วิทยานิพนธ์

**การศึกษาการแผ่กระจายควันในบันไดที่ไม่ปิดล้อมของอาคารสำนักงานโดยโปรแกรม
พลศาสตร์อัคคีภัย กรณีศึกษา อาคารสำนักงานสูง 21 ชั้นในจังหวัดสมุทรปราการ**

A Study of Smoke Spread in Unconfined Staircase of Office Building by Fire Dynamics Simulator Case Study : The 21 Floors Office Building in Samutprakarn Province

นายบุญศักดิ์ ทรัพย์เชี่ยวชาญ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. 2551

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย)

ปริญญา

วิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย | โครงการสหวิทยาการระดับบัณฑิตศึกษา

สาขา | **ภาควิชา**

เรื่อง การศึกษาการแผ่กระจายควันในบันไดที่ไม่ปิดล้อมของอาคารสำนักงานโดยโปรแกรมพลศาสตร์อัคคีภัย กรณีศึกษา อาคารสำนักงานสูง 21 ชั้นในจังหวัดสมุทรปราการ

A Study of Smoke Spread in Unconfined Staircase of Office Building by Fire Dynamics Simulator Case Study : The 21 Floors Office Building in Samutprakarn Province

นามผู้วิจัย นายบุญศักดิ์ ทรัพย์เชี่ยวชาญ

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ....

(อาจารย์อภิชาต แจ้งบำรุง, Ph.D.)

ประธานสาขาวิชา ....

(รองศาสตราจารย์สุรชัย รดาการ, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

....

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 15 **เดือน** พฤษภาคม **พ.ศ.** 2551

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การศึกษาการแผ่กระจายควันในบันไดที่ไม่ปิดล้อมของอาคารสำนักงานโดยโปรแกรมพลศาสตร์อัคคีภัย กรณีศึกษา อาคารสำนักงานสูง 21 ชั้นในจังหวัดสมุทรปราการ

A Study of Smoke Spread in Unconfined Staircase of Office Building by Fire Dynamics Simulator Case Study : The 21 Floors Office Building in Samutprakarn Province

โดย

นายบุญศักดิ์ ทรัพย์เชี่ยวชาญ

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย)
พ.ศ. 2551

บุญศักดิ์ ทรัพย์เชี่ยวชาญ 2551: การศึกษาการแผ่กระจายควันในบันไดที่ไม่ปิดล้อมของอาคารสำนักงาน โดยโปรแกรมพลศาสตร์อัคคีภัย กรณีศึกษา อาคารสำนักงานสูง 21 ชั้นในจังหวัดสมุทรปราการ ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย) สาขาวิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย โครงการสหวิทยาการระดับบัณฑิตศึกษา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: อาจารย์อภิชาต แจ้งบำรุง, Ph.D. 73 หน้า

งานวิจัยนี้ศึกษาการแผ่กระจายควันในบันไดหลักที่ไม่ปิดล้อมของอาคารสำนักงานแห่งหนึ่งในจังหวัดสมุทรปราการ โดยใช้โปรแกรมพลศาสตร์อัคคีภัย ที่มีชื่อเรียกว่า FDS (Fire Dynamics Simulator) ในการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหลเชิงตัวเลข (CFD) อาคารแห่งนี้เป็นอาคารสูง 21 ชั้น มีโดเมนในการคำนวณขนาดความกว้าง 12.1 เมตร ยาว 17 เมตร และ สูง 84 เมตร ซึ่งปกติจะมีผู้มาทำงานในอาคารแห่งนี้เป็นจำนวนมาก ให้สมมุติฐานว่าเกิดเพลิงไหม้ที่ห้องไฟฟ้าที่อยู่ในบันไดหลัก 2 สถานการณ์ เพื่อเปรียบเทียบผลกระทบ คือ กรณีเกิดเพลิงไหม้ที่ห้องไฟฟ้าชั้นใต้ดิน และ กรณีเกิดเพลิงไหม้ที่ห้องไฟฟ้าชั้นที่ 10 โดยในการคำนวณได้กำหนดขนาด กริด(Grid Size) ในเทอมของตัวแปรไร้หน่วย R* เท่ากับ 0.213 และ ค่าอัตราการปล่อยพลังงานความร้อน (Heat Release Rate) ขนาดเท่ากับ 2,300 กิโลวัตต์ ซึ่งได้จากการเผาไหม้ฉนวนของสายไฟฟ้า Polyethylene (Hietaniemi et al., 2004)โดยใช้เวลาในการจำลองทั้งหมด 600 วินาที ซึ่งเป็นระยะเวลาที่นานที่สุดของพฤติกรรมผู้ใช้อาคารแห่งนี้ในการเริ่มอพยพ

ผลการศึกษาพบว่ากรณีเพลิงไหม้ห้องไฟฟ้าชั้นใต้ดินไม่มีผลกระทบต่อผู้ทำงานในอาคาร ส่วนกรณีเกิดเพลิงไหม้ชั้นที่ 10 ควันจะสามารถลอยตัวได้ถึงชั้น 21 ซึ่งเป็นชั้นสำนักงานจึงเกิดผลกระทบต่อผู้ทำงานในอาคาร นอกจากนี้ยังพบว่าค่าความร้อนสูงสุดวัดได้ถึง 325 องศาเซลเซียลและมีก๊าซ คาร์บอนมอนอกไซน์สูงถึง 200 หนึ่งส่วนในล้านส่วน ส่วนเขม่าควันทำให้ระยะการมองเห็น (Visibility)มีค่าน้อยกว่า 1.5 เมตร (Jin, 1976) จึงเป็นอุปสรรคต่อการอพยพของผู้ทำงานในอาคาร และ พนักงานดับเพลิงกรณีใช้ลิฟต์ดับเพลิงด้วย ในขั้นการหาแนวทางในการลดความสูญเสียได้สร้างแบบจำลองติดตั้งระบบระบายอากาศขนาด 7 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ซึ่งสามารถควบคุมควันไม่ให้แผ่กระจายไปยังช่องบันได และ ทางเดินร่วมได้อย่างมีประสิทธิภาพซึ่งทำให้การอพยพผู้ทำงานในอาคารทำได้ดีขึ้น

______________________ ______________________ 01 / 05 / 2551

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Boonsak Subcheawchan: 2008: A Study of Smoke Spread in Unconfined Staircase of Office Building by Fire Dynamics Simulator Case Study : The 21 Floors Office Building in Samutprakarn Province. Master of Engineering (Fire Protection Engineering), Major Field: Fire Protection Engineering, Interdisciplinary Graduate Program. Thesis Advisor: Mr. Apichart Changbamrung, Ph.D. 73 pages.

This research studied the spreading of smoke in unconfined staircase of an office building at Samutparkarn province by FDS (Fire Dynamics Simulator) Version 4. It was used to determine the fire flow behavior. The office building was 21 floors, 12.1 meters width, 17 meters long, and 84 meters height. Many people have to use this building for working. Two situations of fire were set. Firstly, fire occurred in the electrical room at the basement of the building. Secondly, fire occurred in the electrical room at the 10^{th} floor. In calculation, the dimensionless mesh size (R *) was set to 0.213 was set in both situations. Heat release rate as 2,300 kW was used to be a source of fire because the insulation of electrical line was burn (Hietaniemi *et al.* 2004). The time when fire started to 600 seconds was simulated because it is the longest time for the last person in the building to start to evacuate.

In the case of fire in electrical room at the basement results show that, Smoke seems to have no effect to human who work in the office. But In the case of fire in electrical room at 10^{st} Floor, smoke can float up to the 21^{st} floor of the building. It means that smoke will be cause of danger on human life. Furthermore, The results show that the maximum temperature is 325 degree Celsius. Carbon monoxide is up to 200 ppm and the visibility distance is least than 1.5 meters that is an obstacle to escape (Jin, 1976) from fire and firefighters can work difficultly also. In order to control the smoke, the automatic smoke extraction system is suggested to install at the wall of all electrical rooms. After adding the automatic extraction fan with 7 cubic meter per second extraction volume flow rate in the building model, the results show that smoke is limited only in electrical room that it will increase the time to escape from the building when fire occurs.

01 / 05 / 2008

Student's signature | Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ดร.อภิชาต แจ้งบำรุง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาชี้แนะแนวทางการทำงานวิจัย และ ตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆใน วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอกราบขอบพระคุณ ดร.ณัฐศักดิ์ บุญมี ที่กรุณาตรวจแก้ไขข้อบกพร่อง และ ชี้แนะการทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ภรรยา น้อง และ พี่ๆ เพื่อนๆ ทุกท่านที่ให้กำลังใจสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงได้

บุญศักดิ์ ทรัพย์เชี่ยวชาญ

มีนาคม 2551

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	5
อุปกรณ์และวิธีการ	27
อุปกรณ์	27
วิธีการ	27
ผลและวิจารณ์	35
ผล	35
วิจารณ์	49
สรุปและข้อเสนอแนะ	50
สรุป	50
ข้อเสนอแนะ	50
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	52
ภาคผนวก	54
ภาคผนวก ก ขั้นตอนการเขียนโครงสร้างของอาคารสำนักงานสูง 21 ชั้น	55
ภาคผนวก ข ขั้นตอนการกำหนดขนาด และ ตำแหน่งของกองเพลิงในห้องไฟฟ้าชั้น 10	62
ภาคผนวก ค ขั้นตอนการกำหนดขนาด และ ตำแหน่งของกองเพลิงในห้องไฟฟ้าชั้นใต้ดิน	65
ภาคผนวก ง ขั้นตอนการกำหนดพัดลมระบายควัน(Smoke Exhaust Fan)	68
ภาคผนวก จ รายการคำนวณอัตราการระบายควันแบบควันไฟเกิดกลางโถง (Axisymmetric Plume)	71
ประวัติการศึกษา และ การทำงาน	73

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

ตารางที่		หน้า
1	อัตราการเผาไหม้สูงสุดต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ (Maximum burning flux)	7
2	สัมประสิทธิ์การลามไฟ (Growth Factor)	9
3	สัมประสิทธิ์การลามไฟตามลักษณะการใช้งาน	9
4	ผลิตภัณฑ์ของการเผาไหม้	18

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	กราฟแสดงอัตราการปล่อยพลังงานความร้อน	8
2	ลำควันสมมาตร (Axisymmetric plume)	11
3	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการคายความร้อนกับอุณหภูมิ และความเร็วของแก็สที่ตำแหน่งต่างๆ	12
4	ควันไฟเกิดกลางโถง (Axisymmetric Plume)	16
5	a) ภาพด้านหน้าของโพรงที่ใช้วางสายไฟฟ้าในการทดสอบ และ b) การติดตั้งสายไฟฟ้า 10 เส้นบนตะแกรง	20
6	a) ตำแหน่งของตัวเผาไหม้ใต้สายไฟฟ้า และ b) ภาพของตัวเผาไหม้ 8 นาทีหลังจากที่ตัวเผาไหม้ติดไฟ	21
7	กราฟแสดงการเปรียบเทียบอัตราการปล่อยพลังงานความร้อน	21
8	ขนาดกริด (Grid Size) ที่ใช้ในแบบจำลองโปรแกรม FDS	22
9	การเคลื่อนที่ของควันจากอาคารรับรองชั้นที่ 1 ไปยังชั้น 2 โดยโปรแกรม Smokeview 3.1	23
10	ตำแหน่งของการติดตั้งพัดลมระบายควัน (Smoke Exhaust Fan) 3 ชุด ที่ตำแหน่ง A, B และ C	23
11	การกระจ่ายตัวของอุณหภูมิในแนงดิ่งตามระเบียง	24
12	ภาพจำลองอูณหภูมิของลำควันในเวลา 24.1 วินาที, ขนาดกริด (Grid Size) เท่ากับ 0.164 และ อัตราการปลดปล่อยความร้อน (Heat Release Rate) เท่ากับ 1000 kW	26
13	แสดงแผนผังพื้นที่ภายในอาคารสำนักงานชั้นที่ 18	29
14	ลำดับขั้นการเขียนแบบจำลองสถานการณ์เพลิงไหม้โดยโปรแกรม PyroSim และ FDS	31
15	ชั้นลานจอดรถยนต์ในอาคารสำนักงานตัวอย่าง	32
16	ชั้นสำนักงานให้เช่าของอาคารสำนักงานตัวอย่าง	32
17	เส้นทางเดินไปยังบันไดหนีไฟของอาคารซึ่งระยะกว้างเพียง 1 เมตร	33
18	บันไดกลางซึ่งไม่ปิดล้อมอยู่บริเวณล๊อบปี้ลิฟต์ของอาคาร	33

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
19	ห้องไฟฟ้าที่เกิดเหตุเพลิงไหม้ภายในบันไดกลางที่ไม่ปิดล้อม	34
20	ทางเดินร่วมซึ่งเป็นบริเวณเดียวกันกับล๊อบบี้ลิฟต์ที่เป็นเส้นทางไปสู่บันไดหนีไฟ และ บันไดกลาง	34
21	แสดงตำแหน่งของกองเพลิงที่ห้องไฟฟ้าชั้นใต้ดิน	36
22	ภาพจำลองการเคลื่อนที่ของควันจากกองเพลิงที่ห้องไฟฟ้าชั้นใต้ดิน	37
23	แสดงตำแหน่งของกองเพลิงที่ห้องไฟฟ้าชั้น 10	38
24	ภาพจำลองการเคลื่อนที่ของควันจากกองเพลิงที่ห้องไฟฟ้าชั้น 10	39
25	ภาพจำลองการแผ่กระจายของอุณหภูมิในสถานการณ์เพลิงไหม้ห้องไฟฟ้าชั้นที่ 10	40
26	ภาพจำลองการแผ่กระจายของอุณหภูมิในสถานการณ์เพลิงไหม้ห้องไฟฟ้าชั้นที่ 10	41
27	ภาพจำลองก๊าซคาร์บอนมอนอกไซน์ในสถานการณ์เพลิงไหม้ห้องไฟฟ้าชั้นที่ 10	42
28	ภาพจำลองระยะการมองเห็น (Visibility) ในสถานการณ์เพลิงไหม้ห้องไฟฟ้าชั้นที่ 10	43
29	จำลองภาพเวคเตอร์แสดงทิศทางการไหลของอากาศในสถานการณ์เพลิงไหม้ห้องไฟฟ้าชั้นที่ 10	44
30	ภาพจำลองการติดตั้งระบบระบายควัน (Smoke Exhaust System) ทุกชั้น	45
31	ภาพจำลองการระบายควันของระบบระบายควัน (Smoke Exhaust System) ที่ชั้น 10	46
32	ภาพจำลองอุณหภูมิจากการระบายควันของระบบระบายควัน (Smoke Exhaust System) ที่ชั้น 10	47
33	ภาพจำลองก๊าซคาร์บอนมอนอกไซค์จากการระบายควันของระบบระบายควัน(Smoke Exhaust System) ที่ชั้น 10	48
34	ภาพจำลองระยะการมองเห็น (Visibility) จากการระบายควันของระบบระบายควัน (Smoke Exhaust System) ที่ชั้น 1	49

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่ **หน้า**

ก1	กำหนดตำแหน่ง และ ขนาดของกริด (Grid Size)	56
ก2	โดเมนการคำนวณ และ การสร้างกริดในการจำลองเพลิงไหม้	57
ก3	การเพิ่มประเภท และ กำหนดคุณสมบัติของวัสดุ	58
ก4	แสดงการสร้างผนังของอาคารสำนักงานโดยคำสั่งวิธีแบบกราฟฟิค(Graphic)	58
ก5	แสดงภาพหลังจากการกำหนดโครงสร้างของอาคารเรียบร้อยแล้ว	59
ก6	แสดงการกำหนดผลิตภัณฑ์จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงชนิด พอลิเอทธิลีน (Polyethylene)	59
ก7	อัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อน (Heat Release Rate, HRR) เท่ากับ 2,300 kW	60
ก8	กำหนดเวลาที่ใช้ในการคำนวณในแบบจำลอง ในเวลา 600 วินาที	60
ก9	แสดงการกำหนดระเบียบวิธีวิจัย LES (Large Eddy Simulation)	61
ข1	กำหนดคุณสมบัติของวัสดุเชื้อเพลิง Polyethylene	63
ข2	กำหนดขนาด และ ตำแหน่งของกองเพลิงเชื้อเพลิง Polyethylene	64
ข3	แสดงภาพตำแหน่งกองเพลิงที่ห้องไฟฟ้าชั้น 10 ในโปรแกรม PyroSim	64
ค1	กำหนดคุณสมบัติของวัสดุเชื้อเพลิง Polyethylene	66
ค2	กำหนดขนาด และ ตำแหน่งของกองเพลิงเชื้อเพลิง Polyethylene	67
ค3	แสดงภาพตำแหน่งกองเพลิงที่ห้องไฟฟ้าชั้นใต้ดินในโปรแกรม PyroSim	67
ง1	กำหนดความเร็วของพัดลมระบายควัน (Smoke Exhaust Fan)	69
ง2	กำหนดขนาด และ ตำแหน่งของช่องเปิด	70
ง3	แสดงภาพตำแหน่งช่องเปิดที่ห้องไฟฟ้าชั้น 10 ในโปรแกรม PyroSim	70

การศึกษาการแผ่กระจายควันในบันไดที่ไม่ปิดล้อมของอาคารสำนักงานโดยโปรแกรมพลศาสตร์อัคคีภัย กรณีศึกษา อาคารสำนักงานสูง 21 ชั้นในจังหวัดสมุทรปราการ

A Study of Smoke Spread in Unconfined Staircase of Office Building by Fire Dynamics Simulator Case Study : The 21 Floors Office Building in Samutprakarn Province

คำนำ

ปัจจุบันการใช้งานอาคารสูงมีความจำเป็นเพิ่มมากขึ้นอันเนื่องมาจากราคาของที่ดินที่สูงขึ้นทุกๆปี จึงมีความจำเป็นของผู้ประกอบการในการสร้างอาคารสูงเพื่อให้ใช้ที่ดินได้คุ้มค่ามากขึ้น การใช้งานอาคารสูงนอกจากจะต้องดูแลด้านวิศวกรรมโยธาอย่างดีแล้ว ผู้ประกอบการด้านอาคารสูงยังต้องให้ความสำคัญอย่างมากในด้านความปลอดภัยอันเนื่องมาจากอัคคีภัย ดังเห็นได้จากกรมโยธาธิการ กระทรวงมหาดไทย ได้ออกกฎกระทรวงมาดูแลอาคารสูงโดยเฉพาะ เพื่อให้การดูแลด้านความปลอดภัยมีสูงขึ้น ดังนั้นผู้ประกอบกิจการอาคารสูงที่ใช้งานในปัจจุบันรวมทั้งที่กำลังวางแผนก่อสร้างต้องมีการวางแผนที่เกี่ยวข้องกับการป้องกันอัคคีภัยและหามาตราการลดความสูญเสียอันเนื่องมาจากการเกิดอัคคีภัย ซึ่งการหามาตราการป้องกันและการลดความสูญเสียอันเนื่องมาจากอัคคีภัยของอาคารแต่ละแห่งนั้นจะต้องทำการศึกษาพฤติกรรมการเกิดไฟไหม้และพฤติกรรมของควันไฟก่อนเพื่อที่จะได้วางระบบการป้องกันและลดความสูญเสียให้น้อยลงอย่างมีประสิทธิภาพ การศึกษาพฤติกรรมดังกล่าวนั้นทำได้โดยใช้ความรู้ทางด้านการคำนวนพลศาสตร์เชิงตัวเลขของของไหล (CFD) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ยกกรณีศึกษาจากอาคารสำนักงานสูง 21ชั้นแห่งหนึ่งซึ่งเปิดบริการให้บริษัทเอกชนต่างๆเช่าเป็นสำนักงานตั้งแต่ชั้น 11 จนถึงชั้น 21 (ไม่มีชั้น 13) ส่วนชั้นอื่นๆเป็นลานจอดรถยนต์ อาคารนี้จัดให้มีระบบแจ้งเตือนอัคคีภัย, ระบบลิฟต์ดับเพลิง , บันไดหนีไฟ 1 บันได และ มีบันไดกลางที่ไม่ได้ปิดล้อมอีก 1 บันไดบริเวณโถงลิฟต์ ในการจัดสรรพื้นที่สำนักงานมีทั้งกรณีเช่าทั้งชั้น และ เช่าเพียงครึ่งชั้น การอพยพในบางชั้นจึงต้องอาศัยทางเดินร่วมที่ต้องผ่านโถงลิฟต์ และ กรณีพนักงานดับเพลิงใช้ลิฟต์ดับเพลิงก็ต้องเข้าออกผ่านทางเดินร่วมด้วยเช่นกัน

การลักษณะทางโครงสร้างและทางกายภาพของการใช้งานของอาคารนี้พบว่ามีห้องไฟฟ้าอยู่ใกล้บันไดกลางของทุกชั้น ซึ่งหากเกิดเพลิงไหม้จริงควันจะแผ่กระจายไปยังชั้นต่างๆได้อันจะเกิดอุปสรรคต่อการใช้ทางเดินร่วมของผู้อพยพหนีไฟและพนักงานดับเพลิงที่จะเข้ามาปฏิบัติหน้าที่ ด้วยเหตุนี้จึงจะต้องมีการศึกษาพฤติกรรมของควันที่แผ่กระจายในบันไดกลางว่ามีลักษณะแบบใดและมีผลกระทบต่อการอพยพอันเนื่องมาจากเพลิงไหม้อย่างไรบ้าง ซึ่งจากการทราบพฤติกรรมของควันจะช่วยให้วิศวกรสามารถออกแบบที่สามารถชลอหรือลดความสูญเสียอันเนื่องมาจากเพลิงไหม้ เช่นระบบระบายควันเพื่อควบคุมการแผ่กระจายตัวของควันได้อย่างถูกต้องและยังเป็นผลที่สามารถเป็นข้อมูลของเจ้าของหรือผู้บริหารอาคารจะได้มีแนวทางในการเตรียมอุปกรณ์เสริมที่เหมาะสมเพื่อลดความสูญเสียต่อชีวิตและทรัพย์สินที่ต่อไป

ในขั้นการสร้างแบบจำลองได้นำเอาโปรแกรม PyroSim (Thunder Head Engineering) มาใช้เป็นเครื่องมือในการเขียนคำสั่งต่างๆเพื่อสร้างแบบจำลอง เพราะ สามารถเขียนคำสั่งที่เป็นรูปแบบทางกราฟฟิค (Graphic Mode) ซึ่งสะดวกกว่าการเขียนอยู่ในรูปแบบของข้อความ (Text Mode) ในโปรแกรม FDS (Fire Dynamics Simulator)โดยตรงหลังจากสร้างแบบจำลองเสร็จเป็นที่เรียบร้อยก็จะบันทึกไฟล์ในรูปแบบของโปรแกรม FDS เพื่อให้โปรแกรม FDS คำนวณผลต่างๆของแบบจำลองและ สามารถแสดงภาพเสมือนจริงด้วย Smoke View ต่อไป

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาพฤติกรรมการแผ่กระจายตัวของควันไฟที่เกิดภายในบันไดที่ไม่ปิดล้อมของอาคารสำนักงานโดยใช้ โปรมแกรม FDS (Fire Dynamics Simulator) คำนวณตามระเบียบวิจัย LES (Large Eddy Simulation)

2. วิเคราะห์ผลการศึกษาพฤติกรรมการแผ่กระจายตัวของควันในสถานการณ์ต่างๆ เพื่อค้นหาสถานการณ์ที่รุนแรงที่สุด

3. เพื่อเสนอแนวทางการติดตั้ง และ ออกแบบระบบระบายควัน(Smoke Exhaust System) ได้อย่างเหมาะสมที่สุด

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถนำผลที่ได้จากการคำนวณโดยโปรแกรม FDS (Fire Dynamics Simulator) มาปรับปรุงแก้ไขให้อาคารสำนักงานแห่งนี้เกิดความปลอดภัยจากอัคคีภัยได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2. ส่งเสริมทักษะงานวิจัยด้านวิศวกรรมป้องกันอัคคีภัยเชิงประสิทธิผล (Performance Base) เพื่อเป็นแนวทางสู่การพัฒนาความปลอดภัยด้านอัคคีภัย

ขอบเขตของการวิจัย

1. เขียนโปรแกรม FDS (Fire Dynamics Simulator) โดยกำหนดสถานการณ์จำลองการเกิดเหตุเพลิงไหม้สายไฟฟ้าในห้องไฟฟ้าของบันไดกลางของอาคารสำนักงาน

2. สมมุติสถานการณ์เหตุเพลิงไหม้ 2 สถานการณ์ คือ เกิดเหตุเพลิงไหม้ที่ห้องไฟฟ้าชั้นที่ 10 และ ชั้นใต้ดินที่อยู่ภายในบันไดกลาง

3. วิเคราะห์ผลระดับความรุนแรงจากควันไฟ และ ความร้อนของทั้ง 2 สถานการณ์ที่ได้จากการคำนวณของโปรแกรมFDS (Fire Dynamics Simulation)

4. นำผลการวิเคราะห์แนะนำออกแบบการติดตั้งระบบระบายควัน (Smoke Exhaust System) เพื่อความควบคุมการแผ่กระจายตัวของควันในช่องบันได และ ทางเดินร่วม

การตรวจเอกสาร

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1. แบบจำลองเพลิงไหม้พลศาสตร์ของไหลเชิคำนวณโดยโปรแกรม FDS (Fire Dynamics Simulator)

