอยเข้าไปอยู่ในช่องระหว่างคาน จะมีแนวโน้มบังคับทำให้ควันไหลไปตามช่องระหว่างคาน แต่ก็จะมีควันที่ไหลล้นออกมาระหว่างช่องคานด้วย ทำให้การกระจายตัวของควันไหลใต้เพดานไม่สามารถไปได้โดยรอบอย่างอิสระ โดยในทุกๆ กรณีเมื่อควันลอยขึ้นไปกระทบเพดาน ควันร้อนจะสะสมตัวใต้พื้นเพดานและเมื่อเวลาผ่านไประดับของควันจึงจะลดต่ำลงมาเรื่อยๆ ซึ่งจะเห็นได้ว่าแบบจำลองที่มีคาน(กรณีที่ 2_HB , กรณีที่ 4_S13B , กรณีที่ 6_S24B) อิทธิพลของคานจะส่งผลต่อการกระจายตัวของควัน เพราะควันที่ลอยขึ้นไปสะสมในช่องระหว่างคานก่อนที่จะล้นออกมาระหว่างช่องคาน ทำให้ระดับของควันที่ลดต่ำลงมาปริมาณของควันมีความหนาแน่นมากกว่าแบบจำลองที่ไม่มีคาน (กรณีที่ 1_H , กรณีที่ 3_S13 , กรณีที่ 5_D_S24)

3. เวลาตอบสนองของอุปกรณ์ตรวจจับความร้อนจากผลกระทบของเพดานที่มีคาน, เพดานเอียง และเพดานเอียงที่มีคาน

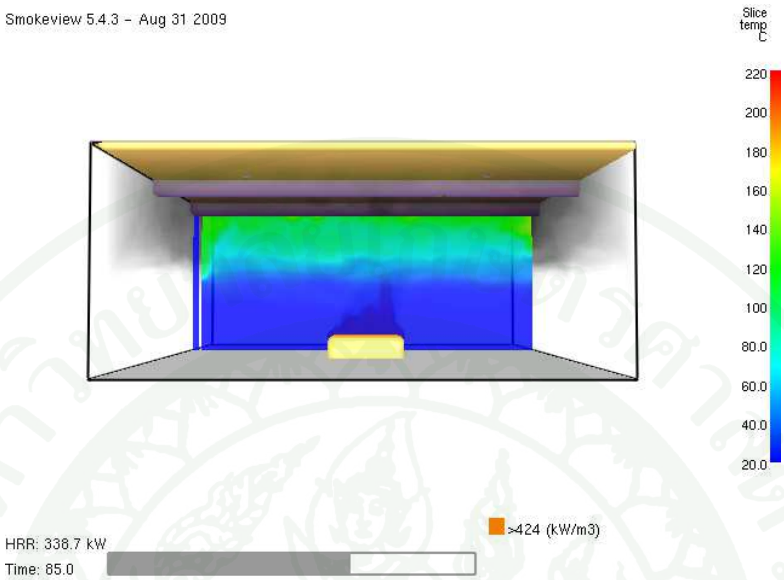
3.1 เพดานแนวระดับ (กรณีที่ 1_H)



ภาพที่ 30 ภาพตัดขวางแนวแกน X ที่ X = 5.45 แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิของควันไหลใต้เพดาน ณ.เวลาตอบสนองของอุปกรณ์ตรวจจับความร้อนที่ 79 s

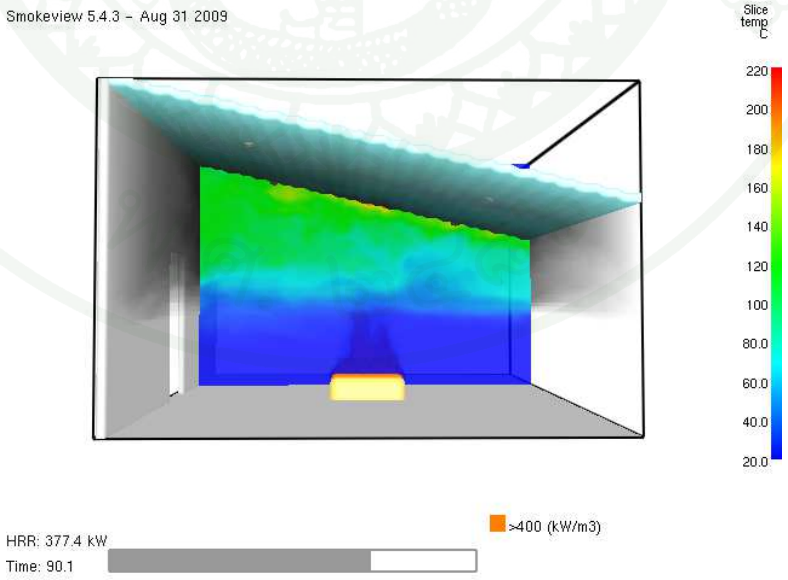
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3.2 เพดานแนวระดับที่มีคาน (กรณีที่ 2_HB)



ภาพที่ 31 ภาพตัดขวางแนวแกน X ที่ X = 5.45 แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิของควันไหลใต้เพดาน ณ.เวลาตอบสนองของอุปกรณ์ตรวจจับความร้อนที่ 85 s

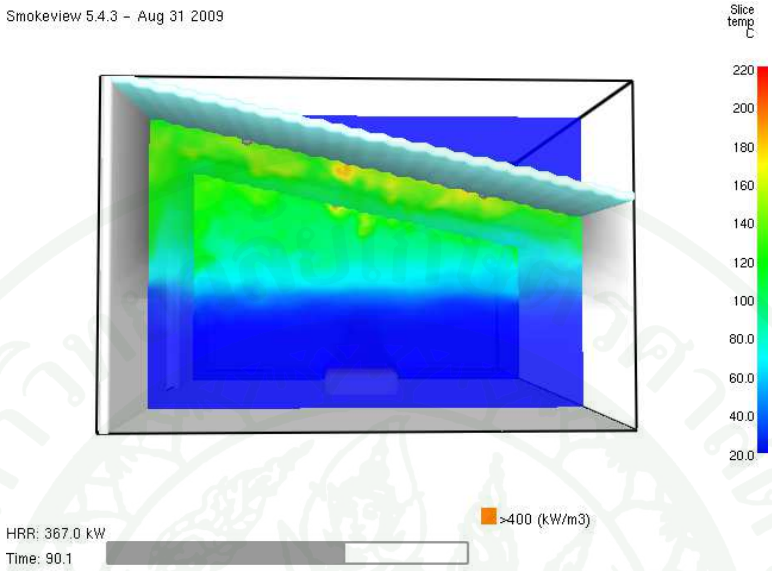
3.3 เพดานพื้นเอียงความชัน 13 ^{o} (กรณีที่ 3_13S)



ภาพที่ 32 ภาพตัดขวางแนวแกน X ที่ X = 5.45 แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิของควันไหลใต้เพดาน ณ.เวลาตอบสนองของอุปกรณ์ตรวจจับความร้อนที่ 90 s

