ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย)

ปริญญา

วิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย — **สาขา**

โครงการสหวิทยาการระดับบัณฑิตศึกษา — **ภาควิชา**

เรื่อง การออกแบบระบบสปริงเกลอร์และการศึกษาผลของการติดตั้งระบบสปริงเกลอร์ในบ้านพักอาศัยโดยวิธีการคำนวณชลศาสตร์และการจำลองพลศาสตร์อัคคีภัย

Design Sprinkler System and Study Result of Installation Sprinkler System in Dwelling by Hydraulic Calculation and Fire Dynamic Simulator

นามผู้วิจัย นายธนโชค สุขจิตต์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

(อาจารย์อภิชาต แจ้งบำรุง, Ph.D.)

ประธานสาขาวิชา .....

(รองศาสตราจารย์สุรชัย รดาการ, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

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

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การออกแบบระบบสปริงเกลอร์และการศึกษาผลของการติดตั้งระบบสปริงเกลอร์ในบ้านพักอาศัย โดยวิธีการคำนวณชลศาสตร์และการจำลองพลศาสตร์อัคคีภัย

Design Sprinkler System and Study Result of Installation Sprinkler System in Dwelling by Hydraulic Calculation and Fire Dynamic Simulator

โดย

นายธนโชค สุขจิตต์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย)
พ.ศ. 2552

ธนโชค สุขจิตต์ 2552: การออกแบบระบบสปริงเกลอร์และการศึกษาผลของการติดตั้งระบบสปริงเกลอร์ในบ้านพักอาศัยโดยวิธีการคำนวณชลศาสตร์และการจำลองพลศาสตร์อัคคีภัย ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย) สาขาวิชาวิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย โครงการสหวิทยาการระดับบัณฑิตศึกษา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: อาจารย์อภิชาต แจ้งบำรุง, Ph.D. 157 หน้า

งานวิจัยนี้ศึกษาการออกแบบระบบสปริงเกลอร์ในบ้านพักอาศัยโดยใช้โปรแกรม FHC (Full Hydraulic Calculation) มาช่วยในการคำนวนหาความดันสูญเสียในท่อเพื่อเลือกขนาดของปั๊มให้เหมาะสมกับความต้องการในระบบและคำนวณหาอัตราการไหลและความดันของหัวสปริงเกลอร์ขณะทำงานในห้องที่เกิดเพลิงไหม้จากนั้นจะทำการวิเคราะห์ถึงผลของการติดตั้งระบบสปริงเกลอร์กับการเกิดเพลิงไหม้โดยใช้โปรแกรม FDS(Fire Dynamics simulator) มาแสดงผลการจำลองเปรียบเทียบผลกระทบที่เกิดจากเพลิงไหม้ระหว่างบ้านที่ไม่ได้ทำการติดตั้งระบบสปริงเกลอร์กับบ้านที่ติดตั้งระบบสปริงเกลอร์

งานวิจัยนี้กำหนดสมมุติฐานให้เกิดเพลิงไหม้ที่ห้องนั่งเล่นซึ่งเป็นพื้นที่ปิดล้อมเมื่อเกิดเพลิงไหม้จะมีความรุนแรงมากที่สุดและมีโอกาสที่เกิดปรากฏการณ์ไฟลุกท่วมห้อง (Post Flash over) โดยในการจำลองจะกำหนดค่าอัตราการปล่อยพลังงานความร้อน(Heat Release Rate) ของต้นเพลิง(Burner) ขนาดเท่ากับ 50 กิโลวัตต์ ที่บริเวณโซฟาในห้องนั่งเล่นและใช้เวลาในการจำลองนาน 480 วินาที จากนั้นให้ทำการจำลองบ้านที่ติดตั้งสปริงเกลอร์ตามตำแหน่งที่ออกแบบเอาไว้เพื่อนำผลที่ได้จากการจำลองมาเปรียบเทียบกัน

ผลการศึกษาพบว่าขนาดของปั๊มที่ระบบต้องการคืออัตราการไหล 83.8 ลิตร/นาทีที่ความดัน 1.325 บาร์ สำหรับอัตราการไหลและความดันขณะที่สปริงเกลอร์ทำงานในห้องนั่งเล่นคือ 52 ลิตร/นาทีที่ความดัน 0.742 บาร์จากนั้นเมื่อใช้โปรแกรม FDS มาจำลองจะพบว่าเพลิงในห้องนั่งเล่นจะเกิดการลุกไหม้จนเกิดการ Post Flash over ขึ้นที่เวลา 443 วินาทีโดยค่าอัตราการปล่อยพลังงานความร้อนอยู่ที่ 6500 กิโลวัตต์และอุณหภูมิในห้องจะเพิ่มสูงถึง 850 ^{o}C สำหรับระยะการมองเห็นที่บันไดจะเป็น 0 เมตรที่เวลา 250 วินาที หลังจากติดตั้งสปริงเกลอร์พบว่าจะช่วยให้ค่าอัตราการปล่อยพลังงานความร้อนลดลงเป็น 0 กิโลวัตต์และอุณหภูมิลดลงเหลือ 20 ^{o}C สำหรับระยะการมองเห็นเพิ่มขึ้นเป็น 15 เมตร

_____ _____ ___ / ___ / ___

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Thanachok Sukjit 2009: Design Sprinkler System and Study Result of Installation Sprinkler System in Dwelling by Hydraulic Calculation and Fire Dynamic Simulator. Master of Engineering (Fire Protection Engineering), Major Field: Fire Protection Engineering, Interdisciplinary Graduate Program. Thesis Advisor: Mr. Apichart Changbamrung, Ph.D. 157 pages.

This research studied designing home fire sprinkler by use a Full Hydraulic Calculation program to help in the calculation the pressure loss in a pipe for choose the capacity of pump are appreciate the requirement in the system and calculation flow rate and pressure of sprinkler activate in room fire. Analyze result of installation sprinkler with fire case. Use FDS program (Fire Dynamics simulator) to simulate for compare with the effect from the fire between a house where do not installation sprinkler and a house do installation sprinkler.

Give the situation that the fire start in living room which the compartment fire when the fire start will most violence and have to change the post flash over. In the simulation was set heat release rate of burner as 50 KW at sofa in living room and use time to simulate 480 second. Simulation house installation sprinkler refer position of sprinkler as designed for bring the result of simulation are compare.

The studies shown that the capacities of pump where the system want are 83.8 liters/minute at pressure 1.325 bar. For flowrate and pressure of sprinkler activate in living room is 52 liters/minute at pressure 0.742 bar. The result of simulation by FDS program was shown that in living room will be generate Post flash over phenomenon at time 443 second. Heat release is 6500 KW and temperature was increase to 850 ^{o}C. For visibility at stair was decrease is 0 meter in 250 second. After installation sprinkler the result of simulation was shown that the heat release is 0 KW and temperature was decrease to 20 ^{o}C. For visibility at stair was increase is 15 meters.

_____ _____ ___ / ___ / ___

Student's signature Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ดร.อภิชาต แจ้งบำรุง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำและตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.สุรชัย รดาการ ประธานโครงการวิศวกรรมป้องกันอัคคีภัยที่จัดตั้งโครงการวิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย ซึ่งเป็นประโยชน์ในการศึกษาและการทำงานในทางวิศวกรรมได้เป็นอย่างยิ่ง

ขอขอบพระคุณอาจารย์ประจำโครงการฯทุกท่าน ที่ได้ให้ความรู้ ตลอดจนตลอดจนเจ้าหน้าที่โครงการที่ช่วยเหลือในการติดต่อประสานงาน

ขอขอบคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ภรรยา น้อง และ พี่ๆ เพื่อนๆ ทุกท่านที่ให้กำลังใจสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงได้

ธนโชค สุขจิตต์

กันยายน 2552

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(8)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	45
อุปกรณ์	45
วิธีการ	45
ผลและวิจารณ์	63
ผล	63
วิจารณ์	101
สรุปและข้อเสนอแนะ	102
สรุป	102
ข้อเสนอแนะ	103
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	104
ภาคผนวก	106
ภาคผนวก ก ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม FDS(Flowchart)	107
ภาคผนวก ข ผล Hydraulic Calculation ด้วยโปรแกรม FHC	109
ภาคผนวก ค Input File ของแบบจำลองบ้านพักอาศัย	118
ภาคผนวก ง อุปกรณ์ที่ใช้ในการติดตั้งระบบสปริงเกลอร์ในบ้านพักอาศัย	140
ภาคผนวก จ ผลการคำนวณ Manual Hydraulic Calculation	154
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	157

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน	11
2	ผลกระทบของความร้อนจากการแผ่รังสีความร้อนที่ขนาดต่างๆ	12
3	อัตราการเผาไหม้สูงสุดต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ (Maximum burning flux)	14
4	สัมประสิทธิ์การลามไฟ (Growth Factor)	16
5	สัมประสิทธิ์การลามไฟตามลักษณะการใช้งาน	17
6	ข้อมูลแสดงประสิทธิภาพของระบบโปรยน้ำดับเพลิง	24
7	การกระจายน้ำของหัวสปริงเกลอร์ที่ความดันและอัตราการไหลต่างๆ	30
8	สัมประสิทธิ์ Hazen-William C Values	32
9	ความยาวสมมูลของข้อต่อต่างๆ	32
10	ค่าแรงเสียดทานของท่อขนาดต่างๆ	33
11	แสดงอัตราการเกิดเพลิงไหม้ในบ้านพักอาศัย	47

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	แสดงองค์ประกอบของการเกิดเพลิงไหม้	6
2	การถ่ายเทความร้อนของเพลิงไหม้	9
3	แสดงการพัฒนาของไฟในพื้นที่ปิดล้อม	15
4	แสดงการพัฒนาของไฟแบบ Fully Developed	18
5	แสดงปริมาณน้ำดับเพลิงที่ใช้จากหัวโปรยน้ำเปรียบเทียบกับสายฉีดน้ำดับเพลิง	25
6	แสดงการดับเพลิงด้วยละอองน้ำ	28
7	การทดลองแบบไม่ติดสปริงเกลอร์ที่เวลา 60 วินาทีเปรียบเทียบกันระหว่างการทดลองและแบบจำลองด้วยโปรแกรม FDS	34
8	กราฟแสดงการเปรียบเทียบอัตราการปล่อยพลังงานความร้อนระหว่างการทดลองและโปรแกรม FDS	35
9	แสดงสปริงเกลอร์ตัวแรกเริ่มทำงานที่เวลา 25 วินาทีเปรียบเทียบกันระหว่างการทดลองและแบบจำลองด้วยโปรแกรม FDS	36
10	แสดงสปริงเกลอร์ตัวแรกเริ่มทำงานที่เวลา 50 วินาทีเปรียบเทียบกันระหว่างการทดลองและแบบจำลองด้วยโปรแกรม FDS	36
11	แสดงแนวโน้มของอุณหภูมิที่ลดลงเมื่อมีการติดตั้งสปริงเกลอร์ที่เปรียบเทียบกันระหว่างการทดลองและแบบจำลองด้วยโปรแกรม FDS	37
12	ภาพจำลองอุณหภูมิของลำควันในเวลา 24.1 วินาที, ขนาดกริด (Grid Size) และ อัตราการปลดปล่อยความร้อน (Heat Release Rate) เท่ากับ 1,000 kW	39
13	ภาพถ่ายของหัวสปริงเกลอร์ขณะกำลังทำงาน	40
14	ตำแหน่งของมุมต่างของการกระจายตัวของหยดน้ำที่จะทำการวัดขนาดละอองน้ำ	41
15	Furniture calorimeter	42
16	พื้นที่ของ Burner ที่ให้ความร้อน	43
17	โซฟาแบบต่างๆ ที่นำมาทดลอง	43

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
18	ค่าอัตราการปลดปล่อยพลังงาน (Heat Release rate) ของโซฟาแบบต่างๆ	44
19	แบบแปลนบ้านแสดงห้องต่างๆ	46
20	แสดงการทำงานของระบบสปริงเกลอร์ในบ้านพักอาศัย	48
21	แสดงการวางตำแหน่งปั๊มและแนวการเดินท่อของระบบสปริงเกลอร์	49
22	แสดงระยะของแนวท่อเริ่มจากปั๊มไปห้องนอนใหญ่และห้องนอนเล็ก	50
23	แสดงการใช้ Mesh size Calculator เพื่อหาขนาด Mesh size	52
24	แสดงผลการใช้ Mesh size Calculator เพื่อหาขนาด Mesh size	53
25	แสดงแนวท่อที่ต้องการคำนวณ Friction Loss ของท่อดับเพลิงจากปั๊มไปหัวสปริงเกลอร์ที่ติดตั้งในห้องนอนเล็กและห้องนอนใหญ่ที่ชั้น 2	63
26	ผลการคำนวณขนาดของปั๊มด้วยโปรแกรม Full Hydraulic Calculation กรณีสปริงเกลอร์ทำงาน 1 หัวในห้องนอนเล็ก	64
27	แสดงอัตราการไหลและความดันขณะหัวสปริงเกลอร์ทำงานกรณีสปริงเกลอร์ทำงาน 1 หัวในห้องนอนเล็ก	65
28	ผลการคำนวณขนาดของปั๊มด้วยโปรแกรม Full Hydraulic Calculation กรณีสปริงเกลอร์ทำงาน 1 หัวในห้องนอนใหญ่	66
29	แสดงอัตราการไหลและความดันขณะหัวสปริงเกลอร์ทำงานกรณีสปริงเกลอร์ทำงาน 1 หัวนห้องนอนใหญ่	67
30	แสดงแนวท่อที่ต้องการคำนวณ Friction Loss ของท่อดับเพลิงจากปั๊มไปหัวสปริงเกลอร์ที่ติดตั้งในห้องนอนชั้น 2 กรณีที่สปริงเกลอร์ทำงาน 2 หัว	68
31	ผลการคำนวณขนาดของปั๊มด้วยโปรแกรม Full Hydraulic Calculation กรณีสปริงเกลอร์ทำงาน 2 หัว	69
32	แสดงอัตราการไหลและความดันขณะหัวสปริงเกลอร์ทำงานกรณีสปริงเกลอร์ทำงาน 2 หัว	70
33	แสดงสมรรถนะปั๊มที่ต้องการในระบบ	71
34	แสดงตำแหน่งหัวสปริงเกลอร์ที่อยู่ในห้องนั่งเล่นและห้องนอน	72

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
35	ผลการคำนวณเปรียบเทียบของอัตราการไหลและความดันทำงานของหัวสปริงเกลอร์ในห้องนั่งเล่นที่ชั้น 1 และห้องนอนที่ชั้น 2	72
36	แสดงแบบบ้านที่จะทำการจำลอง	73
37	แสดงการกระจายตัวของควันที่เวลา 40 วินาที	74
38	แสดงการกระจายตัวของควันที่เวลา 90 วินาที	74
39	แสดงการกระจายตัวของควันที่เวลา 150 วินาที	75
40	แสดงการกระจายตัวของควันที่เวลา 300 วินาที	75
41	แสดงการกระจายตัวของควันที่ช่องบันไดที่เวลา 10 วินาที	76
42	แสดงการกระจายตัวของควันที่ช่องบันไดที่เวลา 60 วินาที	76
43	แสดงการกระจายตัวของควันที่ช่องบันไดที่เวลา 120 วินาที	77
44	แสดงการกระจายตัวของควันที่ช่องบันไดที่เวลา 250 วินาที	77
45	ภาพตัดขวางแนวแกน X ที่ X = 5.8 แสดงการมองเห็นที่เวลา 120 วินาที	78
46	ภาพตัดขวางแนวแกน X ที่ X = 5.8 แสดงการมองเห็นที่เวลา 250 วินาที	78
47	ภาพแสดงโซฟาตัวใกล้เคียงเริ่มติดไฟเนื่องจากการแผ่รังสีความร้อนที่เวลา 358 วินาที	79
48	ภาพแสดง Heat Flux ขณะที่โซฟาตัวใกล้เคียงเริ่มติดไฟที่เวลา 358 วินาที	80
49	ภาพแสดงการเกิด Post Flash Over ที่เวลา 443 วินาที	80
50	ภาพแสด งHeat Flux ขณะที่เกิด Post Flash Over ที่เวลา 443 วินาที	81
51	ภาพแสดงการลุกลามของไฟจากห้องรับแขกมาที่บันไดและประตูที่เวลา 464 วินาที	81
52	กราฟแสดงอัตราการปลดปล่อยพลังงานของแบบจำลองที่เวลา 0-480 วินาที	82
53	แสดงตำแหน่งการติดตั้งตัววัดอุณหภูมิเพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ	83
54	กราฟแสดงการเพิ่มขึ้นของตัวจับอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆที่เวลา 0-480 วินาที	83
55	ภาพตัดขวางแนวแกน X ที่ X = 3.10 แสดงอุณหภูมิที่เวลา 443 วินาที	84
56	ภาพตัดขวางแนวแกน Z ที่ Z = 1.50 แสดงอุณหภูมิที่เวลา 443 วินาที	84
57	ภาพแสดงอุณหภูมิภายของผนังในห้องนั่งเล่นที่เวลา 443 วินาที	85

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
58	ภาพตัดขวางแนวแกน X ที่ X = 5.8 แสดงอุณหภูมิที่เวลา 463 วินาที	86
59	ภาพแสดงเปลวไฟพุ่งออกมาจากประตูที่เวลา 480 วินาที	86
60	ภาพแสดงอัตราการปลดปล่อยพลังงานเปรียบเทียบกันกรณีไม่หยุดการทำงานและหยุดการทำงานของBurner ที่เวลา 200 วินาที	87
61	ภาพแสดงอัตราการปลดปล่อยพลังงานเปรียบเทียบกันกรณีไม่หยุดการทำงานและหยุดการทำงานของBurner ที่เวลา 300 วินาที	88
62	ภาพแสดงสปริงเกลอร์หัวที่ 1 เริ่มทำงานที่เวลา 40 วินาที	89
63	ภาพแสดงสปริงเกลอร์หัวที่ 2 เริ่มทำงานที่เวลา 73 วินาที	89
64	แสดงการกระจายตัวของควันที่เวลา 150 วินาที	90
65	แสดงการกระจายตัวของควันที่เวลา 400 วินาที	90
66	แสดงการกระจายตัวของควันที่ช่องบันไดที่เวลา 300 วินาที	91
67	แสดงการกระจายตัวของควันที่ช่องบันไดที่เวลา 380 วินาที	91
68	แสดงการกระจายตัวของควันที่ช่องบันไดที่เวลา 460 วินาที	92
69	ภาพตัดขวางแนวแกน X ที่ X = 5.8 แสดงการมองเห็นที่เวลา 300 วินาที	92
70	ภาพตัดขวางแนวแกน X ที่ X = 5.8 แสดงการมองเห็นที่เวลา 380 วินาที	93
71	ภาพตัดขวางแนวแกน X ที่ X = 5.8 แสดงการมองเห็นที่เวลา 460 วินาที	93
72	กราฟแสดงอัตราการปลดปล่อยพลังงานที่เวลา 0 - 480 วินาที	94
73	ภาพแสดง Heat Flux ที่เวลา 150 วินาที	95
74	ภาพแสดง Heat Flux ที่เวลา 330 วินาที	95
75	กราฟแสดงอุณหภูมิของตัววัดอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆที่เวลา 0-480 วินาที	96
76	ภาพตัดขวางแนวแกน X ที่ X = 3.1 แสดงอุณหภูมิที่เวลา 150 วินาที	97
77	ภาพตัดขวางแนวแกน X ที่ X = 3.1 แสดงอุณหภูมิที่เวลา 330 วินาที	97
78	ภาพตัดขวางแนวแกน X ที่ Z = 1.5 แสดงอุณหภูมิที่เวลา 150 วินาที	98
79	ภาพตัดขวางแนวแกน X ที่ Z = 1.5 แสดงอุณหภูมิที่เวลา 330 วินาที	98
80	ภาพตัดขวางแนวแกน X ที่ X = 5.8 แสดงอุณหภูมิที่เวลา 150 วินาที	99
81	ภาพตัดขวางแนวแกน X ที่ X = 5.8 แสดงอุณหภูมิที่เวลา 330 วินาที	99

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
82	ภาพแสดงอุณหภูมิภายของผนังในห้องนั่งเล่นที่เวลา 150 วินาที	100
83	ภาพแสดงอุณหภูมิภายของผนังในห้องนั่งเล่นที่เวลา 330 วินาที	101

ภาพผนวกที่

ก1	ขั้นตอนการใช้โปรแกรม FDS	108
ง1	แสดงการติดตั้งอุปกรณ์ระบบสปริงเกลอร์	153
จ1	แสดงผลการคำนวณ Manual Hydraulic Calculation กรณีสปริงเกลอร์ทำงาน 1 หัว	155
จ2	แสดงผลการคำนวณ Manual Hydraulic Calculation กรณีสปริงเกลอร์ทำงาน 2 หัว	156

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

$\dot{Q}$	อัตราการปล่อยพลังงานความร้อน, kW
$\dot{m}''_f$	อัตราการเผาไหม้ต่อพื้นที่สูงสุด, g / m^2-s
χ	ประสิทธิภาพการเผาไหม้
ΔH_C	ความร้อนจริงของการเผาไหม้, kJ / g
A	พื้นที่หน้าตัดเชื้อเพลิง, m^2
t	เวลา, sec
α	ค่าสัมประสิทธิ์การลามไป (Growth factor), kW/s^2
Q	อัตราการไหล, GPM
K	สัมประสิทธิ์ K-Factor ของหัวสปริงเกลอร์, $GPM/psi^{1/2}$
p	ความดัน, psi
P	ความดันสูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทานต่อหนึ่งหน่วยความยาว , psi/ft
C	สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของท่อ
D	ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ , inch
D^*	ขนาดของกริดในเทอมตัวแปรไร้หน่วย
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

การออกแบบระบบสปริงเกลอร์และการศึกษาผลของการติดตั้งระบบสปริงเกลอร์ในบ้านพักอาศัยโดยวิธีการคำนวณชลศาสตร์และการจำลองพลศาสตร์อัคคีภัย

Design Sprinkler System and Study Result of Installation Sprinkler System in Dwelling by Hydraulic Calculation and Fire Dynamic Simulator

คำนำ

ปัจจุบัน บ้านพักอาศัยในประเทศไทยยังไม่มีการติดตั้งระบบสปริงเกลอร์ ทำให้เมื่อเกิดอัคคีภัยขึ้นแล้วจะนำมาซึ่งความสูญเสียของชีวิตและทรัพย์สินทั้งจากเจ้าของบ้านเองรวมทั้งพนักงานดับเพลิง จากข้อมูลของสำนักงานป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยนั้นจำนวนการเกิดอัคคีภัยที่เกิดจากบ้านพักอาศัยในปี 2549 ของกรุงเทพมหานครมากถึง 406 ครั้ง การเกิดเพลิงไหม้นั้นไฟดวงเล็กที่เกิดขึ้นจะลุกลามเป็นไฟขนาดใหญ่ที่ไม่สามารถควบคุมได้ในเวลาเพียง 5 นาที

การวิจัยนี้จะเลือกบ้านที่มีลักษณะการใช้งานเหมือนบ้านทั่วไปที่ไม่มีการติดตั้งระบบหัวกระจายน้ำอัตโนมัติจากนั้นทำการออกแบบการติดตั้งระบบหัวกระจายน้ำอัตโนมัติโดยอ้างอิงตามมาตรฐาน NFPA 13D การทดลองจะใช้โปรแกรมคำนวณทางชลศาสตร์ของของไหล ซึ่งได้แก่ โปรแกรม Full Hydraulic Calculation(FHC) ของ Canute Soft มาใช้คำนวณหาขนาดของปั๊มที่ระบบต้องการเพื่อแสดงให้เห็นว่าการติดตั้งระบบดับเพลิงในบ้านนั้นไม่จำเป็นต้องมีการติดตั้ง Fire Pump เหมือนกับการติดตั้งระบบดับเพลิงในอาคารสูงจากนั้นกำหนดให้เกิดเหตุเพลิงไหม้ในห้องที่มีอัตราความเสี่ยงจะเกิดเพลิงไหม้สูงสุดคือห้องนั่งเล่น เพื่อดูผลว่าการติดตั้งระบบสปริงเกลอร์นั้นช่วยป้องกันไม่ให้เพลิงลุกลามได้อย่างไร โดยใช้โปรแกรม Fire Dynamics simulator (FDS) and Smoke view ซึ่งเป็นFreeware ของสถาบัน National Institute of Standard and Technology (NIST) เพื่อมาวิเคราะห์ว่าบ้านที่ไม่ได้มีการติดตั้งระบบสปริงเกลอร์มีการกระจายตัวของควันและอุณหภูมิส่วนบ้านที่ได้ติดตั้งระบบสปริงเกลอร์นั้นช่วยให้คนที่อยู่ในบ้านมีโอกาสรอดชีวิตเพิ่มมากขึ้น

การวิจัยนี้จะช่วยพัฒนาการออกแบบและติดตั้งระบบสปริงเกลอร์ในบ้านพักอาศัยว่าสามารถช่วยเพิ่มความปลอดภัยให้กับผู้ที่พักอาศัยและทรัพย์สินภายในบ้านให้ปลอดภัยจากอัคคีภัยได้อย่างมีประสิทธิภาพ

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาและวิเคราะห์หาความสัมพันธ์การกระจายตัวของอุณหภูมิและควันไปยังบริเวณต่างๆของบ้านพักอาศัยทั้งในกรณีที่มีและไม่มีการติดตั้งระบบสปริงเกลอร์

2. เพื่อแสดงให้เห็นว่าเมื่อมีระบบสปริงเกลอร์จะช่วยเพิ่มความปลอดภัยแก่ผู้พักอาศัยได้อย่างไร

3. เพื่อศึกษาและวิเคราะห์พัฒนาการเกิดเพลิงไหม้ในบ้านพักอาศัย

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถออกแบบระบบสปริงเกลอร์โดยอาศัยโปรแกรม FHC

2. สามารถใช้โปรแกรม FDS ในการจำลองเหตุเพลิงไหม้ในบ้านพักอาศัยแบบต่างๆ

3. ทำให้ทราบถึงพฤติกรรมในการเกิดเพลิงไหม้ในบ้านพักอาศัย และหาวิธีป้องกัน

4. นำผลที่ได้จากการวิจัยไปเป็นแนวทางในการออกแบบและติดตั้งระบบสปริงเกลอร์ในบ้านพักอาศัยได้อย่างเหมาะสม

5. สามารถใช้ปั๊มที่มีอยู่ภายในบ้านมาใช้ร่วมกับระบบสปริงเกลอร์ในบ้านพักอาศัยได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ขอบเขตของการวิจัย

1. บ้านที่จะทำการจำลองเป็นลักษณะบ้านที่มีการใช้งานเหมือนบ้านทั่วไปความสูง 2 ชั้น

2. ใช้โปรแกรม FDS จำลองเท่านั้นไม่มีการทดลองในห้องปฏิบัติการจริง

3. ขนาดของปั๊มหาได้จากการคำนวณทางชลศาสตร์ด้วยโปรแกรม FHC

การตรวจเอกสาร

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีการเกิดเพลิงไหม้

1. ความหมายของเพลิงไหม้

เพลิงไหม้เป็นปฏิกิริยาออกซิเดชั่น (Oxidation) ที่เกิดอย่างรวดเร็วและต่อเนื่อง ในขณะที่เกิดปฏิกิริยานั้นจะมีความร้อนและแสงสว่างเกิดขึ้นด้วย ซึ่งหมายความว่าเพลิงไหม้จะเป็นกระบวนการทางเคมีที่มีการสลายตัวอย่างรวดเร็วของเชื้อเพลิง และมีผลผลิตออกมาเป็นความร้อนและแสงสว่าง

นิยามของปฏิกิริยาออกซิเดชั่น คือ ปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดระหว่างสารใดๆ กับออกซิเจน และทำให้มีความร้อนเกิดขึ้น และความร้อนที่เกิดจากกระบวนการเผาไหม้นี้ จะเป็นแหล่งความร้อนซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้การลุกไหม้ของไฟดำเนินไปอย่างต่อเนื่อง

