



ใบรับรองวิทยานิพนธ์  
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย)

ปริญญา

วิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย

โครงการสหวิทยาการระดับบัณฑิตศึกษา

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การศึกษาการป้องกันอัคคีภัยในสถานีไฟฟ้าย่อยของเหมืองแม่เมาะ

Study of Fire Protection in Mae-moh Mine Substation by Fire Dynamic Simulation

นามผู้วิจัย นายชาติร์ กลิ่นอุบล

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

( ผู้ช่วยศาสตราจารย์อภิชาติ แจ่มบำรุง, Ph.D. )

ประธานสาขาวิชา

( รองศาสตราจารย์เสรี เสวตเสรณี, Ph.D. )

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

( รองศาสตราจารย์กัญญา วีระกุล, D.Agr. )

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วัน ..... เดือน ..... พ.ศ. ....

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การศึกษาการป้องกันอัคคีภัยในสถานีไฟฟ้าย่อยของเหมืองแม่เมาะ

Study of Fire Protection in Mae-moh Mine Substation  
by Fire Dynamic Simulation

โดย

นายชาติรี กลิ่นอุบล

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย)

พ.ศ. 2554

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ชาตรี กลิ่นอุบล 2554: การศึกษาการป้องกันอัคคีภัยในสถานีไฟฟ้าย่อยของเหมืองแม่เมาะ  
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย) สาขาวิศวกรรมป้องกัน  
อัคคีภัย โครงการสหวิทยาการระดับบัณฑิตศึกษา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก:  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์อภิชาติ แจ่มบำรุง, Ph.D. 119 หน้า

วิทยานิพนธ์นี้แสดงผลการจำลองพลศาสตร์อัคคีภัยเพื่อใช้ในการออกแบบระบบป้องกัน  
อัคคีภัยในสถานีไฟฟ้าย่อยเหมืองแม่เมาะ ด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลขโดยอาศัยโปรแกรม Fire  
Dynamics Simulator (FDS) ช่วยในการสร้างแบบจำลอง เพื่อศึกษาพฤติกรรมการเกิดเพลิงไหม้  
ของสายไฟฟ้าภายในสถานีไฟฟ้า การกระจายตัวของอุณหภูมิ อัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อน  
ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาจากสถานการณ์ที่เลวร้ายที่สุดที่อาจเกิดขึ้นภายในสถานีไฟฟ้าย่อย คือ  
กรณีเกิดความร้อนบริเวณสายไฟฟ้า และทำให้เกิดเพลิงไหม้ในสถานีไฟฟ้าย่อยซึ่งมีขนาดยาว  
8.0 เมตร กว้าง 5.0 เมตร สูง 3.50 เมตร กำหนดค่าการปลดปล่อยความร้อนของสายไฟที่ใช้มีค่า  
เท่ากับ 120 kW/m<sup>2</sup> การจำลองนี้ใช้น้ำในการดับเพลิงที่เกิดขึ้นภายในสถานีไฟฟ้าย่อย การ  
จำลองแบ่งออกเป็น 2 กรณี เพลิงไหม้สายไฟในบริเวณรางสายไฟฟ้า, เพลิงไหม้สายไฟบริเวณ  
พื้นล่างของตู้ไฟฟ้า

จากการจำลองด้วยโปรแกรมพบว่าจุดวิกฤตที่สุดคือไฟไหม้บริเวณพื้นล่างของตู้ไฟฟ้า  
มีอุณหภูมิสูงถึง 720 °C และค่าอัตราการปลดปล่อยความร้อนที่ 5,000 kW จึงได้ทำการทดลอง  
อีก 3 กรณี คือติดตั้งระบบสปริงเกอร์ที่ค่า K=11.2 จำนวน 4 หัว โดยติดตั้งไปตามแนวยาวของตู้  
ในลักษณะ 1แถว×4หัว, ติดตั้งจำนวน 4 หัวในลักษณะ 2แถว×2หัว และติดตั้งจำนวน 6 หัว  
ในลักษณะ 2แถว×3หัว โดยคิดตามจำนวนพื้นที่ของสถานีไฟฟ้า

ผลจากการศึกษาพบว่า การติดตั้งระบบสปริงเกอร์มีผลต่อการลดอุณหภูมิและค่าอัตรา  
การปลดปล่อยความร้อนในกรณีแรกที่ติดตั้งสปริงเกอร์ในลักษณะ 1แถว×4หัว ทำให้อุณหภูมิลดลงเหลือโดยเฉลี่ยประมาณ 45°C และค่าการปลดปล่อยความร้อนที่ 400 kW โดยประมาณ  
กรณีที่ 2 ที่ติดตั้งสปริงเกอร์ในลักษณะ 2แถว×2หัว อุณหภูมิลดลงเหลือประมาณ 40 °C และ  
ค่าอัตราการปลดปล่อยความร้อนลดลงได้เหลือประมาณ 250 kW ส่วนในกรณีที่ติดตั้งสปริง  
เกอร์ในลักษณะ 2แถว×3หัว สามารถลดอุณหภูมิลงได้เหลือ 22°C และค่าอัตราการปลดปล่อย  
ความร้อนลดลงได้เหลือประมาณ 25 kW

Chartri Klin-ubol 2011: Study of Fire Protection in Mae-moh Mine Substation by Fire Dynamic Simulation. Master of Engineering (Fire Protection Engineering), Major Field: Fire Protection Engineering, Interdisciplinary Graduate Program. Thesis Advisor: Assistant Professor Apichart Chaengbamrung, Ph.D. 119 pages.

This study was carried out using a fire dynamics simulation for a design of fire protection of a substation at Mae-Moh mine. By using a numerical method-based program called Fire Dynamics Simulation (FDS), a simulation model was created to see how the fire caught on cables of substation proceeds. The distribution of temperature and the rate of heat release were also investigated. The worst case caused by overheated cables was presented in the fire event of the substation with a size of 8.0 m x 5.0 m x 3.5 m (LxWxH). Heat release of cables was rated at 120 kW/m<sup>2</sup>. Water was used as fire hydrant for the event. The occurrence was divided into 2 cases: Cable caught fire in power cable rail and cable caught fire in sub-floor of the electrical house.

It was revealed by the simulation model that the most critical area is the sub-floor of electrical house with the temperature of 720 °C and heat release of 5000 kW. The model was further extended over 3 cases – to provide sprinklers with a K value of 11.2 in a pattern of 1 row x 4 sprinklers, 2 rows x 2 sprinklers as well as 2 rows x 3 sprinklers for the electrical house lengthwise and overall area.

It were found that sprinklers could significantly help reducing temperature and heat release of the fire event. In the case of being equipped with a singer row of 4 sprinklers, the temperature and heat release were lowered to approximately 45 °C on average and 400 kW, respectively. The slightly better situation was achieved by using a configuration of 2 rows x 2 sprinklers, resulting in the maximum temperature and heat release being reduced to approximately 40 °C and 250 kW respectively. By using and arrangement of 2 rows x 3 sprinklers, the temperature was brought to roughly 22 °C and heat release was decreased to approximately 25 kW.

---

Student's signature

---

Thesis Advisor's signature

## กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภิชาติ แจ่มบำรุง กรรมการที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.เสวี เสวตเศรณี ประธานโครงการ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา ชี้แนะแนวทาง และในการทำวิทยานิพนธ์ให้กับข้าพเจ้า จนทำให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ คุณแม่บุญมา กลิ่นอุบล ครอบครัว ภรรยา และบุตรที่คอยเป็นกำลังใจ และให้ความช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้มาโดยตลอด

ขอขอบคุณนายชน โชน สุขจิตต์ ที่สนับสนุนข้อมูลและช่วยเหลือระหว่างที่ข้าพเจ้ากำลัง ทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ชาตรี กลิ่นอุบล  
พฤษภาคม 2554

## สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	5
อุปกรณ์และวิธีการ	42
อุปกรณ์	42
วิธีการ	43
ผลและวิจารณ์	56
สรุปและข้อเสนอแนะ	71
สรุป	71
ข้อเสนอแนะ	72
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	73
ภาคผนวก	75
ภาคผนวก ก Substation Drawing	76
ภาคผนวก ข ชุดคำสั่งของสปริงเกอร์ที่ติดตั้ง 4 หัวและ6 หัว	80
ภาคผนวก ค ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม (Flowchart)	104
ภาคผนวก ง ข้อมูลสปริงเกอร์ และมาตรฐาน NFPA	107
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	119

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	อัตราการเผาไหม้สูงสุดต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ (Max Burning Flux)	7
2	ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน	16
3	ผลกระทบของความร้อนจากการแผ่รังสีที่ขนาดต่าง ๆ	17
4	สัมประสิทธิ์การลามไฟ (Growth Factor)	20
5	สัมประสิทธิ์การลามไฟในลักษณะการใช้งาน	20
6	แสดงอัตราการลุกไหม้ของไฟ แบ่งตามการเผาไหม้ และเงื่อนไขของไฟ	30
7	การกำหนดค่าสูงสุดของระยะห่างระหว่างหัวกระจายน้ำดับเพลิง และพื้นที่ ป้องกันหัวกระจายน้ำดับเพลิง	49
ตารางผนวกที่		หน้า
ค1	ขั้นตอนการใช้โปรแกรม FDS	105
ค2	สถาปัตยกรรมของโปรแกรม FDS	106

## สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	กราฟแสดงอัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อน	8
2	แสดงองค์ประกอบของการเกิดเพลิงไหม้	10
3	การถ่ายเทความร้อนของเชื้อเพลิง	13
4	แสดงการพัฒนาของไฟในพื้นที่ปิดล้อม	18
5	แสดงการพัฒนาของไฟแบบ Fully Developed	21
6	ภาพแสดงการดับเพลิงด้วย Spray Water	31
7	สถานีไฟฟ้าแบบกลางแจ้ง (Outdoor Substation)	32
8	สถานีไฟฟ้าแบบกลางแจ้ง (Outdoor Substation)	32
9	สถานีไฟฟ้าแบบในอาคาร (Indoor Substation)	33
10	สถานีไฟฟ้าแบบเคลื่อนที่ได้ (Portable Substation)	33
11	สถานีไฟฟ้าแบบเคลื่อนที่ได้ (Portable Substation) อยู่รวมกันหลายชุด	34
12	สถานีไฟฟ้าแบบเคลื่อนที่ได้ (Portable Substation) อยู่รวมกันหลายชุด	34
13	แสดงอุปกรณ์ภายในของสถานีไฟฟ้าย่อย (Substation)	35
14	สายไฟภายในสถานีไฟฟ้าย่อย (Substation)	36
15	a) ภาพด้านหน้าของโครงที่ใช้วางสายไฟฟ้าในการทดสอบ b) การติดตั้งสายไฟฟ้า 10 เส้นบนตระแกรง	36
16	a) ตำแหน่งของตัวเผาไหม้ได้สายไฟฟ้า b) ภาพการเผาไหม้สายไฟฟ้า	38
17	กราฟแสดงการเปรียบเทียบอัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อน	39
18	แสดงลักษณะสถานีไฟฟ้าย่อย (Substation) ที่ใช้ในเหมืองแม่เมาะ	44
19	แสดงหน้าต่างการกำหนดขนาดกริดที่ใช้ในโปรแกรม Pyrosim	45
20	แสดงภาพกริดของสถานีไฟฟ้าย่อย ขนาดกริด 0.1 เมตร จำนวน Cell 140,000	46
21	แสดงภาพกริดของสถานีไฟฟ้าย่อย ตู้ไฟฟ้า เทอร์โมคอปเปิล และ รางสายไฟ	47
22	Miscellaneous Storage and Commodity Classes I through IV Storage	48

### สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
23	แสดงตำแหน่ง การติดตั้งหัวสปริงเกลอร์ 4 หัว (1แถว×4หัว) ในสถานีไฟฟ้า ย่อยที่ทำใน Pyrosim	50
24	แสดงตำแหน่ง การติดตั้งหัวสปริงเกลอร์ 4 หัว (2แถว×2หัว) ในสถานีไฟฟ้า ย่อยที่ทำใน Pyrosim	52
25	แสดงตำแหน่ง การติดตั้งหัวสปริงเกลอร์ 6 หัว (2แถว×3หัว) ในสถานีไฟฟ้า ย่อยที่ทำใน Pyrosim	53
26	แสดงตำแหน่งอุณหภูมิที่แกน $X = 4.0, Y = 2.5, Z = 2.0$ ที่เวลา 300 และ 900 วินาที	56
27	กราฟ แสดงอุณหภูมิและค่าปลดปล่อยความร้อน (HRR) ของเพลิงไหม้ที่ราง สายไฟ (Cable Tray)	57
28	แสดงตำแหน่งอุณหภูมิที่แกน $X = 4.0, Y = 2.5, Z = 2.0$ ที่เวลา 300 และ 900 วินาที	59
29	กราฟ แสดงอุณหภูมิและค่าปลดปล่อยความร้อน (HRR) ของเพลิงไหม้ที่ พื้นล่างตู้ไฟฟ้า (Cubicle)	60
30	แสดงตำแหน่งอุณหภูมิที่แกน $X = 4.0, Y = 2.5, Z = 2.0$ ที่เวลา 300 และ 900 วินาที กรณีติดตั้งสปริงเกลอร์ 4 หัว (1แถว×4หัว)	62
31	กราฟ แสดงอุณหภูมิและค่าปลดปล่อยความร้อน (HRR) ของเพลิงไหม้ที่พื้น ล่างตู้ไฟฟ้า (Cubicle) กรณีติดตั้งสปริงเกลอร์ 4 หัว (1แถว×4หัว)	63
32	แสดงตำแหน่งอุณหภูมิที่แกน $X = 4.0, Y = 2.5, Z = 2.0$ ที่เวลา 300 และ 900 วินาที กรณีติดตั้งสปริงเกลอร์ 4 หัว (2แถว×2หัว)	65
33	กราฟ แสดงอุณหภูมิและค่าปลดปล่อยความร้อน (HRR) ของเพลิงไหม้ที่พื้น ล่างตู้ไฟฟ้า (Cubicle) กรณีติดตั้งสปริงเกลอร์ 4 หัว (2แถว×2หัว)	66
34	แสดงตำแหน่งอุณหภูมิที่แกน $X = 4.0, Y = 2.5, Z = 2.0$ ที่เวลา 300 และ 900 วินาที กรณีติดตั้งสปริงเกลอร์ 6 หัว (2แถว×3หัว)	68
35	กราฟ แสดงอุณหภูมิและค่าปลดปล่อยความร้อน (HRR) ของเพลิงไหม้ที่พื้น ล่างตู้ไฟฟ้า (Cubicle) กรณีติดตั้งสปริงเกลอร์ 6 หัว (2แถว×3หัว)	69

## การศึกษาการป้องกันอัคคีภัยในสถานีไฟฟ้าย่อยของเหมืองแม่เมาะ

### Study of Fire Protection in Mea-Moh Mine Substation

#### by Fire Dynamic Simulation

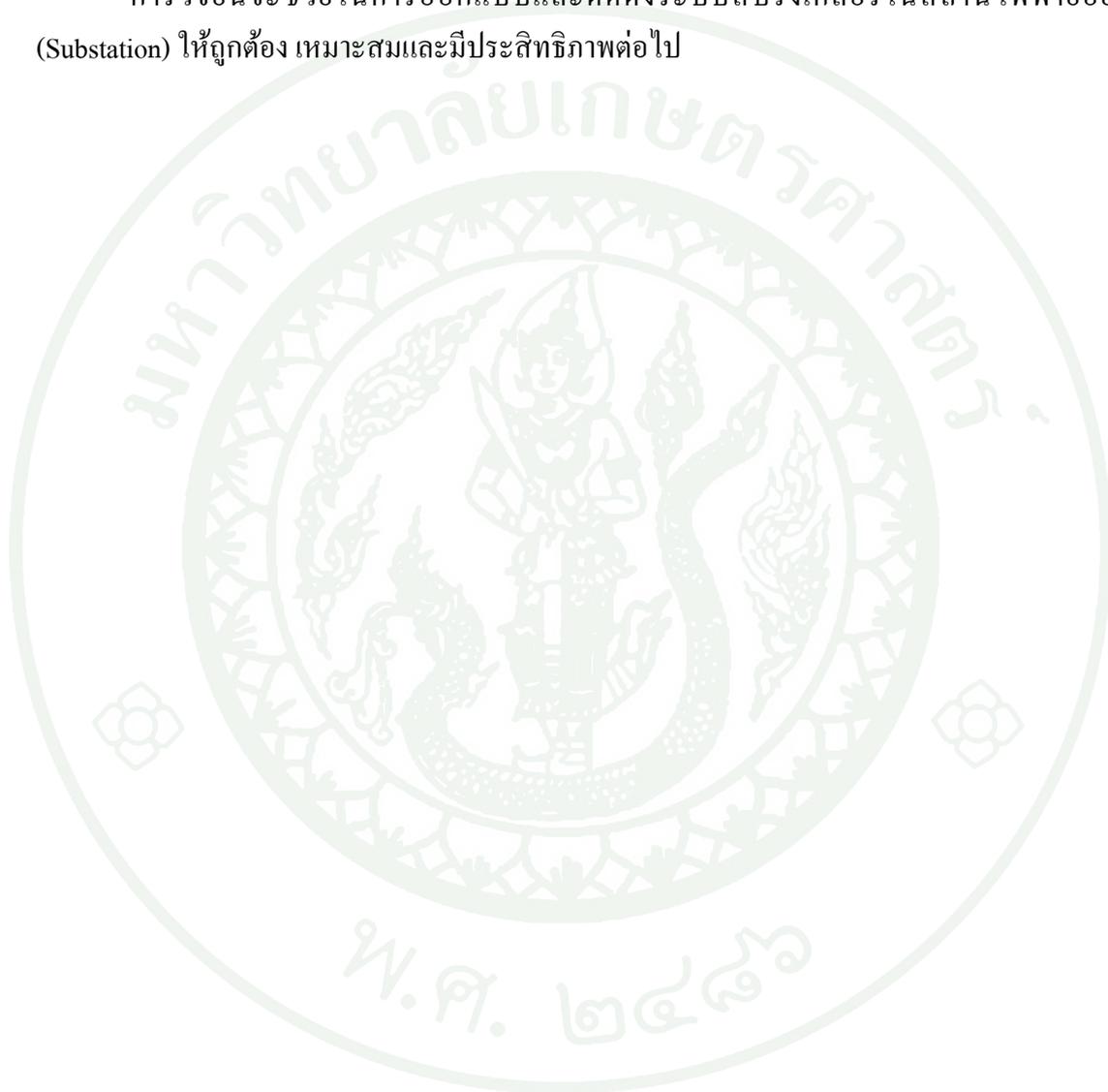
#### คำนำ

ปัจจุบันที่เหมืองแม่เมาะ อ.แม่เมาะ จ.ลำปาง การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) มีสถานีไฟฟ้าย่อย (Substation) เพื่อทำหน้าที่เป็นตัวรับและจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับ ระบบสายพานลำเลียงถ่านหินลิกไนต์ (Lignite Handling System) อาคารควบคุมระบบสายพานลำเลียงถ่านหิน (Conveyor Control Center) บั๊มน้ำขนาดต่างๆ จำนวนมากในบ่อรับน้ำ (Sump) รวมทั้งอุปกรณ์เสริมต่างๆ ที่เป็นงานสนับสนุนงานขนส่งถ่านหินลิกไนต์ แต่ในสถานีไฟฟ้าย่อย (Substation) กลับมีแต่เพียงถังดับเพลิงแบบเคมีแห้ง อาจไม่เพียงพอต่อเพลิงไหม้ที่จะเกิดขึ้น และอาจลุกลามไปยังอาคารอื่น หรือสถานีย่อย (Substation) ที่อยู่ใกล้เคียง เพราะมีสายไฟอยู่เป็นจำนวนมาก สถานีไฟฟ้าย่อยดังกล่าวไม่มีการติดตั้งระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิงอัตโนมัติ (Automatic Sprinkler) ดังนั้น หากเกิดเพลิงไหม้อาจจะทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ อุปกรณ์ควบคุมที่อยู่ในตู้ ภายในสถานีย่อยเสียหายได้ และลุกลามไปยังสถานีย่อยอื่นๆ ที่วางอยู่ใกล้เคียงกัน โดยหัวสปริงเกลอร์สามารถควบคุมการลุกลามของไฟเอาไว้ได้ หัวสปริงเกลอร์จะทำงานโดยรับความร้อนจากแหล่งที่เกิดเพลิงไหม้ และเมื่อหัวสปริงเกลอร์ตรวจจับความร้อนในปริมาณที่พอเพียง จะทำให้ของเหลวที่บรรจุในกระเปาะแก้วขยายตัวและดันกระเปาะแก้วแตก หัวสปริงเกลอร์จะกระจายน้ำเพื่อดับเพลิงไม่ให้ลุกลามต่อไป

ในการวิจัยครั้งนี้จะต้องทำการจำลองสถานีไฟฟ้าย่อย (Substation) โดยใช้โปรแกรม Pyrosim แล้วทำการติดตั้งระบบหัวกระจายน้ำอัตโนมัติ โดยอ้างอิงมาตรฐาน NFPA 13 Standard for the installation of Sprinkler System 2006 Edition จะใช้ Program Fire Dynamics Simulator (FDS) and Smoke View ของสถาบัน National Institute of Standard and Technology (NIST) เพื่อศึกษาพฤติกรรมของไฟ จากนั้นเลือกบริเวณรางสายไฟ (Cable Tray) ซึ่งเป็นที่มีจุดต่อของสายไฟ และบริเวณที่เคยเกิดเพลิงไหม้มาแล้วคือ ขดลวดสายไฟของหม้อแปลงแรงดัน (Voltage Transformer) ของสถานีไฟฟ้าย่อย มาจำลองสถานการณ์ เพื่อดูว่ากรณีที่เกิดเหตุเพลิงไหม้แล้วไม่มีระบบสปริงเกลอร์ อุณหภูมิและอัตราการปลดปล่อยความร้อน (Heat Release Rate) การลุกลามของ

ไฟไปยังส่วนต่างๆ ในสถานีไฟฟ้าย่อยใช้เวลาเท่าใด และเมื่อมีการติดตั้งระบบสปริงเกลอร์จะช่วยควบคุมอุณหภูมิ อัตราการปลดปล่อยความร้อน และการลุกลามของไฟในสถานีไฟฟ้าย่อยได้อย่างไร

การวิจัยนี้จะช่วยในการออกแบบและติดตั้งระบบสปริงเกลอร์ในสถานีไฟฟ้าย่อย (Substation) ให้ถูกต้อง เหมาะสมและมีประสิทธิภาพต่อไป



## วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาและวิเคราะห์การกระจายตัวของอุณหภูมิ และอัตราการปลดปล่อยความร้อนในสถานีไฟฟ้าย่อย เมื่อเกิดเพลิงไหม้
2. เพื่อแสดงให้เห็นว่าเมื่อติดตั้งระบบสปริงเกอร์จะช่วยลดอุณหภูมิ และอัตราการปลดปล่อยความร้อนในสถานีไฟฟ้าย่อย
3. เพื่อเสนอแนวทางการป้องกันอัคคีภัยโดยติดตั้งระบบสปริงเกอร์ในสถานีไฟฟ้าย่อยที่เหมาะสม

## ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถใช้โปรแกรม FDS ในการจำลองเหตุเพลิงไหม้ในสถานีไฟฟ้าย่อยแบบต่าง ๆ
2. ทำให้ทราบถึงพฤติกรรมการเกิดเพลิงไหม้ในสถานีไฟฟ้าย่อย รวมถึงหาแนวทางป้องกัน
3. สามารถนำผลที่ได้จากการศึกษาระยะเวลา อุณหภูมิ ปริมาณการเปลี่ยนแปลงของอัตราการปลดปล่อยความร้อนไปประกอบการพิจารณาติดตั้งสปริงเกอร์ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

## ขอบเขตการศึกษา

1. ใช้โปรแกรม Fire Dynamic Simulator (FDS) วิเคราะห์ปัญหาเพื่อป้องกันการเกิดเพลิงไหม้ของสถานีไฟฟ้าย่อย
2. กำหนดให้แหล่งต้นเพลิงเกิดขึ้นในรางเคเบิลสายไฟ และบริเวณของตู้ไฟฟ้าติดกับพื้นของสถานีไฟฟ้าย่อย

3. การวิเคราะห์จำกัดด้วยแบบจำลอง โดยการใส่คอมพิวเตอร์เท่านั้น ไม่มีการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

4. การสร้างแบบจำลองพลศาสตร์อวกาศในงานวิจัยนี้ ข้อมูลต่าง ๆ ในการสร้างแบบจำลองมาจากฐานข้อมูลของโปรแกรม FDS



## การตรวจเอกสาร

### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 1. แบบจำลองเพลิงไหม้พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณโดยโปรแกรม FDS (Fire Dynamics Simulator)

National Institute of Standards and Technology หรือ NIST ได้พัฒนาโปรแกรมพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ(Computational Fluid Dynamics ,CFD) ตามมาตรฐาน ASTM E 1355 ขึ้นเพื่อจำลองการไหลของเพลิง ซึ่งถูกเรียกชื่อว่าโปรแกรม FDS (Fire Dynamics Simulator) โดยปัจจุบันนี้ได้พัฒนาเป็น รุ่นที่ 5

##### 1.1 แบบจำลองการเคลื่อนที่ของของไหล (Hydrodynamic Model)

โปรแกรม FDS (Fire Dynamics Simulator) ใช้ระเบียบวิธีปริมาตรจำกัด (finite volume method) เพื่อแก้สมการการเคลื่อนที่ และ สมการพลังงานของของไหล ในสภาวะการไหลแบบความเร็วต่ำ (Low Much Speed) แสดงในสมการ Navier-Stokes equations ดังนี้

สมการอนุรักษ์มวล (Conservation of Mass)

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot \rho u = 0 \quad (1)$$

สมการอนุรักษ์โมเมนตัม (Conservation of Momentum)

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho u) + \nabla \cdot \rho u u + \nabla p = \rho f + \nabla \cdot \tau_{ij} \quad (2)$$

สมการอนุรักษ์พลังงาน (Conservation of Energy)

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho h) + \nabla \cdot \rho h u = \frac{Dp}{Dt} + \dot{q}''' - \nabla \cdot q + \Phi \quad (3)$$

สมการอนุรักษ์สปีชีส์ (Conservation of Species)

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho Y_i) + \nabla \cdot \rho Y_i u = \nabla \cdot \rho D_i \nabla Y_i + \dot{m}_i''' \quad (4)$$

## 1.2 แบบจำลองการไหลสภาวะแบบปั่นป่วน (Turbulent Model)

การไหลของของไหลในเหตุอค์กักจะเป็นการไหลแบบปั่นป่วน ซึ่งโปรแกรม FDS ใช้ระเบียบวิธี Large Eddy Simulation (LES) โดยใช้ Subgrid scale model ของ Smagorinsky

## 1.3 แบบจำลองการเผาไหม้ (Combustion Model)

โปรแกรม FDS (Fire Dynamics Simulator) มีข้อจำกัดจำลองพฤติกรรมของการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง และ อากาศ จึงสมมุติฐานว่าอัตราการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงกับอากาศถูกควบคุมโดยอัตราการที่เชื้อเพลิงกับอากาศเข้าผสมกัน (mixing controlled) ทันทีที่เชื้อเพลิงกับอากาศเข้าผสมกัน เชื้อเพลิงจะทำปฏิกิริยากับอากาศอย่างรวดเร็ว (infinitely fast chemical reaction) ได้แก่อผลผลิตกักการเผาไหม้ที่เกิดจากการเผาไหม้สมบูรณ์

## 2. อัตราการปล่อยพลังงานความร้อน (Heat Release Rate)

อัตราการปล่อยพลังงานความร้อน (Heat Release Rate) ของการเผาไหม้สารต่อหนึ่งเวลาที่ออกมาจากการลุกไหม้ ซึ่งขึ้นอยู่กับโครงสร้างทางเคมี ปริมาณอากาศที่เติมเข้ากองเพลิง และ สถานที่ที่เชื้อเพลิงลุกไหม้อยู่ในพื้นที่เปิดหรือปิด สมการของอัตราการปล่อยพลังงานความร้อน (Heat Release Rate) คือ

$$\dot{Q} = \dot{m}''_f A \chi \Delta H_c \quad (5)$$

$\dot{Q}$	=	อัตราการปล่อยพลังงานความร้อน, kW
$\dot{m}''_f$	=	อัตราการเผาไหม้ต่อพื้นที่สูงสุด, g / m <sup>2</sup> -s
$\chi$	=	ประสิทธิภาพการเผาไหม้
$\Delta H_c$	=	ความร้อนจริงของการเผาไหม้, kJ / g
$A$	=	พื้นที่หน้าตัดเชื้อเพลิง, m <sup>2</sup>

ในการคำนวณหาอัตราการปล่อยพลังงานความร้อน (Heat Release Rate) ที่ถูกต้องดังสมการที่ (5) นั้น ต้องอาศัยข้อมูลจากห้องทดลองของนักวิจัยต่างๆ โดยงานวิจัยของ Tawarson (1995) ได้ทดลองเผาวัสดุเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ เพื่อเก็บข้อมูลของค่าอัตราการเผาไหม้สูงสุดต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ (Maximum burning flux) ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 อัตราการเผาไหม้สูงสุดต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ (Maximum burning flux)

เชื้อเพลิง	ฟลักซ์การเผาไหม้สูงสุด $m''f$ (g/m <sup>2</sup> .s)
Liquefied propane	100-130
Liquefied natural gas	80-100
Benzene	90
Butane	80
Hexane	70-80
JP-4	50-70
Heptane	65-75
Gasoline	50-60
Methanol	22
Polymethyl methacrylate	28
Polyethylene	26
Flexible polyurethane foam	21-27
Rigid polyurethane foam	22-25
Polyvinyl chloride	16

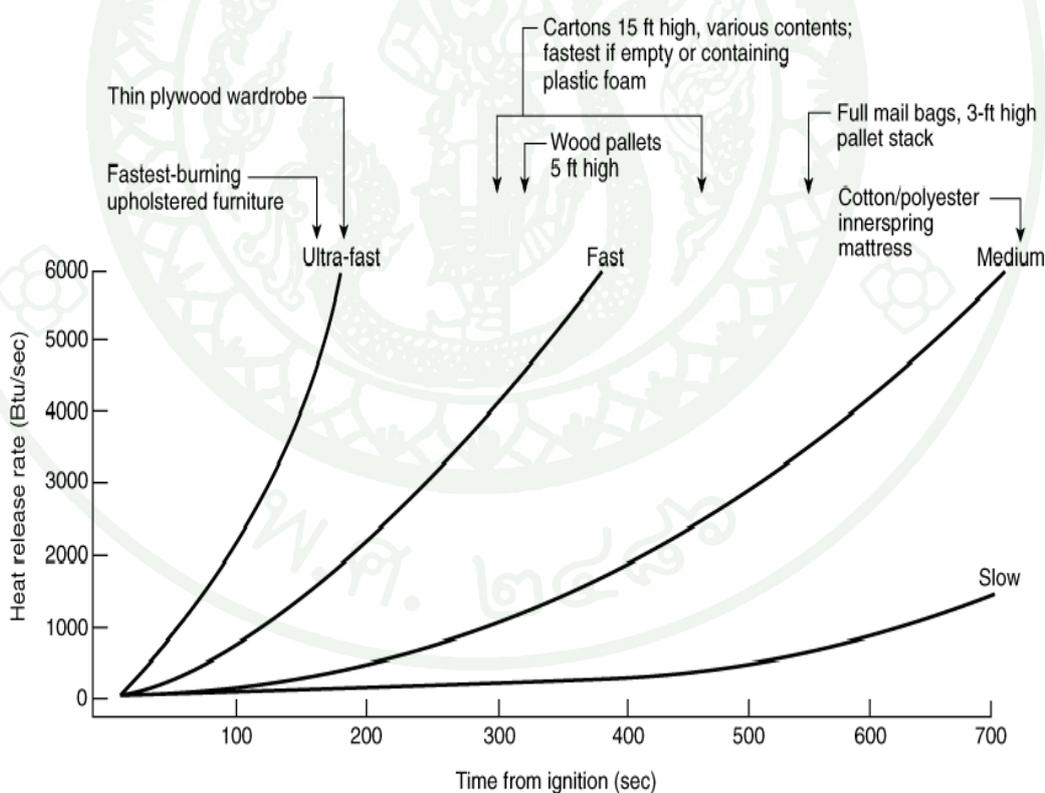
ที่มา: Tawarson (1995)

การหาอัตราการปล่อยพลังงานความร้อน (Heat Release Rate) ซึ่งได้จากพลังงานความร้อนจากการเผาไหม้ (Heat of Combustion) โดยตรงนั้น ใช้กับการเผาไหม้แบบคงที่ (Steady State) แต่ในเหตุอัคคีภัยที่เกิดขึ้นจริงนั้น อัตราการปล่อยพลังงานความร้อน (Heat Release Rate) ของเชื้อเพลิงจะแปรเปลี่ยนตามเวลา (Time Dependent Fires) ซึ่ง Evan (1995) ได้ศึกษาวิจัยการแปรเปลี่ยนนี้ โดยเขียนสมการซึ่งเรียกว่า “t – squared” ได้ ดังนี้

$$\dot{Q} = \alpha \cdot t^2 \quad (6)$$

- $\dot{Q}$  = ค่าพิศักการคายความร้อน, kW  
 $t$  = เวลา, sec  
 $\alpha$  = ค่าสัมประสิทธิ์การลามไฟ (Growth factor) ของเชื้อเพลิง  
 แต่ละประเภท, kW/sec<sup>2</sup>

NFPA 204 (2002) ได้แนะนำค่าสัมประสิทธิ์การลามไฟ (Growth factor) โดยแบ่งประเภทการพัฒนาของเชื้อเพลิงเป็น 4 ชั้นคือ 1. รวดเร็วมาก (Ultra-fast) 2. รวดเร็ว (Fast) 3. ปานกลาง (Medium) และ 4. ช้า (Slow) ซึ่งให้ค่าสัมประสิทธิ์การลามไฟที่แตกต่างกันโดยทำการทดลองที่อัตราการปล่อยพลังงานความร้อน (Heat Release Rate) เท่ากับ 1,055 kW และ ภาพที่ 1 แสดงอัตราการปล่อยพลังงานความร้อน (Heat Release Rate) ของอัตราการลามไฟ (Growth factor) แต่ละประเภทแปรเปลี่ยนตามระยะเวลา



ภาพที่ 1 กราฟแสดงอัตราการปล่อยพลังงานความร้อน

ที่มา: NFPA 204 (2002)

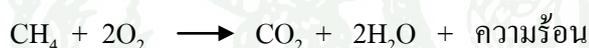
## ทฤษฎีการเกิดเพลิงไหม้

### 1. ความหมายของเพลิงไหม้

เพลิงไหม้เป็นปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) ที่เกิดอย่างรวดเร็วและต่อเนื่อง ในขณะที่เกิดปฏิกิริยานั้นจะมีความร้อนและแสงสว่างเกิดขึ้นด้วย ซึ่งหมายความว่าเพลิงไหม้จะเป็นกระบวนการทางเคมีที่มีการสลายตัวอย่างรวดเร็วของเชื้อเพลิง และมีผลผลิตออกมาเป็นความร้อนและแสงสว่าง

นิยามของปฏิกิริยาออกซิเดชัน คือ ปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดระหว่างสารใด ๆ กับออกซิเจน และทำให้มีความร้อนเกิดขึ้น และความร้อนที่เกิดจากกระบวนการเผาไหม้นี้ จะเป็นแหล่งความร้อนซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้การลุกไหม้ของไฟดำเนินไปอย่างต่อเนื่อง

ตัวอย่างของปฏิกิริยาการเผาไหม้ที่มีมีเทน (CH<sub>4</sub>) เป็นเชื้อเพลิง



ความเร็วในการเกิดปฏิกิริยาของเพลิงไหม้จะอยู่ในระดับกลาง (Mid-Range Reaction) ตัวอย่างของปฏิกิริยาออกซิเดชันที่มีความรวดเร็วในการเกิดปฏิกิริยาคือความรวดเร็วในการเกิดปฏิกิริยาของเพลิงไหม้ คือ ปฏิกิริยาที่เกิดในกระบวนการกัดกร่อน (Corrosion) และตัวอย่างของปฏิกิริยาออกซิเดชันที่มีความเร็วในการเกิดปฏิกิริยาสูงกว่าความรวดเร็วในการเกิดปฏิกิริยาของเพลิงไหม้ คือ การระเบิด

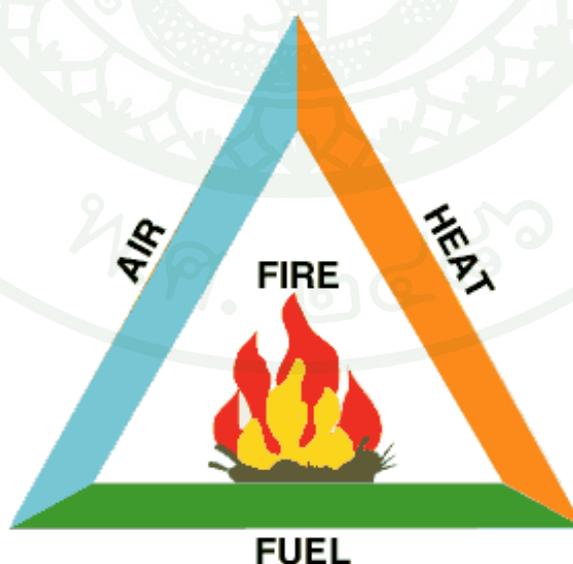
### องค์ประกอบของการเกิดเพลิงไหม้

องค์ประกอบพื้นฐานของการเกิดเพลิงไหม้มี 3 องค์ประกอบ

- 1) เชื้อเพลิง (Fuel)
- 2) พลังงานความร้อนเป็นตัวเริ่มปฏิกิริยา (Heat Caus Variation)
- 3) ออกซิเจนในอากาศ 21% (Oxygen 21% in air)