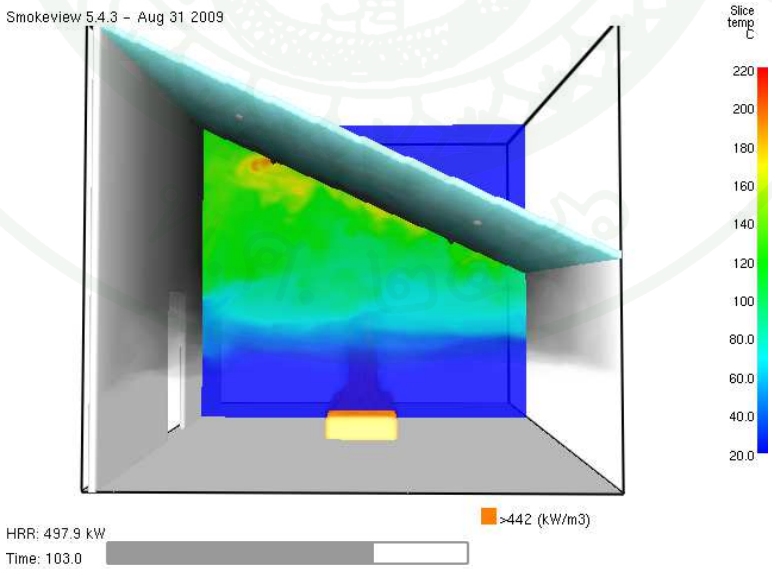
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3.4 เพดานพื้นเอียงความชัน 13° ที่มีคาน (กรณีที่ 4_13B)



ภาพที่ 33 ภาพตัดขวางแนวแกน X ที่ X = 1.85 แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิของควันไหลใต้เพดาน ณ.เวลาตอบสนองของอุปกรณ์ตรวจจับความร้อนที่ 90 s

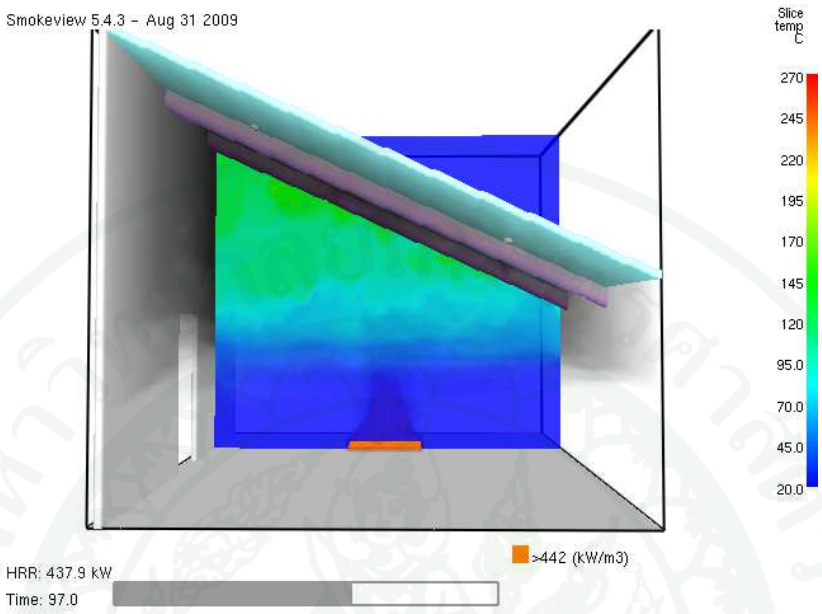
3.5 เพดานพื้นเอียงความชัน 24° (กรณีที่ 5_24S)



ภาพที่ 34 ภาพตัดขวางแนวแกน X ที่ X = 5.45 แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิของควันไหลใต้เพดาน ณ.เวลาตอบสนองของอุปกรณ์ตรวจจับความร้อนที่ 103 s

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3.6 เพดานพื้นเอียงความชัน 24° ที่มีคาน (กรณีที่ 6_24B)



ภาพที่ 35 ภาพตัดขวางแนวแกน X ที่ X = 5.45 แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิของควันไหลใต้เพดาน ณ.เวลาตอบสนองของอุปกรณ์ตรวจจับความร้อนที่ 97 s

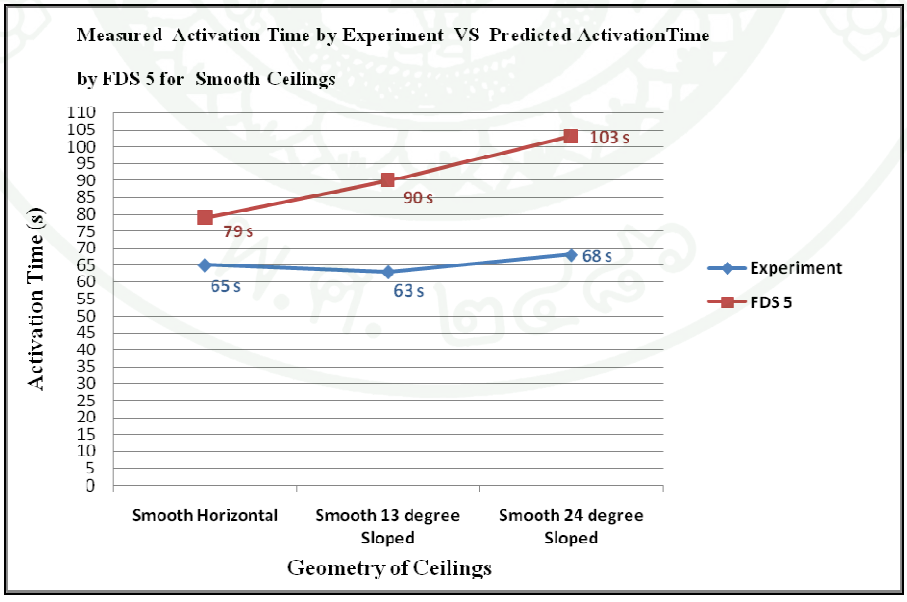
จากข้อมูลของเวลาตอบสนองของหัวสปริงเกอร์ จากการทดลองจริงในงานวิจัยของ Vettori (2003) ที่ทดลองในห้องปฏิบัติการของ NIST เพื่อศึกษาผลกระทบของเพดานที่มีโครงสร้างของคาน, เพดานเอียง และเพดานเอียงที่มีโครงสร้างของคาน ต่อเวลาตอบสนองของหัวสปริงเกอร์ ดังแสดงในตารางที่ 6, 7 และ 8 จะพบว่าเมื่อเพดานมีโครงสร้างของคานเพิ่มขึ้น ที่ตำแหน่งกองเพลิงวางกลางห้อง แนวโน้มของเวลาตอบสนองของอุปกรณ์จะเพิ่มขึ้น ส่วนการอ้างอิงข้อมูลจากตารางที่ 9 เมื่อใช้กรณีของเพดานพื้นเรียบแนวระดับเป็นฐาน สำหรับเปรียบเทียบเวลาตอบสนองของอุปกรณ์ ที่ตำแหน่งกองเพลิงวางกลางห้องและมีอัตราการลุกลามไฟของเชื้อเพลิงอย่างเร็ว การเพิ่มความชันของเพดานเป็นพื้นเอียง 13° เวลาตอบสนองของอุปกรณ์จะลดลง แต่เมื่อเพิ่มความชันของเพดานเป็นพื้นเอียง 24° เวลาตอบสนองของอุปกรณ์จะเพิ่มขึ้น และการอ้างอิงข้อมูลจากตารางที่ 10 เมื่อใช้กรณีของเพดานพื้นเรียบที่มีคานเป็นฐาน สำหรับเปรียบเทียบเวลาตอบสนองของอุปกรณ์ ที่ตำแหน่งกองเพลิงวางกลางห้องและมีอัตราการลุกลามไฟของเชื้อเพลิงอย่างเร็ว การเพิ่มความชันของเพดานเป็นพื้นเอียง13° เวลาตอบสนองของอุปกรณ์จะลดลง แต่เมื่อเพิ่มความชันของเพดานเป็นพื้นเอียง 24° เวลาตอบสนองของอุปกรณ์จะเพิ่มขึ้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เมื่อนำเวลาตอบสนองของหัวสปริงเกอร์ จากการทดลองจริงดังกล่าว (ตารางที่ 6, 7, 8, 9 และ 10) มาเปรียบเทียบกับเวลาตอบสนองของอุปกรณ์ตรวจจับความร้อนจากแบบจำลองเพลิงไหม้พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (FDS 5) ซึ่งมีค่า Activation Temperature และ ค่า Response Time Index (RTI) ที่เท่ากัน คือ ค่า Activation Temperature เท่ากับ $68 \pm 2.4\ C^{o}$ และ ค่า Response Time Index (RTI) เท่ากับ 56 $(m\text{-}s)^{1/2}$ สามารถบอกถึงความแตกต่างระหว่างการทดลองจริงกับแบบจำลอง FDS 5 ได้ดังตารางที่ 15, 16 และ 17