ตัวอย่างของปฏิกิริยาการเผาไหม้ที่มีมีเทน (CH_4) เป็นเชื้อเพลิง

$$CH_4 + 2O_2 \longrightarrow CO_2 + 2H_2O + \text{ความร้อน}$$

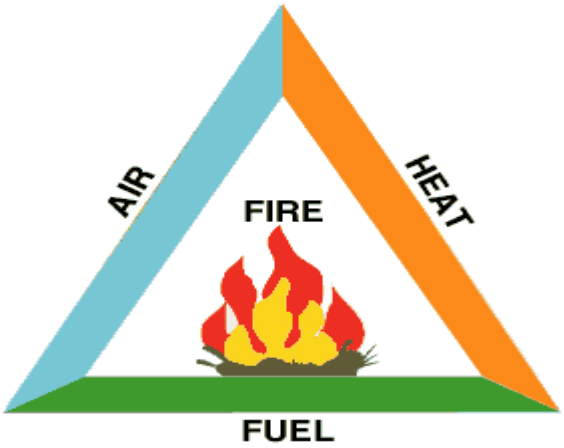
ความเร็วในการเกิดปฏิกิริยาของเพลิงไหม้จะอยู่ในระดับกลาง (Mid-Range Reaction) ตัวอย่างของปฏิกิริยาออกซิเดชั่นที่มีความรวดเร็วในการเกิดปฏิกิริยาต่ำกว่าความรวดเร็วในการเกิดปฏิกิริยาของเพลิงไหม้ คือ ปฏิกิริยาที่เกิดในกระบวนการกัดกร่อน (Corrosion) และตัวอย่างของปฏิกิริยาออกซิเดชั่นที่มีความเร็วในการเกิดปฏิกิริยาสูงกว่าความรวดเร็วในการเกิดปฏิกิริยาของเพลิงไหม้ คือ การระเบิด

องค์ประกอบพื้นฐานของการเกิดเพลิงไหม้มี 3 องค์ประกอบ

1) เชื้อเพลิง (Fuel)
2) พลังงานความร้อนเป็นตัวเริ่มปฏิกิริยา (Heat Causes Vaporization)
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 ได้ดังภาพที่ 1 โดยการแทนด้านแต่ละด้านของสามเหลี่ยมด้วยองค์ประกอบแต่ละตัวของไฟ หากสามเหลี่ยมนี้ขาดองค์ประกอบอันใดอันหนึ่งไปทำให้ไม่ครบเป็นรูปสามเหลี่ยม มีความหมายว่าไม่สามารถเกิดการติดไฟขึ้นมาได้นั่นเอง ออกซิเจนที่มีอยู่ในอากาศแล้ว จะทำปฏิกิริยากับเชื้อเพลิงซึ่งโดยมากก็จะเป็นสารที่มีธาตุคาร์บอน (C) หรือไฮโดรเจน (H) เป็นองค์ประกอบเกิดเป็นการเผาไหม้ติดไฟขึ้นมาได้เมื่อเป็นการทำปฏิกิริยากันที่อุณหภูมิสูง ดังนั้นจึงต้องมีความร้อนหรือแหล่งกำเนิดความร้อนเพื่อทำให้เกิดเป็นไฟที่สมบูรณ์ได้ สำหรับปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะสามารถกระตุ้นตัวเองหรือเกิดได้ต่อเนื่องโดยปราศจากแหล่งความร้อนจากภายนอกจะต้องมีปริมาณเชื้อเพลิงและออกซิเจนอย่างเหมาะสมและทำปฏิกิริยาในอัตราที่สามารถให้พลังงานความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้มากระตุ้นปฏิกิริยาของตัวมันเองอย่างต่อเนื่องได้ เรียกปฏิกิริยาแบบนี้ว่า ปฏิกิริยาลูกโซ่ (Chain Reaction) ซึ่งองค์ประกอบทั้งหมดก็รวมกันเป็นปริซึมสามเหลี่ยมของไฟ (Fire Tetrahedron) ซึ่งองค์ประกอบทั้งหมดก็รวมกันเป็นปริซึมสามเหลี่ยมของไฟ (Fire Tetrahedron)



ภาพที่ 1 แสดงองค์ประกอบของการเกิดเพลิงไหม้

2. การพัฒนา/พฤติกรรมของเพลิงไหม้

เมื่อเกิดการลุกไหม้ การพัฒนาของเพลิงไหม้จะเป็นไปตามลำดับ ถ้ามีอิสระในการลุกไหม้จะมีผลกระทบทำให้สภาพวัสดุที่เกิดการติดต่อลุกลามเริ่มมีความรุนแรงของการลุกไหม้อย่างต่อเนื่อง 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°F (537°C) กระจายความร้อน ออกมาด้วยการแผ่รังสีมีผลทำให้อุณหภูมิของห้องสูงขึ้นประมาณ 100°F (138°C) ซึ่งอุณหภูมิยังไม่สูงนัก

2.2 ระยะเริ่มม้วนตัวของเพลิงไหม้และการม้วนตลบของเพลิงไหม้ (Pre-rollover and Rollover) เป็นระยะที่ไฟลุกไหม้มาแล้วประมาณ 4 – 5 นาที ความร้อนที่เกิดจากการลุกไหม้ของไฟจะพุ่งขึ้นสู่เพดาน ทำให้เพดานของห้องร้อนจนขับไอเชื้อเพลิงออกมา ส่วนบนของห้องเริ่มจุดติดเป็นเปลวไฟเป็นช่วง ๆ และเมื่อไอของเชื้อเพลิงผสมพอเหมาะกับอากาศ กลุ่มควันที่ยังไม่ติดไฟ

ก็จะเกิดการสะสมลอยขึ้นสู่เพดานและม้วนตัวเกิดเป็นพลังงานดัน (High Pressure) ความร้อนลงสู่ส่วนล่างของห้องซึ่งมีแรงดันต่ำกว่า (Low Pressure)

2.3 ระยะที่ไฟมีการเผาไหม้อย่างต่อเนื่อง (Steady State Burning Phase) เป็นช่วงที่มีการลุกไหม้อย่างต่อเนื่องหลังจากที่เกิดการลุกไหม้มาแล้วประมาณ 5 – 6 นาที ซึ่งภายในห้องยังมีออกซิเจนสูง ไอของเชื้อเพลิงที่ถูกขับออกมายังมีปริมาณน้อยกว่าจุดที่เกิดการลุกไหม้อย่างพอเหมาะแต่ความร้อนที่เกิดขึ้นในห้องยังร้อนจัดประมาณ 1300°F (700°C) การเผาไหม้อย่างสมบูรณ์จะอยู่บริเวณกลางๆ ห้องส่วนบริเวณด้านบนเพดานยังมีก๊าซที่เกิดจากการคายไอของเชื้อเพลิงและกลุ่มควันสะสมอยู่เป็นจำนวนมากในระยะนี้ยังมีออกซิเจนในอากาศมากพอที่จะทำปฏิกิริยากับเชื้อเพลิงทำให้เกิดการลุกไหม้อย่างอิสระ

2.4 การลุกไหม้อย่างฉับพลัน (Flashover) เป็นช่วงที่ต่อจากระยะของไฟที่เผาไหม้อย่างต่อเนื่อง กล่าวคือ หลังจากที่เวลาผ่านไปแล้วประมาณ 6 – 7 นาที การลุกไหม้อย่างฉับพลันนี้ปรากฏขึ้นเมื่อเชื้อเพลิงที่เกิดการลุกไหม้นั้นคายไอออกมาเป็นก๊าซต่างๆ ที่มีคุณสมบัติติดไฟได้สะสมกันอยู่ในบริเวณส่วนบนของห้องเป็นจำนวนมากและมีอุณหภูมิสูงมากจนสามารถติดไฟได้ด้วยตนเอง แล้วมีอัตราส่วนผสมที่เหมาะกับอากาศ เช่น การจุดติดที่เกิดการลุกไหม้อย่างฉับพลันของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ร้อนจัด จะมีอัตราส่วนผสมประมาณ 28% ของอากาศก็จะเกิดการลุกไหม้อย่างฉับพลันขึ้น จะเห็นได้ว่าการสะสมของกลุ่มควันก๊าซที่เกิดจากการหลอมเหลวตัวเองของเชื้อเพลิงในอัตราส่วนที่เหมาะสมกับอากาศจะเกิดการลุกไหม้อย่างต่อเนื่องติดๆ กันอย่างรวดเร็ว

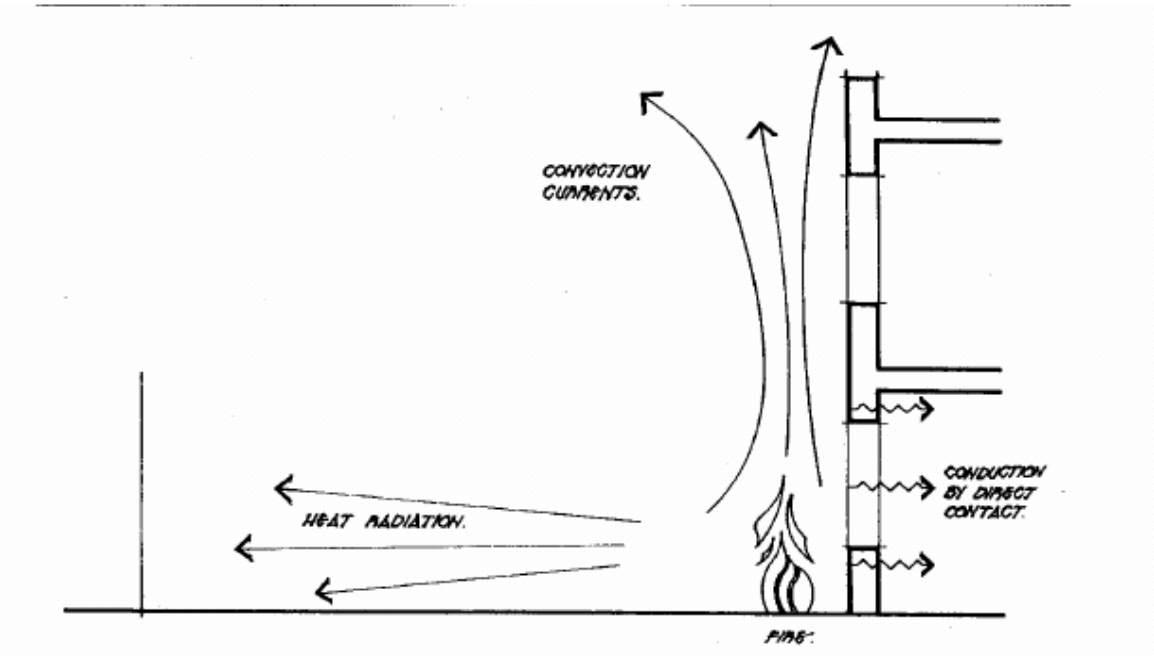
2.5 ระยะของไฟที่คุไหม้ (Hot – Smoldering Phase) หลังจากเกิดการลุกไหม้อย่างต่อเนื่อง เปลวไฟที่ลุกไหม้อย่างรุนแรงจะค่อยๆ มอดหมดไป ในกรณีที่เกิดการลุกไหม้ในห้องที่มีขอบเขตที่ปิดกั้นอากาศที่ไหลเข้ามาไม่สะดวกหรือในกรณีของห้องปิดทึบและมีปริมาณออกซิเจนในอากาศจำกัด จะมีผลทำให้ไฟไม่สามารถพัฒนาต่อไปได้ จึงเกิดการลุกไหม้คุกรุ่นอยู่บริเวณพื้นห้องที่มีเถ้าถ่านร้อนจัดอยู่เท่านั้น ภายในห้องจึงเต็มไปด้วยกลุ่มควันก๊าซที่เกิดจากการคายไอของเชื้อเพลิงอย่างมากมาย อุณหภูมิของห้องที่ลุกไหม้อย่างรุนแรงมาแล้วจะมีความร้อนประมาณ 1000°F (537°C) และก๊าซเชื้อเพลิงที่ร้อนจัดแต่ยังไม่ลุกไหม้เป็นเปลวไฟ เพราะมีออกซิเจนลดลงต่ำกว่า 15% อุณหภูมิภายในห้องสูงมากเต็มไปด้วยก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์และคาร์บอนอิสระที่ถูกขับออกมาจากการลุกไหม้อย่างมากมายและมีแรงดันสูง

2.6 ปฏิกิริยา Back Draft ไฟที่ลุกไหม้ในห้องอย่างต่อเนื่องอย่างรุนแรงมาแล้ว และในห้องนั้นขาดอากาศหรือมีการลุกไหม้คุกรุ่น เช่น วัสดุที่เป็นไม้ที่ลุกไหม้เป็นถ่านแดงๆ ภายใต้เถ้าถ่าน กลุ่มควันก๊าซที่ร้อนจัดและมีแรงดันสูงจะพุ่งออกมา และเมื่อกระทบกับอากาศด้านนอกก็จะดันควันเข้าไป มีลักษณะของควันพุ่งเข้า ๆ ออก ๆ เป็นช่วง ๆ เมื่อมีการเจาะประตูอากาศจะไหลเข้าไปเรื่อยๆ จนมีปริมาณตั้งแต่ 25% ขึ้นไป ไฟจะเริ่มจุดติดอีกครั้งเมื่ออากาศไหลเข้าไป 72% ทำให้ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนก็จะเกิดการลุกไหม้พรึบหรือการระเบิดขึ้น ซึ่งปฏิกิริยานี้เราเรียกว่า Back Draft

2.7 ชั้นของอุณหภูมิความร้อนที่เกิดจากการเผาของก๊าซเชื้อเพลิง (Hot Gases Layer) การลุกไหม้ภายในห้องที่เชื้อเพลิงคายไอออกมาลุกไหม้อย่างสมบูรณ์นั้นจะทำให้อุณหภูมิที่ส่วนบนของห้องสูงประมาณ 1200°C ถึง 1500°C (Extreme Temperature) ในส่วนกลางของห้องจะมีอุณหภูมิประมาณ 600°C ถึง 900°C (Moderate Temperature) และบริเวณด้านล่างหรือพื้นห้องจะมีอุณหภูมิต่ำ (Low Temperature) ประมาณ 180 °C ขึ้นไป

ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน

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



ภาพที่ 2 การถ่ายเทความร้อนของเพลิงไหม้ ที่มา Department of Engineering(2004)

การวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนที่สมบูรณ์แบบนั้นจำเป็นต้องทราบถึงกลไกการถ่ายเทความร้อนแบบต่าง ๆ รวม 3 แบบด้วยกันคือ

1. การถ่ายเทความร้อนแบบการนำ (Conduction Heat Transfer) การถ่ายเทความร้อนแบบการนำเป็นการถ่ายเทความร้อนเพียงวิธีเดียว ที่เกิดขึ้นในวัตถุที่เป็นตัวกลางทึบแสง เมื่อมีความแตกต่างของอุณหภูมิเกิดขึ้นในวัตถุดังกล่าว ก็จะมีความร้อนถ่ายเทจากจุดที่มีอุณหภูมิสูง ไปยังจุดที่มีอุณหภูมิแตกต่างของวัตถุนั้นอัตราการถ่ายเทความร้อนจริงนั้นขึ้นอยู่กับค่าการนำความร้อน (Thermal Conductivity, k) ซึ่งเป็นคุณสมบัติทางกายภาพของตัวกลางที่ความร้อนเคลื่อนที่ผ่าน ฉะนั้นอัตราการนำความร้อนจึงมีค่าเป็น

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

$\dot{Q}$ = อัตราความร้อนที่ไหลผ่านผนัง, W

k = ค่าการนำความร้อนของผนัง, วัตต์/ เมตร . W/m.^{o}K

A = พื้นที่หน้าตัดของผนังที่ตั้งฉากกับทิศทางการไหล, m^2

ΔT = อุณหภูมิผิวที่แตกต่าง

L = ความหนาของผนัง, m

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

2.1 การพาความร้อนแบบอิสระ (Free Convection) แรงที่ทำให้ของไหลเกิดการเคลื่อนไหวในการพาความร้อนแบบอิสระนั้นเกิดมาจากความแตกต่างของอุณหภูมิในของไหลที่เนื่องมาจากการที่ของไหลสัมผัสผิวของวัตถุที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันและทำให้เกิดแรงลอยตัวขึ้น ตัวอย่างของการพาความร้อนแบบอิสระนี้ได้แก่ การถ่ายเทความร้อนระหว่างผนังหรือหลังคาบ้านในวันที่อากาศสงบเงียบ การพาความร้อนภายในการต้มน้ำที่มีขดลวดให้ความร้อน หรือการถ่ายเทความร้อนจากผิวของตัวเก็บความร้อนของแสงอาทิตย์ (Solar Collector) ในช่วงที่ไม่มีลมพัด

2.2 การพาความร้อนแบบบังคับ (Force Convection) การพาความร้อนแบบบังคับจะเกิดขึ้นเมื่อ มีแรงภายนอกมาบังคับให้ของไหลเคลื่อนที่ผ่านผิววัตถุที่ร้อนหรือเย็นกว่า เนื่องจากของไหลของการพาความร้อนแบบบังคับมีความเร็วสูงกว่าแบบอิสระ ดังนั้นความร้อนที่ถ่ายเทได้จากความแตกต่างของอุณหภูมิที่มีขนาดเท่า ๆ กับการพาความร้อนแบบอิสระจึงมีจำนวนมากกว่า แต่ไม่ว่าจะเป็นความร้อนแบบไหนก็ตามต่างก็มีสมการสำหรับหาอัตราการถ่ายเทความร้อนที่อยู่ในรูปของกฎการระบายความร้อนของนิวตัน เป็น

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

$\dot{Q}$ = อัตราความร้อนที่ไหลผ่านผนัง, W

h = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนแบบการพา, ($kW/m^2.{}^oC$)

A = พื้นที่ที่ถูกความร้อน, m^2

T_1 = อุณหภูมิเฉลี่ยเปลวไฟ, ^oC

T_2 = อุณหภูมิเฉลี่ยรอบข้าง, ^oC

การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์การพาความร้อน (Convection Heat Transfer Coefficient) เป็นเรื่องที่ซับซ้อนมากในทางปฏิบัติเนื่องจากมีความยุ่งยากในการคำนวณปัจจัยเรื่องสมการการวิเคราะห์ทั่วไปจะใช้ค่าประมาณของสัมประสิทธิ์การพาความร้อน ตามที่แนะนำไว้ในตารางที่ 1 ต่อไปนี้

ตารางที่ 1 ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน

(Typical Value for Convective Heat Transfer Coefficient, h)

สภาวะการไหล (Fluid Condition)	สัมประสิทธิ์การพาความร้อน (h, $kW/m^2.°C$)
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)

3. การแผ่รังสี (Radiation) คือ รูปแบบการเคลื่อนที่ของพลังงาน ผ่านห้วงอวกาศ หรือวัสดุในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เช่น แสงสว่าง คลื่นวิทยุ เอ็กเรย์ (X-rays) ในสุญญากาศ คลื่นพลังงานการแผ่รังสีทั้งหมด จะเดินทางด้วยความเร็วเท่ากับความเร็วแสง เมื่อมาถึงตัววัตถุจะเกิดการดูดซับ (absorbed) สะท้อนกลับ (reflected) หรือส่งต่อ (transmitted) แสงที่สามารถมองเห็นได้ประกอบด้วยความยาวคลื่นช่วงระหว่าง 0.4 x 10-6 ถึง 0.7 x 10-6 เมตร (ม่วง ถึง แดง) รังสีที่ปล่อยออกมาจากกระบวนการเผาไหม้ จะอยู่ในช่วงขอบเขตอินฟาเรด (ความยาวคลื่นยาวกว่าสีแดง) ซึ่งตาของคนเราสามารถมองเห็นได้แค่ในช่วงความยาวคลื่นหนึ่งๆ เท่านั้น โดย คือ สภาพเปล่งรังสีของวัสดุ เป็นค่าคงที่ของ Stefan-Boltzman = 5.67 x 10-8 W/m^2K^4

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

$\dot{Q}$ = อัตราการถ่ายเทความร้อนแบบแผ่รังสี, W

ε = ค่าสภาพเปล่งรังสี (Emissivity) ของพื้นผิว

σ = ค่าคงที่ของ Stefan-Boltzman = 5.67 x 10-8 W/m^2K^4

A = พื้นที่ที่ถูกความร้อน, m^2

T_1 = อุณหภูมิเฉลี่ยเปลวไฟ, ^oC

T_2 = อุณหภูมิเฉลี่ยรอบข้าง, ^oC

สำหรับผลกระทบของความร้อนจากการแผ่รังสีความร้อนของเพลิงไหม้สามารถแบ่งลำดับตามขนาดได้ดังนี้

ตารางที่ 2 ผลกระทบของความร้อนจากการแผ่รังสีความร้อนที่ขนาดต่าง ๆ

ความร้อนจากการแผ่รังสี, kW/m^2	ผลกระทบของความร้อน
170	ค่าฟลักซ์ความร้อนที่สูงสุดที่ตรวจวัดได้ เมื่อเพลิงไหม้ระยะ postflashover ในพื้นที่ปิดล้อม
80	ฟลักซ์ความร้อนสำหรับชุดป้องกัน Thermal Protective Performance (TPP)
52	Fiberboard ติดไฟได้เองหลังจากนั้น 5 วินาที
29	ไม้ติดไฟได้เองหลังจากที่ได้รับความร้อนมาระยะเวลานาน
20	ฟลักซ์ความร้อนที่พื้นห้องพัก เมื่อมีการเริ่มต้นของ flashover
16	ผิวหนังเจ็บปวดทันทีและไหม้ผุพองหลังจาก 5 วินาที การบาดเจ็บระดับ ดีกรีที่ 2
12.5	ไอระเหยของไม้ติดไฟและเกิดการจุดติดไฟตามมา
10.4	ผิวหนังเจ็บปวดและไหม้ผุพองในเวลา 9 วินาที การบาดเจ็บระดับ ดีกรีที่ 2
6.4	ผิวหนังเจ็บปวดและไหม้ผุพองในเวลา 18 วินาที การบาดเจ็บระดับ ดีกรีที่ 2
4.5	ผิวหนังไหม้ผุพองเมื่อสัมผัสในเวลา 30 วินาที เป็นสาเหตุการบาดเจ็บระดับ ดีกรีที่ 2

ที่มา: NFPA 921 (2001)

อัตราการปล่อยพลังงานความร้อน (Heat Release Rate)

อัตราการปล่อยพลังงานความร้อน (Heat Release Rate) ของการเผาไหม้สสารต่อหนึ่งเวลาที่ออกมาจากการลุกไหม้ ซึ่งขึ้นอยู่กับโครงสร้างทางเคมี ปริมาณอากาศที่เติมเข้ากองเพลิง และสถานที่ที่เชื้อเพลิงลุกไหม้อยู่ในพื้นที่เปิดหรือปิด สมการของอัตราการปล่อยพลังงานความร้อน (Heat Release Rate) คือ

$$\dot{Q} = \dot{m}''_f A \chi \Delta H_c \qquad (4)$$

$\dot{Q}$ = อัตราการปล่อยพลังงานความร้อน, kW

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

χ = ประสิทธิภาพการเผาไหม้

ΔH_C = ความร้อนจริงของการเผาไหม้, kJ / g

A = พื้นที่หน้าตัดเชื้อเพลิง, m^2

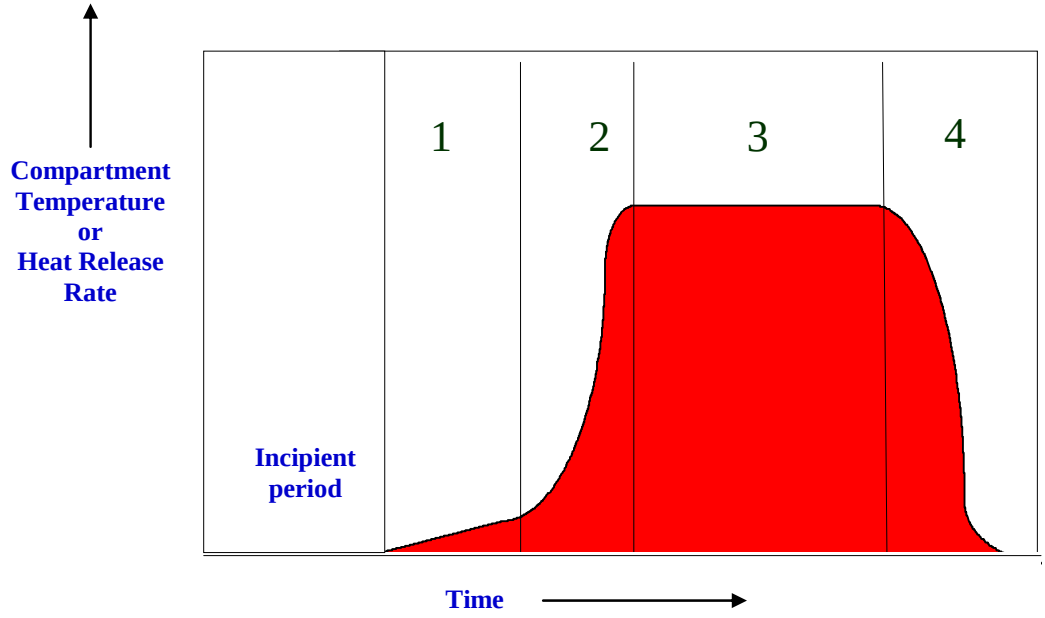
ในการคำนวณหาอัตราการปล่อยพลังงานความร้อน (Heat Release Rate) ที่ถูกต้องดังสมการที่ (4) นั้น ต้องอาศัยข้อมูลจากห้องทดลองของนักวิจัยต่างๆ โดยงานวิจัยของ Tawarson (1995) ได้ทดลองเผาวัสดุเชื้อเพลิงชนิดต่างๆเพื่อเก็บข้อมูลของค่าอัตราการเผาไหม้สูงสุดต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ (Maximum burning flux) ดังแสดงในตารางที่ 1 ส่วนค่าความร้อนของการเผาไหม้ทางทฤษฎี (Ideal heat of combustion) และ ค่าความร้อนของการเผาไหม้จริง (Actual heat of combustion) นั้นแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 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
Acetone	40
Methanol	22
Polymethyl methacrylate	28
Polyethylene	26
Flexible polyurethane foam	21-27
Rigid polyurethane foam	22-25
Polyvinyl chloride	16

ที่มา: Tawarson (1995)

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 3 แสดงการพัฒนาของไฟในพื้นที่ปิดล้อม

ที่มา: ณัฐศักดิ์ (2550)

1) ระยะลามไฟ (Growth period) ในระยะนี้ การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงจะเป็นไปอย่างรวดเร็ว เนื่องจากออกซิเจนภายในห้องมีอยู่จำนวนมาก ดังนั้นอัตราการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงจะขึ้นอยู่กับจำนวนของเชื้อเพลิง (Fuel-limited) อัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเป็นทวีคูณกับเวลา จากการทดลองโดยการเผาเชื้อเพลิงจริง พบว่าอัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนจะแปรผันโดยตรงกับเวลานับตั้งแต่เชื้อเพลิงจุดติดไฟ ยกกำลังสอง ซึ่งเรียกว่า t-square fire โดย

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

$\dot{Q}$ = ค่าพิกัดการคายความร้อน, kW

t = เวลา, sec

α = ค่าสัมประสิทธิ์การลามไป (Growth factor) ของเชื้อเพลิงแต่ละประเภท,

สัมประสิทธิ์การลามไฟเป็นค่าคงที่ที่ได้จากการทดลองโดย

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

t_{1050} คือ เวลาที่เชื้อเพลิงใช้นับตั้งแต่จุดติดไฟจนกระทั่งการเผาไหม้สามารถปลดปล่อยพลังงานความร้อนออกมาได้เท่ากับ 1,055 kW (1,000 Btu/s) เชื้อเพลิงที่มีสัมประสิทธิ์การลามไฟสูงจะมีอัตราการลามไฟสูง หลังจากการจุดติดไฟการเผาไหม้จะดำเนินไปอย่างรวดเร็ว (ณัฐศักดิ์, 2007)