National Institute of Standards and Technology หรือ NIST ได้พัฒนาโปรแกรมพลศาสตร์ของไหลเหลวเชิงคำนวณ(Computational Fluid Dynamics ,CFD) ตามมาตรฐาน ASTM E 1355 ขึ้นเพื่อจำลองการไหลของเพลิง ซึ่งถูกเรียกชื่อว่าโปรแกรม FDS (Fire Dynamics Simulator) โดยปัจจุบันพัฒนาเป็น รุ่นที่ 4

1.1 แบบจำลองการเคลื่อนที่ของของไหล (Hydrodynamic Model)

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

สมการอนุรักษ์มวล (Conservation of Mass)

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

สมการอนุรักษ์โมเมนตัม (Conservation of Momentum)

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

สมการอนุรักษ์พลังงาน (Conservation of Energy)

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

สมการอนุรักษ์สปีซีส์ (Conservation of Species)

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho Yi) + \nabla \cdot \rho Yiu = \nabla \cdot \rho Di \nabla Yi + \dot{m}i''' \qquad (4)$$

1.2 แบบจำลองการไหลสภาวะแบบปั่นป่วน (Turbulent Model)

การไหลของของไหลในเหตุอัคคีภัยจะเป็นการไหลแบบปั่นป่วน ซึ่งโปรแกรม FDS ใช้ระเบียบวิจัย Large Eddy Simulation (LES) โดยใช้ Subgrid scale model ของ Smagorinsky

1.3 แบบจำลองการเผาไหม้ (Combustion Model)

โปรแกรม FDS (Fire Dynamics Simulator) มีข้อจำกัดจำลองพฤติกรรมการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง และ อากาศ จึงสมมุติฐานว่าอัตราการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงกับอากาศถูกควบคุมโดยอัตราการที่เชื้อเพลิงกับอากาศเข้าผสมกัน (mixing controlled) ทันทีที่เชื้อเพลิงกับอากาศเข้าผสมกันเชื้อเพลิงจะทำปฏิกิริยากับอากาศอย่างรวดเร็ว (infinitely fast chemical reaction) ได้แก๊สผลิตภัณฑ์การเผาไหม้ที่เกิดจากการเผาไหม้สมบูรณ์

2. อัตราการปล่อยพลังงานความร้อน (Heat Release Rate)

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

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

$\dot{Q}$ = อัตราการปล่อยพลังงานความร้อน, kW

$\dot{m}''f$ = อัตราการเผาไหม้ต่อพื้นที่สูงสุด, g / m^2-s

χ = ประสิทธิภาพการเผาไหม้

ΔH_C = ความร้อนจริงของการเผาไหม้, kJ / g

A = พื้นที่หน้าตัดเชื้อเพลิง, m^2

ในการคำนวณหาอัตราการปล่อยพลังงานความร้อน (Heat Release Rate) ที่ถูกต้องดังสมการที่ (5) นั้น ต้องอาศัยข้อมูลจากห้องทดลองของนักวิจัยต่างๆ โดยงานวิจัยของ Tawarson (1995) ได้ทดลองเผาวัสดุเชื้อเพลิงชนิดต่างๆเพื่อเก็บข้อมูลของค่าอัตราการเผาไหม้สูงสุดต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ (Maximum burning flux) ดังแสดงในตารางที่ 1 ส่วนค่าความร้อนของการเผาไหม้ทางทฤษฎี (Ideal heat of combustion) และ ค่าความร้อนของการเผาไหม้จริง (Actual heat of combustion) นั้นแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 1 อัตราการเผาไหม้สูงสุดต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ (Maximum burning flux)

เชื้อเพลิง	ฟลักซ์การเผาไหม้สูงสุด $\dot{m}''f$ (g/m^2.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) โดยตรงนั้นใช้กับการเผาไหม้แบบคงที่ (Steady State) แต่ในเหตุอัคคีภัยที่เกิดขึ้นจริงนั้น อัตราการปล่อยพลังงานความร้อน (Heat Release Rate) ของเชื้อเพลิงจะแปรเปลี่ยนตามเวลา (Time Dependent Fires) ซึ่ง Evan (1995) ได้ศึกษาวิจัยการแปรเปลี่ยนนี้ โดยเขียนสมการซึ่งเรียกว่า " t – squared" ได้ ดังนี้

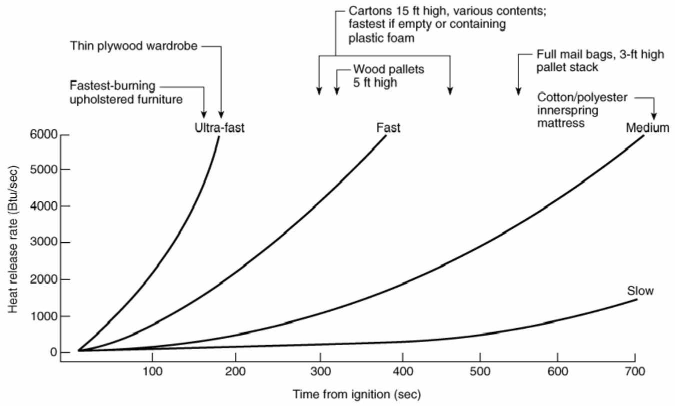
$$\dot{Q} = \alpha \cdot t^2 \qquad (6)$$

$\dot{Q}$ = ค่าพิกัดการคายความร้อน, kW

t = เวลา, sec

α = ค่าสัมประสิทธิ์การล่ามไป (Growth factor) ของเชื้อเพลิงแต่ละประเภท, $\mathrm{kW/sec^2}$

NFPA 204 (2002) ได้แนะนำค่าสัมประสิทธิ์การล่ามไฟ (Growth factor)โดยแบ่งประเภทการพัฒนาของเชื้อเพลิงเป็น 4 ขั้นคือ 1. รวดเร็วมาก (Ultra-fast) 2. รวดเร็ว (Fast) 3.ปานกลาง (Medium) และ 4.ช้า (Slow) ซึ่งให้ค่าสัมประสิทธิ์การล่ามไฟที่แตกต่างกันตามตารางที่ 2 โดยทำการทดลองที่อัตราการปล่อยพลังงานความร้อน (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)

ตารางที่ 2 สัมประสิทธิ์การลามไฟ (Growth Factor)

อัตราการลามไฟ	α (kW/s^2)	T $_{1055}$ (s)
รวดเร็วมาก (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) นั้นต้องเลือกค่าสัมประสิทธิ์การล่ามไฟ (Growth factor) ที่เหมาะสม Karlsson และ Quitiere (1999) ได้ทำการวิจัยเพื่อแยกประเภทสถานที่ต่างๆที่เหมาะสมกับค่าสัมประสิทธิ์การล่ามไฟ (Growth factor) โดยแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 สัมประสิทธิ์การลามไฟตามลักษณะการใช้งาน

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

ที่มา : Karlsson and Quintiere (1999)

นอกจากนี้การออกแบบระบบควบคุมควันในโถงสูง หรือ พื้นที่ขนาดใหญ่นั้น มาตรฐาน NFPA 92B (2002) ยังได้แนะนำขนาดของไฟที่เล็กที่สุดในการออกแบบระบบควบคุมควันไม่ควรต่ำกว่า 1,055 kW หรือ1,000 btu/s และ ควรควบคุมระดับควันให้อยู่ในระดับที่ไม่ต่ำกว่า 3 เมตรเหนือทางเดินใดๆที่อยู่ในโซนที่เกิดควันอีกด้วย

3. ทฤษฎีการเคลื่อนที่ของควัน (Smoke Movement)

ควันจะเคลื่อนที่ในแนวดิ่งด้วยแรงลอยตัว (Buoyancy Force) และ เมื่อควันลอยขึ้นไปถึงเพดานก็จะเปลี่ยนทิศทางการไหลของควันไปตามแนวระนาบเดียวกับเพดาน ซึ่งเรียกว่า ควันไหลใต้เพดาน (Ceiling jet) พฤติกรรมการเคลื่อนที่ของควันในลักษณะนี้จะมีผลกระทบต่อผู้อาศัยภายในอาคารหากกลุ่มควันแผ่กระจายไปถึงส่วนพื้นที่ผู้อาศัย

McCaffrey (1995) ได้ศึกษาพฤติกรรมของลำควันแบบสมมาตร (axisymmetric plume) ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าสามารถเพื่อแบ่งช่วงของลำควันสมมาตรตามระดับความสูงต่างๆของลำควันได้ 3 ช่วงแสดงดังภาพที่ 2 และ ณัฐศักดิ์ (2549) ได้อธิบายความหมายของลำควันแต่ละช่วงได้อย่างน่าสนใจ นอกจากนี้ McCaffrey (1995) ยังได้เสนอสมการเพื่อประมาณการความเร็ว และ อุณหภูมิของลำควันในแต่ละช่วงไว้ดังนี้

1. ช่วงเปลวไฟต่อเนื่อง (Continuous flame) คือ ช่วงความสูงซึ่งวัดจากผิวหน้าของกองเพลิงจนถึงระดับสูงสุดที่มีเปลวไฟปรากฏอยู่อย่างต่อเนื่องตลอดเวลา เนื่องจากช่วงนี้เป็นเป็นช่วงที่เชื้อเพลิง และ อากาศเกิดการเผาไหม้ อุณหภูมิของลำควันในช่วงนี้จึงมีค่าสูง ซึ่งโดยประมาณการจะเท่ากับอุณหภูมิของเปลวไฟนั่นเอง ซึ่งเมื่อ $\frac{z}{\dot{Q}^{2/5}} < 0.08$ สามารถคำนวณความเร็ว และ อุณหภูมิได้ดังนี้

$$u_0 = 6.8 z^{1/2} \tag{7}$$

$$\Delta T_0 = 2.91 T_\infty \tag{8}$$

2. ช่วงเปลวไฟบางส่วน (Intermittent flame) คือ ช่วงความสูงที่การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงกับอากาศเกือบจะสมบูรณ์แล้วทำให้มองเห็นเปลวไฟปรากฏอยู่เพียงบางส่วนบางช่วงเวลาไม่ต่อเนื่อง ความเร็วการไหลแนวดิ่งของลำควันจะมีค่าค่อนข้างคงที่ ซึ่งเมื่อ $0.08 < \frac{z}{\dot{Q}^{2/5}} < 0.2$ สามารถคำนวณความเร็ว และ อุณหภูมิได้ดังนี้

$$u_0 = 1.9 \dot{Q}^{1/5} \tag{9}$$

$$\Delta T_0 = 0.227\left(\frac{\dot{Q}^{2/5}}{z}\right)T_\infty \qquad (10)$$

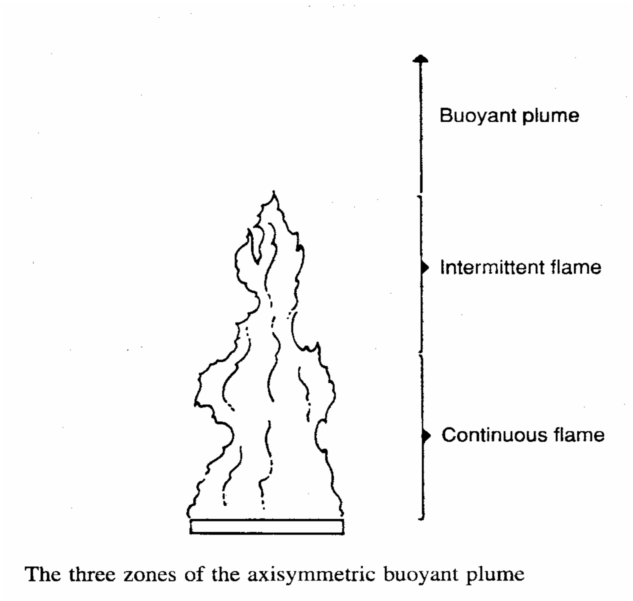
3. ช่วงพลูม (Buoyant Plume) คือ เป็นช่วงที่การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเสร็จสมบูรณ์แล้ว ดังนั้นในช่วงนี้จะประกอบไปด้วยควันร้อนและอากาศซึ่งไหลเติมจากบรรยายกาศดดยรอบเท่านั้นความร้อน และ อุณหภูมิของลำควันในช่วงนี้จะแปรผกผันกับความสูงเนื่องจากมีอากาศซึ่งเย็นกว่าโดยรอบไหลเข้ามาผสมเจือจางทำให้ควันเย็นลง ซึ่งเมื่อ $\frac{z}{\dot{Q}^{2/5}} > 0.2$ สามารถคำนวณความเร็ว และ อุณหภูมิได้ดังนี้

$$u_0 = 1.1z^{-1/3}\dot{Q}^{1/3} \qquad (11)$$

$$\Delta T_0 = 0.076T_\infty\left(\frac{\dot{Q}^{2/5}}{z}\right)^{5/3} \qquad (12)$$

u_0 = ความเร็ว, m/s

ΔT_0 = อุณหภูมิ, $^\circ$C

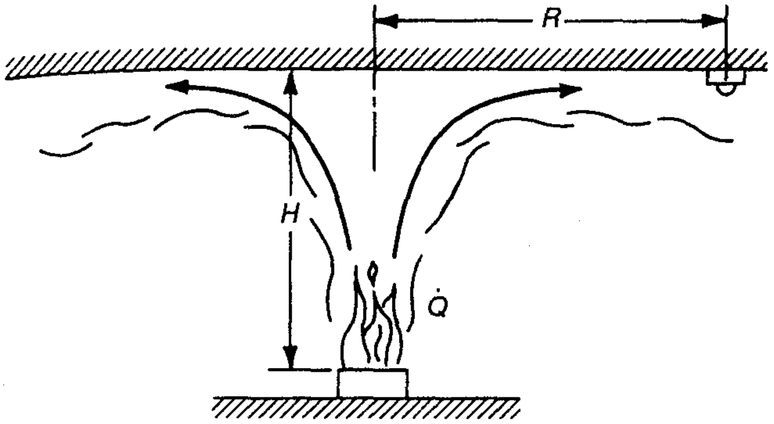


ภาพที่ 2 ลำควันสมมาตร (Axisymmetric plume)

ที่มา : McCaffrey (1995)

การเคลื่อนที่ของควันนั้นไม่เพียงแต่เคลื่อนที่ในแนวดิ่งเท่านั้น แต่เมื่อควันลอยตัวไปถึงเพดานใดๆ ลำควันก็จะเริ่มเปลี่ยนทิศทางไปตามแนวระนาบเดียวดับเพดาน การเคลื่อนที่ลักษณะนี้เอง ที่เป็นการแผ่กระจายของควันเข้าสู่พื้นที่ผู้อาศัยต่างๆ

Alpert (1975) ซึ่งได้ทำการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการคายความร้อนกับอุณหภูมิ และความเร็วของแก็สที่ตำแหน่งต่างๆ โดยตั้งสมมติฐานว่า ค่าอัตราการปล่อยพลังงานความร้อน (Heat Release Rate) มีค่าคงที่ และระยะของอุปกรณ์ที่เพดานในห้องเรียบเปลี่ยนแปลง ดังแสดงในภาพที่ 3 จากการทดลองจึงได้สมการต่างๆ ที่มีความสัมพันธ์กัน



ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการคายความร้อนกับอุณหภูมิ และความเร็วของแก็สที่ตำแหน่งต่างๆ

ที่มา : Evan (1995)

$$T_g - T_a = 5.38\frac{\left(\frac{\dot{Q}}{r}\right)^{\frac{2}{3}}}{H} \qquad : \frac{r}{H} > 0.18 \qquad (13)$$

$$T_g - T_a = \frac{16.9\dot{Q}^{\frac{2}{3}}}{H^{\frac{5}{3}}} \qquad : \frac{r}{H} \le 0.18 \qquad (14)$$

T_a = อุณหภูมิแวดล้อม, $^\circ$C

$\dot{Q}$	=	ค่าอัตราการปล่อยพลังงานความร้อนรวม, kW
r	=	ระยะทางจากกึ่งกลางของ Fire Plume ถึงตำแหน่งที่ต้องการคำนวณ, m
H	=	ความสูงของเพดานเหนือกองเพลิง, m

พิชญะ (2547) กล่าวว่าสมการที่ (13) เป็นสมการเพื่อหาค่าอุณหภูมิของแก๊สที่ตำแหน่งต่างๆ ที่ห่างออกไปจากกึ่งกลางของ Fire Plume หรือกล่าวได้ว่าเป็นการคำนวณเพื่อหาอุณหภูมิของแก๊สใน Ceiling Jet $(\frac{r}{H} > 0.18)$ ส่วนสมการที่ (14) จะไม่มีค่าตัวแปร r ปรากฏในสมการจะเป็นสมการเพื่อหาค่าอุณหภูมิของแก๊สภายใน Fire Plume $(\frac{r}{H} \leq 0.18)$ หรือระยะจากกึ่งกลางของ Fire Plume ถึงจุดเปลี่ยนหรือวกกลับ (Turning Point)

$$U = \frac{0.195\dot{Q}^{1/3} H^{1/2}}{r^{5/6}} \qquad : \frac{r}{H} > 0.15 \qquad (15)$$

$$U = 0.96\left(\frac{\dot{Q}}{H}\right)^{1/3} \qquad : \frac{r}{H} \leq 0.15 \qquad (16)$$

U	=	ความเร็วของแก๊ส, m/sec

4. อัตราการกำเนิดควัน (Rate of Smoke generation)

NFPA 92B (2002) ได้แนะนำการคำนวณหาอัตราการกำเนิดควัน (Rate of Smoke generation) ที่มีตำแหน่งของกองเพลิงที่แตกต่างกัน เนื่องมาจากตำแหน่งของกองเพลิงจะจำกัดปริมาณอากาศที่เหนี่ยวนำเข้ามายังกองเพลิงซึ่งสามารถแบ่งออกได้ 5 ตำแหน่ง คือ

1. ควันไฟเกิดกลางโถง (Axisymmetric Plume) ต้นเพลิงอยู่กลางพื้นที่จะแผ่รังสีความร้อนออกทุกทิศทาง และ ดึงอากาศข้างเคียงเข้าทุกทิศทางเช่นกัน โดย $E_c = 0.7E$ และ $Z_1 = 0.533E_c^{2/5}$ ดังนั้นอัตราการเกิดควันคำนวณได้ดังนี้

$$m = 0.0208{E_c}^{3/5}Z \qquad : Z < Z_1 \qquad (17)$$

$$m = 0.011E_c \qquad : Z = Z_1 \qquad (18)$$

$$m = 0.022{E_c}^{1/3}Z^{5/3} + 0.0042E_c \qquad : Z > Z_1 \qquad (19)$$

m = อัตราการกำเนิดควัน, lb/s

E_c = ความร้อนจากการพา, btu/s

E = อัตราการปล่อยความร้อน, btu/s

Z = ความสูงของระดับควัน, ft

Z_1 = ความสูงจำกัดของไฟ, ft

2. ควันไฟเกิดที่ผนัง (Wall Plume) ต้นเพลิงนี้จะให้พลังงานความร้อนเป็นสองเท่าของต้นเพลิงกลางพื้นที่ และ ดึงอากาศข้างเคียงเข้ามาได้ครึ่งหนึ่งของต้นเพลิงอยู่กลางห้อง โดย $E_c = 1.4E$ และ $Z_1 = 0.533{E_c}^{2/5}$ ดังนั้นอัตราการเกิดควันคำนวณได้ดังนี้

$$m = 0.0104{E_c}^{3/5}Z \qquad : Z < Z_1 \qquad (20)$$

$$m = 0.0055E_c \qquad : Z = Z_1 \qquad (21)$$

$$m = 0.011{E_c}^{1/3}Z^{5/3} + 0.0021E_c \qquad : Z > Z_1 \qquad (22)$$

3. ควันไฟเกิดที่มุมห้อง (Corner Plume) ต้นเพลิงจะให้ความร้อนเป็นสี่เท่าของต้นเพลิงอยู่กลางพื้นที่ และ ดึงอากาศข้างเคียงเข้ามาได้หนึ่งในสี่ของต้นเพลิงอยู่กลางพื้นที่ โดย $E_c = 2.8E$ และ $Z_1 = 0.533{E_c}^{2/5}$ ดังนั้นอัตราการเกิดควันคำนวณได้ดังนี้

$$m = 0.0052{E_c}^{3/5}Z \qquad : Z < Z_1 \qquad (23)$$

$$m = 0.00275E_c \qquad : Z = Z_1 \qquad (24)$$

$$m = 0.0055{E_c}^{1/3}Z^{5/3} + 0.00105E_c \qquad : Z > Z_1 \qquad (25)$$

4. ควันไฟเกิดที่ใต้ระเบียงหรือใต้ทางเดินรอบช่องโล่ง (Balcony Plume) ลักษณะแบบกองเพลิงใต้ชานระเบียงโดยเมื่อเกิดควันสะสมมากขึ้นควันจะม้วนตัวออกมายังภายนอก ซึ่งคำนวณอัตราการเกิดควันได้ดังนี้

$$m = 0.124(E\ W^2)^{1/3}(Z_b + 0.3H)[1 + 0.063(Z_b + 0.6H)/W]^{3/2} \quad (26)$$

Z_b = Smoke height เหนือระดับระเบียง, ft
W = ความกว้างควันที่ม้วนตัวไปตามชาน, ft
H = ระยะจากไฟถึงขอบบนของชาน, ft

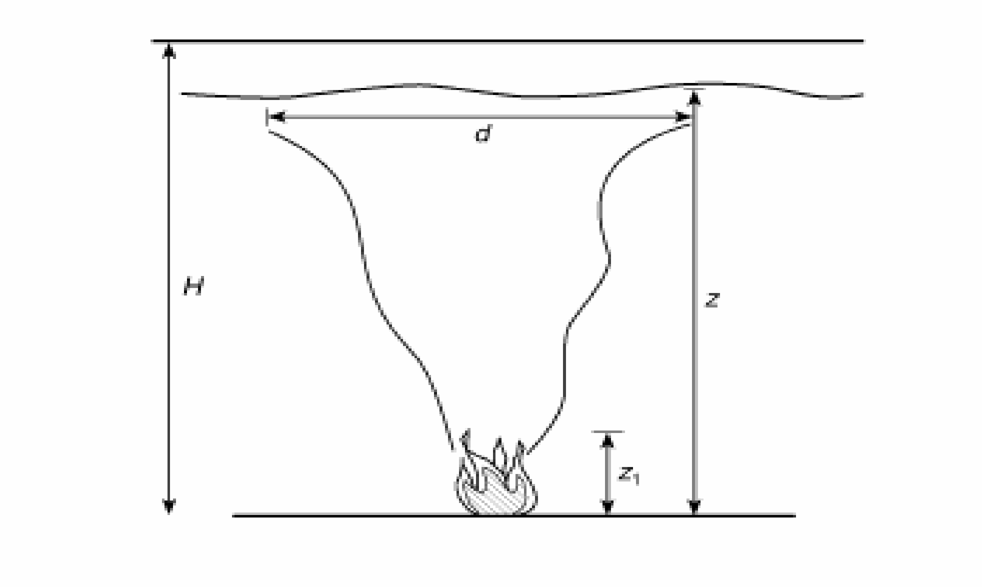
5. ควันไฟจากหน้าต่าง หรือ ช่องเปิดบนผนัง (Window Plume)
โดย $E_c = 61.2A_w H_w^{1/2}$, $E_c = 0.7E$ และ $a = 2.4A_w^{2/5} H_w^{1/5} - 2.1H_w$ ซึ่งคำนวณอัตราการเกิดควันได้ดังนี้

$$m = 0.022E_c^{1/3}(Z_w + a)^{5/3} + 0.0042E_c \quad (27)$$

A_w = พื้นที่ช่องเปิด, ft^2
H_w = ความสูงช่องเปิด, ft
Z_w = Smoke height เหนือขอบช่องเปิด, ft
a = Characteristic height, ft

จากการคำนวณในอัตราการปล่อยพลังงานความร้อน(Heat Release Rate) ที่ค่า 1,055 kW พบว่า อัตราการกำเนิดควัน(Rate of Smoke generation) มากที่สุด คือ ควันไฟเกิดที่ใต้ระเบียงหรือใต้ทางเดินรอบช่องโล่ง (Balcony Plume) รองลงมาคือ ควันไฟเกิดกลางโถง (Axisymmetric Plume) และ ควันไฟจากหน้าต่าง หรือ ช่องเปิดบนผนัง (Window Plume) และ รองลงมา คือ ควันไฟเกิดที่ผนัง (Wall Plume) และ ควันไฟเกิดที่มุมห้อง (Corner Plume)

ในงานวิจัยนี้ได้ให้สมมุติฐานว่าควันไฟเกิดกลางโถง (Axisymmetric Plume) ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด และ มีอัตราการกำเนิดควัน (Rate of Smoke generation) มากเพียงพอต่องานวิจัยนี้ แสดงดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ควันที่เกิดกลางห้อง (Axisymmetric Plume)

ที่มา : NFPA 92B

5. ทฤษฎีของก๊าซผลิตภัณฑ์จากการเผาไหม้ (Product of Combustion)