การที่ไฟสามารถลุกติดได้นั้น จะประกอบไปด้วยองค์ประกอบ 3 ส่วนที่สำคัญ ก็คือ เชื้อเพลิงออกซิเจน และความร้อน นอกจากนี้องค์ประกอบอีกอย่างหนึ่งซึ่งมีความสำคัญในการที่จะทำให้ไฟนั้นลุกติดได้อย่างต่อเนื่องต่อไป คือ ปฏิกิริยาลูกโซ่ (Chain Reaction) ที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้

ทฤษฎีปริซึมสามเหลี่ยมของไฟ (Fire Tetrahedron Theory) เป็นทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้อธิบายหลักการเกิดของไฟ โดยไฟจะต้องประกอบไปด้วยองค์ประกอบที่สำคัญ 3 อย่าง คือ ออกซิเจน เชื้อเพลิง และความร้อน เพื่อให้ติดขึ้นเป็นไฟ และสามารถอธิบายด้วยรูปสามเหลี่ยมง่ายๆ ได้ดังรูปที่ 1 โดยการแทนด้านแต่ละด้านของสามเหลี่ยมด้วยองค์ประกอบแต่ละตัวของไฟ หากสามเหลี่ยมนี้ขาดองค์ประกอบอันใดอันหนึ่งไปทำให้ไม่ครบเป็นรูปสามเหลี่ยม มีความหมายว่าไม่สามารถเกิดการติดไฟขึ้นมาได้นั่นเอง ออกซิเจนที่มีอยู่ในอากาศแล้ว จะทำปฏิกิริยากับเชื้อเพลิงซึ่งโดยมากก็จะเป็นสารที่มีธาตุคาร์บอน (C) หรือไฮโดรเจน (H) เป็นองค์ประกอบ เกิดเป็นการเผาไหม้ติดไฟขึ้นมาได้เมื่อเป็นการทำปฏิกิริยากันที่อุณหภูมิสูง ดังนั้นจึงต้องมีความร้อนหรือแหล่งกำเนิดความร้อนเพื่อทำให้เกิดเป็นไฟที่สมบูรณ์ได้ สำหรับปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะสามารถกระตุ้นตัวเองหรือเกิดได้ต่อเนื่องโดยปราศจากแหล่งความร้อนจากภายนอกจะต้องมีปริมาณเชื้อเพลิงและออกซิเจนอย่างเหมาะสมและทำปฏิกิริยาในอัตราที่สามารถให้พลังงานความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้มากระตุ้นปฏิกิริยาของตัวเองอย่างต่อเนื่องได้ เรียกปฏิกิริยาแบบนี้ว่า ปฏิกิริยาลูกโซ่ (Chain Reaction) ซึ่งองค์ประกอบทั้งหมดก็รวมกันเป็นปริซึมสามเหลี่ยมของไฟ (Fire Tetrahedron) ซึ่งองค์ประกอบทั้งหมดก็รวมกันเป็นปริซึมสามเหลี่ยมของไฟ (Fire Tetrahedron)



ภาพที่ 2 แสดงองค์ประกอบของการเกิดเพลิงไหม้

## 2. การพัฒนา/พฤติกรรมของเพลิงไหม้

เมื่อเกิดการลุกไหม้ การพัฒนาของเพลิงไหม้จะเป็นไปตามลำดับ ถ้ามีอิสระในการลุกไหม้จะมีผลกระทบทำให้สภาพวัสดุที่เกิดการติดต่อกลามเริ่มมีความรุนแรงของการลุกไหม้อย่างต่อเนื่อง ดังนั้นข้อมูลดังต่อไปนี้จะแสดงถึงพัฒนาการการเกิดเพลิงไหม้ เพื่อให้เกิดความเข้าใจในพฤติกรรมของไฟว่ามีการพัฒนาอย่างไร โดยแบ่งออกเป็นระยะดังนี้

2.1 ระยะเริ่มก่อตัวของเพลิงไหม้ (Incipient Phase) เป็นระยะของการลุกไหม้ที่เริ่มลุกติดวัสดุข้างเคียงได้ประมาณ 1 ถึง 2 นาที สามารถมองเห็นเปลวไฟที่ลุกไหม้ได้ซึ่งประกอบด้วยไอน้ำ ( $H_2O$ ) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ( $CO_2$ ) บางครั้งจะเกิดมีก๊าซพิษต่าง ๆ เช่น ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ( $SO_2$ ) และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ( $CO$ ) อุณหภูมิของเปลวไฟที่เกิดขึ้นประมาณ  $1000^{\circ}F$  ( $537^{\circ}C$ ) กระจายความร้อน ออกมาด้วยการแผ่รังสีมีผลทำให้อุณหภูมิของห้องสูงขึ้นประมาณ  $100^{\circ}F$  ( $138^{\circ}C$ ) ซึ่งอุณหภูมียังไม่สูงนัก

2.2 ระยะเริ่มม้วนตัวของเพลิงไหม้และการม้วนตลบของเพลิงไหม้ (Pre-rollover and Rollover) เป็นระยะที่ไฟลุกไหม้มาแล้วประมาณ 4 – 5 นาที ความร้อนที่เกิดจากการลุกไหม้ของไฟจะพุ่งขึ้นสู่เพดาน ทำให้เพดานของห้องร้อนจนจับไอเชื้อเพลิงออกมา ส่วนบนของห้องเริ่มจุดติดเป็นเปลวไฟเป็นช่วง ๆ และเมื่อไอของเชื้อเพลิงผสมพเหมาะสมกับอากาศ กลุ่มควันที่ยังไม่ติดไฟก็จะเกิดการสะสมลอยขึ้นสู่เพดานและม้วนตัวเกิดเป็นพลังงานดัน (High Pressure) ความร้อนลงสู่ส่วนล่างของห้องซึ่งมีแรงดันต่ำกว่า (Low Pressure)

2.3 ระยะที่ไฟมีการเผาไหม้อย่างต่อเนื่อง (Steady State Burning Phase) เป็นช่วงที่มีการลุกไหม้อย่างต่อเนื่องหลังจากที่เกิดการลุกไหม้มาแล้วประมาณ 5 – 6 นาที ซึ่งภายในห้องยังมีออกซิเจนสูง ไอของเชื้อเพลิงที่ถูกขับออกมายังมีปริมาณน้อยกว่าจุดที่เกิดการลุกไหม้อย่างเหมาะสมแต่ความร้อนที่เกิดขึ้นในห้องยังร้อนจัดประมาณ  $1300^{\circ}F$  ( $700^{\circ}C$ ) การเผาไหม้อย่างสมบูรณ์จะอยู่บริเวณกลาง ๆ ห้องส่วนบริเวณด้านบนเพดานยังมีก๊าซที่เกิดจากการคายไอของเชื้อเพลิงและกลุ่มควันสะสมอยู่เป็นจำนวนมากในระยะนี้ยังมีออกซิเจนในอากาศมากพอที่จะทำปฏิกิริยากับเชื้อเพลิงทำให้เกิดการลุกไหม้อย่างอิสระ

2.4 การลุกไหม้อย่างฉับพลัน (Flashover) เป็นช่วงที่ต่อจากระยะของไฟที่เผาไหม้อย่างต่อเนื่อง กล่าวคือ หลังจากทีเวลาผ่านไปแล้วประมาณ 6-7 นาที การลุกไหม้อย่างฉับพลันนี้ปรากฏขึ้นเมื่อเชื้อเพลิงที่เกิดการลุกไหม้นั้นคายไอออกมาเป็นก๊าซต่าง ๆ ที่มีคุณสมบัติติดไฟได้สะสมกันอยู่ในบริเวณส่วนบนของห้องเป็นจำนวนมากและมีอุณหภูมิสูงมากจนสามารถติดไฟได้ด้วยตนเอง แล้วมีอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมกับอากาศ เช่น การจุดติดที่เกิดการลุกไหม้อย่างฉับพลันของก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ที่ร้อนจัด จะมีอัตราส่วนผสมประมาณ 28% ของอากาศก็จะเกิดการลุกไหม้อย่างฉับพลันขึ้น จะเห็นได้ว่าการสะสมของกลุ่มควันก๊าซที่เกิดจากการหลอมเหลวตัวเองของเชื้อเพลิงในอัตราส่วนที่เหมาะสมกับอากาศจะเกิดการลุกไหม้อย่างต่อเนื่องติดๆ กันอย่างรวดเร็ว

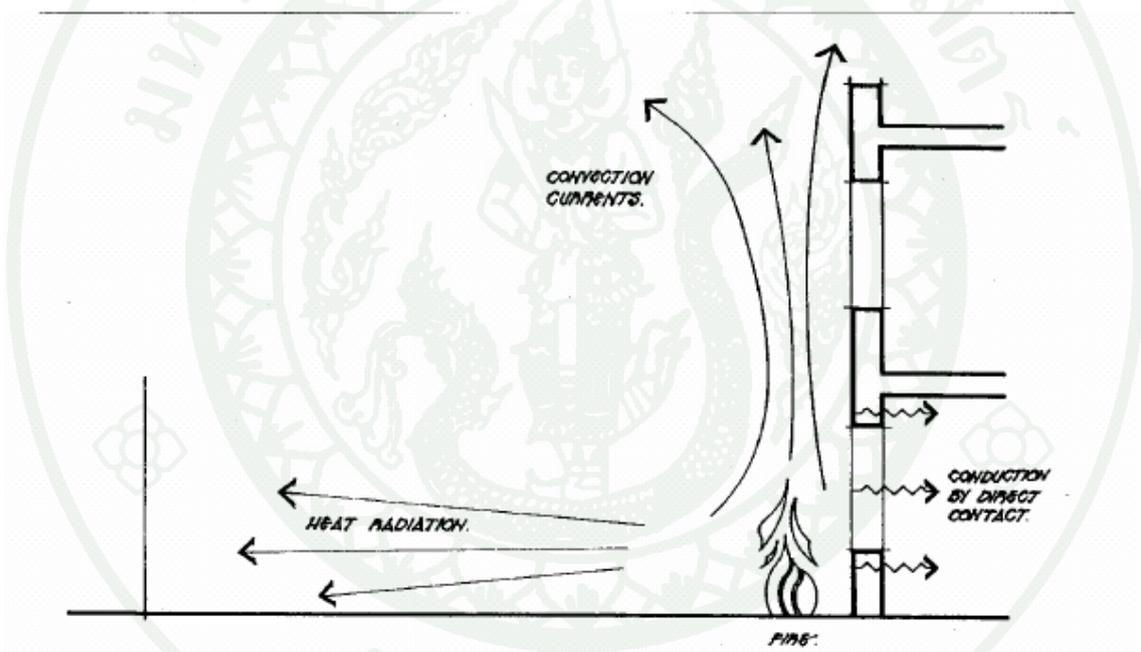
2.5 ระยะของไฟที่ลุกไหม้ (Hot – Smoldering Phase) หลังจากเกิดการลุกไหม้อย่างต่อเนื่อง เปลวไฟที่ลุกไหม้อย่างรุนแรงจะค่อย ๆ มอดหมดไป ในกรณีที่เกิดการลุกไหม้ในห้องที่มีขอบเขตที่ปิดกั้นอากาศที่ไหลเข้ามาไม่สะดวกหรือในกรณีของห้องปิดทึบและมีปริมาณออกซิเจนในอากาศจำกัด จะมีผลทำให้ไฟไม่สามารถพัฒนาต่อไปได้ จึงเกิดการลุกไหม้คูกุ่นอยู่บริเวณพื้นห้องที่มีเก้าอี้ร้อนจัดอยู่เท่านั้น ภายในห้องจึงเต็มไปด้วยกลุ่มควันก๊าซที่เกิดจากการคายไอของเชื้อเพลิงอย่างมากมาย อุณหภูมิของห้องที่ลุกไหม้อย่างรุนแรงมาแล้วจะมีความร้อนประมาณ  $1000^{\circ}\text{F}$  ( $537^{\circ}\text{C}$ ) และก๊าซเชื้อเพลิงที่ร้อนจัดแต่ยังไม่ลุกไหม้เป็นเปลวไฟ เพราะมีออกซิเจนลดลงต่ำกว่า 15% อุณหภูมิภายในห้องสูงมากเต็มไปด้วยก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์และคาร์บอนอิสระที่ถูกขับออกมาจากการลุกไหม้อย่างมากมายและมีแรงดันสูง

2.6 ปฏิกริยา Back Draft ไฟที่ลุกไหม้ในห้องอย่างต่อเนื่องอย่างรุนแรงมาแล้ว และในห้องนั้นขาดอากาศหรือมีการลุกไหม้คูกุ่น เช่น วัสดุที่เป็นไม้ที่ลุกไหม้เป็นถ่านแดง ๆ ภายในได้เก้าอี้ ถ่าน กลุ่มควันก๊าซที่ร้อนจัดและมีแรงดันสูงจะพุ่งออกมา และเมื่อกระทบกับอากาศด้านนอกก็จะดันควันเข้าไป มีลักษณะของควันพุ่งเข้า ๆ ออก ๆ เป็นช่วง ๆ เมื่อมีการเจาะประตูอากาศจะไหลเข้าไปเรื่อย ๆ จนมีปริมาณตั้งแต่ 25% ขึ้นไป ไฟจะเริ่มจุดติดอีกครั้งเมื่ออากาศไหลเข้าไป 72% ทำให้ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ทำปฏิกริยากับออกซิเจนก็จะเกิดการลุกไหม้พริบหรือการระเบิดขึ้นซึ่งปฏิกริยานี้เราเรียกว่า Back Draft

2.7 ชั้นของอุณหภูมิความร้อนที่เกิดจากการเผาของก๊าซเชื้อเพลิง (Hot Gases Layer) การลุกไหม้ภายในห้องที่เชื้อเพลิงคายไอออกมาลุกไหม้อย่างสมบูรณ์นั้นจะทำให้อุณหภูมิที่ส่วนบนของห้องสูงประมาณ  $1200^{\circ}\text{C}$  ถึง  $1500^{\circ}\text{C}$  (Extreme Temperature) ในส่วนกลางของห้องจะมีอุณหภูมิประมาณ  $600^{\circ}\text{C}$  ถึง  $900^{\circ}\text{C}$  (Moderate Temperature) และบริเวณด้านล่างหรือพื้นห้องจะมีอุณหภูมิต่ำ (Low Temperature) ประมาณ  $180^{\circ}\text{C}$  ขึ้นไป

### 3. ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน

เมื่อไรก็ตามที่มีความแตกต่างของอุณหภูมิเกิดขึ้นระหว่างจุดสองจุด ก็จะมีพลังงานถ่ายเทจากจุดที่มีอุณหภูมิสูงไปยังจุดที่มีอุณหภูมิต่ำ พลังงานที่กำลังเคลื่อนที่จากความแตกต่างของอุณหภูมินี้มีชื่อว่าความร้อน ซึ่งในวิชาอุณหพลศาสตร์ (Thermodynamics) จะศึกษาเกี่ยวกับการถ่ายเทของความร้อน (Heat Transfer) แต่ก็เป็นการศึกษาเฉพาะในกรณีที่ระบบอยู่ในภาวะที่สมดุล แล้วเท่านั้น แต่ไม่สามารถทำนายว่าการเปลี่ยนแปลงนั้น มีความรวดเร็วเพียงใด ศาสตร์ของการถ่ายเทความร้อน จะช่วยต่อเติมกฎข้อที่หนึ่งและกฎข้อที่สองของเทอร์โมไดนามิกส์ ด้วยการวิเคราะห์ที่สามารถในการทำนายอัตราการถ่ายเทความร้อนได้



ภาพที่ 3 การถ่ายเทความร้อนของเพลิงไหม้

ที่มา: Department of Engineering (2004)

การวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนที่สมบูรณ์แบบนี้จำเป็นต้องทราบถึงกลไกการถ่ายเทความร้อนแบบต่าง ๆ รวม 3 แบบด้วยกันคือ

1. การถ่ายเทความร้อนแบบการนำ (Conduction Heat Transfer) การถ่ายเทความร้อนแบบการนำเป็นการถ่ายเทความร้อนเพียงวิธีเดียว ที่เกิดขึ้นในวัตถุที่เป็นตัวกลางทึบแสง เมื่อมีความแตกต่างของอุณหภูมิเกิดขึ้นในวัตถุดังกล่าว ก็จะมีการถ่ายเทความร้อนจากจุดที่มีอุณหภูมิสูง ไปยังจุดที่มีอุณหภูมิต่ำของวัตถุนั้นอัตราการถ่ายเทความร้อนจริงนั้น ขึ้นอยู่กับค่าการนำความร้อน (Thermal Conductivity,  $k$ ) ซึ่งเป็นคุณสมบัติทางกายภาพของตัวกลางที่ความร้อนเคลื่อนที่ผ่าน ฉะนั้นอัตราการนำความร้อนจึงมีค่าเป็น

$$\dot{Q} = \frac{-KA\Delta T}{L} \quad (1)$$

$\dot{Q}$	=	อัตราการความร้อนที่ไหลผ่านผนัง, W
$k$	=	ค่าการนำความร้อนของผนัง, วัตต์/ เมตร . W/m.°K
$A$	=	พื้นที่หน้าตัดของผนังที่ตั้งฉากกับทิศทางการไหล, m <sup>2</sup>
$\Delta T$	=	อุณหภูมิผิวที่แตกต่างกัน
$L$	=	ความหนาของผนัง, m

2. การถ่ายเทความร้อนแบบการพา (Convection Heat Transfer) เมื่อของไหลสัมผัสกับผิววัตถุที่มีอุณหภูมิแตกต่างกัน ก็จะมีการเปลี่ยนแปลงพลังงานความร้อนระหว่างของไหลกับวัตถุ ขบวนการแลกเปลี่ยนความร้อนนี้เรียกว่าการถ่ายเทความร้อนแบบการพา โดยการถ่ายเทความร้อนแบบการพานี้จำแนกออกได้เป็น 2 ประเภท

### 2.1 การพาความร้อนแบบอิสระ (Free Convection) แรงที่ทำให้ของไหลเกิด

การเคลื่อนไหวในการพาความร้อนแบบอิสระนั้นเกิดมาจากความแตกต่างของอุณหภูมิในของไหล ที่เนื่องมาจากการที่ของไหลสัมผัสผิวของวัตถุที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันและทำให้เกิดแรงลอยตัวขึ้น ตัวอย่างของการพาความร้อนแบบอิสระนี้ได้แก่ การถ่ายเทความร้อนระหว่างผนังหรือหลังคาบ้าน ในวันที่อากาศสงบเงียบ การพาความร้อนภายในการต้มน้ำที่มีขดลวดให้ความร้อน หรือการถ่ายเทความร้อนจากผิวของตัวเก็บความร้อนของแสงอาทิตย์ (Solar Collector) ในช่วงที่ไม่มีลมพัด

2.2 การพาความร้อนแบบบังคับ (Force Convection) การพาความร้อนแบบบังคับ จะเกิดขึ้นเมื่อ มีแรงภายนอกมาบังคับให้ของไหลเคลื่อนที่ผ่านผิววัตถุที่ร้อนหรือเย็นกว่า เนื่องจากของไหลของการพาความร้อนแบบบังคับมีความเร็วสูงกว่าแบบอิสระ ดังนั้นความร้อนที่ถ่ายเทได้จากความแตกต่างของอุณหภูมิที่มีขนาดเท่า ๆ กับการพาความร้อนแบบอิสระจึงมีจำนวนมากกว่าแต่ไม่ว่าจะเป็นความร้อนแบบไหนก็ตามต่างก็มีสมการสำหรับหาอัตราการถ่ายเทความร้อนที่อยู่ในรูปของกฎการระบายความร้อนของนิวตัน เป็น

$$\dot{Q} = hA(T_2 - T_1) \quad (2)$$

$\dot{Q}$  = อัตราความร้อนที่ไหลผ่านผนัง, W

$h$  = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนแบบการพา, (kW/m<sup>2</sup>. °C)

$A$  = พื้นที่ที่ถูกความร้อน, m<sup>2</sup>

$T_1$  = อุณหภูมิเฉลี่ยเปลวไฟ, °C

$T_2$  = อุณหภูมิเฉลี่ยรอบข้าง, °C

การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์การพาความร้อน (Convection Heat Transfer Coefficient) เป็นเรื่องที่ซับซ้อนมากในทางปฏิบัติ เนื่องจากมีความยุ่งยากในการคำนวณ ปัจจัยเรื่องสมการการวิเคราะห์ทั่วไปจะใช้ค่าประมาณของสัมประสิทธิ์การพาความร้อน ตามที่แนะนำไว้ในตารางที่ 1 ต่อไปนี้

## ตารางที่ 2 ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน

(Typical Value for Convective Heat Transfer Coefficient, h)

สภาวะการไหล (Fluid Condition)	สัมประสิทธิ์การพาความร้อน (h, kW/m <sup>2</sup> .°C)
การไหลแบบลอยตัวในอากาศ (Buoyant Flow in Air)	5 – 10
เปลวไฟแบบต่อเนื่อง (Laminar Match Flame)	ประมาณ 30
ผิวสัมผัสของไฟที่ลุกท่วมในของเหลวที่ไหลวน (Turbulent Liquid Pool Fire Surface)	ประมาณ 20
เปลวไฟที่กระทบฝ้า (Fire Plume Impinging on a Ceiling)	5 – 50
ที่ความเร็วลมในอากาศ 2 เมตรต่อวินาที (2 m/s Wind Speed in Air)	ประมาณ 10
ที่ความเร็วลมในอากาศ 35 เมตรต่อวินาที (35 m/s Wind Speed in Air)	ประมาณ 75

ที่มา: James (1998)

การแผ่รังสี (Radiation) คือ รูปแบบการเคลื่อนที่ของพลังงาน ผ่านห้วงอวกาศ หรือวัสดุ ในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เช่น แสงสว่าง คลื่นวิทยุ เอ็กซ์เรย์ (X-rays) ในสุญญากาศ คลื่นพลังงาน การแผ่รังสีทั้งหมด จะเดินทางด้วยความเร็วเท่ากับความเร็วแสง เมื่อมาถึงตัววัตถุจะเกิดการดูดซับ (absorbed) สะท้อนกลับ (reflected) หรือส่งต่อ (transmitted) แสงที่สามารถมองเห็นได้ ประกอบด้วยความยาวคลื่นช่วงระหว่าง  $0.4 \times 10^{-6}$  ถึง  $0.7 \times 10^{-6}$  เมตร (ม่วง ถึง แดง) รังสีที่ปล่อยออกมาจากกระบวนการเผาไหม้ จะอยู่ในช่วงขอบเขตอินฟราเรด (ความยาวคลื่นยาวกว่าสีแดง) ซึ่งตาของเราสามารถมองเห็นได้แค่ในช่วงความยาวคลื่นหนึ่งๆ เท่านั้น โดย คือ สภาพเปล่งรังสีของวัตถุ เป็นค่าคงที่ของ Stefan-Boltzman =  $5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$

$$\dot{Q} = \varepsilon\sigma A(T_2^4 - T_1^4) \quad (3)$$

$\dot{Q}$	=	อัตราการถ่ายเทความร้อนแบบแผ่รังสี, W
$\varepsilon$	=	ค่าสภาพเปล่งรังสี (Emissivity) ของพื้นผิว
$\sigma$	=	ค่าคงที่ของ Stefan-Boltzman = $5.67 \times 10^{-8}$ W/m <sup>2</sup> K <sup>4</sup>
$A$	=	พื้นที่ที่ถูกความร้อน, m <sup>2</sup>
$T_1$	=	อุณหภูมิเฉลี่ยเปลวไฟ, °C
$T_2$	=	อุณหภูมิเฉลี่ยรอบข้าง, °C

สำหรับผลกระทบของความร้อนจากการแผ่รังสีความร้อนของเพลิงไหม้สามารถแบ่งลำดับตามขนาดได้ดังนี้

### ตารางที่ 3 ผลกระทบของความร้อนจากการแผ่รังสีความร้อนที่ขนาดต่าง ๆ

ความร้อนจากการแผ่รังสี, kW/m <sup>2</sup>	ผลกระทบของความร้อน
170	ค่าฟลักซ์ความร้อนที่สูงสุดที่ตรวจวัดได้ เมื่อเพลิงไหม้ระยะ postflashover ในพื้นที่ปิดล้อม
80	ฟลักซ์ความร้อนสำหรับชุดป้องกัน Thermal Protective Performance (TPP)
52	Fiberboard คิดไฟได้เองหลังจากนั้น 5 วินาที
29	ไม้คิดไฟได้เองหลังจากที่ได้รับความร้อนมาระยะเวลานาน
20	ฟลักซ์ความร้อนที่พื้นห้องพัก เมื่อมีการเริ่มต้นของ flashover
16	ผิวหนังเจ็บปวดทันทีและไหม้ผิวหนังหลังจาก 5 วินาที การบาดเจ็บระดับ ดีกรีที่ 2
12.5	ไอรยะเหยของไม้คิดไฟและเกิดการจุดติดไฟตามมา
10.4	ผิวหนังเจ็บปวดและไหม้ผิวหนังในเวลา 9 วินาที การบาดเจ็บระดับ ดีกรีที่ 2
6.4	ผิวหนังเจ็บปวดและไหม้ผิวหนังในเวลา 18 วินาที การบาดเจ็บระดับ ดีกรีที่ 2
4.5	ผิวหนังไหม้ผิวหนังเมื่อสัมผัสในเวลา 30 วินาที เป็นสาเหตุการบาดเจ็บระดับ ดีกรีที่ 2

ที่มา: NFPA 921 (2001)

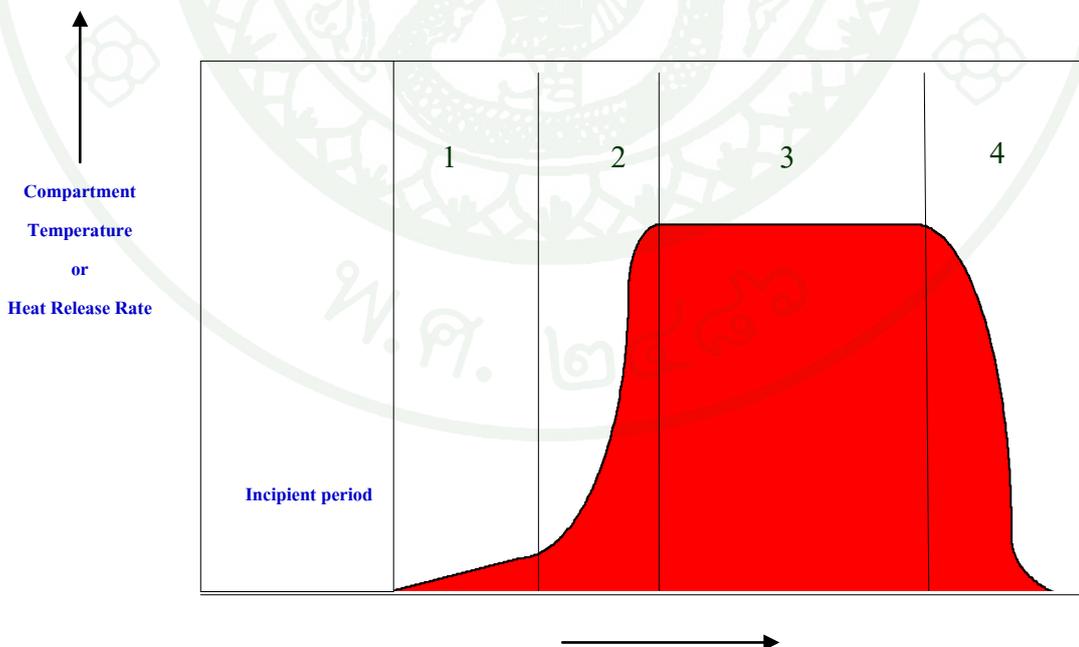
#### 4. อัตราการปล่อยพลังงานความร้อน (Heat Release Rate)

อัตราการปล่อยพลังงานความร้อน (Heat Release Rate) ของการเผาไหม้สารต่อหนึ่งเวลา ที่ออกมาจากการลุกไหม้ ซึ่งขึ้นอยู่กับโครงสร้างทางเคมี ปริมาณอากาศที่เติมเข้ากองเพลิง และ สถานที่ที่เชื้อเพลิงลุกไหม้อยู่ในพื้นที่เปิดหรือปิด สมการของอัตราการปล่อยพลังงานความร้อน (Heat Release Rate) คือ

$$\dot{Q} = \dot{m}''_f A \chi \Delta H_c \tag{4}$$

- $\dot{Q}$  = อัตราการปล่อยพลังงานความร้อน, kW
- $\dot{m}''_f$  = อัตราการเผาไหม้ต่อพื้นที่สูงสุด, g / m<sup>2</sup>-s
- $\chi$  = ประสิทธิภาพการเผาไหม้
- $\Delta H_c$  = ความร้อนจริงของการเผาไหม้, kJ / g
- $A$  = พื้นที่หน้าตัดของกองเพลิง, m<sup>2</sup>

การทดลองนี้เป็นการเผาไหม้ในพื้นที่ปิดล้อม(Compartment fire) ซึ่งจะแบ่งการพัฒนาของไฟออกเป็น 4 ระยะตามภาพที่ 4 คือ Growth Period (ระยะที่ 1) , Flashover (ระยะที่ 2) , Fully Developed (ระยะที่ 3) และ Decay Period (ระยะที่ 4)



ภาพที่ 4 แสดงการพัฒนาของไฟในพื้นที่ปิดล้อม

ที่มา: ฌ็องส์ค็องดี (2550)

1) ระยะลามไฟ (Growth period) ในระยะนี้ การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงจะเป็นไปอย่างรวดเร็ว เนื่องจากออกซิเจนภายในห้องมีอยู่จำนวนมาก ดังนั้นอัตราการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงจะขึ้นอยู่กับจำนวนของเชื้อเพลิง (Fuel-limited) อัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเป็นทวีคูณกับเวลา จากการทดลอง โดยการเผาเชื้อเพลิงจริง พบว่าอัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนจะแปรผัน โดยตรงกับเวลานับตั้งแต่เชื้อเพลิงจุดติดไฟ ยกกำลังสอง ซึ่งเรียกว่า t-square fire โดย

$$\dot{Q} = \alpha \cdot t^2 \quad (5)$$

$\dot{Q}$  = ค่าพิศการคายความร้อน, kW  
 $t$  = เวลา, sec  
 $\alpha$  = ค่าสัมประสิทธิ์การลามไฟ (Growth factor) ของเชื้อเพลิงแต่ละประเภท,  
 สัมประสิทธิ์การลามไฟเป็นค่าคงที่ที่ได้จากการทดลองโดย

$$\alpha = 1055 / (t_{1050})^2 \quad (6)$$

$t_{1050}$  คือ เวลาที่เชื้อเพลิงใช้นับตั้งแต่จุดติดไฟจนกระทั่งการเผาไหม้สามารถปลดปล่อยพลังงานความร้อนออกมาได้เท่ากับ 1,055 kW (1,000 Btu/s) เชื้อเพลิงที่มีสัมประสิทธิ์การลามไฟสูงจะมีอัตราการลามไฟสูง หลังจากการจุดติดไฟการเผาไหม้จะดำเนินไปอย่างรวดเร็ว (ณัฐศักดิ์, 2550)

NFPA 204 (Standard for heat and Smoke Venting) (NFPA 2002) ได้จัดลำดับของอัตราการลามไฟ (Growth rate) ตามค่าสัมประสิทธิ์การลามไฟออกเป็น 4 ระดับ ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 4 สัมประสิทธิ์การลามไฟ (Growth Factor)

อัตราการลามไฟ	$\alpha$ (kW/s <sup>2</sup> )	T <sub>1055</sub> (s)
รวดเร็วมมาก (Ultra-fast)	0.19	75
รวดเร็ว (Fast)	0.047	150
ปานกลาง (Medium)	0.012	300
ช้า (Slow)	0.003	600

ที่มา: NFPA 204 (2002)

การคำนวณหาอัตราการปล่อยพลังงานความร้อน(Heat Release Rate) นั้นต้องเลือกค่าสัมประสิทธิ์การลามไฟ (Growth factor) ที่เหมาะสม Karlsson และ Quintiere (1999) ได้ทำการวิจัยเพื่อแยกประเภทสถานที่ต่างๆ ที่เหมาะสมกับค่าสัมประสิทธิ์การลามไฟ (Growth factor) โดยแสดงในตารางที่ 4

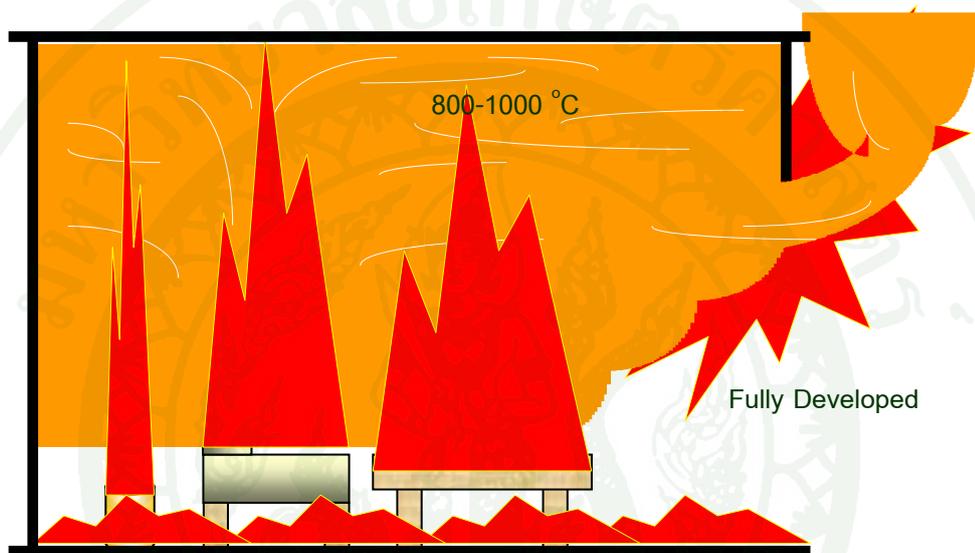
ตารางที่ 5 สัมประสิทธิ์การลามไฟตามลักษณะการใช้งาน

ลักษณะการใช้งาน	อัตราการลามไฟ
ห้องพักอาศัย	ปานกลาง
โรงแรม , สถานรับเลี้ยงเด็ก	รวดเร็ว
ห้างสรรพสินค้า , สถานบันเทิง	รวดเร็วมมาก
โรงเรียน , สำนักงาน	รวดเร็ว
โรงงานอุตสาหกรรม	ไม่กำหนด

ที่มา: Karlsson and Quintiere (1999)

2) ระยะ Flash over หมายถึง สภาวะที่วัตถุที่สามารถติดไฟได้ทุกชั้นภายในห้องลุกติดไฟโดยวัสดุทุกชั้นมีส่วนร่วมกับการเผาไหม้และปลดปล่อยพลังงานความร้อน ตัวบ่งชี้ว่าจะเกิด Flash over คือ อุณหภูมิจะเพิ่มสูงถึง 500-600 °C และ Heat Flux ประมาณ 15-20 KW/m<sup>2</sup> ถ้า oxygen ไม่เพียงพอต่อการเผาไหม้เพลิงอาจมอดดับลงเองได้แต่ไอของเชื้อเพลิงและความร้อนยังคงอยู่ซึ่งสภาพภายในห้องขณะนี้มีโอกาสเกิด Backdraft ได้สูงถ้าห้องได้รับ oxygen เพียงพออีกครั้ง

3) ระยะเวลา Fully Developed หรือ Post-Flash over เมื่อเกิด flash over ถ้ายังมี oxygen เพียงพอในการเผาไหม้ต่อเปลวเพลิงจะลุกลามทั่วทั้งห้องในช่วงนี้ จะเห็นเปลวเพลิงลุกลาม ออกนอกห้องทางประตูหรือหน้าต่างเนื่องจาก เพลิงต้องการ oxygen จากภายนอกห้องเพื่อ การเผาไหม้โดยในช่วงนี้อุณหภูมิในห้องจะเพิ่มสูงขึ้นเป็น 800-1000 °C และ Heat Flux สูงถึง 150 KW/m<sup>2</sup>



ภาพที่ 5 แสดงการพัฒนาของไฟแบบ Fully Developed

ที่มา: ฉัฐศักดิ์ (2550)

4) ระยะมอดดับ (Decay Period) เมื่อเชื้อเพลิงเผาไหม้จนหมดจะทำให้อุณหภูมิและอัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนลดลงจนเพลิงมอดดับไปเอง

#### 4. การจำลองพฤติกรรมของเพลิงไหม้ด้วยแบบจำลองพลศาสตร์อวกาศ (Fire Dynamics Simulator)

งานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม Fire Dynamic simulator มาช่วย ในการวิเคราะห์สาเหตุการลุกลามของเพลิงไหม้ในพื้นที่ปิดล้อมและใช้พื้นฐานสามเหลี่ยมของไฟมาอธิบายถึงการเกิดเพลิงไหม้เพื่อออกแบบระบบสปริงเกอร์ในบ้านพักอาศัยให้มีความปลอดภัย และจำลองว่าเมื่อมีการติดตั้งสปริงเกอร์ในบ้านพักอาศัยแล้วจะช่วยป้องกันไม่ให้ควันและไฟแพร่กระจายออกไป

#### การจำลองการเกิดเพลิงไหม้ด้วย CFD

การเกิดเพลิงไหม้สร้างความเสียหายต่อทรัพย์สิน เบียดเบียน และค่าซ่อมบำรุงรักษาของหน่วยงานดับเพลิงในสหรัฐอเมริกาปีละมากกว่า 100 ล้านเหรียญ โดยค่าใช้จ่ายเหล่านี้ไม่สามารถเรียกเก็บจากภาษีของประชาชนได้ ในแต่ละปีมีผู้เสียชีวิตประมาณ 4,000 คน บาดเจ็บ 23,000 คน โดย 80%ของผู้เสียชีวิตจะประสบเหตุเพลิงไหม้ที่บ้านตนเอง