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

ตารางที่ 4 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) นั้นต้องเลือกค่าสัมประสิทธิ์การลามไฟ (Growth factor) ที่เหมาะสม Karlsson และ Quitiere (1999) ได้ทำการวิจัยเพื่อแยกประเภทสถานที่ต่างๆ ที่เหมาะสมกับค่าสัมประสิทธิ์การล่ามไฟ (Growth factor) โดยแสดงในตารางที่ 5

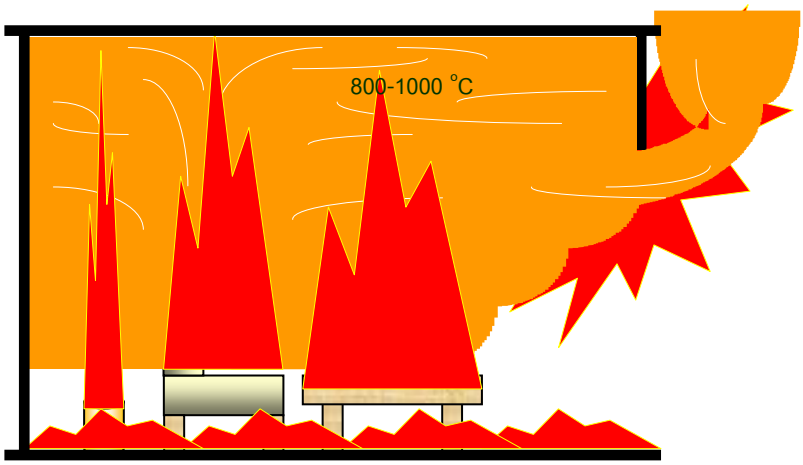
ตารางที่ 5 สัมประสิทธิ์การลามไฟตามลักษณะการใช้งาน

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

ที่มา: Karlsson and Quintiere (1999)

2) ระยะ Flash over หมายถึง สภาวะที่วัตถุที่สามารถติดไฟได้ทุกชิ้นภายในห้องลุกติดไฟ โดยวัสดุทุกชิ้นมีส่วนร่วมกับการเผาไหม้และปลดปล่อยพลังงานความร้อน ตัวบ่งชี้ว่าจะเกิด Flash over คือ อุณหภูมิจะเพิ่มสูงถึง 500 -600 ^{o}C และ Heat Flux ประมาณ 15 -20 kW/m ^{2} ถ้า oxygen ไม่เพียงพอต่อการเผาไหม้เพลิงอาจมอดดับลงเองได้แต่ไอของเชื้อเพลิงและความร้อนยังคงอยู่ ซึ่งสภาพภายให้ห้องขณะนี้มีโอกาสเกิด Backdraft ได้สูงถ้าห้องได้รับ oxygen เพียงพออีกครั้ง

3) ระยะ Fully Developed หรือ Post-Flash over เมื่อเกิด flash over ถ้ายังมี oxygen เพียงพอในการเผาไหม้ต่อเปลวเพลิงจะลุกลามทั่วทั้งห้องในช่วงนี้จะเห็นเปลวเพลิงลุกลามออกนอกห้องทางประตูหรือหน้าต่างเนื่องจาก เพลิงต้องการ oxygen จากภายนอกห้องเพื่อการเผาไหม้ โดยในช่วงนี้อุณหภูมิในห้องจะเพิ่มสูงขึ้นเป็น 800 -1000 ^{o}C และ Heat Flux สูงถึง 150 kW/m ^{2}



ภาพที่ 4 แสดงการพัฒนาของไฟแบบ Fully Developed

ที่มา: ณัฐศักดิ์ (2550)

4) ระยะมอดดับ (Decay Period) เมื่อเชื้อเพลิงเผาไหม้จนหมดจะทำให้อุณหภูมิและอัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนลดลงจนเพลิงมอดดับไปเอง

การจำลองพฤติกรรมของเพลิงไหม้ด้วยแบบจำลองพลศาสตร์อัคคีภัย (Fire Dynamics Simulator)

งานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม Fire Dynamic simulator มาช่วย ในการวิเคราะห์สาเหตุการลุกลามของเพลิงในพื้นที่ปิดล้อมและใช้พื้นฐานสามเหลี่ยมของไฟมาอธิบายถึงการเกิดเพลิงไหม้ เพื่อออกแบบระบบสปริงเกลอร์ในบ้านพักอาศัยให้มีความปลอดภัย และจำลองดูว่าเมื่อมีการติดตั้งสปริงเกลอร์ในบ้านพักอาศัยแล้วจะช่วยป้องกันไม่ให้ควันและไฟแพร่กระจายออกไป

การจำลองการเกิดเพลิงไหม้ด้วย CFD

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

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

CFDคืออะไร

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

แบบจำลองแบบแบ่งเขตของไฟ (Zone Fire Model) ใช้หลักการของสมการอนุรักษ์มวลและพลังงานเพื่ออธิบายการเกิดไฟของทั้ง 2 ชั้น คือด้านบนและด้านล่าง สมการโมเมนตัม, กฎของ Bernoulli นำมาใช้คำนวณอัตราการไหลของลมภายในห้องปิดล้อม (Compartment) ซึ่งสมการเหล่านี้สามารถอธิบายกระบวนการทางกายภาพเช่น การลุกไหม้ของไฟและการแผ่รังสีความร้อนและการถ่ายเทความร้อน Zone Fire Model ช่วยในการพยากรณ์การแบ่งความสูงของทั้ง 2 ชั้นในห้องปิดล้อมและอุณหภูมิในแต่ละชั้น อย่างไรก็ตาม Zone Fire Model ไม่ได้พิจารณาเกี่ยวกับปัจจัยอื่นที่มีความสำคัญแต่จะพิจารณาข้อมูลเกี่ยวกับอัตราการปล่อยค่าความร้อนซึ่งการคำนวณโดยใช้ Zone Fire Model บนเครื่องคอมพิวเตอร์สามารถทำได้ในเวลาไม่กี่นาที ซึ่งเทคนิค Computational Fluid Dynamic (CFD) มักถูกใช้ใน Zone Fire Model

1. Fire Dynamics Simulator และ Smoke View

การศึกษาแบบจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ล่าสุดที่ NIST ได้สนับสนุนให้นำมาใช้งานคือ FIRE DYNAMICS SIMULATOR (FDS) ซึ่งระบบนี้จะทำการพยากรณ์การเคลื่อนที่ของควัน หรือการไหลของอากาศร้อนที่เกิดจากเพลิงไหม้,แรงลม,ระบบระบายอากาศ และปัจจัยอื่นๆ

โดย CFD ใช้เทคนิคที่เรียกว่า LES(Large Eddy Simulator) เพื่ออธิบายเกี่ยวกับการเกิดความร้อนจากเพลิงไหม้ในห้องปิดล้อม นอกจากนี้ LES ยังใช้อธิบายความแปรปรวนของอัตราการไหลโดยความแปรปรวนนี้เป็นสาเหตุให้แก๊สเคลื่อนที่ไปได้ในระยะที่กว้าง ซึ่งเป็นสิ่งที่ยากต่อการจำลอง เหตุการณ์บนคอมพิวเตอร์ ในขณะที่ FDS สามารถอธิบายเกี่ยวกับการเผาไหม้ในรูปแบบง่ายๆ คือเชื้อเพลิง และออกซิเจนจะถูกเผาทันทีที่ผสมกันและจากการทดลองพบว่ามีปฏิกิริยาทางเคมีเข้ามาเกี่ยวข้องใน กระบวนการเป็นจำนวนมากถึงร้อยปฏิกิริยา

FDS ถูกพัฒนาขึ้นมาโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อแก้ไขปัญหาเกี่ยวกับไฟในระบบวิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย ด้วยการใช้เครื่องมือเกี่ยวกับหลักการของกลไกการเกิดไฟและการเผาไหม้ โดยมีการใช้ Smoke view เข้ามาในการแสดงผลของ FDS ได้ง่ายขึ้น ซึ่งสามารถนำไปใช้งานในแบบจำลองนี้ เกี่ยวกับการออกแบบระบบต่างๆ ของอาคาร เช่น ระบบดักจับควันและระบบกระจายน้ำดับเพลิง และสามารถนำไปใช้งานในส่วนที่เกี่ยวของกับบ้านพักอาศัย และสิ่งปลูกสร้างทางอุตสาหกรรม

2. รายละเอียดของการจำลองแบบ

FDS มีหลักการที่เหมือนกับแบบจำลองCFD คือ แบ่งห้องหรืออาคารออกเป็นส่วนเล็กๆ ในลักษณะที่เรียกว่า computational cell เพื่อใช้คำนวณความหนาแน่น, ความเร็ว, อุณหภูมิ, ความดัน และความเข้มข้นของแก๊สในแต่ละช่อง โดยใช้กฎการอนุรักษ์มวลและพลังงาน FDS นี้จะใช้คุณสมบัติของวัสดุต่างๆ เช่น วัสดุตกแต่ง ผนังห้อง พื้นห้อง และเพดาน ในการจำลองเหตุการณ์การเกิดเพลิงไหม้

ความสามารถในการแสดงผลของแบบจำลองนี้ขึ้นอยู่กับการออกแบบจำนวน cell ลักษณะเดียวกับคุณภาพของภาพดิจิตอล ขึ้นอยู่กับจำนวนพิกเซล (Pixel) ซึ่งคอมพิวเตอร์ในปัจจุบันสามารถกำหนดได้ถึง 2-3 ล้านพิกเซล ดังนั้นผู้ใช้งานต้องตัดสินใจว่าต้องการผลลัพธ์ที่มีความละเอียดมากน้อยเพียงใด จำนวนช่องและอัตราการไหลเป็นส่วนสำคัญในการกำหนดระยะเวลาในการทดลอง โดยระยะเวลาในการทดลองอยู่ในช่วงของนาทีถึงสัปดาห์ ขึ้นอยู่กับจำนวนของช่อง และระยะเวลาของการคำนวณ ซึ่งผู้ใช้งานส่วนใหญ่พยายามกำหนดเวลาในการทดลองไว้ไม่เกินกว่า 1-2 วัน

แบบจำลอง CFD สามารถอธิบายผลของข้อมูลได้มากกว่า 1GByte เปรียบเหมือนคำพูดที่ว่า" ภาพ 1 ภาพแทนคำพูดได้เป็นพันคำ" เช่นเดียวกับโปรแกรมซอฟแวร์ Smoke view ที่สามารถช่วยในการพยากรณ์เกี่ยวกับการเกิดเพลิงไหม้ในรูปแบบที่ง่ายและสามารถเข้าใจได้ง่าย โดย Smoke view เวอร์ชั่นแรกเริ่มประกาศใช้ในเดือนกุมภาพันธ์ ปี2000 และมีการพัฒนาปรับปรุงต่อมาอีกหลายเวอร์ชั่น โดยสามารถทำงานได้หลายระบบปฏิบัติการเช่น Windows UNIX และ Linux

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

3. 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)

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot \rho u = 0 \qquad (7)$$

สมการอนุรักษ์โมเมนตัม (Conservation of Momentum)

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho u) + \nabla \cdot \rho uu + \nabla \rho = \rho f + \nabla \cdot \tau_{ij} \qquad (8)$$

สมการอนุรักษ์พลังงาน (Conservation of Energy)

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho h) + \nabla \cdot \rho hu = \frac{Dp}{Dt} + \dot{q}''' - \nabla \cdot q + \Phi \qquad (9)$$

สมการอนุรักษ์สปีชีส์ (Conservation of Species)

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho Yi) + \nabla \cdot \rho Yiu = \nabla \cdot \rho Di \nabla Yi + \dot{m}_i''' \qquad (10)$$

โดย ρ คือ ความหนาแน่น (Density), p คือ ความดัน (Pressure), T คือ อุณหภูมิ (Temperature), t คือ เวลา (Time), Y_i คือ สัดส่วนของมวล (Mass Fraction), $\dot{m}_i'''$ คือ อัตราการผลิตมวลของสปีชีส์ที่ i ต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร (Mass Production Rate of *i*th species per unit volume), u คือ ความเร็วของเวกเตอร์ u, v, และ w (Velocity Vector), g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (Acceleration of Gravity), τ คือ แรงเค้นเฉือน (Viscous Stress Tensor), h คือ เอนทัลปี (Enthalpy; Heat Transfer Coefficient), q_r คือ เวกเตอร์การแผ่รังสีความร้อนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ (Radiative Heat Flux Vector), k คือ ค่าคงที่ของการนำความร้อน (Thermal Conductivity) และ D คือ สัมประสิทธิ์การแพร่ (Diffusion Coefficient)

4. แบบจำลองการไหลสภาวะแบบปั่นป่วน (Turbulent Model)

ในการจำลองพฤติกรรมการไหลแบบปั่นป่วนแบบจำลองพลศาสตร์อัคคีภัย (FDS) จะใช้ระเบียบวิธี Large Eddy Simulation (LES) ซึ่งใช้ Subgrid Scale Model ของ Smagorinsky สำหรับการจำลองสภาวะ การไหลแบบปั่นป่วนในส่วนของการเผาไหม้ เพื่อแก้ปัญหาขนาดกริดที่ไม่สามารถทำให้ละเอียด เพียงพอที่จะจำลองพฤติกรรมการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงกับอากาศ

5. แบบจำลองการเผาไหม้ (Combustion Model)

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

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 และกลุ่มที่คุ้นเคยกับสถานที่นั้นจะมีระยะที่สามารถมองเห็น (Visibility) ต่ำลง ตั้งแต่ 3 ถึง 5 เมตร สำหรับการทดลองนี้เป็นบ้านพักอาศัยจะถือว่าผู้อาศัยเป็นกลุ่มที่กลุ่มที่คุ้นเคยกับสถานที่

งานวิจัยต่างๆ ที่กล่าวมานี้เป็นความพยายามของนักวิจัยที่จะอธิบายพฤติกรรม ความสัมพันธ์ทางสมการคณิตศาสตร์ของควันไฟ และ คุณสมบัติเชื้อเพลิงที่ได้จากห้องทดลอง เพื่อเป็นหลักการในงานวิเคราะห์ปัญหาด้านอัคคีภัยต่อไป

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

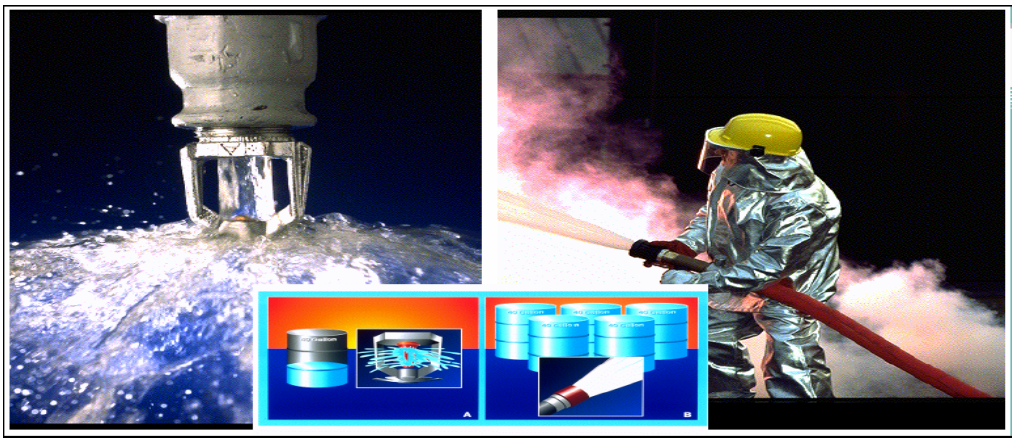
ระบบสปริงเกลอร์

ระบบโปรยน้ำดับเพลิงอัตโนมัติถูกเลือกนำมาใช้ดับเพลิงมากกว่าระบบดับเพลิงประเภทยึดอยู่กับที่ทุกประเภทโดยในแต่ละปีในประเทศอังกฤษมีการติดตั้งหัวโปรยน้ำดับเพลิง (Fire Sprinkler) มากกว่า 40 ล้านหัว ระบบโปรยน้ำดับเพลิงมีใช้ในประเทศอังกฤษมามากกว่า 100 ปี โดยแสดงให้เห็นจากการติดตั้งที่โรงหนัง Royal Drury Lane ในปี ค.ศ.1812 และมีการแก้ไขปรับปรุง ระบบจนถึงปัจจุบันนี้ก็ยังใช้ระบบโปรยน้ำดับเพลิงอัตโนมัติอยู่ความสูญเสียจากเพลิงไหม้อาคารต่างๆ ที่ติดตั้งระบบโปรยน้ำดับเพลิงอัตโนมัติพบว่ามีมูลค่าของความเสียหายเพียง 10 % ของความสูญเสียที่เกิดจาก เพลิงไหม้ในอาคารที่ไม่มีระบบโปรยน้ำดับเพลิงอัตโนมัติ สำหรับประสิทธิภาพของระบบโปรยน้ำดับเพลิงในการดับเพลิงไหม้ สามารถ แสดงได้จากสถิติที่ได้จากแหล่งข้อมูลในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ข้อมูลแสดงประสิทธิภาพของระบบโปรยน้ำดับเพลิง

แหล่งข้อมูล	ข้อมูลแสดงประสิทธิภาพของระบบโปรยน้ำดับเพลิง
European statistics	99% ของเพลิงไหม้ถูกควบคุมโดยหัวสปริงเกอร์ (Fire Sprinkler)เพียง 1 หัว
	60% ของเพลิงไหม้ถูกควบคุมโดยละอองน้ำจากหัวสปริงเกอร์ (Fire Sprinkler)ไม่เกิน 4 หัว
LPC	ปัญหาที่เกิดจากอุบัติเหตุของการปล่อยน้ำของหัวสปริงเกอร์จากสาเหตุต่าง ๆ คิดเป็นสัดส่วนเพียง 1 ต่อ 500,000 หัว / ปีเท่านั้น
FM (USA) and LPC (UK) statistics	ปัญหาที่เกิดจากการผลิตหัวสปริงเกอร์จากสาเหตุต่าง ๆ คิดเป็นสัดส่วนเพียง 1 ต่อ 14,000,000 หัว / ปีเท่านั้น

ที่มา: Sprinkler Facts (2005)



ภาพที่ 5 แสดงปริมาณน้ำดับเพลิงที่ใช้จากหัวโปรยน้ำเปรียบเทียบกับสายฉีดน้ำดับเพลิง

ที่มา: Sprinkler Facts (2005)

1. เป้าหมายของระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิง

เป้าหมายของระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิง คือ การส่งน้ำไปยังวัตถุเป้าหมายที่มีการเกิดเพลิงไหม้และ ลดการลุกลามของเพลิงออกไปสู่จุดอื่น ซึ่งจะลดอัตราการลุกลามของตัวเพลิงเองทำให้สภาพแวดล้อมมีอุณหภูมิลดลง

2. การทำงานของหัวกระจายน้ำดับเพลิง

ความร้อนของไฟจะถูกส่งผ่านไปยังหัวกระจายน้ำดับเพลิง(Sprinkler) โดยการถ่ายเทความร้อนจากการแผ่รังสีและการพาความร้อน ในเบื้องต้นการแผ่รังสีจะเป็นแหล่งกำเนิดความร้อนโดยความร้อนจะมาจากเปลวไฟ การพาความร้อนจะส่งผ่านความร้อนขึ้นสู่ด้านบนโดยการลอยตัว (Buoyant Plume) เมื่อก๊าซความร้อนไปถึงสิ่งกีดขวางดานบน เช่น เพดาน หรือหลังคา ความร้อนก็จะวิ่งตามแนวของสิ่งกีดขวางนั้น หรือที่เรียกว่า Ceiling Jet เพื่อที่จะลดการเผาไหม้และอัตราการลุกลามของไฟได้อย่างมีประสิทธิภาพหยดน้ำจากหัวกระจายน้ำดับเพลิง จะต้องวิ่งจากหัวกระจายน้ำผ่าน Ceiling Jet และเปลวไฟไปสู่แหล่งกำเนิดของไฟจากเส้นทางกระจายของหยดน้ำ หยดน้ำต้องสูญเสียพลังงานไปกับความร้อนที่ต้องวิ่งผ่านและสูญเสียมวลไปกับการระเหยของตัวหยดน้ำเองจากการดูดซับความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้

3. การแบ่งพื้นที่ครอบครอง

การแบ่งประเภทของพื้นที่ครอบครองหมายถึงการกำหนดประเภทของพื้นที่นั้นๆ โดยพิจารณาจากการใช้งาน เพื่อจะสามารถจัดระบบป้องกันอัคคีภัยตามมาตรฐานที่กำหนดจำแนกออกเป็น 3 ประเภทดังนี้

3.1 พื้นที่ครอบครองอันตรายน้อย(Light Hazard)

พื้นที่ครองครองอันตรายน้อย เป็นพื้นที่ที่วัสดุที่สามารถเป็นเชื้อเพลิงได้อยู่น้อย และวัสดุที่มีค่าอัตราการปล่อยความร้อนต่ำ (Low Heat Release) เช่น ที่พักอาศัย สำนักงานทั่วไป สถานศึกษา

3.2 พื้นที่ครอบครองอันตรายปานกลาง (Ordinary Hazard) แบ่งออกเป็น 2 ประเภท

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

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

3.3 พื้นที่ครอบครองอันตรายมาก (Extra Hazard) แบ่งออกเป็น 2 ประเภท

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

3.3.2 พื้นที่ครอบครองอันตรายมาก กลุ่มที่ 2 (Extra Hazard Group 2) เป็นพื้นที่ที่มีการครอบครองวัสดุ หรือวัตถุดิบ ที่สามารถเกิดการเผาไหม้ได้ในปริมาณมาก และเมื่อเกิดการลุกไหม้จะไหม้อย่างต่อเนื่องและใช้เวลานาน เช่น อุตสาหกรรมพลาสติก พื้นที่ๆ ใช้สารฉีดเหลวชนิดไวไฟได้

ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้กำหนดประเภทของพื้นที่โดยพิจารณาจากการใช้งาน เพื่อจะสามารถจัดระบบป้องกันอัคคีภัยตามมาตรฐานที่กำหนด เป็นแบบพื้นที่ครอบครองอันตรายมากน้อย(Light Hazard) เพราะ เป็นบ้านพักอาศัย

4. 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 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, $80\ (\text{ms})1/2 < RTI < 350\ (\text{ms})^{1/2}$

สำหรับงานวิจัยนี้จะใช้หัวสปริงเกลอร์ที่เป็นแบบตอบสนองเร็ว (Fast response) ซึ่งมีค่า Response Time Index คือ 35 $(\text{ms})^{1/2}$ จากข้อมูลของผู้ผลิตและจะนำค่านี้ไปใช้ในการกำหนดคุณสมบัติของหัวสปริงเกลอร์ในแบบจำลอง

การดับเพลิงด้วยน้ำ (Water Suppression)

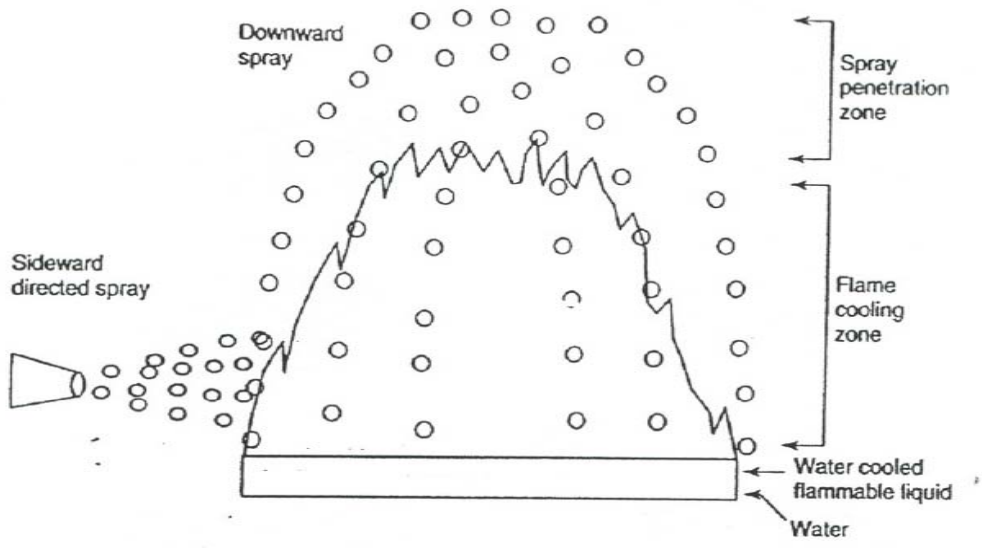
การดับเพลิงโดยการใช้น้ำกลไกดังต่อไปนี้

- ทำให้ผิวของเชื้อลดลงเมื่อน้ำระเหยกลายเป็นไอ น้ำจะดึงความร้อนจากผิวของเชื้อเพลิงเพื่อใช้ในการเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอ ซึ่งจะทำให้อุณหภูมิที่ผิวของเชื้อเพลิงลดลงมีผลทำให้อัตราการเผาไหม้ลดลง

- ทำให้อุณหภูมิเปลวไฟลดลงเมื่อน้ำระเหยกลายเป็นไอ ไอน้ำจะดึงความร้อนจากเปลวเพลิงซึ่งจะทำให้อุณหภูมิของเปลวเพลิงลดลง

- ไอน้ำที่ระเหยออกมาจากการดับเพลิงยังสามารถแทนที่อากาศ (ออกซิเจน) ทำให้มีออกซิเจนเพื่อการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงลดลง

- น้ำยังที่ทำให้ผิวของเชื้อเพลิงที่ยังไม่เกิดการเผาไหม้เปียกซึ่งจะทำให้เชื้อเพลิงเหล่านั้นสามารถติดไฟได้ยากขึ้นเพราะต้องการความร้อนเพื่อติดไฟมากขึ้น



ภาพที่ 6 แสดงการดับเพลิงด้วยละอองน้ำ

ที่มา: Industrial Fire Protection Engineering

การออกแบบระบบสปริงเกลอร์ในบ้านพักอาศัย

การออกแบบระบบสปริงเกลอร์ในบ้านพักอาศัยใช้การออกแบบตามหลักของ NFPA ซึ่งเป็นมาตรฐานสากล ที่ว่าด้วยระบบดับเพลิงและความปลอดภัยที่นิยมใช้กันมากที่สุด แม้แต่ในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร หรือข้อบังคับว่าด้วยระบบดับเพลิงและความปลอดภัยของไทยที่ใช้มาตรฐาน NFPA เป็นตัวอ้างอิง ซึ่งที่มาเริ่มที่ประเทศสหรัฐอเมริกา มาจากกลุ่มของผู้เชี่ยวชาญและหน่วยงานสาขาต่าง ๆ ด้านระบบดับเพลิงและความปลอดภัย ระดมความคิดจากประสบการณ์จริงที่เกิดขึ้น สร้างเป็นกฎข้อบังคับขึ้นมาและมีการปรับปรุงแก้ไขทุกปีให้ทันกับเหตุการณ์ที่เกิดในยุคปัจจุบัน ซึ่งตามมาตรฐาน NFPA จะครอบคลุมไปทุก ๆ เรื่องที่เกี่ยวกับระบบดับเพลิงและความปลอดภัย โดยจะแจกแจงไปตามหมายเลขรหัสของ NFPA (NFPA Code Number) โดยงานวิจัยนี้จะอ้างอิงตาม NFPA13D Standard for the Installation of Sprinkler Systems in One and Two-Family Dwellings and Manufactured Homes 2002 Edition ซึ่งได้กำหนดพารามิเตอร์ต่างที่จำเป็นสำหรับการออกแบบไว้ดังนี้

1. อัตราการไหล

ในระบบสปริงเกลอร์ในบ้านพักอาศัยจะกำหนดว่าในกรณีที่มีสปริงเกลอร์ตัวไหนก็ตามทำงานให้มีอัตราการไหลไม่น้อยกว่า 18 gpm(68 L/min) ส่วนในกรณีที่มีสปริงเกลอร์ทำงานพร้อมกันทั้ง 2 ตัวกำหนดให้มีอัตราการไหลไม่น้อยกว่า 13 gpm(49 L/min) และความดันน้อยที่สุดที่สปริงเกลอร์สามรถทำงานได้ต้องไม่ต่ำกว่า 7 psi (0.48 bar)