เชื้อเพลิงของแข็ง(Combustible Solids) ส่วนใหญ่มีโครงสร้างประกอบด้วยธาตุประกอบไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon) เมื่อเกิดการเผาไหม้ระหว่างเชื้อเพลิง กับ อากาศ แบบเผาไหม้สมบูรณ์ (Stoichiometric) จะทำให้ได้ก๊าซผลิตภัณฑ์จากการเผาไหม้ (Product of Combustion) คือ ก๊าซคาร์บอนไดอ๊อกไซน์ และ น้ำ เท่านั้นดังสมการที่ (28) นี้

$$C_xH_y + v_0O_2 \Rightarrow v_1CO_2 + v_2H_2O \qquad (28)$$

ในงานวิจัยนี้เชื้อเพลิงเป็นชนิดพอลิเอทธิลีน (Polyethylene) ซึ่งมีสูตรทางเคมีคือ C_2H_4 เมื่อถูกเผาไหม้แบบสมบูรณ์ (Stoichiometric) จะได้ผลิตภัณฑ์ (Product of Combustion) โดยการสมดุลสมการเคมี ดังนี้

$$C_2H_4 + 3O_2 \Rightarrow 2CO_2 + 2H_2O \qquad (29)$$

แต่ในเหตุอัคคีภัยจริงนั้นการเผาไหม้มักจะเป็นการเผาไหม้แบบไม่สมบูรณ์ (Incomplete of Combustion) จึงทำให้เกิดก๊าซผลิตภัณฑ์จากการเผาไหม้ (Product of Combustion) ซึ่งเป็นก๊าซ

พิษ คือ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซน์, ก๊าซคาร์บอนไดอ๊อกไซน์, หมอกน้ำ, เขม่าและ ละอองของเชื้อเพลิงที่ไม่ถูกเผาไหม้ดังแสดงในสมการที่ (30)

$$C_xH_yO_z + O_2 \Rightarrow CO_2, CO, H_2O, H_2, Soot, CH \qquad (30)$$

จากข้อมูลทางวัสดุ MSDS (Material Safety Data Sheet) ของเชื้อเพลิงชนิดพอลิเอทธิลีน (Polyethylene) ซึ่งมีสูตรทางเคมีคือ C_2H_4 ซึ่งอยู่ในกลุ่ม Aliphatic Carbon-Hydrogen Atoms เมื่อถูกเผาไหม้จะได้ผลิตภัณฑ์ (Product of Combustion) คือ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซน์, ก๊าซคาร์บอนไดอ๊อกไซน์, หมอกน้ำ, และ ละอองของเชื้อเพลิงที่ไม่ถูกเผาไหม้ โดยปริมาตรของแต่ละก๊าซผลิตภัณฑ์จะได้จากการทดลองโดยนักวิจัย

Tewarson (1995) ได้ทดลองเผาเชื้อเพลิงหลากหลายชนิด เพื่อเก็บข้อมูลของก๊าซผลิตภัณฑ์จากการเผาไหม้ (Product of Combustion) โดยแสดงเป็นอัตราส่วนของมวลควัน (คาร์บอน+อากาศ) และมวลสารที่ผลิตออกมาต่อมวลเชื้อเพลิงที่ลุกไหม้ (Mass Burning Rate หรือ Smoke or Species Yield)

$$yi \equiv \frac{m_i}{m_f} \qquad (31)$$

m_i = มวลสารที่ผลิตออก, kg

m_f = มวลเชื้อเพลิงที่ลุกไหม้, kg

ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4 จึงทราบว่าการเผาเชื้อเพลิงพอลิเอทธิลีน (Polyethylene) จะให้ได้ค่าต่างๆดังนี้ Heat of Combustion, Δh_c เท่ากับ 43.6 kJ/g, Heat of Combustion per mass of O_2 , Δh_{o2} เท่ากับ 12.8 kJ/g, Yields of CO เท่ากับ 0.024 และ Yields of Soot เท่ากับ 0.06 ซึ่งค่าเหล่านี้จะถูกนำไปใส่ไว้เพื่อตั้งค่าพารามิเตอร์ของเชื้อเพลิงในโปรแกรม FDS เพื่อคำนวณเพื่อหาความเข้มข้นของเขม่าควัน และ ความเข้มข้นของก๊าซพิษต่างๆที่เกิดขึ้นในสถานการณ์จำลองเหตุอัคคีภัย

ตารางที่ 4 ผลิตภัณฑ์ของการเผาไหม้ (Products of combustion in fire with sufficient air)

Substance	Formula	Heat of combustion Δh_c Ideal (kJ/g fuel burned)	Heat of combustion Δh_c Actual (kJ/g mass loss)	Actual yields (g products/g mass lost) CO2	CO	Soot	Other CH
Methane (g)	CH_4	50.1	49.6	2.72	-	-	-
Propane (g)	C_3H_8	46.0	43.7	2.85	0.005	0.024	0.003
Butane (g)	C_4H_{10}	45.4	42.6	2.85	0.007	0.029	0.003
Methanol (l)	CH_4O	20.0	19.1	1.31	0.001	-	-
Ethanol (l)	C_2H_6O	27.7	25.6	1.77	0.001	0.008	0.001
n-Heptane (l)	C_7H_{16}	44.6	41.2	2.85	0.010	0.037	0.004
Benzene (g)	C_6H_6	40.2	27.6	2.33	0.067	0.181	0.018
Wood (red oak)	$CH_{1.7}O_{0.72}$	17.1	12.4	1.27	0.004	0.015	0.001
Nylon	$(C_6H_{11}NO)_n$	30.8	27.1	2.06	0.038	0.075	0.016
PMMA	$(C_5H_8O_2)_n$	25.2	24.2	2.12	0.010	0.022	0.001
Polyethylene, PE	$(C_2H_4)_n$	43.6	30.8	2.76	0.024	0.060	0.007
Polypropylene, PS	$(C_3H_6)_n$	43.4	38.6	2.79	0.024	0.059	0.006
Polystyrene, PS	$(C_8H_8)_n$	39.2	27.0	2.33	0.060	0.164	0.014

ที่มา: Tawarson (1995)

ก๊าซพิษ (Toxic gases) ที่ได้จากการเผาไหม้นั้นขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุเชื้อเพลิงนั้นตามที่กล่าวมาแล้ว แต่จะมีผลต่อร่างกายมนุษย์มากน้อยเพียงใดนั้นขึ้นอยู่กับระดับความเข้มข้น ที่ได้รับ จึงมีหน่วยงานมาตรฐานหลายองค์ทั้งใน และ นอกประเทศได้กำหนดระดับความเข้มข้นเพื่อเป็นดัชนีบ่งชี้ถึงระดับความอันตรายที่มีผลต่อมนุษย์

TLV (the threshold limit values) ของ ประเทศสหรัฐอเมริกาได้กำหนดดัชนีชี้วัดระดับความเข้มข้นของก๊าซพิษที่เป็นอันตรายต่อผู้ทำงานในเวลาทำงานปกติ 8 ชั่วโมงต่อวัน หรือ 40 ชั่วโมงต่อสัปดาห์ โดยได้กำหนดว่า หากสูดดมก๊าซคาร์บอนมอนอกไซน์ที่มีความเข้มข้นเกินกว่า

50 ppm ก็จะมีผลกระทบต่อสุขภาพ แต่หากได้รับความเข้มข้นถึง 1,500 – 2,000 เพียง 1 ชั่วโมง จะมีความอันตรายถึงชีวิตได้

มาตรฐานความปลอดภัยตามประกาศกระทรวงมหาดไทย, ปว.103 กำหนดให้ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซน์ไม่เกิน 50 ppm แต่หากพบว่าในบรรยากาศการทำงานมีความเข้มข้นมากกว่า 35 ppm ควรใช้หน้ากากป้องกันการหายใจแบบครอบเต็มหน้าชนิดที่มีท่อส่งอากาศและถ้าในบรรยากาศการทำงานมีความเข้มข้นมากกว่า 1,500 ppm จะมีอันตรายถึงชีวิตได้หากไม่ใช้อุปกรณ์ป้องกันการหายใจ

The Fire Engineering Design Guide (A.H. Buchanan, 1994) ในประเทศนิวซีแลนด์ก็กำหนดระดับความเข้มข้นของก๊าซพิษ (Toxicity) ที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ และ ควันที่อุปสรรคต่อการอพยพ คือ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซน์ไม่เกิน 1,400 ppm

6. ความสามารถในการมองเห็นลดลงเนื่องจากควัน (Visibility Reduction Smoke)

ควันไฟนอกจากจะมีเป็นก๊าซพิษ(Toxic gases) แล้วเขม่าของควันยังทำให้ความสามารถในการมองเห็นลดลงซึ่งจะทำให้เวลาที่ใช้ในการอพยพมากขึ้นซึ่งเป็นผลร้ายต่อชีวิต ระยะการมองเห็น (Visibility) นั้นขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย คือ ขนาดและสีของอนุภาคควัน, การระคายเคืองตาที่เกิดจากควัน, การแผ่กระจาย และ การดูดซับของควัน รวมถึงความสว่างของพื้นที่นั้นด้วย นักวิจัยหลายท่านจึงได้ทำการทดลองเพื่อหาระยะการมองเห็น (Visibility) ต่ำที่สุดซึ่งผู้อพยพยังสามารถอพยพได้อย่างปลอดภัย

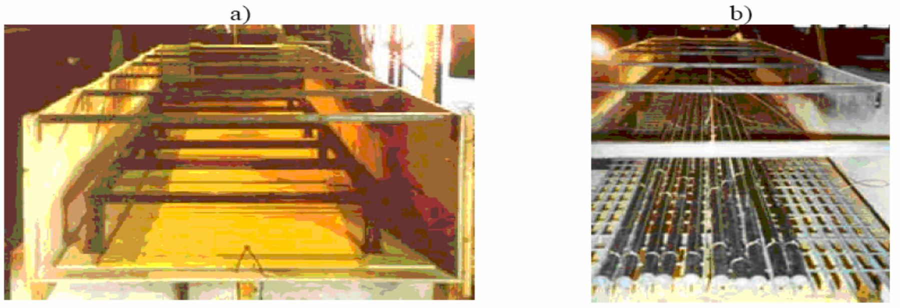
Jin (1976) ได้ทำการศึกษาถึงระยะการมองเห็น (Visibility) ที่เหมาะสมในเหตุอัคคีภัย โดยได้แบ่งกลุ่มคนออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มผู้ที่ไม่คุ้นเคยกับอาคารสถานที่นั้นควรมีระยะที่สามารถมองเห็น (Visibility) ได้ตั้งแต่ 15 ถึง 20 เมตรจึงจะถือว่าปลอดภัยต่อการอพยพ ส่วนสำหรับผู้คุ้นเคย หรือ ผู้ทำงานในอาคารนั้นเป็นประจำจะมีระยะที่สามารถมองเห็น (Visibility)ได้ต่ำลง ตั้งแต่ 3 ถึง 5 เมตรก็น่าจะเพียงพอแล้ว ในการทดลองนี้เหมาะสมสำหรับอาคารสูงซึ่งมีผู้คนมาติดต่อประสานงานอยู่เป็นประจำ

งานวิจัยต่างๆที่กล่าวมานี้เป็นความพยายามของนักวิจัยที่จะอธิบายพฤติกรรม ความสัมพันธ์ทางสมการคณิตศาสตร์ของควันไฟ และ คุณสมบัติเชื้อเพลิงที่ได้จากห้องทดลอง เพื่อเป็นหลักการในงานวิเคราะห์ปัญหาด้านอัคคีภัยต่อไป

อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์พฤติกรรมการแผ่กระจายตัวของควันไฟในโครงสร้างที่มีความซับซ้อนนั้นก็ยังเป็นสิ่งที่ยากยิ่งในการคำนวณ หากไม่มีเครื่องมือที่สามารถคำนวณสมการได้อย่างรวดเร็ว โดยในปัจจุบันสถาบัน NIST (National Institute of Standard and Technology) แห่งสหรัฐอเมริกา ได้พัฒนาโปรแกรมเพื่อการวิเคราะห์ปัญหาด้านอัคคีภัยโดยเฉพาะซึ่งชื่อเรียกว่าโปรแกรม FDS (Fire Dynamics Simulator) โดยสามารถคำนวณผลที่ต้องการของเหตุอัคคีภัยในสถานที่มีความซับซ้อนได้เป็นอย่างดี

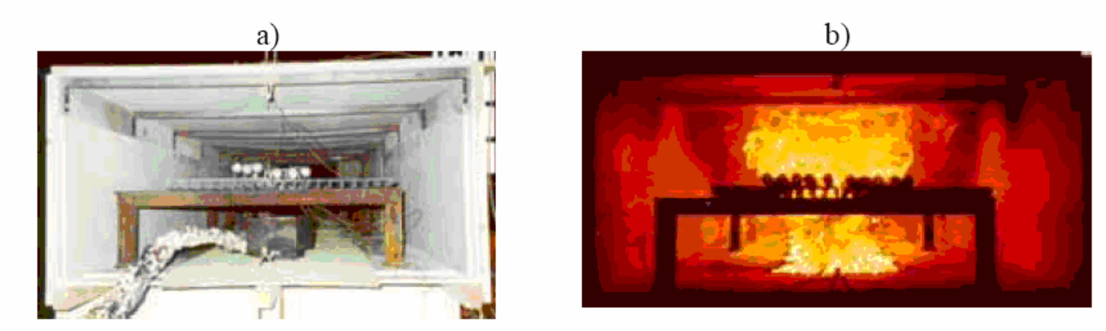
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Hietaniemi *et.al.* (2004) ได้ทำการทดลองเผาสายไฟฟ้าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 28 mm ซึ่งฉนวนทำมาจากพอลิเอทธิลีน (Polyethylene) และ ครอสลิคพอลิเอทธิลีน (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 ตามระยะต่างๆเพื่อวัดอัตราการปล่อยพลังงานควาามร้อน (Heat Release rate) ซึ่งจะนำมาเปรียบเทียบกับผลคำนวณของโปรแกรม FDS (Fire Dynamics Simulator)



ภาพที่ 5 a) ภาพด้านหน้าของโพรงที่ใช้วางสายไฟฟ้าในการทดสอบ และ
b) การติดตั้งสายไฟฟ้า 10 เส้นบนตะแกรง

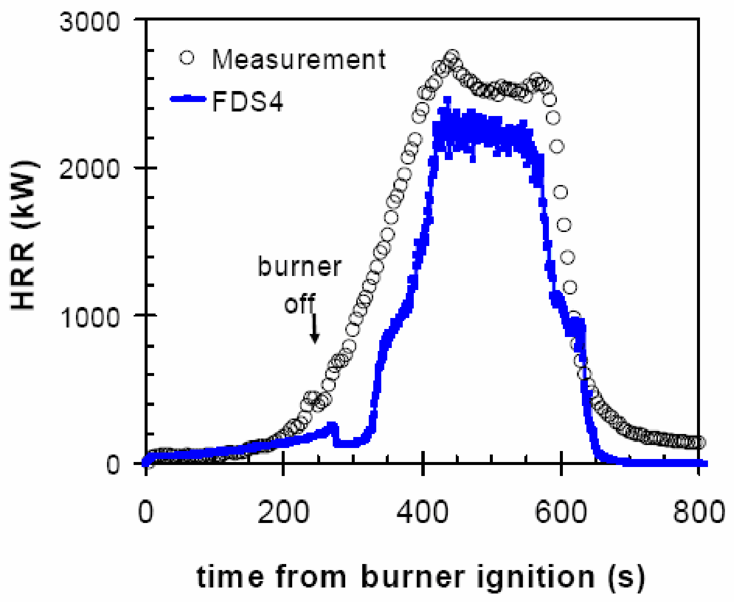
ที่มา : Hietaniemi *et.al.* (2004)



ภาพที่ 6 a) ตำแหน่งของตัวเผาไหม้ใต้สายไฟฟ้า และ b) ภาพการเผาไหม้สายไฟฟ้า

ที่มา : Hietaniemi *et.al.* (2004)

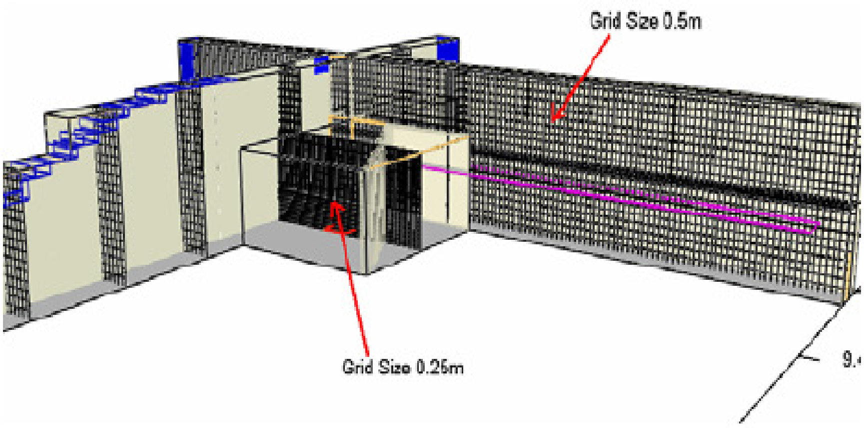
ผลการทดลองพบว่า พฤติกรรมของอัตราการปล่อยพลังงานความร้อน (Heat Release rate) มีความคล้ายคลึงกันตลอดการทดลอง แต่ในช่วงเวลา 200 sec ผลการคำนวณค่าเท่ากับผลการวัด และ มีอัตราการปล่อยพลังงานความร้อน (Heat Release rate) สูงสุดประมาณ 2,300 kW ดังแสดงในภาพที่ 7 ซึ่งใกล้เคียงกับผลการคำนวณ



ภาพที่ 7 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอัตราการปล่อยพลังงานความร้อน

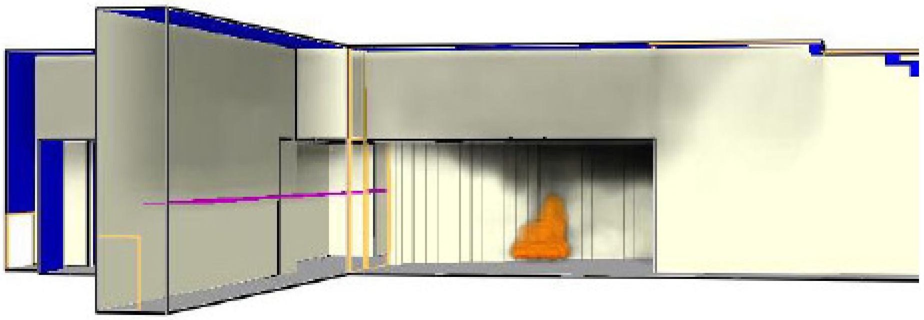
ที่มา : Hietaniemi *et.al.* (2004)

Hadjisophocleous and Ko (2006) ได้ศึกษาพฤติกรรมของการแผ่กระจายตัวของควันเพื่อออกแบบระบบระบายควันในอาคารแห่งหนึ่งซึ่งมีทางเดินร่วม 2 ทางที่ใช้ในการอพยพ และสัญจร ซึ่งทางเดินทั้ง 2 ทางนี้เชื่อมถึงกันที่ชั้นที่ 2 และ เชื่อมอยู่กับตัวอาคารที่ชั้นที่ 1 อีกด้วย โดยทางเดินที่ 1 มีทิศทางจากทิศตะวันออก ไป ทิศตะวันตก มีความยาว 50 m และ ความสูง 9.8 m ส่วนทางเดินที่ 2 มีทิศทางจากทิศเหนือ ไป ทิศใต้ มีความยาว 60 m และ ความสูง 5 m ปัญหาด้านอัคคีภัย คือหากเกิดเพลิงไหม้ที่อาคารรับรอง ควันที่ชั้นที่ 1 ควันจะลอยตัวไปยังชั้นที่ 2 ซึ่งทางเดินร่วมทั้ง 2 นี้เชื่อมถึงกัน ซึ่งจะทำให้เกิดอันตรายต่อผู้อาศัย ถ้าไม่สามารถควบคุมระดับชั้นควัน และ อุณหภูมิของควันได้ โดยในการทดลองนี้ใช้โปรแกรม FDS (Fire Dynamics Simulator) ในการสร้างแบบจำลองอาคารแห่งนี้ โดยได้กำหนดขนาดของกริด 2 ขนาด คือ ที่ทางเดินใช้ขนาดกริด 0.5 ส่วนอาคารรับรองซึ่งเป็นที่เกิดเหตุเพลิงไหม้ใช้ขนาดกริด 0.25 ดังแสดงในภาพที่ 8 และกำหนดขนาดของไฟ (Fire Size) จากเก้าอี้โซฟา และ ต้นไม้ คริสต์มาส เท่ากับ 3.5 MW และ 5 MW ตามลำดับ ผลของการจำลองพบว่า ควันไฟที่เกิดขึ้นในอาคารรับรองชั้นที่ 1 นั้นมีผลกระทบต่อผู้อาศัยดังแสดงในภาพที่ 9 จึงได้ออกแบบติดตั้งระบบระบายควัน (Smoke Exhaust system) ขึ้น 3 ตำแหน่ง ดังแสดงในภาพที่ 10 มีขนาด 15 m^3/s ที่เพดานของอาคารรับรอง และ ขนาด 10 m^3/s ที่ทางเดินร่วมของทั้ง 2 ทางเดิน ซึ่งผลทำให้สามารถควบคุมระดับความสูงของชั้นควันได้ที่ความสูง 5.5 m วัดจากพื้นทางเดิน, ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์น้อยมากไม่มีผลต่อมนุษย์, ความสามารถในการมองเห็น (Visibility) ได้ถึง 19 m ซึ่งเป็นระยะที่มากพอสำหรับการอพยพ และ อุณหภูมิสามารถควบคุมได้ไม่เกิน 40 $^{\circ}$C ในทางเดินร่วมดังแสดงในภาพที่ 11



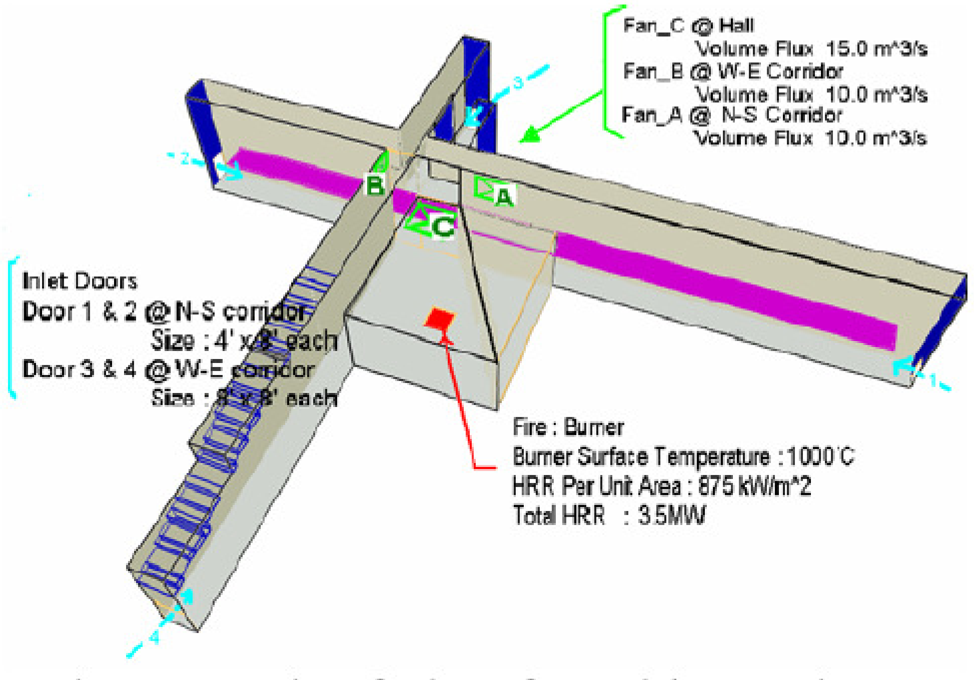
ภาพที่ 8 ขนาดกริด (Grid Size) ที่ใช้ในแบบจำลองโปรแกรม FDS

ที่มา: Hadjisophocleous and Ko (2006)



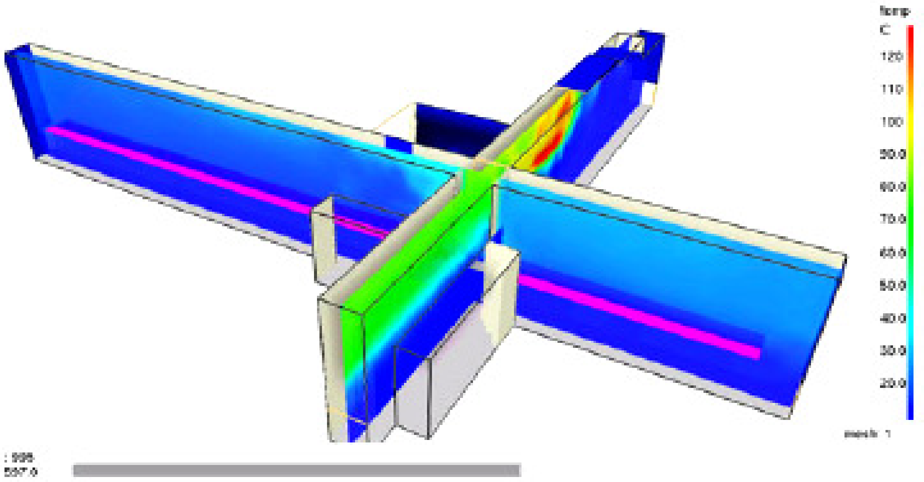
ภาพที่ 9 การเคลื่อนที่ของควันจากอาคารรับรองชั้นที่ 1 ไปยังชั้น 2 โดยโปรแกรม Smokeview

ที่มา: Hadjisophocleous and Ko (2006)



ภาพที่ 10 ตำแหน่งของการติดตั้งพัดลมระบายควัน3 ชุด ที่ตำแหน่ง A, B และ C

ที่มา: Hadjisophocleous and Ko (2006)



ภาพที่ 11 การกระจ่ายตัวของอุณหภูมิในแนงดิ่งตามระเบียงทั้ง 2 ฝั่ง

ที่มา: Hadjisophocleous and Ko (2006)