ควันและแก๊สพิษเป็นสาเหตุของการเสียชีวิตจากเพลิงไหม้ แม้จะมีการพัฒนาปรับปรุงการออกแบบอาคารให้ได้มาตรฐาน แต่การแพร่กระจายอย่างรวดเร็วของควันและไฟ ยังคงเป็นปัญหาหลักและจำเป็นที่ต้องทำความเข้าใจกับพฤติกรรมของไฟให้มากขึ้น จึงที่การนำแบบจำลองของไฟ (Fire Modeling) และเครื่องมือที่ช่วยให้มองเห็นภาพ (Visualization Tool) มาใช้เพื่อหาแนวทางป้องกันแก้ไขการแพร่กระจายของควันและไฟ

#### CFD คืออะไร

ปี 1970 สถาบัน NIST ( The National Institute of Standard and Technology ) ของสหรัฐอเมริกาได้พัฒนาแบบจำลองเกี่ยวกับไฟที่สามารถอธิบายได้ว่าไฟสามารถแผ่เข้าไปในห้องได้อย่างไร แบบจำลองจะแบ่งห้องปิดล้อมออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนบนจะประกอบด้วยควันและความร้อนและผลิตภัณฑ์จากการเผาไหม้ ส่วนล่างจะประกอบไปด้วยอากาศที่มีอุณหภูมิใกล้เคียงกับบรรยากาศปกติ แบบจำลองนี้จึงช่วยให้เราอธิบายได้ว่าพื้นที่จะยุบตัวลงเมื่อเกิดเพลิงไหม้ได้อย่างไร

แบบจำลองแบบแบ่งเขตของไฟ ( Zone Fire Model ) ใช้หลักการของสมการอนุกรมมวล และพลังงานเพื่ออธิบายการเกิดไฟของทั้ง 2 ชั้น คือด้านบนและด้านล่าง สมการโมเมนตัม, กฎของ Bernoulli ๔ นำมาใช้คำนวณอัตราการไหลของลมภายในห้องปิดล้อม (Compartment) ซึ่งสมการเหล่านี้สามารถอธิบายกระบวนการทางกายภาพเช่น การลุกไหม้ของไฟและการแพร่รังสีความร้อน และการถ่ายเทความร้อน Zone Fire Model ช่วยในการพยากรณ์การแบ่งความสูงของทั้ง 2 ชั้นใน ห้องปิดล้อมและอุณหภูมิในแต่ละชั้น อย่างไรก็ตาม Zone Fire Model ไม่ได้พิจารณาเกี่ยวกับปัจจัยอื่นที่มีความสำคัญแต่จะพิจารณาข้อมูลเกี่ยวกับอัตราการปล่อยค่าความร้อนซึ่งการคำนวณโดยใช้ Zone Fire Model บนเครื่องคอมพิวเตอร์สามารถทำได้ในเวลาไม่ก่นาที ซึ่งเทคนิค Computational Fluid Dynamic ( CFD) มักถูกใช้ใน Zone Fire Model

#### 4.1 Fire Dynamics Simulator และ Smoke View

การศึกษาแบบจำลองของไฟด้วยคอมพิวเตอร์ล่าสุดที่ NIST ได้สนับสนุนให้นำมาใช้ งาน คือ FIRE DYNAMICS SIMULATOR (FDS) ซึ่งระบบนี้จะทำการพยากรณ์การเคลื่อนที่ของ คิวน์ หรือการไหลของอากาศร้อนที่เกิดจากเพลิงไหม้,แรงลม,ระบบระบายอากาศ และปัจจัยอื่น ๆ โดย CFD ใช้เทคนิคที่เรียกว่า LES(Large Eddy Simulator) เพื่ออธิบายเกี่ยวกับการเกิดความร้อน จากเพลิงไหม้ในห้องปิดล้อม นอกจากนี้ LES ยังใช้อธิบายความแปรปรวนของอัตราการไหล โดยความแปรปรวนนี้เป็นสาเหตุให้เกิดเคลื่อนที่ไปได้ในระยะที่กว้าง ซึ่งเป็นสิ่งที่ยากต่อ การจำลอง เหตุการณ์บนคอมพิวเตอร์ ในขณะที่ FDS สามารถอธิบายเกี่ยวกับการเผาไหม้ ในรูปแบบง่ายๆ คือเชื้อเพลิง และออกซิเจนจะถูกเผาไหม้ที่ที่ผสมกันและจากการทดลองพบว่า มีปฏิกิริยาทางเคมีเข้ามาเกี่ยวข้องใน กระบวนการเป็นจำนวนมากถึงร้อยปฏิกิริยา

FDS ถูกพัฒนาขึ้นมาโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อแก้ไขปัญหาเกี่ยวกับไฟในระบบวิศวกรรม ป้องกันอัคคีภัย ด้วยการใช้อุปกรณ์เกี่ยวกับหลักการของกลไกการเกิดไฟและการเผาไหม้ โดย มีการใช้ Smoke view เข้ามาในการแสดงผลของ FDS ได้ง่ายขึ้น ซึ่งสามารถนำไปใช้งาน ในแบบจำลองนี้ เกี่ยวกับการออกแบบระบบต่างๆ ของอาคาร เช่น ระบบดับจับคิวน์และระบบ กระจายน้ำดับเพลิง และสามารถนำไปใช้งานในส่วนที่เกี่ยวข้องกับบ้านพักอาศัย และสิ่งปลูกสร้าง ทางอุตสาหกรรม

## 4.2 รายละเอียดของการจำลองแบบ

FDS มีหลักการที่เหมือนกับแบบจำลอง CFD คือ แบ่งห้องหรืออาคารออกเป็น ส่วนเล็กๆ ในลักษณะที่เรียกว่า computational cell เพื่อใช้คำนวณความหนาแน่น, ความเร็ว, อุณหภูมิ, ความดัน และความเข้มข้นของแก๊สในแต่ละช่อง โดยใช้กฎการอนุรักษ์มวลและพลังงาน FDS นี้ จะใช้คุณสมบัติของวัสดุต่างๆ เช่น วัสดุตกแต่ง ผนังห้อง พื้นห้อง และเพดาน ในการจำลอง เหตุการณ์การเกิดเพลิงไหม้

ความสามารถในการแสดงผลของแบบจำลองนี้ขึ้นอยู่กับกรอกแบบจำนวน cell ลักษณะเดียวกับคุณภาพของภาพดิจิทัล ขึ้นอยู่กับจำนวนพิกเซล (Pixel) ซึ่งคอมพิวเตอร์ ในปัจจุบันสามารถกำหนดได้ถึง 2-3 ล้านพิกเซล ดังนั้นผู้ใช้งานต้องตัดสินใจว่าต้องการผลลัพธ์ ที่มีความละเอียดมากน้อยเพียงใด จำนวนช่องและอัตราการใช้เป็นส่วนใหญ่ในการกำหนด ระยะเวลาในการทดลอง โดยระยะเวลาในการทดลองอยู่ในช่วงของนาที่ถึงสัปดาห์ ขึ้นอยู่กับ จำนวนของช่อง และระยะเวลาของการคำนวณ ซึ่งผู้ใช้งานส่วนใหญ่พยายามกำหนดเวลา ในการทดลองไว้ไม่เกินกว่า 1-2 วัน

แบบจำลอง CFD สามารถอธิบายผลของข้อมูลได้มากกว่า 1 GByte เปรียบเหมือน คำพูดที่ว่า "ภาพ 1 ภาพแทนคำพูดได้เป็นพันคำ" เช่นเดียวกับ โปรแกรมซอฟต์แวร์ Smoke view ที่สามารถช่วยในการพยากรณ์เกี่ยวกับการเกิดเพลิงไหม้ในรูปแบบที่ง่ายและสามารถเข้าใจได้ง่าย โดย Smoke view เวอร์ชันแรกเริ่มประกาศใช้ในเดือนกุมภาพันธ์ ปี 2000 และมีการพัฒนาปรับปรุง ต่อมาอีกหลายเวอร์ชัน โดยสามารถทำงานได้หลายระบบปฏิบัติการเช่น Windows UNIX และ Linux

Smoke view สามารถแสดงผลจากแบบจำลอง FDS ได้ทั้งในลักษณะ 2 มิติ และ 3 มิติ โดย Smoke view จะแสดงผลของข้อมูลแบบ ค่าของข้อมูล ณ เวลาใดเวลาหนึ่ง โดยข้อมูลประเภท เดียวกัน นอกจากนี้ยังสามารถแสดงผลในรูปแบบอื่นๆ ได้ด้วย เช่น Animated Isosurfaces, Color Contours of Gas Phase, Animated Flow Vector และ Particle for Simulating Smoke or Water Droplets โดยแต่ละเทคนิคจะถูกเลือกใช้ตามวัตถุประสงค์หรือลักษณะปัญหาที่แตกต่างกัน

## หลักการออกแบบของการป้องกันและระงับอัคคีภัย

การป้องกันอัคคีภัยที่เกี่ยวกับโครงสร้างและผลงานทางด้านสถาปัตยกรรมนั้น จะอยู่ใน ส่วนที่เรียกว่าเชิงรับ (Passive Fire Safety) และเมื่อมีการออกแบบระบบเชิงรับเรียบร้อยแล้ว จึงต้อง จัดระบบป้องกันอัคคีภัยในส่วนเชิงรุก (Active Fire Safety) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ ในการป้องกัน อัคคีภัยให้มีประสิทธิผลที่สูงสุด

เมื่อเกิดเพลิงไหม้ขึ้นเพลิงจะเกิดจากจุดเล็กๆ และค่อยๆ ขยายตัวลุกลามไปตามเชื้อเพลิง ที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียงจนอาจลามไปถึงหน้าต่างและประตูทำให้เกิดความเสียหาย ในช่วงนี้เอง แสงสว่างจะเปลวเพลิงจะสังเกตเห็นได้อย่างชัดเจน รวมไปถึงควันร้อนจะเริ่มมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ถ้าควันเหล่านี้ไม่มีช่องระบายก็จะสะสมตัวเป็นชั้นควันร้อนซึ่งความสูงของชั้นควันก็จะ ขยายตัวลงด้านล่างเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นสาเหตุให้คนที่ติดอยู่ภายในกองเพลิงทั้งหลายเสียชีวิตมากที่สุด เนื่องจากการสำลักควันเหล่านี้นั่นเอง ดังนั้น เพื่อความปลอดภัยของชีวิต ป้องกันความเสียหาย ของทรัพย์สิน และให้ธุรกิจสามารถดำเนินต่อไปได้จึงต้องมีมาตรการในการป้องกันเกิดขึ้น ซึ่งมาตรการดังกล่าวแบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ

### 1. การป้องกันเชิงรับ (Passive Fire Safety)

แนวทางของการป้องกันเชิงรับ สิ่งที่ต้องพิจารณาของระบบป้องกันอัคคีภัย คือ การหยุด การลามไฟเพื่อลดความสูญเสียที่เกิดกับชีวิต และทรัพย์สินให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ นั่นคือ การป้องกันการลามไฟ

### 2. การป้องกันเชิงรุก (Active Fire Safety)

แนวทางของการป้องกันเชิงรุก สิ่งที่ต้องพิจารณาของระบบเตือนภัย และระงับอัคคีภัย คือ การตรวจจับเพลิงไหม้ และการระงับเหตุเพลิงไหม้ เมื่อเกิดเพลิงไหม้ในระยะเริ่มต้นเพื่อลด ความสูญเสียที่จะเกิดขึ้นกับชีวิตและทรัพย์สินให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ ซึ่งการแจ้งเหตุและ ระงับเหตุประกอบด้วยวิธีการ ดังนี้

- 2.1 อุปกรณ์แจ้งเหตุ และระบุตำแหน่งที่เกิดเพลิงไหม้ (Fire Monitoring)
- 2.2 อุปกรณ์ระงับเหตุเพลิงไหม้ (Fire Protection)
- 2.3 อุปกรณ์ระบายควัน (Smoke Control)

## 5. ระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิง

### เป้าหมายของระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิง

เป้าหมายของระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิง คือ การส่งน้ำไปยังวัตถุเป้าหมายที่มีการเกิดเพลิงไหม้และ ลดการลุกลามของเพลิงออกไปสู่จุดอื่น ซึ่งจะลดอัตราการลุกลามของตัวเพลิงเอง ทำให้สภาพแวดล้อมมีอุณหภูมิลดลง  
ขนาดของหยดน้ำ

หยดน้ำที่มีขนาดเล็กก็จะสามารถดูดซับความร้อนในอากาศได้ดีกว่า ขนาดของหัวกระจายน้ำ (Orifice) จะได้รับการออกแบบมาเพื่อกำหนดอัตราการไหล (flow rate, Q) โดยที่อัตราการไหลนี้สามารถคำนวณได้จากสมการ Sprinkler conform to Bernoule สามารถเขียนได้ดังนี้

$$Q = K\sqrt{P} \quad (4)$$

Q = อัตราการไหล (Flow rate)

K = สัมประสิทธิ์ของ ขนาดของหัวกระจายน้ำ (Orifice flow coefficient, K-factor)

P = แรงดันในเส้นท่อ (Pipe Pressure)

ข้อจำกัดของระบบ Sprinkler ประการหนึ่งคือ ปริมาณน้ำที่ต้องมีเพียงพอต่อระบบ การออกแบบที่เหมาะสมจะต้องทำให้หัวกระจายน้ำดับเพลิงทำงานในช่วงเวลาที่พอเหมาะกับการลุกไหม้ของไฟนั่นคือถ้าระบบทำงานช้าเกินไป ไฟก็จะลุกลามมากเกินกว่าที่ระบบกระจายน้ำสามารถควบคุมได้ แต่ถ้าระบบทำงานเร็วเกินไปจำนวนของหัวกระจายน้ำ ก็จะทำงานมากเกินไปทำให้เกิดความเสียหายและทำให้ลดปริมาณน้ำที่ใช้จ่ายให้กับกระจายน้ำที่อยู่ใกล้กับจุดที่เกิดเพลิงไหม้ลดลง

## การทำงานของหัวกระจายน้ำดับเพลิง

ความร้อนของไฟจะถูกส่งผ่านไปยังหัวกระจายน้ำดับเพลิง(Sprinkler) โดยการถ่ายเทความร้อนจากการแผ่รังสีและการพาความร้อน ในเบื้องต้นการแผ่รังสีจะเป็นแหล่งกำเนิดความร้อน โดยความร้อนจะมาจากเปลวไฟ การพาความร้อนจะส่งผ่านความร้อนขึ้นสู่ด้านบนโดยการลอยตัว (Buoyant Plume) เมื่อก๊าซความร้อนไปถึงสิ่งกีดขวางด้านบน เช่น เพดาน หรือหลังคา ความร้อนก็จะวิ่งตามแนวของสิ่งกีดขวางนั้น หรือที่เรียกว่า Ceiling Jet เพื่อที่จะลดการเผาไหม้และอัตราการลุกลามของไฟได้อย่างมีประสิทธิภาพหยดน้ำจากหัวกระจายน้ำดับเพลิง จะต้องวิ่งจากหัวกระจายน้ำผ่าน Ceiling Jet และเปลวไฟไปสู่แหล่งกำเนิดของไฟจากเส้นทางกระจายของหยดน้ำ หยดน้ำต้องสูญเสียพลังงานไปกับความร้อนที่ต้องวิ่งผ่านและสูญเสียมวลไปกับการระเหยของตัวหยดน้ำเองจากการดูดซับความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้

## การแบ่งประเภทของพื้นที่ครอบครอง

การแบ่งประเภทของพื้นที่ครอบครองหมายถึงการกำหนดประเภทของพื้นที่นั้น ๆ โดยพิจารณาจากการใช้งาน เพื่อจะสามารถจัดระบบป้องกันอัคคีภัยตามมาตรฐานที่กำหนดจำแนกออกเป็น 3 ประเภทดังนี้

### 1. พื้นที่ครอบครองอันตรายน้อย

พื้นที่ครอบครองอันตรายน้อย เป็นพื้นที่ที่วัสดุที่สามารถเป็นเชื้อเพลิงได้น้อยและวัสดุที่มีค่าอัตราการปล่อยความร้อนต่ำ (Low Heat Release) เช่น ที่พักอาศัย สำนักงานทั่วไป สถานศึกษา

### 2. พื้นที่ครอบครองอันตรายปานกลาง

2.1 พื้นที่ครอบครองอันตรายปานกลาง กลุ่มที่ 1 (Ordinary Hazard Group 1) เป็นพื้นที่ที่มีวัสดุ ที่สามารถเป็นเชื้อเพลิงได้อยู่แต่วัสดุนั้นมีอันตรายต่ำ มีการเผาไหม้หรือระเบิดได้แต่ไม่รุนแรง เมื่อเกิดการเผาไหม้ จะมีค่าอัตราการปล่อยพลังงาน (Heat Release Rate) ต่ำ เช่น ร้านทำขนมปัง ห้องแสดงรถยนต์ ร้านซักผ้า

2.2 พื้นที่ครอบครองอันตรายปานกลาง กลุ่มที่ 2 (Ordinary Hazard Group 2) เป็นพื้นที่ที่มีวัสดุ ที่สามารถเป็นเชื้อเพลิงได้อยู่แต่วัสดุนั้นมีอันตรายไม่มากแต่สูงกว่าพื้นที่ครอบครองอันตรายปานกลาง กลุ่มที่ 1 มีการเผาไหม้หรือระเบิดได้ เมื่อเกิดการเผาไหม้ จะมีค่าอัตราการปล่อยความร้อน (Heat Release Rate) สูงกว่าพื้นที่ครอบครองอันตรายปานกลาง กลุ่มที่ 1 เช่น โรงสีข้าว โรงกลึง ห้องสมุดที่มีชั้นเก็บหนังสือขนาดใหญ่

### 2.3 พื้นที่ครอบครองอันตรายมาก (Extra Hazard Occupancies)

2.3.1 พื้นที่ครอบครองอันตรายมาก กลุ่มที่ 1 (Extra Hazard Group 1) เป็นพื้นที่ที่มีการครอบครองวัสดุ หรือวัตถุติด ที่สามารถเกิดการเผาไหม้ได้ในปริมาณมาก เมื่อเกิดการเผาไหม้จะมีค่าอัตราการปล่อยความร้อน (Heat Release Rate) สูง เช่น โรงพิมพ์ โรงเลื่อย

2.3.2 พื้นที่ครอบครองอันตรายมาก กลุ่มที่ 2 (Extra Hazard Group 2) เป็นพื้นที่ที่มีการครอบครองวัสดุ หรือวัตถุติด ที่สามารถเกิดการเผาไหม้ได้ และเมื่อเกิดการลุกไหม้จะไหม้อย่างต่อเนื่องและใช้เวลานาน เช่น อุตสาหกรรมพลาสติก พื้นที่ๆ ใช้สารชนิดเหลวชนิดไวไฟได้

ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้กำหนดประเภทของพื้นที่โดยพิจารณาจากการใช้งาน เพื่อจะสามารถจัดระบบป้องกันอัคคีภัยตามมาตรฐานที่กำหนด เป็นแบบพื้นที่ครอบครองอันตรายมาก กลุ่มที่ 2 เพราะ Ethanol เป็นสารเหลวชนิดไวไฟ

#### การกำหนดพื้นที่ป้องกันของหัวกระจายน้ำดับเพลิง

พื้นที่ป้องกันของหัวกระจายน้ำดับเพลิง (Protection area of coverage per sprinkler:AS) สามารถกำหนดได้ โดยจะต้องทำการหาค่าของ ระยะห่างของหัวกระจายน้ำดับเพลิงแต่ละหัว แบ่งเป็นระยะห่างระหว่างหัวกระจายน้ำดับเพลิง ในเส้นท่อเดียวกัน (Along branch lines: S) และระยะห่างระหว่างหัวกระจายน้ำดับเพลิง ระหว่างเส้นท่อที่ขนานกัน (Between branch lines: L)

พื้นที่ป้องกันของหัวกระจายน้ำดับเพลิง (AS) จะได้มาจากการนำค่าของระยะในเส้นท่อเดียวกัน (Along branch lines: S) คูณกับระยะห่างระหว่างหัวกระจายน้ำดับเพลิง ระหว่างเส้นท่อที่ขนานกัน (Between branch lines: L)

$$AS = S*L \quad (5)$$

โดยค่าที่ได้จะต้องไม่เกินค่า พื้นที่ป้องกันของหัวกระจายน้ำดับเพลิงสูงสุด (Maximum Protection Area of Coverage) ที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน หรือตามการออกแบบของหัวกระจายน้ำดับเพลิงนั้น

### ประสิทธิภาพของการดับเพลิงของน้ำ

1. ทำให้เปลวไฟเย็นลง โดยในการดับเพลิง เมื่อหยคน้ำถูกส่งเข้าไปในเปลวไฟตัวของเปลวไฟก็จะถูกทำให้เย็นลงอย่างต่อเนื่องจนกว่าจะไม่สามารถติดขึ้นมาได้อีก
2. ทำให้ผิวหน้าของเป้าหมายเย็นลงนั่นคือ เมื่อหยคน้ำกระทบถูกผิวหน้าที่กำลังลุกไหม้จะทำให้ผิวบริเวณนั้นมีอุณหภูมิลดลงซึ่งการจะทำให้ดับต้องใช้เวลาจนกว่ากระบวนการเผาไหม้นั้นไม่เกิดขึ้นอีก
3. ลดการแผ่รังสีของเปลวไฟ ตัวของหยคน้ำจะทำการป้องกันหรือลดการแผ่รังสีจากเปลวไฟทำให้อัตราการเผาไหม้ลดลงที่บริเวณพื้นผิวของวัตถุเป้าหมาย

อัตราการเติบโตหรือการเพิ่มขึ้นของไฟถูกกำหนดในรูปแบบของ “ $t^2$  Fire” ซึ่งอัตราการปล่อยความร้อนแปรผันตรงกับกำลังสองของเวลา ไฟได้ถูกจัดแบ่งออกเป็น 4 ประเภท แบ่งตามการเผาไหม้และเงื่อนไขของไฟนั้น เพื่อที่วิศวกรป้องกันอัคคีภัยจะสามารถเลือกการออกแบบป้องกันอัคคีภัย ตามอัตราการลุกไหม้ที่เกิดขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 6 ตารางแสดงอัตราการลุกไหม้ของไฟแบ่งตามการเผาไหม้และเงื่อนไขของไฟ

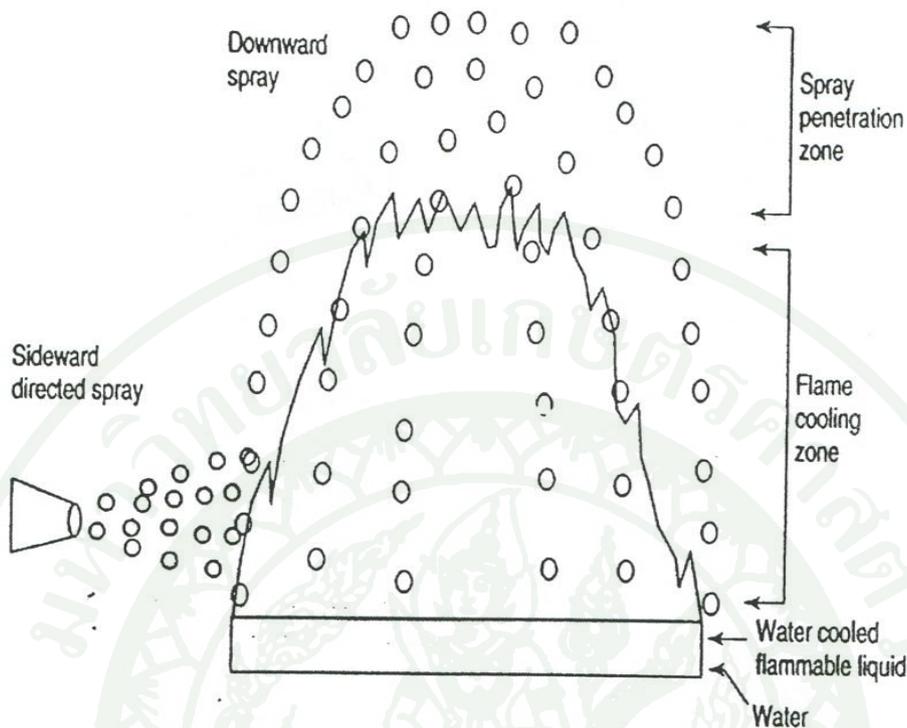
อัตราการลุกไหม้ช้า	$\dot{Q} = \left(0.00293 \frac{kW}{Sec^2}\right) * t^2$ (1050kW in 600 sec)
อัตราการลุกไหม้ปานกลาง	$\dot{Q} = \left(0.01172 \frac{kW}{Sec^2}\right) * t^2$ (1050kW in 300 sec)
อัตราการลุกไหม้เร็ว	$\dot{Q} = \left(0.0469 \frac{kW}{Sec^2}\right) * t^2$ (1050kW in 150 sec)
อัตราการลุกไหม้เร็วมาก	$\dot{Q} = \left(0.1876 \frac{kW}{Sec^2}\right) * t^2$ (1050kW in 75 sec)

ที่มา: Spray Characteristics of Sprinkler (2002)

ในผลการวิเคราะห์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ พบว่าค่าความร้อนที่เกิดขึ้นจากการจำลองโดยใช้โปรแกรม FDS มีอัตราการลุกไหม้ของไฟอยู่ในกลุ่มของ อัตราการลุกไหม้เร็วมาก

Water Spray มีความสามารถในการควบคุมและระงับไฟที่เกิดจากของเหลวไวไฟได้อย่างมีประสิทธิภาพ กลไกและวิธีการทำงานสามารถอธิบายได้ดังนี้

ในภาพที่ 14 อธิบายถึงการดับไฟด้วย Water Spray ในการใช้ละอองน้ำพ่นจากด้านบนเพียงอย่างเดียวบางครั้ง อาจมีหยดน้ำเพียงบางส่วนที่สามารถเข้าถึงส่วนในของไฟโดยหยดน้ำจำนวนหนึ่งถูกระเหยไปและหยดน้ำที่เข้าถึงเปลวไฟ จะทำให้ส่วนของเปลวไฟนั้นเย็นลง โดยลดการแผ่รังสีความร้อนของตัวเปลวไฟจากผิวหน้าของของเหลว จากในภาพที่ 14 แสดงให้เห็นว่าหยดน้ำถูกพ่นจากด้านข้างของไฟ หยดน้ำจะลดอุณหภูมิของของเหลวให้ต่ำลง และถ้าเป็นของเหลวที่สามารถละลายน้ำได้ หยดน้ำก็จะสามารถเจือจางของเหลวไวไฟให้เป็นสารประกอบที่ไม่ติดไฟ



ภาพที่ 6 ภาพแสดงการดับเพลิงด้วย Spray Water

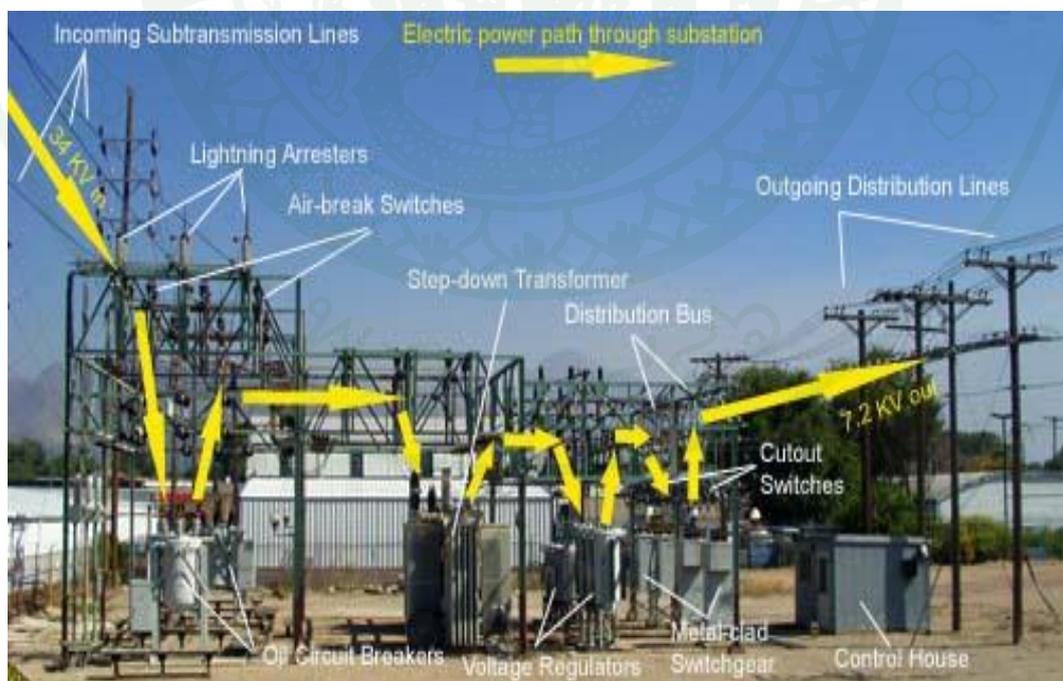
ที่มา: Industrial Fire Protection Engineering (n.d.)

### ชนิดและลักษณะทั่วไปของสถานีไฟฟ้า (Substation)

1. สถานีไฟฟ้าแบบกลางแจ้ง (Outdoor Substation) เป็นสถานี ขนาดใหญ่แรงดันสูง (High Voltage 115, 230, 500kV)
2. สถานีไฟฟ้าแบบในอาคาร (Indoor Substation) เป็นสถานี ขนาดกลางแรงดันปานกลาง (Medium Voltage 22, 33kV)
3. สถานีไฟฟ้าเคลื่อนที่ได้ (Portable Station) เป็นสถานี ขนาดกลางแรงดันปานกลาง (Medium Voltage 22, 33kV)



ภาพที่ 7 สถานีไฟฟ้าแบบกลางแจ้ง (Outdoor Substation)



ภาพที่ 8 สถานีไฟฟ้าแบบกลางแจ้ง (Outdoor Substation)



ภาพที่ 9 สถานีไฟฟ้าแบบในอาคาร (Indoor Substation)



ภาพที่ 10 สถานีไฟฟ้าแบบเคลื่อนที่ได้ (Portable Station)



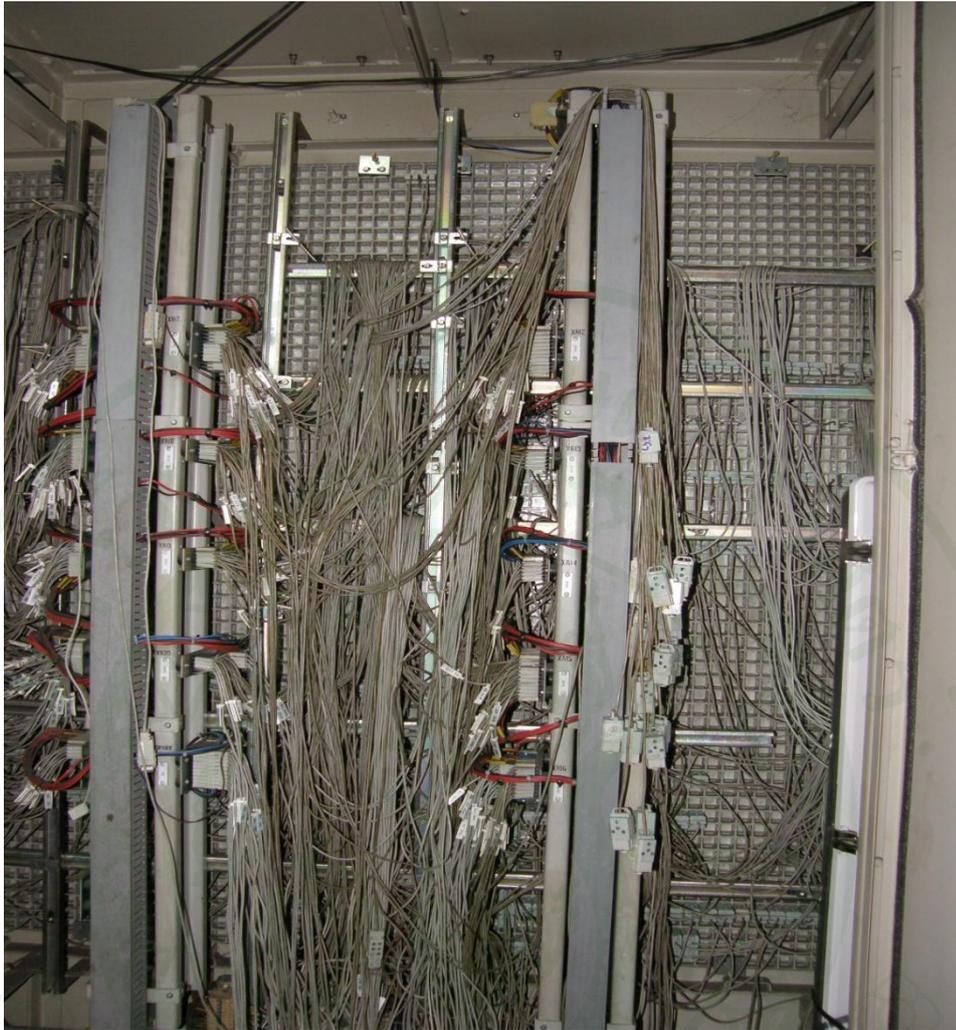
ภาพที่ 11 สถานีไฟฟ้าแบบเคลื่อนที่ได้ (Portable Station) อยู่รวมกันหลายชุด



ภาพที่ 12 สถานีไฟฟ้าเคลื่อนที่ได้ (Portable Station) อยู่รวมกันหลายชุด



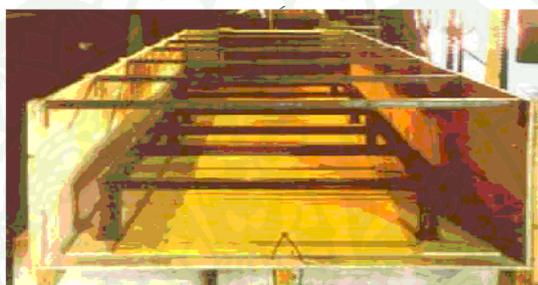
ภาพที่ 13 อุปกรณ์ภายในของสถานีไฟฟ้าย่อย (Substation)



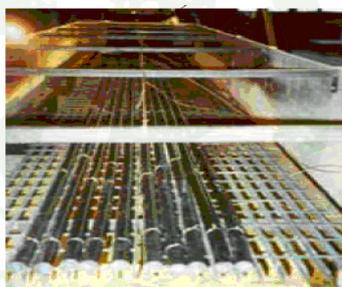
ภาพที่ 14 สายไฟภายในของสถานีไฟฟ้าย่อย (Substation)

### งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Hietaniemi *et.al.* (2004) ได้ทำการทดลองเผาสายไฟฟ้าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 28 mm ซึ่งฉนวนทำมาจากพอลิเอทิลีน (Polyethylene) และ ครอสลิงก์พอลิเอทิลีน (Cross-linked PE , XLPE) จำนวน 10 เส้น โดยนำมาวางไว้บนตะแกรงเหล็กในโพรงที่มีขนาดความยาว 6 m , ความกว้าง 1.2 m และ ความสูง 0.6 m ดังแสดงที่ภาพที่ 5, 6 และในโพรงได้ติดตั้งเทอร์โมคอปเปอร์ (Thermocouple) จำนวน 5 ชุด ตามระยะต่างๆ เพื่อวัดอัตราการปล่อยพลังงานความร้อน (Heat Release rate) ซึ่งจะนำมาเปรียบเทียบกับผลคำนวณของโปรแกรม FDS (Fire Dynamics Simulator)



(a)



(b)

ภาพที่ 15 a) ภาพด้านหน้าของโพรงที่ใช้วางสายไฟฟ้าในการทดสอบ และ  
b) การติดตั้งสายไฟฟ้า 10 เส้นบนตะแกรง

ที่มา: Hietaniemi *et.al.* (2004)



(a)

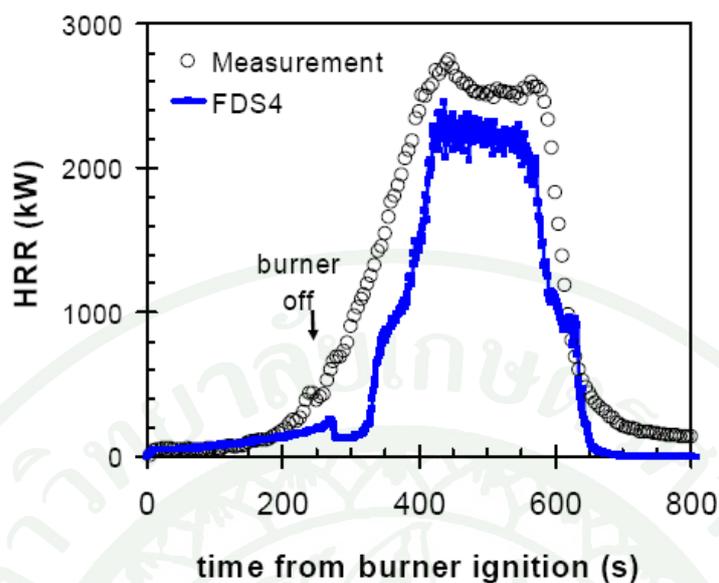


(b)

ภาพที่ 16 a) ตำแหน่งของตัวเผาไหม้ได้สายไฟฟ้า และ b) ภาพการเผาไหม้สายไฟฟ้า

ที่มา: Hietaniemi *et.al.* (2004)

ผลการทดลองพบว่า พฤติกรรมของอัตราการปล่อยพลังงานความร้อน (Heat Release rate) มีความคล้ายคลึงกันตลอดการทดลอง แต่ในช่วงเวลา 200 sec ผลการคำนวณค่าเท่ากับผลการวัด และมีอัตราการปล่อยพลังงานความร้อน (Heat Release rate) สูงสุดประมาณ 2,300 kW ดังแสดงในภาพที่ 7 ซึ่งใกล้เคียงกับผลการคำนวณ



ภาพที่ 17 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอัตราการปล่อยพลังงานความร้อน

ที่มา: Hietaniemi *et.al.* (2004)