ตารางที่ 15 เปรียบเทียบเวลาตอบสนองของอุปกรณ์และตำแหน่งที่อุปกรณ์เริ่มทำงานระหว่างแบบจำลอง FDS 5 กับการทดลองจริง สำหรับทุกกรณีที่เพดานเป็นพื้นเรียบ

กรณีที่	ตำแหน่งกองเพลิง	รูปทรงของเพดาน	เวลาตอบสนองของอุปกรณ์ (s) และตำแหน่งที่อุปกรณ์เริ่มทำงาน	
			FDS 5	การทดลอง
1_H	กลางห้อง	แนวระดับ	79 s , Heat Detector 4	65 s , Sprinklers 1+2
3_S13	กลางห้อง	พื้นเอียงความชัน 13	90 s , Heat Detector 4	63 s , Sprinklers 1
5_S24	กลางห้อง	พื้นเอียงความชัน 24	103 s , Heat Detector 1+2	68 s , Sprinklers 1+2



ภาพที่ 36 กราฟเปรียบเทียบเวลาตอบสนองของอุปกรณ์และตำแหน่งที่อุปกรณ์เริ่มทำงานระหว่างแบบจำลอง FDS 5 กับการทดลองจริง สำหรับทุกกรณีที่เพดานเป็นพื้นเรียบ

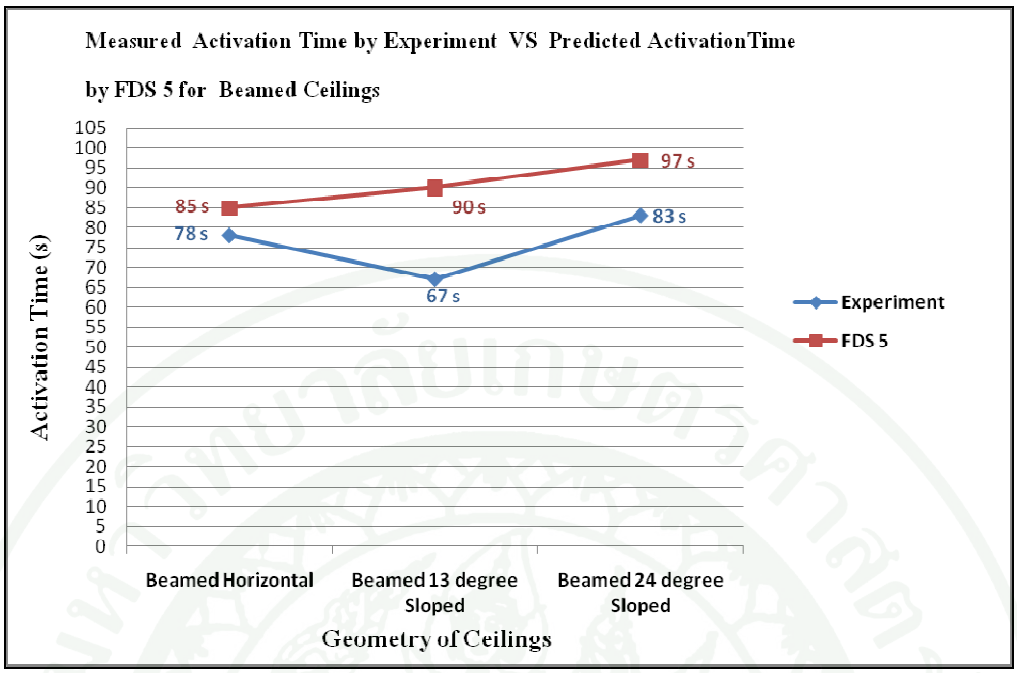
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จากภาพที่ 36 เมื่อเปรียบเทียบเวลาตอบสนองของอุปกรณ์ระหว่างการทดลองจริง กับแบบจำลอง FDS 5 สำหรับทุกกรณีที่เพดานเป็นพื้นเรียบ พบว่าเวลาตอบสนองจากแบบจำลอง FDS5 จะมีค่ามากกว่าการทดลองจริงในทุกกรณี โดยแนวโน้มของเวลาตอบสนองของอุปกรณ์จากแบบจำลอง FDS 5 จะเพิ่มขึ้นตามความชันของเพดานที่เพิ่มขึ้นเป็นเพดานเอียง 13^{o} และ 24^{o} ตามลำดับ ส่วนแนวโน้มของเวลาตอบสนองของอุปกรณ์จากการทดลองจริง เมื่อเพิ่มความชันของเพดานเป็นเพดานเอียง 13^{o} เวลาตอบสนองจะลดลง แต่เมื่อความชันของเพดานเพิ่มขึ้นเป็นเพดานเอียง 24^{o} เวลาตอบสนองจะเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 16 เปรียบเทียบเวลาตอบสนองของอุปกรณ์และตำแหน่งที่อุปกรณ์เริ่มทำงานระหว่างแบบจำลอง FDS 5 กับการทดลองจริง สำหรับทุกกรณีที่เพดานมีคาน

กรณีที่	ตำแหน่งกองเพลิง	รูปทรงของเพดาน	เวลาตอบสนองของอุปกรณ์ (s) และตำแหน่งที่อุปกรณ์เริ่มทำงาน	
			FDS 5	การทดลอง
2_HB	กลางห้อง	แนวระดับที่มีคาน	85 s , Heat Detector 3+4	78 s , Sprinklers 1+3+4
4_S13B	กลางห้อง	พื้นเอียงความชัน 13^{o} ที่มีคาน	90 s , Heat Detector 2	67 s , Sprinklers 1+2
6_S24B	กลางห้อง	พื้นเอียงความชัน 24^{o} ที่มีคาน	97 s , Heat Detector 1	83 s , Sprinklers 1

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 37 กราฟเปรียบเทียบเวลาตอบสนองของอุปกรณ์และตำแหน่งที่อุปกรณ์เริ่มทำงานระหว่างแบบจำลอง FDS 5 กับการทดลองจริง สำหรับทุกกรณีที่เพดานมีคาน

จากภาพที่ 37 เมื่อเปรียบเทียบเวลาตอบสนองของอุปกรณ์ระหว่างการทดลองจริงกับแบบจำลอง FDS 5 สำหรับทุกกรณีที่เพดานมีคาน แนวโน้มของเวลาตอบสนองของอุปกรณ์จากแบบจำลอง FDS 5 จะเพิ่มขึ้นตามความชันของเพดานที่เพิ่มขึ้นเป็นเพดานเอียง 13° ที่มีคานและ 24° ที่มีคาน ตามลำดับเช่นกัน และแนวโน้มของเวลาตอบสนองของอุปกรณ์จากการทดลองจริง เมื่อเพิ่มความชันของเพดานเป็นเพดานเอียง 13° ที่มีคานเวลาตอบสนองจะลดลง แต่เมื่อความชันของเพดานเพิ่มขึ้นเป็นเพดานเอียง 24° ที่มีคานเวลาตอบสนองจะเพิ่มขึ้นเช่นกัน