การสร้างแบบจำลองในโปรแกรม FDS (Fire Dynamics Simulation) นั้นสิ่งที่สำคัญที่สุด คือ ขนาดกริด (Grid Size) เพราะ ขนาดกริดที่เหมาะสมเท่านั้นจึงจะทำให้โปรแกรมสามารถคำนวณได้ผลการทดลองที่ถูกต้อง นักวิจัยหลายท่านจึงให้ความสนใจในการทดลองเพื่อหาขนาดของกริดที่เหมาะสม โดยตั้งสมมุติฐานในเหตุอัคคีภัยต่างๆดังนี้

Ma and Quintiere (2003) ได้นำเสนอสมการตัวแปรไร้หน่วย เพื่อเป็นตัวแทนในการคำนวณหาขนาดกริดที่เหมาะสม ตามสมการที่ (32) และได้ทำการทดลองหาขนาดของกริด (Grid Size) ที่มีความเหมาะสมเพื่อใช้กำหนดโดยใช้โปรแกรม FDS (Fire Dynamics Simulation) เวอร์ชั่นที่ 2 จำลองการเผาไหม้เชื้อเพลิงในอ่างไฟ (Pool Fire) ผลการทดลองพบว่า R^* เท่ากับ 0.05 เป็นขนาดกริด (Grid Size) ที่มีความเหมาะสมมากที่สุดในการคำนวณหาอุณหภูมิของช่วงเปลวไฟช่วงต่อเนื่อง (Continuous flame)

$$R^* = \frac{\Delta Z}{\left[\dfrac{Q}{\rho_\infty c_p T_\infty \sqrt{g}}\right]^{2/5}} \tag{32}$$

R^* = ขนาดของกริดในเทอมตัวแปรไร้หน่วย

ΔZ = ขนาดของกริด (Grid Size), m

ρ_{∞} = ความหนาแน่น (Density), kg / m^3

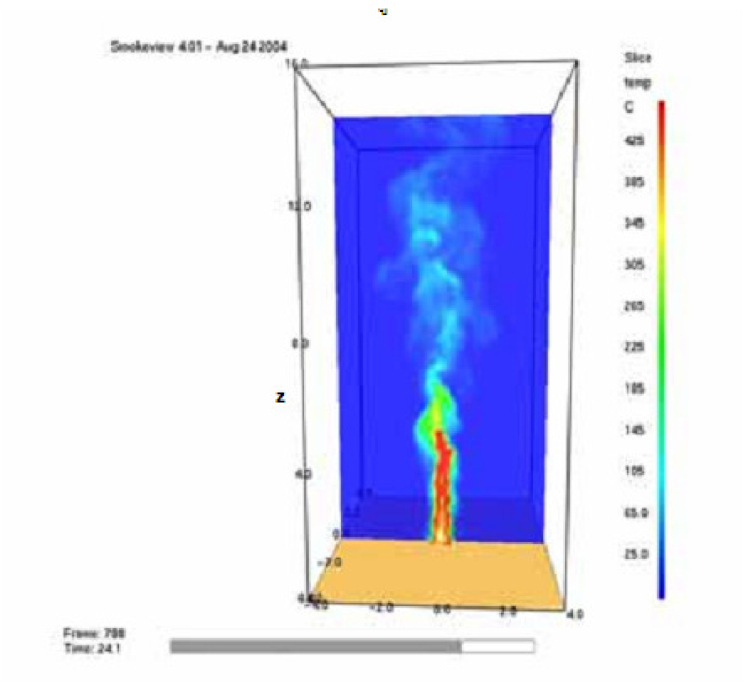
c_p = ค่าความจุความร้อนของอากาศ (Heat of Specification),kJ/kg . K

T_{∞} = อุณหภูมิของอากาศ (Ambient Temperature), K

g = ความเร่งเนื่องจากความโน้มถ่วงของโลก (Gravitation), m/s^2

ถึงแม้ว่าขนาดกริด(Grid Size)จะเป็นขนาดที่เหมาะสมก็จริง แต่หากใช้ให้ขนาดกริด(Grid Size) นี้ในการสร้างแบบจำลองอัคคีภัย (Fire Model) ทุกๆกรณี ก็อาจถือได้ว่าสิ้นเปลืองเวลา และทรัพยกรอื่นๆในการทดลองมากจนเกินไปไม่เหมาะสมในทางปฏิบัติจริง หากต้องกำหนดขนาดกริด(Grid Size) ก็ควรจะต้องพิจารณาถึงผลที่ต้องการได้จากการจำลองแบบอัคคีภัย และ ขนาดของแบบโครงสร้างสถานที่ด้วย เพราะ หากมีขนาดใหญ่มากจะทำให้ใช้เวลาคำนวณของโปรแกรมนานมาก หรือ อาจจะทำไม่ได้เลย เช่นหากต้องจำลองการเคลื่อนที่ของควันในอาคารสูงที่มีขนาดใหญ่เพื่อออกแบบระบบดูดควัน (Smoke Exhaust Fan) เป็นต้น

ณัฐศักดิ์ (2549) มีความเห็นว่าขนาดกริด(Grid Size) R* เท่ากับ 0.05 นั้นมีความละเอียดมากเกินไปในการศึกษาพฤติกรรมของการเคลื่อนที่ของลำควันในอาคารที่มีโดเมนขนาดใหญ่ เพราะทำให้เสียเวลามากไปในการคำนวณ และ ช่วงของลำควันที่สนใจเป็นช่วงพลูม(Buoyant Plume) โดยในการจำลองการเผาไหม้นี้กำหนดอัตราการปลดปล่อยความร้อน(Heat Release Rate)ของกองเพลิงขนาดตั้งแต่ 500 kW ถึง 2,000 kW และ ใช้ช่วงของขนาดกริด(Grid Size)ในเทอมของตัวแปรไร้หน่วย R* ตั้งแต่ 0.05 ถึง 0.329 เพื่อคำนวณหาอุณหภูมิ และ ความเร็วของลำควันเปรียบเทียบสมการที่ได้จากการทดลอง พบว่า กริดขนาด R* ในช่วง 0.164 ถึง 0.217 สามารถใช้ในการคำนวณได้อย่างเหมาะสมที่สุด ดังแสดงในภาพที่ 12



ภาพที่ 12 ภาพจำลองอุณหภูมิของลำควันในเวลา 24.1 วินาที, ขนาดกริด (Grid Size) เท่ากับ 0.164 และ อัตราการปลดปล่อยความร้อน (Heat Release Rate) เท่ากับ 1,000 kW

ที่มา : ณัฐศักดิ์ (2549)

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. คอมพิวเตอร์ แบบชนิดพกพา Intel Core ™ 2 Duo processor T5600 (1.83 GHz,667 MHz , 2MB L2 cache) / 120 GB HDD / 1 GB Hyper Memory

2. โปรแกรมจำลองพลศาสตร์อัคคีภัย (Fire Dynamic Simulator, FDS) รุ่นที่ 4. พร้อมโปรแกรม Smokeview จากสถานบัน National Institute of Standard and Technology (NIST) ซึ่งสามารถดาวน์โหลดได้ที่ http://fire.nist.gov/fds/ เพื่อสร้างแบบจำลองของอาคารสำนักงานตัวอย่าง

3. โปรแกรม PyroSim จาก Thunder Head Engineering ซึ่งสามารถดาวโหลดได้ที่ http://www.thunderheadeng.com เพื่อใช้เป็นเครื่องมือ สำหรับเขียนโปรแกรม Fire Dynamic Simulator รุ่น 4 เท่านั้น

4. กล้องถ่ายภาพดิจิตอล (Digital Camera) เพื่อสำหรับการบันทึกภาพสถานที่ และลักษณะอาคารตัวอย่าง

วิธีการ

1. การตรวจเอกสาร (Literature Review) เพื่อศึกษางานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง รวมถึงศึกษาถึงความสามารถของโปรแกรม FDS (Fire Dynamics Simulator) และ โปรแกรม PyroSim

2. สำรวจ และ เก็บข้อมูลรายละเอียดที่เกี่ยวกับอาคารสำนักงานแห่งนี้ทั้งทางด้านกายภาพ และ พฤติกรรม เพื่อเป็นข้อมูลในการตั้งสมมุติฐานเหตุเพลิงไหม้ และ ใช้ในการสร้างแบบจำลองอาคารสำนักงาน ซึ่งประกอบไปด้วยข้อมูลเบื้องต้น ดังนี้

2.1 อาคารสำนักงานแห่งนี้สูง 84 m มีจำนวนชั้นทั้งหมด 21 ชั้น (ไม่มีชั้น 13) แบ่งพื้นที่ใช้สอยออกเป็น 2 ส่วนคือ ตั้งแต่ชั้นใต้ดินจนถึงชั้น 10 เป็นส่วนที่จอดรถยนต์ในอาคาร และ ตั้งแต่ชั้น 11 จนถึงชั้น 21 เป็นส่วนสำนักงานให้เช่า มีพนักงานของบริษัทต่างๆทำงานอยู่เป็นประจำ และ ตลอดทั้งวันจะมีผู้มาติดต่อกับบริษัทต่างๆที่เช่าส่วนสำนักงานในอาคารสำนักแห่งนี้ ซึ่งโดยประมาณมีจำนวนคนในแต่ละชั้นประมาณ 250 คน

2.2 การอพยพหนีเพลิงไหม้ของอาคารสำนักงานแห่งนี้อาศัยบันไดหนีไฟเพียง 1 บันได ซึ่งจากผลสำรวจทางกายภาพทั้งขนาด และ เส้นทางอพยพหนีเพลิงไหม้ พบว่ามีอุปสรรคหลายประการ เช่น ขนาดบันไดเล็กมากจนต้องอพยพผ่านทีละคน , ประตูหนีไฟเมื่อถูกเปิดเพื่ออพยพเข้าในบันไดหนีไฟจะขว้างการอพยพของผู้อพยพมาจากชั้นบน และ เส้นทางเดินไปยังบันไดหนีไฟต้องอพยพผ่านไปในส่วนสำนักงานทำให้ผู้มาติดต่อไม่สามารถอพยพได้ทันทีทันใด หรือ ผ่านทางไม่ได้จึงต้องอพยพผ่านทางเดินร่วมของล๊อบบี้ลิฟต์ที่มีขนาดความกว้าง 12.1 m ความยาว 17 mและ ความสูง 4 mในแต่ละชั้น ไปยังบันไดหลักที่ไม่ปิดล้อมในการอพยพหนีเพลิงไหม้

2.3 ทางเดินร่วมของล๊อบบี้ลิฟต์ที่ใช้เป็นเส้นทางในการอพยพนั้นมีพื้นที่ส่วนต่างๆเชื่อมต่อถึงกันแบบไม่ปิดล้อม คือ ห้องไฟฟ้าที่จ่ายกระแสไฟฟ้าในส่วนสำนักงานทุกชั้น , ห้องน้ำ , ลิฟต์ 4 ตัวซึ่งมีลิฟต์ดับเพลิง 1 ตัว และ บันไดหลักที่ไม่ปิดล้อมแสดงดังภาพที่ 13

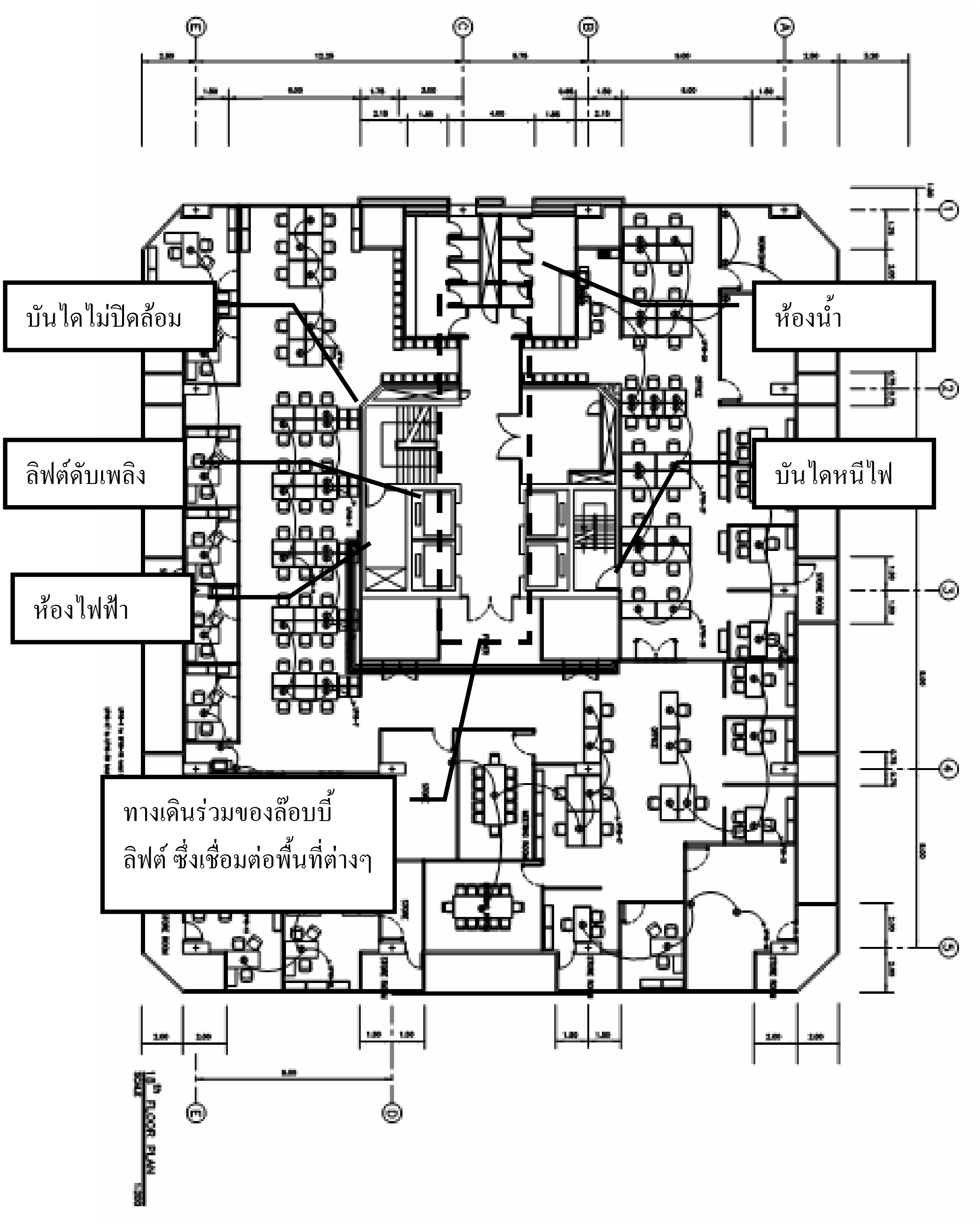
2.4 ห้องไฟฟ้าในบันไดหลักที่ไม่ปิดล้อม มีความเสี่ยงในการเกิดเหตุเพลิงไหม้ได้ เพราะมีความร้อนจากการจ่ายกระแสไฟฟ้า และ มีเชื้อเพลิงคือสายไฟฟ้าชนิด Polyethylene ซึ่งหากเกิดเพลิงไหม้ขึ้นจะทำให้ควันสามารถแผ่กระจายไปยังชั้นต่างๆได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งนับว่าเป็นสถานการณ์ที่อันตรายร้ายแรง ต่อการอพยพหนีเพลิงไหม้

2.5 ระบบแจ้งเตือนอัคคีภัย (Fire Alarm System) ของอาคารสำนักงานแห่งนี้สามารถแจ้งเตือนเหตุเพลิงไหม้ได้จากการจับสัญญาณจากอุปกรณ์ตรวจจับความร้อน(Heat Detector) และ อุปกรณ์ตรวจจับควัน(Smoke Detector) ซึ่งประมาณ 3 นาทีหากไม่สามารถระงับเหตุเพลิงไหม้ได้ก็จะแจ้งอพยพ ซึ่งจากการซ้อมอพยพหนีเพลิงประจำปีพบว่าเวลาที่นานที่สุดที่คนจะเริ่มอพยพประมาณ 10 นาที

3. ให้สมมุติฐานว่าเกิดเหตุเพลิงไหม้ที่ห้องไฟฟ้าในบันไดหลักที่ไม่ปิดล้อม 2 สถานการณ์ เพื่อศึกษาผลกระทบจากการแผ่กระจายของควันภายในเวลา 600 วินาที ดังนี้

3.1 สถานการณ์แรก คือ เกิดเหตุเพลิงไหม้ที่ห้องไฟฟ้าชั้นใต้ดิน ซึ่งเป็นชั้นต่ำที่สุดของอาคารแห่งนี้ เพื่อศึกษาว่ามีผลกระทบที่ชั้นสำนักงานได้หรือไม่ ภายในเวลา 600 วินาที

3.2 สถานการณ์ที่สอง คือ เกิดเหตุเพลิงไหม้ที่ห้องไฟฟ้าชั้นที่ 10 ซึ่งเป็นห้องไฟฟ้าที่อยู่ต่ำที่สุดของชั้นสำนักงาน เพื่อศึกษาว่าควันที่เกิดขึ้นในตำแหน่งนี้จะสามารถลอยตัวไปจนมีผลกระทบที่ชั้นสำนักงานได้มากเพียงใด และ ผลิตภัณฑ์ต่างๆที่เกิดจากการเผาไหม้นั้น ทำให้เกิดอุปสรรคต่อการอพยพอย่างไรบ้าง ภายในเวลา 600 วินาที



ภาพที่ 13 แสดงแผนผังพื้นที่ภายในอาคารสำนักงานชั้นที่ 18

4. การสร้างแบบจำลองได้นำเอาโปรแกรม PyroSim (Thunder Head Engineering, 2006) มาใช้เป็นเครื่องมือในการเขียนคำสั่งต่างๆเพื่อสร้างแบบจำลอง เพราะ สามารถเขียนคำสั่งที่เป็นรูปแบบทางกราฟฟิค (Graphic Mode) ซึ่งสะดวกกว่าการเขียนอยู่ในรูปแบบของข้อความ (Text Mode) ในโปรแกรม FDS (Fire Dynamics Simulator) แสดงขั้นตอนดังภาพที่ 14

5. ข้อมูลที่ได้จากผลการคำนวณโดยโปรแกรม FDS ดังนี้

5.1 อุณหภูมิ และ ความเร็วของควันไปแต่ละสถานการณ์
5.2 ความเข้มข้นของก๊าซพิษ และ ระยะการมองเห็น
5.3 พฤติกรรมของการแผ่กระจายตัวของควันในบันไดกลาง

6. ประเมินผลการทดลองโดยการเปรียบเทียบ และวิเคราะห์ผลกระทบต่างๆด้านควันไฟทั้ง 2 สถานการณ์ เพื่อประเมินความรุนแรงที่เกิดขึ้นทั้ง 2 สถานการณ์

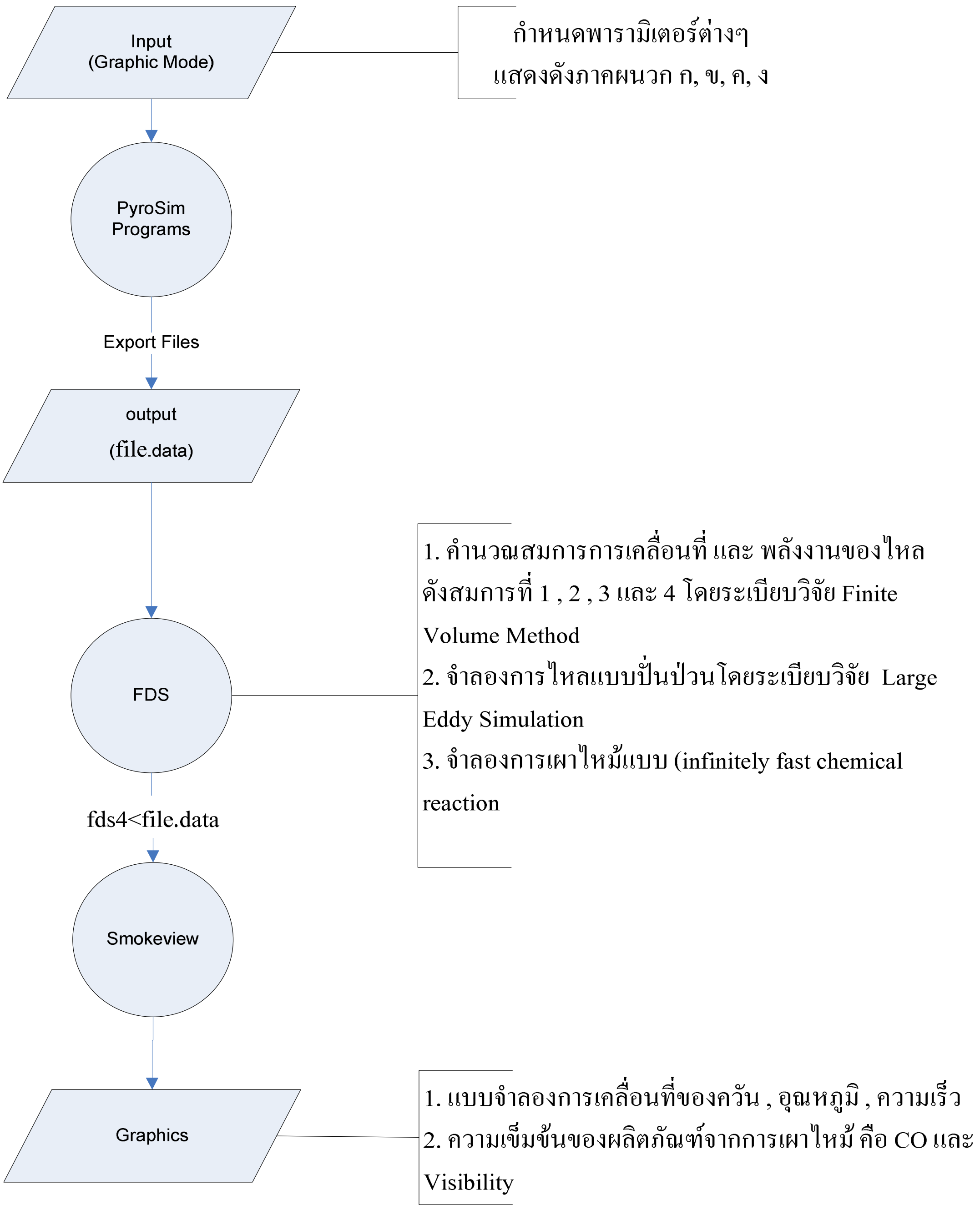
7. ข้อมูลที่ได้จากผลการคำนวณโดยโปรแกรม FDS ดังนี้

7.1 อุณหภูมิ และ ความเร็วของควันไปแต่ละสถานการณ์
7.2 ความเข้มข้นของก๊าซพิษ และ ระยะการมองเห็น
7.3 พฤติกรรมของการแผ่กระจายตัวของควันในบันไดกลาง

8. ประเมินผลการทดลองโดยการเปรียบเทียบ และวิเคราะห์ผลกระทบต่างๆด้านควันไฟทั้ง 2 สถานการณ์ เพื่อประเมินความรุนแรงที่เกิดขึ้นทั้ง 2 สถานการณ์

9. สร้างแบบจำลองการติดตั้งระบบระบายควัน(Smoke Exhaust System) โดยกำหนดขนาด ให้เหมาะสมทั้งตำแหน่ง และ ขนาดของพัดลม

10. สรุปผลการจำลองพลศาสตร์อัคคีภัย เพื่อกำหนดแนวทางการออกแบบติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันควันในเชิงประสิทธิผล โดยคำนึงถึงผลกระทบของเวลาที่ใช้ในการอพยพ และมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง



ภาพที่ 14 ลำดับขั้นการเขียนแบบจำลองสถานการณ์เพลิงไหม้โดยโปรแกรม PyroSim และ FDS

สถานที่ทำการวิจัย

การศึกษาและวิจัยนี้ใช้อาคารสูง (ไม่สามารถเปิดเผยชื่ออาคาร) ซึ่งเป็นอาคารสำนักงานให้เช่า มีความสูง 21 ชั้น โดยเป็นชั้นที่จอดรถยนต์ตั้งแต่ชั้นใต้ดิน จนถึง ชั้น 10 ดังแสดงในภาพที่ 15และ เป็นชั้นสำนักงานให้เช่าตั้งแต่ชั้น 11 จนถึง ชั้น 21 ดังแสดงในภาพที่ 16

ภาพที่ 15 ชั้นลานจอดรถยนต์ในอาคารสำนักงานตัวอย่าง

ภาพที่ 16 ชั้นสำนักงานให้เช่าของอาคารสำนักงานตัวอย่าง

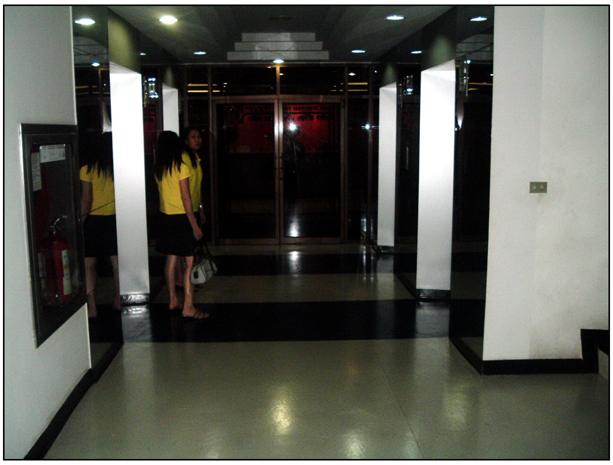
ในการอพยพหนีไฟของผู้ทำงาน และ ผู้มาติดต่อในอาคารแห่งนี้จำเป็นต้องใช้ทางเดินร่วมซึ่งเป็นบริเวณเดียวกันกับล๊อบบี้ลิฟต์ไปยังบันไดหนีไฟซึ่งมีอยู่เพียง 1 บันได และ มีขนาดที่เล็กมากเกินไปสำหรับจำนวนพนักงาน และ ผู้มาติดต่อ ดังแสดงในภาพที่ 17 จึงทำให้ต้องใช้บันไดกลางซึ่งไม่ปิดล้อมในการอพยพด้วยดังแสดงในภาพที่ 18