Hatch Mott MacDonald (2006) ใช้โปรแกรม FDS จำลองการเกิดเพลิงไหม้ในสถานีรถไฟใต้ดิน ไคคัง เพื่อศึกษาการกระจายตัวของควันที่มีผลต่อความสามารถในการมองเห็น และนำไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบระบบระบายควันภายในสถานี ผลการศึกษาพบว่าบริเวณชั้นชานชาลาถูกปกคลุมด้วยควันภายในเวลา 2-3 นาที ส่วนชั้นถัดขึ้นไปมีการออกแบบระบบระบายควัน พบว่าควันถูกระบายภายในเวลาต่ำกว่า 4 นาที

ณัฐศักดิ์ (2551) ใช้โปรแกรม FDS ในการหาขนาด กริด ที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการจำลองเพลิงไหม้ภายในอาคารหลังใหม่ ของภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โดยจำลองการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงกับอากาศ โดเมนในการคำนวณมีขนาดกว้าง 8 เมตร ยาว 8 เมตร และ สูง 16 เมตร กองเพลิงขนาด 1 ตารางเมตร ได้ถูกวางไว้ที่กึ่งกลางของพื้นด้านล่างของโดเมน อัตราการปล่อยพลังงานความร้อนของกองเพลิงขนาดตั้งแต่ 500 kW ถึง 2000 kW จากการศึกษาพบว่า ขนาดกริด ในช่วง 0.164 ถึง 0.217 เป็นขนาดที่เหมาะสมที่สุดเมื่อคำนึงถึงเวลาในการคำนวณและความแม่นยำของผลการคำนวณ

เรืองรัตน์ (2551) ใช้โปรแกรม FDS ในการวิเคราะห์เพลิงไหม้ที่เกิดจากสารเคมีไวไฟ เพื่อศึกษาพฤติกรรมการเกิดเพลิงไหม้การกระจายตัวของอุณหภูมิ และอัตราการปล่อยพลังงาน ความร้อน ซึ่งในการจำลองได้ทำการศึกษาจากกรณีสารเคมีรั่วไหลออกมาอยู่ภายในอาคาร สารเคมี และเกิดการลุกติดไฟ ผลจากการศึกษาได้นำมาปรับปรุงมาตรการป้องกันและระงับ อัคคีภัยในแบบเชิงรุกคือการติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิงและแบบเชิงรับในการจัดเก็บสารเคมีคือ การลดขนาดหน้าตัดของอาคารรองรับกรณีสารเคมีหกรั่วไหลภายในห้องจัดเก็บสารเคมีไวไฟ

Daniel Madrzykowski, (2003) ได้ใช้โปรแกรม FDS จำลองเหตุการณ์เกิดเพลิงไหม้ ที่ Station nightclub ที่ 211 Cowesett Avenue, West Warwick, Rhode Island. สาเหตุเพลิงไหม้ เกิดจากวงดนตรีที่แสดงบนเวทีใช้ Effect ทำให้ไฟไปติดฉนวนที่หุ้มกำแพงที่ทำจาก polyurethane foam เพลิงไหม้ลุกลามอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดควัน ไปบดบังทางออกใช้เวลาเพียง 1 นาที จากนั้น ในเวลาเพียง 5 นาทีเพลิงก็ลุกลามอย่างรุนแรงโดย nightclub แห่งนี้ซึ่งไม่มีระบบสปริงเกอร์ ติดตั้งอยู่ทำให้มีผู้เสียชีวิตในเหตุการณ์นี้มากถึง 100 คน

การทดลองนี้ได้ทำการจำลองเวทีการแสดงคอนเสิร์ตโดยใช้ Effect ยิ่งใส่ฉนวนที่หุ้ม กำแพงจากนั้นมีการทดลองจริง 2 กรณีคือให้เกิดเพลิงไหม้แบบไม่มีสปริงเกอร์และแบบกรณี ที่มีติดตั้งสปริงเกอร์ แล้วใช้โปรแกรม FDS จำลองเทียบดูในทั้ง 2 กรณี

จากนั้นได้ทำการทดลองโดยติดตั้งสปริงเกอร์ไว้ตามตำแหน่งต่างๆจำนวน 4 หัวแล้ว จึงทำการทดลองเปรียบเทียบกับโปรแกรม FDS และพบว่าสปริงเกอร์ตัวแรกเริ่มทำงานที่เวลา ผ่านไป 25 วินาที โดยสามารถควบคุมไม่ให้ไฟลุกลามได้เมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 50 วินาที และอุณหภูมิจะลดลงอย่างต่อเนื่องหลังจากสปริงเกอร์ทำงาน

การสร้างแบบจำลองในโปรแกรม FDS (Fire Dynamics Simulation) นั้นสิ่งที่สำคัญ ที่สุด คือ ขนาดกริด (Grid Size) เพราะ ขนาดกริดที่เหมาะสมเท่านั้นจึงจะทำให้โปรแกรมสามารถ คำนวณได้ผลการทดลองที่ถูกต้อง นักวิจัยหลายท่านจึงให้ความสนใจในการทดลองเพื่อหา ขนาดของกริดที่เหมาะสม โดยตั้งสมมุติฐานในเหตุอัคคีภัยต่างๆที่เกิดขึ้น

ธน โโชค (2552) ใช้โปรแกรม FDS มาจำลองเพื่อเปรียบเทียบผลกระทบที่เกิดจากเพลิงไหม้ระหว่างบ้านที่ไม่ได้ติดตั้งระบบสปริงเกอร์ กับบ้านที่ติดตั้งระบบสปริงเกอร์ โดย จำลองเพลิงไหม้ในห้องนั่งเล่น ซึ่งเป็นที่ปิดล้อม เมื่อเพลิงไหม้จะมีความรุนแรงมากที่สุด และมีโอกาสเกิด Flash Over กำหนดค่าอัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนเท่ากับ 50 kW และใช้เวลาจำลอง 480 วินาที จากนั้นให้สปริงเกอร์ทำงานและเพลิงจะหยุดปล่อยพลังงานความร้อนที่ 97 วินาที ผลของการศึกษาปรากฏว่า ต้องใช้บับที่มีอัตราการไหล 83.8 ลิตร/นาที ความดัน 1.312 บาร์ จากนั้นใช้ FDS มาจำลอง เกิด Flash Over ขึ้นที่ 443 วินาที ค่าพลังงานความร้อนอยู่ที่ 6500 กิโลวัตต์ อุณหภูมิสูงถึง 850 °C ระยะมองเห็นที่บันไดเป็น 0 เมตร ที่เวลา 250 วินาที หลังจากติดตั้งสปริงเกอร์พบว่า จะช่วยให้ไฟดับที่เวลา 100 วินาที ค่าปลดปล่อยพลังงานความร้อนลดเป็น 0 กิโลวัตต์ และอุณหภูมิลดลงเหลือ 20 °C และระยะการมองเห็นเพิ่มขึ้นเป็น 15 เมตร ที่เวลา 250 วินาที

## อุปกรณ์และวิธีการ

### อุปกรณ์

#### ระบบคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์ประกอบ

1. เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล Intel® Core(TM) i7 ความจุ Hard Disk ขนาด 500 GB หน่วยความจำ (RAM) 4.00 GB ความเร็ว Hard disk 2.80 GHz
2. กล้องถ่ายภาพ Digital

#### โปรแกรมที่ใช้งาน

1. โปรแกรม Pyrosim 2008 จากบริษัท Thunderhead Engineer Consultant Incorporation ประเทศสหรัฐอเมริกา สำหรับนำมาใช้ในการสร้างแบบจำลองและแปลงแบบจำลองดังกล่าวให้เป็นไฟล์นามสกุล .fds เพื่อมาใช้ประมวลผลในโปรแกรม FDS
2. โปรแกรมสร้างภาพเสมือน FDS & Smoke view Version 5 สำหรับนำมาใช้เป็นโครงสร้างฐานข้อมูลที่ได้รับจาก Pyrosim และนำข้อมูลพื้นฐานดังกล่าวมาประมวลผลออกมาเป็นค่าต่างๆ ที่ใช้ในงานวิจัย

#### ระบบปฏิบัติการ

1. Microsoft Window 7 Professional

## วิธีการ

1. ศึกษาเอกสารและข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการเกิดเพลิงไหม้ในสถานี่ไฟฟ้าย่อยขนาดแรงดันปานกลาง และเก็บข้อมูลจากสถานี่ไฟฟ้าย่อยที่มีการใช้งานจริง
2. สร้างแบบจำลองเพลิงไหม้จากข้อมูลต่างๆ ที่รวบรวมไว้ โดยอ้างอิงจากขนาดเท่าของจริงที่มีการใช้งานอยู่
3. ตั้งสมมุติฐานการเกิดเพลิงไหม้ 2 ตำแหน่งเพื่อสร้างแบบจำลองในโปรแกรม Pyrosim 2008 แปลงไฟล์ไปเป็นนามสกุล .fds เพื่อนำมาประมวลผลในโปรแกรม FDS และแสดงภาพเสมือน โดยโปรแกรม Smokeview Version 5
4. ประเมินและวิเคราะห์ผลการเกิดเพลิงไหม้ทั้ง 2 ตำแหน่ง
5. พิจารณากรณีที่เกิดเพลิงไหม้รุนแรงกว่า (Worst Case)
6. นำกรณี Worst Case ไปทำการติดตั้งระบบ Sprinkler
7. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

## ขั้นตอนการวิจัย

1. สำรจรายละเอียดเกี่ยวกับสถานี่ไฟฟ้าย่อยขนาดแรงดันปานกลาง (Medium Voltage) สถานี่ไฟฟ้าย่อยติดตั้งหลายตู้ เป็นกลุ่ม เป็นแบบเคลื่อนที่ได้ (Portable Substation)

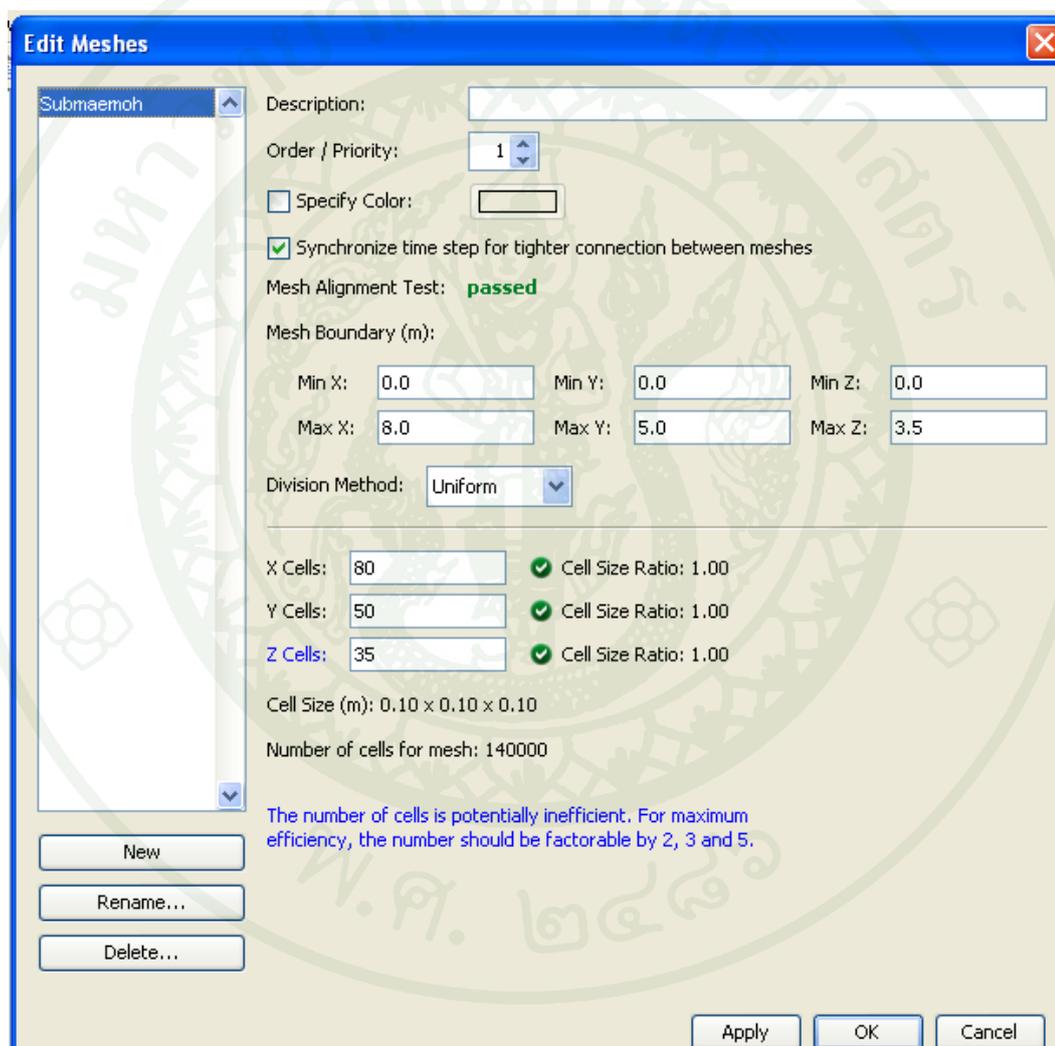
สถานี่ไฟฟ้าย่อยที่ใช้ในการศึกษาวิจัยเป็นสถานี่ที่มีขนาดของสถานี่กว้าง 5.0 เมตร ยาว 8.0 เมตร สูง 3.5 เมตร มีประตูเปิดออก 2 บาน ด้านหัวและท้าย ดังภาพที่ 18



ภาพที่ 18 แสดงลักษณะของสถานีไฟฟ้าย่อย (Substation) ที่ใช้ในเหมืองแม่เมาะ

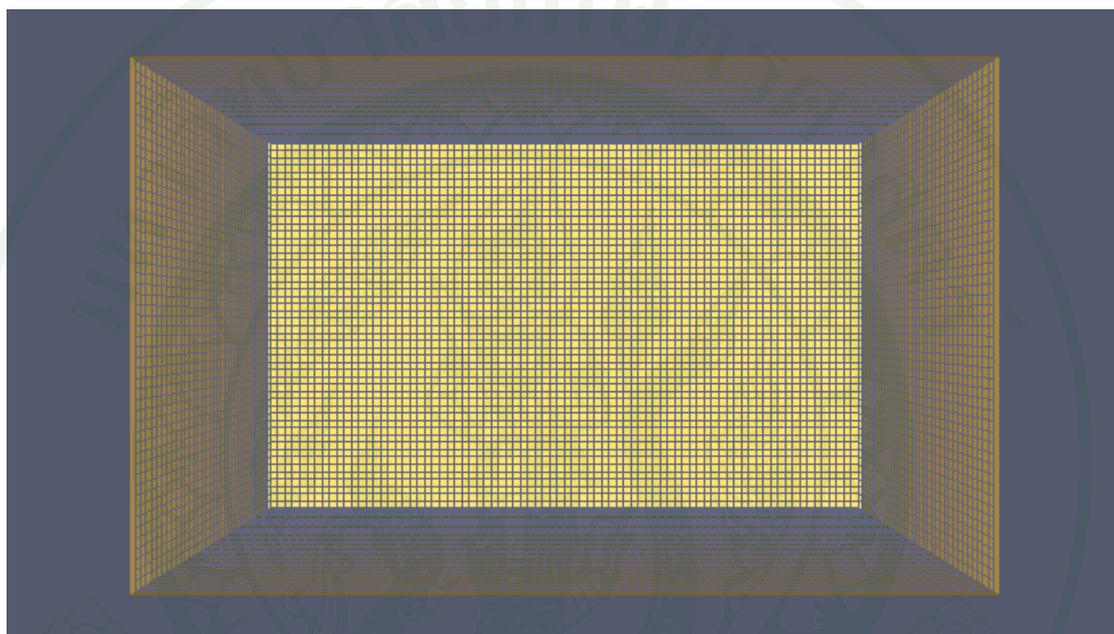
2. ทำการสร้างแบบจำลองของสถานีไฟฟ้าย่อย จากข้อมูลที่รวบรวมไว้ โดยอ้างอิงจากขนาดเท่าของจริง

สร้างแบบจำลองโดยใช้โปรแกรม Pyrosim 2008 ทำการกำหนดขนาดโครงข่ายของเพลิง (Fire Mesh) ขนาดกว้าง ยาว สูง เท่ากับ 5.0 เมตร × 8.0 เมตร × 3.5 เมตร และเมื่อกำหนดค่ากริดเท่ากับ 0.1 เมตร ลงไปโปรแกรมจะทำการประมวลขนาดกริดที่เรากำหนด



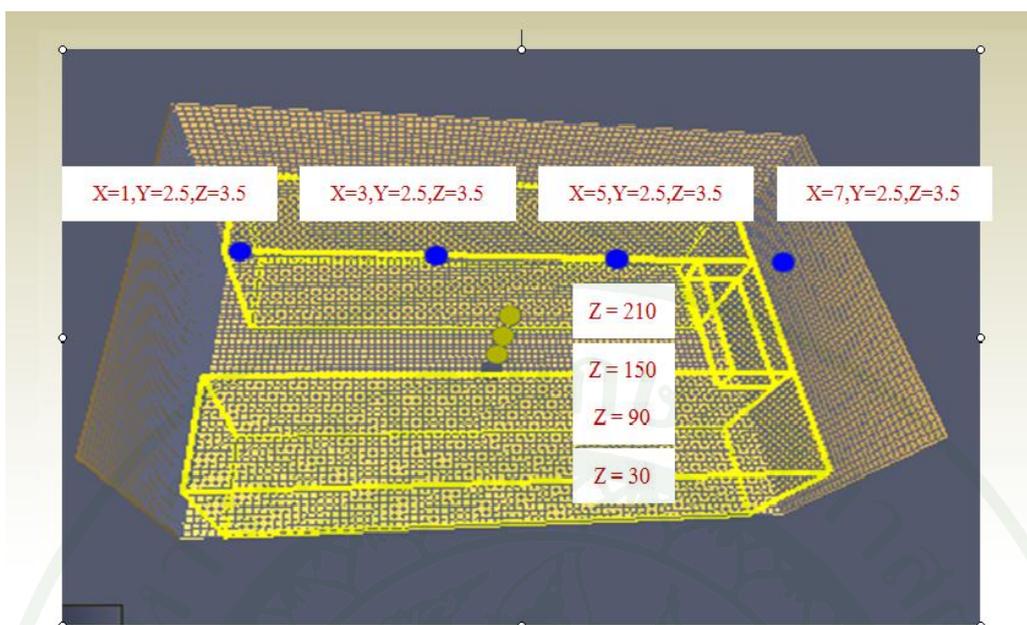
ภาพที่ 19 แสดงหน้าต่างการกำหนดขนาดกริดที่ใช้ใน โปรแกรม Pyrosim

ขนาดกริดที่ใช้ในแบบจำลองนี้มีค่าเท่ากับ 0.1 เมตร×0.1 เมตร×0.1 เมตร และได้จำนวน Cell ทั้งหมด 140,000 Cell ซึ่งเป็นขนาดกริดที่ได้ทำการทดลอง(ณัฐศักดิ์ 2551 ใช้โปรแกรม FDS ในการหาขนาดกริดที่เหมาะสมเพื่อใช้จำลองเพลิงไหม้อาคารหลังใหม่ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ พบว่าขนาดกริดในช่วง 0.164 – 0.217 เมตร เป็นขนาดที่เหมาะสมที่สุด เมื่อคำนึงถึงเวลาในการคำนวณ และความแม่นยำของผลการคำนวณ)



ภาพที่ 20 แสดงภาพกริดของสถานีไฟฟ้าย่อย ขนาดกริด 0.1 เมตร จำนวน Cell 140,000

เมื่อได้แบบจำลองของสถานีไฟฟ้าย่อยแล้ว กำหนดขนาดของตู้ไฟฟ้ายาว 7.0 เมตร กว้าง 1.5 เมตร สูง 2.2 เมตร และรางสายไฟ (Cable Tray) กว้าง 0.8 เมตร ยาว 2.0 เมตร สูง 0.5 เมตร เทอร์โมคอปเปิล ที่ตำแหน่งกึ่งกลางของสถานีไฟฟ้า ที่ระดับ 0.3, 0.9, 1.5, 2.1 เมตร ดังแสดงในภาพที่ 21



ภาพที่ 21 แสดงภาพกริดของสถานีไฟฟ้าย่อย ตู้ไฟฟ้า เทอร์โมคอปเปิล และรางสายไฟ

3. หลังจากสร้างโครงสร้างของสถานีไฟฟ้าย่อยและตู้ไฟฟ้าภายในของสถานีไฟฟ้าย่อยแล้ว กำหนดค่าพารามิเตอร์ รวมทั้ง Burner (บริเวณที่เกิดเพลิงไหม้)

3.1 Burner ที่รางสายไฟ (Cable Tray)

3.2 Burner ที่บริเวณตู้ไฟฟ้าติดกับพื้นของสถานีไฟฟ้า

ทำการแปลงไฟล์ ซึ่งใช้กับโปรแกรม FDS โดยเลือกที่ File/Export/FDS Files แล้วบันทึก โดยกำหนดชื่อไฟล์เป็นนามสกุลว่า file.fds

4. ข้อมูลที่ได้จากการคำนวณของโปรแกรม FDS ดังนี้

4.1 อัตราการปลดปล่อยของพลังงานความร้อน (Heat Release Rate)

4.2 การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ

5. ประเมินผลการทดลองโดยเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลที่เกิดขึ้นทั้ง 2 กรณี เพื่อประเมินว่าเพลิงไหม้ที่เกิดบริเวณใดจะมีแนวโน้มรุนแรงมากที่สุด (Worst Case)

6. นำกรณี Worst Case มาทำการคำนวณพื้นที่เพื่อทำการติดตั้งหัวสปริงเกลอร์

### 6.1 การติดตั้งหัวสปริงเกอร์ตามมาตรฐาน NFPA 13

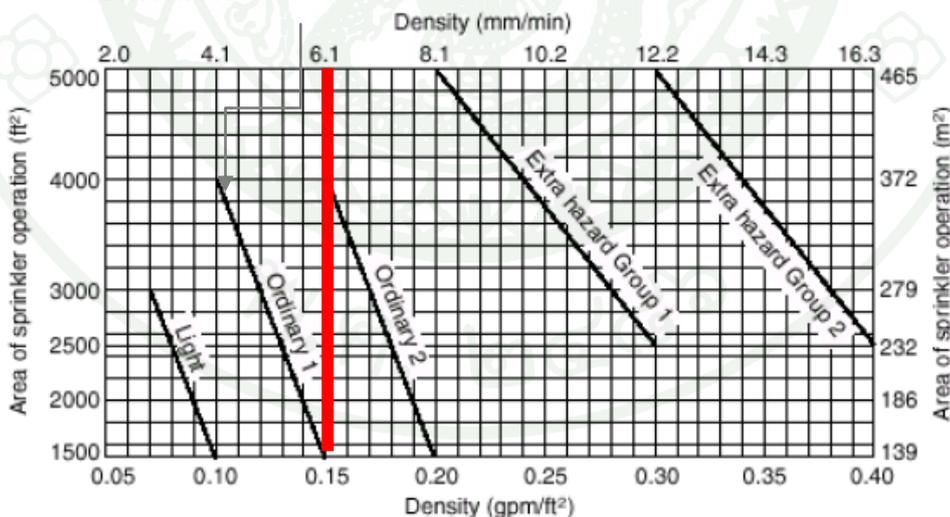
การออกแบบสำหรับควบคุมเพลิงไหม้ในการติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิงใช้ข้อมูลที่มีอยู่ใน ฐานข้อมูลของโปรแกรม FDS โดยเลือกใช้หัวกระจายน้ำดับเพลิงแบบ K=11.2 โดยออกแบบตามมาตรฐานของ NFPA 13 หัวกระจายน้ำดับเพลิงมีค่า Density เท่ากับ 6.1 mm/min

### 6.2 ขั้นตอนการวางหัวกระจายน้ำดับเพลิง

สำหรับการคำนวณหาระยะห่างระหว่างหัว สปริงเกอร์ พื้นที่ป้องกันของหัวสปริงเกอร์ และการวางตำแหน่งของหัวสปริงเกอร์สามารถคำนวณได้จากตารางที่ 7 ซึ่งเป็นตารางการกำหนดค่าสูงสุดของระยะห่างระหว่างหัวสปริงเกอร์ และพื้นที่ป้องกันของหัวสปริงเกอร์แบบพื้นที่ครอบครองแบบ Ordinary Group 1

#### 6.2.1 กำหนดพื้นที่ของสถานีไฟฟ้าย่อยและเลือก Protective Area ตามตาราง

เส้นกราฟที่เลือก  
ใช้ในงานวิจัย



ภาพที่ 22 Miscellaneous Storage and Commodity Classes I through IV Storage

ที่มา: Standard for the Installation of Sprinkler Systems, NFPA13 (2002)

ตารางที่ 7 การกำหนดค่าสูงสุดของระยะห่างระหว่างหัวกระจายน้ำดับเพลิง และพื้นที่ป้องกัน  
หัวกระจายน้ำดับเพลิง

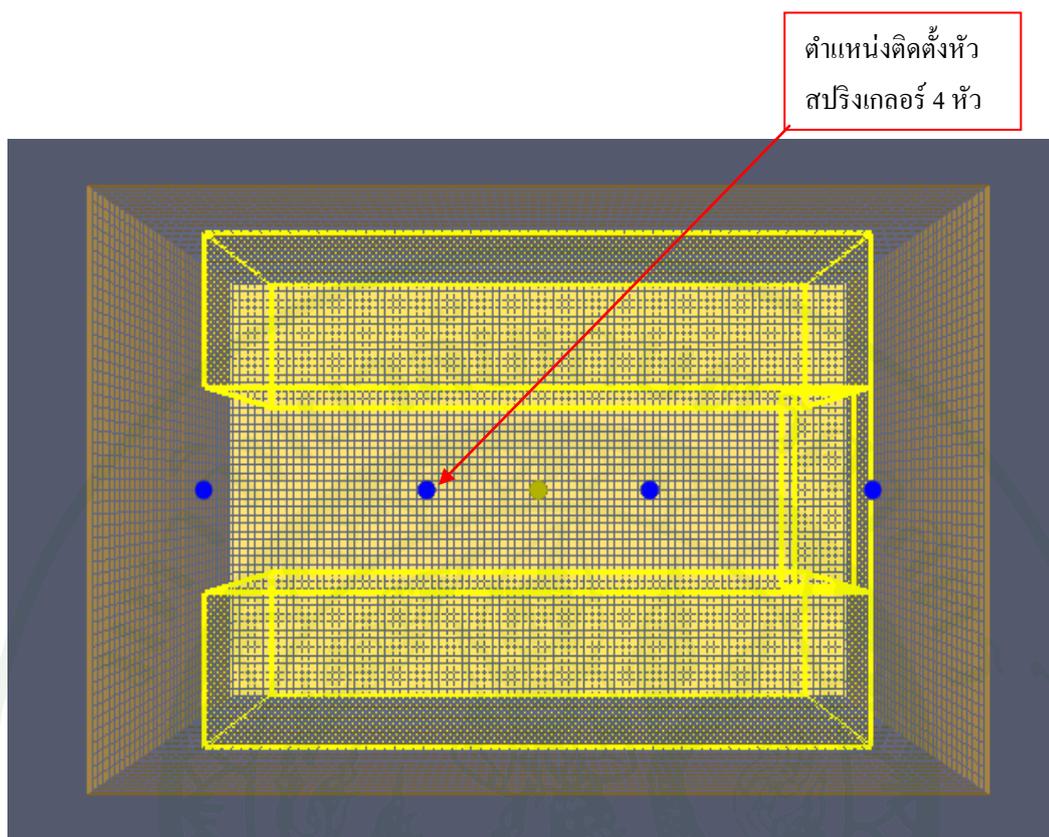
ชนิดของ สิ่งกีด ขวาง	ระบบที่ใช้คำนวณ	ค่าสูงสุดของ ระยะห่างระหว่าง หัวกระจายน้ำ ดับเพลิง			
		ค่าสูงสุดของ พื้นที่ป้องกัน			
		ft <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	ft	m
ทุกแบบ	Pipe Schedule	90	8.4	12	3.7
ทุกแบบ	Hydraulically calculated with density $\geq 0.25$ (10.2)	100	9.3	12	3.7
ทุกแบบ	Hydraulically calculated with density $< 0.25$ (10.2)	130	12.1	15	4.6

ที่มา: Table 8.6.2.2.1(c) Protection Areas and Maximum Spacing (Standard Spray Upright/Standard Spray Pendent) for Extra Hazard, NFPA 13

จากตารางที่ 7 ค่าสูงสุดของระยะห่างระหว่างหัวสปริงเกอร์คือ 4.6 เมตร คือระยะห่างสูงสุดที่ NFPA กำหนด จากค่านี้จะนำไปกำหนดการวางระยะของสปริงเกอร์ให้สมมาตร และได้กำหนดใน โปรแกรม Pyrosim ตามภาพที่ 23

พื้นที่ของสถานีไฟฟ้าย่อยในงานวิจัยนี้มีค่าเท่ากับ 40 m<sup>2</sup>

- ค่าสูงสุดของพื้นที่ป้องกันตามตารางที่ 7 คือ 12.1 m<sup>2</sup>
- หาจำนวนของสปริงเกอร์ที่ใช้สำหรับสถานีไฟฟ้าย่อยเท่ากับ  $40/12.1 = 3.3$  หัว
- ให้ใช้หัวสปริงเกอร์ = 4 หัว



ภาพที่ 23 แสดงตำแหน่ง การติดตั้งหัวสปริงเกลอร์ 4 หัว (1แถว×4หัว) ในสถานีไฟฟ้าย่อยที่ทำในโปรแกรม Pyrosim

### กรณีที่ 1

จากภาพที่ 23

หัวที่ 1, 2, 3, 4 พื้นที่ ที่ออกแบบ  $(5 \times 2) \times 4 = 40 \text{ m}^2$

จากภาพที่ 23

$$\begin{aligned}
 1. \quad Q &= \text{Density} \times \text{พื้นที่ที่ออกแบบ (ป้องกัน)} \\
 &= 6.1 \text{ lpm/m}^2 \times 40 \text{ m}^2 \\
 &= 244 \text{ lpm}
 \end{aligned}$$

## 2. อัตราการไหลต่อหัว

$$= Q/\text{จำนวนหัว}$$

$$= 244/4$$

$$= 61 \text{ lpm/หัว}$$

## 3. ตรวจสอบ Min.Require/หัว เทียบกับ NFPA13

$$Q = K\sqrt{P}$$

$$61 = 116.4\sqrt{P}$$

$$\sqrt{P} = 61/116.4$$

$$= 0.38$$

$$P = 0.14$$

$$0.14 < 0.5 \text{ Bar}$$

## 4. ใช้ Pressure ขึ้นต่ำตาม Catalogue ของสินค้า (Sprinkler) แนะนำ คือ 0.7 Bar

## 5. หา Q ใหม่

$$Q = K\sqrt{P}$$

$$= 116.4\sqrt{0.7}$$

$$= 135.03$$

## 6. นำค่าที่คำนวณได้ไปใส่ในโปรแกรม FDS

## 7. ค่าการตอบสนองของอุปกรณ์ตรวจจับความร้อน(Response Time Index)

กรณีที่ค่า Response Time Index, RTI มีค่าต่ำ อุปกรณ์จะมีการตอบสนองต่ออุณหภูมิของควันอย่างรวดเร็ว ในทางกลับกัน ถ้ามีค่าสูงอุปกรณ์จะมีการตอบสนองต่ออุณหภูมิของควันช้า สำหรับ NFPA 13 Standard for the Installation of Sprinkler Systems 2002 Edition ได้กำหนดค่า Response Time Index สำหรับหัวสปริงเกอร์ไว้ดังนี้

- Fast response sprinkler,  $RTI < 50 \text{ (ms)}^{1/2}$

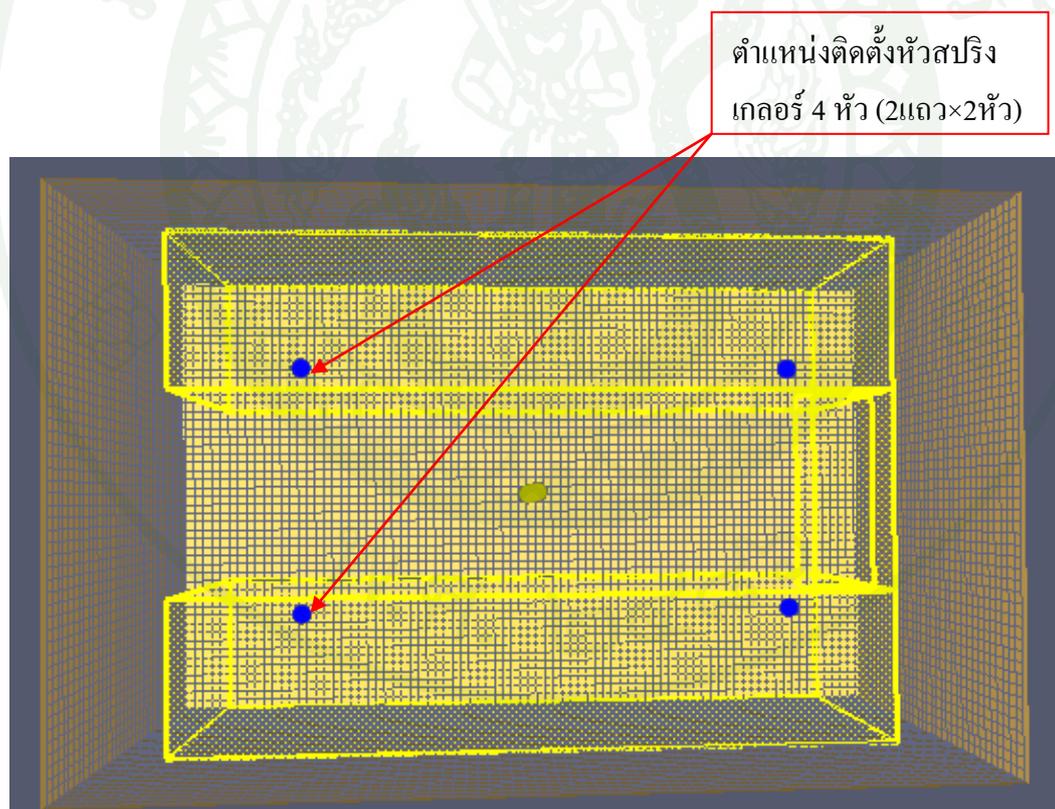
- Special response sprinkler,  $50 \text{ (ms)}^{1/2} < RTI < 80 \text{ (ms)}^{1/2}$

- Standard response sprinkler,  $80 \text{ (ms)}^{1/2} < RTI < 350 \text{ (ms)}^{1/2}$

สำหรับงานวิจัยนี้จะใช้หัวสปริงเกอร์ที่เป็นแบบ Special response sprinkler ซึ่งมีค่า Response Time Index คือ  $50 \text{ (ms)}^{1/2}$  จากข้อมูลของผู้ผลิตและจะนำค่านี้ไปใช้ในการกำหนดคุณสมบัติของหัวสปริงเกอร์ในแบบจำลอง

8. ประเมินผลการทดลองจากกรณีที่ 1 ติดสปริงเกอร์ 4 หัว (1 แถว×4 หัว) ค่าอุณหภูมิและค่าอัตราการปลดปล่อยความร้อนยังมีค่าค่อนข้างสูง

9. ทำการติดตั้งสปริงเกอร์ใหม่เป็นกรณีที่ 2 แบบ 4 หัว (2 แถว×2 หัว)



ภาพที่ 24 แสดงตำแหน่ง การติดตั้งหัวสปริงเกอร์ 4 หัว (2แถว×2หัว)ในสถานีไฟฟ้าย่อยที่ทำใน Pyrosim

## กรณีที่ 2

จากภาพที่ 24

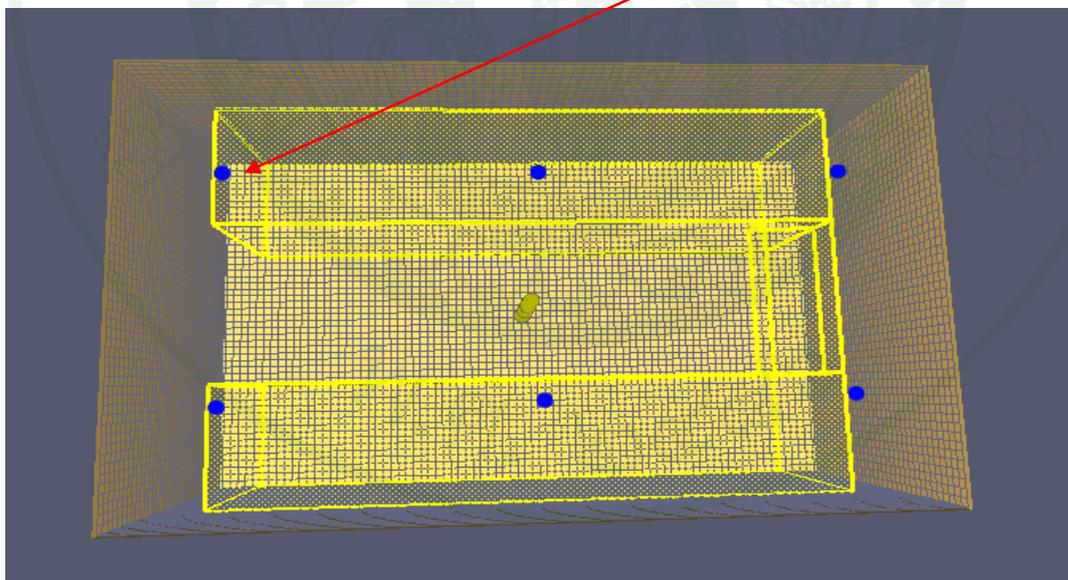
หัวที่ 1, 2, 3, 4 พื้นที่ ที่ออกแบบ  $2.5 \times 4 = 40 \text{ m}^2$

ค่าต่างๆของกรณีที่ 2 จะเหมือนของกรณีที่ 1 (เพราะใช้ สปริงเกลอร์ 4 หัว เหมือนกัน)  
นำค่าที่คำนวณได้ใส่ใส่ไปในโปรแกรม FDS