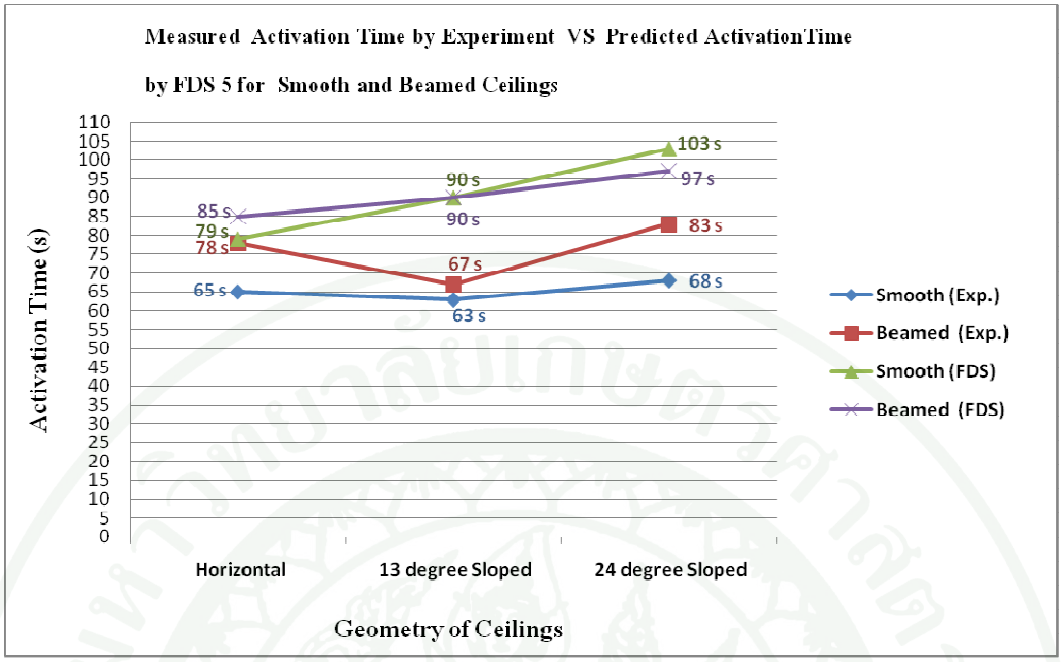
ดังนั้นอาจสรุปได้ว่า เวลาตอบสนองจากแบบจำลอง FDS 5 จากผลกระทบเมื่อเพดานมีความชันเพิ่มขึ้นเป็นพื้นเอียง จะมีแนวโน้มของเวลาตอบสนองที่เพิ่มขึ้นเหมือนกับการทดลองจริงก็ต่อเมื่อความชันของเพดานมีค่ามากพอจนทำให้ระยะทางที่ควันร้อนลอยสูงขึ้นไปถึงเพดานมีค่าเพิ่มขึ้น ส่งผลให้เวลาตอบสนองของอุปกรณ์เพิ่มขึ้นตาม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 17 เปรียบเทียบเวลาตอบสนองของอุปกรณ์และตำแหน่งที่อุปกรณ์เริ่มทำงานระหว่างแบบจำลอง FDS 5 กับการทดลองจริงสำหรับทุกกรณีที่เพดานเป็นพื้นเรียบและเป็นเพดานมีคาน

กรณีที่	ตำแหน่งกองเพลิง	รูปทรงของเพดาน	เวลาตอบสนองของอุปกรณ์ (s) และตำแหน่งที่อุปกรณ์เริ่มทำงาน	
			FDS 5	การทดลอง
1_H	กลางห้อง	แนวระดับ	79 s , Heat Detector 4	65 s , Sprinklers 1+2
2_HB	กลางห้อง	แนวระดับที่มีคาน	85 s , Heat Detector3+4	78 s , Sprinklers 1+3+4
3_S13	กลางห้อง	พื้นเอียงความชัน 13°	90 s , Heat Detector 4	63 s , Sprinklers 1
4_S13B	กลางห้อง	พื้นเอียงความชัน 13° ที่มีคาน	90 s , Heat Detector 2	67 s , Sprinklers 1+2
5_S24	กลางห้อง	พื้นเอียงความชัน 24°	103 s , Heat Detector1+2	68 s , Sprinklers 1+2
6_S24B	กลางห้อง	พื้นเอียงความชัน 24° ที่มีคาน	97 s , Heat Detector 1	83 s , Sprinklers 1

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 38 กราฟเปรียบเทียบเวลาตอบสนองของอุปกรณ์และตำแหน่งที่อุปกรณ์เริ่มทำงานระหว่างแบบจำลอง FDS 5 กับการทดลองจริง สำหรับทุกกรณีที่เพดานเป็นพื้นเรียบและเป็นเพดานมีคาน

จากภาพที่ 38 เมื่อเปรียบเทียบเวลาตอบสนองของอุปกรณ์ระหว่างการทดลองจริง กับแบบจำลอง FDS 5 สำหรับทุกกรณีที่เพดานเป็นพื้นเรียบหรือเป็นเพดานมีคาน พบว่าจากการทดลองจริงเมื่อเพดานพื้นเรียบมีโครงสร้างของคาน เวลาตอบสนองจะเพิ่มขึ้นทุกกรณี เนื่องจากอิทธิพลจากความหนาของคานที่สามารถกักควันร้อนให้เสียเวลาสะสมอยู่ในช่องระหว่างคานก่อนที่จะล้นออกมาระหว่างช่องคานไปถึงอุปกรณ์ ส่วนจากแบบจำลองจากโปรแกรม FDS 5 เมื่อเพดานแนวระดับพื้นเรียบ (กรณีที่ 1_H) มีโครงสร้างของคาน (กรณีที่ 2_HB) เวลาตอบสนองจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพดานพื้นเอียงความชัน 13° (กรณีที่ 3_S13) มีโครงสร้างของคาน (กรณีที่ 4_S13B) เวลาตอบสนองจะเท่ากัน และเมื่อเพดานพื้นเอียงความชัน 24° (กรณีที่ 5_S24) มีโครงสร้างของคาน (กรณีที่ 6_S24B) เวลาตอบสนองจะลดลง ทั้งนี้ผู้วิจัยวิเคราะห์แล้วเห็นว่า ผลจากแบบจำลองที่เวลาลดลง อาจเกิดจากอิทธิพลการมีโครงสร้างของคานทำให้ควันร้อนจะถูกบีบให้ไหลไปในช่องระหว่างคานไม่สามารถเคลื่อนที่ได้โดยรอบอย่างอิสระ ควันร้อนที่ลอยสูงขึ้นตามแนวขนานกับพื้นเพดานเอียงไปถึงอุปกรณ์ตรวจจับความร้อนได้เร็วขึ้น ส่วนอิทธิพลจากความหนาของคานที่จะกักควันร้อนให้สะสมอยู่ในช่องระหว่างคานนั้น อาจจะถูกจำกัดด้วยรูปทรงของกริดที่เป็นรูปทรงสี่เหลี่ยม ซึ่งอาจไม่เหมาะสมเมื่อคำนวณด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลขแบบขั้นบันได (the stair stepping

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

method)ในช่วงบริเวณช่องระหว่างคานที่คานมีความชันติดตั้งอยู่บนพื้นเพดานเอียง จนทำให้อิทธิพลจากความหนาของคานไม่สามารถที่จะกักควันร้อนเอาไว้ได้