2. ค่า Density

ในกรณีที่สปริงเกลอร์ทำงาน 1 หัวให้กำหนดค่า Density ไว้ที่ 5.1 (L/min)/m^2สำหรับในกรณีมีการทำงานของสปริงเกลอร์พร้อมกัน 2 หัวกำหนดค่า Density ไว้ที่ 3.7 (L/min)/m^2

3. จำนวนการทำงานของหัวสปริงเกลอร์

ให้ทำการคำนวณทางชลศาสตร์สำหรับกรณีการทำงานของสปริงเกลอร์ 1 หัว และกรณีที่มีการทำงานพร้อมกัน 2 หัว จากนั้นนำผลที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อเลือกความปั๊มให้เพียงพอต่อการทำงานทั้ง 2 กรณี

4. ปริมาณที่น้ำต้องการ

ให้คำนวณอัตราการอัตราการไหลเปรียบเทียบกันโดยกรณีที่สปริงเกลอร์ทำงาน 1 หัว ให้สำรองน้ำเป็นเวลา 10 นาทีและสำหรับกรณีที่สปริงเกลอร์ทำงาน 2 หัว ให้สำรองน้ำเป็นเวลา 7 นาที

5. พื้นที่การกระจายน้ำของหัวสปริงเกลอร์

NFPA 13D ได้กำหนดพื้นที่ที่เหมาะสมไว้อยู่ที่ 13.7 m^2(3.7 m x 3.7 m)เพราะจะมี Pressure และอัตราการไหลที่หัวสปริงเกลอร์ตรงตามความต้องการขั้นต่ำของการออกแบบ ในปัจจุบันหัวสปริงเกลอร์ได้พัฒนาจนมีพื้นที่ครอบคลุมถึง 37.21 m^2(6.1 m x 6.1 m) แต่ก็จะทำให้ Pressure และอัตราการไหลที่หัวสปริงเกลอร์ เพิ่มขึ้นไปด้วย

ตารางที่ 7 การกระจายน้ำของหัวสปริงเกลอร์ที่ความดันและอัตราการไหลต่างๆ

Maximum Coverage Area [a] Ft. x Ft. (m x m)	Maximum Spacing Ft. (m)	Minimum Flow[b] and Residual Pressure For Horizontal Ceiling (Max. 2 Inch Rise for 12 Inch Run)
		160°F/71°C Sprinkler
12 x 12 (3,7 x 3,7)	12 (3,7)	13 GPM (49,2 LPM) 7.0 psi (0,48 bar)
14 x 14 (4,3 x 4,3)	14 (4,3)	13 GPM (53,0 LPM) 7.0 psi (0,48 bar)
16 x 16 (4,9 x 4,9)	16 (4,9)	13 GPM (60,6 LPM) 7.0 psi (0,48 bar)
18 x 18 (5,5 x 5,5)	18 (5,5)	17 GPM (64,3 LPM) 12.0 psi (0,83 bar)
20 x 20 (6,1 x 6,1)	20 (6,1)	20 GPM (75,7 LPM) 16.7 psi (1,15 bar)

ที่มา: Tyco Rapid Response Home Fire Sprinkler (2008)

ทฤษฎีการคำนวณชลศาสตร์

สมการที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณของระบบหัวฉีดน้ำสเปรย์ดับเพลิง

1. การหาอัตราการไหลที่หัวฉีดน้ำสเปรย์ดับเพลิง

$$Q = K\sqrt{P} \qquad (14)$$

Q = อัตราการไหล , GPM

K = สัมประสิทธิ์ K-Factor ของหัวสปริงเกลอร์, GPM/psi$^{1/2}$

P = ความดัน, psi

2. การหาความดันลด (Pressure Drop) ของเส้นท่อโดยใช้ทฤษฎี Hazen-William

$$P = \frac{4.52xQ^{1.85}}{C^{1.85}D} \qquad (15)$$

P = ความดันสูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทานต่อหนึ่งหน่วยความยาว, psi/ft

Q = อัตราการไหล, GPM

C = สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของท่อ

D = ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ, inch

ในการวิจัยนี้เลือกใช้ท่อ CPVC ซึ่งเป็นท่อพลาสติกที่ทนความร้อนได้สูง โดยผ่านการทดสอบและรับรองมาตรฐานจาก Underwriter Laboratory (UL Listed) ซึ่งปลอดภัยและไม่เป็นสนิม โดยท่อ CPVC จะมี Friction loss น้อยกว่าท่อเหล็กดำที่ใช้ในอาคารทั่วไปคือมีค่า C = 150 สำหรับในการติดตั้งนั้นทำได้ง่ายไม่ต้องมีการเชื่อมเหมือนกับท่อเหล็ก

ตารางที่ 8 สัมประสิทธิ์ Hazen-William C Values

Pipe or Tube	C Values
Unlined Cast or Ductile Iron	100
Black Steel (Dry Systems Including Preaction)	100
Black Steel (Wet Systems Including Deludge)	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

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

ตารางที่ 9 ความยาวสมมูลของข้อต่อต่างๆ

Allowance for Friction Loss in Fittings (Equivalent Feet of Pipe)

FITTINGS \ SIZE	1/2"	3/4"	1"	1-1/4"	1-1/2"	2"	2-1/2"	3"	4"
Tee Branch	3	3	5	6	8	10	12	15	20
Elbow 90°	7	7	7	8	9	11	12	13	15
Elbow 45°	0.8	1	1	2	2	2	3	4	5
Coupling	0.8	1	1	1	1	1	2	2	3
Tee Run	0.8	1	1	1	1	1	2	2	3

PS: Pipe fittings friction loss is calculated based on the same friction loss by liquid flowing in pipes of the same length.

ที่มา: Blaze Master CPVC fire Sprinkler System Product Information (2008)

ตารางที่ 10 ค่าแรงเสียดทานของท่อขนาดต่างๆ

Friction Loss Table

Friction Loss(PSI per Linear Foot) and Velocity (Feet per second)
(Hazen-Williams C Factor = 150)

Nominal Pipe Size:	1/2 inch		3/4 inch		1 inch		1 1/4 inch		1 1/2 inch		2 inch		2 1/2 inch		3 inch	
Avg.I.D. (inches)	(.696)		(.884)		(1.109)		(1.400)		(1.602)		(2.003)		(2.423)		(2.951)	
GPM	Friction Loss	Velocity	Friction Loss	Velocity	Friction Loss	Velocity	Friction Loss	Velocity	Friction Loss	Velocity	Friction Loss	Velocity	Friction Loss	Velocity	Friction Loss	Ve
1	.0025	0.8	.0008	.5	.0003	.3	.0001	.2	.0000	.1	.0000	.1	.0000	.0	.0000	
2	.0090	1.7	.0028	1.0	.0009	.6	.0003	.4	.0002	.3	.0001	.2	.0000	.1	.0000	
3	.0190	2.5	.0059	1.5	.0020	.9	.0006	.6	.0003	.4	.0001	.3	.0000	.2	.0000	
4	.0323	3.4	.0101	2.0	.0663	1.3	.0011	.8	.0006	.6	.0002	.4	.0001	.2	.0000	
5	.0489	4.2	.0152	2.6	.0051	1.6	.0016	1.0	.0008	.7	.0003	.5	.0001	.3	.0000	
6	.0685	5.1	.0214	3.1	.0071	1.9	.0023	1.2	.0012	.9	.0004	.6	.0002	.4	.0001	
7	.0911	5.9	.0284	3.6	.0094	2.3	.0030	1.4	.0016	1.1	.0005	.7	.0002	.4	.0001	
8	.1166	6.7	.0364	4.1	.0121	2.6	.0039	1.6	.0020	1.2	.0007	.8	.0003	.5	.0001	
9	.1449	7.6	.0452	4.7	.0150	2.9	.0048	1.8	.0025	1.4	.0008	.9	.0003	.6	.0001	
10	.1761	8.4	.0550	5.2	.0182	3.3	.0059	2.0	.0030	1.5	.0010	1.0	.0004	.6	.0002	
11	.2101	9.3	.0656	5.7	.0217	3.6	.0070	2.2	.0036	1.7	.0012	1.1	.0005	.7	.0002	
12	.2468	10.1	.0770	6.2	.0255	3.9	.0082	2.5	.0043	1.9	.0014	1.2	.0006	.8	.0002	
13	.2862	11.0	.0893	6.7	.0296	4.3	.0095	2.7	.0049	2.0	.0017	1.3	.0007	.9	.0003	
14	.3282	11.8	.1024	7.3	.0340	4.6	.0109	2.9	.0057	2.2	.0019	1.4	.0008	.9	.0003	
15	.3729	12.7	.1164	7.8	.0386	4.9	.0124	3.1	.0064	2.3	.0022	1.5	.0009	1.0	.0003	
16	.4202	13.5	.1312	8.3	.0435	5.3	.0140	3.3	.0072	2.5	.0024	1.6	.0010	1.1	.0004	
17	.4701	14.3	.1467	8.8	.0486	5.6	.0156	3.5	.0081	2.7	.0027	1.7	.0011	1.1	.0004	
18	.5225	15.2	.1631	9.4	.0541	5.9	.0174	3.7	.0090	2.8	.0030	1.8	.0012	1.2	.0005	
19	.5775	16.0	.1802	9.9	.0597	6.3	.0192	3.9	.0100	3.0	.0034	1.9	.0013	1.3	.0005	
20	.6350	16.9	.1982	10.4	.0657	6.6	.0211	4.1	.0110	3.1	.0037	2.0	.0015	1.3	.0006	
21	.6950	17.7	.2169	10.9	.0719	6.9	.0231	4.3	.0120	3.3	.0040	2.1	.0016	1.4	.0006	
22	.7574	18.6	.2364	11.5	.0783	7.3	.0252	4.5	.0131	3.5	.0044	2.2	.0017	1.5	.0007	
23	.8224	19.4	.2567	12.0	.0851	7.6	.0273	4.7	.0142	3.6	.0048	2.3	.0019	1.6	.0007	
24	.8897	20.2	.2777	12.5	.0920	7.9	.0296	5.0	.0153	3.8	.0052	2.4	.0020	1.6	.0008	
25	.9595	21.1	.2995	13.0	.0993	8.3	.0319	5.2	.0166	3.9	.0056	2.5	.0022	1.7	.0008	
26	1.0317	21.9	.3220	13.5	.1067	8.6	.0343	5.4	.0178	4.1	.0060	2.6	.0024	1.8	.0009	
27	1.1063	22.8	.3453	14.1	.1144	8.9	.0368	5.6	.0191	4.2	.0064	2.7	.0025	1.8	.0010	
28	1.1833	23.6	.3693	14.6	.1224	9.3	.0394	5.8	.0204	4.4	.0069	2.8	.0027	1.9	.0010	
29	1.2627	24.5	.3941	15.1	.1306	9.6	.0420	6.0	.0218	4.6	.0073	2.9	.0029	2.0	.0011	
30	1.3444	25.3	.4196	15.6	.1391	9.9	.0447	6.2	.0232	4.7	.0078	3.0	.0031	2.0	.0012	
31	1.4285	26.2	.4458	16.2	.1478	10.2	.0475	6.4	.0246	4.9	.0083	3.1	.0033	2.1	.0013	
32	1.5149	27.0	.4728	16.7	.1567	10.6	.0504	6.6	.0261	5.0	.0088	3.2	.0035	2.2	.0013	
33	1.6037	27.8	.5005	17.2	.1659	10.9	.0533	6.8	.0277	5.2	.0093	3.3	.0037	2.2	.0014	
34	1.6947	28.7	.5289	17.7	.1753	11.2	.0564	7.0	.0292	5.4	.0098	3.4	.0039	2.3	.0015	
35	1.7881	29.5	.5580	18.2	.1850	11.6	.0595	7.2	.0308	5.5	.0104	3.5	.0041	2.4	.0016	
36			.5879	18.8	.1949	11.9	.0626	7.5	.0325	5.7	.0109	3.6	.0043	2.5	.0017	
37			.6185	19.3	.2050	12.2	.0659	7.7	.0342	5.8	.0115	3.7	.0046	2.5	.0017	
38			.6498	19.8	.2154	12.6	.0692	7.9	.0359	6.0	.0121	3.8	.0048	2.6	.0018	
39			.6817	20.3	.2260	12.9	.0726	8.1	.0377	6.2	.0127	3.9	.0050	2.7	.0019	
40			.7144	20.9	.2368	13.2	.0761	8.3	.0395	6.3	.0133	4.0	.0053	2.7	.0020	

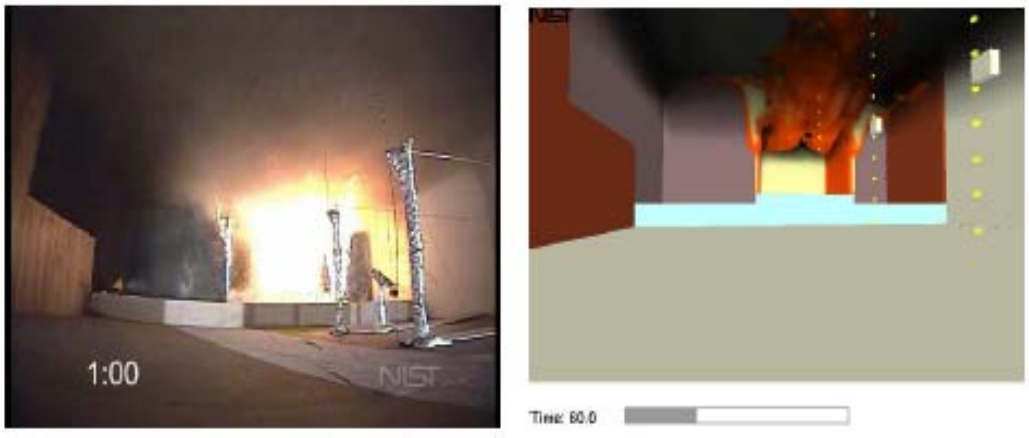
ที่มา: Blaze Master CPVC fire Sprinkler System Product Information (2008)

คำนวณชลศาสตร์ระบบสปริงเกลอร์ในบ้านพักอาศัยดับเพลิงที่ออกแบบเอาไว้ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Full Hydraulic Calculation (FHC) เพื่อหาขนาดของปั๊มให้เหมาะสมกับความต้องการของระบบ และนำค่าอัตราการไหลและความดันขณะหัวสปริงเกลอร์ทำงานมาใช้ในการกำหนดคุณสมบัติของหัวสปริงเกลอร์ในการจำลองด้วยโปรแกรม FDS

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Daniel (2003) ได้ใช้โปรแกรม FDS จำลองเหตุการณ์เกิดเพลิงไหม้ที่ Station nightclub ที่ 211 Cowesett Avenue, West Warwick, Rhode Island. สาเหตุเพลิงไหม้เกิดจากวงดนตรีที่แสดงบนเวทีใช้ Effect ทำให้ไฟไปติดฉนวนที่หุ้มกำแพงที่ทำจาก polyurethane foam เพลิงไหม้ลุกลามอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดควันไปบดบังทางออกใช้เวลาเพียง 1 นาที จากนั้นในเวลาเพียง 5 นาทีเพลิงก็ลุกไหม้อย่างรุนแรงโดย nightclub แห่งนี้ซึ่งไม่มีระบบสปริงเกลอร์ติดตั้งอยู่ทำให้มีผู้เสียชีวิตในเหตุการณ์นี้มากถึง 100 คน

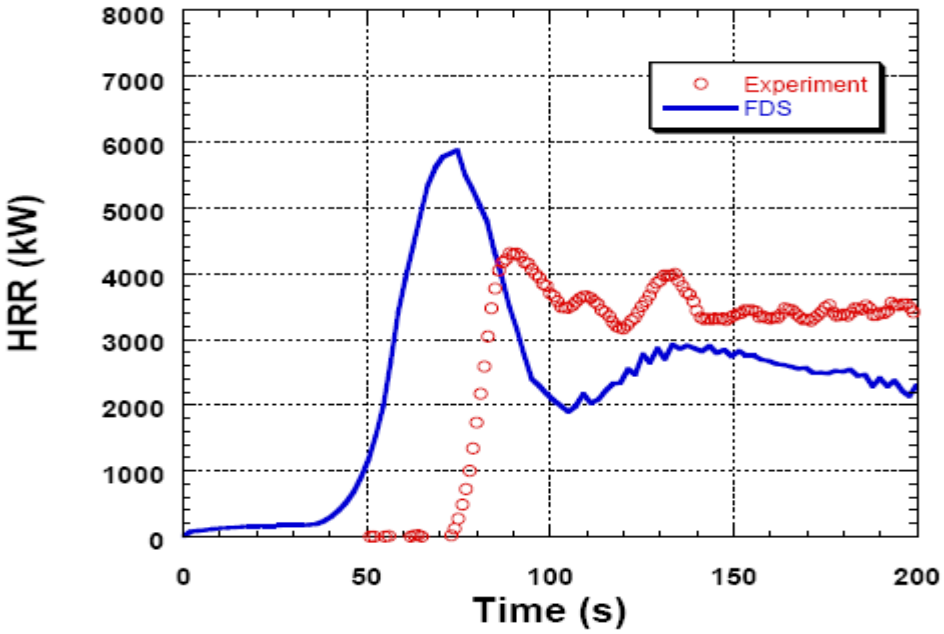
การทดลองนี้ได้ทำการจำลองเวทีการแสดงคอนเสิร์ตโดยใช้Effect ยิงใส่ฉนวนที่หุ้มกำแพง จากนั้นมีการทดลอง 2 กรณีคือให้เกิดเพลิงไหม้แบบไม่มีสปริงเกลอร์และแบบกรณีที่มีการติดตั้งสปริงเกลอร์ แล้วใช้โปรแกรม FDS จำลองเทียบดูในทั้ง 2 กรณี



ภาพที่ 7 การทดลองแบบไม่ติดสปริงเกลอร์ที่เวลา 60 วินาทีเปรียบเทียบกันระหว่างการทดลองและแบบจำลองด้วยโปรแกรม FDS

ที่มา: Daniel Madrzykowski (2003)

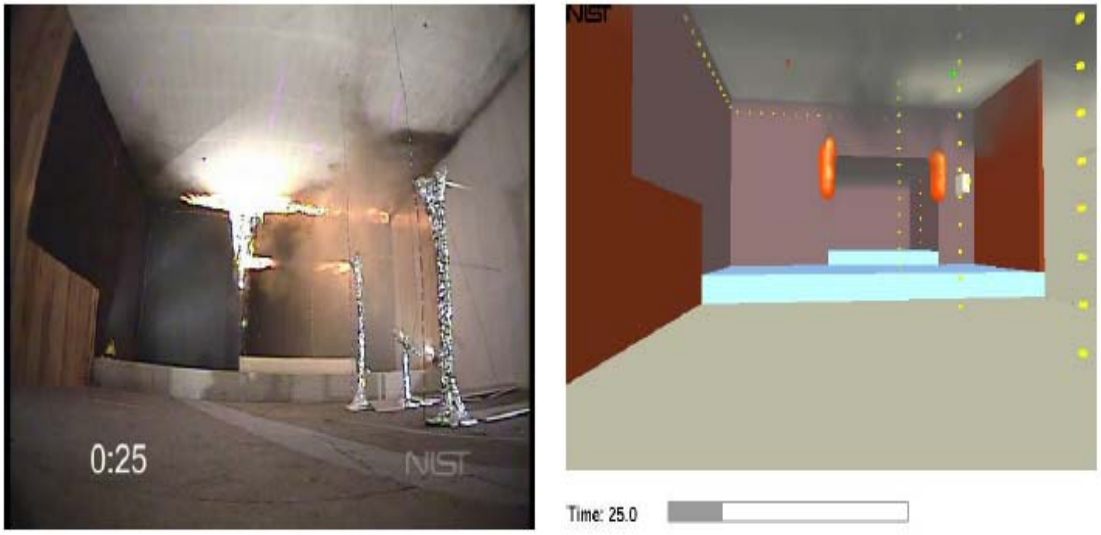
ผลการทดลองพบว่า พฤติกรรมของอัตราการปล่อยพลังงานความร้อน (Heat Release rate) มีความคล้ายคลึงกันระหว่างทดลองและการจำลองโดยโปรแกรมFDS ในช่วงเวลา 60 sec มีอัตราการปล่อยพลังงานความร้อน (Heat Release rate) สูงสุดประมาณ 5000 kW ดังแสดงในภาพที่ 8



ภาพที่ 8 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอัตราการปล่อยพลังงานความร้อนระหว่างการทดลองและโปรแกรมFDS

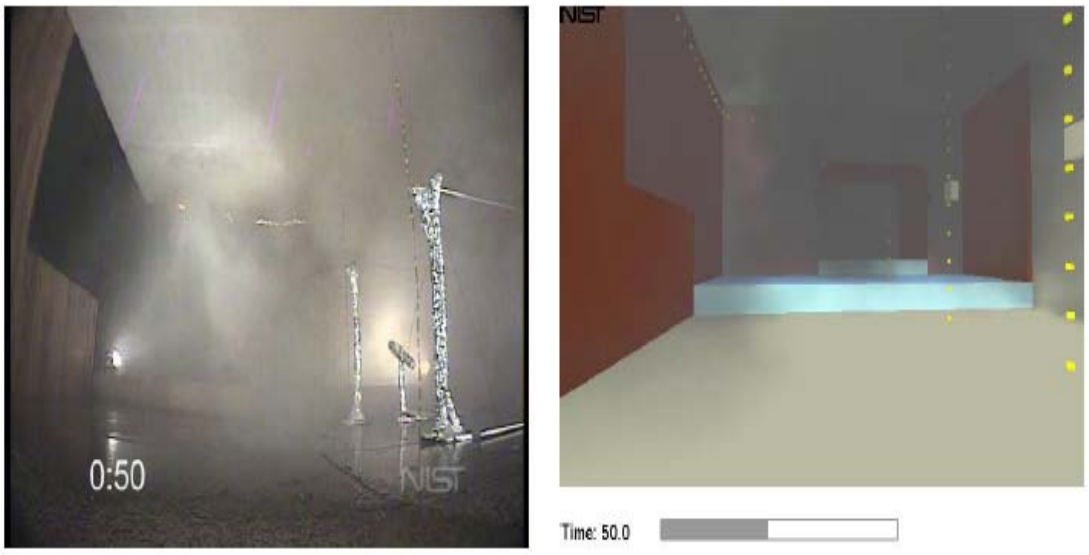
ที่มา: Daniel Madrzykowski (2003)

จากนั้นได้ทำการทดลองโดยติดตั้งสปริงเกลอร์ไว้ตามตำแหน่งต่างๆ จำนวน 4 หัวแล้วจึงทำการทดลองเปรียบเทียบกับโปรแกรม FDS และพบว่าสปริงเกลอร์ตัวแรกเริ่มทำงานที่เวลาผ่านไป 25 วินาที ดังแสดงในภาพที่ 9 โดยสามารถควบคุมไม่ให้ไฟลุกลามได้เมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 50 วินาที ดังแสดงในภาพที่ 10 และอุณหภูมิจะลดลงอย่างต่อเนื่องหลังจากสปริงเกลอร์ทำงาน ดังภาพที่ 11



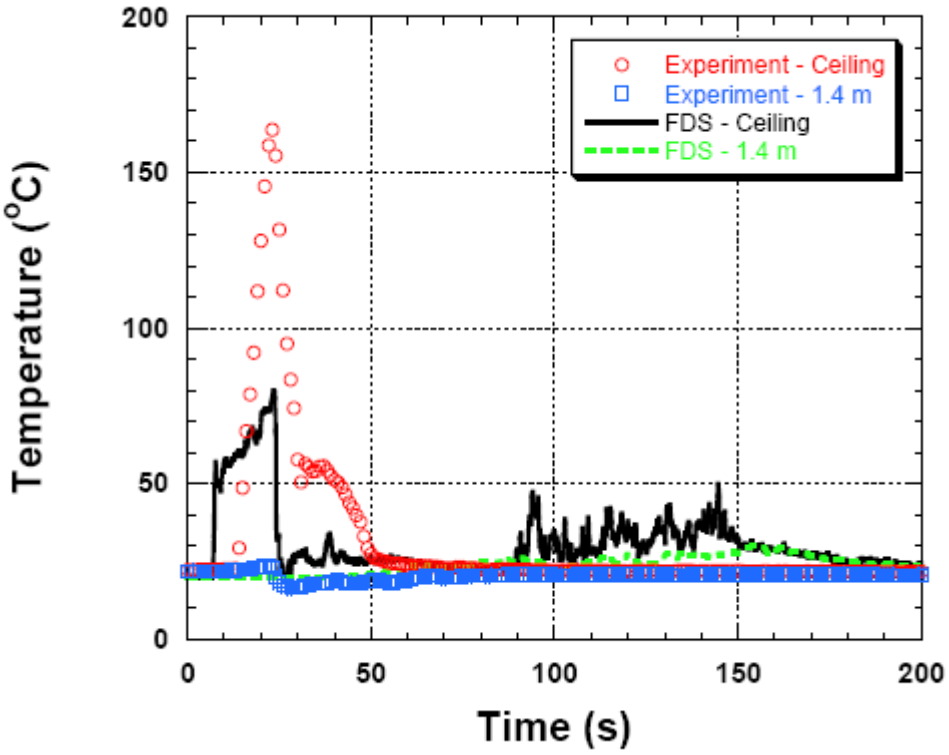
ภาพที่ 9 แสดงสปริงเกลอร์ตัวแรกเริ่มทำงานที่เวลา 25 วินาทีเปรียบเทียบกันระหว่างการทดลองและแบบจำลองด้วยโปรแกรม FDS

ที่มา: Daniel (2003)



ภาพที่ 10 สปริงเกลอร์3 หัวควบคุมเพลิงได้ที่เวลา 50 วินาทีเปรียบเทียบกันระหว่างการทดลองและแบบจำลองด้วยโปรแกรม FDS

ที่มา: Daniel (2003)



ภาพที่ 11 แสดงแนวโน้มของอุณหภูมิที่ลดลงเมื่อมีการติดตั้งสปริงเกลอร์ที่เปรียบเทียบกันระหว่างการทดลองและแบบจำลองด้วยโปรแกรม FDS

ที่มา: Daniel (2003)

การสร้างแบบจำลองในโปรแกรม FDS (Fire Dynamics Simulation) นั้นสิ่งที่สำคัญที่สุด คือ ขนาดกริด (Grid Size) เพราะขนาดกริดที่เหมาะสมเท่านั้นจึงจะทำให้โปรแกรมสามารถคำนวณได้ผลการทดลองที่ถูกต้อง นักวิจัยหลายท่านจึงให้ความสนใจในการทดลองเพื่อหาขนาดของกริดที่เหมาะสม โดยตั้งสมมุติฐานในเหตุอัคคีภัยต่างๆ ดังนี้

Ma and Quintiere (2003) ได้นำเสนอสมการตัวแปรไร้หน่วย เพื่อเป็นตัวแทนในการคำนวณหาขนาดกริดที่เหมาะสม ตามสมการที่ (16) และได้ทำการทดลองหาขนาดของกริด (Grid Size) ที่มีความเหมาะสมเพื่อใช้กำหนดโดยใช้โปรแกรม FDS (Fire Dynamics Simulation) เวอร์ชั่นที่ 2 จำลองการเผาไหม้เชื้อเพลิงในอ่างไฟ (Pool Fire) ผลการทดลองพบว่า R^* เท่ากับ 0.05 เป็น

ขนาดกริด (Grid Size) ที่มีความเหมาะสมมากที่สุดในการคำนวณหาอุณหภูมิของช่วงเปลวไฟช่วงต่อเนื่อง (Continuous flame)

$$R^* = \frac{\Delta Z}{\left[\frac{Q}{\rho_\infty c_p T_\infty \sqrt{g}}\right]^{2/5}} \qquad (16)$$