ภาพที่ 17 เส้นทางเดินไปยังบันไดหนีไฟของอาคารซึ่งระยะกว้างเพียง 1 เมตร

ภาพที่ 18 บันไดกลางซึ่งไม่ปิดล้อมอยู่บริเวณล๊อบบี้ลิฟต์ของอาคาร

ในบันไดกลางที่ไม่ปิดล้อมนี้มีห้องไฟฟ้าทุกชั้นซึ่งจะจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แก่ระบบอำนวยความสะดวกของชั้นต่างๆ โดยในงานวิจัยนี้ได้ตั้งสมมุติฐานว่าเกิดเหตุเพลิงไหม้ที่ห้องไฟฟ้า ดังแสดงดังภาพที่ 19 ซึ่งควันจะแผ่กระจายไปยังทางเดินร่วมของทุกชั้นทำให้เป็นอุปสรรคต่อการอพยพทั้งในกรณีใช้บันไดหนีไฟ และ บันไดกลาง ดังแสดงดังภาพที่ 20

ภาพที่ 19 ห้องไฟฟ้าที่เกิดเหตุเพลิงไหม้ภายในบันไดกลางที่ไม่ปิดล้อม



ภาพที่ 20 ทางเดินร่วมซึ่งเป็นบริเวณเดียวกันกับล๊อบบี้ลิฟต์ที่เป็นเส้นทางไปสู่บันไดหนีไฟ และ บันไดกลาง

ผลและการวิจารณ์

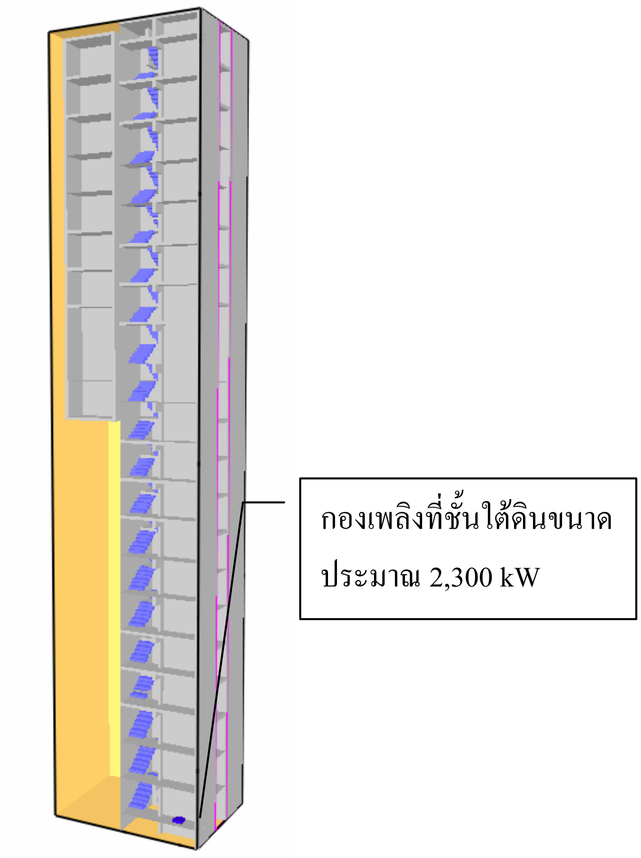
ผล

การศึกษาวิเคราะห์ความรุนแรงของเหตุเพลิงไหม้ในอาคารสูงนั้น จำเป็นจะต้องค้นหาสถานกาณ์ที่มีผลกระทบรุนแรงที่สุดต่อผู้อาศัยในอาคารนั้นๆเสียก่อน ซึ่งสถานการณ์สมมุตินี้ต้องมีแนวโน้มจะเกิดขึ้นได้จริงด้วย และ ต้องสร้างแบบจำลองเหตุเพลิงไหม้ที่มากกว่า 1 เหตุการณ์ เพื่อเปรียบเทียบผลกระทบด้านพฤติกรรมการแผ่กระจายของควันที่มีผลโดยตรงต่อการประเมินความรุนแรง เพราะเมื่อควันได้แผ่กระจายไปยังพื้นที่ใดแล้ว ก็จะนำความร้อน ก๊าซพิษ และ เขม่าควัน เข้าไปในพื้นที่นั้นด้วย หากพื้นที่นั้นมีผู้อาศัยอยู่ก็จะได้รับอันตราย ซึ่งระดับความอันตรายนั้นจะมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับว่าระดับความร้อน ก๊าซพิษ และ เขม่าควันที่ได้รับในพื้นที่นั้น การจำลองนี้จึงสมมุติฐานการณ์เหตุเพลิงไหม้ของห้องไฟฟ้าชั้นใต้ดิน และ ชั้น 10 เพื่อเปรียบเทียบความรุนแรงของทั้ง 2 สถานการณ์โดยได้ผลการทดลองดังนี้

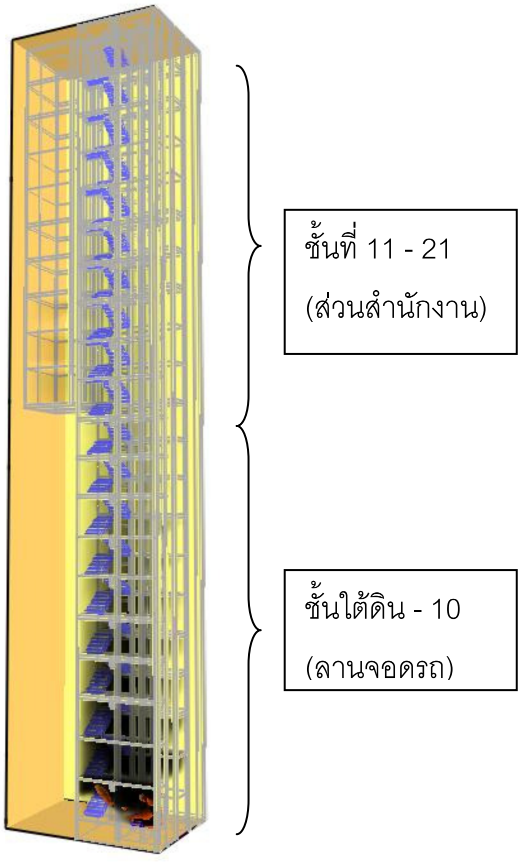
1. ผลการทดลองพฤติกรรมการแผ่กระจายตัวของควันในจำลองสถานการณ์เหตุเพลิงไหม้ของห้องไฟฟ้าชั้นใต้ดิน

กำหนดตำแหน่งของกองเพลิงซึ่งมีอัตราการปล่อยพลังงานความร้อน (Heat release rate) ขนาด 2,300 kW โดยอ้างอิงผลการทดลองของ Hietaniemi *et.al.* (2004) ที่ห้องไฟฟ้าชั้นใต้ดิน แสดงดังภาพที่ 21

พฤติกรรมการแผ่กระจายตัวของควันในสถานการณ์เพลิงไหม้ชั้นใต้ดิน พบว่าควันมีลักษณะเคลื่อนที่ตามแนงดิ่งอันเนื่องจากแรงลอยตัว (Buoyancy Force) ไปถึงชั้นที่ 9 และ แผ่กระจายควันไปในแนวระนาบไหลตามโครงสร้างบันไดเข้าสู่พื้นที่ทางเดินร่วมตั้งแต่ชั้นใต้ดินจนถึง ชั้น 9 ซึ่งเป็นลานจอดรถยนต์ ดังแสดงในภาพที่ 22



ภาพที่ 21 แสดงตำแหน่งของกองเพลิงที่ห้องไฟฟ้าชั้นใต้ดิน

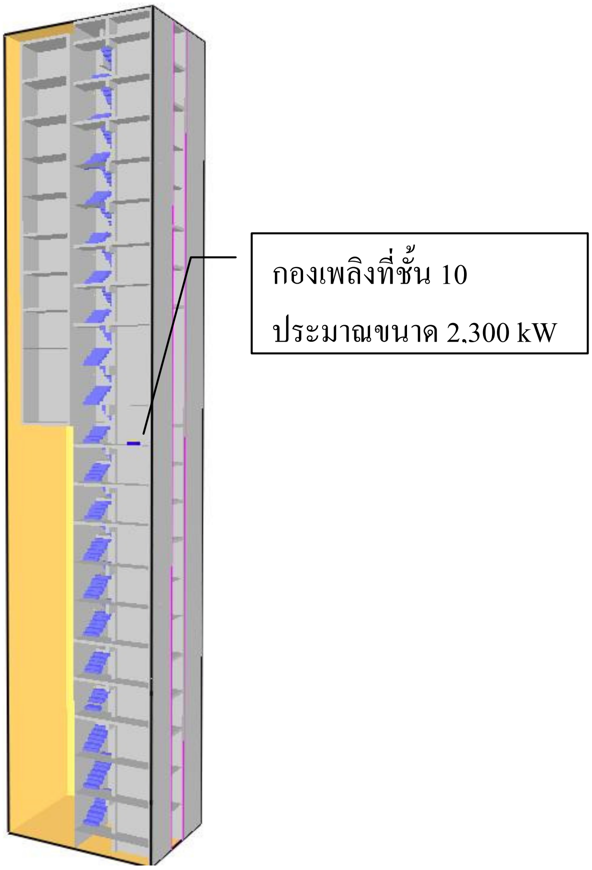


ภาพที่ 22 ภาพจำลองการเคลื่อนที่ของควันจากกองเพลิงที่ห้องไฟฟ้าชั้นใต้ดิน

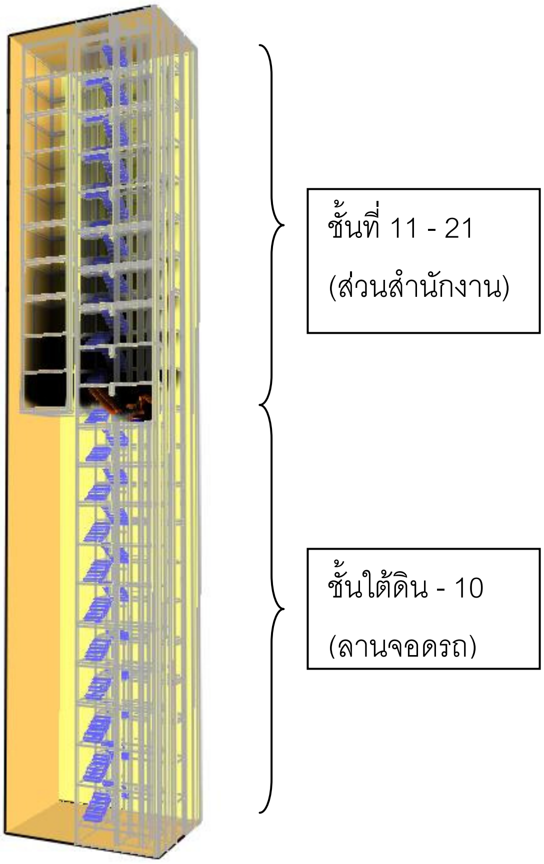
2. ผลการทดลองพฤติกรรมการแผ่กระจายตัวของควันในจำลองสถานการณ์เหตุเพลิงไหม้ของห้องไฟฟ้าชั้น 10

กำหนดตำแหน่งของกองเพลิงซึ่งมีอัตราการปล่อยพลังงานความร้อน (Heat release rate) ขนาด 2,300 kW โดยอ้างอิงผลการทดลองของ Hietaniemi *et.al.* (2004) ที่ห้องไฟฟ้าชั้นใต้ดิน แสดงดังภาพที่ 23

พฤติกรรมการแผ่กระจายตัวของควันในสถานการณ์เพลิงไหม้ห้องไฟฟ้าชั้น 10 พบว่า ควันมีลักษณะเคลื่อนที่ตามแนวดิ่งอันเนื่องจากแรงลอยตัว (Buoyancy Force) ไปถึงชั้นที่ 21 และแผ่กระจายควันไปในแนวระนาบไหลตามโครงสร้างบันไดเข้าสู่พื้นที่ทางเดินร่วมตั้งแต่11 จนถึงชั้น 21 ซึ่งเป็นส่วนสำนักงานมีผู้อาศัยทำงานอยู่ ดังแสดงในภาพที่ 24



ภาพที่ 23 แสดงตำแหน่งของกองเพลิงที่ห้องไฟฟ้าชั้น 10



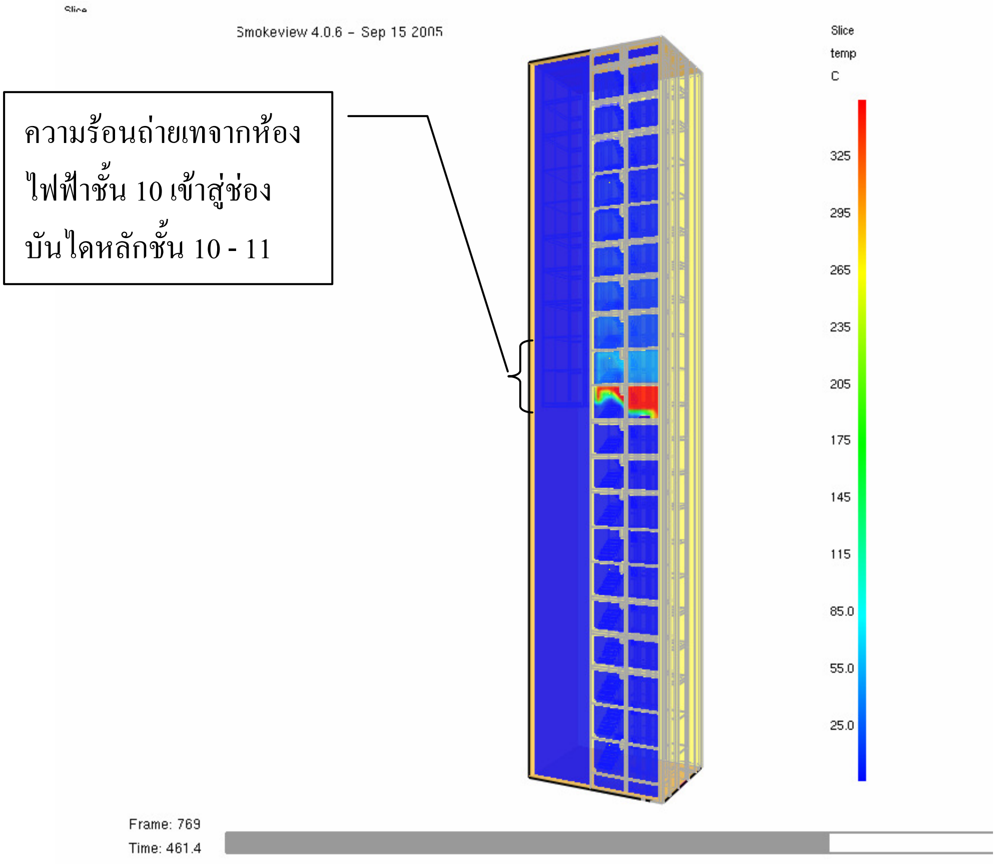
ภาพที่ 24 ภาพจำลองการเคลื่อนที่ของควันจากกองเพลิงที่ห้องไฟฟ้าชั้น 10

จากการทดลองการแผ่กระจายตัวของควันในอาคารสำนักงานตัวอย่างทั้ง 2 เหตุการณ์ วิเคราะห์ได้ว่า กรณีไฟไหม้ที่ห้องไฟฟ้าชั้นที่ 10 นั้นส่งผลกระทบต่อผู้ที่อยู่ในอาคารมากกว่ากรณีที่ไฟไหม้ที่ห้องไฟฟ้าในชั้นใต้ดิน เพราะ กรณีเหตุเพลิงไหม้ที่ห้องไฟฟ้าชั้นที่ 10 การแผ่กระจายตัวของควันไฟจะแผ่กระจายไปยังชั้นที่เป็นส่วนของสำนักงาน(ชั้น 11 – 21) ซึ่งมีคนทำงานอยู่ได้อย่างรวดเร็วกว่ากรณีเหตุเพลิงไหม้ที่ห้องไฟฟ้าชั้นใต้ดิน และ การอพยพหนีไฟจะทำได้โดยการอพยพผ่านทางช่องบันไดซึ่งถูกปกคลุมไปด้วยควัน แต่ถ้าหากเกิดไฟไหม้ที่ชั้นต่ำกว่าชั้น 10 การอพยพผ่านทางเดินร่วม และ ช่องบันไดหลักสามารถทำได้เพราะไม่มีควันปกคุมซึ่งผู้อพยพสามารถหนีไฟไปยังลานจอดรถยนต์ได้อย่างรวดเร็วอีกทางหนึ่ง จากเหตุผลดังกล่าวนี้จึงสรุปได้ว่าการศึกษาการเกิดไฟไหม้ที่ส่งผลกระทบกับผู้คนที่อยู่ในอาคารแห่งนี้มากที่สุดคือการเกิดไฟไหม้ในห้องไฟฟ้าชั้นที่ 10 ซึ่งจะทำให้ต้องมีการศึกษาพฤติกรรมของการเกิดไฟไหม้และการแผ่กระจายของควันไฟอันเนื่องมาจากกรณีไฟไหม้ที่ห้องไฟฟ้าชั้นที่ 10 ต่อไป

3. ผลการคำนวณหาผลิตภัณฑ์ต่างๆที่เกิดจากเหตุการณ์เพลิงไหม้ภาย 600 วินาทีในจำลองสถานการณ์เหตุเพลิงไหม้ของห้องไฟฟ้าชั้น 10

3.1 อุณหภูมิ (Temperature)

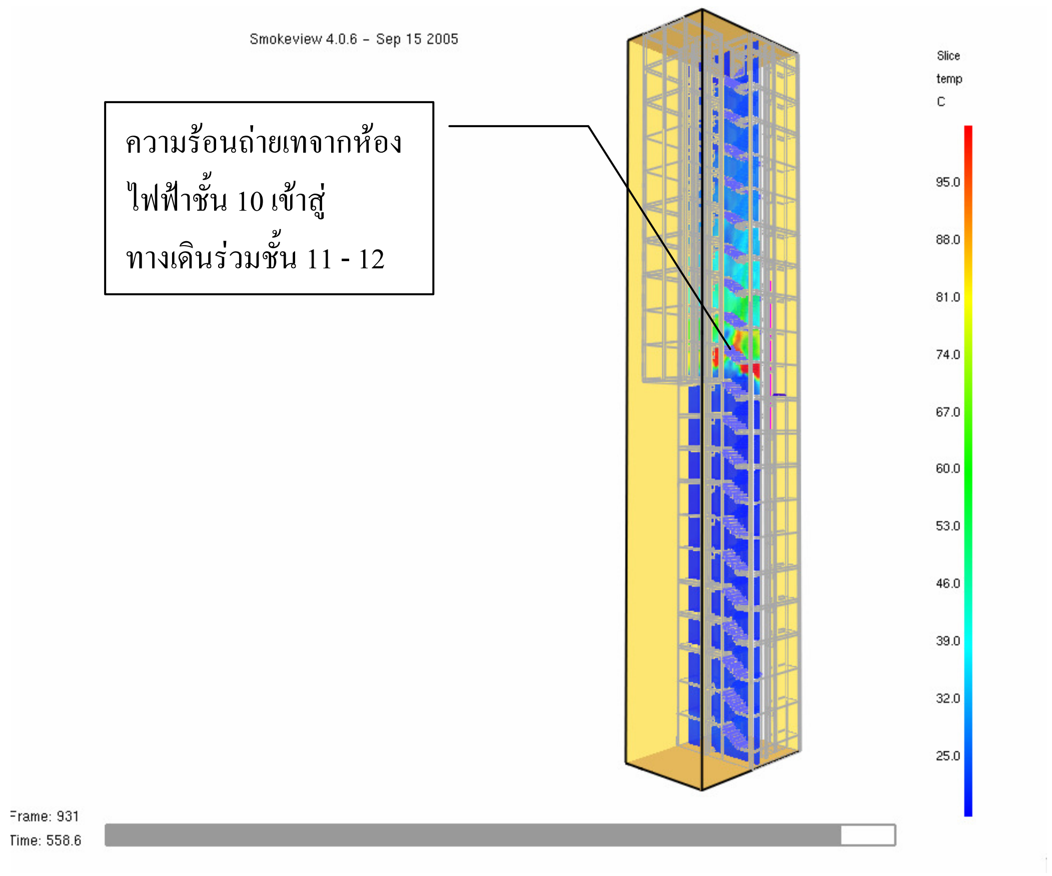
จากผลการทดลอง พบว่า ความร้อนมีอุณหภูมิสูงสุดที่กองเพลิงชั้น 11 เท่ากับ 325 C° และ ถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer) ไปยังบริเวณพื้นที่ต่างๆภายในอาคารดังแสดงในภาพที่ 25 นี้



ภาพที่ 25 ภาพจำลองการแผ่กระจายของอุณหภูมิในสถานการณ์เพลิงไหม้ห้องไฟฟ้าชั้นที่ 10

พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากการถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer) ของกองเพลิงชั้นที่ 10 คือ บริเวณทางเดินชั้นที่ 11 และ ชั้น 12 ซึ่งผลการทดลองพบว่าอุณหภูมิอยู่ในช่วง 65 -90 C° ดังแสดงในภาพที่ 26 และ บริเวณบันไดตั้งแต่ชั้นที่ 10 จนถึง ชั้น 11 ซึ่งผลการทดลองพบว่ามี

อุณหภูมิบริเวณอยู่ในช่วง 65 -325 C° ดังแสดงในภาพที่ 25 ซึ่งถือว่าเป็นพื้นที่อันตรายสำหรับการอพยพผ่าน

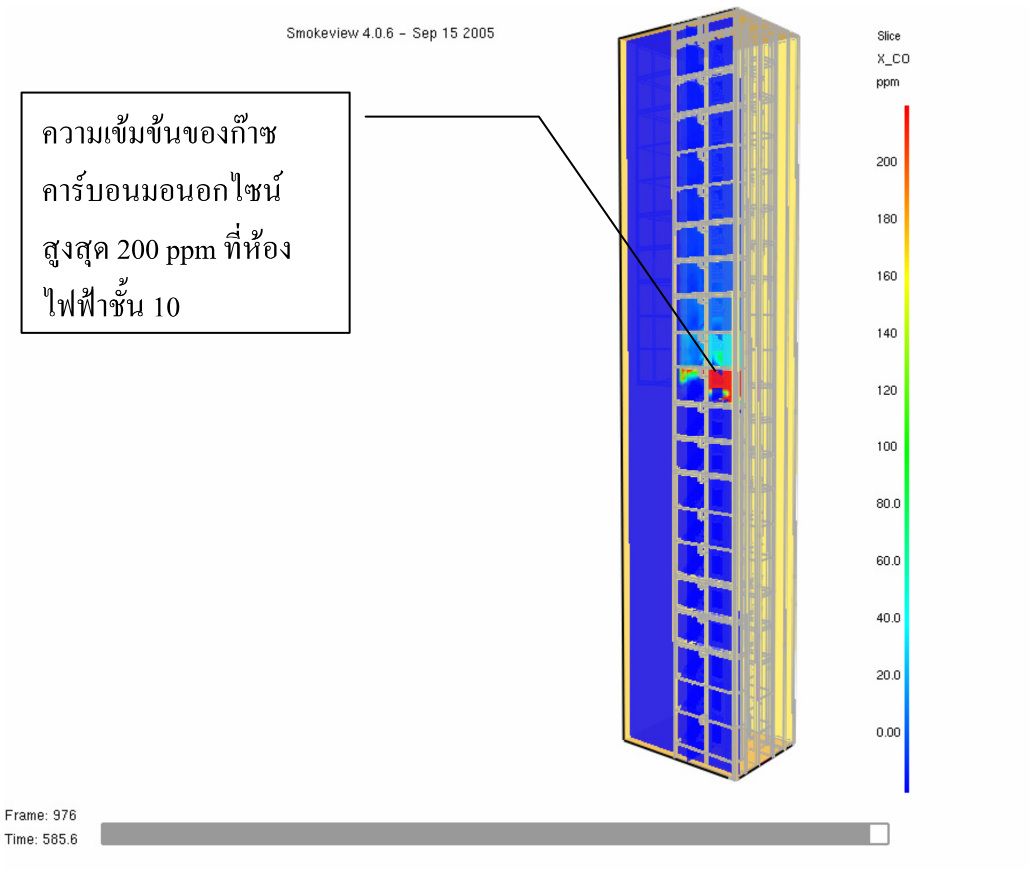


ภาพที่ 26 ภาพจำลองการแผ่กระจายของอุณหภูมิในสถานการณ์เพลิงไหม้ห้องไฟฟ้าชั้นที่ 10

3.2 ก๊าซพิษ (Toxic gases)