วิจารณ์

ในความเป็นจริงแบบจำลอง FDS 5 ของงานวิจัยนี้ อัตราการปล่อยพลังงานความร้อนของกองเพลิงจะสูงขึ้นไปเรื่อยๆ จนถึงค่าสูงสุดค่าหนึ่งจึงจะเริ่มคงที่ แต่ในการทดลองจริงในห้องปฏิบัติการของ NIST เพื่อศึกษาผลกระทบของเพดานที่มีโครงสร้างของคาน, เพดานเอียง และเพดานเอียงที่มีโครงสร้างของคานต่อเวลาตอบสนองของหัวสปริงเกอร์นั้น อัตราการปล่อยพลังงานความร้อนของกองเพลิงจะลดลงเมื่อหัวสปริงเกอร์เริ่มทำงานกระจายน้ำดับเพลิง ดังนั้นในงานวิจัยนี้การเปรียบเทียบแนวโน้มในการเกิดเวลาตอบสนองของอุปกรณ์ตรวจจับความร้อนจากแบบจำลอง FDS 5 กับการทดลองจริงดังกล่าว จะนำมาเทียบเคียงกันได้ ก็ต่อเมื่อเวลาตอบสนองของอุปกรณ์ มีค่า Activation Temperature และ ค่า Response Time Index (RTI) ที่เท่ากัน และเป็นเวลาที่ไม่เกินกว่าเวลาตอบสนองของอุปกรณ์เริ่มทำงาน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

งานวิจัยนี้ได้เสนอผลการจำลองพฤติกรรมการไหลของควันใต้เพดานเอียง และการประมาณค่าเวลาตอบสนองของอุปกรณ์ตรวจจับความร้อน ซึ่งติดตั้งใต้เพดานเอียงด้วยแบบจำลองเพลิงไหม้พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Fire Dynamics Simulator) ผลการศึกษาสามารถสรุปได้ดังนี้

1. การจำลองพฤติกรรมการไหลของควันใต้เพดานเอียง

1.1 การกระจายตัวของควันซึ่งเป็นปัจจัยที่ส่งผลกับระยะการมองเห็นจะขึ้นอยู่กับตำแหน่งการวางของกองเพลิงภายในห้องเป็นสำคัญ เมื่อตำแหน่งของกองเพลิงวางอยู่กลางห้อง พบว่าสภาวะเริ่มต้นควันร้อนจะลอยตัวขึ้นไปในแนวดิ่งอย่างรวดเร็วเนื่องจากแรงลอยตัว และเมื่อควันลอยไปกระทบเพดาน ควันก็จะเคลื่อนที่กระจายไปโดยรอบตามแนวขนานกับพื้นเพดาน กรณีที่แบบจำลองมีพื้นเพดานเอียง พฤติกรรมของควันก็จะมีแนวโน้มกระจายตัวลอยสูงขึ้นตามแนวขนานกับพื้นเพดานเอียง

1.2 ผลกระทบจากการที่เพดานพื้นเรียบมีโครงสร้างของคานจะส่งผลต่อการกระจายตัวของควัน คือควันร้อนจะลอยขึ้นไปสะสมในช่องระหว่างคาน ก่อนที่จะล้นออกมาระหว่างช่องคาน ทำให้ระดับของควันที่ลดต่ำลงมา มีปริมาณของควันมีความหนาแน่นมากกว่าแบบจำลองที่ไม่มีคาน

2. การประมาณค่าเวลาตอบสนองของอุปกรณ์ตรวจจับความร้อน

2.1 ผลกระทบเมื่อเพดานมีความชันเพิ่มขึ้นเป็นพื้นเอียง จะมีแนวโน้มของเวลาตอบสนองที่เพิ่มขึ้นตามความชันของพื้นเอียง เมื่อความชันของเพดานมีค่ามากพอจนทำให้ระยะทางที่ควันร้อนลอยสูงขึ้นไปถึงเพดานมีค่าเพิ่มขึ้น ส่งผลให้เวลาตอบสนองของอุปกรณ์เพิ่มขึ้นตาม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.2 ผลกระทบจากการที่เพดานพื้นเรียบมีโครงสร้างของคาน จะทำให้เวลาตอบสนองจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากอิทธิพลจากความหนาของคานที่สามารถกักควันร้อนให้เสียเวลาสะสมอยู่ในช่องระหว่างคาน ก่อนที่จะล้นออกมาระหว่างช่องคานไปถึงอุปกรณ์

ข้อเสนอแนะ

1. สามารถนำงานวิจัยนี้ไปพัฒนาต่อสำหรับการประมาณเวลาตอบสนองอุปกรณ์ตรวจจับความร้อน สำหรับแบบจำลองที่มีรูปทรงเพดานและตำแหน่งการวางของกองเพลิงที่ต่างกันออกไป

2. สามารถนำการประมาณเวลาตอบสนองอุปกรณ์ตรวจจับความร้อนจากแบบจำลอง ไปเปรียบเทียบกับเวลาขั้นต่ำก่อนที่จะทำให้เกิดอันตรายต่อชีวิตว่ามีความเหมาะสมหรือไม่ เพื่อที่จะนำเวลาไปคำนวณหาระยะห่างของอุปกรณ์ตรวจจับความร้อนหรือเลือกใช้อุปกรณ์ตรวจจับความร้อนที่มีคุณสมบัติเหมาะสมต่อไป

3. สำหรับการจำลองพบว่ากริดยิ่งมีขนาดเล็กจะทำให้ผลการจำลองใกล้เคียงกับความเป็นจริงแต่จะใช้เวลาในการจำลองนานตามขนาดของกริด สำหรับการจำลองในพื้นที่ใหญ่ๆ ควรเลือกขนาดของกริดให้เหมาะสม

4. ผลที่ได้จาการวิจัยนี้เป็นผลที่มาจากการวิเคราะห์แบบจำลองด้วยคอมพิวเตอร์เท่านั้นไม่มีการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

Alpert, R.L. 1971. **Fire Induced Turbulent Ceiling Jet**. Factory Mutual Research Corporation, Norwood MA. FMRC Serial Number 19722-2.

Alpert, R.L. 1972. **Calculation of Response Time of Ceiling-mounted Fire Detector.** Fire Technology 8: 181-195.

Delichatsios, M.A. 1981. **The Flow of Fire Gases under a Beamed Ceiling.** Combustion and Flame 43:1-10.

Forney, G.P. 2007. **User's Guide for Smokeview Version 5**, **A Tool for Visualizing Fire Dynamics Data**. National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland.

Heskestad, G. and Delichatsios, M.A. 1978. **The Inititial Convection Flow in Fire**. Seventeenth Symposium (Lnternatonal) on Combustion.

Karlsson, B. and Quintiere, J.G. 1999. **Chapter 3 Energy Release Rates**. Enclosure Fire Dynamics. CRC Press, New York.

McCaffrey, B.J. 1979. **Purely Buoyant Diffusion Flame, Some Experimental Results.** National Burea of Standards, Gaithersburg, MD.

McGrattan, K.B., Hostikka, S., Floyd, J.E., Baum, H.R. and Rehm, R.G. 2007. **Fire Dynamics Simulator Version 5**. National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland.

Mell, W., McGrattan, K.B. and Baum, H. 1996. N**umerical Simulation of Combustion in Fire Plumes**. In Twenty-Sixth Symposium on Combustion.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

NFPA 13. 2007. **Standard for the Installation of Sprinkler Systems**. Nation Fire Protection Association.

NFPA 72. 1993. Na**tional Fire Alam Code**. Nation Fire Protection Association.

NFPA 92B. 2000. **Guide for Smoke Management System in Mall,Atria, and Large Areas**. Nation Fire Protection Association.

NFPA 204. 2002. **Standard for Smoke and Heat Venting**. Nation Fire Protection Association.

Quintiere, J.G. 1997. **Principles of Fire Behavior**. Albany, USA, Delmar Publishers.

Smagorinsky, J. 1963. **General Circulation Experiments with the Primitive Equations The Basic Experiment**. Monthly Weather Review.