ประเมินผลการทดลองจากกรณีที่ 2 ติดสปริงเกลอร์ 4 หัว (2แถว×2หัว) ค่าอุณหภูมิและค่า  
อัตราการปลดปล่อยความร้อนยังมีค่าค่อนข้างสูง ใกล้เคียงกับ กรณีที่ 1

ทำการคำนวณพื้นที่ในการติดสปริงเกลอร์ใหม่เป็น กรณีที่ 3

ตำแหน่งติดตั้งหัวสปริง  
เกลอร์ 6 หัว ( 2แถว×3หัว)



ภาพที่ 25 แสดงตำแหน่ง การติดตั้งหัวสปริงเกลอร์ 6 หัว (2แถว×3หัว) ในสถานีไฟฟ้าย่อยที่ทำ  
ใน Pyrosim

### กรณีที่ 3

หัวที่ 1, 3, 4 และ หัวที่ 6 พื้นที่ ที่ออกแบบ  $(2.5 \times 2.5) \times 4 = 25 \text{ m}^2$

หัวที่ 2 และหัวที่ 5 พื้นที่ ที่ออกแบบ  $(3 \times 2.5) \times 2 = 15 \text{ m}^2$

จากภาพที่ 22

#### 1. ปริมาณน้ำที่ต้องการจาก Graph

$$\begin{aligned} Q &= \text{Density} \times \text{พื้นที่ที่ออกแบบ (ป้องกัน)} \\ &= 6.1 \text{ lpm/m}^2 \times 40 \text{ m}^2 \\ &= 244 \text{ lpm} \end{aligned}$$

#### 2. อัตราการไหลต่อหัว

$$\begin{aligned} &= Q/\text{จำนวนหัว} \\ &= 244/6 \\ &= 40.6 \text{ lpm/หัว} \end{aligned}$$

#### 3. ตรวจสอบ Min.Require/หัว เทียบกับ NFPA13

$$\begin{aligned} Q &= K\sqrt{P} \\ 40.6 &= 161.4 \sqrt{P} \\ \sqrt{P} &= 40.6/161.4 \\ &= 0.25 \\ P &= 0.06 \\ 0.06 &< 0.5 \text{ Bar} \end{aligned}$$

#### 4. ใช้ Pressure ขั้นต่ำตาม Catalogue ของสินค้า (Sprinkler) แนะนำ คือ 0.7 Bar

## 5. หา Q ใหม่

$$\begin{aligned}
 Q &= K\sqrt{P} \\
 &= 161.4 \sqrt{0.7} \\
 &= 135.03
 \end{aligned}$$

## 6. นำค่าที่คำนวณได้ไปใส่ในโปรแกรม FDS

## 7. ค่าการตอบสนองของอุปกรณ์ตรวจจับความร้อน(Response Time Index)

กรณีที่มีค่า Response Time Index, RTI มีค่าต่ำ อุปกรณ์จะมีการตอบสนองต่ออุณหภูมิของควันอย่างรวดเร็ว ในทางกลับกัน ถ้ามีค่าสูงอุปกรณ์จะมีการตอบสนองต่ออุณหภูมิของควันช้า สำหรับ NFPA 13 Standard for the Installation of Sprinkler Systems 2002 Edition ได้กำหนดค่า Response Time Index สำหรับหัวสปริงเกลอร์ไว้ดังนี้

- Fast response sprinkler,  $RTI < 50 \text{ (ms)}^{1/2}$
- Special response sprinkler,  $50 \text{ (ms)}^{1/2} < RTI < 80 \text{ (ms)}^{1/2}$
- Standard response sprinkler,  $80 \text{ (ms)}^{1/2} < RTI < 350 \text{ (ms)}^{1/2}$

สำหรับงานวิจัยนี้จะใช้หัวสปริงเกลอร์ที่เป็นแบบ Special response sprinkler ซึ่งมีค่า Response Time Index คือ  $50 \text{ (ms)}^{1/2}$  จากข้อมูลของผู้ผลิตและจะนำค่านี้ไปใช้ในการกำหนดคุณสมบัติของหัวสปริงเกลอร์ในแบบจำลอง

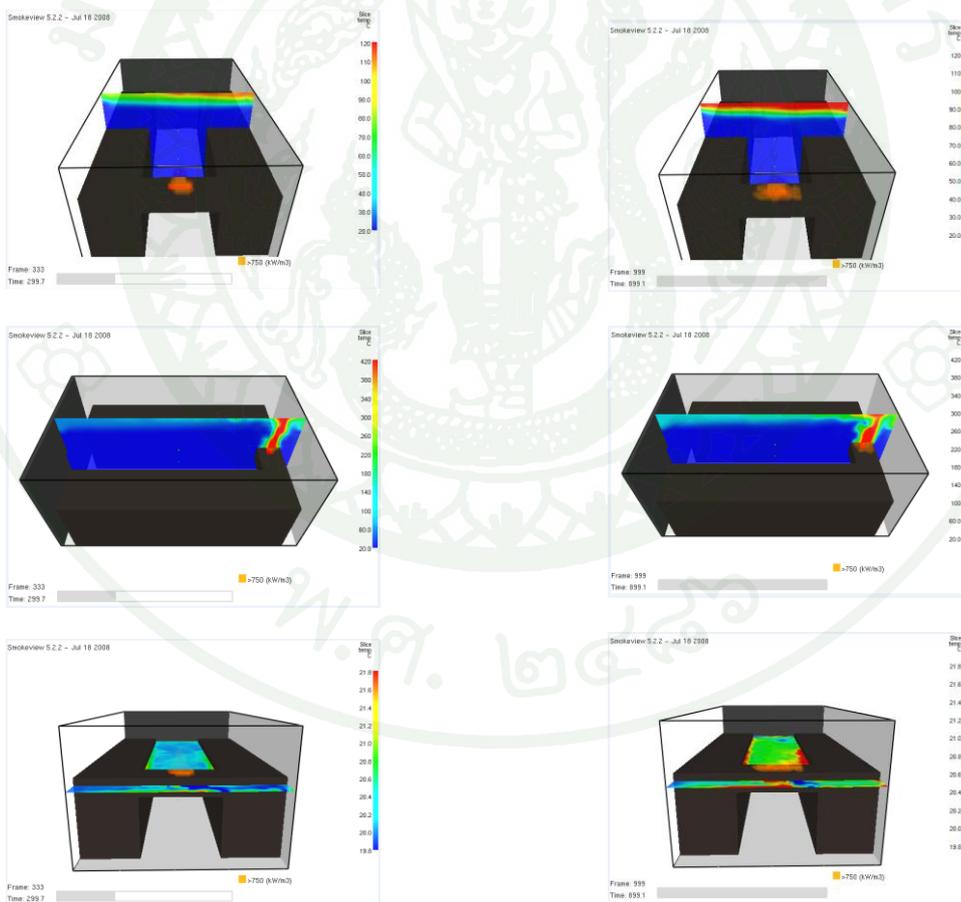
8. ประเมินผลการทดลองจากกรณีที่ 3 ติดสปริงเกลอร์แบบ 6 หัว (2แถว×6หัว) เทียบกับกรณีที่ 1 และ 2 ติดสปริงเกลอร์ 4 หัว (2แถว×2หัว) เพื่อเปรียบเทียบและสรุปผลที่ได้

### ผลและวิจารณ์

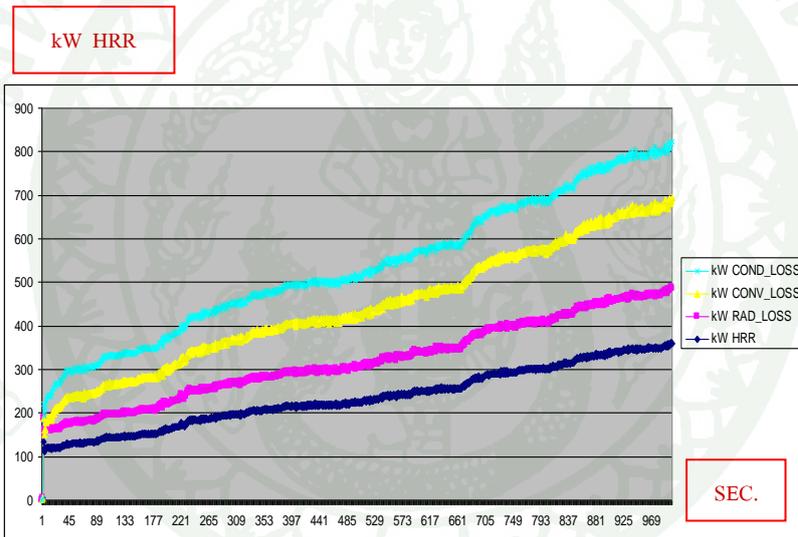
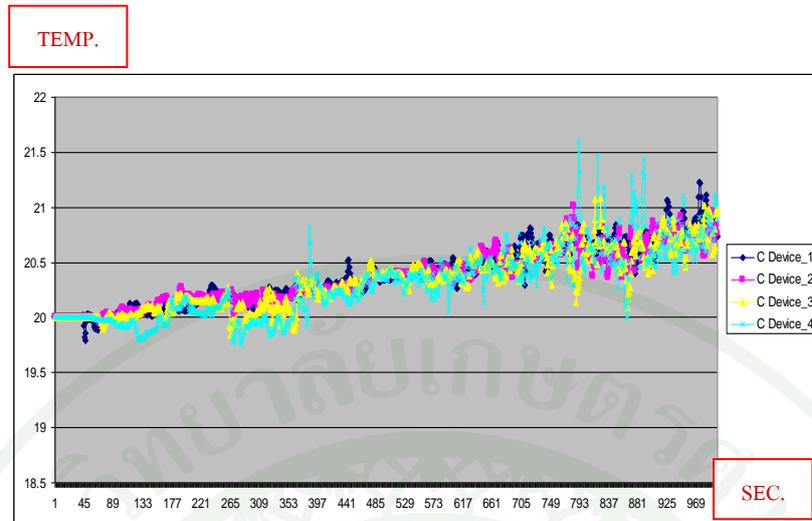
ผลจากการสร้างแบบจำลองเพื่อวิเคราะห์พฤติกรรมการเกิดเพลิงไหม้ภายในสถานีไฟฟ้าย่อย

จากการประมวลผลโดยใช้โปรแกรม FDS (Fire Dynamics Simulator) และใช้สปริงเกอร์ที่มีค่า  $K = 11.2$  และมี Flow Rate อยู่ที่ 135.03 ลิตร/นาที และมีการติดตั้ง Thermocouple สำหรับวัดอุณหภูมิ 4 ตัว ที่กึ่งกลางของสถานี ไฟฟ้าย่อย สูงจากพื้นที่ 30 cm , 90 cm , 150 cm , 210 cm พิจารณาทั้งหมด 2 กรณี คือเกิดเพลิงไหม้ (Burner) ที่รางสายไฟ (Cable Tray) และบริเวณพื้นล่างของตู้ไฟฟ้า (Cubicle) เพราะเป็นบริเวณที่มีจุดต่อสายไฟอยู่เป็นจำนวนมาก และเคยเกิดเพลิงไหม้มาแล้ว ผลที่ได้เป็นดังนี้

#### 1. กรณีที่ 1 เกิดเพลิงไหม้ที่บริเวณรางสายไฟ (Cable Tray)



ภาพที่ 26 แสดงตำแหน่งอุณหภูมิที่แกน X=4.0, Y=2.5, Z=2.0 เมตร ที่เวลา 300 และ 900 วินาที



ภาพที่ 27 กราฟแสดงอุณหภูมิ และค่าอัตราการปลดปล่อยความร้อน (HRR) ของเพลิงไหม้ที่รางสายไฟ (Cable Tray)

จากภาพที่ 26 แสดงอุณหภูมิ ที่  $X=4.0$ ,  $Y=2.5$ ,  $Z=2.0$  เมตร โดยกำหนดในค่า Slice จากโปรแกรม FDS เปรียบเทียบแกนทั้ง 3 แกน ทางด้านซ้ายของภาพคือ 300 วินาที ทางขวา 900 วินาที เพื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิและการ พัฒนาลูกไหม้ของเพลิง

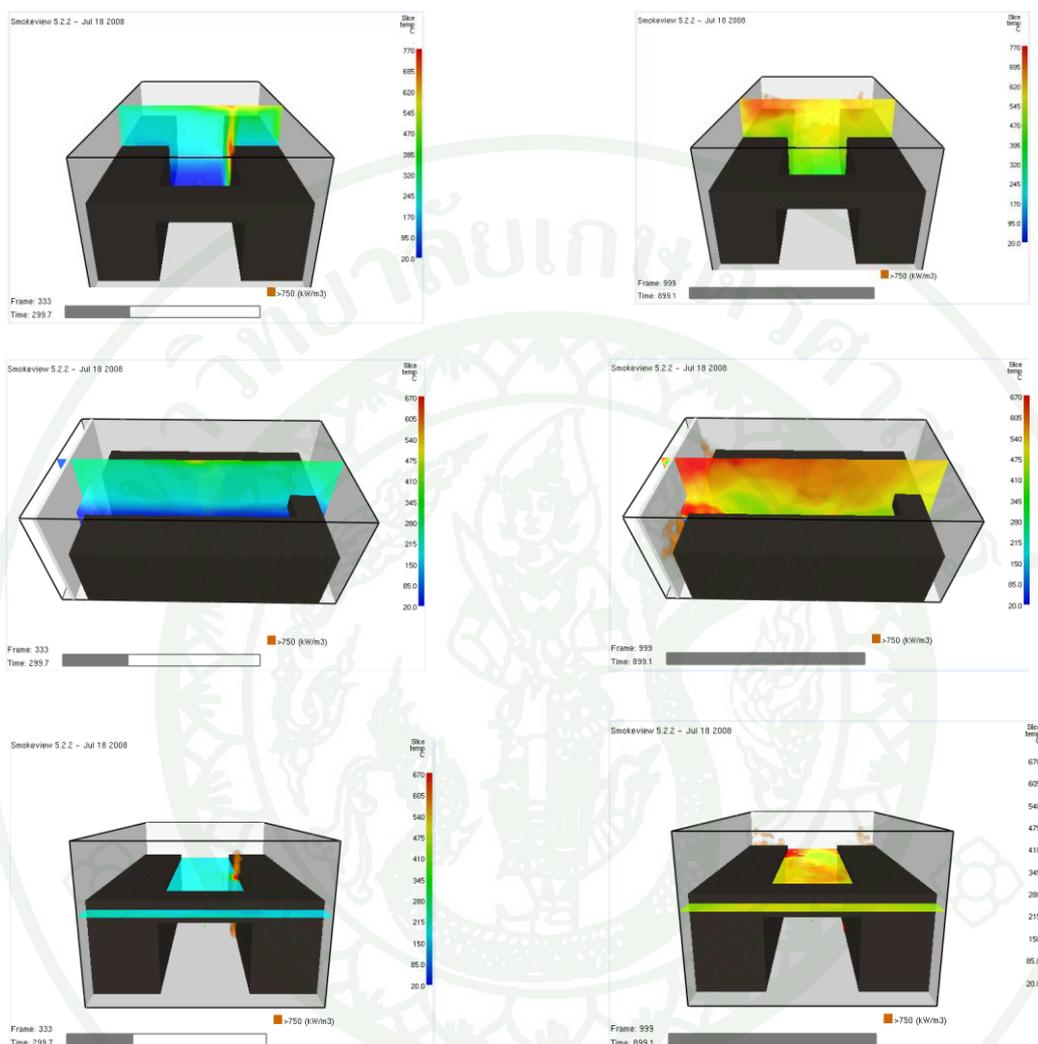
ภาพบนเปรียบเทียบที่แกน  $X=4.0$  เมตรเพลิงที่ไหม้ที่รางสายไฟ (Cable Tray) ค่อยๆ พัฒนา (ดูจากแถบสี) อุณหภูมิสูงสุดของแกน X คือ 120 องศา ในเวลา 900 วินาที

ภาพกลางเปรียบเทียบที่แกน  $Y=2.5$  เมตรเพลิงที่ไหม้ที่รางสายไฟ (Cable Tray) ค่อยๆ พัฒนา (ดูจากแถบสี) อุณหภูมิสูงสุดของแกน Y คือ 420 องศา ในเวลา 900 วินาที

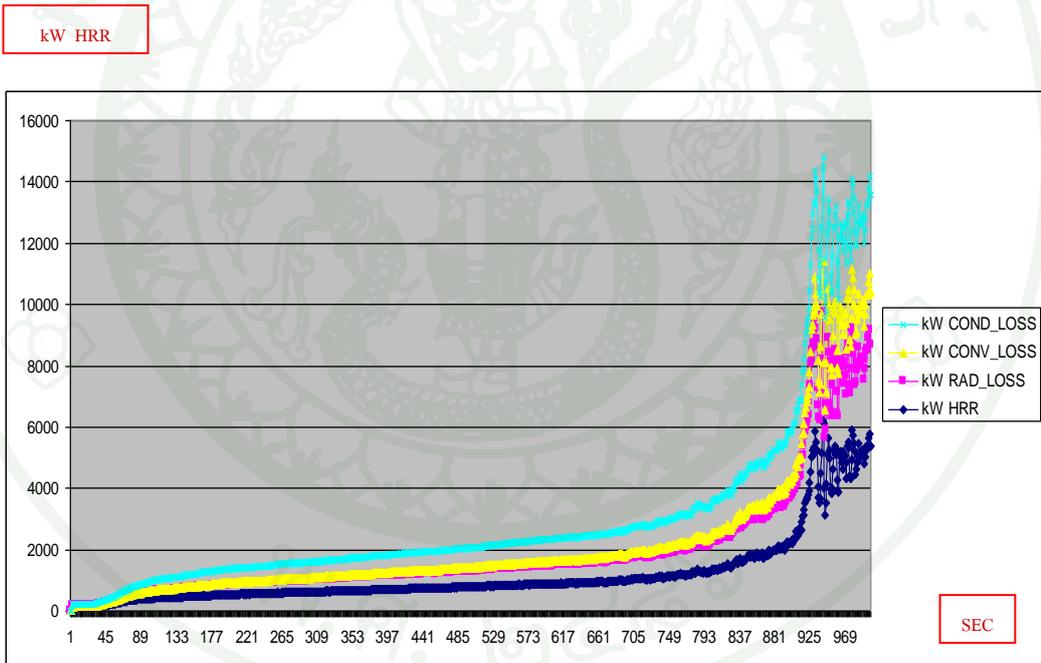
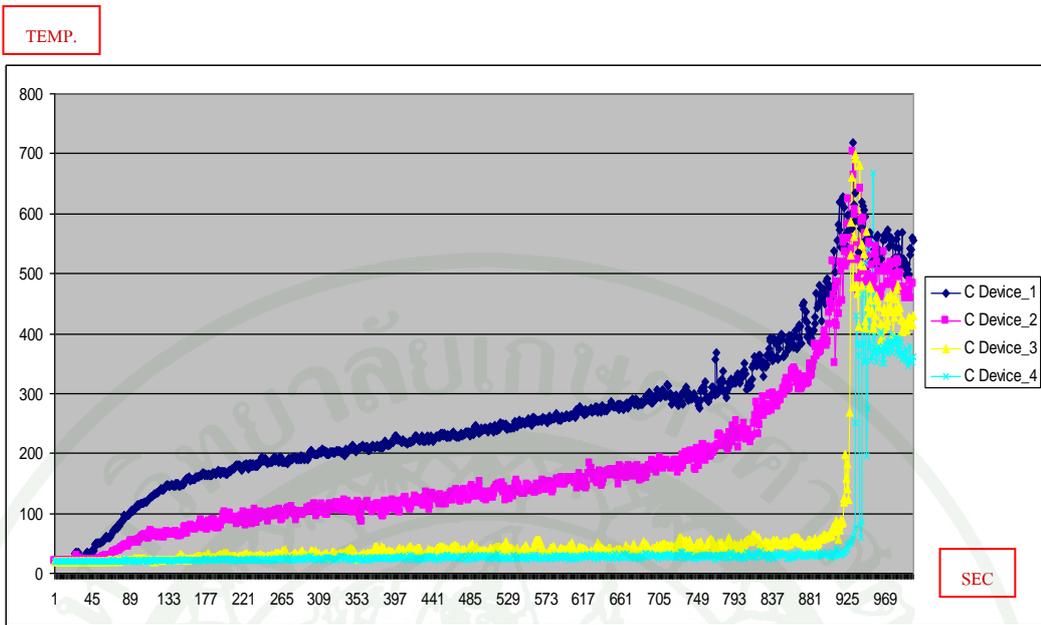
ภาพล่างเปรียบเทียบที่แกน  $Z=2.0$  เมตรเพลิงที่ไหม้ที่รางสายไฟ (Cable Tray) ค่อยๆ พัฒนา (ดูจากแถบสี) อุณหภูมิสูงสุดของแกน Z คือ 21 องศา ในเวลา 900 วินาที

จากภาพที่ 27 เป็นภาพเปรียบเทียบกราฟของอุณหภูมิ และอัตราการปลดปล่อยความร้อน (Heat Release Rate) กราฟบนแสดงอุณหภูมิ ตั้งแต่ 1 วินาทีจนถึง 900 วินาที อุณหภูมิจะเริ่มจากอุณหภูมิห้องคือ 20 องศาวัดด้วย Thermocouple ที่ติดตั้งอยู่กึ่งกลางสถานีไฟฟ้า (ภาพที่ 21) วัดได้ 20-21 องศาโดยประมาณ (กราฟบน) สูงสุดที่ 900 วินาที และค่าอัตราการปลดปล่อยความร้อน (HRR) (กราฟล่าง) จะมีค่าสูงสุดอยู่ที่ประมาณ 200 kW ที่เวลา 300 วินาที แต่ค่าสูงสุดอยู่ที่ประมาณ 350 kW ที่ 900 วินาที

## 2. กรณีที่ 2 เกิดเพลิงไหม้ที่บริเวณพื้นล่างของตู้ไฟฟ้า (Cubicle)



ภาพที่ 28 แสดงตำแหน่งอุณหภูมิที่แกน X=4.0, Y=2.5, Z=2.0 เมตร ที่เวลา 300 และ 900 วินาที



ภาพที่ 29 กราฟแสดงอุณหภูมิ และค่าอัตราการปลดปล่อยความร้อน (HRR) ของเพลิงไหม้ที่พื้นล่างตู้ไฟฟ้า (Cubicle)

จากภาพที่ 28 แสดงอุณหภูมิ ที่  $X=4.0$ ,  $Y=2.5$ ,  $Z=2.0$  เมตร โดยกำหนดในค่า Slice จากโปรแกรม FDS เปรียบเทียบแกนทั้ง 3 แกน ทางด้านซ้ายของภาพคือ 300 วินาที ทางขวา 900 วินาที เพื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิ และการพัฒนาลูกไหม้ของเพลิง

ภาพบนเปรียบเทียบที่แกน  $X=4.0$  เมตร เพลิงไหม้ที่พื้นล่างตู้ไฟฟ้า (Cubicle) ค่อยๆ พัฒนา (ดูจากแถบสี) อุณหภูมิสูงสุดของแกน  $X$  คือ 770 องศา ในเวลา 900 วินาที

ภาพกลางเปรียบเทียบที่แกน  $Y=2.5$  เมตร เพลิงไหม้ที่พื้นล่างตู้ไฟฟ้า (Cubicle) ค่อยๆ พัฒนา (ดูจากแถบสี) อุณหภูมิสูงสุดของแกน  $Y$  คือ 670 องศา ในเวลา 900 วินาที

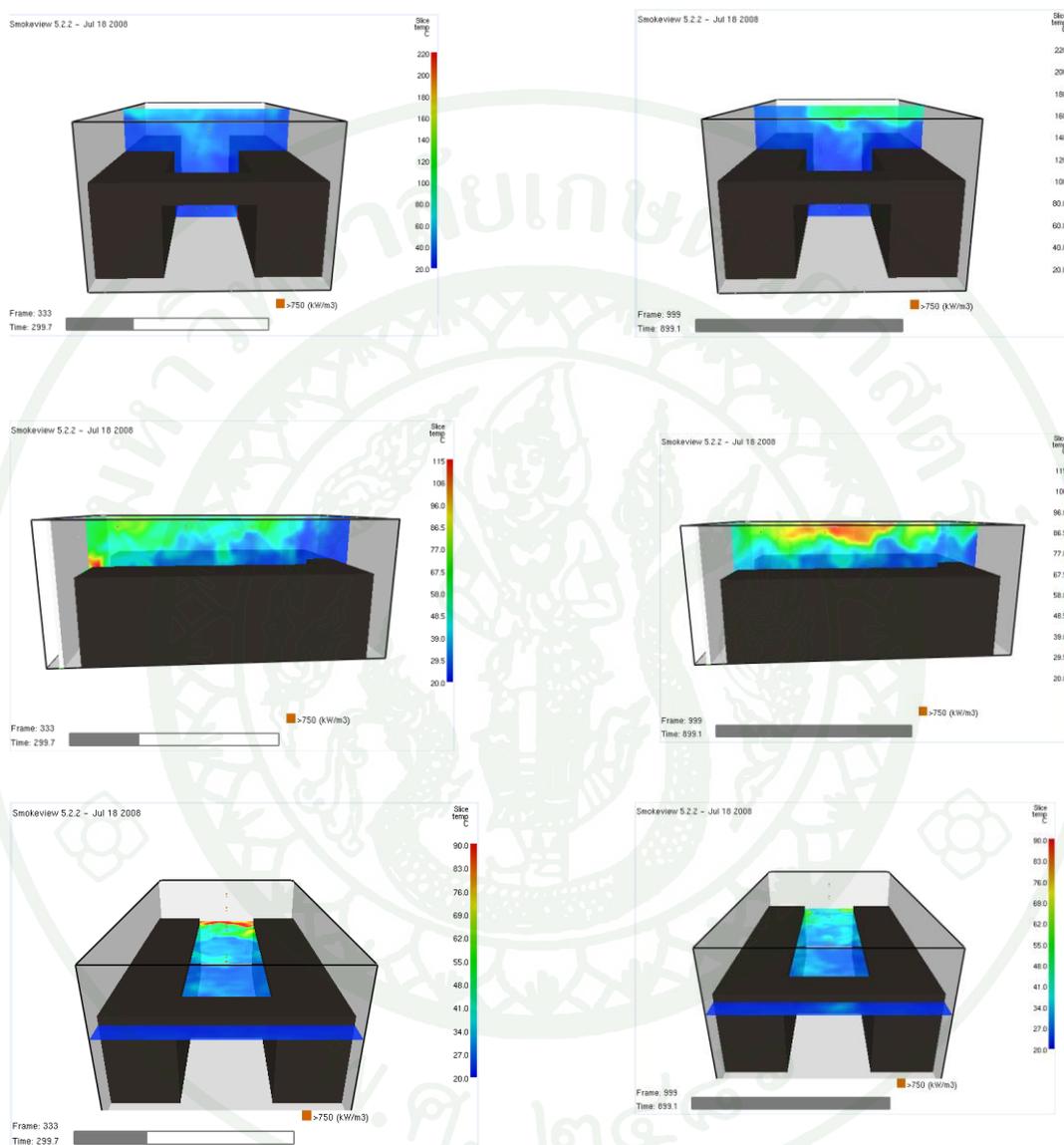
ภาพล่างเปรียบเทียบที่แกน  $Z=2.0$  เมตร เพลิงไหม้ที่รางสายไฟ (Cable Tray) ค่อยๆ พัฒนา (ดูจากแถบสี) อุณหภูมิสูงสุดของแกน  $Z$  คือ 670 องศา ในเวลา 900 วินาที

จากภาพที่ 29 เป็นภาพเปรียบเทียบกราฟของอุณหภูมิ และอัตราการปลดปล่อยความร้อน (Heat Release Rate) กราฟบนแสดงอุณหภูมิ ตั้งแต่ 1 วินาทีจนถึง 900 วินาที อุณหภูมิจะเริ่มจากอุณหภูมิห้องคือ 20 องศาวัดด้วย Thermocouple ที่ติดตั้งอยู่กึ่งกลางสถานีไฟฟ้า (ภาพที่ 21) วัดได้ 720 องศาโดยประมาณ (กราฟบน) สูงสุดที่ 900 วินาที และค่าอัตราการปลดปล่อยความร้อน (HRR) (กราฟล่าง) จะมีค่าสูงสุดอยู่ที่ประมาณ 1,000 – 2,000 kW ที่เวลา 1 - 890 วินาที แต่ค่าสูงสุดอยู่ที่ประมาณ 5,000 kW ที่ 900 วินาที

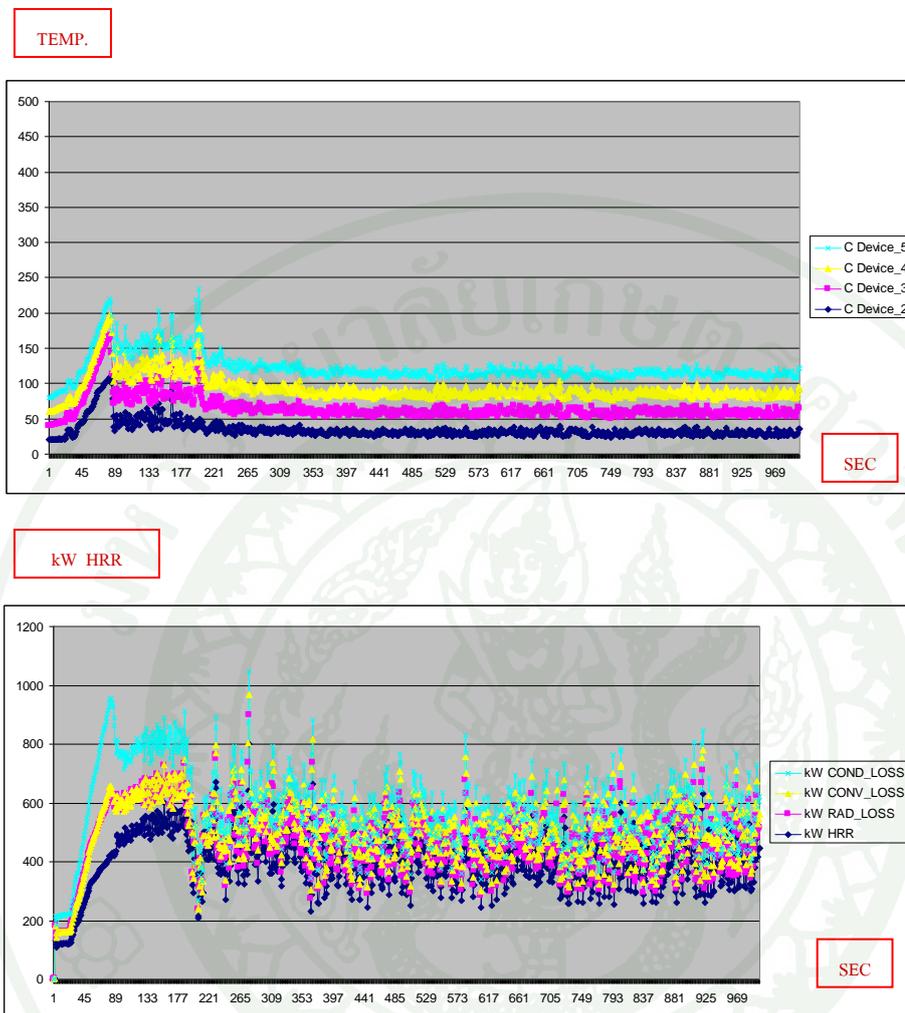
จากการจำลองทั้ง 2 กรณีเพลิงไหม้ที่รางสายไฟ (Cable Tray), ที่พื้นล่างตู้ไฟฟ้า (Cubicle) เปรียบเทียบกันระหว่างค่าของอุณหภูมิ และค่าอัตราการปลดปล่อยความร้อน (HRR) ของที่พื้นล่างตู้ไฟฟ้า (Cubicle) มีค่าสูงกว่ากรณีแรกมากโดยอุณหภูมิตั้งสูงสุดโดยประมาณ 720 องศา และค่า HRR อยู่ที่ประมาณ 5,000 kW ที่ 900 วินาที

ในกรณีที่เกิดเพลิงไหม้ที่พื้นล่างตู้ไฟฟ้า (Cubicle) เป็นเหตุการณ์ที่รุนแรงกว่า (Worst Case) จึงได้ทำการจำลองติดตั้งหัวสปริงเกลอร์ต่อไปอีก 3 กรณี ตามวิธีการคำนวณมาแล้วในขั้นตอนการทำวิจัย

กรณีศึกษาที่ 2.1 การจำลองเพลิงไหม้ที่พื้นล่างตู้ไฟฟ้า (Cubicle) ติดตั้งหัวสปริงเกอร์ 4 หัว  
(1แถว×4หัว)



ภาพที่ 30 แสดงตำแหน่งอุณหภูมิที่แกน X=4.0, Y=2.5, Z=2.0 เมตร ที่เวลา 300 และ 900 วินาที กรณีติดตั้งสปริงเกอร์ 4 หัว (1แถว×4หัว)



ภาพที่ 31 กราฟแสดงอุณหภูมิและค่าอัตราการปลดปล่อยความร้อน (HRR) ของเพลิงไหม้ที่พื้นล่างตู้ไฟฟ้า (Cubicle) กรณีติดตั้งสปริงเกอร์ 4 หัว (1แถว×4หัว)

จากภาพที่ 30 แสดงอุณหภูมิ ที่  $X=4.0$ ,  $Y=2.5$ ,  $Z=2.0$  เมตร โดยกำหนดในค่า Slice จากโปรแกรม FDS เปรียบเทียบแกนทั้ง 3 แกน ทางด้านซ้ายของภาพคือ 300 วินาที ทางขวา 900 วินาที เพื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิ และการพัฒนาลูกไหมของเพลิง

ภาพบนเปรียบเทียบที่แกน  $X=4.0$  เมตร เพลิงไหมที่พื้นล่างตู้ไฟฟ้า (Cubicle) ค่อยๆ พัฒนา (ดูจากแถบสี) อุณหภูมิสูงสุดของแกน  $X$  คือ 220 องศา และไม่สูงไปกว่านี้ เนื่องจากหัวสปริงเกลอร์เริ่มทำงานแล้ว จึงทำให้อุณหภูมิเริ่มลดลง

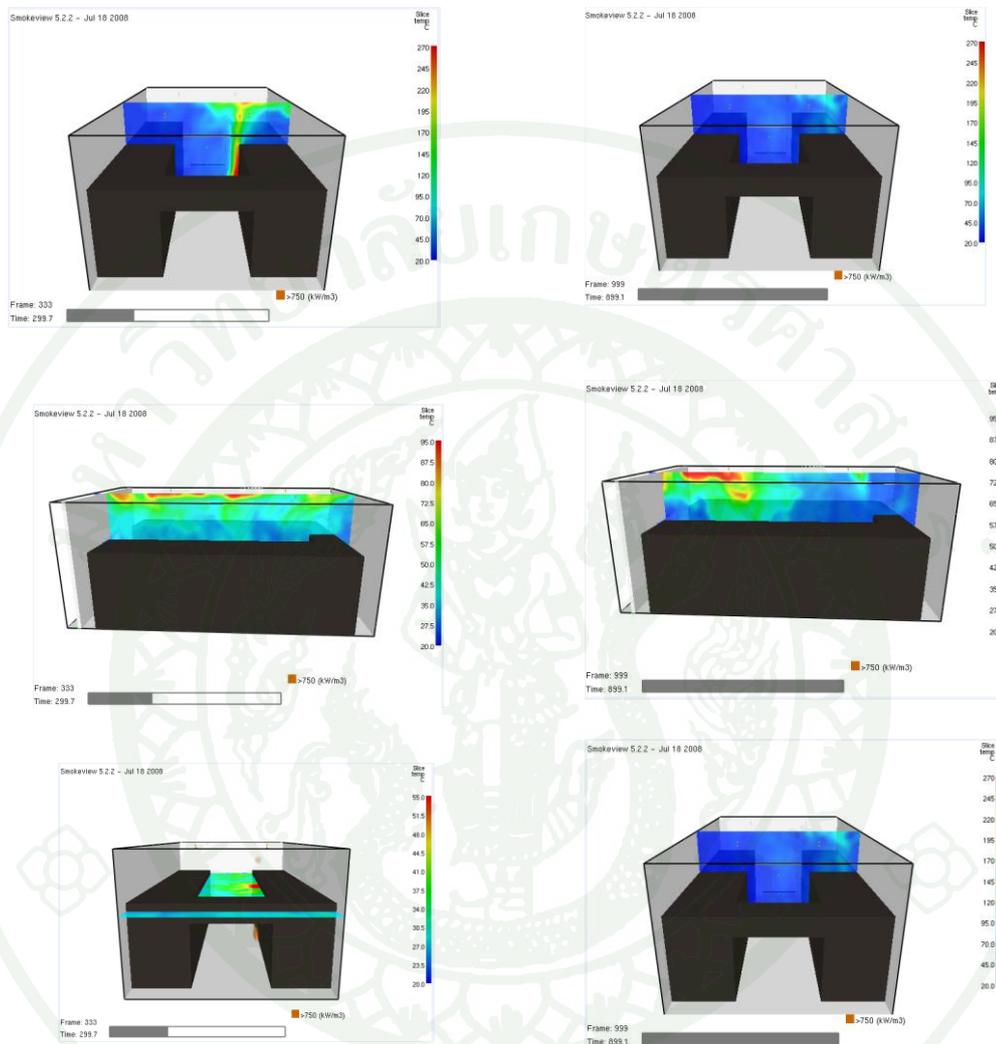
ภาพกลางเปรียบเทียบที่แกน  $Y=2.5$  เมตร เพลิงไหมที่พื้นล่างตู้ไฟฟ้า (Cubicle) ค่อยๆ พัฒนา (ดูจากแถบสี) อุณหภูมิสูงสุดของแกน  $Y$  คือ 115 องศา และไม่สูงไปกว่านี้ เนื่องจากหัวสปริงเกลอร์เริ่มทำงานแล้ว จึงทำให้อุณหภูมิเริ่มลดลง