ผลการคำนวณพบว่า ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซน์มีระดับความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 200 ppm ที่ห้องไฟฟ้าชั้น 10 และ ภายในช่องบันไดกลางตั้งแต่ชั้น 10 จนถึง ชั้น 14 มีระดับความเข้มข้นอยู่ในช่วง 40 – 70 ppm ส่วนทางเดินร่วมชั้น 11 และ ชั้น 12 พบว่ามีระดับความเข้มข้นเฉลี่ยประมาณ 70 ppm แสดงดังภาพที่ 27 ซึ่งถือว่าตั้งแต่ชั้น 10 จนถึง ชั้น 14 มีความเสี่ยงในการสูดดมก๊าซเข้าสู่ร่างกายจนอาจทำให้มีอาการ เช่น หัวใจทำงานมากขึ้น, การเห็นต้องใช้แสง

มากกว่าปกติ, ปวดศีรษะอย่างแรง และ คลื่นเหียน อาเจียน ได้ อันเป็นอุปสรรคในการอพยพอีกประการหนึ่งด้วย

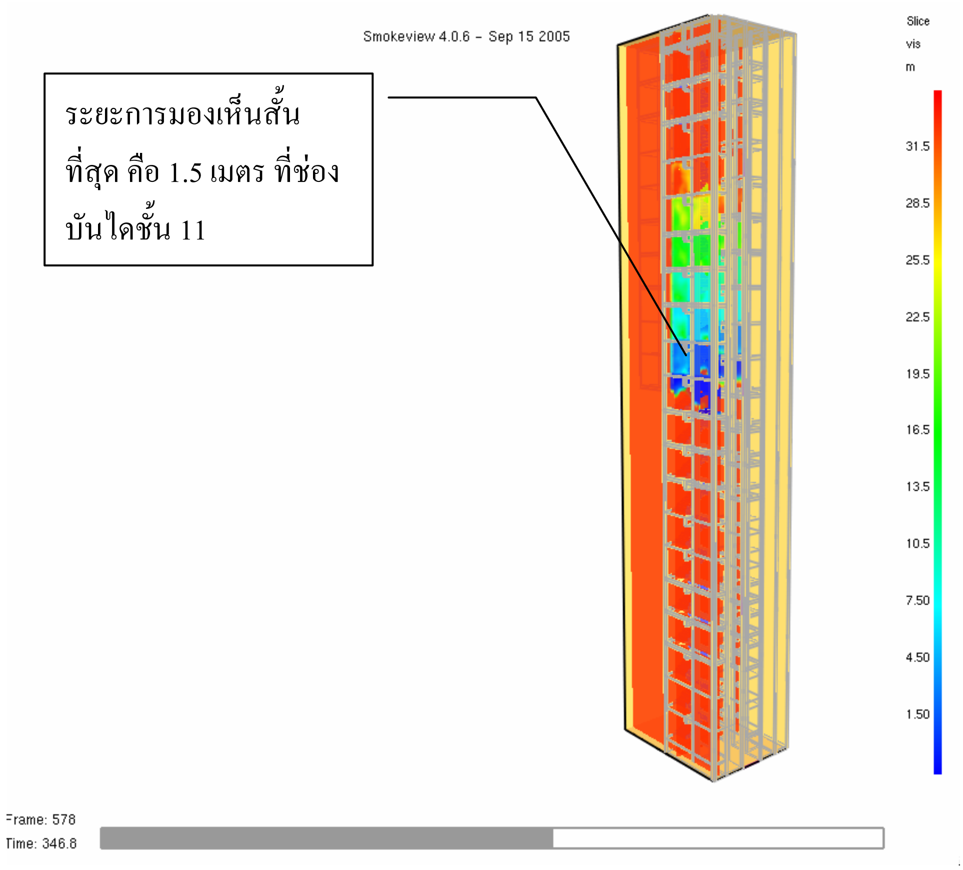


ภาพที่ 27 ภาพจำลองก๊าซคาร์บอนมอนอกไซน์ในสถานการณ์เพลิงไหม้ห้องไฟฟ้าชั้นที่ 10

3.3 ระยะการมองเห็น (Visibility)

จากผลการทดลองพบว่า ความสามารถในการมองเห็นที่มีระยะสั้นที่สุดที่ห้องไฟฟ้า, ช่องบันไดชั้น และ ทางเดินร่วมของชั้น 10 จนถึง ชั้น 11 ซึ่งมีระยะการมองเห็น (Visibility) ต่ำกว่า 1.5 เมตร ซึ่งถือระยะการมองเห็นน้อยเกินนี้ไม่เพียงพอต่อการอพยพอย่างปลอดภัยสำหรับผู้ไม่คุ้นเคยพื้นที่ และ ผู้ที่ชำนาญพื้นที่ด้วย (Jin, 1976) แต่ในชั้น 12 จนถึง ชั้น 15 ซึ่งมีระยะการมองเห็น (Visibility) ได้ปรมาณ 14 เมตร ซึ่งถือระยะการมองเห็นที่ปลอดภัยสำหรับผู้ที่ชำนาญพื้นที่ด้วย แต่ไม่ปลอดภัยสำหรับผู้ไม่คุ้นเคยพื้นที่

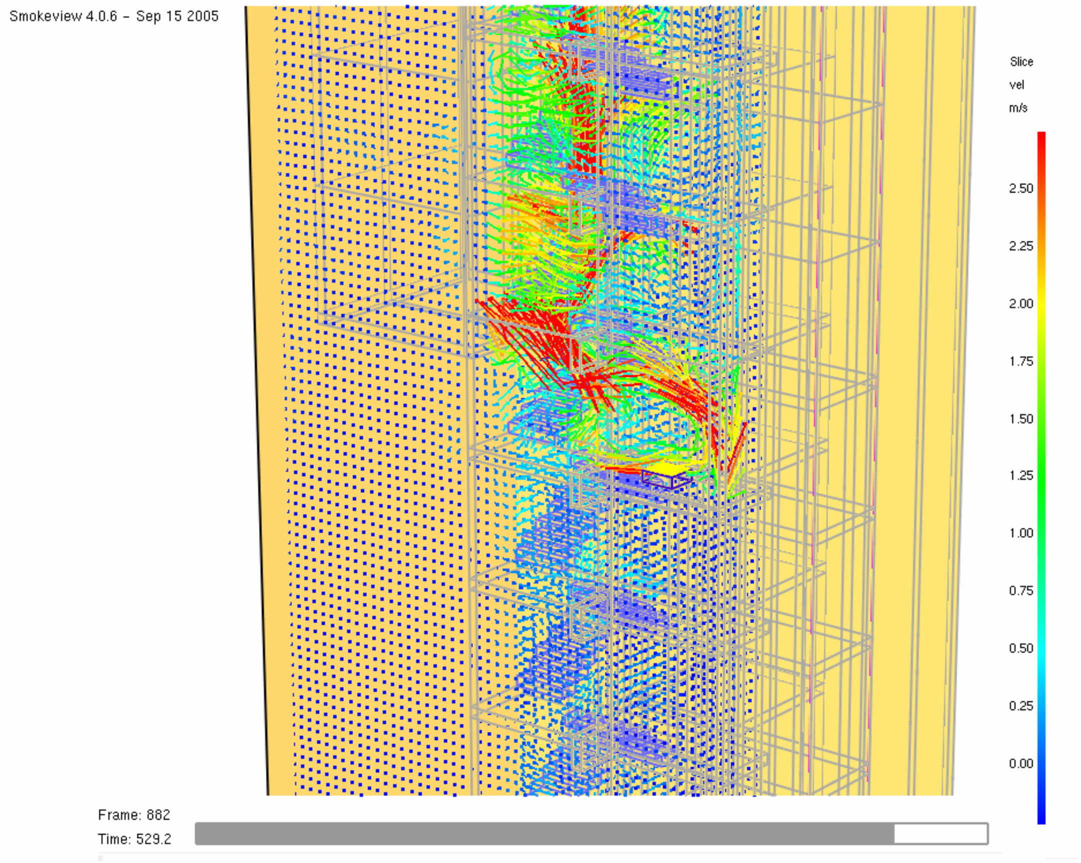
ตั้งแต่ชั้น 16 ขึ้นไปจึงจะถือว่ามีระยะการมองเห็น (Visibility) ที่ปลอดภัยต่อการอพยพขอทั้งผู้ที่ชำนาญพื้นที่ และ ผู้ไม่คุ้นเคยพื้นที่ ดังแสดงในภาพที่ 28



ภาพที่ 28 ภาพจำลองระยะการมองเห็น (Visibility) ในสถานการณ์เพลิงไหม้ห้องไฟฟ้าชั้นที่ 10

3.4 ความเร็ว (Velocity)

ผลการทดลองพบว่าขณะที่กองเพลิงเกิดการเผาไหม้จะมีอากาศอุณหภูมิต่ำจากภายนอกไหลเข้ากองเพลิงด้วยความเร็วประมาณ 0.75 m / s และ อากาศที่ไหลเข้ากองเพลิงจะถูกทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นมีความเร็วสูงสุด 2.50 m/s โดยทิศทางการเคลื่อนที่ของในแนวดิ่ง ส่วนในแนวระนาบมีความเร็วประมาณ 1.5 – 2 m/s ซึ่งภาพเวคเตอร์แสดงจำลองทิศทางการไหล แสดงดังภาพที่ 29



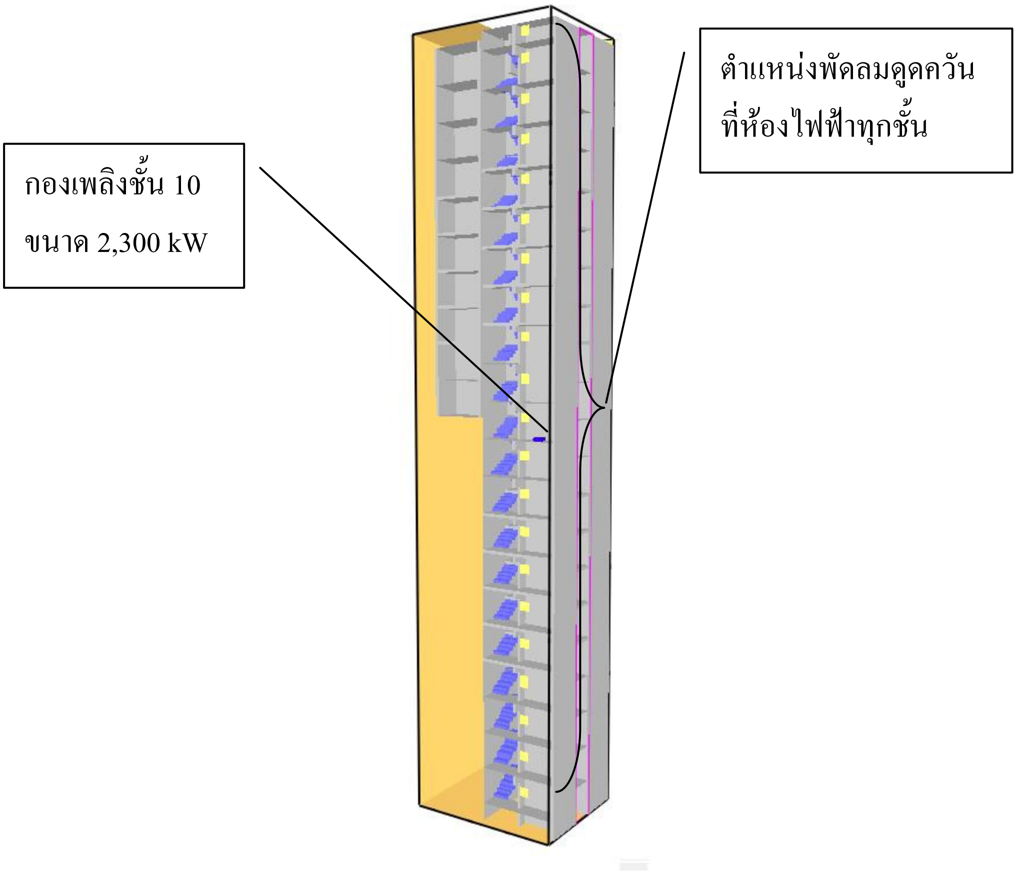
ภาพที่ 29 จำลองภาพเวคเตอร์แสดงทิศทางการไหลของอากาศในสถานการณ์เพลิงไหม้ห้องไฟฟ้าชั้นที่ 10

4. ผลการทดลองติดตั้งระบบระบายควัน (Smoke Exhaust System) ในจำลองสถานการณ์เหตุเพลิงไหม้ของห้องไฟฟ้าชั้น 10

ผลการจำลองสถานการณ์เหตุเพลิงไหม้ชั้น 10 ทำให้พบว่า หากเกิดเพลิงไหม้ในห้องไฟฟ้าชั้น 10 จะทำให้เกิดอุปสรรคมากมายในการอพยพตั้งแต่ชั้น 10 ไปจนถึงชั้น 14 (ไม่มีชั้นที่ 13ชั้น) ได้แก่ ก๊าซพิษซึ่งมีความเข้มข้นในระดับที่ทำให้เกิดผลต่อสุภาพ, ระยะการมองเห็น (Visibility) ที่ทำให้เสียเวลาในการอพยพ และ อุณหภูมิที่ร้อนถึงระดับที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์

การบรรเทาความอันตรายต่างๆที่เกิดขึ้นจากเหตุเพลิงไหม้นั้น จึงเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อป้องกันชีวิต ซึ่งในงานวิจัยนี้เลือกติดตั้งระบบระบายควัน(Smoke Exhaust System) โดยการติดตั้งไว้ที่ห้องไฟฟ้าทุกชั้น เพื่อป้องกันเหตุเพลิงไหม้ที่อาจจะเกิดขึ้นกับทุกห้องไฟฟ้า ดังแสดงในภาพ

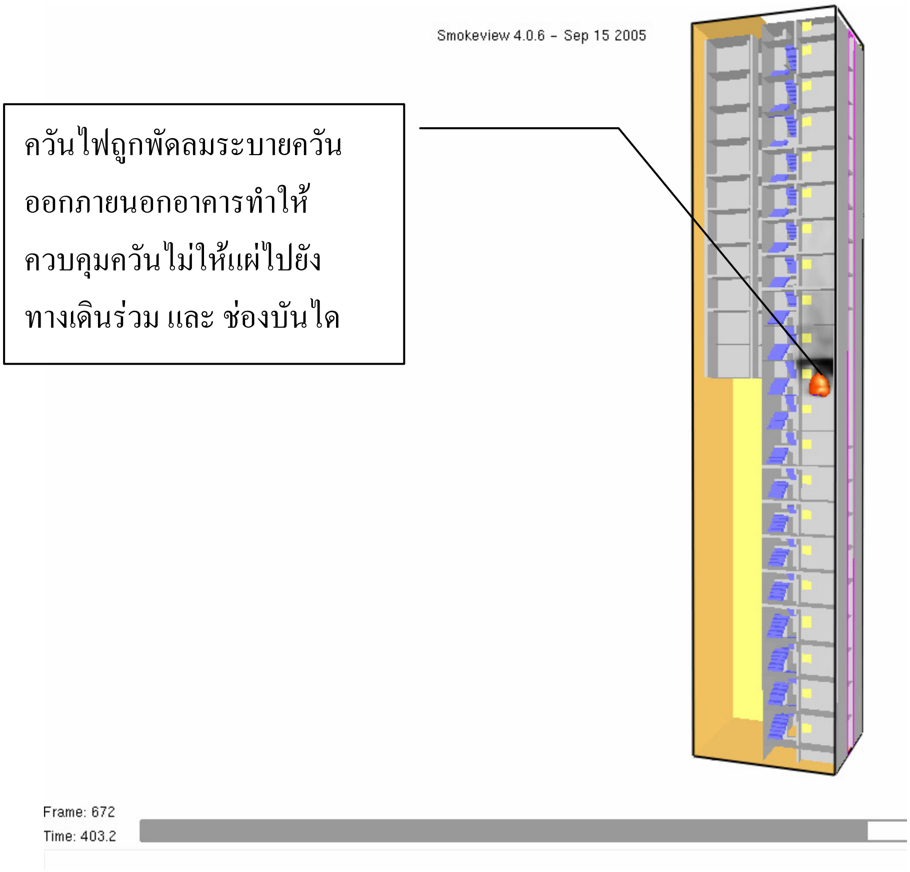
ที่ 30 และ กำหนดอัตราการระบายควันเท่ากับ 7 m^3 / s ที่ได้มาจากการคำนวณหาอัตราการกำเนิดควัน (Rate Smoke Generation) แบบควันไฟเกิดกลางโถง (Axisymmetric Plume) ซึ่งต้องการอัตราการระบายควันน้อยที่สุดสำหรับการระบายควัน



ภาพที่ 30 ภาพจำลองการติดตั้งระบบระบายควัน (Smoke Exhaust System) ทุกชั้น

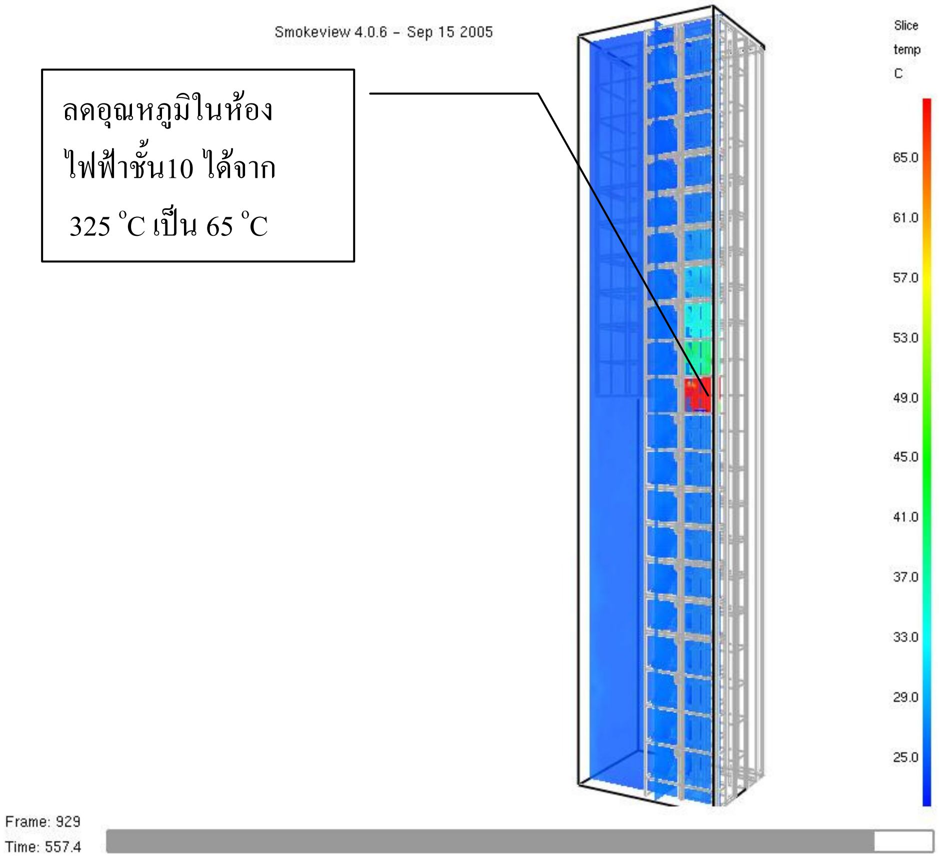
จากผลการทดลองติดตั้งระบบระบายควัน(Smoke Exhaust System) ทำให้สามารถควบคุมอุปสรรค และ อันตรายต่างๆที่เกิดขึ้นจากการเหตุเพลิงไหม้ห้องไฟฟ้าชั้น 10 ดังนี้

1. สามารถควบคุมการแผ่กระจายควันให้อยู่ภายในห้องไฟฟ้าชั้น 10 แสดงดังภาพที่ 31



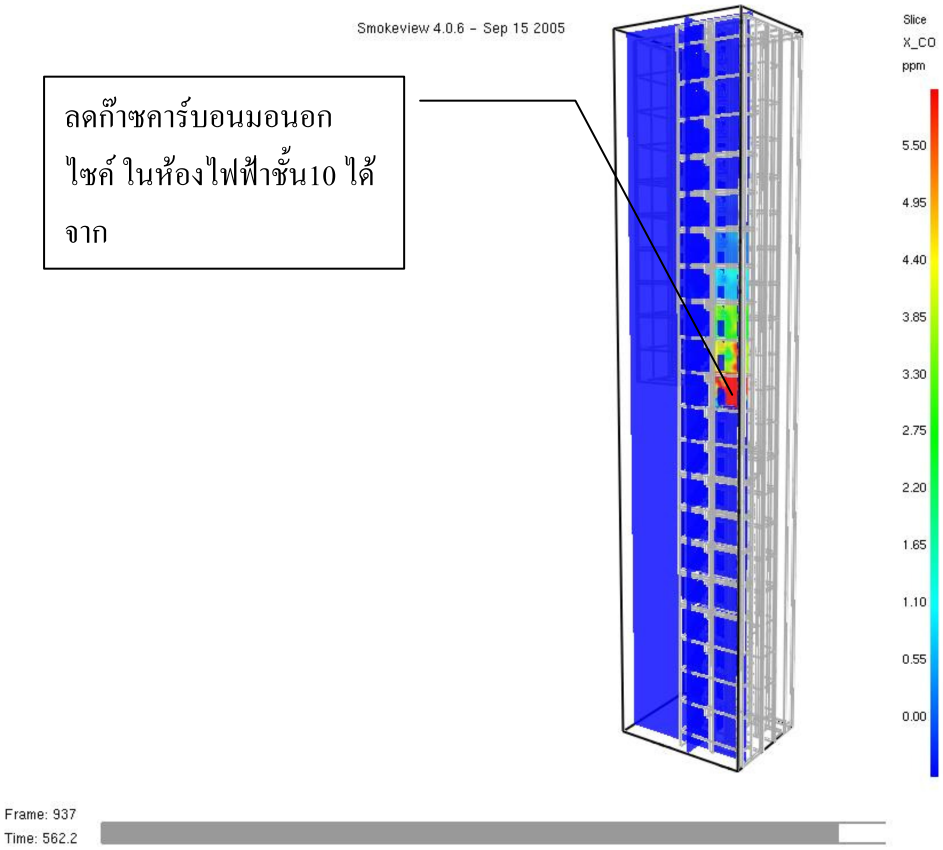
ภาพที่ 31 ภาพจำลองการระบายควันของระบบระบายควัน (Smoke Exhaust System) ที่ชั้น 10

2. สามารถลดอุณหภูมิภายในห้องไฟฟ้าชั้น 10 ได้ที่อุณหภูมิ 65 C° จากอุณหภูมิสูงสุด 325 C° ขณะไม่มีระบบระบายควัน และ ยังสามารถลดอุณหภูมิบริเวณทางเดินร่วม และ ช่องบันได ซึ่งเป็นทางอพยพได้ไม่เกิน 37 C° แสดงดังภาพที่ 32 จึงกล่าวได้ว่าเป็นระบบระบายควันทำให้อุณหภูมิลดลงจนถึงระดับที่ผู้ทำงานในอาคารแห่งนี้จะสามารถอพยพได้อย่างปลอดภัยจากความร้อน



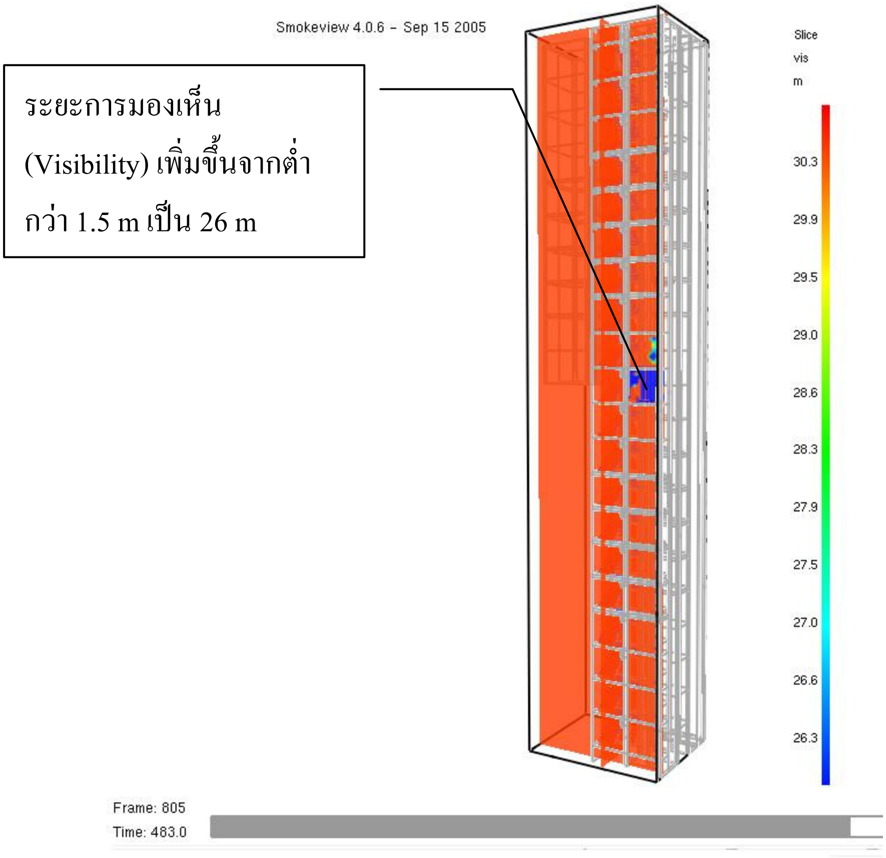
ภาพที่ 32 ภาพจำลองอุณหภูมิจากการระบายควันของระบบระบายควัน (Smoke Exhaust System) ที่ชั้น 10