R^* = ขนาดของกริดในเทอมตัวแปรไร้หน่วย

ΔZ = ขนาดของกริด (Grid Size), m

ρ_∞ = ความหนาแน่น (Density), kg / m^3

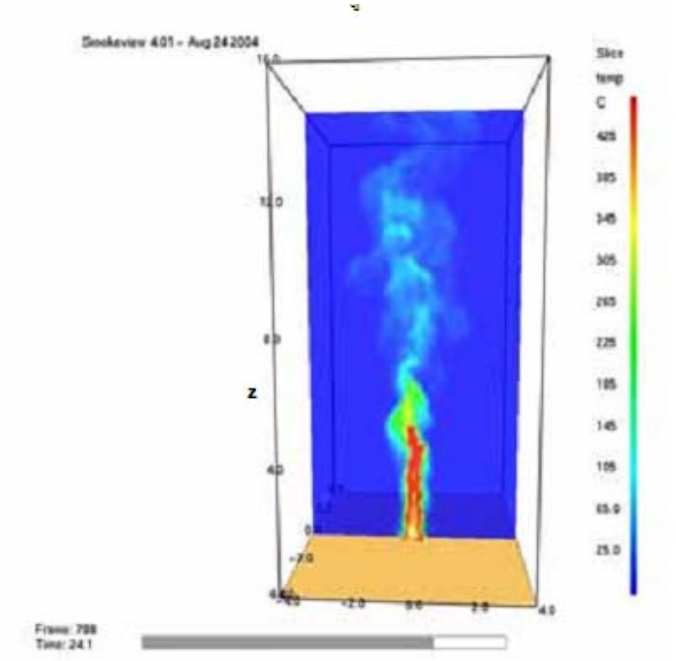
c_p = ค่าความจุความร้อนของอากาศ (Heat of Specification),kJ/kg . K

T_∞ = อุณหภูมิของอากาศ (Ambient Temperature), K

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

ถึงแม้ว่าขนาดกริด (Grid Size) จะเป็นขนาดที่เหมาะสมก็จริง แต่หากใช้ให้ขนาดกริด(Grid Size) นี้ในการสร้างแบบจำลองอัคคีภัย (Fire Model) ทุกๆกรณี ก็อาจถือได้ว่าสิ้นเปลื้องเวลา และทรัพยกรอื่นๆ ในการทดลองมากจนเกินไปไม่เหมาะสมในทางปฏิบัติจริง หากต้องกำหนดขนาดกริด (Grid Size) ก็ควรจะต้องพิจารณาถึงผลที่ต้องการได้จากการจำลองแบบอัคคีภัย และขนาดของแบบโครงสร้างสถานที่ด้วย 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 1,500 kW และใช้ช่วงของขนาดกริด (Grid Size) ในเทอมของตัวแปรไร้หน่วย R* ตั้งแต่ 0.05 ถึง 0.259 เพื่อคำนวณหาอุณหภูมิ และ ความเร็วของลำควัน เปรียบเทียบสมการที่ได้จากการทดลอง พบว่า กริดขนาด R* ในช่วง 0.110 ถึง 0.171 สามารถใช้ในการคำนวณได้อย่างเหมาะสมที่สุด ดังแสดงในภาพที่ 12



ภาพที่ 12 ภาพจำลองอุณหภูมิของลำควันในเวลา 24.1 วินาที, ขนาดของ R* เท่ากับ 0.164 และอัตราการปลดปล่อยความร้อน (Heat Release Rate) เท่ากับ 1,000 kW

ที่มา: ณัฐศักดิ์ (2549)

สำหรับโปรแกรม FDS Version 5.0 ได้มีการเปลี่ยนแปลงขนาดของ Grid size เป็น Mesh Size โดยการหาขนาดที่เหมาะสมนั้นจะมีการกำหนดตัวแปรไร้หน่วยคือ D^* และ Mesh size คือ dx การกำหนดขนาดของ Mesh size คือ อัตราส่วนของ D^*/dx ต้องมีค่าอยู่ระหว่าง 4-16 สำหรับค่า D^* สามารถหาค่าได้ดังนี้

$$D^* = \left(\frac{\dot{Q}}{\rho_\infty C_p T_\infty \sqrt{g}} \right)^{\frac{2}{5}} \qquad (17)$$

D^* = ขนาดของกริดในเทอมตัวแปรไร้หน่วย

$\dot{Q}$ = อัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อน, kW

ρ_∞ = ความหนาแน่น (Density), kg / m^3

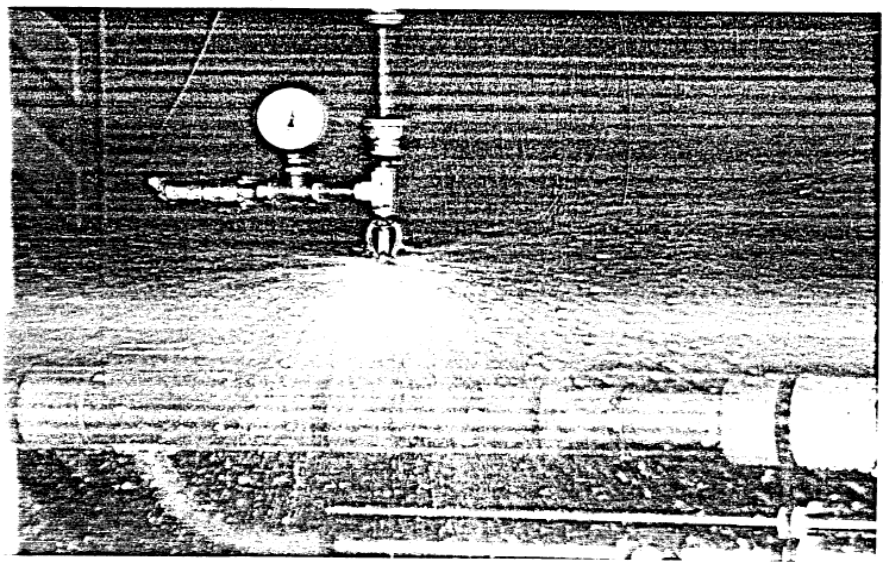
c_p = ค่าความจุความร้อนของอากาศ (Heat of Specification),kJ/kg . K

T_∞ = อุณหภูมิของอากาศ (Ambient Temperature), K

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

Kristopher ได้คิดค้นเครื่องมือช่วยในการคำนวนหา Mesh size เรียกว่า FDS V5 Mesh size Calculator สามรถดูได้ใน http://www.koverholt.com/fds-mesh-size-calc ซึ่งเครื่องมือตัวนี้จะให้เราใส่ขนาดโดเมนของพื้นที่ที่เราจะทำการจำลองและใส่ค่าอัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อน โดยจะคำนวณค่า D^* ออกมาจากนั้นให้เรานำค่า D^*/dx ที่มีค่าอยู่ระหว่าง 4-16 มาแทนค่าเพื่อหา dx ซึ่งเป็นค่า Mesh size สำหรับงานวิจัยนี้คำนวนค่า Mesh size ได้ที่ 0.1 โดยการใช้ FDS V5 Mesh size Calculator เป็นเครื่องมือในการหา

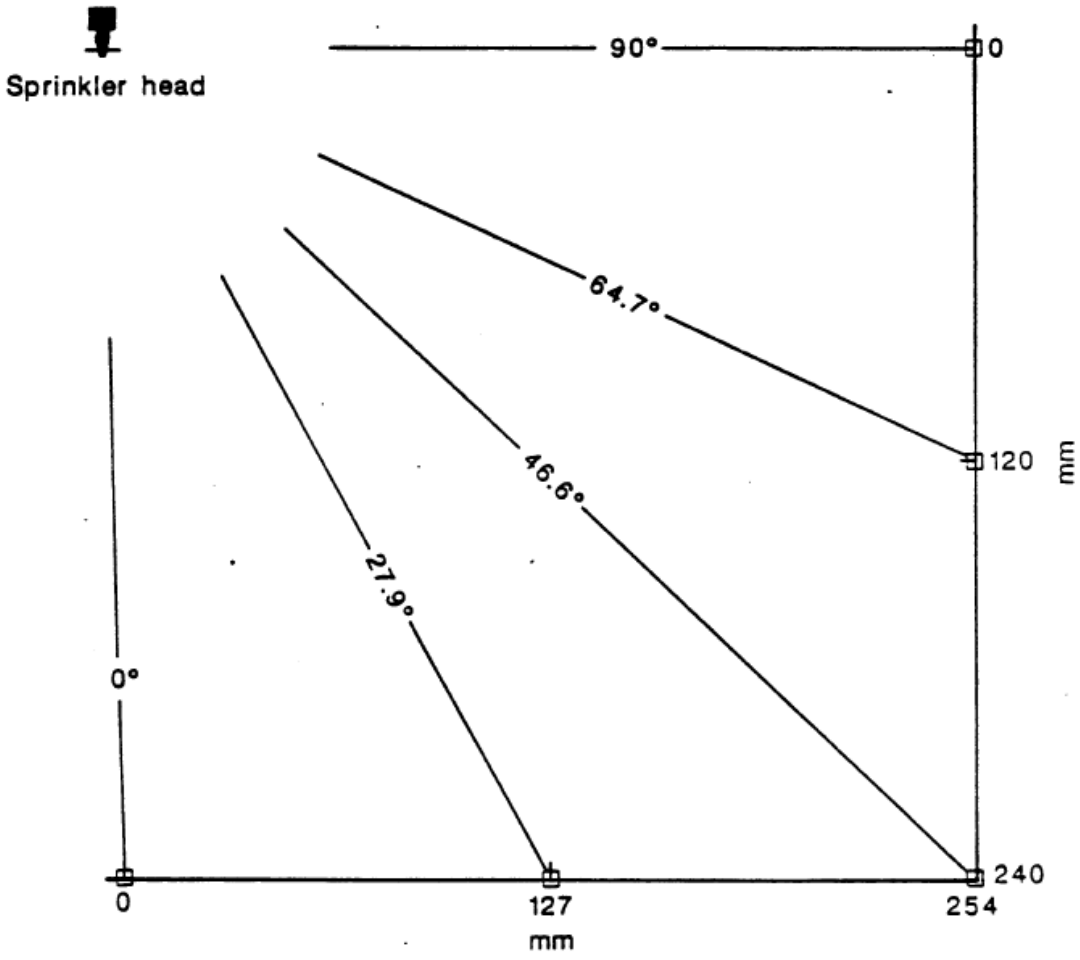
Lawson (1988) ได้ทำการทดลองหาขนาดของหยดน้ำที่ออกมาจากหัวสปริงเกลอร์ (Droplet Size in Sprinkler Spray) โดยใช้การถ่ายภาพของหยดน้ำที่กระจายออกมาและใช้คอมพิวเตอร์มาประมวลผล การวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก The Swedish Fire Research Board Stockholm, Sweden



ภาพที่ 13 ภาพถ่ายของหัวสปริงเกลอร์ขณะกำลังทำงาน

ที่มา: Lawson (1988)

การทดลองนี้ทำการวัดขนาดของหยดน้ำโดยหาค่าเฉลี่ยของขนาดหยดน้ำประมาณ 4000 หยด ที่มุมการกระจายตัวต่างๆ คือ 0°, 27.9°, 46.6°, 64.7° และ 90° ในการทดลองนี้จำกำหนดอัตราการไหลไว้ที่ 1 ลิตร/วินาที(l/s) และ 2 ลิตร/วินาที(l/s)

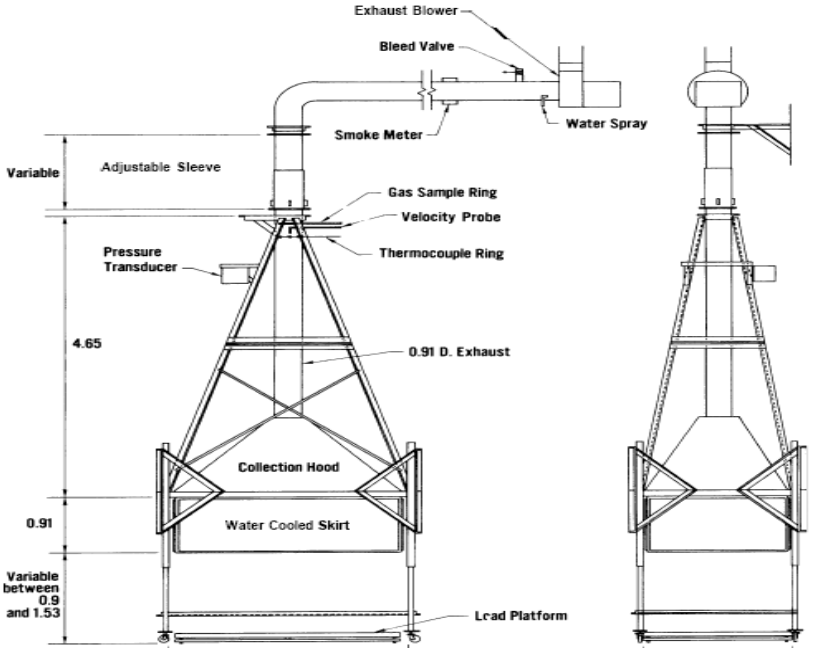


ภาพที่ 14 ตำแหน่งของมุมต่างของการกระจายตัวของหยดน้ำที่จะทำการวัดขนาดละอองน้ำ

ที่มา: Lawson (1988)

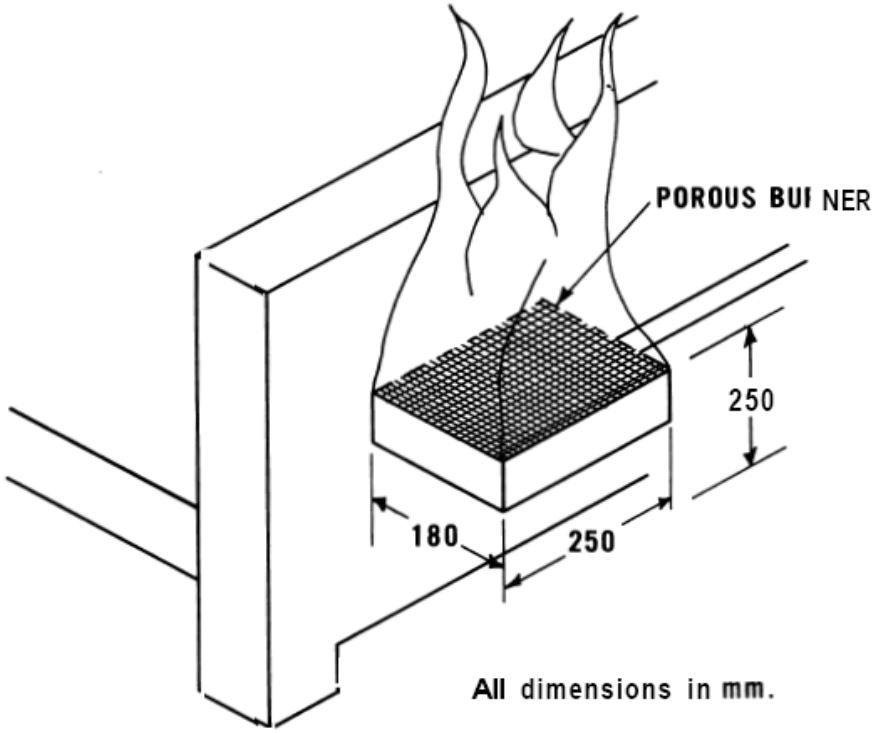
สำหรับขนาดเฉลี่ยของหยดน้ำที่อัตราการไหล 1 ลิตร/วินาทีนั้นวัดขนาดได้ 943 μm และขนาดเฉลี่ยของหยดน้ำที่อัตราการไหล 2 ลิตร/วินาทีนั้นวัดขนาดได้ 703 μm ซึ่งขนาดของหยดน้ำที่วัดได้จากการทดลองนี้จะนำไปใช้อ้างอิงขนาดของหยดน้ำที่จะป้อนข้อมูลเข้าไปในคุณสมบัติของหัวสปริงเกลอร์ที่จะทำการจำลองด้วยโปรแกรม FDS

Vytenis (1985) ได้ทำการวัดค่าอัตราการปลดปล่อยความร้อนของเฟอร์นิเจอร์ที่เป็นเก้าอี้บุนวม (Upholstered Furniture) แบบต่างๆ ด้วย furniture calorimeter โดยให้ความร้อน 50 kW บนเบาะที่ทำด้วย polyurethane ซึ่งพื้นที่ของ Burner คือ 0.18 m x 0.25 m

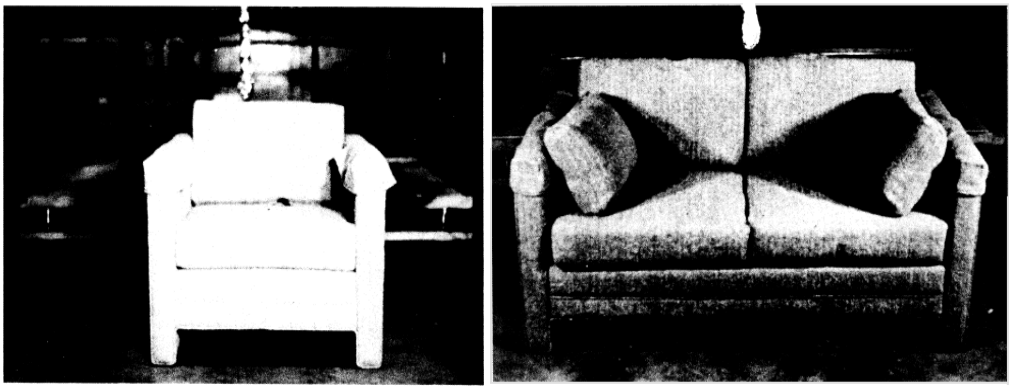


ภาพที่ 15 Furniture calorimeter

ที่มา: Vytenis (1982)



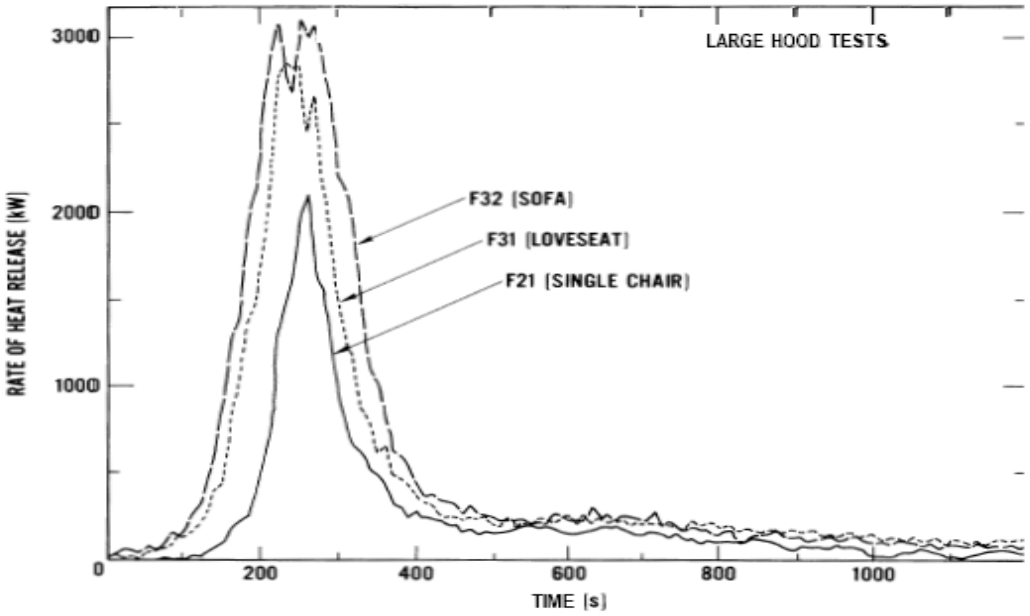
ภาพที่ 16 พื้นที่ของ Burner ที่ให้ความร้อน ที่มา: Vytenis Babrauskas, (1985)



ภาพที่ 17 โซฟาแบบต่างๆ ที่นำมาทดลอง

ที่มา: Vytenis (1985)

ค่าอัตราการปลดปล่อยพลังงาน(Heat Release rate) ของโซฟาแบบต่างๆ สูงสุด 3000 kW โดยจะแสดงตามภาพที่ 18 ซึ่งอัตราการปลดปล่อยพลังงานที่วัดออกมาได้จะนำไปใช้ในการหาขนาดของ Mesh size ที่เหมาะสมในการจำลองด้วยโปรแกรม FDS



ภาพที่ 18 ค่าอัตราการปลดปล่อยพลังงาน (Heat Release rate) ของโซฟาแบบต่างๆ

ที่มา: Vytenis (1985)

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. คอมพิวเตอร์ แบบชนิดพกพา AMD Mobile Sempron ™ 3000 (1.6 GHz,773 MHz, 2MB L2 cache) / 40 GB HDD / 1.0 GB Memory

2. โปรแกรมจำลองพลศาสตร์อัคคีภัย (Fire Dynamic Simulator, FDS) รุ่นที่ 5. พร้อมโปรแกรม Smokeview จากสถานบัน National Institute of Standard and Technology (NIST) ซึ่งสามารถดาวน์โหลดได้ที่ http://fire.nist.gov/fds/ เพื่อสร้างแบบจำลองของบ้านพักอาศัย

3. โปรแกรม PyroSim จาก Thunder Head Engineering version 2008 ซึ่งสามารถดาวโหลดได้ที่ http://www.thunderheadeng.com เพื่อใช้เป็นเครื่องมือ สำหรับเขียนโปรแกรม Fire Dynamic Simulator รุ่น 5 เท่านั้น

4. โปรแกรม Full Hydraulic Calculation จาก Canute Soft ลิขสิทธิ์ถูกต้องของบริษัทไฟร์เทรด เอ็นจิเนียริ่ง จำกัด เพื่อใช้เป็นเครื่องมือ สำหรับคำนวนชลศาสตร์ของน้ำ

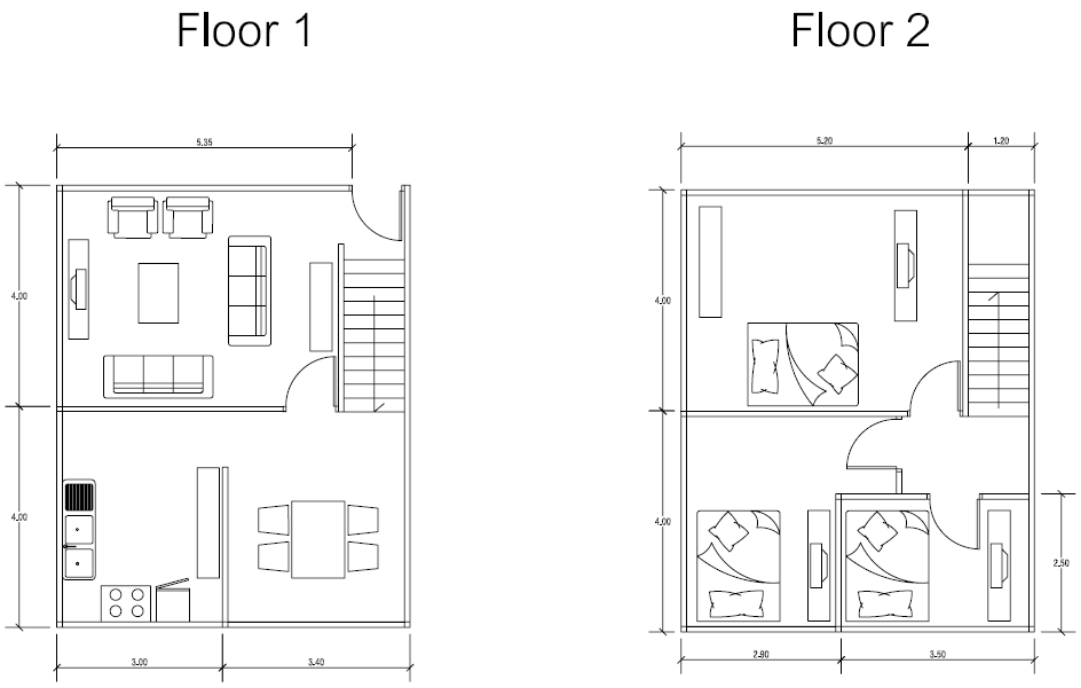
วิธีการ

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

2. สำรวจ และ เก็บข้อมูลรายละเอียดที่เกี่ยวกับบ้านพักอาศัยเพื่อเป็นข้อมูลในการตั้งสมมุติฐานเหตุเพลิงไหม้เพื่อใช้ในการออกแบบระบบสปริงเกลอร์ในบ้านพักอาศัยและสร้างแบบจำลองบ้านพักอาศัย ซึ่งประกอบไปด้วยข้อมูลเบื้องต้น ดังนี้

2.1 บ้านพักอาศัยหลังนี้สูง 4.8 เมตร มีจำนวน 2 ชั้น กว้าง 6.4 เมตร ยาว 8.0 เมตร แบ่งพื้นที่ใช้สอยออกเป็น 2 ส่วนคือ ชั้นที่ 1 เป็นส่วนที่ใช้ดำเนินชีวิตประจำประกอบด้วยห้องนั่งเล่น

ห้องครัว และ ห้องรับประทานอาหาร ส่วนชั้นที่ 2 เป็นส่วนที่ใช้สำหรับพักผ่อนนอนหลับมี 3 ห้องนอนโดยในบ้านมีคนพักอาศัย 5 คน



ภาพที่ 19 แบบแปลนบ้านแสดงห้องต่างๆ

2.2 การอพยพหนีเพลิงไหม้ของบ้านพักอาศัยแห่งนี้ให้อพยพออกทางประตูกว้าง 0.9 เมตรที่อยู่ในห้องนั่งเล่น

2.3 ห้องนั่งเล่นเป็นห้องเป็นห้องที่มีความเสี่ยงสูงในการเกิดเหตุเพลิงไหม้ได้เพราะเฟอร์นิเจอร์ต่างๆ อยู่มากที่สุดในบ้านและเป็นเชื้อเพลิงอย่างดีซึ่งหากเกิดเพลิงไหม้ขึ้นจะทำให้ควันสามารถแผ่กระจายไปยังห้องต่างๆ ได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งนับว่าเป็นสถานการณ์ที่อันตรายร้ายแรงต่อการอพยพหนีเพลิงไหม้ และจากข้อมูลจาก NFPA13 ห้องนั่งเล่นมีอัตราเสี่ยงในการเกิดเพลิงไหม้สูงสุด โดยจะกำหนดให้เพลิงไหม้เกิดที่บริเวณโซฟาเพราะเป็นวัสดุมีโอกาสติดไฟและลุกลามอย่างรวดเร็ว

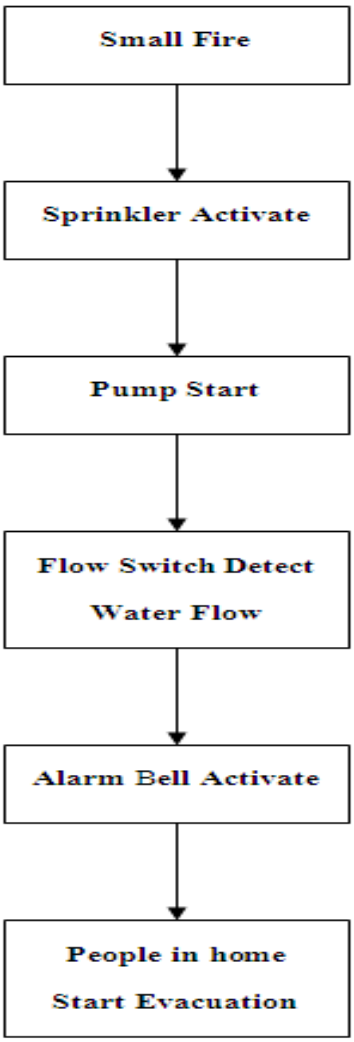
ตารางที่ 11 แสดงอัตราการเกิดเพลิงไหม้ในบ้านพักอาศัย

Area of Origin	Percent Occurence[1]
Living room	41%
Bedroom	27%
Kitchen	15%
Storage area	4%
Heating equipment room	3%
Structural area	2%
Other areas	8%
Form of Materials Ignited	**Percent Occurence[2]**
Furniture	27%
Bedding	18%
Combustible liquid or gas	13%
Interior finish	9%
Structural member	9%
Waste, rubbish	4%
Clothing (on a person)	3%
Cooking materials	3%
Electrical insulation	2%
Curtains, draperies	2%
Other	10%
Form of Heat of Ignition	**Percent Occurence[3]**
Smoking materials	36%
Heat from fuel-fire or powered object	25%
Heat from miscellaneous open flame (including match)	15%
Heat from electrical equipment arcing or overload	14%
Hot objects, including properly operating electrical equipment	7%
Other	3%

Note: Total number of incidents reported: 10,194.