ภาพล่างเปรียบเทียบที่แกน  $Z=2.0$  เมตร เพลิงไหมที่รางสายไฟ (Cable Tray) ค่อยๆ พัฒนา (ดูจากแถบสี) อุณหภูมิสูงสุดของแกน  $Z$  คือ 90 องศา และไม่สูงไปกว่านี้ เนื่องจากหัวสปริงเกลอร์เริ่มทำงานแล้ว จึงทำให้อุณหภูมิเริ่มลดลง

จากภาพที่ 31 เป็นภาพเปรียบเทียบกราฟของอุณหภูมิ และอัตราการปลดปล่อยความร้อน (Heat Release Rate) กราฟบนแสดงอุณหภูมิ ตั้งแต่ 1 วินาทีจนถึง 900 วินาที อุณหภูมิจะเริ่มจากอุณหภูมิห้องคือ 20 องศา วัดด้วย Thermocouple ที่ติดตั้งอยู่กึ่งกลางสถานีไฟฟ้า (ภาพที่ 21) วัดได้ 100 องศาโดยประมาณ (กราฟบน) สูงสุดที่ 90 วินาที แล้วลดลงมาเหลือประมาณ 45 องศา และค่าอัตราการปลดปล่อยความร้อน (HRR) (กราฟล่าง) จะมีค่าสูงสุดอยู่ที่ประมาณ 500 kW ที่เวลา 180 วินาที จากนั้นจะลดลงมาเหลือประมาณ 400 kW ที่ 180 – 900 วินาที

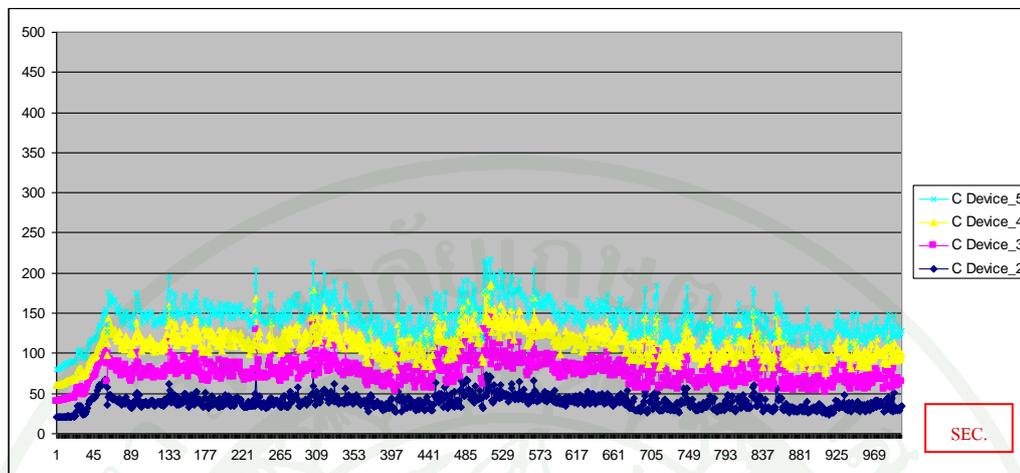
จะเห็นว่าอุณหภูมิ และค่าอัตราการปลดปล่อยความร้อน ยังคงมีค่าสูงจึงทำการจำลองใหม่ โดยติดตั้งหัวสปริงเกลอร์แบบ (2แถว×2หัว) เพื่อทำการเปรียบเทียบ

กรณีที่ 2.2 การจำลองเพลิงไหม้ที่พื้นล่างตู้ไฟฟ้า (Cubicle) ติดตั้งหัวสปริงเกอร์ 4 หัว (2แถว×2หัว)

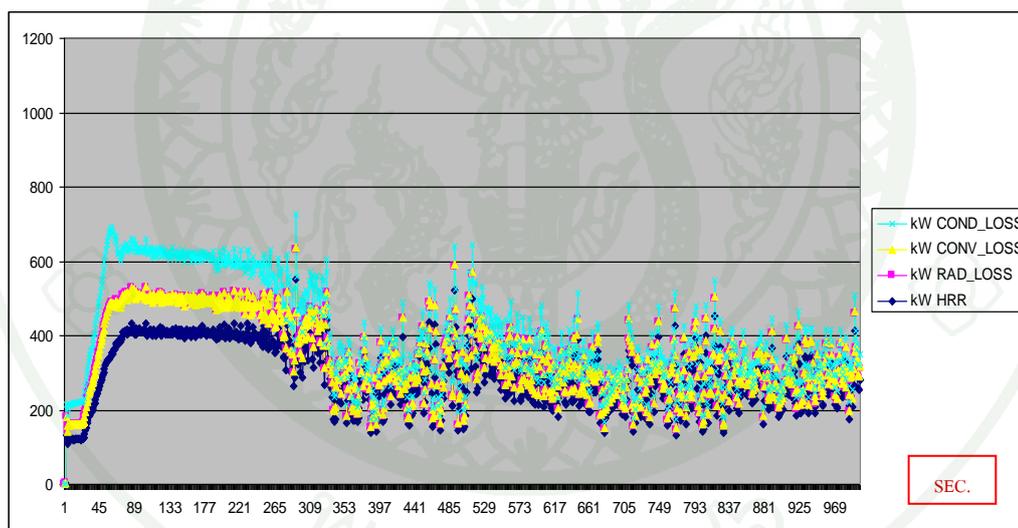


ภาพที่ 32 แสดงตำแหน่งอุณหภูมิที่แกน  $X=4.0$ ,  $Y=2.5$ ,  $Z=2.0$  เมตร ที่เวลา 300 และ 900 วินาที กรณีติดตั้งสปริงเกอร์ 4 หัว (2แถว×2หัว)

TEMP.



kW HRR



ภาพที่ 33 กราฟแสดงอุณหภูมิและค่าอัตราการปลดปล่อยความร้อน (HRR) ของเพลิงไหม้ที่พื้นล่างตู้ไฟฟ้า (Cubicle) กรณีติดตั้งสปริงเกลอร์ 4 หัว (2แถว×2หัว)

จากภาพที่ 32 แสดงอุณหภูมิ ที่  $X=4.0$ ,  $Y=2.5$ ,  $Z=2.0$  เมตร โดยกำหนดในค่า Slice จากโปรแกรม FDS เปรียบเทียบแกนทั้ง 3 แกน ทางด้านซ้ายของภาพคือ 300 วินาที ทางขวา 900 วินาที เพื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิ และการพัฒนาลูกไหม้ของเพลิง

ภาพบนเปรียบเทียบที่แกน  $X=4.0$  เมตร เพลิงไหม้ที่พื้นล่างตู้ไฟฟ้า (Cubicle) ค่อยๆ พัฒนา (ดูจากแถบสี) อุณหภูมิสูงสุดของแกน  $X$  คือ 270 องศา และไม่สูงไปกว่านี้ เนื่องจากหัวสปริงเกอร์เริ่มทำงานแล้ว จึงทำให้อุณหภูมิเริ่มลดลง

ภาพกลางเปรียบเทียบที่แกน  $Y=2.5$  เมตร เพลิงไหม้ที่พื้นล่างตู้ไฟฟ้า (Cubicle) ค่อยๆ พัฒนา (ดูจากแถบสี) อุณหภูมิสูงสุดของแกน  $Y$  คือ 95 องศา และไม่สูงไปกว่านี้ เนื่องจากหัวสปริงเกอร์เริ่มทำงานแล้ว จึงทำให้อุณหภูมิเริ่มลดลง

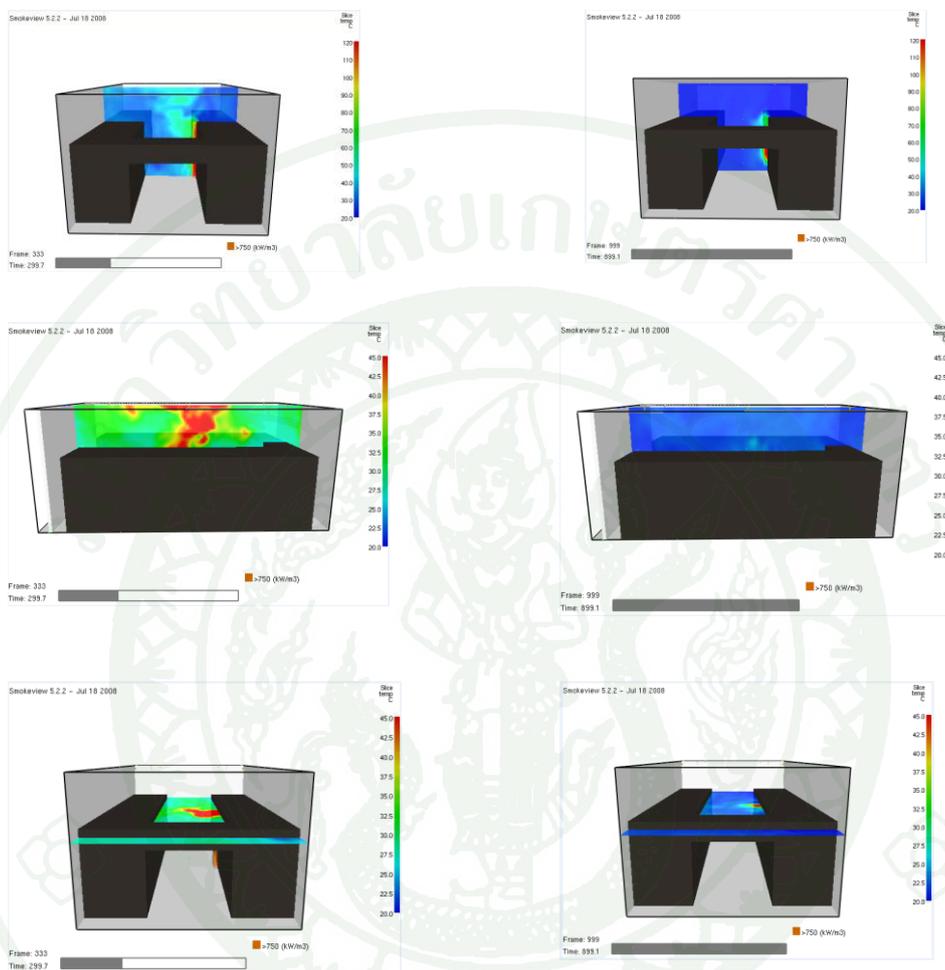
ภาพล่างเปรียบเทียบที่แกน  $Z=2.0$  เมตร เพลิงไหม้ที่รางสายไฟ (Cable Tray) ค่อยๆ พัฒนา (ดูจากแถบสี) อุณหภูมิสูงสุดของแกน  $Z$  คือ 55 องศา และไม่สูงไปกว่านี้ เนื่องจากหัวสปริงเกอร์เริ่มทำงานแล้ว จึงทำให้อุณหภูมิเริ่มลดลง

จากภาพที่ 33 เป็นภาพเปรียบเทียบกราฟของอุณหภูมิ และอัตราการปลดปล่อยความร้อน (Heat Release Rate) กราฟบนแสดงอุณหภูมิ ตั้งแต่ 1 วินาทีจนถึง 900 วินาที อุณหภูมิจะเริ่มจากอุณหภูมิห้องคือ 20 องศาวัดด้วย Thermocouple ที่ติดตั้งอยู่กึ่งกลางสถานีไฟฟ้า (ภาพที่ 21) วัดได้ 100 องศาโดยประมาณ (กราฟบน) สูงสุดที่ 90 วินาที แล้วลดลงมาเหลือประมาณ 40 องศา และค่าอัตราการปลดปล่อยความร้อน (HRR) (กราฟล่าง) จะมีค่าสูงสุดอยู่ที่ประมาณ 400 kW ที่เวลา 350 วินาที จากนั้นจะลดลงมาเหลือประมาณ 250 kW ที่ 350 – 900 วินาที

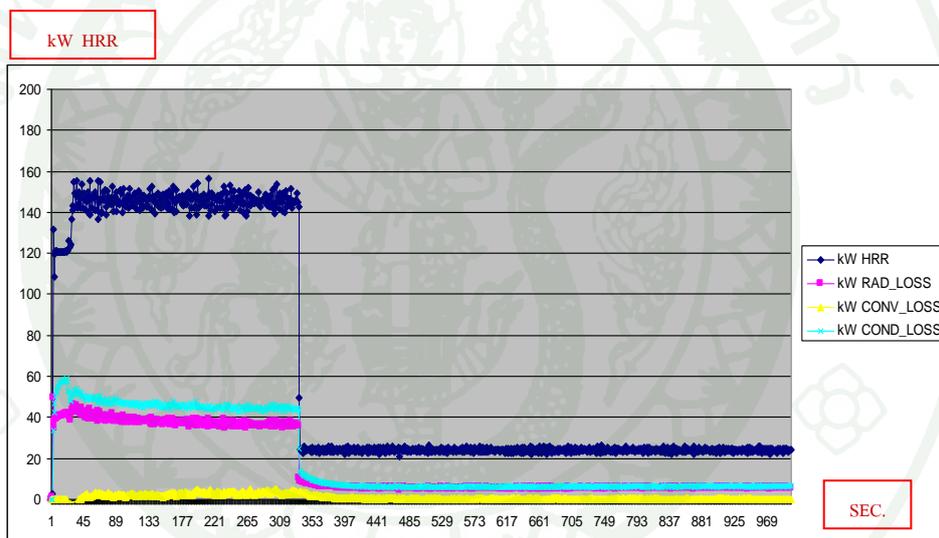
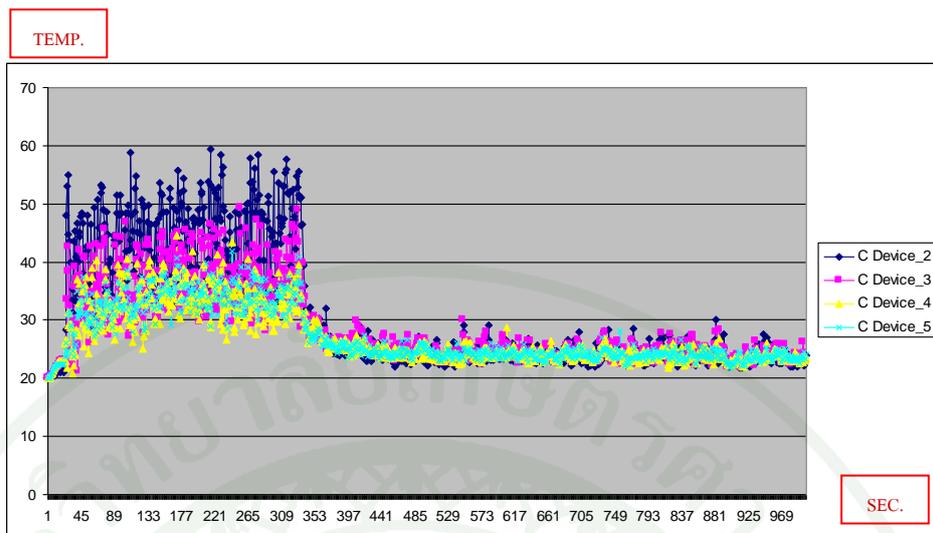
จากการจำลองทั้ง 2 กรณี คือกรณี 2.1 ติดตั้งหัวสปริงเกอร์ (1แถว×4หัว) และ 2.2 ติดตั้งหัวสปริงเกอร์ (2แถว×2หัว) เปรียบเทียบกันค่าของอุณหภูมิ และค่าอัตราการปลดปล่อยความร้อน (HRR) มีค่าใกล้เคียงกันทั้ง 2 กรณี ไม่แตกต่างกันมาก โดยอุณหภูมิค่าสูงสุดเฉลี่ยโดยประมาณ 40-45 องศา ค่า HRR อยู่ที่ประมาณ 400 - 250 kW จนถึง 900 วินาที

จึงทำการจำลองอีก 1 กรณี โดยติดตั้งหัวสปริงเกอร์แบบ 6 หัว (2แถว×3หัว)

**กรณีศึกษาที่ 2.3** การจำลองเพลิงไหม้ที่พื้นล่างตู้ไฟฟ้า (Cubicle) ติดตั้งหัวสปริงเกลอร์ 6 หัว (2แถว×3หัว)



**ภาพที่ 34** แสดงตำแหน่งอุณหภูมิที่แกน X=4.0, Y=2.5, Z=2.0 เมตร ที่เวลา 300 และ 900 วินาที กรณีติดตั้งสปริงเกลอร์ 6 หัว (2แถว×3หัว)



ภาพที่ 35 กราฟแสดงอุณหภูมิและค่าอัตราการปลดปล่อยความร้อน (HRR) ของเพลิงไหม้ที่พื้นล่างตู้ไฟฟ้า (Cubicle) กรณีติดตั้งสปริงเกอร์ 6 หัว (2แถว×3หัว)

จากภาพที่ 34 แสดงอุณหภูมิ ที่  $X=4.0$ ,  $Y=2.5$ ,  $Z=2.0$  เมตร โดยกำหนดในค่า Slice จากโปรแกรม FDS เปรียบเทียบแกนทั้ง 3 แกน ทางด้านซ้ายของภาพคือ 300 วินาที ทางขวา 900 วินาที เพื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิ และการพัฒนาลูกไหมของเพลิง

ภาพบนเปรียบเทียบที่แกน  $X=4.0$  เมตร เพลิงไหมที่พื้นล่างตู้ไฟฟ้า (Cubicle) ค่อยๆ พัฒนา (ดูจากแถบสี) อุณหภูมิสูงสุดของแกน  $X$  คือ 120 องศา และไม่สูงไปกว่านี้ เนื่องจากหัวสปริงเกลอร์เริ่มทำงานแล้ว จึงทำให้อุณหภูมิเริ่มลดลง

ภาพกลางเปรียบเทียบที่แกน  $Y=2.5$  เมตร เพลิงไหมที่พื้นล่างตู้ไฟฟ้า (Cubicle) ค่อยๆ พัฒนา (ดูจากแถบสี) อุณหภูมิสูงสุดของแกน  $Y$  คือ 45 องศา และไม่สูงไปกว่านี้ เนื่องจากหัวสปริงเกลอร์เริ่มทำงานแล้ว จึงทำให้อุณหภูมิเริ่มลดลง

ภาพล่างเปรียบเทียบที่แกน  $Z=2.0$  เมตร เพลิงไหมที่รางสายไฟ (Cable Tray) ค่อยๆ พัฒนา (ดูจากแถบสี) อุณหภูมิสูงสุดของแกน  $Z$  คือ 45 องศา และไม่สูงไปกว่านี้ เนื่องจากหัวสปริงเกลอร์เริ่มทำงานแล้ว จึงทำให้อุณหภูมิเริ่มลดลง

จากภาพที่ 35 เป็นภาพเปรียบเทียบกราฟของอุณหภูมิ และอัตราการปลดปล่อยความร้อน (Heat Release Rate) กราฟบนแสดงอุณหภูมิ ตั้งแต่ 1 วินาทีจนถึง 900 วินาที อุณหภูมิจะเริ่มจากอุณหภูมิห้องคือ 20 องศา วัดด้วย Thermocouple ที่ติดตั้งอยู่กึ่งกลางสถานีไฟฟ้า (ภาพที่ 21) วัดได้ 40 -50 องศาโดยประมาณ (กราฟบน) จนถึงเวลาที่ 310 วินาที แล้วลดลงมาเหลือประมาณ 22 องศา และค่าอัตราการปลดปล่อยความร้อน (HRR) (กราฟล่าง) จะมีค่าสูงสุดอยู่ที่ประมาณ 150 kW ที่เวลา 310 วินาที จากนั้นจะลดลงมาเหลือประมาณ 25 kW ที่ 350 - 900 วินาที

## สรุปและข้อเสนอแนะ

### สรุป

จากการใช้โปรแกรม Pyrosim สำหรับสร้างแบบจำลองสถานีไฟฟ้าย่อย (Substation) แล้วทำการ Export File ไป Run ในโปรแกรม FSD ทำให้เราได้ทราบถึงพฤติกรรมการลามไฟ, อุณหภูมิที่เกิดขึ้น และค่าอัตราการปลดปล่อยความร้อนค่าต่างๆ แต่ในสถานีไฟฟ้าย่อยไม่มีพนักงานปฏิบัติงานอยู่ ค่าอื่นๆ จึงไม่ต้องนำมาใช้ และสามารถสรุปผลได้ดังต่อไปนี้

1. เพลิงที่เกิดขึ้นในรางเคเบิล (Cable Tray) เหนือบริเวณตู้ไฟฟ้า จะมีอัตราการปลดปล่อยความร้อนที่ต่ำ และอุณหภูมิก็ต่ำกว่าบริเวณด้านล่างของตู้ไฟฟ้าเนื่องจากมีสายไฟ และอุปกรณ์ไฟฟ้าน้อยกว่าบริเวณด้านล่างของตู้ไฟฟ้า (Cubicle)
2. เพลิงที่เกิดขึ้นที่บริเวณพื้นตู้ไฟฟ้า (Cubicle) จะมีอัตราการปลดปล่อยความร้อนที่สูงและมีอุณหภูมิสูงโดยลักษณะของตู้ไฟฟ้าเป็นเหลี่ยมทรงสูง เพลิงที่เกิดขึ้นได้และลูกไหม้ติดสายไฟทำให้เกิดความร้อนอุณหภูมิสูงถึง 720 องศา ค่าอัตราการปลดปล่อยความร้อน 5,000 kW
3. จากในข้อ 2. ถือว่าเป็นกรณีเพลิงไหม้รุนแรงกว่า (Worst Case) จึงทำการจำลองเป็น 3 กรณี คือ ติดตั้งจำนวนสปริงเกลอร์ 4 หัว (1แถว×4หัว) , แบบ 4 หัว (2แถว×2หัว) และแบบ 6 หัว (2แถว×3หัว) เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดับเพลิง
4. กรณีติดตั้งสปริงเกลอร์แบบ 4 หัว (1แถว×4หัว), แบบ 4 หัว (2แถว×2หัว) ค่าอัตราการปลดปล่อยความร้อน (Heat Release Rate)ยังมีค่าสูงเฉลี่ยประมาณ 250 - 300 kW และอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 40 - 45 องศา ซึ่งไม่แตกต่างกันมากนัก
5. กรณีที่ติดตั้งหัวสปริงเกลอร์แบบ 6 หัว (2แถว×3หัว) ค่าอัตราการปลดปล่อยความร้อน (Heat Release Rate) ลดลงมาอยู่ที่ประมาณ 25 kW และอุณหภูมิลดลงเหลือ 22 องศา จนเกือบถึงอุณหภูมิห้อง แสดงว่าการติดตั้งหัวสปริงเกลอร์แบบ 6 หัว (2แถว×3หัว) มีความเหมาะสมกับสถานีไฟฟ้าย่อย (Substation) ลักษณะนี้

### ข้อเสนอแนะ

1. ในแบบจำลองกำหนดกองเพลิงไว้ว่าจะให้อยู่ในตำแหน่งใด แต่ในความเป็นจริง อาจเกิดส่วนไหนของตู้ใน Substation ก็ได้ ซึ่งถ้าเกิดในส่วนอื่น อาจจะเป็นจุดอับและดับไฟยาก เพราะตู้ไฟฟ้ามีลักษณะเป็นทรงสี่เหลี่ยม
2. งานวิจัยนี้ใช้กริดในการจำลองเท่ากับ 0.1 เมตร ทำให้ใช้เวลานานประมาณ 3 วัน สำหรับการคำนวณของโปรแกรม FDS ในแต่ละ File ซึ่งอาจทำให้ใช้เวลามากในการจำลอง เพื่อให้ได้ผลออกมาในแต่ละกรณีศึกษา ถ้าปรับเปลี่ยนค่าขนาดของกริดที่ใช้ให้มีค่ามากกว่านี้ และทดลองเปรียบเทียบผลกับกรณีของกริด 0.1 เมตร แล้วผลไม่แตกต่างกันมากในค่าของอุณหภูมิ และค่าอัตราการปลดปล่อยความร้อน (HRR) ก็จะทำให้การคำนวณของโปรแกรมใช้เวลาสั้นลง และนำผลที่ได้มาใช้งานได้เร็วขึ้นโดยไม่เสียเวลามาก
3. ในแบบจำลองกำหนดค่า K ของสปริงเกลอร์ไว้ที่ค่าเดียวคือ 11.2 ซึ่งถือว่าเป็นค่า K ที่มีค่าสูงในการเลือกใช้ในการทดลองนี้ หากใช้ค่า K ที่มีค่าต่ำ อาจจะทำให้การดับเพลิงช้าลง หรือ อุณหภูมิและค่าการปล่อยความร้อนอาจจะสูงขึ้นกว่าในการทดลอง
4. แบบจำลองสำหรับงานวิจัยนี้ ค่าอัตราการปล่อยความร้อนไม่สามารถเป็น 0 kW ได้ เนื่องจากลักษณะของตู้ไฟฟ้า (Cubicle) มีลักษณะทรงเหลี่ยมสูง หัวสปริงเกลอร์ไม่สามารถกระจายน้ำได้ทั่วถึงบริเวณที่เพลิงไหม้ที่พื้นล่างของตู้ แต่การทำงานของสปริงเกลอร์ก็เป็นการชะลอการลุกลามของเพลิง และอาจจะต้องมีการติดตั้งฐานเตื่อนให้พนักงานดับเพลิง มาดับเพลิงในช่วงเวลาต่อไป

## เอกสารและสิ่งอ้างอิง

ณัฐศักดิ์ บุญมี. 2550. **Chapter 10 . Compartment Fire.** เอกสารประกอบการสอนวิชา **Fire Dynamic.** มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

\_\_\_\_\_. 2551. การหาขนาดกริดที่เหมาะสมสำหรับการจำลองเพลิงไหม้ภายในอาคาร. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 20. ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, จังหวัดนครราชสีมา

บุญศักดิ์ ทรัพย์เชี่ยวชาญ. 2551. การศึกษาการแผ่กระจายควันในบันไดที่ไม่ปิดล้อมของอาคารสำนักงานโดยการคำนวณทางพลศาสตร์เชิงตัวเลขของของไหล (CFD). วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เรืองรัตน์ ต่อไมตรี. 2551. การประยุกต์ใช้พลศาสตร์อควิสิกส์เพื่อใช้ในการออกแบบการจัดเก็บสารเคมีไวไฟเพื่อป้องกันการเกิดเพลิงไหม้. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ธนโชค สุขจิตต์. 2552. การออกแบบระบบสปริงเกอร์ในบ้านพักอาศัยโดยใช้การจำลองพลศาสตร์อควิสิกส์ของบ้านมาวิเคราะห์ผลที่ได้รับจากการติดตั้งจากการติดตั้งระบบสปริงเกอร์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Daniel, M. 2003. **Report of the Technical Investigation of The Station Nightclub Fire.** National Institute of Standards and Technology.

Ee H. Yii, A. H. Buchanan and C. M. Fleischmann. 2003. **Simulating the effects of fuel type and geometry on post-flashover fire temperatures.** Arup Fire, Australia.

Kuldeep, P., L. Chiping and K. Kailasanath. 1999. **Simulation of water mist suppression of small scale methanol liquid pool fires.** Science Application International Cooperation, McLean, US.1997.

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

McGrattan, K. and G. Forney. 2004. **Fire Dynamics Simulator (Version 4) User's Guide.** National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD.

Nation Fire Protection Association. 2002. **Standard for the Installation of Sprinkler Systems.** NFPA13.

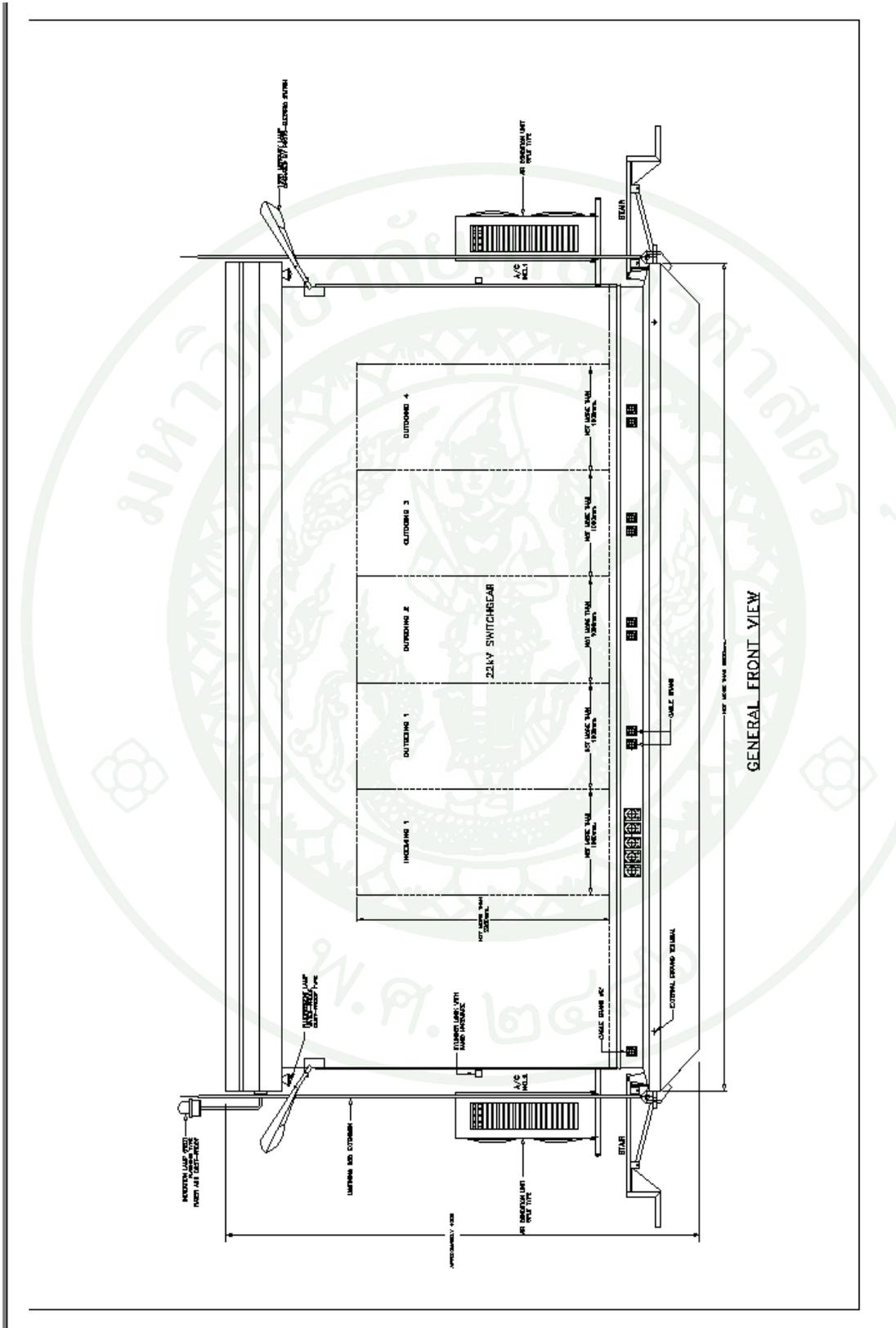
Glenn, P. 2008. **User's Guide for Smokeview Versin 5 – A Tool for Visualizing Fire Dynamics Simulation Data.** National Institute of Standards and Technology: Gaithersburg, Maryland.

Thunder Head Engineering. 2008. **PyroSim User Manual.** A Model Construction Tool For Fire Dynamics Simulator .

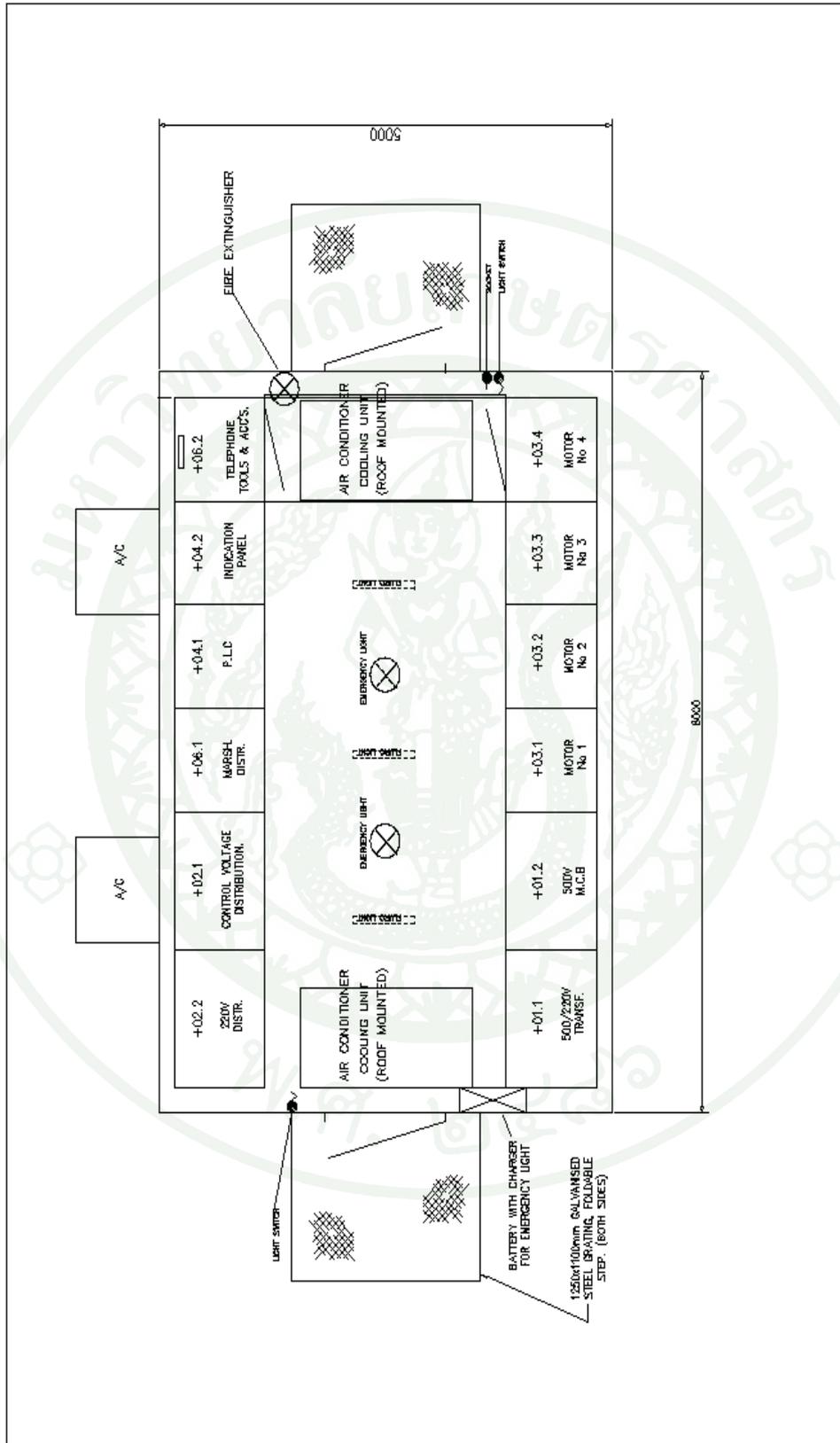




ภาคผนวก ก  
Substation Drawing









ชุดคำสั่งของ Burner ที่ Cable Tray

Sub Maemoh.fds

Generated by PyroSim - Version 2008.2

6 ก.พ. 2554, 13:20:31

&HEAD CHID='Sub\_Maemoh', TITLE='Switchgear Fire'/

&TIME T\_END=900.00/

&DUMP RENDER\_FILE='Sub\_Maemoh.ge1'/

&MISC SURF\_DEFAULT='WALL' /

&MESH ID='GRID', IJK=80,50,35, XB=0.00,8.00,0.00,5.00,0.00,3.50/

&REAC ID='PE/PVC'

C = 2.0

H = 3.5

OTHER = 0.5

MW\_OTHER=34.0

HEAT\_OF\_COMBUSTION=24000.0

SOOT\_YIELD=0.1 /

&MATL ID = 'CABLE'

SPECIFIC\_HEAT = 1.289

CONDUCTIVITY = 0.192

DENSITY = 1380.0 /

&MATL ID='Steel',

SPECIFIC\_HEAT=0.4500,

CONDUCTIVITY=46.60,

DENSITY=7.8500000E003/

&SURF ID = 'WALL'

RGB = 200,200,200

**MATL\_ID** = 'GYPSUM PLASTER'  
**THICKNESS** = 0.012 /  
**PART\_ID** = 'smoke' /

**&MATL ID** = 'GYPSUM PLASTER'

**FYI** = 'Quintiere, Fire Behavior'  
**CONDUCTIVITY** = 0.48  
**SPECIFIC\_HEAT** = 0.84  
**DENSITY** = 1440. /

**&SURF ID** = 'Loose Cable'

**COLOR** = 'IVORY BLACK'  
**MATL\_ID** = 'CABLE'  
**HRRPUA** = 265.  
**IGNITION\_TEMPERATURE** = 270.  
**THICKNESS** = 0.1016 /  
**BURN\_AWAY** = .TRUE.,  
**PART\_ID** = 'smoke' /

**&SURF ID** = 'Sheet Metal',

**RGB** = 0,0,204,  
**MATL\_ID(1,1)** = 'Steel',  
**MATL\_MASS\_FRACTION(1,1)** = 1.00,  
**THICKNESS(1)** = 1.2801600E-003/  
**PART\_ID** = 'smoke' /