Thunderhead Engineering. 2010. **PyroSim User Manual**. **A Model Construction Tool For Fire Dynamics Simulator.** Available Source: http://thunderheadeng.com/pyrosim/, August 15, 2011.

Vettori, R.L. 2003. **Effect of Beamed,Sloped,and Sloped Beamed Ceilings on the Activation Time of a Residential Sprinkler**. Building and Fire Research Laboratory National Institute of Standards and Technology Gaithersburg, MD.

Zukoski, E. 1995. **Mass flux in fire plumes**. Fire Safety Science Proceedings of the Fourth International Symposium.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก ก

การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับความร้อน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1. ทั่วไป

อุปกรณ์ตรวจจับความร้อนไม่ใช้เป็นอุปกรณ์ป้องกันชีวิต มีไว้เพื่อป้องกันทรัพย์สินเท่านั้น และอุปกรณ์ตรวจจับความร้อนต้องติดตั้งในระดับความสูงไม่เกิน 4.00 เมตร ยกเว้นให้ติดตั้งในระดับความสูงเกินกว่า 4.00 เมตรได้ แต่ต้องคำนวณตามหลักวิศวกรรม ทั้งนี้ต้องไม่สูงเกินกว่า 6.00 เมตร

1.1 อุปกรณ์ตรวจจับแต่ละตัว ต้องติดตั้งใต้เพดานหรือหลังคา โดยให้ส่วนตรวจจับอยู่ห่างจากเพดานหรือหลังคาไม่น้อยกว่า 15 มิลลิเมตร แต่ไม่เกิน 100 มิลลิเมตร หากเป็นหลังคาที่มีแปอันอาจขวางทางไหลของไอความร้อนไปยังอุปกรณ์ตรวจจับได้ อาจติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับเข้ากับแป โดยให้ส่วนตรวจจับห่างจากหลังคาไม่เกิน 350 มิลลิเมตร

1.2 ตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับความร้อน และระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ตรวจจับความร้อนต้องเป็นไปตามที่กำหนดในข้อ 2 (ดูภาพผนวกที่ ก1 และ ก2)

1.3 อุปกรณ์ตรวจจับความร้อน ต้องติดตั้ง ณ จุดที่สูงที่สุดของเพดาน (ดูภาพผนวกที่ ก2) อย่างไรก็ตามหกเป็นเพดานที่ประกอบไปด้วยคาน หรือรอด หรือหยักที่มีความลึกน้อยกว่า 300 มิลลิเมตร อาจติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับความร้อนที่ใต้คามหรือรอดนั้นๆ ได้

1.4 อุปกรณ์ตรวจจับความร้อนที่ติดตั้งใต้เพดานหรือหลังคาซึ่งได้รับความร้อนจากแสงแดดต้องติดตั้งให้ส่วนตรวจจับห่างจากแพดานหรีหลังคาในแนวดิ่ง ไม่น้อยกว่า 180 มิลลิเมตร แต่ไม่เกิน 350 มิลลิเมตร

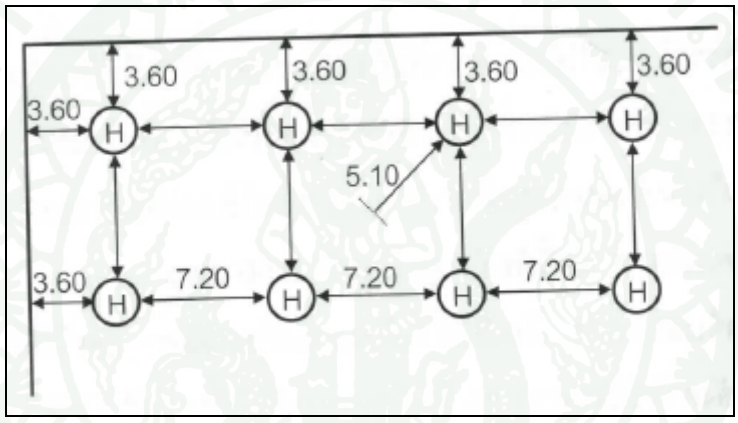
หมายเหตุ ดูคำแนะนำในการเลือกอุปกรณ์ตรวจจับที่เหมาะสมกับสถานที่ติดตั้งต่างๆ ใน ภาคผนวก ข

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

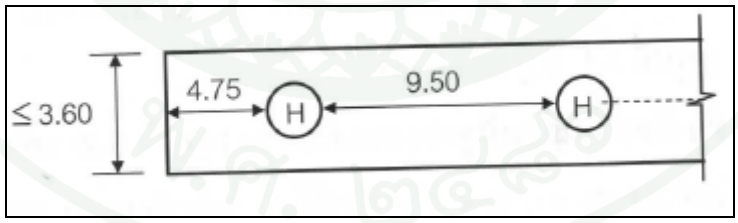
2. ระยะห่างและการติดตั้งของอุปกรณ์ตรวจจับความร้อน

2.1 ระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ตรวจจับสำหรับพื้นผิวแนวราบ

สำหรับพื้นผิวแนวราบ ยกเว้นช่องทางเดิน ต้องติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับตัวใกล้ที่สุดต้องไม่เกิน 5.10 เมตร (ดูภาพผนวกที่ ก1 (ก)) และระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ตรวจจับไม่เกิน 7.20 เมตร สำหรับบริเวณช่องทางเดิน ต้องติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับให้มีระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ตรวจจับ ไม่เกิน 9.50 เมตร (ดูภาพผนวกที่ ก1 (ข))



(ก) แบบตัวอย่างระยะห่างในการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับความร้อน สำหรับพื้นผิวแนวราบ



(ข) แบบตัวอย่างระยะห่างในการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับความร้อน สำหรับช่องทางเดิน

ภาพผนวกที่ ก1 แบบตัวอย่างระยะห่างในการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับความร้อน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.2 ระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ตรวจจับสำหรับพื้นผิวเอียง

ระยะห่างที่วัดในแนวนอนระหว่างอุปกรณ์ตรวจจับความร้อนสำหรับพื้นผิวเอียงตามแนวยาว ต้องเป็นดังนี้

2.2.1 ระยะห่างตามแนวยาวที่ขนานไปกับจั่วหลังคา แถวที่บริเวณจั่วหลังคา ต้องห่างกันไม่เกิน 7.20 เมตร

2.2.2 แถวของอุปกรณ์ตรวจจับที่อยู่ล่างสุด (ใกล้ชายคา)ต้องอยู่ห่างไม่เกิน 7.20 เมตร จากผนังหรือฉากกั้นและจากแถวของอุปกรณ์ตรวจจับที่อยู่ใกล้กัน และต้องมีระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ตรวจจับในแถวเดียวกันไม่เกิน 14.40 เมตร

2.2.3 แถวของอุปกรณ์ตรวจจับที่อยู่ระหว่างแถวบนสุดกับแถวที่อยู่ล่างสุด ต้องมีระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ในแถวเดียวกันไม่เกิน 14.40 เมตร และมีระยะห่างระหว่างแถวไม่เกิน 7.20 เมตร (ดูภาพผนวกที่ ก2)

2.3 ระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ตรวจจับสำหรับพื้นที่ปิด

พื้นที่ปิดเช่น ห้องเพดาน ห้องใต้หลังคา หรือช่องใต้พื้นยก ที่ต้องมีการป้องกันและต้องเตรียมทางเข้าพื้นที่เพื่อการบำรุงรักษาไว้ด้วย ในที่ซึ่งต้องมีบุคคลเข้าไปบำรุงรักษา ทางเข้าต้องมีขนาดไม่น้อยกว่า 600 x 600 มิลลิเมตร ระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ตรวจจับให้เป็นไปตามที่กำหนดในข้อ 2.1, 2.2, 2.4 และ 2.5