ที่มา: NFPA13D Standard for the Installation of the Sprinkler Systems in One and Two-Family Dwellings and Manufactured Homes(2002)

2.4 ระบบสปริงเกลอร์ในบ้านพักอาศัย (Home Fire Sprinkler) ของบ้านพักอาศัยแห่งนี้ เป็นระบบท่อเปียกคือมีน้ำอยู่ในระบบท่อตลอดเวลาสามารถใช้ร่วมกับระบบประปาได้ โดยติดตั้ง Domestic Shut off Valve ที่คิดค้นเพื่อใช้กับระบบสปริงเกลอร์ในบ้านพักอาศัยโดยเฉพาะ เมื่อเริ่มเกิดเพลิงไหม้อุณหภูมิจะเพิ่มสูงขึ้นจนกระทั่งทำให้หัวสปริงเกลอร์แตกออกทำให้น้ำที่อยู่ในท่อโปรยลงมาดับเพลิงที่อยู่ในห้อง จากนั้นปั๊มจะเริ่มทำงานเพื่อปั๊มน้ำเข้าสู่ระบบสปริงเกลอร์โดยจะมี Flow Switch ที่จับการไหลของน้ำในเส้นท่อจะส่งสัญญานไปยังกระดิ่งให้ดังเพื่อปลุกคนในบ้านที่กำลังหลับอยู่ให้อพยพออกจากตัวบ้าน

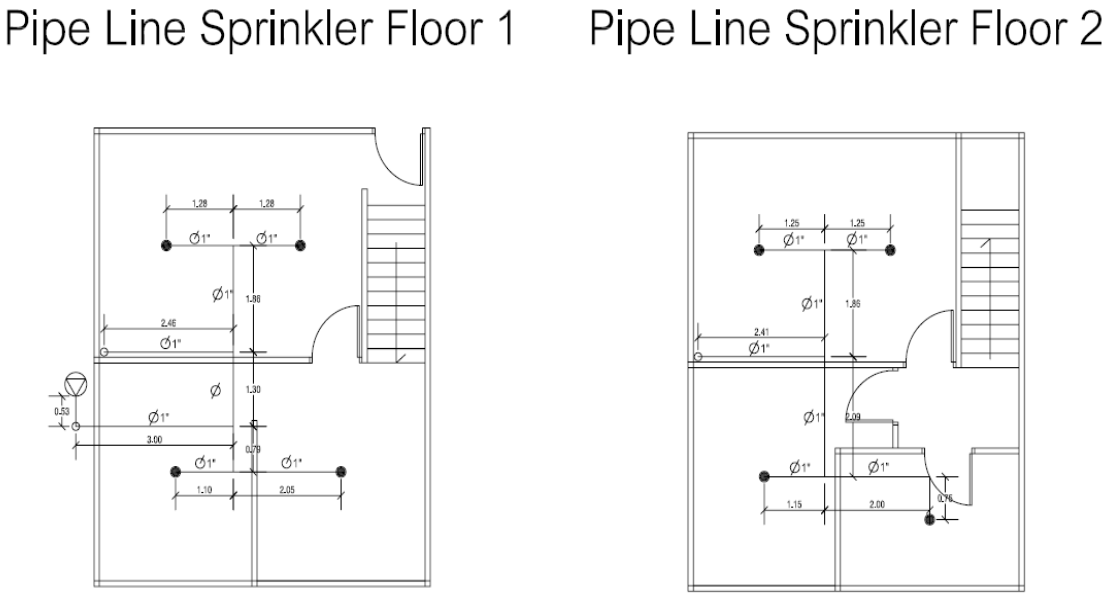


ภาพที่ 20 แสดงการทำงานของระบบสปริงเกลอร์ในบ้านพักอาศัย

3. ออกแบบระบบสปริงเกลอร์ในบ้านพักอาศัย

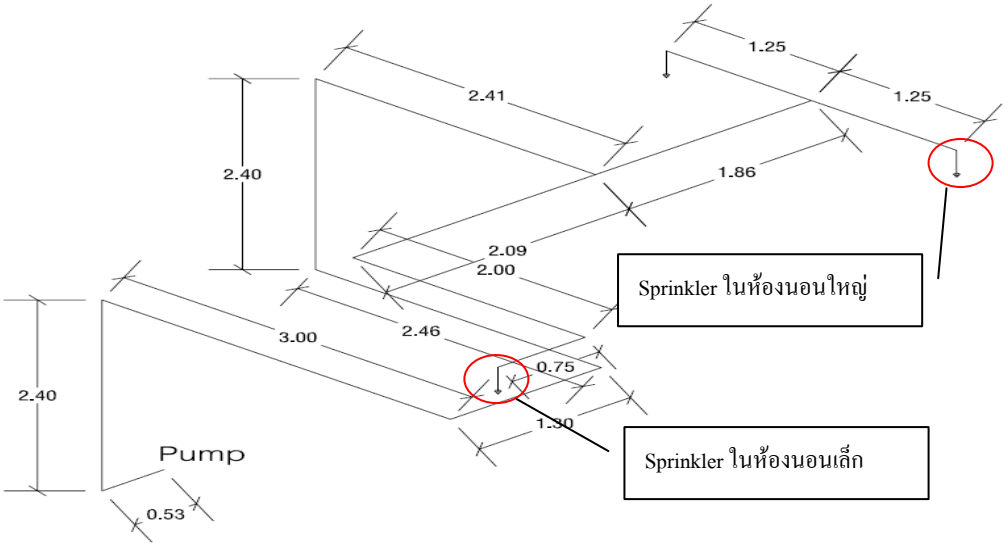
3.1 กำหนดตำแหน่งของปั๊มและหัวสปริงเกลอร์ที่จะติดตั้งในบ้านพักอาศัย การวิจัยนี้จะกำหนดให้พื้นที่การกระจายน้ำของหัวสปริงเกลอร์อยู่ที่ 13.7 ตารางเมตรต่อสปริงเกลอร์ 1 หัว

3.2 วาดแนวท่อของระบบสปริงเกลอร์ที่กำหนดตำแหน่งเอาไว้และกำหนดขนาดของท่อให้เหมาะสมในการวิจัยนี้กำหนดขนาดท่อไว้ที่ 25 มม.



ภาพที่ 21 แสดงการวางตำแหน่งปั๊มและแนวการเดินท่อของระบบสปริงเกลอร์

3.3 คำนวนหาขนาดของปั๊มที่ระบบต้องการจะเลือกคำนวณจากหัวสปริงเกลอร์ที่ติดตั้งในจุดไกลที่สุดจากปั๊มเพราะมี Friction loss มากที่สุด ซึ่งก็มีห้องนอนที่ชั้น 2 คือห้องนอนใหญ่และห้องนอนเล็กที่มีโอกาสเป็นห้องที่ทำให้เกิด Friction loss มากที่สุด (Most Remote Area)



ภาพที่ 22 แสดงระยะของแนวท่อเริ่มจากปั๊มไปห้องนอนใหญ่และห้องนอนเล็ก

4. คำนวณหาขนาดของปั๊มด้วยโปรแกรม Full Hydraulic Calculation ในการคำนวณโดยแบ่งการทำงานของหัวสปริงเกลอร์เป็น 2 กรณี

4.1 กรณีสปริงเกลอร์ทำงาน 1 หัวกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างในการคำนวณดังนี้

- Hazard Classification : Light Hazard => เนื่องจากเป็นบ้านพักอาศัย
- Density of Discharge : 5.1 (L/min)/m^2 => อ้างอิงจาก NFPA 13D
- Area Sprinkler Operation : 10.2 m^2 => พื้นที่ห้อง/จำนวนหัวที่ติดตั้ง
- Pressure Loss Equation : Hazen-Williams
- Pipe Type : CPVC => C-Factor = 150

4.2 กรณีสปริงเกลอร์ทำงาน 2 หัวกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างในการคำนวณดังนี้

- Hazard Classification : Light Hazard => เนื่องจากเป็นบ้านพักอาศัย
- Density of Discharge : 3.7 (L/min)/m^2 => อ้างอิงจาก NFPA 13D
- Area Sprinkler Operation : 10.2 m^2 => พื้นที่ห้อง/จำนวนหัวที่ติดตั้ง
- Pressure Loss Equation : Hazen-Williams
- Pipe Type : CPVC => C-Factor = 150

เมื่อได้ผลการคำนวณของทั้ง 2 กรณีจึงจะนำเอาผลที่ได้มาเลือกปั๊มให้เหมาะสมกับระบบที่ออกแบบ

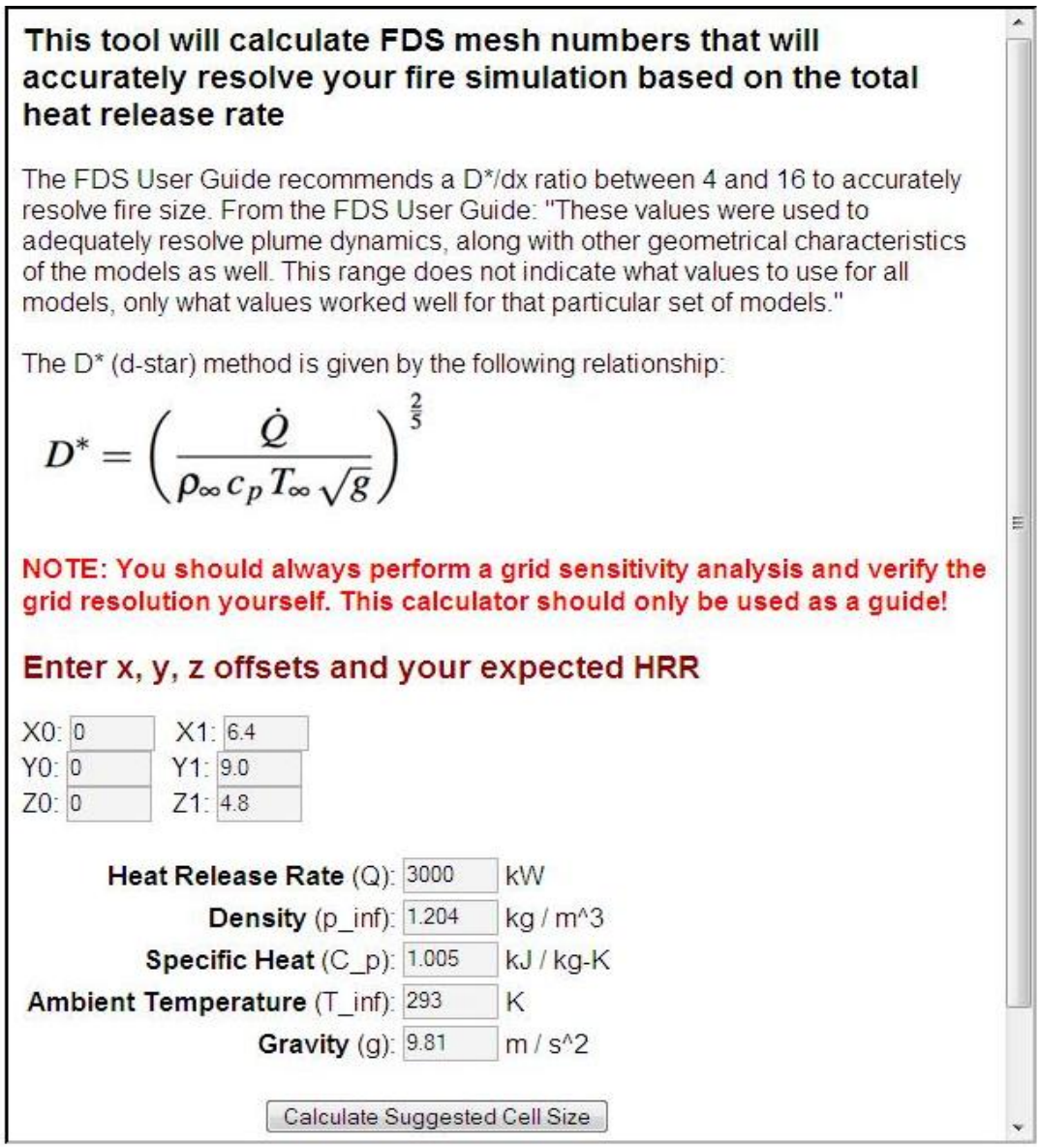
5. กำหนดสถานการณ์การเกิดเหตุเพลิงไหม้ที่จำทำการจำลอง 2 สถานการณ์โดยจะทำการจำลองที่เวลา 480 วินาทีซึ่งเป็นเวลาที่อ้างอิงจากกรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยที่กำหนดให้รถดับเพลิงต้องไปถึงที่เกิดเหตุหลังจากได้รับแจ้ง 8 นาที

5.1 สถานการณ์แรกให้เกิดเพลิงไหม้ขึ้นที่บริเวณโซฟาในห้องนั่งเล่นซึ่งเป็นห้องที่เมื่อเกิดเพลิงไหม้บ่อยที่สุดและมีความรุนแรงมากที่สุดเนื่องจากจะเกิดปรากฏการ Post Flash Over โดยจะศึกษาถึงอัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อน อุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นและระยะการมองเห็น

5.2 สถานการณ์ที่ 2 จะมีทำการจำลองในกรณีติดตั้งระบบสปริงเกลอร์เข้าไปตามตำแหน่งต่างๆตามที่ออกแบบเอาไว้แล้วดูผลเปรียบเทียบกับก่อนติดตั้งระบบสปริงเกลอร์

6. สร้างแบบจำลองโดยใช้โปรแกรม PyroSim (Thunder Head Engineering, 2008) มาใช้เป็นเครื่องมือในการเขียนคำสั่งต่างๆเพื่อสร้างแบบจำลอง เพราะ สามารถเขียนคำสั่งที่เป็นรูปแบบทางกราฟฟิค (Graphic Mode) ซึ่งสะดวกกว่าการเขียนอยู่ในรูปแบบของข้อความ (Text Mode) ในโปรแกรม FDS (Fire Dynamics Simulator) การเขียนโปรแกรม Pyrosim เพื่อแปลงให้อยู่ในรูปแบบของข้อความมีขั้นตอนต่างๆดังนี้

6.1 ใช้ FDS V5 Mesh size Calculator โดยการกำหนดขอบเขตของบ้าน และอัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนเพื่อให้โปรแกรมแนะนำขนาดของ Mesh size



This tool will calculate FDS mesh numbers that will accurately resolve your fire simulation based on the total heat release rate

The FDS User Guide recommends a D*/dx ratio between 4 and 16 to accurately resolve fire size. From the FDS User Guide: "These values were used to adequately resolve plume dynamics, along with other geometrical characteristics of the models as well. This range does not indicate what values to use for all models, only what values worked well for that particular set of models."

The D* (d-star) method is given by the following relationship:

$$D^* = \left(\frac{\dot{Q}}{\rho_\infty c_p T_\infty \sqrt{g}} \right)^{\frac{2}{5}}$$

NOTE: You should always perform a grid sensitivity analysis and verify the grid resolution yourself. This calculator should only be used as a guide!

Enter x, y, z offsets and your expected HRR

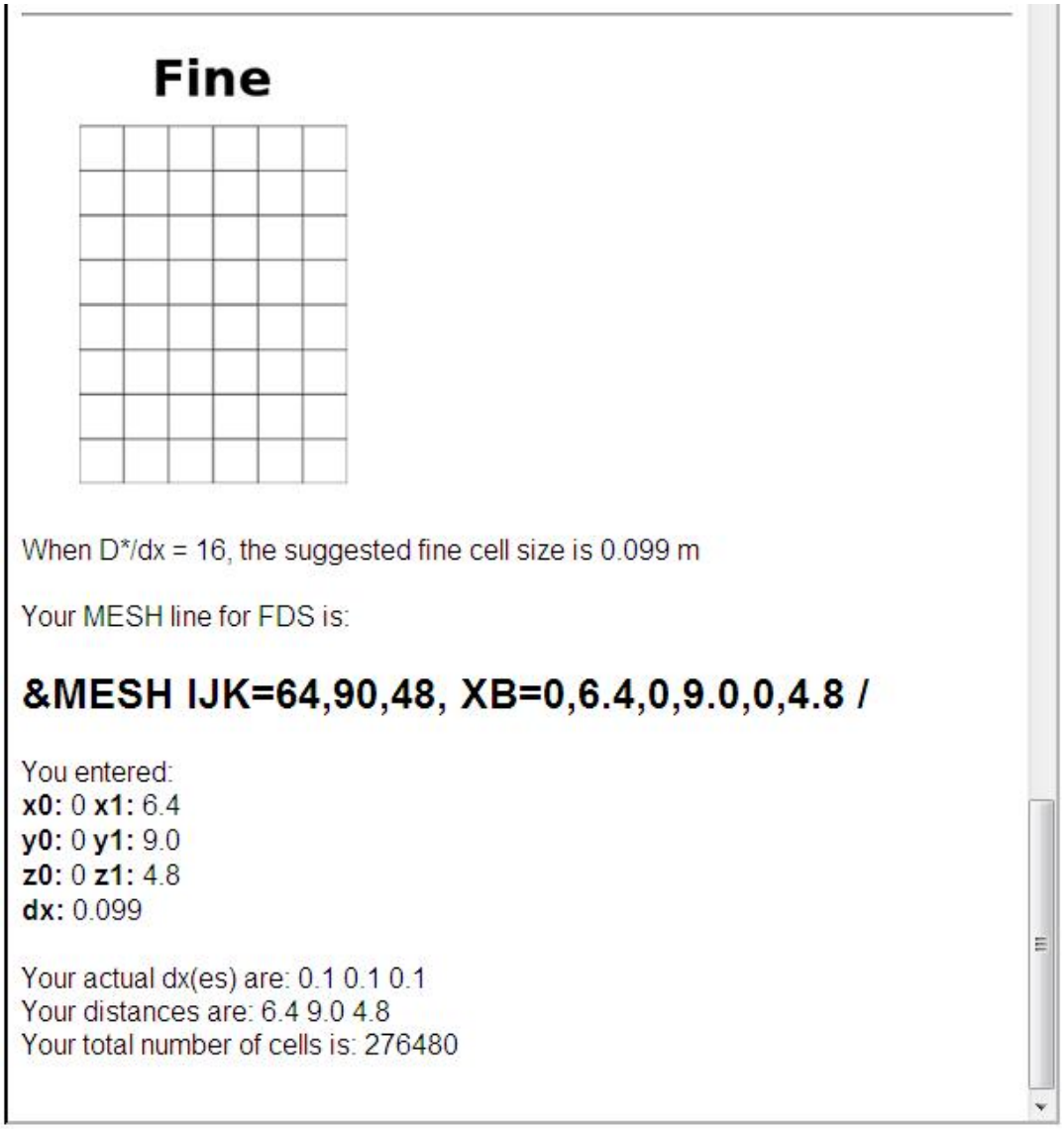
X0:	0	X1:	6.4
Y0:	0	Y1:	9.0
Z0:	0	Z1:	4.8

Heat Release Rate (Q):	3000	kW
Density (p_inf):	1.204	kg / m^3
Specific Heat (C_p):	1.005	kJ / kg-K
Ambient Temperature (T_inf):	293	K
Gravity (g):	9.81	m / s^2

Calculate Suggested Cell Size

ภาพที่ 23 แสดงการใช้ Mesh size Calculator เพื่อหาขนาด Mesh size

จะได้ค่า $D^* = 1.60$ เมื่อแทนค่า $D^* / dx = 16$ จะได้ dx ซึ่งเป็นขนาดของ Mesh size ที่แนะนำให้ใช้ คือ 0.099 เมตร และจำนวน cell คือ 246780



ภาพที่ 24 แสดงผลการใช้ Mesh size Calculator เพื่อหาขนาด Mesh size

6.2 กำหนดพารามิเตอร์ต่างๆ ดังนี้ ในการเขียน Pyrosim 2008

6.2.1 คุณสมบัติวัสดุ

แสดงคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในแบบจำลอง

```
&MATL ID                = 'FABRIC'
    SPECIFIC_HEAT       = 1.0
    CONDUCTIVITY        = 0.1
    DENSITY             = 100.0
    N_REACTIONS         = 1
    NU_FUEL             = 1.
    REFERENCE_TEMPERATURE = 340.
    HEAT_OF_REACTION    = 3000.
    HEAT_OF_COMBUSTION  = 15000. /

&MATL ID                = 'FOAM'
    SPECIFIC_HEAT       = 1.0
    CONDUCTIVITY        = 0.05
    DENSITY             = 40.0
    N_REACTIONS         = 1
    NU_FUEL             = 1.
    REFERENCE_TEMPERATURE = 340.
    HEAT_OF_REACTION    = 1500.
    HEAT_OF_COMBUSTION  = 30000. /

&MATL ID          = 'GYPSUM PLASTER'
    CONDUCTIVITY  = 0.48
    SPECIFIC_HEAT = 0.84
    DENSITY       = 1440. /
```

```
&MATL ID='GYPSUM BOARD_MATL',
    SPECIFIC_HEAT=0.84,
    CONDUCTIVITY=0.4800,
    DENSITY=1.4400000E003/
&MATL ID='CARPET_MATL',
    SPECIFIC_HEAT=9.00,
    CONDUCTIVITY=0.1600,
    DENSITY=750.00,
    EMISSIVITY=1.00,
    HEAT_OF_COMBUSTION=2.2300000E004,
    N_REACTIONS=1,
    HEAT_OF_REACTION=2.0000000E003,
    NU_FUEL=0.62,
    N_T=1.00,
    THRESHOLD_TEMPERATURE=250.00,
    N_S=1.00,
    REFERENCE_RATE=0.1000,
    REFERENCE_TEMPERATURE=100.00/

&MATL ID='SPRUCE_VIRGIN',
    DENSITY=450.00,
    CONDUCTIVITY=0.1600,
    SPECIFIC_HEAT=0.68,
    EMISSIVITY=1.00,
    N_REACTIONS=1,
    HEAT_OF_REACTION=500.00,
    NU_FUEL=0.50,
    NU_RESIDUE=0.50,
    RESIDUE='SPRUCE_CHAR',
    N_T=1.00,
```

```
    THRESHOLD_TEMPERATURE=360.00,
    N_S=1.00,
    REFERENCE_RATE=0.1000,
    REFERENCE_TEMPERATURE=100.00/
&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/
&MATL ID='SPRUCE_CHAR',
    DENSITY=120.00,
    CONDUCTIVITY=0.1600,
    SPECIFIC_HEAT=0.68,
    EMISSIVITY=1.00/

&MATL ID='SPRUCE_FLOOR_VIRGIN',
    DENSITY=450.00,
    CONDUCTIVITY=0.1600,
    SPECIFIC_HEAT=0.68,
    EMISSIVITY=1.00,
    N_REACTIONS=1,
    HEAT_OF_REACTION=500.00,
```

```
    NU_FUEL=0.50,
    NU_RESIDUE=0.50,
    RESIDUE='SPRUCE_FLOOR_CHAR',
    N_T=1.00,
    THRESHOLD_TEMPERATURE=360.00,
    N_S=1.00,
    REFERENCE_RATE=0.1000,
    REFERENCE_TEMPERATURE=100.00/

&MATL ID='SPRUCE_FLOOR_CHAR',
    DENSITY=120.00,
    CONDUCTIVITY=0.1600,
    SPECIFIC_HEAT=0.68,
    EMISSIVITY=1.00//

&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/

&SURF ID='CARPET',
    RGB=153,204,255,
    TEXTURE_MAP='psm_carpet_blue.jpg',
    TEXTURE_WIDTH=0.61,
    TEXTURE_HEIGHT=0.61,
    BACKING='EXPOSED',
    MATL_ID(1,1)='CARPET_MATL',
    MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.00,
```

```
    THICKNESS(1)=6.0000000E-003/
    BURN_AWAY     = .TRUE.
    PART_ID       = 'smoke' /
&SURF ID           = 'UPHOLSTERY'
    COLOR         = 'PURPLE'
    BURN_AWAY     = .TRUE.
    MATL_ID(1:2,1) = 'FABRIC','FOAM'
    THICKNESS(1:2) = 0.002,0.1
    PART_ID       = 'smoke' /
&SURF ID='SPRUCE',
    RGB=128,51,26,
    TEXTURE_MAP='psm_wood1.jpg',
    TEXTURE_WIDTH=0.61,
    TEXTURE_HEIGHT=0.61,
    BACKING='EXPOSED',
    MATL_ID(1,1:2)='SPRUCE_VIRGIN','Water',
    MATL_MASS_FRACTION(1,1:2)=0.99,0.0100,
    THICKNESS(1)=0.0280/
    BURN_AWAY     = .TRUE.
    PART_ID       = 'smoke' /
&SURF ID='SPRUCE_FLOOR',
    RGB=128,51,26,
    TEXTURE_MAP='psm_wood2.jpg',
    TEXTURE_WIDTH=0.61,
    TEXTURE_HEIGHT=0.61,
    BACKING='EXPOSED',
    MATL_ID(1,1:2)='SPRUCE_FLOOR_VIRGIN','Water',
    MATL_MASS_FRACTION(1,1:2)=0.99,0.0100,
    THICKNESS(1)=0.0280/
&SURF ID           = 'WALL'
```

```
RGB          = 200,200,200
MATL_ID      = 'GYPSUM PLASTER'
THICKNESS    = 0.012
```

6.2.2 คุณสมบัติของเชื้อเพลิง

แสดงคุณสมบัติของเชื้อเพลิงที่ใช้ในแบบจำลอง

```
&REAC ID = 'POLYURETHANE'
    FYI       = 'C_6.3 H_7.1 N O_2.1, NFPA Handbook, Babrauskas'
    SOOT_YIELD = 0.10
    N         = 1.0
    C         = 6.3
    CO_YIELD  = 0.02
    H         = 7.1
    O         = 2.1  /
```

6.2.3 ปริมาณความร้อนที่ให้กับ Burner และขนาดพื้นที่ Burner

แสดงปริมาณความร้อนที่ให้กับ Burner และขนาดพื้นที่ Burner

```
&SURF ID='BURNER',
HRRPUA=1000.,
PART_ID='smoke',
COLOR='RASPBERRY'

&VENT XB= 2.90, 3.10, 6.00, 6.25, 0.50, 0.50,
SURF_ID='BURNER'
```

6.2.4 คุณสมบัติและตำแหน่งการติดตั้งสปริงเกอร์

แสดงคุณสมบัติและตำแหน่งการติดตั้งสปริงเกอร์

```
&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-60.5', QUANTITY='SPRINKLER LINK TEMPERATURE', RTI=35., C_FACTOR=0.0,
ACTIVATION_TEMPERATURE=68.0, OFFSET=0.10, OPERATING_PRESSURE = 0.74,
PART_ID='water drops', FLOW_RATE=52.1, DROPLET_VELOCITY=10., SPRAY_ANGLE=80.0,80.0,
SMOKEVIEW_ID='sprinkler pendent'

&DEVC XYZ=1.38 5.95 2.2, PROP_ID='K-4.9', ID='Sprinkler_1',/
&DEVC XYZ=3.93 5.95 2.2, PROP_ID='K-4.9', ID='Sprinkler_2',/
&DEVC XYZ=1.55 2.00 2.2, PROP_ID='K-4.9', ID='Sprinkler_3',/
&DEVC XYZ=4.70 2.00 2.2, PROP_ID='K-4.9', ID='Sprinkler_4',/
&DEVC XYZ=1.35 5.95 4.6, PROP_ID='K-4.9', ID='Sprinkler_5',/
&DEVC XYZ=3.85 5.95 4.6, PROP_ID='K-4.9', ID='Sprinkler_6',/
&DEVC XYZ=1.45 2.00 4.6, PROP_ID='K-4.9', ID='Sprinkler_7',/
&DEVC XYZ=4.6 1.25 4.6, PROP_ID='K-4.9', ID='Sprinkler_8',/
```

6.2.5 ตำแหน่งที่จะติดตั้งตัวตรวจจับอุณหภูมิ(Thermocouple)