**&MATL ID** = 'GYPSUM BOARD\_MATL',

**SPECIFIC\_HEAT** = 0.84,  
**CONDUCTIVITY** = 0.4800,  
**DENSITY** = 1.4400000E003/

**&SURF ID='GYPSUM BOARD',**

**RGB=204,204,179,**

**HRRPUA=100.00,**

**IGNITION\_TEMPERATURE=400.00,**

**MATL\_ID(1,1)='GYPSUM BOARD\_MATL',**

**MATL\_MASS\_FRACTION(1,1)=1.00,**

**THICKNESS(1)=0.0130/**

**PART\_ID = 'smoke' /**

**&SURF ID='BURNER',**

**COLOR='RED',**

**TMP\_FRONT=20.00,**

**HRRPUA=1.0000000E003/**

**PART\_ID = 'smoke' /**

**&PART ID='smoke', MASSLESS=.TRUE., SAMPLING\_FACTOR=1 /**

**&HOLE XB=0.00,0.1000,1.75,3.25,0.00,2.00/ Door**

**&OBST XB=-5.2735594E-016,0.1000,0.00,5.00,0.00,3.50, COLOR='GRAY 20',  
SURF\_ID='GYPSUM BOARD'/**

**&OBST XB=0.50,7.50,0.00,1.50,0.00,2.20, SURF\_ID='Loose Cable'/ Cabinet 1**

**&OBST XB=0.50,7.50,3.50,5.00,0.00,2.20, SURF\_ID='Loose Cable'/ Cabinet 1[1]**

**&OBST XB=0.50,6.70,0.3000,1.10,1.70,2.20, SURF\_ID='Loose Cable'/ Cable B**

**&OBST XB=6.70,7.50,0.00,5.00,1.70,2.20, SURF\_ID='Loose Cable'/ Cable E**

**&OBST XB=0.50,6.70,3.80,4.60,1.70,2.20, SURF\_ID='Loose Cable'/ Cable B[1]**

**&VENT SURF\_ID='BURNER', XB=7.00,7.20,2.20,2.80,2.20,2.20/ Burner**

**&VENT MB='YMIN',SURF\_ID='OPEN' /**

**&BNDF QUANTITY='GAS TEMPERATURE'/**

**&BNDF QUANTITY='GAUGE HEAT FLUX'/**

**&BNDF QUANTITY='HEAT\_FLUX'/**

**&BNDF QUANTITY='WALL\_TEMPERATURE'/**

**&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=4.00/**

**&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBY=2.50/**

**&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBZ=1.50/**

**&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBZ=2.00/**

**&SLCF QUANTITY='oxygen', PBX=4.00/**

**&SLCF QUANTITY='oxygen', PBy=2.50/**

**&SLCF QUANTITY='oxygen', PBZ=1.50/**

**&DEVC XYZ=4.00,2.50,2.1, QUANTITY='TEMPERATURE' /**

**&DEVC XYZ=4.00,2.50,1.5, QUANTITY='TEMPERATURE' /**

**&DEVC XYZ=4.00,2.50,0.9, QUANTITY='TEMPERATURE' /**

**&DEVC XYZ=4.00,2.50,0.3, QUANTITY='TEMPERATURE' /**

**&TAIL /**

## ชุดคำสั่งของ Burner ที่ Cubical

Sub Maemoh.fds

Generated by PyroSim - Version 2008.2

10 ก.พ. 2554, 13:20:31 (Cubicle)

&HEAD CHID='Sub\_Maemoh', TITLE='Switchgear Fire'/

&TIME T\_END=900.00/

&DUMP RENDER\_FILE='Sub\_Maemoh.ge1'/

&MISC SURF\_DEFAULT='WALL' /

&MESH ID='GRID', IJK=83,50,35, XB=-0.3,8.00,0.00,5.00,0.00,3.50/

&REAC ID='PE/PVC'

C = 2.0

H = 3.5

OTHER = 0.5

MW\_OTHER=34.0

HEAT\_OF\_COMBUSTION=24000.0

SOOT\_YIELD=0.1 /

&MATL ID = 'CABLE'

SPECIFIC\_HEAT = 1.289

CONDUCTIVITY = 0.192

DENSITY = 1380.0 /

&MATL ID='Steel',

SPECIFIC\_HEAT=0.4500,

CONDUCTIVITY=46.60,

DENSITY=7.8500000E003/

&SURF ID = 'WALL'

RGB = 200,200,200

**MATL\_ID = 'GYPSUM PLASTER'**

**THICKNESS = 0.012 /**

**PART\_ID = 'smoke' /**

**&MATL ID = 'GYPSUM PLASTER'**

**FYI = 'Quintiere, Fire Behavior'**

**CONDUCTIVITY = 0.48**

**SPECIFIC\_HEAT = 0.84**

**DENSITY = 1440. /**

**&SURF ID = 'Loose Cable'**

**COLOR = 'IVORY BLACK'**

**MATL\_ID = 'CABLE'**

**HRRPUA = 265.**

**IGNITION\_TEMPERATURE = 300.**

**THICKNESS = 0.1016 /**

**BURN\_AWAY =.TRUE.,**

**PART\_ID = 'smoke' /**

**&SURF ID='Sheet Metal',**

**RGB=0,0,204,**

**MATL\_ID(1,1)='Steel',**

**MATL\_MASS\_FRACTION(1,1) = 1.00,**

**THICKNESS(1) =1.2801600E-003/**

**PART\_ID = 'smoke' /**

**&MATL ID='GYPSUM BOARD\_MATL',**

**SPECIFIC\_HEAT=0.84,**

**CONDUCTIVITY=0.4800,**

**DENSITY=1.4400000E003/**

**&MATL ID='Water',**

SPECIFIC\_HEAT=4.19,  
 CONDUCTIVITY=0.60,  
 DENSITY=1.0000000E003,  
 EMISSIVITY=1.00,  
 N\_REACTIONS=1,  
 HEAT\_OF\_REACTION=2.2600000E003,  
 NU\_WATER=1.00,  
 N\_T=1.00,  
 THRESHOLD\_TEMPERATURE=100.00,  
 N\_S=1.00,  
 A=1.0000000E020,  
 E=1.6200000E005/  
 &SURF ID='GYPSUM BOARD',  
 RGB=200,200,200,  
 HRRPUA=100.00,  
 IGNITION\_TEMPERATURE=400.00,  
 MATL\_ID(1,1)='GYPSUM BOARD\_MATL',  
 MATL\_MASS\_FRACTION(1,1)=1.00,  
 THICKNESS(1)=0.0130/  
 PART\_ID = 'smoke' /  
 &SURF ID='BURNER',  
 COLOR='RED',  
 TMP\_FRONT=20.00,  
 HRRPUA=1.0000000E003/  
 PART\_ID = 'smoke' /  
 &PART ID='smoke', MASSLESS=,TRUE., SAMPLING\_FACTOR=1 /  
 &HOLE XB=0.00,0.1000,1.75,3.25,0.00,2.00/ Door

&OBST XB=0.0,0.1000,0.00,5.00,0.00,3.50, SURF\_ID='GYPSUM BOARD'/  
 &OBST XB=0.50,7.50,0.00,1.50,0.00,2.20, SURF\_ID='Loose Cable'/ Cabinet 1  
 &OBST XB=0.50,7.50,3.50,5.00,0.00,2.20, SURF\_ID='Loose Cable'/ Cabinet 1[1]  
 &OBST XB=0.50,6.70,0.3000,1.10,1.70,2.20, SURF\_ID='Loose Cable'/ Cable B  
 &OBST XB=6.70,7.50,0.00,5.00,1.70,2.20, SURF\_ID='Loose Cable'/ Cable E  
 &OBST XB=0.50,6.70,3.80,4.60,1.70,2.20, SURF\_ID='Loose Cable'/ Cable B[1]  
  
 &VENT SURF\_ID='BURNER', XB=3.7,4.3,3.50,3.50,0,0.20/ Burner  
 &VENT MB='XMIN',SURF\_ID='OPEN' /  
  
 &BNDF QUANTITY='GAS TEMPERATURE'/  
 &BNDF QUANTITY='GAUGE HEAT FLUX'/  
 &BNDF QUANTITY='HEAT\_FLUX'/  
 &BNDF QUANTITY='WALL\_TEMPERATURE'/  
  
 &SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=4.00/  
 &SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBY=2.50/  
 &SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBZ=1.50/  
 &SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBZ=2.00/  
 &SLCF QUANTITY='oxygen', PBX=4.00/  
 &SLCF QUANTITY='oxygen', PBY=2.50/  
 &SLCF QUANTITY='oxygen', PBZ=1.50/  
  
 &DEVC XYZ=4.00,2.50,2.1, QUANTITY='TEMPERATURE' /  
 &DEVC XYZ=4.00,2.50,1.5, QUANTITY='TEMPERATURE' /  
 &DEVC XYZ=4.00,2.50,0.9, QUANTITY='TEMPERATURE' /  
 &DEVC XYZ=4.00,2.50,0.3, QUANTITY='TEMPERATURE' /  
  
 &TAIL /

## ชุดคำสั่งของที่ Cubical Sprinkler ที่ติดตั้ง 1x 4หัว

Sub Maemoh.fds

Generated by PyroSim - Version 2008.2

13 ก.พ. 2554, 13:20:31

&HEAD CHID='Sub\_Maemoh', TITLE='Switchgear Fire'/

&TIME T\_END=900.00/

&DUMP RENDER\_FILE='Sub\_Maemoh.ge1'/

&MISC SURF\_DEFAULT='WALL' /

&MESH ID='GRID', IJK=83,50,35, XB=-0.3,8.00,0.00,5.00,0.00,3.50/

&REAC ID='PE/PVC'

C = 2.0

H = 3.5

OTHER = 0.5

MW\_OTHER=34.0

HEAT\_OF\_COMBUSTION=24000.0

SOOT\_YIELD=0.1 /

&MATL ID = 'CABLE'

SPECIFIC\_HEAT = 1.289

CONDUCTIVITY = 0.192

DENSITY = 1380.0 /

&MATL ID='Steel',

SPECIFIC\_HEAT=0.4500,

CONDUCTIVITY=46.60,

DENSITY=7.8500000E003/

&SURF ID = 'WALL'

RGB = 200,200,200

**MATL\_ID** = 'GYPSUM PLASTER'  
**THICKNESS** = 0.012 /  
**PART\_ID** = 'smoke' /

**&MATL ID** = 'GYPSUM PLASTER'

**FYI** = 'Quintiere, Fire Behavior'  
**CONDUCTIVITY** = 0.48  
**SPECIFIC\_HEAT** = 0.84  
**DENSITY** = 1440. /

**&SURF ID** = 'Loose Cable'

**COLOR** = 'IVORY BLACK'  
**MATL\_ID** = 'CABLE'  
**HRRPUA** = 265.  
**IGNITION\_TEMPERATURE** = 270.  
**THICKNESS** = 0.1016 /  
**BURN\_AWAY** = .TRUE.,  
**PART\_ID** = 'smoke' /

**&SURF ID** = 'Sheet Metal',

**RGB** = 0,0,204,  
**MATL\_ID(1,1)** = 'Steel',  
**MATL\_MASS\_FRACTION(1,1)** = 1.00,  
**THICKNESS(1)** = 1.2801600E-003/  
**PART\_ID** = 'smoke' /

**&MATL ID** = 'GYPSUM BOARD\_MATL',

**SPECIFIC\_HEAT** = 0.84,  
**CONDUCTIVITY** = 0.4800,  
**DENSITY** = 1.4400000E003/

**&MATL ID** = 'Water',

**SPECIFIC\_HEAT=4.19,**  
**CONDUCTIVITY=0.60,**  
**DENSITY=1.0000000E003,**  
**EMISSIVITY=1.00,**  
**N\_REACTIONS=1,**  
**HEAT\_OF\_REACTION=2.2600000E003,**  
**NU\_WATER=1.00,**  
**N\_T=1.00,**  
**THRESHOLD\_TEMPERATURE=100.00,**  
**N\_S=1.00,**  
**A=1.0000000E020,**  
**E=1.6200000E005/**

**&SURF ID='GYPSUM BOARD',**  
**RGB=200,200,200,**  
**HRRPUA=100.00,**  
**IGNITION\_TEMPERATURE=400.00,**  
**MATL\_ID(1,1)='GYPSUM BOARD\_MATL',**  
**MATL\_MASS\_FRACTION(1,1)=1.00,**  
**THICKNESS(1)=0.0130/**  
**PART\_ID = 'smoke' /**

**&SURF ID='BURNER',**  
**COLOR='RED',**  
**TMP\_FRONT=20.00,**  
**HRRPUA=1.0000000E003/**  
**PART\_ID = 'smoke' /**

**&PART ID='smoke', MASSLESS=.TRUE., SAMPLING\_FACTOR=1 /**

&PART ID='water drops', WATER=.TRUE.,  
 QUANTITIES(1:3)='DROPLET\_DIAMETER','DROPLET\_TEMPERATURE','DROPLET\_AGE',  
 DROPLETS\_PER\_SECOND=4000, DIAMETER=700., SAMPLING\_FACTOR=1 /

&PROP ID='K-11.2', QUANTITY='SPRINKLER LINK TEMPERATURE', RTI=50.,  
 C\_FACTOR=0.0, ACTIVATION\_TEMPERATURE=68.0, OFFSET=0.10,  
 PART\_ID='water drops', FLOW\_RATE=161.4, DROPLET\_VELOCITY=10.,  
 SPRAY\_ANGLE=45.0,45.0, SMOKEVIEW\_ID='sprinkler\_pendent'

&HOLE XB=0.00,0.1000,1.75,3.25,0.00,2.00/ Door

&OBST XB=0.0,0.1000,0.00,5.00,0.00,3.50, SURF\_ID='GYPSUM BOARD'/  
 &OBST XB=0.50,7.50,0.00,1.50,0.00,2.20, SURF\_ID='Loose Cable'/ Cabinet 1  
 &OBST XB=0.50,7.50,3.50,5.00,0.00,2.20, SURF\_ID='Loose Cable'/ Cabinet 1[1]  
 &OBST XB=0.50,6.70,0.3000,1.10,1.70,2.20, SURF\_ID='Loose Cable'/ Cable B  
 &OBST XB=6.70,7.50,0.00,5.00,1.70,2.20, SURF\_ID='Loose Cable'/ Cable E  
 &OBST XB=0.50,6.70,3.80,4.60,1.70,2.20, SURF\_ID='Loose Cable'/ Cable B[1]

&VENT XB= 3.70, 4.30, 3.50, 3.50, 0.00, 0.20, SURF\_ID='BURNER', CTRL\_ID='CTRL'/  
 Burner

&VENT MB='XMIN',SURF\_ID='OPEN' /

&BNDF QUANTITY='GAS TEMPERATURE'/  
 &BNDF QUANTITY='GAUGE HEAT FLUX'/  
 &BNDF QUANTITY='HEAT\_FLUX'/  
 &BNDF QUANTITY='WALL\_TEMPERATURE'/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=4.00/  
 &SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBY=2.50/  
 &SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBZ=1.50/  
 &SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBZ=2.00/  
 &SLCF QUANTITY='oxygen', PBX=4.00/

&SLCF QUANTITY='oxygen', PBy=2.50/

&SLCF QUANTITY='oxygen', PBZ=1.50/

&RAMP ID='CTRL\_RAMP', T=299.75, F=1.00/

&RAMP ID='CTRL\_RAMP', T=301.25, F=-1.00/

&DEVC ID='TIME', QUANTITY='TIME', XYZ=0.00,0.00,0.00/

&CTRL ID='CTRL', FUNCTION\_TYPE='CUSTOM', RAMP\_ID='CTRL\_RAMP',  
LATCH=.FALSE.,INPUT\_ID='TIME'/

&DEVC XYZ=4.00,2.50,2.1, QUANTITY='TEMPERATURE' /

&DEVC XYZ=4.00,2.50,1.5, QUANTITY='TEMPERATURE' /

&DEVC XYZ=4.00,2.50,0.9, QUANTITY='TEMPERATURE' /

&DEVC XYZ=4.00,2.50,0.3, QUANTITY='TEMPERATURE' /

&DEVC XYZ=1.00,2.50,3.20, PROP\_ID='K-11.2', ID='Sprinkler\_1',/

&DEVC XYZ=3.00,2.50,3.20, PROP\_ID='K-11.2', ID='Sprinkler\_2',/

&DEVC XYZ=5.00,2.50,3.20, PROP\_ID='K-11.2', ID='Sprinkler\_3',/

&DEVC XYZ=7.00,2.50,3.20, PROP\_ID='K-11.2', ID='Sprinkler\_4',/

&TAIL /

## ชุดคำสั่งของที่ Cubical Sprinkler ที่ติดตั้ง 2x 2 หัว

Sub Maemoh.fds

Generated by PyroSim - Version 2008.2

27 มี.ค.2554, 13:20:31

&HEAD CHID='Sub\_Maemoh', TITLE='Switchgear Fire'/

&TIME T\_END=900.00/

&DUMP RENDER\_FILE='Sub\_Maemoh.ge1'/

&MISC SURF\_DEFAULT='WALL' /

&MESH ID='GRID', IJK=83,50,35, XB=-0.3,8.00,0.00,5.00,0.00,3.50/

&REAC ID='PE/PVC'

C = 2.0

H = 3.5

OTHER = 0.5

MW\_OTHER=34.0

HEAT\_OF\_COMBUSTION=24000.0

SOOT\_YIELD=0.1 /

&MATL ID = 'CABLE'

SPECIFIC\_HEAT = 1.289

CONDUCTIVITY = 0.192

DENSITY = 1380.0 /

&MATL ID='Steel',

SPECIFIC\_HEAT=0.4500,

CONDUCTIVITY=46.60,

DENSITY=7.8500000E003/

&SURF ID = 'WALL'

RGB = 200,200,200

**MATL\_ID** = 'GYPSUM PLASTER'  
**THICKNESS** = 0.012 /  
**PART\_ID** = 'smoke' /

**&MATL ID** = 'GYPSUM PLASTER'  
**FYI** = 'Quintiere, Fire Behavior'  
**CONDUCTIVITY** = 0.48  
**SPECIFIC\_HEAT** = 0.84  
**DENSITY** = 1440. /

**&SURF ID** = 'Loose Cable'  
**COLOR** = 'IVORY BLACK'  
**MATL\_ID** = 'CABLE'  
**HRRPUA** = 265.  
**IGNITION\_TEMPERATURE** = 270.  
**THICKNESS** = 0.1016 /  
**BURN\_AWAY** = .TRUE.,  
**PART\_ID** = 'smoke' /

**&SURF ID** = 'Sheet Metal',  
**RGB** = 0,0,204,  
**MATL\_ID(1,1)** = 'Steel',  
**MATL\_MASS\_FRACTION(1,1)** = 1.00,  
**THICKNESS(1)** = 1.2801600E-003/  
**PART\_ID** = 'smoke' /

**&MATL ID** = 'GYPSUM BOARD\_MATL',  
**SPECIFIC\_HEAT** = 0.84,  
**CONDUCTIVITY** = 0.4800,  
**DENSITY** = 1.4400000E003/

**&MATL ID** = 'Water',

**SPECIFIC\_HEAT=4.19,**  
**CONDUCTIVITY=0.60,**  
**DENSITY=1.0000000E003,**  
**EMISSIVITY=1.00,**  
**N\_REACTIONS=1,**  
**HEAT\_OF\_REACTION=2.2600000E003,**  
**NU\_WATER=1.00,**  
**N\_T=1.00,**  
**THRESHOLD\_TEMPERATURE=100.00,**  
**N\_S=1.00,**  
**A=1.0000000E020,**  
**E=1.6200000E005/**

**&SURF ID='GYPSUM BOARD',**  
**RGB=200,200,200,**  
**HRRPUA=100.00,**  
**IGNITION\_TEMPERATURE=400.00,**  
**MATL\_ID(1,1)='GYPSUM BOARD\_MATL',**  
**MATL\_MASS\_FRACTION(1,1)=1.00,**  
**THICKNESS(1)=0.0130/**  
**PART\_ID = 'smoke' /**

**&SURF ID='BURNER',**  
**COLOR='RED',**  
**TMP\_FRONT=20.00,**  
**HRRPUA=1.0000000E003/**  
**PART\_ID = 'smoke' /**

**&PART ID='smoke', MASSLESS=.TRUE., SAMPLING\_FACTOR=1 /**

**&PART ID='water drops', WATER=.TRUE.,**  
**QUANTITIES(1:3)='DROPLET\_DIAMETER','DROPLET\_TEMPERATURE','DROPLET**  
**T\_AGE',**  
**DROPLETS\_PER\_SECOND=4000, DIAMETER=700., SAMPLING\_FACTOR=1 /**

**&PROP ID='K-11.2', QUANTITY='SPRINKLER LINK TEMPERATURE', RTI=50.,**  
**C\_FACTOR=0.0, ACTIVATION\_TEMPERATURE=68.0, OFFSET=0.10,**  
**PART\_ID='water drops', FLOW\_RATE=135.03, DROPLET\_VELOCITY=10.,**  
**SPRAY\_ANGLE=45.0,45.0, SMOKEVIEW\_ID='sprinkler\_pendent'**

**&HOLE XB=0.00,0.1000,1.75,3.25,0.00,2.00/ Door**

**&OBST XB=0.0,0.1000,0.00,5.00,0.00,3.50, SURF\_ID='GYPSUM BOARD'/**  
**&OBST XB=0.50,7.50,0.00,1.50,0.00,2.20, SURF\_ID='Loose Cable'/ Cabinet 1**  
**&OBST XB=0.50,7.50,3.50,5.00,0.00,2.20, SURF\_ID='Loose Cable'/ Cabinet 1[1]**  
**&OBST XB=0.50,6.70,0.3000,1.10,1.70,2.20, SURF\_ID='Loose Cable'/ Cable B**  
**&OBST XB=6.70,7.50,0.00,5.00,1.70,2.20, SURF\_ID='Loose Cable'/ Cable E**  
**&OBST XB=0.50,6.70,3.80,4.60,1.70,2.20, SURF\_ID='Loose Cable'/ Cable B[1]**

**&VENT XB= 3.70, 4.30, 3.50, 3.50, 0.00, 0.20, SURF\_ID='BURNER', CTRL\_ID='CTRL'/**  
**Burner**

**&VENT MB='XMIN',SURF\_ID='OPEN' /**

**&BNDF QUANTITY='GAS TEMPERATURE'/**  
**&BNDF QUANTITY='GAUGE HEAT FLUX'/**  
**&BNDF QUANTITY='HEAT\_FLUX'/**  
**&BNDF QUANTITY='WALL\_TEMPERATURE'/**

**&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=4.00/**  
**&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBY=2.50/**  
**&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBZ=1.50/**  
**&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBZ=2.00/**  
**&SLCF QUANTITY='oxygen', PBX=4.00/**

&SLCF QUANTITY='oxygen', PBy=2.50/

&SLCF QUANTITY='oxygen', PBZ=1.50/

&RAMP ID='CTRL\_RAMP', T=299.75, F=1.00/

&RAMP ID='CTRL\_RAMP', T=301.25, F=-1.00/

&DEVC ID='TIME', QUANTITY='TIME', XYZ=0.00,0.00,0.00/

&CTRL ID='CTRL', FUNCTION\_TYPE='CUSTOM', RAMP\_ID='CTRL\_RAMP',  
LATCH=.FALSE.,INPUT\_ID='TIME'/

&DEVC XYZ=4.00,2.50,2.1, QUANTITY='TEMPERATURE' /

&DEVC XYZ=4.00,2.50,1.5, QUANTITY='TEMPERATURE' /

&DEVC XYZ=4.00,2.50,0.9, QUANTITY='TEMPERATURE' /

&DEVC XYZ=4.00,2.50,0.3, QUANTITY='TEMPERATURE' /

&DEVC XYZ=2.00 1.50 3.5, PROP\_ID='K-11.2', ID='Sprinkler\_1',/

&DEVC XYZ=2.00 3.50 3.5, PROP\_ID='K-11.2', ID='Sprinkler\_2',/

&DEVC XYZ=6.00 1.50 3.5, PROP\_ID='K-11.2', ID='Sprinkler\_3',/

&DEVC XYZ=6.00 3.50 3.5, PROP\_ID='K-11.2', ID='Sprinkler\_4',/

&TAIL /

## ชุดคำสั่งของที่ Cubical Sprinkler ที่ติดตั้ง 2x 3 หัว

Sub Maemoh.fds

Generated by PyroSim - Version 2008.2

30 มี.ค. 2554, 10:20:31

&HEAD CHID='Sub\_Maemoh', TITLE='Switchgear Fire'/

&TIME T\_END=900.00/

&DUMP RENDER\_FILE='Sub\_Maemoh.ge1'/

&MISC SURF\_DEFAULT='WALL' /

&MESH ID='GRID', IJK=83,50,35, XB=-0.3,8.00,0.00,5.00,0.00,3.50/

&REAC ID='PE/PVC'

C = 2.0

H = 3.5

OTHER = 0.5

MW\_OTHER=34.0

HEAT\_OF\_COMBUSTION=24000.0

SOOT\_YIELD=0.1 /

&MATL ID = 'CABLE'

SPECIFIC\_HEAT = 1.289

CONDUCTIVITY = 0.192

DENSITY = 1380.0 /

&MATL ID='Steel',

SPECIFIC\_HEAT=0.4500,

CONDUCTIVITY=46.60,

DENSITY=7.8500000E003/

&SURF ID = 'WALL'

RGB = 200,200,200

**MATL\_ID** = 'GYPSUM PLASTER'  
**THICKNESS** = 0.012 /  
**PART\_ID** = 'smoke' /

**&MATL ID** = 'GYPSUM PLASTER'

**FYI** = 'Quintiere, Fire Behavior'  
**CONDUCTIVITY** = 0.48  
**SPECIFIC\_HEAT** = 0.84  
**DENSITY** = 1440. /

**&SURF ID** = 'Loose Cable'

**COLOR** = 'IVORY BLACK'  
**MATL\_ID** = 'CABLE'  
**HRRPUA** = 265.  
**IGNITION\_TEMPERATURE** = 270.  
**THICKNESS** = 0.1016 /  
**BURN\_AWAY** = .TRUE.,  
**PART\_ID** = 'smoke' /

**&SURF ID** = 'Sheet Metal',

**RGB** = 0,0,204,  
**MATL\_ID(1,1)** = 'Steel',  
**MATL\_MASS\_FRACTION(1,1)** = 1.00,  
**THICKNESS(1)** = 1.2801600E-003/  
**PART\_ID** = 'smoke' /

**&MATL ID** = 'GYPSUM BOARD\_MATL',

**SPECIFIC\_HEAT** = 0.84,  
**CONDUCTIVITY** = 0.4800,  
**DENSITY** = 1.4400000E003/

**&MATL ID** = 'Water',

SPECIFIC\_HEAT=4.19,  
 CONDUCTIVITY=0.60,  
 DENSITY=1.0000000E003,  
 EMISSIVITY=1.00,  
 N\_REACTIONS=1,  
 HEAT\_OF\_REACTION=2.2600000E003,  
 NU\_WATER=1.00,  
 N\_T=1.00,  
 THRESHOLD\_TEMPERATURE=100.00,  
 N\_S=1.00,  
 A=1.0000000E020,  
 E=1.6200000E005/  
 &SURF ID='GYPSUM BOARD',  
 RGB=200,200,200,  
 HRRPUA=100.00,  
 IGNITION\_TEMPERATURE=400.00,  
 MATL\_ID(1,1)='GYPSUM BOARD\_MATL',  
 MATL\_MASS\_FRACTION(1,1)=1.00,  
 THICKNESS(1)=0.0130/  
 PART\_ID = 'smoke' /  
 &SURF ID='BURNER',  
 COLOR='RED',  
 TMP\_FRONT=20.00,  
 HRRPUA=1.0000000E003/  
 PART\_ID = 'smoke' /  
 &PART ID='smoke', MASSLESS=,TRUE., SAMPLING\_FACTOR=1 /

&PART ID='water drops', WATER=.TRUE.,  
 QUANTITIES(1:3)='DROPLET\_DIAMETER','DROPLET\_TEMPERATURE','DROPLET  
 T\_AGE',  
 DROPLETS\_PER\_SECOND=4000, DIAMETER=700., SAMPLING\_FACTOR=1 /

&PROP ID='K-11.2', QUANTITY='SPRINKLER LINK TEMPERATURE', RTI=50.,  
 C\_FACTOR=0.0, ACTIVATION\_TEMPERATURE=68.0, OFFSET=0.10,  
 PART\_ID='water drops', FLOW\_RATE=135.03, DROPLET\_VELOCITY=10.,  
 SPRAY\_ANGLE=30.0,30.0, SMOKEVIEW\_ID='sprinkler\_pendent'

&HOLE XB=0.00,0.1000,1.75,3.25,0.00,2.00/ Door

&OBST XB=0.0,0.1000,0.00,5.00,0.00,3.50, SURF\_ID='GYPSUM BOARD'/  
 &OBST XB=0.50,7.50,0.00,1.50,0.00,2.20, SURF\_ID='Loose Cable'/ Cabinet 1  
 &OBST XB=0.50,7.50,3.50,5.00,0.00,2.20, SURF\_ID='Loose Cable'/ Cabinet 1[1]  
 &OBST XB=0.50,6.70,0.3000,1.10,1.70,2.20, SURF\_ID='Loose Cable'/ Cable B  
 &OBST XB=6.70,7.50,0.00,5.00,1.70,2.20, SURF\_ID='Loose Cable'/ Cable E  
 &OBST XB=0.50,6.70,3.80,4.60,1.70,2.20, SURF\_ID='Loose Cable'/ Cable B[1]

&VENT XB= 3.70, 4.30, 3.50, 3.50, 0.00, 0.20, SURF\_ID='BURNER', CTRL\_ID='CTRL'/  
 Burner

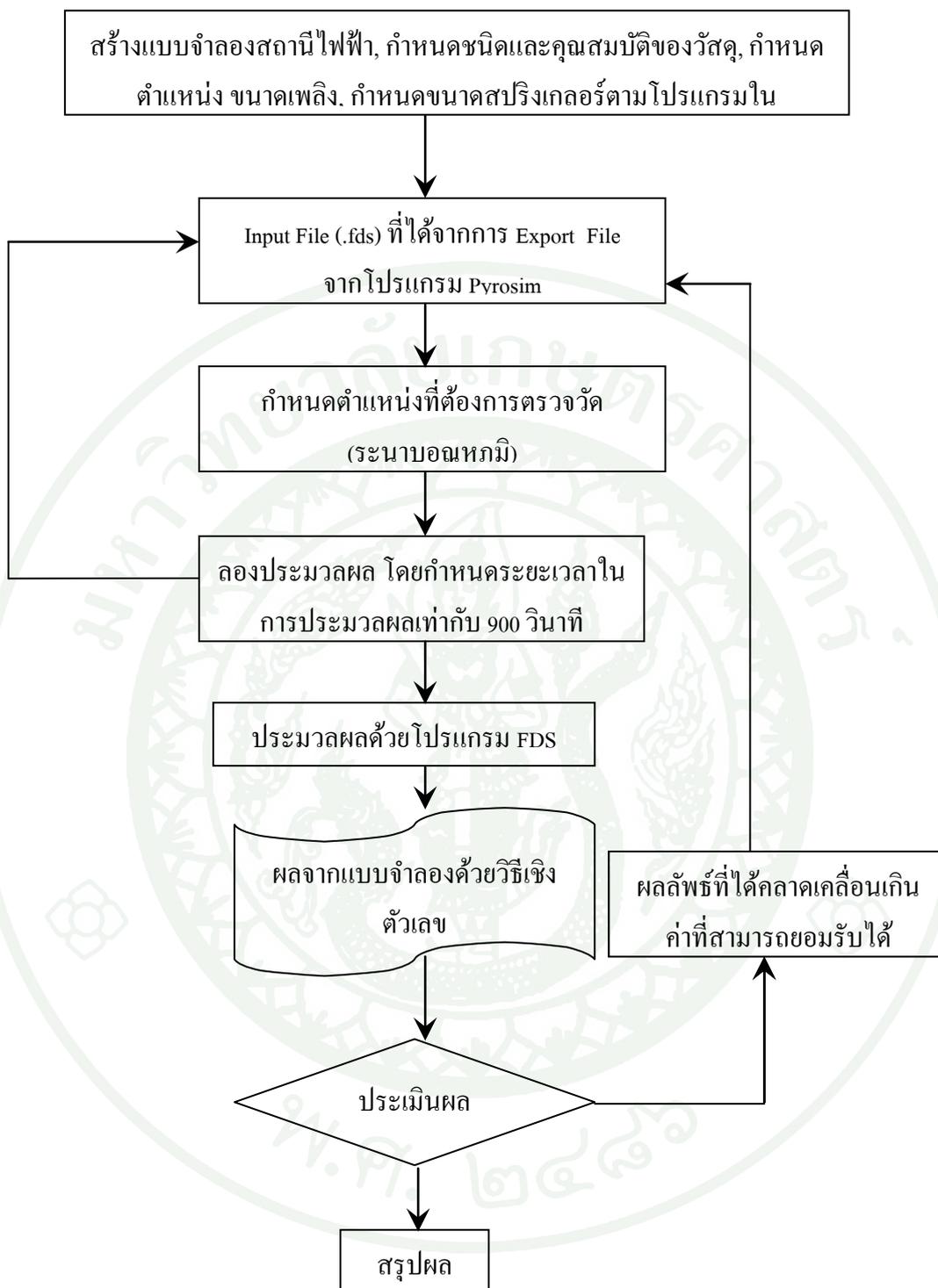
&VENT MB='XMIN',SURF\_ID='OPEN' /

&BNDF QUANTITY='GAS TEMPERATURE'/  
 &BNDF QUANTITY='GAUGE HEAT FLUX'/  
 &BNDF QUANTITY='HEAT\_FLUX'/  
 &BNDF QUANTITY='WALL\_TEMPERATURE'/

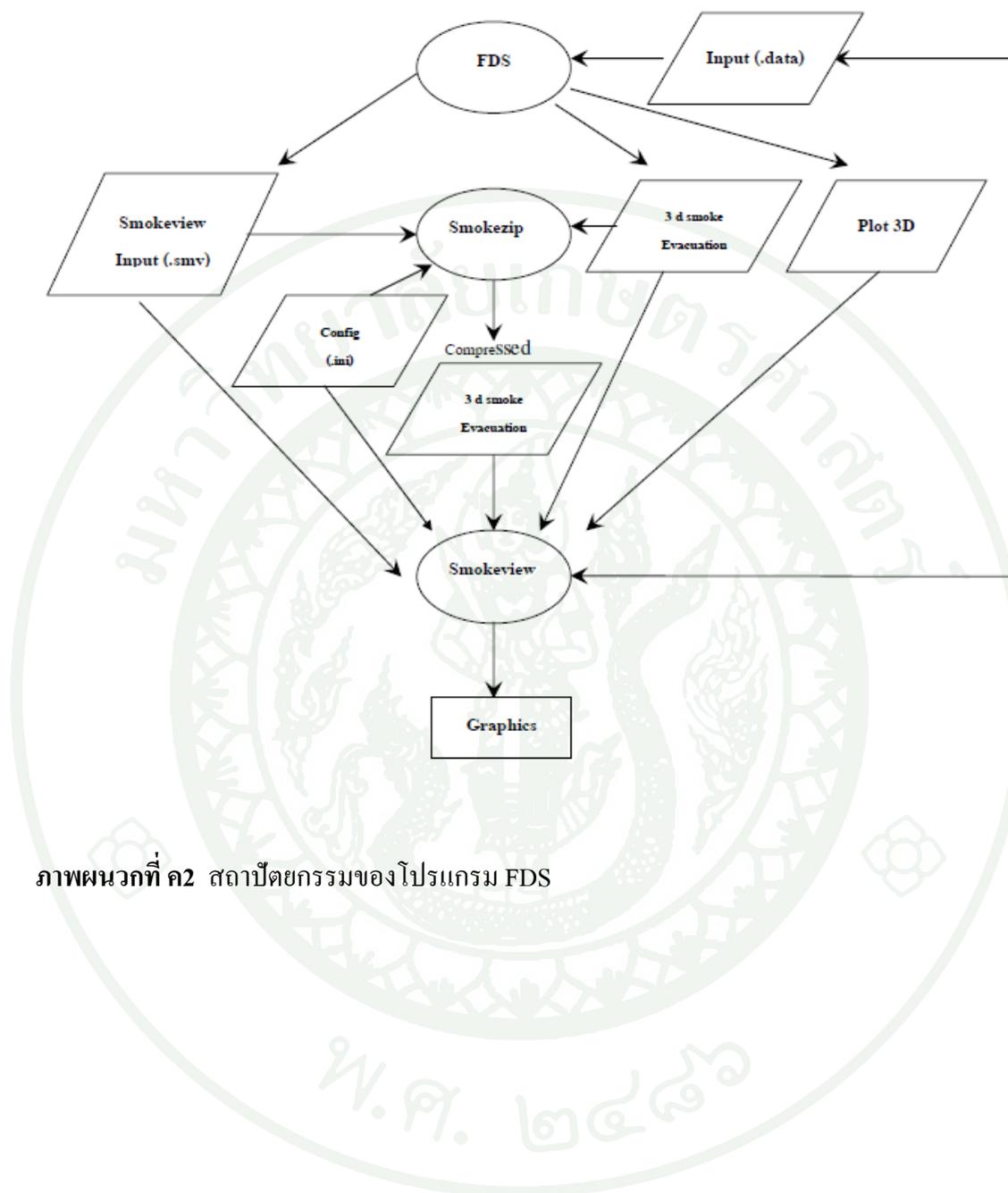
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=4.00/  
 &SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBY=2.50/  
 &SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBZ=1.50/  
 &SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBZ=2.00/

&SLCF QUANTITY='oxygen', PBX=4.00/  
 &SLCF QUANTITY='oxygen', PBy=2.50/  
 &SLCF QUANTITY='oxygen', PBZ=1.50/  
  
 &RAMP ID='CTRL\_RAMP', T=299.75, F=1.00/  
 &RAMP ID='CTRL\_RAMP', T=301.25, F=-1.00/  
 &DEVC ID='TIME', QUANTITY='TIME', XYZ=0.00,0.00,0.00/  
 &CTRL ID='CTRL', FUNCTION\_TYPE='CUSTOM', RAMP\_ID='CTRL\_RAMP',  
 LATCH=.FALSE.,INPUT\_ID='TIME'/  
  
 &DEVC XYZ=4.00,2.50,2.1, QUANTITY='TEMPERATURE' /  
 &DEVC XYZ=4.00,2.50,1.5, QUANTITY='TEMPERATURE' /  
 &DEVC XYZ=4.00,2.50,0.9, QUANTITY='TEMPERATURE' /  
 &DEVC XYZ=4.00,2.50,0.3, QUANTITY='TEMPERATURE' /  
  
 &DEVC XYZ=1.00 1.25 3.5, PROP\_ID='K-11.2', ID='Sprinkler\_1',/  
 &DEVC XYZ=4.00 1.25 3.5, PROP\_ID='K-11.2', ID='Sprinkler\_2',/  
 &DEVC XYZ=7.00 1.25 3.5, PROP\_ID='K-11.2', ID='Sprinkler\_3',/  
 &DEVC XYZ=1.00 3.75 3.5, PROP\_ID='K-11.2', ID='Sprinkler\_4',/  
 &DEVC XYZ=4.00 3.75 3.5, PROP\_ID='K-11.2', ID='Sprinkler\_5',/  
 &DEVC XYZ=7.00 3.75 3.5, PROP\_ID='K-11.2', ID='Sprinkler\_6',/  
  
 &TAIL /





ภาพผนวกที่ ๑๑ ขั้นตอนการใช้โปรแกรม FDS



ภาพผนวกที่ ค2 สถาปัตยกรรมของโปรแกรม FDS



ภาคผนวก ง  
ข้อมูลสปริงเกอร์ และ NFPA

## 8.6 Standard Pendent and Upright Spray Sprinklers.

**8.6.1 General.** All requirements of Section [8.5](#) shall apply to standard pendent and upright spray sprinklers except as modified in Section [8.6](#).