3. สามารถก๊าซคาร์บอนมอนอกไซค์จากความเข้มข้น 200 ppm เป็น 5.5 ppm ซึ่งถือได้ความเป็นระดับความเข้มข้นที่ปลอดภัยสำหรับมนุษย์ แสดงดังภาพที่ 33



ภาพที่ 33 ภาพจำลองก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์จากการระบายควันของระบบระบายควัน (Smoke Exhaust System) ที่ชั้น 10

4. สามารถเพิ่มระยะการมองเห็น (Visibility) จากเดิมน้อยกว่า 1.5 m เป็นสามารถมองเห็นได้ในระยะที่ไกลกว่า 30 m ถือได้ว่าเป็นระยะการมองเห็นที่ปลอดภัยทั้งผู้คุ้นเคย และ ไม่คุ้นเคยกับอาคารแสดงดังภาพที่ 34



ภาพที่ 34 ภาพจำลองระยะการมองเห็น (Visibility) จากการระบายควันของระบบระบายควัน (Smoke Exhaust System) ที่ชั้น 10

วิจารณ์

การคำนวนทางพลศาสตร์ของของไหลเชิงตัวเลข (CFD) สำหรับการเกิดอัคคีภัยในอาคารที่พักอาศัยโดยเฉพาะอย่างยิ่งในอาคารสูงที่มีผู้ใช้อาคารหนาแน่นนั้น เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการศึกษาถึงพฤติกรรมของการเกิดไฟไหม้และการแผ่กระจายควันไฟเพื่อที่จะนำข้อมูลที่ได้จากการคำนวนมาใช้ในการออกแบบสร้างอาคารใหม่ที่มีความปลอดภัยในด้านอัคคีภัยสูงขึ้นและยังเป็นเครื่องมือที่สำคัญในการวิเคราะห์ปรับปรุงหรือเสริมอุปกรณ์เพิ่มเติมกับอาคารที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบันเพื่อที่จะชลอหรือลดผลกระทบต่อชีวิตและทรัพย์สินอันเนื่องมาจากการเกิดไฟไหม้ที่เกิดขึ้นในอาคาร ดังเช่นผลของการจำลองการเกิดไฟไหม้ในอาคารสูงที่ใช้เป็นสำนักงานตามงานวิจัยนี้

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

ผลการศึกษาทำให้ทราบว่าการเกิดไฟไหม้ที่ห้องไฟฟ้าที่ใกล้กับโถงบันไดนั้น ถึงแม้นว่าก๊าซพิษ (คาร์บอนมอนอกไซด์) ที่ออกมาจากห้องที่เกิดไฟไหม้มายังช่องบันไดจะมีความเข้มข้นไม่ถึงกับทำให้เสียชีวิตเมื่อสูดดม แต่ควันไฟและความร้อนที่เกิดขึ้นจะส่งผลต่อการอพยพหนีไฟผ่านช่องบันไดที่ไม่ปิดล้อมและไม่มีระบบควบคุมควันอัตโนมัติ โดยควันไฟจะแผ่กระจายขึ้นไปในแนวดิ่งตามช่องว่างระหว่างบันไดและแนวระนาบไปกับโครงสร้างของตัวบันได นอกจากนี้ผลของการคำนวนยังบ่งชี้ว่า เมื่อเกิดเพลิงไหม้อุณหภูมิจะสูงขึ้นถึง 325 C^{o}ที่ชั้นต้นเพลิง เกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซน์ที่ระดับความเข้มข้นสูงสุดที่ 200 ppm และ ความสามารถในการมองเห็นพบว่ามีระยะการมองเห็น(Visibility)ที่ต่ำกว่า 1.5 m ที่ชั้น 10 ซึ่งต่ำกว่ามาตราฐานของการอพยพหนีไฟ ดังนั้นจากผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าถ้าเกิดไฟไหม้ที่ห้องไฟฟ้าที่ชั้นที่ 10 จะทำให้เกิดปัญหาอันเนื่องมาจากตัวเปลวไฟ, ควันไฟ และผลิตภัณฑ์ต่างๆที่เกิดจากเพลิงไหม้ จึงต้องมีการออกแบบระบบเพื่อลดผลกระทบอันเนื่องมาจากเพลิงไหม้นั้น ซึ่งจากการคำนวณอัตราการกำเนิดควัน(Rate of Smoke generation) พบว่า ต้องการพัดลมที่มีอัตราการระบายควันอย่างน้อย 7 m^{3}/s ซึ่งในท้องตลาดมีการผลิตพัดลมเพื่อจำหน่ายขนาดตั้งแต่ 0.66 – 9.43 m^{3}/s อยู่แล้ว และ ควรติดตั้งระบบพัดลมระบายควันแบบอัตโนมัติที่ผนังของห้องไฟฟ้าทุกชั้น ซึ่งผลการจากการทดลองพบว่า อุณหภูมิบริเวณทางเดินลดลงเป็น 37 C^{o} , ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซน์ลดลงเหลือเพียง 5.5 ppm , ความสามารถในการมองเห็นพบว่ามีระยะการมองเห็น(Visibility) ได้มากขึ้นถึง 26 m และ สามารถจำกัดควันไม่ให้แผ่กระจายออกจากห้องไฟฟ้าที่เกิดเพลิงไหม้ได้ ผลคือทำให้การอพยพหนีไฟทำได้ง่ายขึ้นและยังเป็นการเพิ่มระยะเวลาในการอพยพหนีไฟได้อย่างปลอดภัย ส่งผลต่อการลดความสูญเสียในชีวิตของผู้ที่อยู่ภายในอาคารนี้

ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้เป็นการเสนอแนวทางการศึกษาและวิจัยทางด้านการป้องกันอัคคีภัยในอาคารสำนักงาน จากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าเมื่อเจ้าของอาคารหรือผู้ออกแบบอาคารได้มีความต้องการสร้างอาคารหรือปรับปรุงอาคารนอกจะคำนึงถึงความปลอดภัยทางโครงสร้างอาคารแล้ว ยังต้องคำนึงถึงการศึกษาด้านความปลอดภัยของอาคารเมื่อเกิดอัคคีภัย การใช้การคำนวณทางพลศาสตร์

ของไหลเชิงตัวเลข(CFD) มาวิเคราะห์สถานะการการเกิดอัคคีภัยเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพที่จะช่วยในการหามาตราการการต่างๆมาใช้เมื่อประสพอัคคีภัยเพื่อลดความสูญเสียที่จะเกิดขึ้น นอกจากนี้การออกกฎหมายในเรื่องการติดตั้งระบบป้องกันอันตรายต่างๆในอาคารสูงในประเทศไทย มักใช้วิธีการเขียนเป็นข้อกำหนด(Prescriptive Base) ใช้เหมือนกันทุกอาคาร ทั้งที่จริงแล้ว ในบางอาคารอาจจะไม่จำเป็น หรือ ในบางอาคารต้องการมากกว่าที่กฎหมายกำหนด ซึ่งหากนำเครื่องมือในการคำนวณแบบเชิงประสิทธิภาพ (Performance Base) มาใช้ให้มากขึ้นก็จะทำให้เกิดความประหยัดในด้านการลงทุน และ ความปลอดภัยได้อย่างแท้จริง หากผู้วิจัยท่านอื่นมีความสนใจจะนำงานวิจัยนี้ไปพัฒนาต่อเนื่องก็น่าจะศึกษาวิจัยต่อในส่วนการศึกษาการออกแบบระบบระบายควันที่ลงทุนต่ำที่สุด โดยยังต้องสามารถควบคุมการแผ่กระจายควันได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

ณัฐศักดิ์ บุญมี. 2549. การหาขนาดกริดที่เหมาะสมสำหรับการจำลองเพลิงไหม้ภายในอาคาร. **การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 20**. ณ. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา

พิชญะ จันทรานุวัฒน์. 2547. กฎหมายควบคุมอาคารแบบเชิงประสิทธิผล, น.16-31. ใน **เอกสารประกอบการประชุมทางวิชาการของวิศวกรรมป้องกันอัคคีภัยแห่งชาติ ครั้งที่1**. วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย. ณ ศูนย์นิทรรศการและประชุมไบเทคบางนา, กรุงเทพฯ.

ประกาศกระทรวงมหาดไทย 2520. **มาตรฐานความปลอดภัยตาม, ปว.103.**

Alpert, R.L. 1972. **Calculation for response time of ceiling mounted fire detector**. Fire Technology, Vol.8.

Buchanan A.H. 1994. **Fire Engineering Design Guide**, Center of Advanced Engineering, University of Canterbury, New Zealand.

Evan, D. 1995. Ceiling jet flow. pp. 2-33 – 2-39. In Nation Fire Protection Association. **SFPE Handbook of Fire Protection Engineering**. United State of America.

George, H. and Ko, Yoon J. 2006. **Using a CFD Simulation in Designing a Smoke Management System in a Building.** Department of Civil and Environmental Engineering, Carleton University 1125 Colonel By Drive Ottawa, Ontario, CANADA.

Jukka, H., H.Simo, H. and V.Jukka. 2004. FDS Simulation of the fire spread comparison of model results with experiment data. **VTT Working paper 4.** Available Source: http://www.vtt.fi/inf/pdf, September 14, 2005.

Jin, T. 1976. **Visibility Through Fire Smoke (Part 5: Allowable Smoke Density for Escape from Fire**. No. 42, 1976. Report of Fire Research Institute of Japan, Tokyo, Japan.

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

McCaffrey, B. 1995. Flame height. pp. 2-1 – 2-8. In Nation Fire Protection Association. **SFPE Handbook of Fire Protection Engineering**. United State of America.

McGrattan, K. 2004. **Fire Dynamics Simulator (Version 4) Technical Reference Guide.** National Institute of Standards and Technology: Gaithersburg, MD.

Ma, T.G. and J.G. Quintiere. 2003. **Numerical Simulation of axi-symmetric fire plumes: accuracy and limitations**, Fire Safety Journal, 38

Nation Fire Protection Association. 2002., **Standard for Smoke and Heat Venting**. NFPA204

Nation Fire Protection Association. 2002., **Guide for Smoke Management System in Malls, Atria , and Large Areas** . NFPA92B

Tewarson, A. 1995. **Generation of Heat and Chemical Compounds in Fires, In: The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering(2nd ed.).** Quincy, MA: National Fire Protection Association.

Thunder Head Enguneering 2006., **PyroSim User Manual.** A Model Construction Tool For Fire Dynamics Simulator .

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ขั้นตอนการเขียนโครงสร้างของอาคารสำนักงานสูง 21 ชั้น

ภาคผนวก ก

ขั้นตอนการเขียนโครงสร้างของอาคารสำนักงานสูง 21 ชั้นโปรแกรม PyroSim

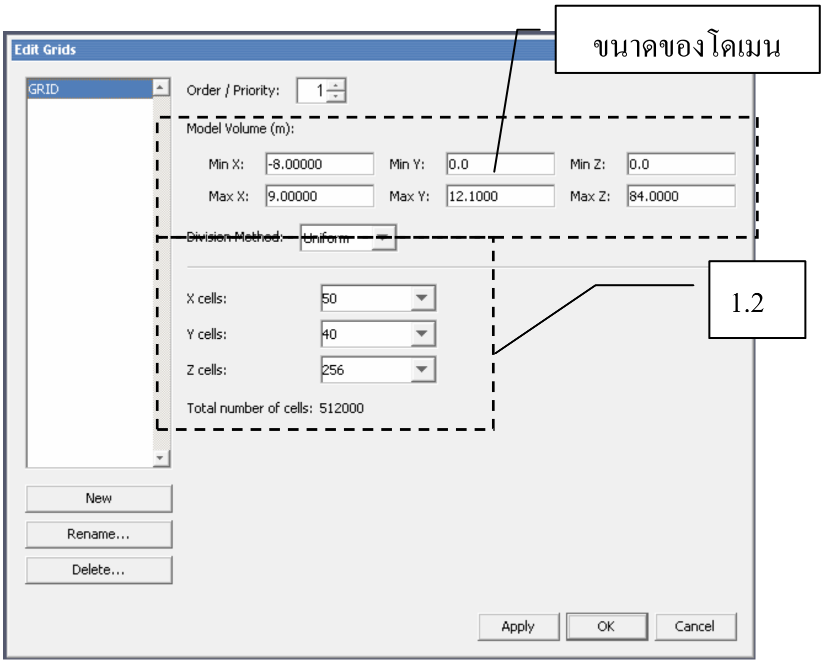
โปรแกรม FDS เป็นโปรแกรมที่เขียนคำสั่งในการสร้างแบบจำลองด้วยรูปแบบข้อความ ซึ่งเป็นความไม่สะดวกอย่างยิ่ง หากต้องสร้างภาพเสมือนสามมิติของแบบจำลองด้วยวิธีดังกล่าว ดังนั้นจึงต้องใช้โปรแกรม PyroSim ซึ่งสามารถเขียนคำสั่งในการสร้างแบบจำลองด้วยรูปแบบกราฟฟิค แล้วจึงบันทึกเป็นไฟล์คำสั่งของ FDS ก่อนทำการคำนวณ และวิเคราะห์ผลจากภาพเสมือนด้วยโปรแกรม SmokeView การสร้างแบบจำลองสามารถอธิบายโดยสังเขป ดังนี้

1. กำหนดกริดของโครงสร้างอาคารมีโดเมนการคำนวณขนาดกว้าง 12.1เมตร , ยาว 17 เมตร และ สูง 84 เมตร โดยลือกที่ Model / Edit Grid แล้วกดปุ่ม New

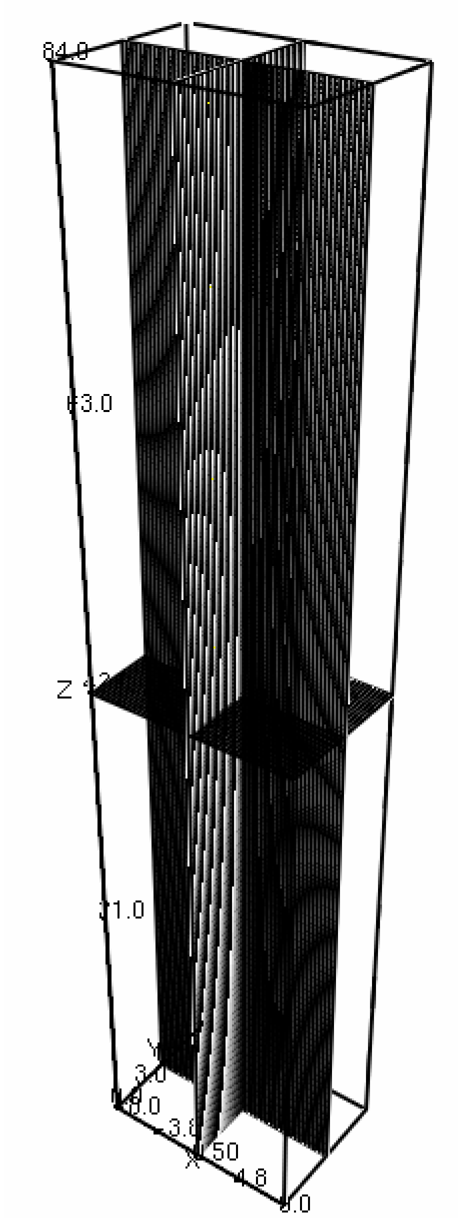
1.1 กำหนดขนาดกริด(เมตร) Δx x Δy x Δz เท่ากับ 0.34 x 0.30 x 0.32

1.2 จำนวนปริมาตรจำกัด 50 x 40 x 256

1.3 กำหนดขนาดกริด (Grid Size) ในหน่วยตัวแปรไร้หน่วย R* เท่ากับ 0.213

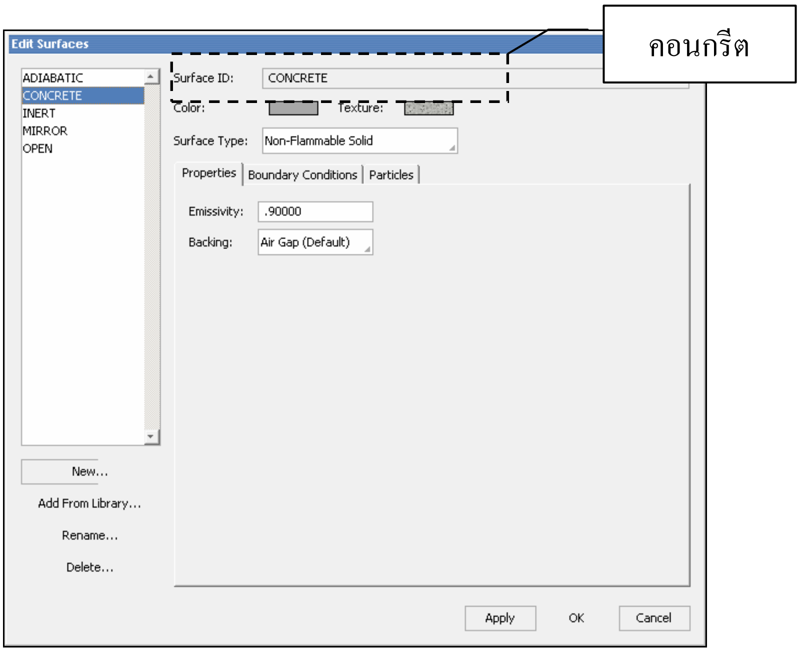


ภาพผนวกที่ ก1 กำหนดตำแหน่ง และ ขนาดของกริด (Grid Size)



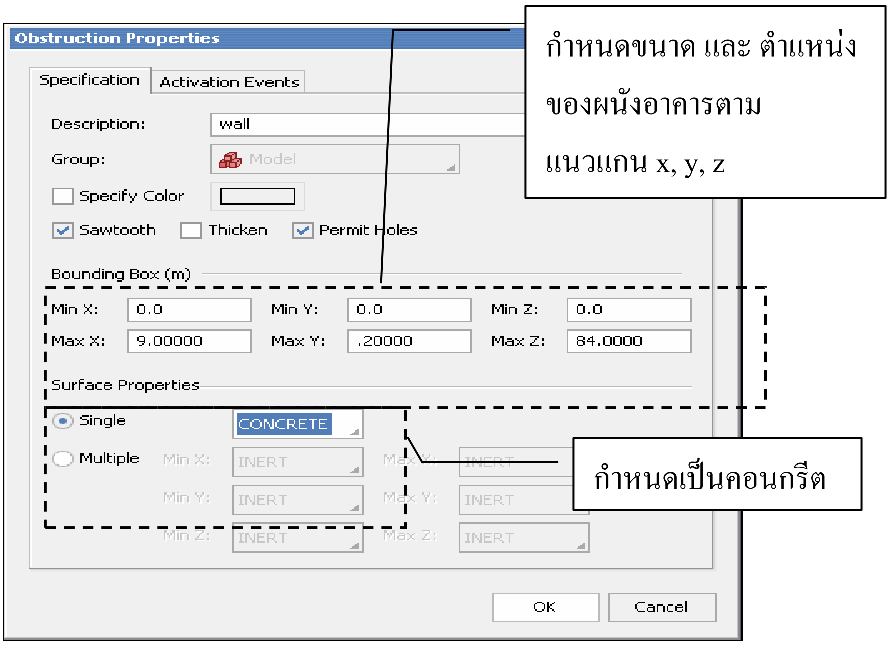
ภาพผนวกที่ ก2 โดเมนการคำนวณ และ การสร้างกริดในการจำลองเพลิงไหม้

2. กำหนดโครงสร้างของอาคาร เช่น กำแพง ผนัง และ บันได โดยเลือกที่ Model/Edit Surface Properties แล้วกดปุ่ม Add From Library เพื่อเลือกคุณสมบัติของวัสดุที่ต้องการจะใช้ในแบบจำลองนี้ เช่น วัสดุคอนกรีต เป็นต้น

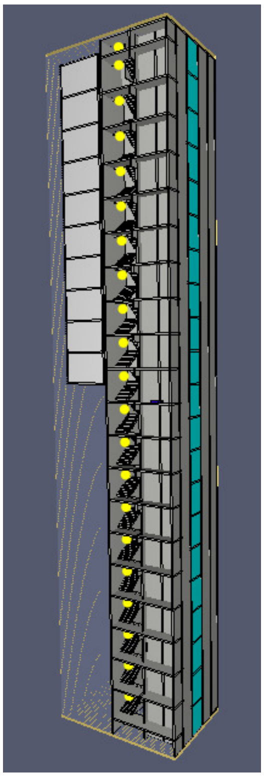


ภาพผนวกที่ ก3 การเพิ่มประเภท และ กำหนดคุณสมบัติของวัสดุ

3. สร้างโครงสร้างของอาคาร ใช้วิธีคำสั่งแบบกราฟฟิค(Graphic) ซึ่งต้องกำหนด ,ตำแหน่ง และ ชนิดของวัสดุซึ่งทำกำแพง, เพดาน, ช่องบันได โดยเลือกไปที่ Model /New Obstruction ดังแสดงโดยภาพผนวกที่ ก4 แสดงการสร้างผนังของอาคารดังนี้

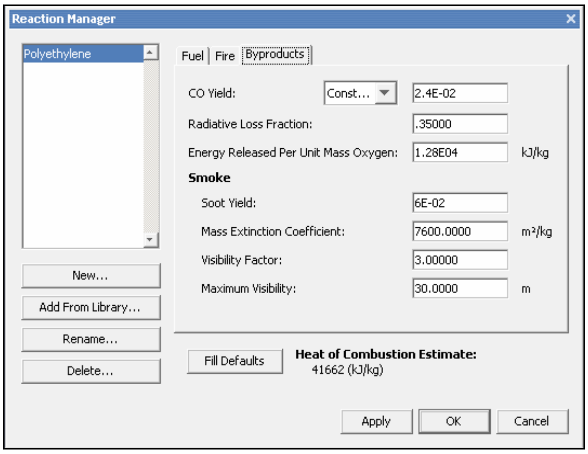


ภาพผนวกที่ ก4 แสดงการสร้างผนังของอาคารสำนักงานโดยคำสั่งวิธีแบบกราฟฟิค (Graphic)



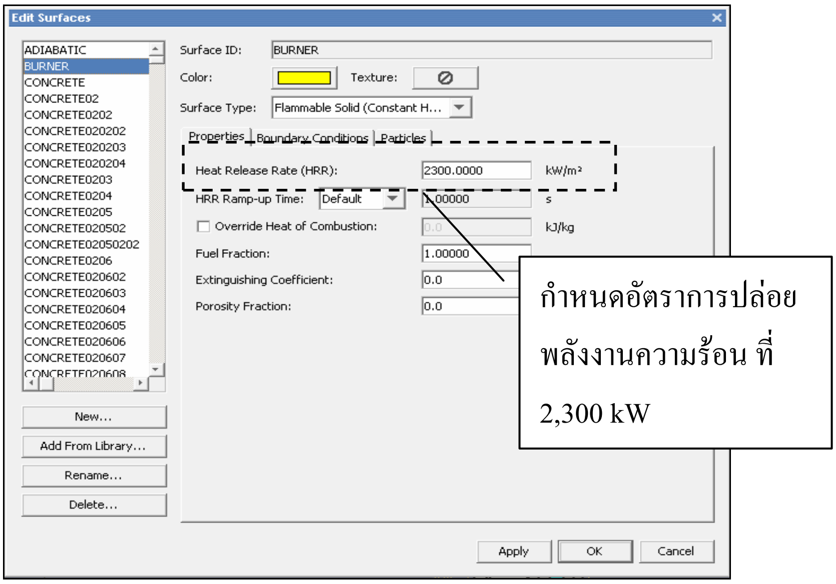
ภาพผนวกที่ ก5 แสดงภาพหลังจากการกำหนดโครงสร้างของอาคารเรียบร้อยแล้ว

4. กำหนดคุณสมบัติของเชื้อเพลิงใน Reaction Manager โดยคลิกที่ Model/Edit Reaction Manager ภาพผนวกที่ ก6 ซึ่งในการทดลองนี้กำหนดเชื้อเพลิงที่เกิดทำมาจากฉนวนหุ้มสายไฟฟ้า Polyethylene (Tewarson, 1995)



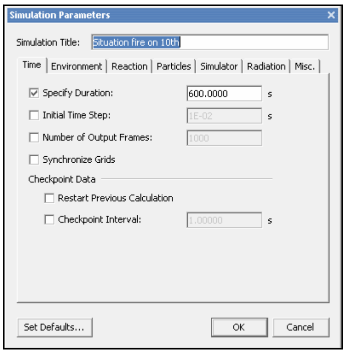
ภาพผนวกที่ ก6 แสดงการกำหนดผลิตภัณฑ์จากการเผาไหม้เชื้อเพลิง Polyethylene

5. กำหนดอัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อน (Heat Release Rate, HRR) เท่ากับ 2,300 kW ซึ่งได้จากผลการทดลองเผาสายไฟฟ้าซึ่งฉนวนทำมาจากชนิดพอลิเอทธิลีน (Polyethylene) ของ Hietaniemi *et .al.* (2004)โดยกำหนดที่ Edit Surface