2.4 ระยะห่างจากผนัง ผนังกั้น หรือหัวจ่ายลม

2.4.1 อุปกรณ์ตรวจจับสำหรับแถวที่อยู่ใกล้ผนังหรือผนังกั้น (ที่สูงจากเพดานไม่เกิน 300 มิลลิเมตร) ต้องห่างจากผนังหรือผนังกั้นไม่เกิน 3.60 เมตร แต่ไม่น้อยกว่า 300 มิลลิเมตร (ดูภาพผนวกที่ ก1 (ก))

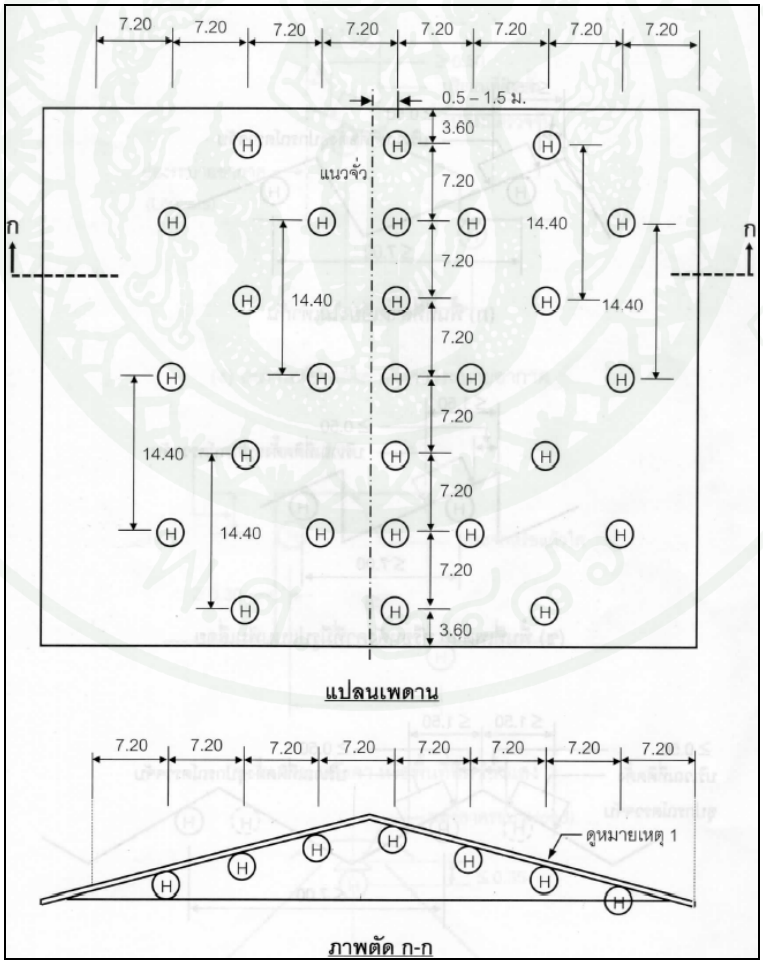
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.4.2 สำหรับช่องทางเดิน ระยะห่างระหว่างผนังปลายทางกับอุปกรณ์ตรวจจับที่ใกล้ที่สุดต้องไม่เกิน 4.75 เมตร (ดูภาพผนวกที่ ก1 (ข))

2.4.3 อุปกรณ์ตรวจจับต้องติดตั้งห่างจากหัวจ่ายลมไม่น้อยกว่า 400 มิลลิเมตร

3. การลดระยะห่าง

ระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ตรวจจับความร้อนทุกชนิด อาจจำเป็นต้องลดลงเนื่องจากพื้นที่ป้องกันมีโครงสร้างพิเศษเช่น เพดานของพื้นที่ป้องกันถูกคั่นเป็นช่วงๆ ด้วยคาน ท่อลมระบบปรับอากาศ หรือสิ่งอื่นใดที่มีลักษณะเดียวกัน โดยยื่นลงมาเกินกว่า 300 มิลลิเมตร ต้องลดระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ตรวจจับในแนวตั้งฉากกับแนวคั่นลงร้อยละ 30



ภาพผนวกที่ ก2 แบบตัวอย่างการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับความร้อน สำหรับพื้นผิวเอียง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก ข

ข้อแนะนำในการเลือกอุปกรณ์ตรวจจับ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1. คำนำ

ข้อแนะนำนี้ ควรใช้ประกอบกับคุณสมบัติและการทำงานของอุปกรณ์ตรวจจับแต่ละชนิด เพื่อการป้องกันชีวิตและทรัพย์สิน ระบบตรวจจับและแจ้งเหตุ จะต้องเริ่มทำงานก่อนที่ช่องทางหนีไฟจะเต็มไปด้วยควันไฟจนทำให้ผู้ที่ติดอยู่ภายในมองหาทางหนีออกจากอาคารได้ยาก โดยเฉพาะพื้นที่ที่อันตรายในอาคารจะต้องได้รับการพิจารณาเห็นพิเศษ

2. ข้อควรพิจารณาในการเลือกใช้อุปกรณ์ตรวจจับ

อุปกรณ์ตรวจจับเพลิงไหม้โดยทั่วไปจะได้รับออกแบบและผลิตขึ้น เพื่อให้สามารถตรวจจับ คุณลักษณะของเพลิงไหม้ได้ ตั้งแต่หนึ่งแบบหรือมากกว่าได้แก่ ความร้อน ควัน และเปลวเพลิง อย่างไรก็ตามไม่มีอุปกรณ์ตรวจจับชนิดใดเพียงชนิดเดียว ที่สามารถตรวจจับเพลิงได้ไหม้ได้ในทุกกรณี ดังนั้นการเลือกใช้อุปกรณ์ตรวจจับจึงขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมในแต่ละสถานที่ด้วยและบางสถานที่อาจจะต้องใช้อุปกรณ์ตรวจจับหลายแบบผสมกันเพื่อให้การตรวจจับมีประสิทธิภาพสูงสุด

สิ่งที่ต้องพิจารณาต่อไปนี้คือ คุณสมบัติการติดไฟของวัสดุ ขั้นตอนที่จะสามารถติดไฟ ของตัวอาคารในแต่ละส่วน และการออกแบบของตัวอาคาร นอกจากนั้นยังต้องพิจารณาถึง ผลเสียหายต่ออาคารเนื่องจากความร้อน ควัน และน้ำในการดับไฟด้วย

ตัวอย่างพื้นที่ที่ต้องพิจารณาเป็นพิเศษ พร้อมทั้งชนิดอุปกรณ์ตรวจจับที่แนะนำให้ใช้

(ก) พื้นที่หลับนอน	อุปกรณ์ตรวจจับควัน
(ข) ห้องซักรีด ห้องน้ำ	อุปกรณ์ตรวจจับความร้อน
(ค) ห้องครัว	อุปกรณ์ตรวจจับความร้อน
(ง) ปล่องดูดควันจากครัว	อุปกรณ์ตรวจจับความร้อน
(จ) ช่องเปิดแนวดิ่งของระบบท่อต่างๆ	อุปกรณ์ตรวจจับควัน
(ฉ) พื้นที่ที่มีเครื่องฆ่าเชื้อโรคด้วยไอน้ำ	อุปกรณ์ตรวจจับความร้อน
(ช) ห้องเย็น ห้องแช่แข็ง	อุปกรณ์ตรวจจับความร้อนหรือ อุปกรณ์ตรวจจับควันหรือเปลวเพลิง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