### 8.6.2 Protection Areas per Sprinkler (Standard Pendent and Upright Spray Sprinklers).

#### 8.6.2.1 Determination of the Protection Area of Coverage.

**8.6.2.1.1** Except as permitted by [8.6.2.1.2](#), the protection area of coverage per sprinkler ( $A_p$ ) shall be determined in accordance with [8.5.2.1](#).

**8.6.2.1.2** The requirements of [8.6.2.1.1](#) shall not apply in a small room as defined in [3.3.15](#); the protection area of coverage for each sprinkler in the small room shall be the area of the room divided by the number of sprinklers in the room.

#### 8.6.2.2 Maximum Protection Area of Coverage.

**8.6.2.2.1\*** The maximum allowable protection area of coverage for a sprinkler ( $A_p$ ) shall be in accordance with the value indicated in [Table 8.6.2.2.1\(a\)](#) through [Table 8.6.2.2.1\(d\)](#).

**Table 8.6.2.2.1(a) Protection Areas and Maximum Spacing (Standard Spray Upright/Standard Spray Pendent) for Light Hazard**

Construction Type	System Type	Protection Area		Spacing (maximum)	
		ft <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	ft	m
Noncombustible obstructed and unobstructed and combustible unobstructed with members 3 ft (0.91 m) or more on center	Pipe schedule	200	18.6	15	4.6
Noncombustible obstructed and unobstructed and combustible unobstructed with members 3 ft (0.91 m) or more on center	Hydraulically calculated	225	20.9	15	4.6
Combustible obstructed with members 3 ft (0.91 m) or more on center	All	168	15.6	15	4.6
Combustible obstructed or unobstructed with members less than 3 ft (0.91 m) on center	All	130	12.1	15	4.6
Combustible concealed space under a pitched roof having combustible wood joist or wood truss construction with members less than 3 ft (0.91 m) on center with slopes having a pitch of 4 in 12 or greater	All	120	11.1	15	4.6
				parallel to the slope	parallel to slope
				10	3.0
				perpendicular to the slope*	perpendicular to slope

\*Where the dimension perpendicular to the slope exceeds 8 ft (2.4 m), the minimum pressure shall be 20 psi (1.4 bar).

**Table 8.6.2.2.1(b) Protection Areas and Maximum Spacing (Standard Spray Upright/Standard Spray Pendent) for Ordinary Hazard**

Construction Type	System Type	Protection Area		Spacing (maximum)	
		ft <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	ft	m
All	All	130	12.1	15	4.6

Type					
All	Pipe schedule	90	8.4	12	3.7
				[In buildings with storage bays 25 ft (7.6 m) wide, 12 ft 6 in. (3.8 m) shall be permitted.]	
All	Hydraulically calculated with density $\geq 0.25$	100	9.3	12	3.7
				[In buildings with storage bays 25 ft (7.6 m) wide, 12 ft 6 in. (3.8 m) shall be permitted.]	
All	Hydraulically calculated with density $< 0.25$	130	12.1	15	4.6

**Table 8.6.2.2.1(d) Protection Areas and Maximum Spacing (Standard Spray Upright/Standard Spray Pendent) for High-Piled Storage**

Construction Type	System Type	Protection Area		Spacing (maximum)	
		ft <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	ft	m
All	Hydraulically calculated with density $\geq 0.25$	100	9.3	12	3.7
				[In buildings with storage bays 25 ft (7.6 m) wide, 12 ft 6 in. (3.8 m) shall be permitted.]	
All	Hydraulically calculated with density $< 0.25$	130	12.1	15	4.6

**8.6.2.2.2** In any case, the maximum area of coverage of a sprinkler shall not exceed 225 ft<sup>2</sup> (21 m<sup>2</sup>).

### 8.6.3 Sprinkler Spacing (Standard Pendent and Upright Spray Sprinklers).

**8.6.3.1 Maximum Distance Between Sprinklers.** The maximum distance permitted between sprinklers shall comply with [Table 8.6.2.2.1\(a\)](#) through [Table 8.6.2.2.1\(d\)](#).

#### 8.6.3.2 Maximum Distance from Walls.

**8.6.3.2.1** The distance from sprinklers to walls shall not exceed one-half of the allowable distance between sprinklers as indicated in [Table 8.6.2.2.1\(a\)](#) through [Table 8.6.2.2.1\(d\)](#).

**8.6.3.2.2** The distance from the wall to the sprinkler shall be measured perpendicular to the wall.

**8.6.3.2.3\*** The requirements of [8.6.3.2.1](#) shall not apply where walls are angled or irregular, and the maximum horizontal distance between a sprinkler and any point of floor area protected by that sprinkler shall not exceed 0.75 times the allowable distance permitted between sprinklers, provided the maximum perpendicular distance is not exceeded.

**8.6.3.2.4\*** The requirements of [8.6.3.2.1](#) shall not apply within small rooms as defined in [3.3.15](#), sprinklers shall be permitted to be located not more than 9 ft (2.7 m) from any single wall, and sprinkler spacing limitations of [8.6.3](#) and area limitations of [Table 8.6.2.2.1\(a\)](#) shall not be exceeded.

**8.6.3.2.5** Under curved surfaces, the horizontal distance shall be measured at the floor level from the wall, or the intersection of the curved surface and the floor to the nearest sprinkler shall not be greater than one-half the allowable distance between sprinklers.

**8.6.3.3 Minimum Distances from Walls.** Sprinklers shall be located a minimum of 4 in. (102 mm) from a wall.

#### 8.6.3.4 Minimum Distances Between Sprinklers.

**8.6.3.4.1** Unless the requirements of [8.6.3.4.2](#), [8.6.3.4.3](#), or [8.6.3.4.4](#) are met, sprinklers shall be spaced not less than 6 ft (1.8 m) on center.

**8.6.3.4.2** Sprinklers shall be permitted to be placed less than 6 ft (1.8 m) on center where the following conditions are satisfied:

- (1) Baffles shall be installed and located midway between sprinklers and arranged to protect the actuating elements.
- (2) Baffles shall be of noncombustible or limited-combustible material that will stay in place before and during

sprinkler operation.

- (3) Baffles shall be not less than 8 in. (203 mm) wide and 6 in. (152 mm) high.
- (4) The tops of baffles shall extend between 2 in. and 3 in. (51 mm and 76 mm) above the deflectors of upright sprinklers.
- (5) The bottoms of baffles shall extend downward to a level at least even with the deflectors of pendent sprinklers.

8.6.3.4.3 In-rack sprinklers shall be permitted to be placed less than 6 ft (1.8 m) on center.

8.6.3.4.4 Old-style sprinklers protecting fur storage vaults shall be permitted to be placed less than 6 ft (1.8 m) on center.

#### 8.6.4 Deflector Position (Standard Pendent and Upright Spray Sprinklers).

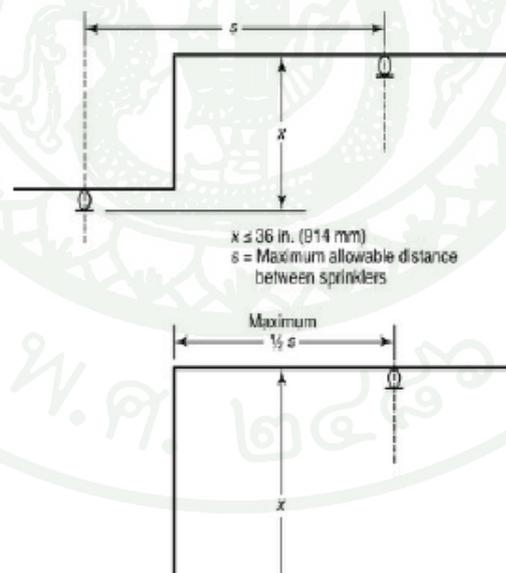
##### 8.6.4.1 Distance Below Ceilings.

###### 8.6.4.1.1 Unobstructed Construction.

8.6.4.1.1.1 Under unobstructed construction, the distance between the sprinkler deflector and the ceiling shall be a minimum of 1 in. (25.4 mm) and a maximum of 12 in. (305 mm) throughout the area of coverage of the sprinkler.

8.6.4.1.1.2 The requirements of 8.6.4.1.1.1 shall not apply where ceiling-type sprinklers (concealed, recessed, and flush types) have the operating element above the ceiling and the deflector located nearer to the ceiling where installed in accordance with their listing.

8.6.4.1.1.3 The requirements of 8.6.4.1.1.1 shall not apply for light and ordinary hazard occupancies with ceilings of noncombustible or limited combustible construction. Where there is a vertical change in ceiling elevation within the area of coverage of the sprinkler creating a distance of more than 36 in. (914 mm) between the upper ceiling and the sprinkler deflector, a vertical plane extending down from the ceiling at the change in elevation shall be considered a wall for the purpose of sprinkler spacing. Where the distance between the upper ceiling and the sprinkler deflector is less than or equal to 36 in. (914 mm), the sprinklers shall be permitted to be spaced as though the ceiling was flat, provided the obstruction rules and ceiling pocket rules are observed. (See [Figure 8.6.4.1.1.3.](#))



**A.5.1** Occupancy examples in the listings as shown in the various hazard classifications are intended to represent the norm for those occupancy types. Unusual or abnormal fuel loadings or combustible characteristics and susceptibility for changes in these characteristics, for a particular occupancy, are considerations that should be weighed in the selection and classification.

The light hazard classification is intended to encompass residential occupancies; however, this is not intended to preclude the use of listed residential sprinklers in residential occupancies or residential portions of other occupancies.

**A.5.2** Light hazard occupancies include occupancies having uses and conditions similar to the following:

Animal shelters

Churches

Clubs

Eaves and overhangs, if of combustible construction with no combustibles beneath

Educational

Hospitals, including animal hospitals and veterinary facilities

Institutional

Kennels

Libraries, except large stack rooms

It is not the committee's intent to automatically equate library bookshelves with ordinary hazard occupancies or with library stacks. Typical library bookshelves of approximately 8 ft in height, containing books stored vertically on end, held in place in close association with each other, with aisles wider than 30 in. can be considered to be light hazard occupancies. Similarly, library stack areas, which are more akin to shelf storage or record storage, as defined in [NFPA 232, Standard for the Protection of Records](#), should be considered to be ordinary hazard occupancies.

Museums

Nursing or convalescent homes

Offices, including data processing

Residential

Restaurant seating areas

Theaters and auditoriums, excluding stages and prosceniums

Unused attics

**A.5.3** For purposes of these definitions, Class I, Class II, Class III, and Class IV commodities would be considered to have moderate rates of heat release, while Group A plastics would be considered to have high rates of heat release. Stockpiles are considered to include display merchandise (mercantile) and arrangements of combustibles ancillary to operations within the occupancy as opposed to dedicated storage areas where the fire loading is generally more severe.

**A.5.3.1** Ordinary hazard occupancies (Group 1) include occupancies having uses and conditions similar to the following:

Automobile parking and showrooms

Bakeries

Beverage manufacturing

Canneries

Dairy products manufacturing and processing

Electronic plants

Glass and glass products manufacturing

Laundries

Restaurant service areas

**A.5.3.2** Ordinary hazard occupancies (Group 2) include occupancies having uses and conditions similar to the following:

Agricultural facilities

Barns and stables

Cereal mills

Chemical plants — ordinary

### Varnish and paint dipping

**A.5.5** Other NFPA standards contain design criteria for fire control or fire suppression (*see Section 5.5 and Chapter 2*). While these can form the basis of design criteria, this standard describes the methods of design, installation, fabrication, calculation, and evaluation of water supplies that should be used for the specific design of the system.

Other NFPA standards contain sprinkler system design criteria for fire control or suppression of specific hazards. This information has been either referenced or copied into Chapter 21 using NFPA's extract policy.

**A.5.6** Specification of the type, amount, and arrangement of combustibles for any commodity classification is essentially an attempt to define the potential fire severity, based on its burning characteristics, so the fire can be successfully controlled by the prescribed sprinkler protection for the commodity class. In actual storage situations, however, many storage arrays do not fit precisely into one of the fundamental classifications; therefore, the user needs to make judgments after comparing each classification to the existing storage conditions. Storage arrays consist of thousands of products, which make it impossible to specify all the acceptable variations for any class. As an alternative, a variety of common products are classified in this appendix based on judgment, loss experience, and fire test results.

[Table A.5.6](#) provides examples of commodities not addressed by the classifications in Section 5.6.

[Table A.5.6.3](#) is an alphabetized list of commodities with corresponding classifications.

[Table A.5.6.3.1](#) through [Table A.5.6.3.4](#) and [Table A.5.6.4.1](#) provide examples of commodities within a specific class.

**Table A.5.6 Examples of Commodities Not Addressed by the Classifications in Section 5.6**

Boxes, Crates
- Empty, wood slatted*
Lighters (butane)
- Loose in large containers (Level 3 aerosol)

\*Should be treated as idle pallets.

**A.5.6.1.1** Commodity classification is governed by the types and amounts of materials (e.g., metal, paper, wood, plastics) that are a part of a product and its primary packaging. However, in a storage or warehousing situation, classification is also affected by such factors as the primary storage or shipping container material, the amount of air space, and the location of the more hazardous materials within the container. For example, a Group A plastic product enclosed in a five- or six-sided metal container can be considered Class II, while a ceramic product heavily wrapped in tissue paper and placed in a corrugated carton could be Class III.

**A.5.6.3** See [Table A.5.6.3](#).

**Table A.5.6.3 Alphabetized Listing of Commodity Classes**

Commodity	Commodity Class
Aerosols	
Cartoned or uncartoned — Level 1	Class III
Alcoholic Beverages	
Cartoned or uncartoned	
- Up to 20 percent alcohol in metal, glass, or ceramic containers	Class I
- Up to 20 percent alcohol in wood containers	Class II
Ammunition	
Small arms, shotgun — packaged, cartoned	Class IV
Appliances, Major (e.g., stoves, refrigerators)	

22.4.4.9.3 Flow from a sprinkler shall be calculated using the nominal K-factor.

**22.4.4.10 Minimum Operating Pressure.**

22.4.4.10.1 Minimum operating pressure of any sprinkler shall be 7 psi (0.5 bar).

22.4.4.10.2 Where a higher minimum operating pressure for the desired application is specified in the listing of the sprinkler, this higher pressure shall be required.

22.4.4.11 **Maximum Operating Pressure.** For extra hazard occupancies, palletized, solid-pile, in bin box, on shelf storage, the maximum operating pressure of any sprinkler shall be 175 psi (12.1 bar).

**22.5 Pipe Schedules.**

Pipe schedules shall not be used, except in existing systems and in new systems or extensions to existing systems described in Chapter 11. Water supplies shall conform to 11.2.2.

**22.5.1\* General.**

22.5.1.1 The pipe schedule sizing provisions shall not apply to hydraulically calculated systems.

22.5.1.2 Sprinkler systems having sprinklers with K-factors other than 5.6 nominal, listed piping material other than that covered in Table 6.3.1.1, extra hazard Group 1 and Group 2 systems, and exposure protection systems shall be hydraulically calculated.

22.5.1.3 The number of automatic sprinklers on a given pipe size on one floor shall not exceed the number given in 22.5.2, 22.5.3, or 22.5.4 for a given occupancy.

22.5.1.4\* **Size of Risers.** Each system riser shall be sized to supply all sprinklers on the riser on any one floor as determined by the standard schedules of pipe sizes in 22.5.2, 22.5.3, or 22.5.4.

22.5.1.5 **Slatted Floors, Large Floor Openings, Mezzanines, and Large Platforms.** Buildings having slatted floors or large unprotected floor openings without approved stops shall be treated as one area with reference to pipe sizes, and the feed mains or risers shall be of the size required for the total number of sprinklers.

22.5.1.6 **Stair Towers.** Stairs, towers, or other construction with incomplete floors, if piped on independent risers, shall be treated as one area with reference to pipe sizes.

**22.5.2 Schedule for Light Hazard Occupancies.**

**22.5.2.1 Branch Lines.**

22.5.2.1.1 Unless permitted by 22.5.2.1.2 or 22.5.2.1.3, branch lines shall not exceed eight sprinklers on either side of a cross main.

22.5.2.1.2 Where more than eight sprinklers on a branch line are necessary, lines shall be permitted to be increased to nine sprinklers by making the two end lengths 1 in. (25.4 mm) and 1¼ in. (33 mm), respectively, and the sizes thereafter standard.

22.5.2.1.3 Ten sprinklers shall be permitted to be placed on a branch line, making the two end lengths 1 in. (25.4 mm) and 1¼ in. (33 mm), respectively, and feeding the tenth sprinkler by a 2½ in. (64 mm) pipe.

**22.5.2.2 Pipe Sizes.**

22.5.2.2.1 Pipe sizes shall be in accordance with Table 22.5.2.2.1.

**Table 22.5.2.2.1 Light Hazard Pipe Schedules**

Steel		Copper	
1 in.	2 sprinklers	1 in.	2 sprinklers
1¼ in.	3 sprinklers	1¼ in.	3 sprinklers
1½ in.	5 sprinklers	1½ in.	5 sprinklers
2 in.	10 sprinklers	2 in.	12 sprinklers
2½ in.	30 sprinklers	2½ in.	40 sprinklers
3 in.	60 sprinklers	3 in.	65 sprinklers
3½ in.	100 sprinklers	3½ in.	115 sprinklers
4 in.	See Section 8.2	4 in.	See Section 8.2

For SI units, 1 in. = 25.4 mm.

**22.4.4.7 Friction Loss.** Pipe friction loss shall be calculated in accordance with the Hazen-Williams formula with  $C$  values from [Table 22.4.4.7](#), as follows:

- (1) Include pipe, fittings, and devices such as valves, meters, flow switches in pipes 2 in. or less in size, and strainers, and calculate elevation changes that affect the sprinkler discharge.
- (2) Tie-in drain piping shall not be included in the hydraulic calculations.
- (3) Calculate the loss for a tee or a cross where flow direction change occurs based on the equivalent pipe length of the piping segment in which the fitting is included.
- (4) The tee at the top of a riser nipple shall be included in the branch line, the tee at the base of a riser nipple shall be included in the riser nipple, and the tee or cross at a cross main-feed main junction shall be included in the cross main.
- (5) Do not include fitting loss for straight-through flow in a tee or cross.
- (6) Calculate the loss of reducing elbows based on the equivalent feet value of the smallest outlet.
- (7) Use the equivalent feet value for the standard elbow on any abrupt 90 degree turn, such as the screw-type pattern.
- (8) Use the equivalent feet value for the long-turn elbow on any sweeping 90 degree turn, such as a flanged, welded, or mechanical joint-elbow type. (See [Table 22.4.3.1.1](#).)
- (9) Friction loss shall be excluded for the fitting directly connected to a sprinkler.
- (10) Losses through a pressure-reducing valve shall be included based on the normal inlet pressure condition. Pressure loss data from the manufacturer's literature shall be used.

**Table 22.4.4.7 Hazen-Williams  $C$  Values**

Pipe or Tube	$C$ Value*
Unlined cast or ductile iron	100
Black steel (dry systems including preaction)	100
Black steel (wet systems including deluge)	120
Galvanized (all)	120
Plastic (listed) all	150
Cement-lined cast or ductile iron	140
Copper tube or stainless steel	150
Asbestos cement	140
Concrete	140

\*The authority having jurisdiction is permitted to consider other  $C$  values.

#### **22.4.4.8\* Orifice Plates.**

**22.4.4.8.1** Orifice plates shall not be used for balancing the system.

**22.4.4.8.2** Unless the requirements of [22.4.4.8.3](#) or [22.4.4.8.4](#) are met, mixing of sprinklers of different orifice sizes by reducing the orifice size of adjacent sprinklers on the same branch line leading back to the main for the purpose of minimizing sprinkler over discharge shall not be permitted.

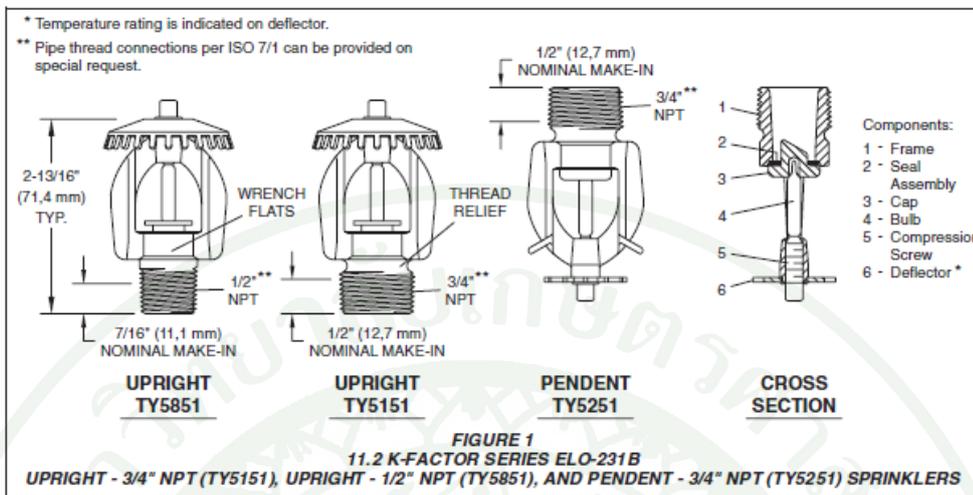
**22.4.4.8.3** Sprinklers with different orifice sizes shall be acceptable for special use such as exposure protection, small rooms or enclosures, or directional discharge. (See [3.3.15](#) for definition of small rooms.)

**22.4.4.8.4** Extended-coverage and residential sprinklers with a different orifice size shall be acceptable for part of the protection area where installed in accordance with their listing.

#### **22.4.4.9\* Pressures.**

**22.4.4.9.1** When calculating flow from an orifice, the total pressure ( $P_t$ ) shall be used, unless the calculation method of [22.4.4.9.2](#) is utilized.

**22.4.4.9.2** Use of the normal pressure ( $P_n$ ) calculated by subtracting the velocity pressure from the total pressure shall be permitted. Where the normal pressure is used, it shall be used on all branch lines and cross mains where applicable.



the need for in-rack sprinkler protection) of cartoned or uncartoned unexpanded Group A or B plastics, or, cartoned expanded Group A or B plastics, with:

- a storage height of up to 20 feet (6,1 m);
- a maximum ceiling height of 27 feet (8,2 m);
- a minimum deflector to top of storage clearance of 18 inches (457 mm);
- a minimum design density of 0.60 gpm/ft<sup>2</sup> (24,4 mm/min);
- a minimum residual (flowing) pressure of 10 psi (0,7 bar);
- a minimum design area of 2000 ft<sup>2</sup> (186 m<sup>2</sup>) for wet systems or 2600 ft<sup>2</sup> (242 m<sup>2</sup>) for dry pipe systems

**FM Approval Requirements**

The 11.2 K-factor, Model ELO-231B (TY5151, TY5251 & TY5851) Sprinklers are to be installed in accordance with the applicable "control mode density/area" guidelines provided by Factory Mutual. (FM guidelines may differ from UL and C-UL Listing criteria.)

**Operation**

The glass bulb contains a fluid that expands when exposed to heat. When the rated temperature is reached, the fluid expands sufficiently to shatter the glass bulb, allowing the sprinkler to activate and water to flow.

**Installation**

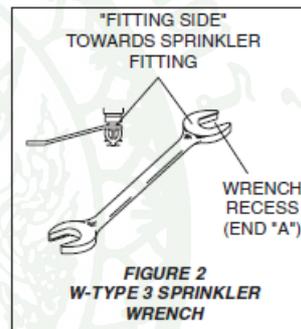
The Series ELO-231B Sprinklers must be installed in accordance with the following instructions:

**NOTES**

Do not install any bulb type sprinkler if the bulb is cracked or there is a loss of liquid from the bulb. With the sprinkler held horizontally, a small air bubble should be present. The diameter of the air bubble is approximately 1/16 inch (1,6 mm) for the 155°F/68°C to 3/32 inch (2,4 mm) for the 286°F/141°C temperature ratings.

A leak tight 3/4 inch NPT sprinkler joint should be obtained with a torque of 10 to 20 ft.lbs. (13,4 to 26,8 Nm). A maximum of 30 ft.lbs. (40,7 Nm) of torque is to be used to install sprinklers with 3/4 NPT connections. A leak tight 1/2 inch NPT sprinkler joint should be obtained with a torque of 7 to 14 ft.lbs. (9,5 to 19,0 Nm). A maximum of 21 ft. lbs. (28,5 Nm) of torque may be used to install sprinklers with 1/2 NPT connections. Higher levels of torque may distort the sprinkler inlet and cause leakage or impairment of the sprinkler.

Do not attempt to make-up for insuffi-



cient adjustment in the escutcheon plate by under- or over-tightening the sprinkler. Readjust the position of the sprinkler fitting to suit.

The Series ELO-231B Upright and Pendent Sprinklers must be installed in accordance with the following instructions.

**Step 1.** Pendent sprinklers are to be installed in the pendent position, and upright sprinklers are to be installed in the upright position.

**Step 2.** With pipe thread sealant applied to the pipe threads, hand tighten the sprinkler into the sprinkler fitting.

**Step 3.** Tighten the sprinkler into the sprinkler fitting using only the W-Type 3 Sprinkler Wrench (Ref. Figure 2), except that an 8 or 10 inch adjustable Crescent wrench is to be used for wax coated sprinklers. With reference to

TYPE	TEMPERATURE	BULB LIQUID	SPRINKLER FINISH				
			NATURAL BRASS	CHROME PLATED	LEAD COATED	WAX COATED	WAX OVER LEAD
UPRIGHT (TY5151 & TY5851)	155°F/68°C	Red	1, 2, 3, 4	3			
	200°F/93°C	Green		3			
	286°F/141°C	Blue		3	3 <sup>(a)</sup>		
PENDENT (TY5251)	155°F/68°C	Red	1, 2, 3, 4	3			
	200°F/93°C	Green		3			
	286°F/141°C	Blue		3	3 <sup>(a)</sup>		

**NOTES:**

1. Listed by Underwriters Laboratories, Inc. (UL Listed).
2. Listed by Underwriters Laboratories, Inc. for use in Canada (C-UL Listed).
3. Approved by Factory Mutual Research Corporation (FM Approved).
4. Approved by the City of New York under MEA 291-04-E.

(a). FM Approved for a maximum ceiling temperature of 150°F/66°C.

**TABLE A**  
**LABORATORY LISTINGS AND APPROVALS**  
**FOR 11.2 K-FACTOR SERIES ELO-231B UPRIGHT AND PENDENT SPRINKLERS**  
(Refer to the Design Criteria Section)

### Model/Sprinkler Identification Numbers

TY5151 - Upright 11.2K, 3/4" NPT  
 TY5251 - Pendent 11.2K, 3/4" NPT  
 TY5851 - Upright 11.2K, 1/2" NPT  
 TY5151 is a redesignation for C5151.  
 TY5251 is a redesignation for C5251, G1871, and S2531.  
 TY5851 is a redesignation for C5851.

### Technical Data

**Approvals**  
 UL and C-UL Listed. FM and NYC Approved. (Refer to Table A for complete approval information including corrosion resistant status. The approvals apply to the service conditions indicated in the Design Criteria section.)

**Maximum Working Pressure**  
 175 psi (12,1 bar)

**Discharge Coefficient**  
 K = 11.2 GPM/psi<sup>1/2</sup>  
 (161,4 LPM/bar<sup>1/2</sup>)

**Temperature Ratings**  
 Refer to Table A

**Finishes**  
 Refer to Table A

**Physical Characteristics**

Frame	.....	Bronze
Cap	.....	Bronze
Sealing Assembly	.....	Beryllium Nickel w/Teflon†
Bulb (5 mm dia.)	.....	Glass
Compression Screw	.....	Bronze
Deflector	.....	Bronze

† Registered trademark of DuPont.

### Design Criteria

**UL and C-UL Listing Requirements**

The 11.2 K-factor, Model ELO-231B (TY5151, TY5251 & TY5851) Sprinklers are to be installed in accordance with NFPA 13 standard sprinkler position and area/density flow calculation requirements for light, ordinary, or extra hazard occupancies with a minimum residual (flowing) pressure of 7 psi (0,5 bar) in wet or dry pipe sprinkler systems, or they are to be installed in accordance with NFPA 13 standard sprinkler position and area/density flow calculation requirements for high piled storage occupancies (solid piled, palletized, rack storage, bin box, and shelf storage including but not limited to Class I-IV and Group A plastics) with a minimum residual (flowing) pressure of 10 psi (0,7 bar) for wet or dry pipe systems.

The following example is typical of the type of arrangement permitted by NFPA 13. For all combinations of lesser and greater building heights, lesser and greater storage heights, storage arrangements, commodity classifications, and lesser or greater required design densities, refer to NFPA 13 for specifics.

*Example: NFPA 13 provides ceiling only protection (i.e., no in-rack sprinklers) criteria using open frame (i.e. no solid shelves) single, double, multiple-row, or portable rack storage (without*

Figure 1, the W-Type 3 Sprinkler Wrench or the adjustable Crescent wrench, as applicable is to be applied to the wrench flats.

When installing wax coated sprinklers with the adjustable Crescent wrench, additional care needs to be exercised to prevent damage to the wax coating on the sprinkler wrench flats or frame arms and, consequently, exposure of bare metal to the corrosive environment. The jaws of the wrench should be opened sufficiently wide to pass over the wrench flats without damaging the wax coating. Before wrench tightening the sprinkler, the jaws of the wrench are to be adjusted to just contact the sprinkler wrench flats. After wrench tightening the sprinkler, loosen the wrench jaws before removing the wrench.

After installation, the sprinkler wrench flats and frame arms must be inspected and the wax coating retouched (repaired) whenever the coating has been damaged and bare metal is exposed. The wax coating on the wrench flats can be retouched by gently applying a heated 1/8 inch diameter steel rod to the areas of wax that have been damaged, to smooth it back over areas where bare metal is exposed.

#### NOTES

*Only retouching of the wax coating applied to the wrench flats and frame arms is permitted, and the retouching is to be performed only at the time of the initial sprinkler installation.*

*The steel rod should be heated only to the point at which it can begin to melt the wax, and appropriate precautions need to be taken, when handling the heated rod, in order to prevent the installer from being burned.*

*If attempts to retouch the wax coating with complete coverage are unsuccessful, additional wax can be ordered in the form of a wax stick (the end of which is color coded). Only the correct color coded wax is to be used, and retouching of wrench flats and frame arms is only permitted at the time of initial sprinkler installation. With the steel rod heated as previously described, touch the rod to the area requiring additional wax with the rod angled downward, and then touch the wax stick to the rod approximately one-half inch away from the area requiring retouching. The wax will melt and run down onto the sprinkler.*

## Care and Maintenance

Series ELO-231B Sprinklers must be maintained and serviced in accordance with the following instructions:

#### NOTES

*Before closing a fire protection system control valve for maintenance work on the fire protection system that it controls, permission to shut down the affected fire protection system must be obtained from the proper authorities and all personnel who may be affected by this action must be notified.*

Sprinklers that are found to be leaking or exhibiting visible signs of corrosion must be replaced.

Automatic sprinklers must never be painted, plated, coated or otherwise altered after leaving the factory. Modified sprinklers must be replaced. Sprinklers that have been exposed to corrosive products of combustion, but have not operated, should be replaced if they cannot be completely cleaned by wiping the sprinkler with a cloth or by brushing it with a soft bristle brush.

Care must be exercised to avoid damage to the sprinklers — before, during, and after installation. Sprinklers damaged by dropping, striking, wrench twist/slippage, or the like, must be replaced. Also, replace any sprinkler that has a cracked bulb or that has lost liquid from its bulb (ref. Installation Section Note).

Frequent visual inspections are recommended to be initially performed for corrosion resistant sprinklers, after the installation has been completed, to verify the long term potential integrity of the sprinkler coatings. Thereafter, annual inspections per NFPA 25 should suffice; however, instead of inspecting from the floor level, a random sampling of close-up visual inspections should be made, so as to better determine the exact sprinkler condition and the long term integrity of the corrosion resistant coating, as it may be affected by the corrosive conditions present.

The owner is responsible for the inspection, testing, and maintenance of their fire protection system and devices in compliance with this document, as well as with the applicable standards of the National Fire Protection Association (e.g., NFPA 25), in addition to the standards of any other authorities having jurisdiction. The installing contractor or sprinkler manufacturer should be contacted relative to any questions.

It is recommended that automatic sprinkler systems be inspected, tested, and maintained by a qualified Inspection Service in accordance with local requirements and/or national code.

## Limited Warranty

Products manufactured by Tyco Fire Products are warranted solely to the original Buyer for ten (10) years against defects in material and workmanship when paid for and properly installed and maintained under normal use and service. This warranty will expire ten (10) years from date of shipment by Tyco Fire Products. No warranty is given for products or components manufactured by companies not affiliated by ownership with Tyco Fire Products or for products and components which have been subject to misuse, improper installation, corrosion, or which have not been installed, maintained, modified or repaired in accordance with applicable Standards of the National Fire Protection Association, and/or the standards of any other Authorities Having Jurisdiction. Materials found by Tyco Fire Products to be defective shall be either repaired or replaced, at Tyco Fire Products' sole option. Tyco Fire Products neither assumes, nor authorizes any person to assume for it, any other obligation in connection with the sale of products or parts of products. Tyco Fire Products shall not be responsible for sprinkler system design errors or inaccurate or incomplete information supplied by Buyer or Buyer's representatives.

IN NO EVENT SHALL TYCO FIRE PRODUCTS BE LIABLE, IN CONTRACT, TORT, STRICT LIABILITY OR UNDER ANY OTHER LEGAL THEORY, FOR INCIDENTAL, INDIRECT, SPECIAL OR CONSEQUENTIAL DAMAGES, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO LABOR CHARGES, REGARDLESS OF WHETHER TYCO FIRE PRODUCTS WAS INFORMED ABOUT THE POSSIBILITY OF SUCH DAMAGES, AND IN NO EVENT SHALL TYCO FIRE PRODUCTS' LIABILITY EXCEED AN AMOUNT EQUAL TO THE SALES PRICE.

**THE FOREGOING WARRANTY IS MADE IN LIEU OF ANY AND ALL OTHER WARRANTIES EXPRESS OR IMPLIED INCLUDING WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE.**

## Ordering Procedure

A Part Number (P/N) is not specified when ordering sprinklers with thread connections per ISO 7/1.

Contact your local distributor for availability.

### Sprinkler Assemblies

#### with NPT Thread Connection:

Specify: (specify SIN), 11.2 K-factor, (specify temperature rating), Series ELO-231B Standard Response (specify Pendent or Upright) Sprinkler with (specify finish), P/N (specify from Table B).

#### Sprinkler Wrench:

Specify: W-Type 3 Sprinkler Wrench, P/N 56-895-1-001.

#### Wax Sticks:

#### (for retouching wrench damaged wax coating)

Specify: (Specify color) color coded Wax Stick for retouching (specify temperature rating) temperature rated Series ELO-231B Sprinklers, P/N (specify).

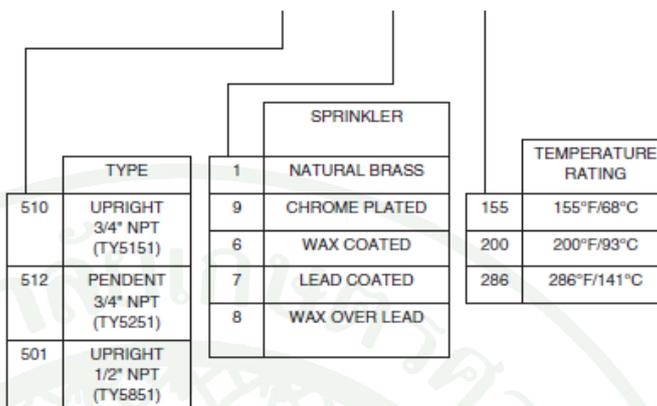
Red for 155°F ..... P/N 56-065-1-155  
 Blue for 200°F and 286°F ..... P/N 56-065-1-286

#### NOTES

Each wax stick is suitable for retouching up to twenty-five sprinklers.

The wax used for 286°F sprinklers is the same as for 200°F sprinklers, and, therefore, the 286°F sprinkler is limited to the same maximum ceiling temperature as the 200°F sprinkler (i.e., 150°F).

P/N 50 — XXX — X — XXX



**TABLE B**  
**PRODUCT SYMBOL NUMBER SELECTION**  
**11.2 K-FACTOR SERIES ELO-231 B**  
**STANDARD RESPONSE UPRIGHT AND PENDENT SPRINKLERS**

## ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ - นามสกุล	นายชาติร์ กลิ่นอุบล
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 20 สิงหาคม 2506
สถานที่เกิด	จ. เพชรบุรี
ประวัติการศึกษา	อส.บ. (วิศวกรรมไฟฟ้า)
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	วิศวกรไฟฟ้า
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-