แสดงตำแหน่งที่จะติดตั้งตัวตรวจจับอุณหภูมิ(Thermocouple)

```
&DEVC XYZ=2.3,5.7,2.1, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC XYZ=2.3,5.7,1.5, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC XYZ=2.3,5.7,0.9, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC XYZ=2.3,5.7,0.3, QUANTITY='TEMPERATURE' /
```

6.2.6 ผลที่ต้องการศึกษา

แสดงผลที่ต้องการศึกษา
&BNDF QUANTITY='GAS TEMPERATURE'/
&BNDF QUANTITY='GAUGE HEAT FLUX'/
&BNDF QUANTITY='HEAT_FLUX'/
&BNDF QUANTITY='WALL_TEMPERATURE'/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBY=6.00/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBZ=1.50/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=3.10/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=5.80/
&SLCF QUANTITY='visibility', PBX=5.80/

6.3 หลังจากสร้างโครงสร้างของอาคาร และ กำหนดพารามิเตอร์เรียบร้อยแล้ว ให้ทำการแปลงไฟล์เป็นไฟล์ซึ่งใช้กับโปรแกรม FDS โดยเลือกที่ File / Export / FDS Files แล้วบันทึกโดยกำหนดชื่อไฟล์ในนามสกุลว่า file.fds

7. ข้อมูลที่ได้จากผลการคำนวณโดยโปรแกรม FDS มีดังนี้

7.1 การกระจายตัวของควัน

7.2 ระยะการมองเห็นบริเวณทางอพยพ

7.3 อัตราการปลดปล่อยพลังงาน

7.4 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

8. ประเมินผลการทดลองโดยการเปรียบเทียบ และวิเคราะห์ผลกระทบต่างๆ ของทั้ง 2 สถานการณ์ เพื่อประเมินว่าหลังจากที่มีการติดตั้งระบบสปริงเกลอร์ในบ้านพักอาศัยแล้วสามารถช่วยเพิ่มความปลอดภัยให้กับผู้อาศัยในบ้านได้อย่างไร

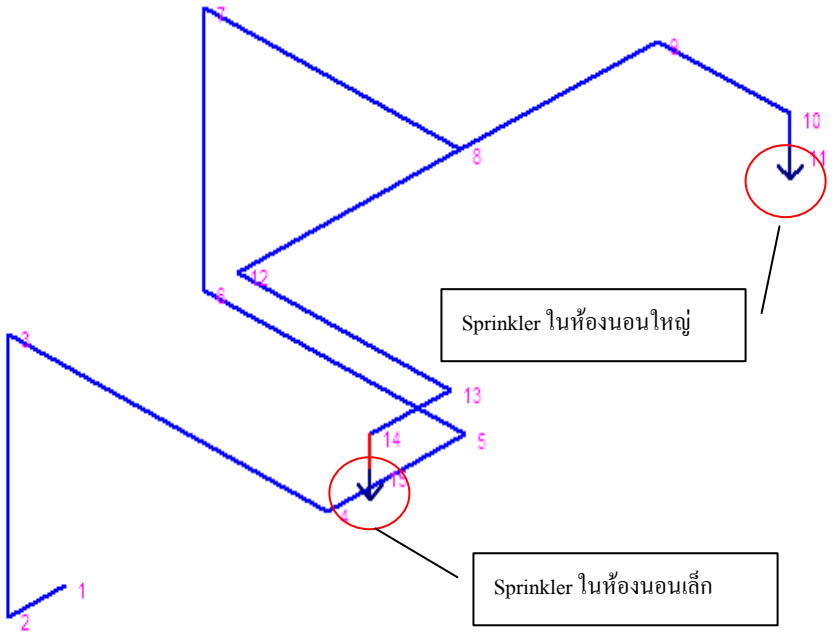
9. สรุปผลการจำลองพลศาสตร์อัคคีภัย เพื่อกำหนดแนวทางการออกแบบติดตั้งอุปกรณ์ระบบสปริงเกลอร์ในบ้านพักอาศัย

ผลและวิจารณ์

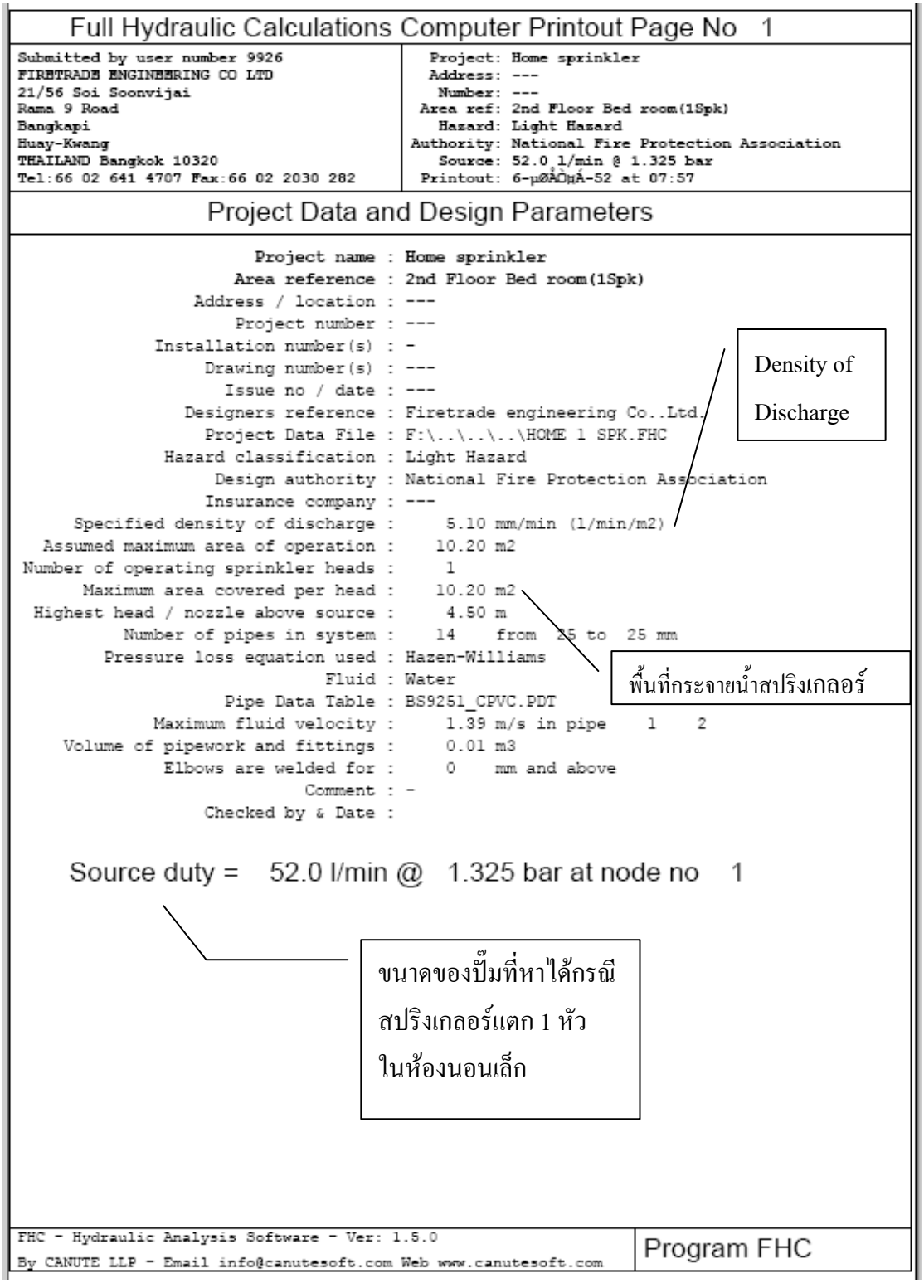
ผล

การออกแบบระบบสปริงเกลอร์ในบ้านพักอาศัยนั้นอ้างอิงมาจากมาตราฐาน NFPA 13D ซึ่งการคำนวณหาขนาดของปั๊มเอาไว้ 2 กรณีคือกรณีแรกมีสปริงเกลอร์ทำงานเพียง 1 หัวและกรณีที่สองจะมีสปริงเกลอร์ทำงานพร้อมกัน 2 หัว โดยนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบเพื่อหาขนาดปั๊มที่เหมาะสมและปริมาณน้ำที่ต้องการสำรองเอาไว้ สำหรับกรณีที่สปริงเกลอร์ทำงาน 1 หัวจะต้องหา Most remote area ซึ่งต้องคำนวณเปรียบเทียบกันระหว่างห้องนอนเล็กและห้องนอนใหญ่ที่ชั้น 2

ผลการคำนวณหาขนาดของปั๊มกรณีสปริงเกลอร์ทำงาน 1 หัว



ภาพที่ 25 แสดงแนวท่อที่ต้องการคำนวณ Friction Loss ของท่อดับเพลิงจากปั๊มไปหัวสปริงเกลอร์ที่ติดตั้งในห้องนอนเล็กและห้องนอนใหญ่ที่ชั้น 2



Full Hydraulic Calculations Computer Printout Page No 1

Submitted by user number 9926
FIRETRADE ENGINEERING CO LTD
21/56 Soi Soonvijai
Rama 9 Road
Bangkapi
Huay-Kwang
THAILAND Bangkok 10320
Tel:66 02 641 4707 Fax:66 02 2030 282

Project: Home sprinkler
Address: ---
Number: ---
Area ref: 2nd Floor Bed room(1Spk)
Hazard: Light Hazard
Authority: National Fire Protection Association
Source: 52.0 l/min @ 1.325 bar
Printout: 6-µØÅÒµÁ-52 at 07:57

Project Data and Design Parameters

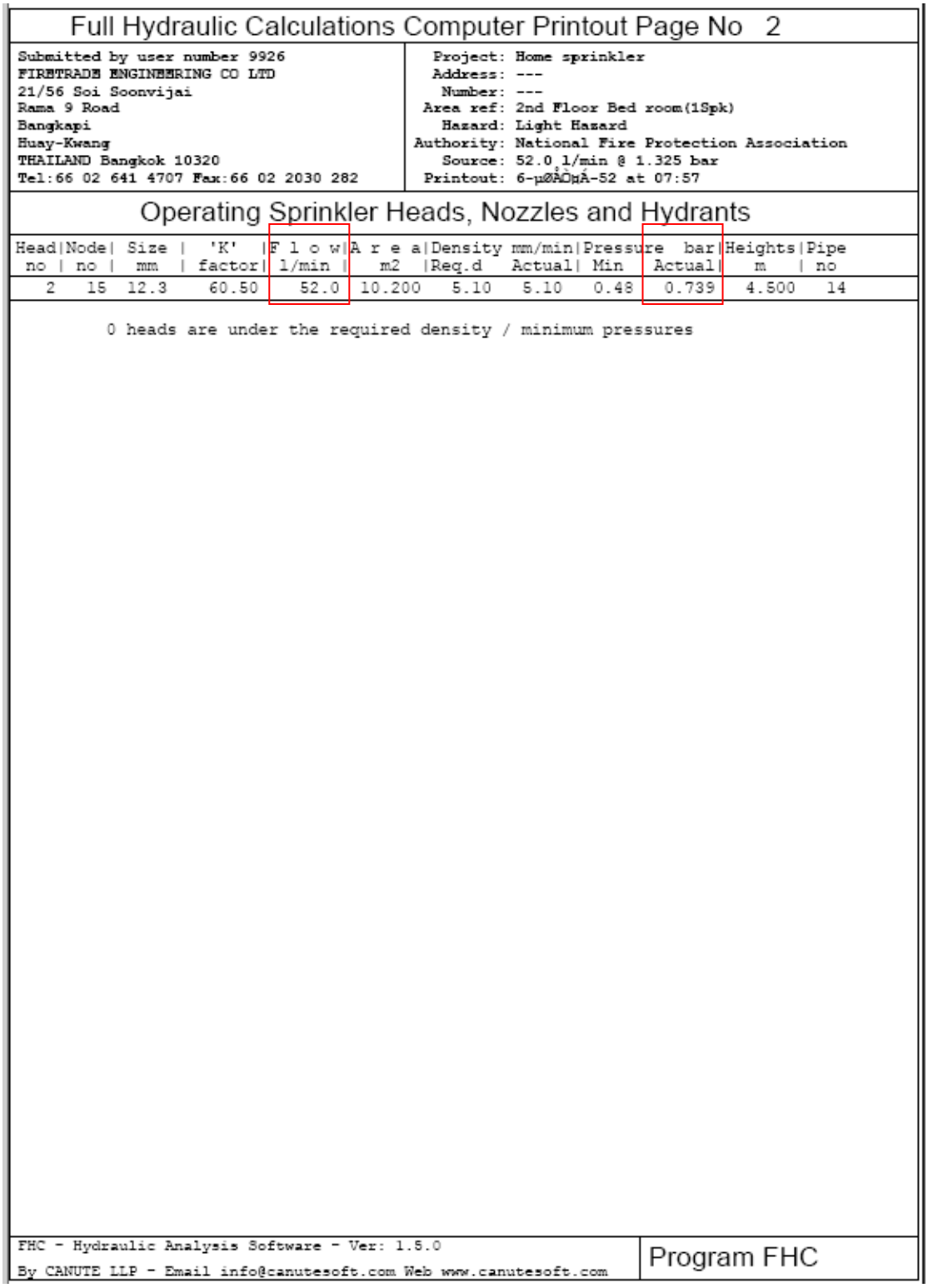
Project name : Home sprinkler
Area reference : 2nd Floor Bed room(1Spk)
Address / location : ---
Project number : ---
Installation number(s) : -
Drawing number(s) : ---
Issue no / date : ---
Designers reference : Firetrade engineering Co..Ltd.
Project Data File : F:\..\..\..\HOME 1 SPK.FHC
Hazard classification : Light Hazard
Design authority : National Fire Protection Association
Insurance company : ---
Specified density of discharge : 5.10 mm/min (l/min/m2)
Assumed maximum area of operation : 10.20 m2
Number of operating sprinkler heads : 1
Maximum area covered per head : 10.20 m2
Highest head / nozzle above source : 4.50 m
Number of pipes in system : 14 from 25 to 25 mm
Pressure loss equation used : Hazen-Williams
Fluid : Water
Pipe Data Table : BS9251_CPVC.PDT
Maximum fluid velocity : 1.39 m/s in pipe 1 2
Volume of pipework and fittings : 0.01 m3
Elbows are welded for : 0 mm and above
Comment : -
Checked by & Date :

Source duty = 52.0 l/min @ 1.325 bar at node no 1

FHC - Hydraulic Analysis Software - Ver: 1.5.0
By CANUTE LLP - Email info@canutesoft.com Web www.canutesoft.com

Program FHC

ภาพที่ 26 ผลการคำนวณขนาดของปั๊มด้วยโปรแกรม Full Hydraulic Calculation กรณีสปริงเกลอร์ทำงาน 1 หัวในห้องนอนเล็ก



Full Hydraulic Calculations Computer Printout Page No 2

Submitted by user number 9926
FIRETRADE ENGINEERING CO LTD
21/56 Soi Soonvijai
Rama 9 Road
Bangkapi
Huay-Kwang
THAILAND Bangkok 10320
Tel:66 02 641 4707 Fax:66 02 2030 282

Project: Home sprinkler
Address: ---
Number: ---
Area ref: 2nd Floor Bed room(1Spk)
Hazard: Light Hazard
Authority: National Fire Protection Association
Source: 52.0 l/min @ 1.325 bar
Printout: 6-µØÀÒµÁ-52 at 07:57

Operating Sprinkler Heads, Nozzles and Hydrants

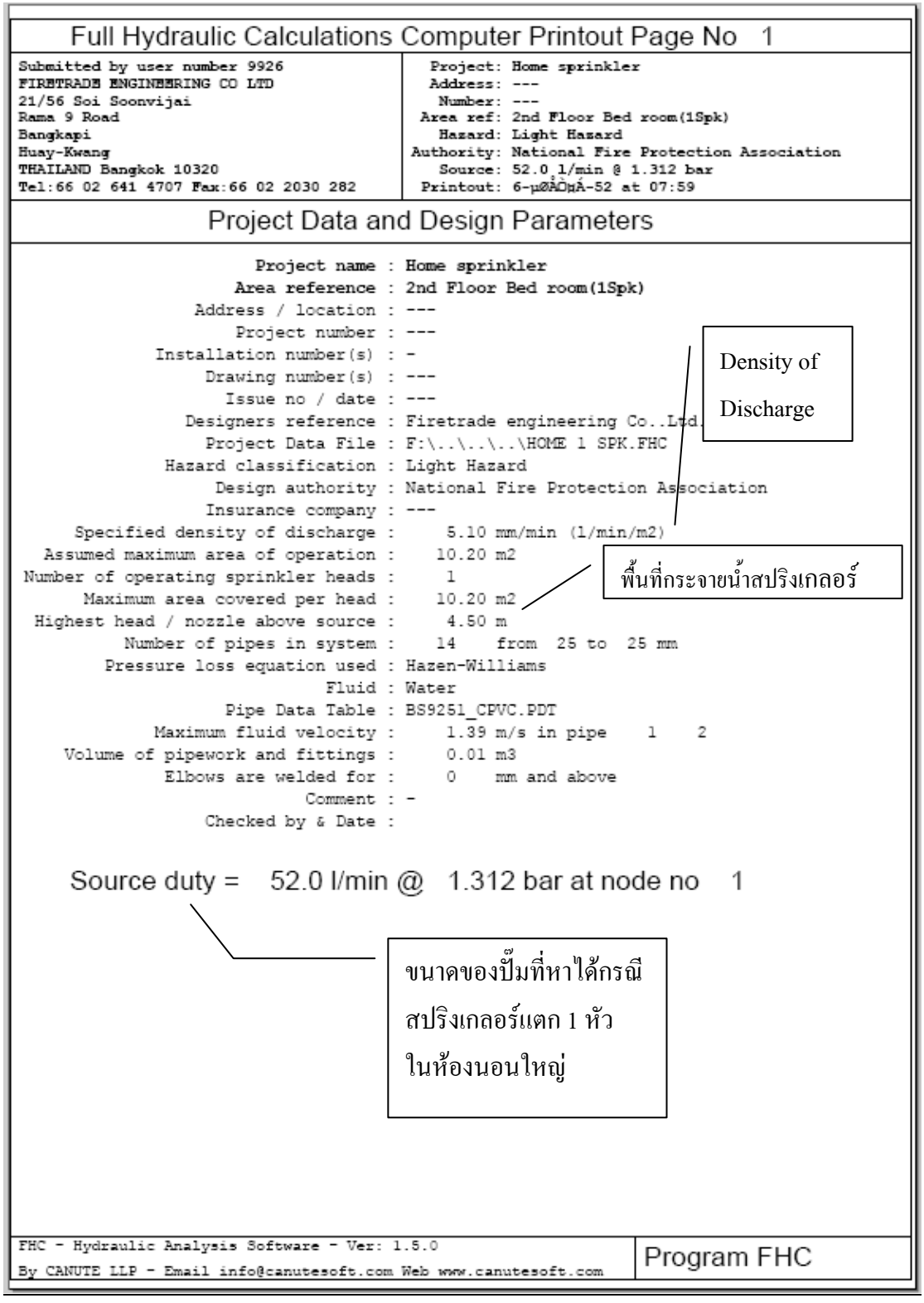
Head no	Node no	Size mm	'K' factor	Flow l/min	Area m2	Density mm/min Req.d	Density mm/min Actual	Pressure bar Min	Pressure bar Actual	Heights m	Pipe no
2	15	12.3	60.50	52.0	10.200	5.10	5.10	0.48	0.739	4.500	14

0 heads are under the required density / minimum pressures

FHC - Hydraulic Analysis Software - Ver: 1.5.0
By CANUTE LLP - Email info@canutesoft.com Web www.canutesoft.com

Program FHC

ภาพที่ 27 แสดงอัตราการไหลและความดันขณะหัวสปริงเกลอร์ทำงานกรณีสปริงเกลอร์ทำงาน 1 หัวในห้องนอนเล็ก



Full Hydraulic Calculations Computer Printout Page No 1

Submitted by user number 9926
FIRETRADE ENGINEERING CO LTD
21/56 Soi Soonvijai
Rama 9 Road
Bangkapi
Huay-Kwang
THAILAND Bangkok 10320
Tel:66 02 641 4707 Fax:66 02 2030 282

Project: Home sprinkler
Address: ---
Number: ---
Area ref: 2nd Floor Bed room(1Spk)
Hazard: Light Hazard
Authority: National Fire Protection Association
Source: 52.0 l/min @ 1.312 bar
Printout: 6-µØÄÒµÁ-52 at 07:59

Project Data and Design Parameters

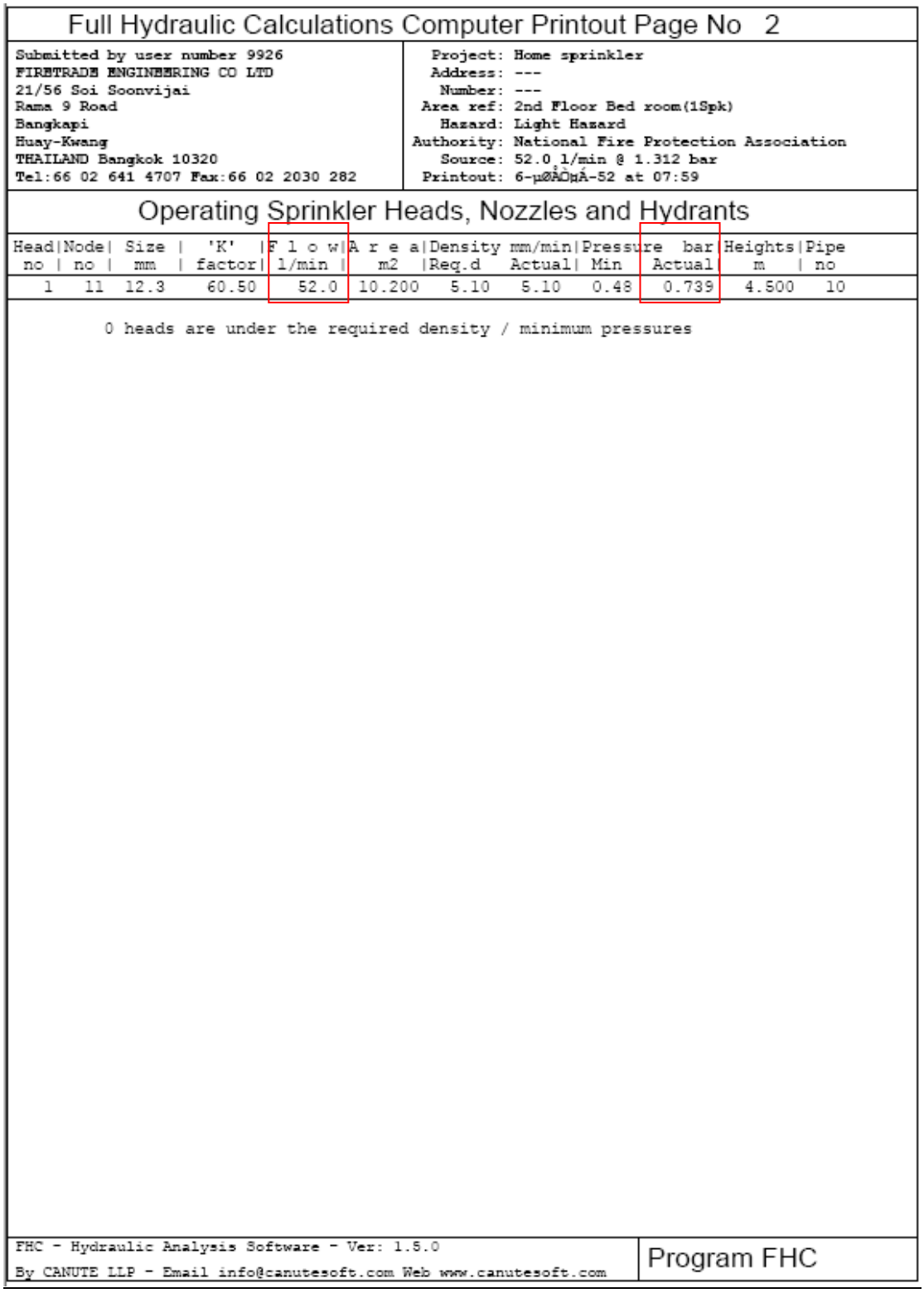
Project name : Home sprinkler
Area reference : 2nd Floor Bed room(1Spk)
Address / location : ---
Project number : ---
Installation number(s) : -
Drawing number(s) : ---
Issue no / date : ---
Designers reference : Firetrade engineering Co..Ltd.
Project Data File : F:\..\..\..\HOME 1 SPK.FHC
Hazard classification : Light Hazard
Design authority : National Fire Protection Association
Insurance company : ---
Specified density of discharge : 5.10 mm/min (l/min/m2)
Assumed maximum area of operation : 10.20 m2
Number of operating sprinkler heads : 1
Maximum area covered per head : 10.20 m2
Highest head / nozzle above source : 4.50 m
Number of pipes in system : 14 from 25 to 25 mm
Pressure loss equation used : Hazen-Williams
Fluid : Water
Pipe Data Table : BS9251_CPVC.PDT
Maximum fluid velocity : 1.39 m/s in pipe 1 2
Volume of pipework and fittings : 0.01 m3
Elbows are welded for : 0 mm and above
Comment : -
Checked by & Date :

Source duty = 52.0 l/min @ 1.312 bar at node no 1

FHC - Hydraulic Analysis Software - Ver: 1.5.0
By CANUTE LLP - Email info@canutesoft.com Web www.canutesoft.com

Program FHC

ภาพที่ 28 ผลการคำนวณขนาดของปั๊มด้วยโปรแกรม Full Hydraulic Calculation กรณีสปริงเกลอร์ทำงาน 1 หัวในห้องนอนใหญ่



Full Hydraulic Calculations Computer Printout Page No 2

Submitted by user number 9926
FIRETRADE ENGINEERING CO LTD
21/56 Soi Soonvijai
Rama 9 Road
Bangkapi
Huay-Kwang
THAILAND Bangkok 10320
Tel:66 02 641 4707 Fax:66 02 2030 282

Project: Home sprinkler
Address: ---
Number: ---
Area ref: 2nd Floor Bed room(1Spk)
Hazard: Light Hazard
Authority: National Fire Protection Association
Source: 52.0 l/min @ 1.312 bar
Printout: 6-µØÀÒµÁ-52 at 07:59

Operating Sprinkler Heads, Nozzles and Hydrants

Head no	Node no	Size mm	'K' factor	Flow l/min	Area m2	Density mm/min Req.d	Density mm/min Actual	Pressure bar Min	Pressure bar Actual	Heights m	Pipe no
1	11	12.3	60.50	52.0	10.200	5.10	5.10	0.48	0.739	4.500	10

0 heads are under the required density / minimum pressures

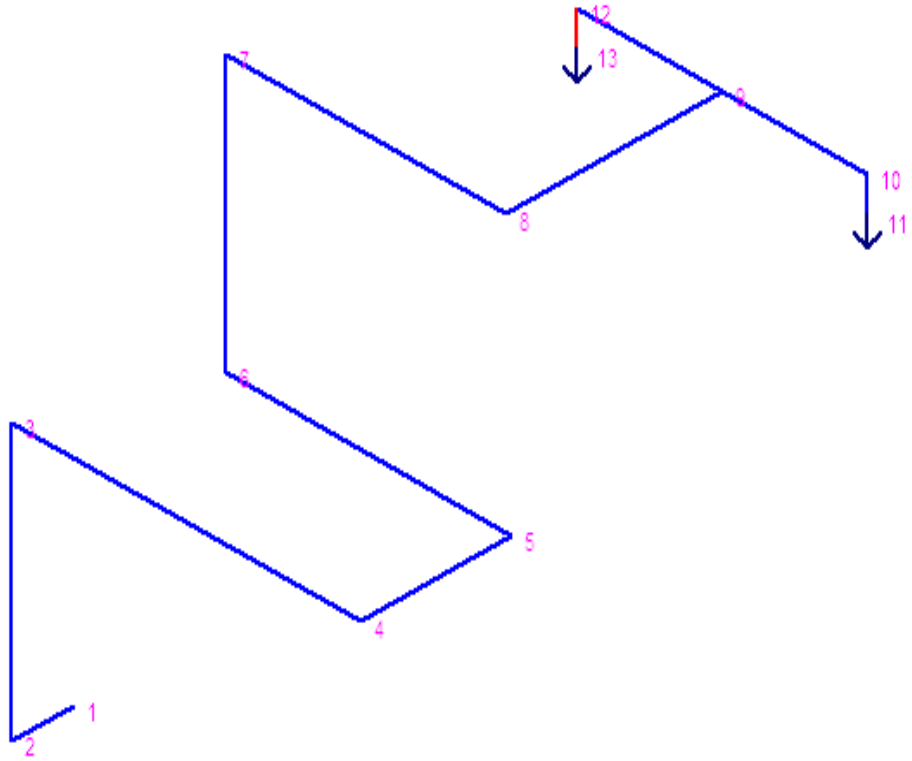
FHC - Hydraulic Analysis Software - Ver: 1.5.0
By CANUTE LLP - Email info@canutesoft.com Web www.canutesoft.com