(ซ) ห้องเก็บสารไวไฟชนิดเหลว	อุปกรณ์ตรวจจับความร้อนหรืออุปกรณ์ตรวจจับควันหรือเปลวเพลิง
(ฌ)ที่จอดรถ	อุปกรณ์ตรวจจับความร้อน
(ญ)ท่อลมระบบปรับอากาศ	อุปกรณ์ตรวจจับควัน
(ฎ)ห้องพ่นสี	อุปกรณ์ตรวจจับความร้อนหรืออุปกรณ์ตรวจจับควันหรือเปลวเพลิง
(ฏ)ห้องหม้อน้ำ หรือห้องเตาหลอม	อุปกรณ์ตรวจจับความร้อน

ระบบตรวจจับเพลิงไหม้โดยอัตโนมัติ ต้องมีอุปกรณ์ตรวจจับที่สามารถแยกความแตกต่างระหว่างเพลิงไหม้จริงกับสภาวะปกติภายในอาคารได้ และต้องเหมาะสมกับสภาพของการเกิดเพลิงไหม้ต่างๆ เพื่อให้การเตือนภัยที่เชื่อถือได้แต่เนิ่นๆ เนื่องจากอุปกรณ์ตรวจจับแต่ละชนิดสามารถตรวจจับการเกิดเพลิงไหม้ได้ในขั้นตอนที่แตกต่างกันออกไปดังนี้

อุปกรณ์ตรวจจับควัน ตรวจจับเพลิงไหม้ที่เกิดจากการคุตัวช้าๆ ของเถ้าความร้อนได้เร็วกว่าอุปกรณ์ชนิดอื่นๆ ส่วนอุปกรณ์ตรวจจับความร้อน ตรวจจับเพลิงไหม้ที่เกิดจากความร้อนสูงอย่างเร็วและมีควันน้อยได้เร็วกว่าอุปกรณ์ตรวจจับควัน และอุปกรณ์ตรวจจับเปลวเพลิง ตรวจจับเพลิงไหม้ที่เกิดจากการลุกไหม้ของเชื้อเพลิงเหลวได้เร็วที่สุด

โดยทั่วไปอุปกรณ์ตรวจจับควันสามารถตรวจจับเพลิงไหม้ได้ก่อนที่อุปกรณ์ตรวจจับความร้อนจะเริ่มทำงาน แต่จากตัวอย่างข้างต้น การเลือกใช้อุปกรณ์จะต้องพิจารณาถึงตำแหน่งติดตั้งด้วย

สำหรับอาคารโดยทั่วไป อุปกรณ์ตรวจจับความร้อนและอุปกรณ์ตรวจจับควัน เป็นอุปกรณ์ที่เหมาะสมเพียงพอ อุปกรณ์ตรวจจับเปลวเพลิงเหมาะที่ใช้เป็นอุปกรณ์เสริมจากอุปกรณ์ตรวจจับความร้อนและอุปกรณ์ตรวจจับควันสำหรับห้องซึ่งมีเพดานสูง โดยจะต้องไม่มีสิ่งกีดขวางหรือบดบังใดๆ ต่อการตรวจจับเปลวเพลิง นอกจากนั้นอุปกรณ์ตรวจจับเปลวเพลิงยังเหมาะที่จะใช้กับพื้นที่กองพัสดุภายนอกอาคาร และโรงงานเคมีที่มีการใช้ของเหลวไวไฟ

เนื่องจากอุปกรณ์ตรวจจับทุกชนิดนอกจากจะไวต่อการตรวจจับเพลิงไหม้แล้ว ยังอาจไวต่อการตรวจจับในสิ่งอื่นใดที่เสมือนว่าเป็นเพลิงไหม้ด้วยเช่นกัน ดังนั้นนอกจากจะต้องพิจารณาเลือกใช้ชนิดของอุปกรณ์ตรวจจับแล้วยังต้องพิจารณาถึงตำแหน่งติดตั้งด้วย ทั้งนี้เพื่อหลีกเลี่ยงหรือลดการทำงานผิดพลาดของอุปกรณ์ตรวจจับให้มากที่สุด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3. อุปกรณ์ตรวจจับความร้อน

อุปกรณ์ตรวจจับความร้อนแบ่งออกได้ 2 ชนิดได้แก่ อุปกรณ์ตรวจจับความร้อนชนิดจุดซึ่งจะสามารถตรวจจับความร้อนจากไอความร้อนได้ทันทีที่เกิดขึ้นในรัศมีทำงานของอุปกรณ์ และอุปกรณ์ตรวจจับความร้อนชนิดเส้นซึ้งสามารถตรวจจับความร้อนจากไอความร้อนที่เกิดขึ้นในแนวตลอดความยาวของอุปกรณ์ตรวจจับ ในแต่ละชนิดของอุปกรณ์ตรวจจับความร้อน ยังสามารถแบ่งตามคุณสมบัติของส่วนตรวจจับได้เป็นสองแบบดังนี้

(ก) ส่วนตรวจจับแบบอัตราการเพิ่มของอุณหภูมิ จะทำงานเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว

(ข) ส่วนตรวจจับแบบอุณหภูมิคงที่ จะทำงานเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นถึงจุดที่กำหนด

อุปกรณ์ตรวจจับความร้อนแบบอัตราการเพิ่มของอุณหภูมิ สามารถทำงานตรวจจับเพลิงไหม้ได้เร็วกว่าอุปกรณ์ตรวจจับความร้อนแบบอุณหภูมิคงที่ เนื่องจากความสามารถที่ไวต่ออุณหภูมิที่สูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ดังนั้นจึงเหมาะที่จะใช้อุปกรณ์ตรวจจับชนิดนี้กับพื้นที่โดยทั่วไปที่ต้องการป้องกัน ในกรณีที่สภาพแวดล้อมของอาคารไม่เหมาะสมที่จะใช้อุปกรณ์ตรวจจับความร้อนแบบอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ เนื่องจากสถานที่นั้นมีการเพิ่มอุณหภูมิอย่างรวดเร็วเป็นปกติประจำควรที่จะใช้อุปกรณ์ตรวจจับความร้อนแบบอุณหภูมิคงที่ติดตั้งแทน เพื่อไม่ก่อให้เกิดหรือลดอัตราการแจ้งสัญญาณผิดพลาด

อุปกรณ์ตรวจจับความร้อนใช้ติดตั้งเมื่อพื้นที่นั้นมีเพดานสูงไม่เกิน 4.00 เมตร ดังนั้นนอกจากจะต้องพิจารณาถึงสถานที่ติดตั้ง และความไวในการตรวจจับแล้ว ยังจะต้องพิจารณาถึงชนิดของอุปกรณ์ตรวจจับที่เหมาะสมด้วย อุปกรณ์ตรวจจับความร้อนไม่สมควรนำมาใช้กับสถานที่ที่จะเกิดความเสียหายอย่างมากได้จากสาเหตุเพลิงไหม้เพียงเล็กน้อย เช่น ห้องคอมพิวเตอร์ ห้องควบคุมระบบสื่อสาร เป็นต้น ดังนั้นก่อนตัดสินใจเลือกใช้อุปกรณ์ตรวจจับชนิดใดๆ ควรจะต้องมีการประเมินค่าความเสียหาย อันเกิดจากเพลิงไหม้ก่อนที่อุปกรณ์ตรวจจับความร้อนจะเริ่มทำงาน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ – นามสกุล	นาย ภูษณ แสงเพ็ชร
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 12 สิงหาคม 2520
สถานที่เกิด	จังหวัดเพชรบุรี
ประวัติการศึกษา	วศ.บ. มหาวิทยาลัย ขอนแก่น
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	วิศวกรชำนาญการ
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	สถาบันพัฒนาเทคนิคพลังงาน กรมธุรกิจพลังงาน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์