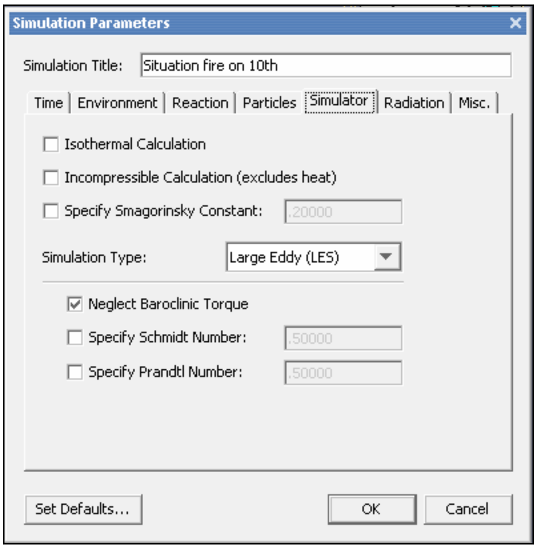


ภาพผนวกที่ ก7 อัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อน (Heat Release Rate, HRR) เท่ากับ 2,300 kW

6. เมื่อสร้างโครงสร้างของอาคาร และ กำหนดคุณสมบัติของเชื้อเพลิงต่างๆแล้ว ในขั้นตอนต่อไปต้องกำหนดการพารามิเตอร์ในการสร้างแบบจำลอง (Simulation Parameter) โดยคลิกไปที่ FDS / Simulation Parameter ซึ่งกำหนดให้ใช้เวลาในการคำนวณ 600 วินาที แสดงในภาพผนวกที่ ก8 และ โดยระเบียบวิธีวิจัย LES (Large Eddy Simulation) แสดงในภาพผนวกที่ ก9



ภาพผนวกที่ ก8 กำหนดเวลาที่ใช้ในการคำนวณในแบบจำลอง ในเวลา 600 วินาที



ภาพผนวกที่ ก9 แสดงการกำหนดระเบียบวิธีวิจัย LES (Large Eddy Simulation)

7. หลังจากสร้างโครงสร้างของอาคาร และ กำหนดพารามิเตอร์ต่างๆเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ก็ต้องทำการแปลไฟท์เป็นไฟท์ซึ่งใช้กับโปรแกรม FDS โดยเลือกที่ File / Export / FDS Files แล้วบันทึกโดยกำหนดชื่อไฟท์ในนามสกุลว่า file.data

8. เปิดโปรแกรม FDS โดยเลือกที่ Command Prompt แล้วเลือกไปยังที่อยู่ของไฟท์ที่บันทึกไว้ โดยพิมพ์คำสั่งดังนี้

fds4<file.data

ภาคผนวก ข

ขั้นตอนการกำหนดขนาด และ ตำแหน่งของกองเพลิงในห้องไฟฟ้าชั้น 10

ภาคผนวก ข

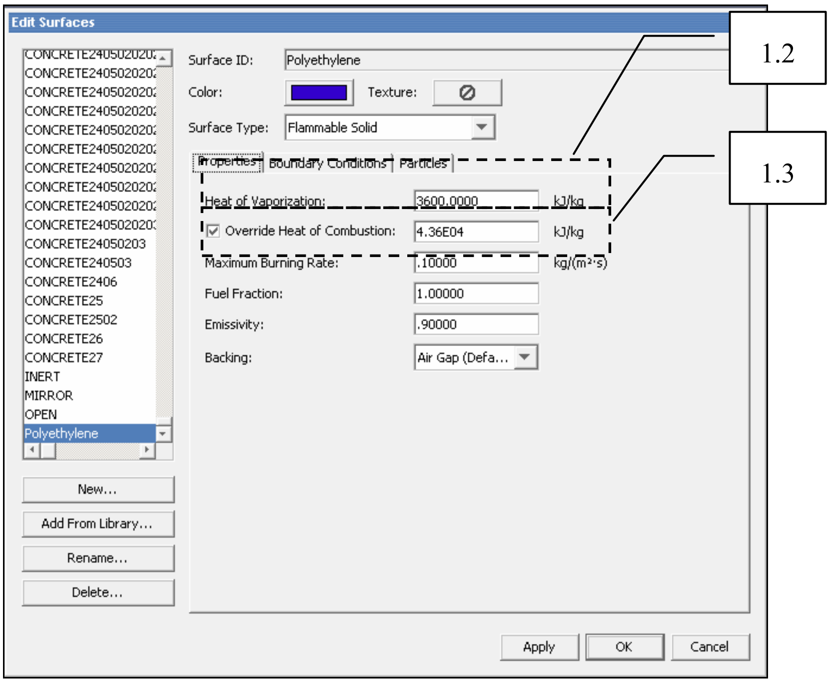
ขั้นตอนการกำหนดขนาด และ ตำแหน่งของกองเพลิงในห้องไฟฟ้าชั้น 10

1. เพิ่มรายการวัสดุเชื้อเพลิงโดยเลือกที่ Model/Edit Surface Properties แล้วกดปุ่ม New เพื่อกำหนดคุณสมบัติของวัสดุเชื้อเพลิง Polyethylene ดังนี้

1.1. เลือกSurface Type ที่ Flammable Solid

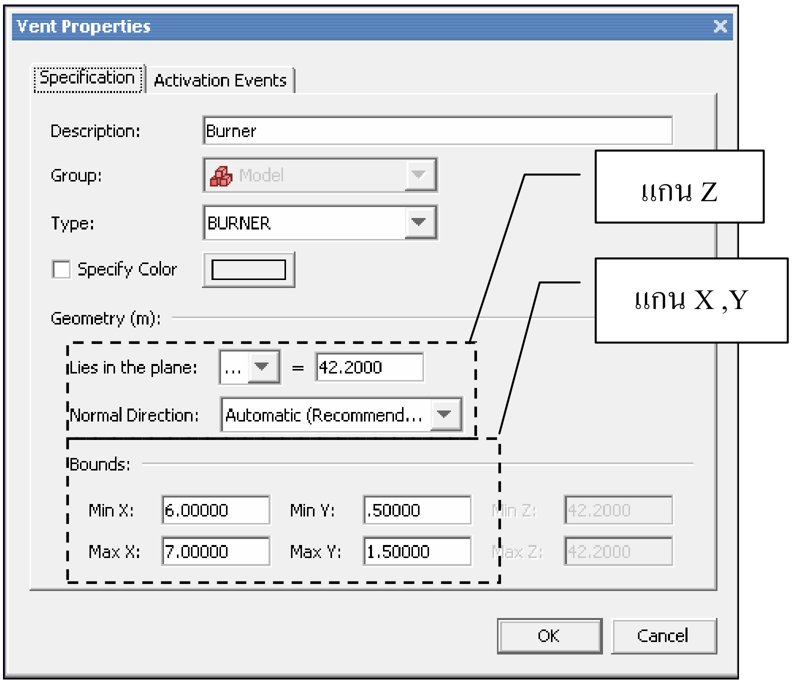
1.2. กำหนด Heat of Vaporization เท่ากับ 3,600 kJ/kg

1.3. กำหนด Heat of Combustion เท่ากับ 4.36 x 10^4 kJ/kg



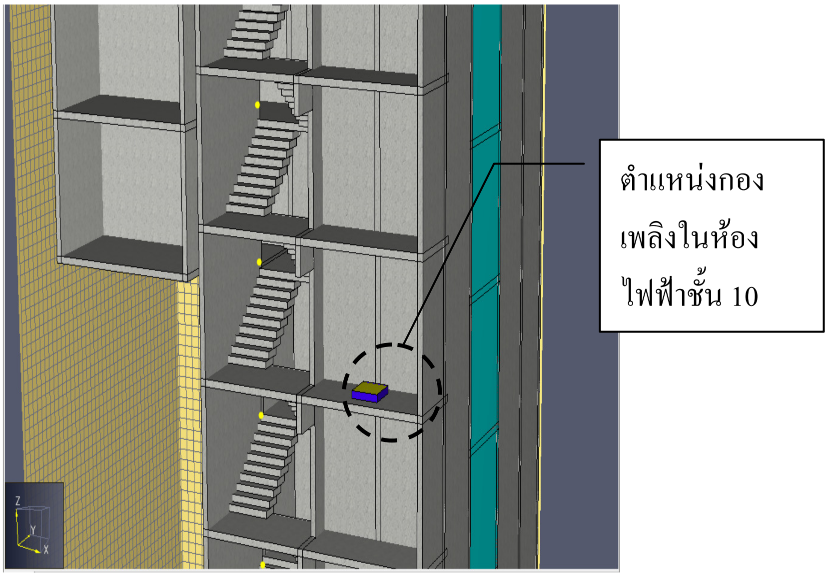
ภาพผนวกที่ ข1 กำหนดคุณสมบัติของวัสดุเชื้อเพลิง Polyethylene

2. สร้างกองเพลิงเชื้อเพลิงโดยเลือกที่ Model/New Vent กำหนดตำแหน่งของกองเพลิง ดังนี้ในแนวแกน X (6,7) , Y(0.5,1.5) , Z(0,42.2)



ภาพผนวกที่ ข2 กำหนดขนาด และ ตำแหน่งของกองเพลิงเชื้อเพลิง Polyethylene

3. ภาพจำลองตำแหน่งของกองเพลิงเกิดขึ้นที่ห้องไฟฟ้าชั้น 10



ภาพผนวกที่ ข3 แสดงภาพตำแหน่งกองเพลิงที่ห้องไฟฟ้าชั้น 10 ในโปรแกรม PyroSim

ภาคผนวก ค

ขั้นตอนการกำหนดขนาด และ ตำแหน่งของกองเพลิงในห้องไฟฟ้าชั้นใต้ดิน

ภาคผนวก ค

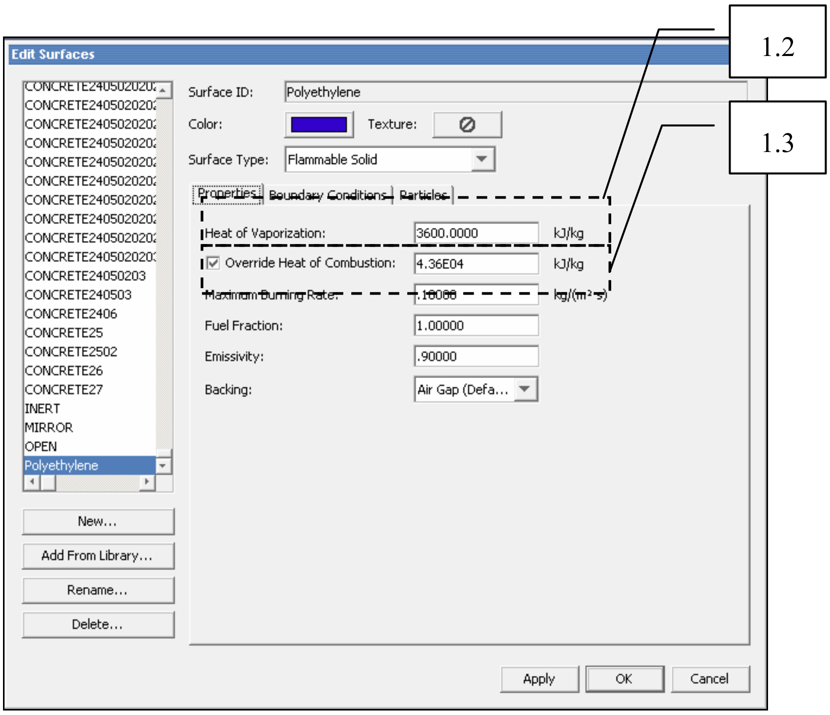
ขั้นตอนการกำหนดขนาด และ ตำแหน่งของกองเพลิงในห้องไฟฟ้าชั้นใต้ดิน

1. เพิ่มรายการวัสดุเชื้อเพลิงโดยเลือกที่ Model/Edit Surface Properties แล้วกดปุ่ม New เพื่อกำหนดคุณสมบัติของวัสดุเชื้อเพลิง Polyethylene ดังนี้

1.1. เลือกSurface Type ที่ Flammable Solid

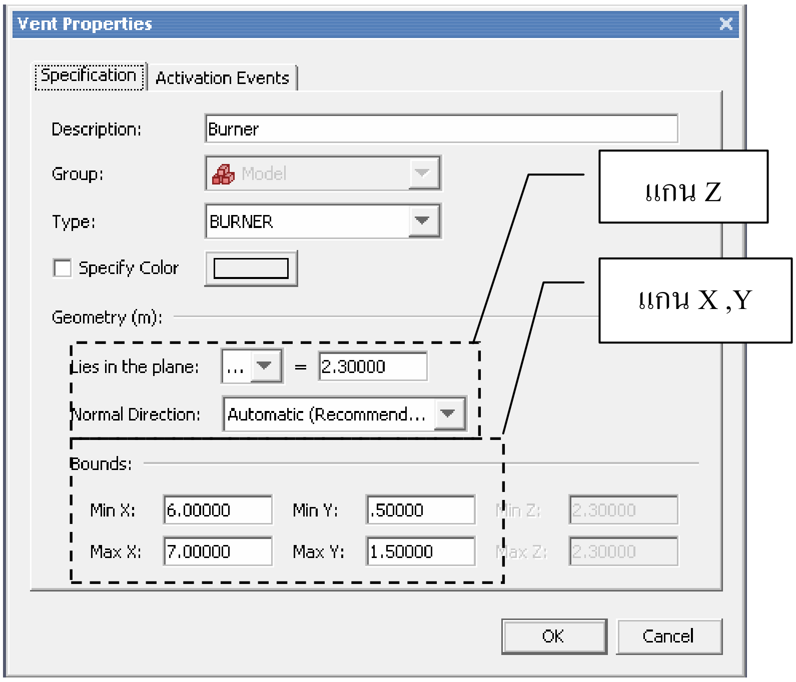
1.2. กำหนด Heat of Vaporization เท่ากับ 3,600 kJ/kg

1.3. กำหนด Heat of Combustion เท่ากับ 4.36 x 10^4 kJ/kg



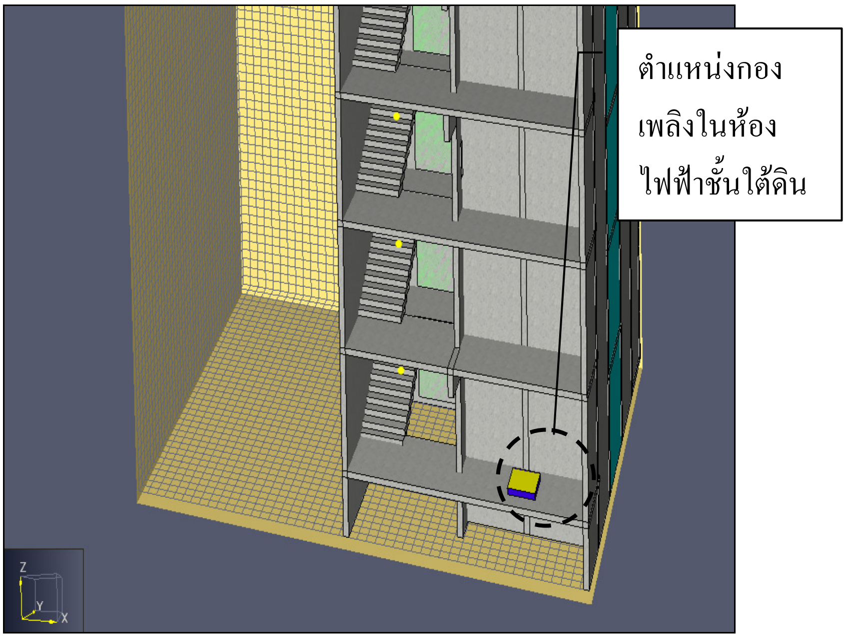
ภาพผนวกที่ ค1 กำหนดคุณสมบัติของวัสดุเชื้อเพลิง Polyethylene

2. สร้างกองเพลิงเชื้อเพลิงโดยเลือกที่ Model/New Vent กำหนดตำแหน่งของกองเพลิงดังนี้ในแนวแกน X (6,7) , Y(0.5,1.5) , Z(0,2.3)



ภาพผนวกที่ ค2 กำหนดขนาด และ ตำแหน่งของกองเพลิงเชื้อเพลิง Polyethylene

3. ภาพจำลองตำแหน่งของกองเพลิงเกิดขึ้นที่ห้องไฟฟ้าชั้นใต้ดิน



ภาพผนวกที่ ค3 แสดงภาพตำแหน่งกองเพลิงที่ห้องไฟฟ้าชั้นใต้ดินในโปรแกรม PyroSim

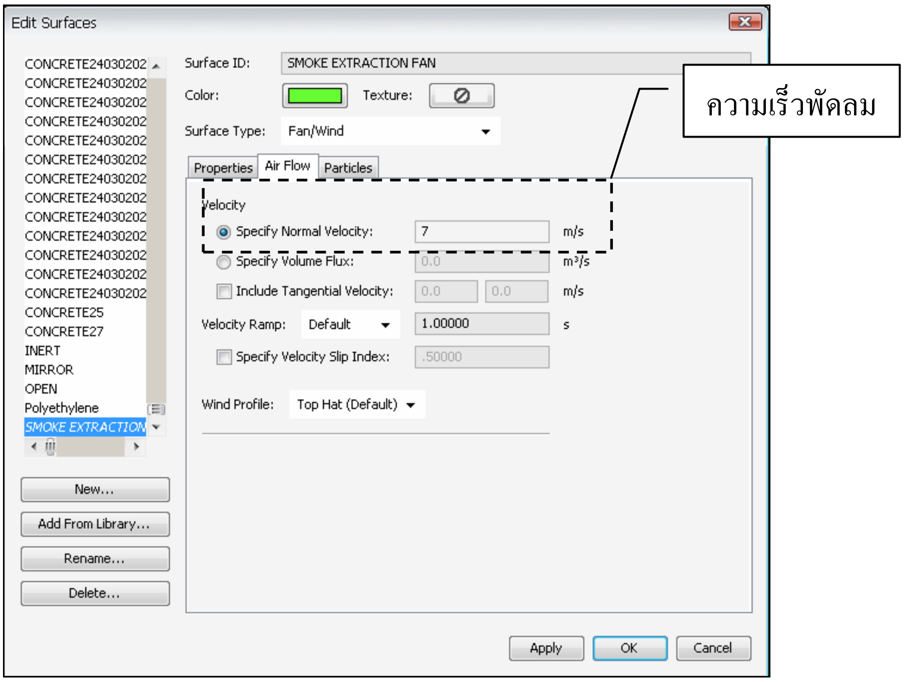
ภาคผนวก ง

ขั้นตอนการกำหนดพัดลมระบายควัน(Smoke Exhaust Fan)

ภาคผนวก ง

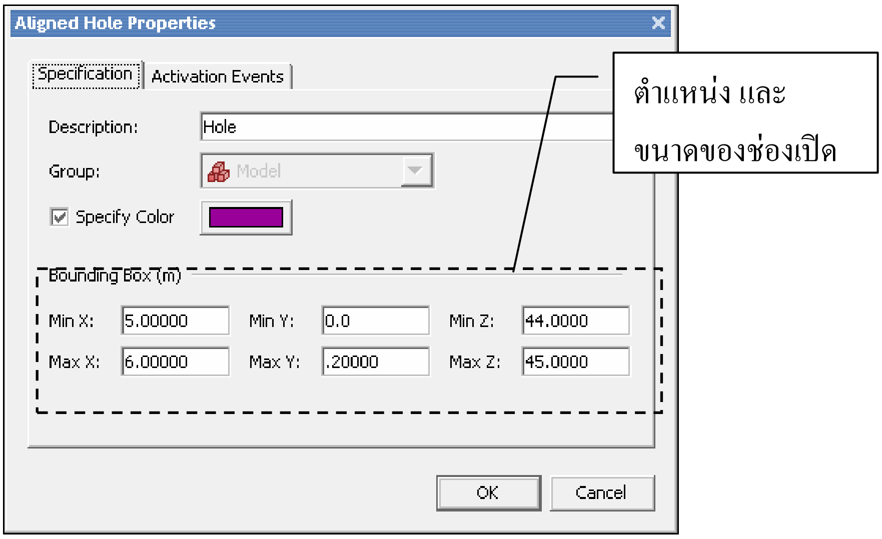
ขั้นตอนการกำหนดพัดลมระบายควัน(Smoke Exhaust Fan) โดยโปรแกรม PyroSim

1. กำหนดขนาดพัดลมระบายควัน (Smoke Exhaust Fan) โดยเลือกที่ Model/Edit Surface Properties แล้วกดปุ่ม New เพื่อกำหนดความเร็วของพัดลมระบายควัน (Smoke Exhaust Fan) เท่ากับ 7 m / s



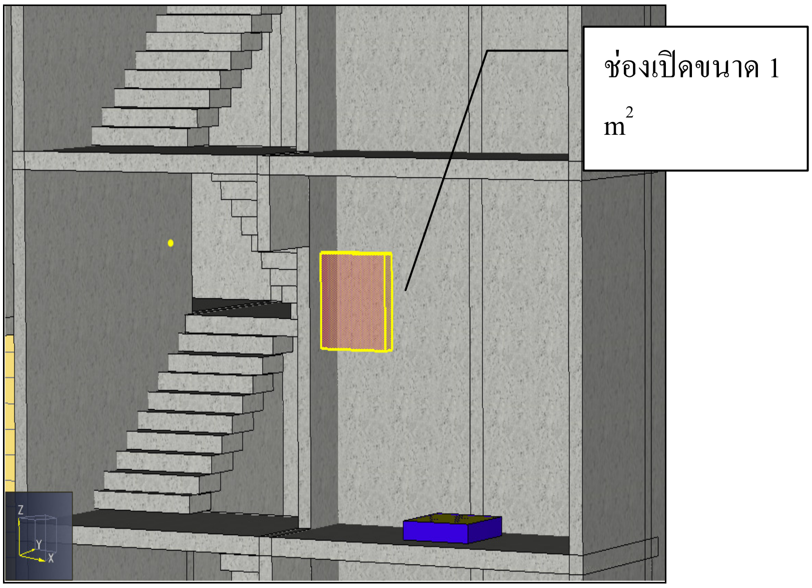
ภาพภนวกที่ ง1 กำหนดความเร็วของพัดลมระบายควัน (Smoke Exhaust Fan)

2. กำหนดช่องเปิด(Hold) เพื่อติดตั้งพัดลมระบายควัน (Smoke Exhaust Fan) ตรงบริเวณผนังของห้องไฟฟ้าทุกชั้น โดยเลือกที่ Model / New Hold เพื่อกำหนดขนาดช่องเปิดขนาดความกว้าง 1 เมตร ยาว 1 เมตร และ หนา 0.2 เมตร และกำหนดตำแหน่งของช่องเปิดทุกชั้น เช่น แสดงในตัวอย่างช่องเปิดของชั้น 10 คือ X (5,6) , Y(0,0.2), Z(44,45) เป็นต้น



ภาพภนวกที่ ง2 กำหนดขนาด และ ตำแหน่งของช่องเปิด

3. แสดงภาพตำแหน่ง และ ขนาดของช่องเปิด(Hold) ที่ห้องไฟฟ้าชั้น 10 โดยโปรแกรม PyroSim



ภาพภนวกที่ ง3 แสดงภาพตำแหน่งช่องเปิดที่ห้องไฟฟ้าชั้น 10 ในโปรแกรม PyroSim

ภาคผนวก จ

รายการคำนวณอัตราการระบายควันแบบควันไฟเกิดกลางโถง (Axisymmetric Plume)

ภาคผนวก จ

รายการคำนวณอัตราการระบายควันแบบควันไฟเกิดกลางโถง (Axisymmetric Plume)

1. ขนาดของห้องไฟฟ้ามีความสูง 13.12 ft (4 m) และ มีอัตราการปล่อยพลังงานความร้อน (Heat Release Rate) 2180 bti/s (2,300 kW) ดังนั้นสามารถหาความร้อนการการพา(Heat of convection, E_c) และ ความสูงของจำกัดของควัน(Z_1)ได้ดังนี้

$$E_c = 0.7E = (0.7) \bullet (2{,}180) = 1{,}526 \text{ but/s}$$

$$Z_1 = 0.533{E_c}^{2/5} = (0.533) \bullet (1{,}526)^{2/5} = 10 \text{ ft}$$

2. นำความสูงของจำกัดของควัน(Z_1) เทียบกับ ความสูงของระดับควัน(Z) ซึ่งต้องการควบคุมควันให้อยู่ที่ระดับ 9.84 ft (3 m) ดังนั้น $Z < Z_1$

3. ดังนั้นจึงต้องใช้สมการที่ (17) มาใช้ในการคำนวณซึ่งได้ผลการคำนวณดังนี้

$$\dot{m} = 0.0208{E_c}^{3/5}Z$$

(17)

$$\dot{m} = (0.0208) \bullet (1{,}526^{3/5}) \bullet (9.84) = 16.64 \text{ lb/s}$$

4. คำนวณหาปริมาณการไหล(Volume flow rate, $\dot{V}$) ได้ 16.64 lb/s หรือ 13,320 CFM หรือ 6.28 m^3/s

5. ความเร็ว(Velocity, v) ของพัดลมดูดควัน(Smoke Exhaust Fan) เมื่อมีพื้นที่หน้าตัดของพัดลมเท่ากับ 1 m x 1 m เท่ากับ 6.28 m/s แต่เพื่อความสะดวกในการเขียนโปรแกรมจึงกำหนดให้มีความเร็วเท่ากับ 7 m/s

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นายบุญศักดิ์ ทรัพย์เชี่ยวชาญ
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 20 มกราคม 2519
สถานที่เกิด	สมุทรปราการ
ประวัติการศึกษา	ปริญญาตรี อุตสาหกรรมศาสตร์บัณฑิต (เครื่องกล)
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	ผู้ช่วยผู้จัดการวิศวกรรม และ บริการ
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	บริษัท พร้อม เทคโน เซอร์วิส จำกัด