Program FHC

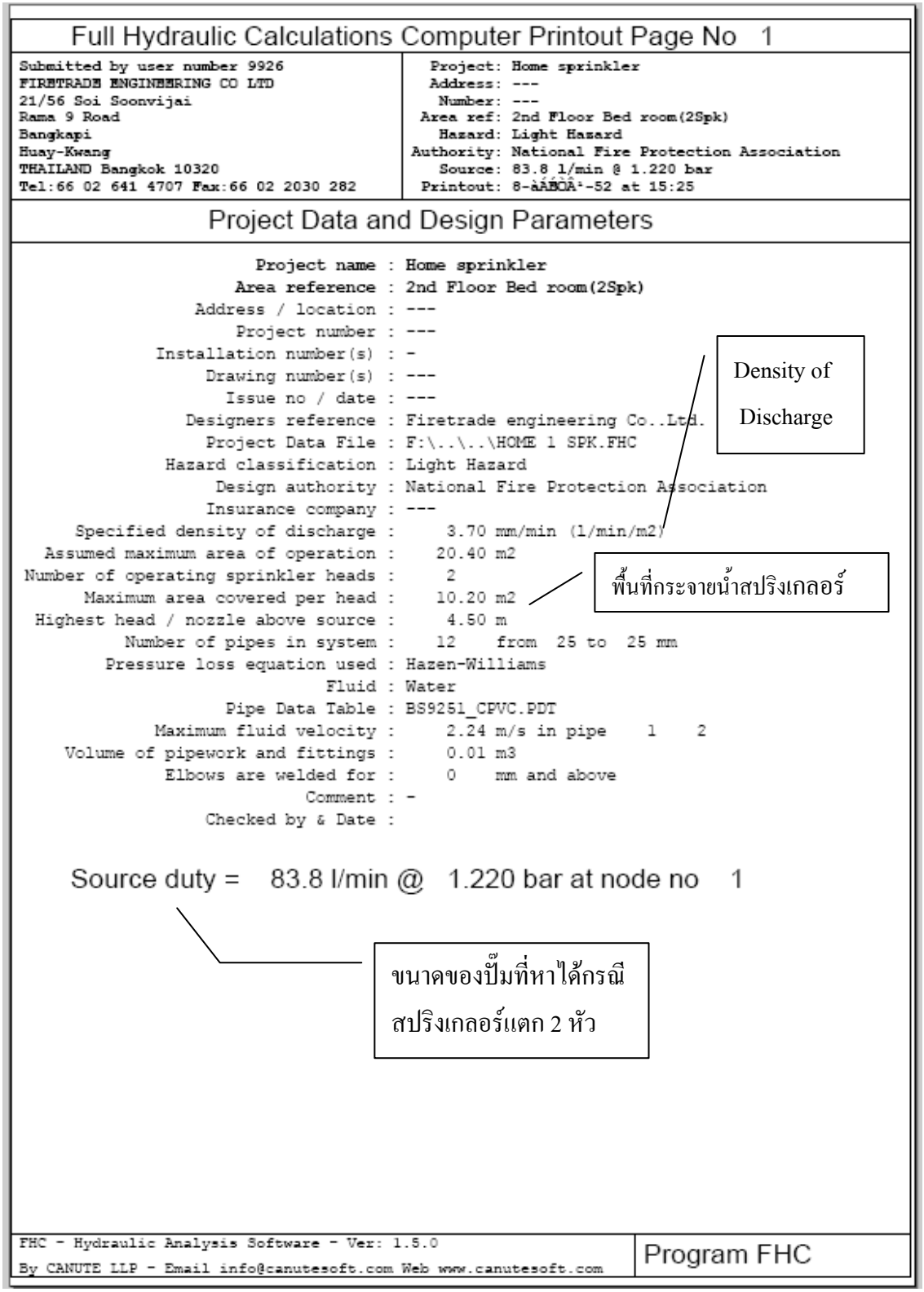
ภาพที่ 29 แสดงอัตราการไหลและความดันขณะหัวสปริงเกลอร์ทำงานกรณีสปริงเกลอร์ทำงาน 1 หัวในห้องนอนใหญ่

ผลที่คำนวณได้จากโปรแกรม Full Hydraulic Calculation นั้นจะได้อัตราการไหลและความดันของปั๊มในห้องนอนเล็กคือ 52 ลิตร/นาทีที่ความดัน 1.325 บาร์ สำหรับห้องนอนใหญ่จะได้อัตราการไหลและความดันของปั๊มในห้องนอนเล็กคือ 52 ลิตร/นาทีที่ความดัน 1.312 บาร์ จะเห็นว่าห้องนอนเล็กต้องการความดันของปั๊มมากกว่าแสดงว่าหัวสปริงเกลอร์ในห้องนอนเล็กเป็น Most Remote Area สำหรับความดันหัวสปริงเกลอร์ทำงานนั้นคือ 0.739 bar ซึ่งมากกว่าที่เรากำหนดไว้ขั้นต่ำที่ 0.48 bar

ผลการคำนวณหาขนาดของปั๊มกรณีสปริงเกลอร์ทำงาน 2 หัว



ภาพที่ 30 แสดงแนวท่อที่ต้องการคำนวณ Friction Loss ของท่อดับเพลิงจากปั๊มไปหัวสปริงเกลอร์ที่ติดตั้งในห้องนอนชั้น 2 กรณีที่สปริงเกลอร์ทำงาน 2 หัว



Full Hydraulic Calculations Computer Printout Page No 1

Submitted by user number 9926
FIRETRADE ENGINEERING CO LTD
21/56 Soi Soonvijai
Rama 9 Road
Bangkapi
Huay-Kwang
THAILAND Bangkok 10320
Tel:66 02 641 4707 Fax:66 02 2030 282

Project: Home sprinkler
Address: ---
Number: ---
Area ref: 2nd Floor Bed room(2Spk)
Hazard: Light Hazard
Authority: National Fire Protection Association
Source: 83.8 l/min @ 1.220 bar
Printout: 8-àÁÂÃÄÅ¹-52 at 15:25

Project Data and Design Parameters

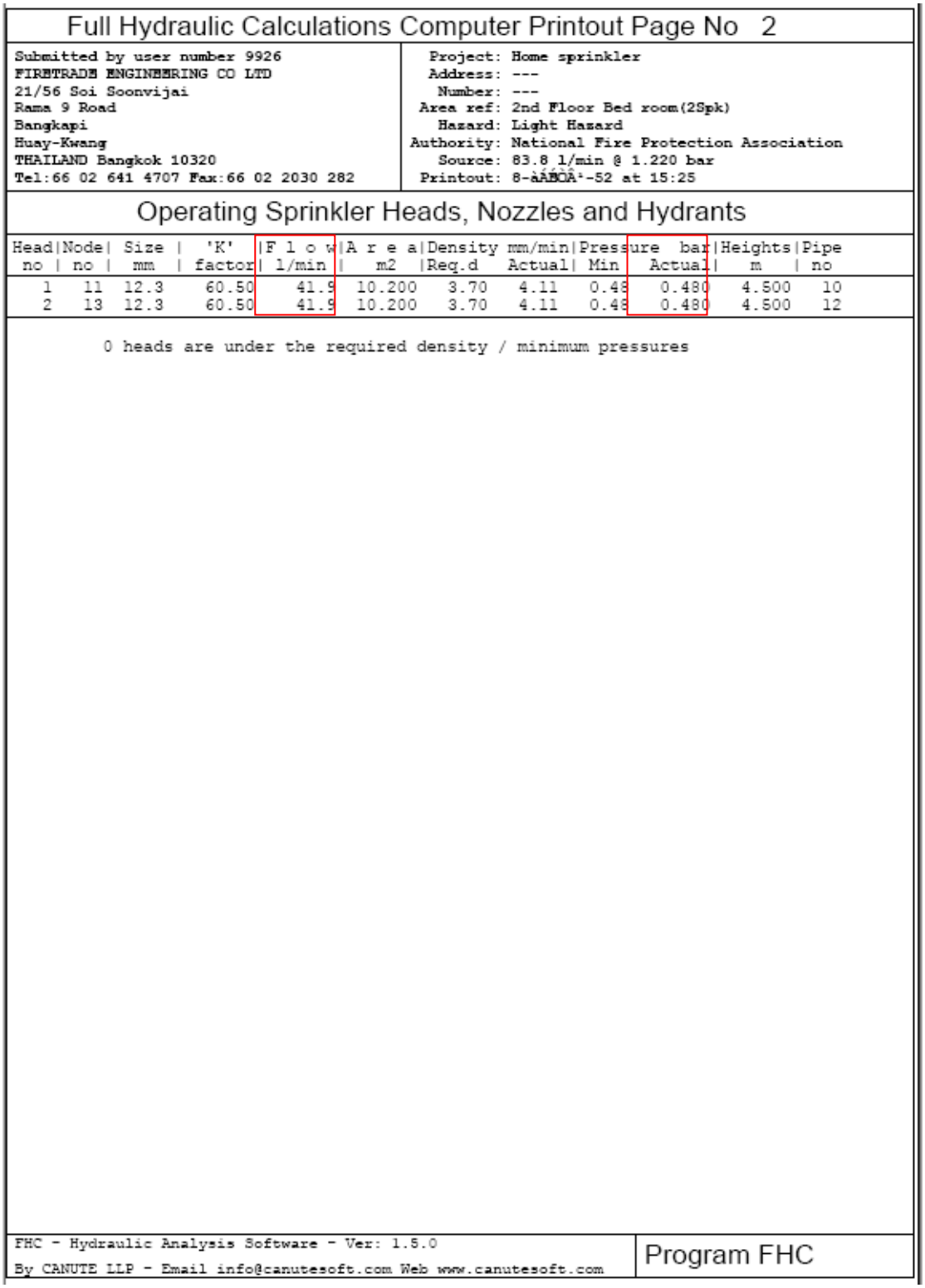
Project name : Home sprinkler
Area reference : 2nd Floor Bed room(2Spk)
Address / location : ---
Project number : ---
Installation number(s) : -
Drawing number(s) : ---
Issue no / date : ---
Designers reference : Firetrade engineering Co..Ltd.
Project Data File : F:\..\..\HOME 1 SPK.FHC
Hazard classification : Light Hazard
Design authority : National Fire Protection Association
Insurance company : ---
Specified density of discharge : 3.70 mm/min (l/min/m2)
Assumed maximum area of operation : 20.40 m2
Number of operating sprinkler heads : 2
Maximum area covered per head : 10.20 m2
Highest head / nozzle above source : 4.50 m
Number of pipes in system : 12 from 25 to 25 mm
Pressure loss equation used : Hazen-Williams
Fluid : Water
Pipe Data Table : BS9251_CPVC.PDT
Maximum fluid velocity : 2.24 m/s in pipe 1 2
Volume of pipework and fittings : 0.01 m3
Elbows are welded for : 0 mm and above
Comment : -
Checked by & Date :

Source duty = 83.8 l/min @ 1.220 bar at node no 1

FHC - Hydraulic Analysis Software - Ver: 1.5.0
By CANUTE LLP - Email info@canutesoft.com Web www.canutesoft.com

Program FHC

ภาพที่ 31 ผลการคำนวณขนาดของปั๊มด้วยโปรแกรม Full Hydraulic Calculation กรณีสปริงเกลอร์ทำงาน 2 หัว



Full Hydraulic Calculations Computer Printout Page No 2

Submitted by user number 9926
FIRETRADE ENGINEERING CO LTD
21/56 Soi Soonvijai
Rama 9 Road
Bangkapi
Huay-Kwang
THAILAND Bangkok 10320
Tel:66 02 641 4707 Fax:66 02 2030 282

Project: Home sprinkler
Address: ---
Number: ---
Area ref: 2nd Floor Bed room(2Spk)
Hazard: Light Hazard
Authority: National Fire Protection Association
Source: 83.8 l/min @ 1.220 bar
Printout: 8-àÁÉÒÂ¹-52 at 15:25

Operating Sprinkler Heads, Nozzles and Hydrants

Head no	Node no	Size mm	'K' factor	Flow l/min	Area m2	Density mm/min Req.d	Density mm/min Actual	Pressure bar Min	Pressure bar Actual	Heights m	Pipe no
1	11	12.3	60.50	41.9	10.200	3.70	4.11	0.48	0.480	4.500	10
2	13	12.3	60.50	41.9	10.200	3.70	4.11	0.48	0.480	4.500	12

0 heads are under the required density / minimum pressures

FHC - Hydraulic Analysis Software - Ver: 1.5.0
By CANUTE LLP - Email info@canutesoft.com Web www.canutesoft.com

Program FHC

ภาพที่ 32 แสดงอัตราการไหลและความดันขณะหัวสปริงเกลอร์ทำงานกรณีสปริงเกลอร์ทำงาน 2 หัว

ผลที่คำนวณได้จากโปรแกรม Full Hydraulic Calculation นั้นจะได้ขนาดของปั๊มที่ต้องการ คือ อัตราการไหล 83.8 ลิตร/นาทีที่ความดัน 1.22 bar สำหรับความดันหัวสปริงเกลอร์ทำงานนั้นคือ 0.48 bar ซึ่งเท่ากับที่เรากำหนดไว้ขั้นต่ำที่ 0.48 bar

เมื่อนำผลการคำนวณหาขนาดของปั๊มที่ต้องการมาเปรียบเทียบกันจากการทำงานของสปริงเกลอร์ทั้ง 2 กรณีจะได้ขนาดของปั๊มคือ อัตราการไหล 83.8 ลิตร/นาทีที่ความดัน 1.325 bar ซึ่งเป็นขนาดของปั๊มต่ำที่สุดเพื่อให้ระบบที่ออกแบบไว้ทำงานอย่างสมบูรณ์สำหรับการทำงานทั้ง 2 กรณี

สมรรถนะของปั๊ม

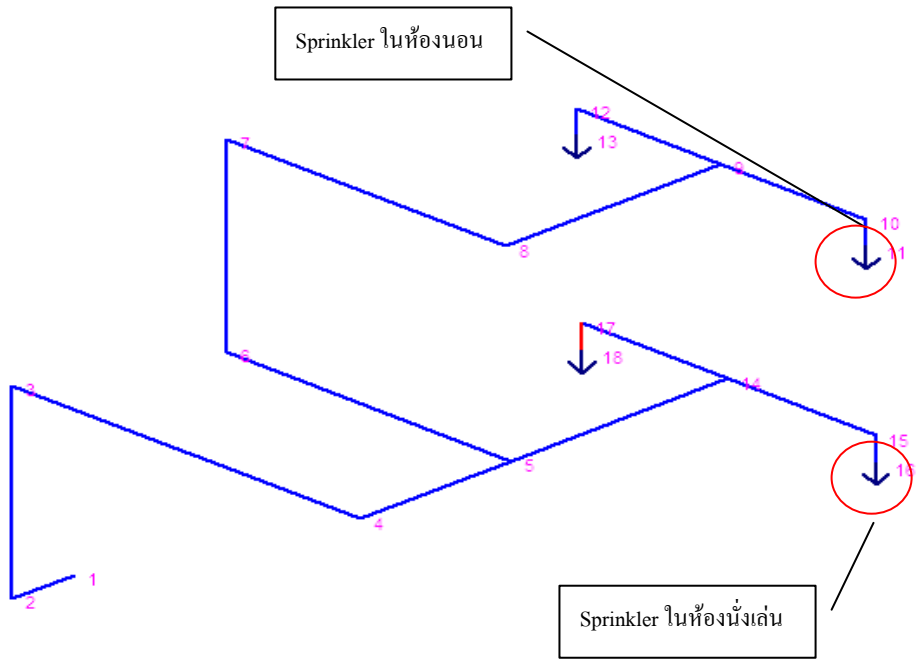
รุ่น	แรงดันน้ำ (เมตร) 12	15	18	20	25	30	36	การตั้งสวิทช์ความดัน PSI	ขนาดถังความดัน	ขนาดท่อ
	ปริมาณน้ำ ลิตร/นาที									
CH2 - 30PT P_2 = 280 วัตต์	-	55	44	41	20	-	-	20-35	8 ลิตร	ท่อเข้า 1" BSP ท่อออก 1" BSP
CH2 - 50PT P_2 = 450วัตต์	-	-	-	58	53	43	31	25-55	18 ลิตร	ท่อเข้า 1" BSP ท่อออก 1" BSP
CH4 - 40PT P_2 = 690 วัตต์	122	113	98	93	68	35	5	24-46	18 ลิตร	ท่อเข้า $1\frac{1}{4}$" BSP ท่อออก 1" BSP
CH4 - 50PT P_2 = 920 วัตต์	-	125	115	109	90	70	-	30-55	24 ลิตร	ท่อเข้า $\frac{1}{4}$" BSP ท่อออก 1" BSP
CH4- 60PT P_2 =1,050วัตต์	-	-	122	117	108	87	67	30-55	24 ลิตร	ท่อเข้า $\frac{1}{4}$" BSP ท่อออก 1" BSP

*แรงดันน้ำ 1 bar เท่ากับความสูง 10 เมตร

ภาพที่ 33 แสดงสมรรถนะปั๊มที่ต้องการในระบบ

จากการผลการคำนวณที่ได้ออกมานั้นจะเห็นว่ากรณีที่สปริงเกลอร์ทำงาน 1 หัวนั้นจะมีอัตราการไหลคือ 52 ลิตร/นาที ซึ่ง NFPA13D กำหนดให้เราต้องสำรองน้ำเอาไว้ขณะที่สปริงเกลอร์ทำงานเป็นเวลา 10 นาทีดังนั้นจะได้ปริมาณน้ำที่ต้องสำรองไว้คือ 52 x 10 = 520 ลิตรและในกรณีที่สปริงเกลอร์ทำงาน 2 หัวนั้นจะมีอัตราการไหลคือ 83.8 ลิตร/นาที ซึ่ง NFPA13D กำหนดให้เราต้องสำรองน้ำเอาไว้ขณะที่สปริงเกลอร์ทำงานเป็นเวลา 7 นาทีดังนั้นจะได้ปริมาณน้ำที่ต้องสำรองไว้คือ 83.8 x 7 = 586.6 ลิตร จะเห็นว่ากรณีที่สปริงเกลอร์ทำงาน 2 หัวนั้นจะมีปริมาณที่ต้องสำรองน้ำมากกว่าดังนั้นปริมาณน้ำที่ต้องทำการสำรองคือ 588.6 ลิตร

เนื่องจากได้กำหนดห้องนั่งเล่นเป็นห้องที่เกิดเพลิงไหม้ซึ่งหัวสปริงเกลอร์ในห้องนั่งเล่นจะอยู่ไกล้ปั๊มมากกว่าหัวสปริงเกลอร์ในห้องนอนชั้น 2 จึงต้องลองคำนวณดูอัตราการไหลและความดันทำงานของหัวสปริงเกลอร์เพื่อนำไปเป็นข้อมูลในการจำลองด้วยโปรแกรม FDS



ภาพที่ 34 แสดงตำแหน่งหัวสปริงเกลอร์ที่อยู่ในห้องนั่งเล่นและห้องนอน

Full Hydraulic Calculations Computer Printout Page No 2

Submitted by user number 9926 FIRETRADE ENGINEERING CO LTD 21/56 Soi Soonvijai Rama 9 Road Bangkapi Huay-Kwang THAILAND Bangkok 10320 Tel:66 02 641 4707 Fax:66 02 2030 282	Project: Home sprinkler Address: --- Number: --- Area ref: 2nd Floor Bed room(2Spk) Hazard: Light Hazard Authority: National Fire Protection Association Source: 94.0 l/min @ 1.133 bar Printout: 6-µØÅÒ¤Á-52 at 17:34

Operating Sprinkler Heads, Nozzles and Hydrants

Head no	Node no	Size mm	'K' factor	Flow l/min	Area m2	Density mm/min Req.d	Density mm/min Actual	Pressure bar Min	Pressure bar Actual	Heights m	Pipe no
1	11	12.3	60.50	41.9	10.200	3.70	4.11	0.48	0.480	4.500	10
2	16	12.3	60.50	52.1	10.200	3.70	5.11	0.48	0.742	2.100	15

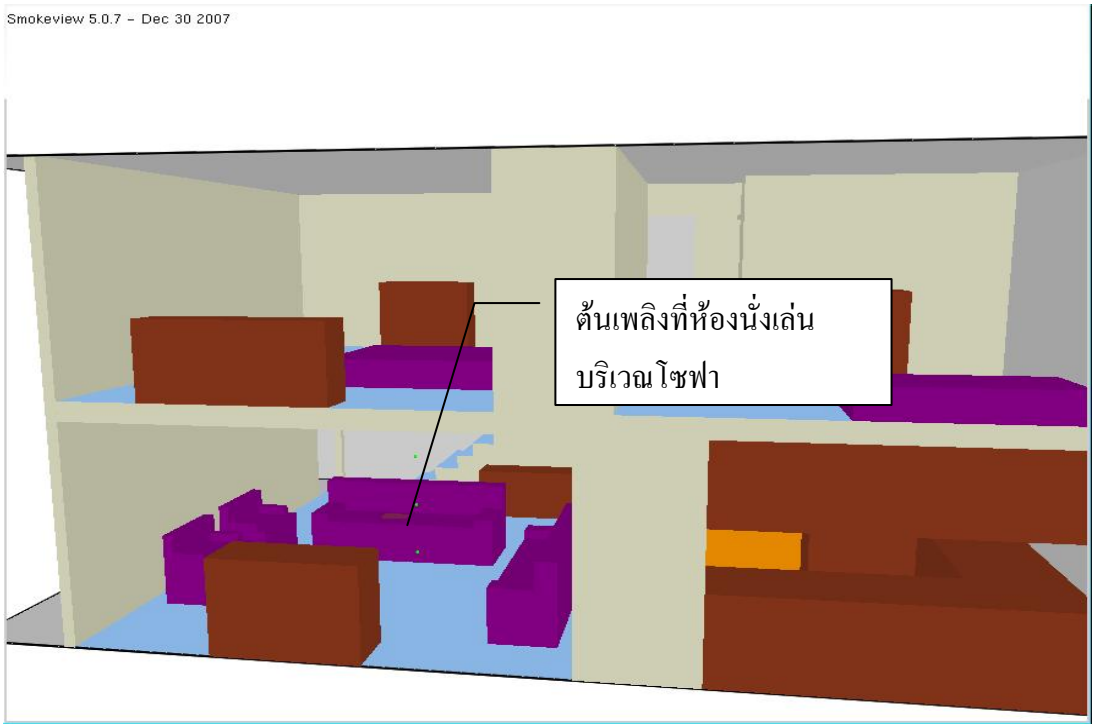
0 heads are under the required density / minimum pressures

ภาพที่ 35 ผลการคำนวณเปรียบเทียบของอัตราการไหลและความดันทำงานของหัวสปริงเกลอร์ในห้องนั่งเล่นที่ชั้น 1 และห้องนอนที่ชั้น 2

จากผลการคำนวณพบว่าอัตราการไหลและความดันของสปริงเกลอร์ที่อยู่ในห้องนั่งเล่นที่ชั้น 1 คือ 52.1 ลิตร/นาทีที่ความดัน 0.742 บาร์ ซึ่งมีค่ามากกว่าอัตราการไหลและความดันของสปริงเกลอร์ที่อยู่ในห้องนอนที่ชั้น 2 คือ 41.9 ลิตร/นาทีที่ความดัน 0.48 บาร์ ดังนั้นจะนำค่าอัตราการไหลและความดันของสปริงเกลอร์ที่อยู่ในห้องนั่งเล่นที่ชั้น 1 ไปกำหนดคุณสมบัติของหัวสปริงเกลอร์ที่จะนำไปใช้ในแบบจำลอง FDS

ผลของการสร้างแบบจำลองเพื่อวิเคราะห์การเกิดเพลิงไหม้ในบ้านพักอาศัยที่ไม่ได้ติดตั้งระบบสปริงเกลอร์

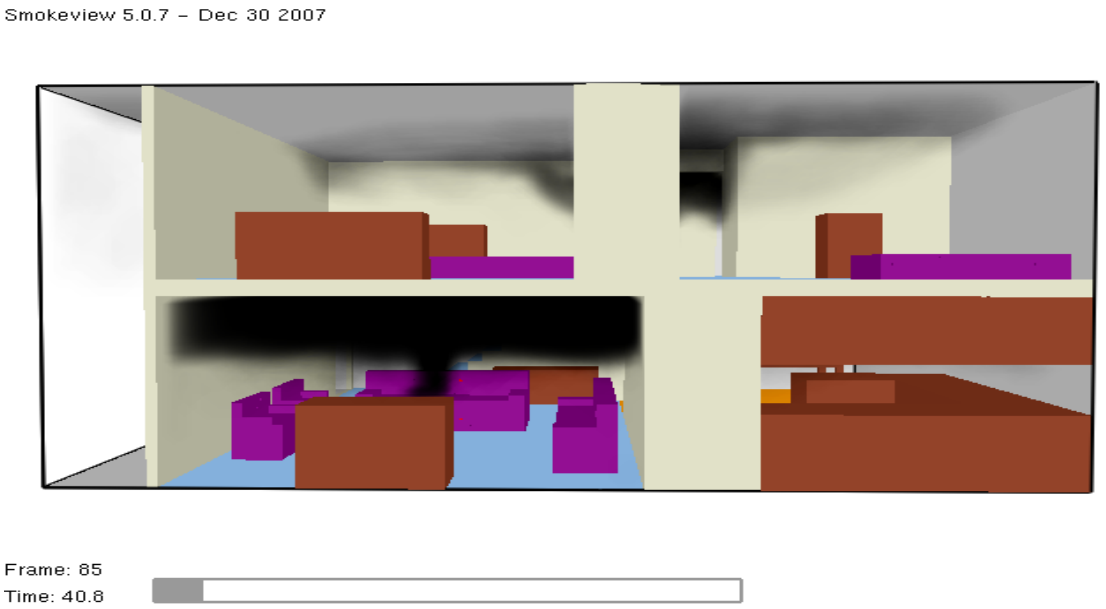
การสร้างแบบจำลองนี้จะกำหนดให้เพลิงไหม้เกิดที่บริเวณโซฟาในห้องนั่งเล่นโดยต้นเพลิงเกิดจากแหล่งให้ความร้อน (Burner) ที่ให้ความร้อน 50 kW พื้นที่ของ Burner คือ 0.20 m x 0.25m อ้างอิงจากผลการทดลองของ Vytenis Babrauskas, (1985) ให้ไฟเริ่มไหม้โซฟาในห้องนั่งเล่นโดยจะวิเคราะห์ถึงการเคลื่อนที่ของควัน ระยะการมองเห็นที่บริเวณประตูทางออก อัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อน และการถ่ายเทความร้อน



ภาพที่ 36 แสดงแบบบ้านที่จะทำการจำลอง

1. การกระจายตัวของควัน

จากการจำลองพบว่าควันจะเริ่มกระจายตัวอย่างรวดเร็วไปยังส่วนต่างของบ้านทั้งบันไดทางขึ้น ห้องครัว และห้องนอนที่ชั้น 2 โดยควันจะกระจายตัวจนเต็มทั้งบ้านที่เวลา 300 วินาที



ภาพที่ 37 แสดงการกระจายตัวของควันที่เวลา 40 วินาที

ภาพที่ 38 แสดงการกระจายตัวของควันที่เวลา 90 วินาที

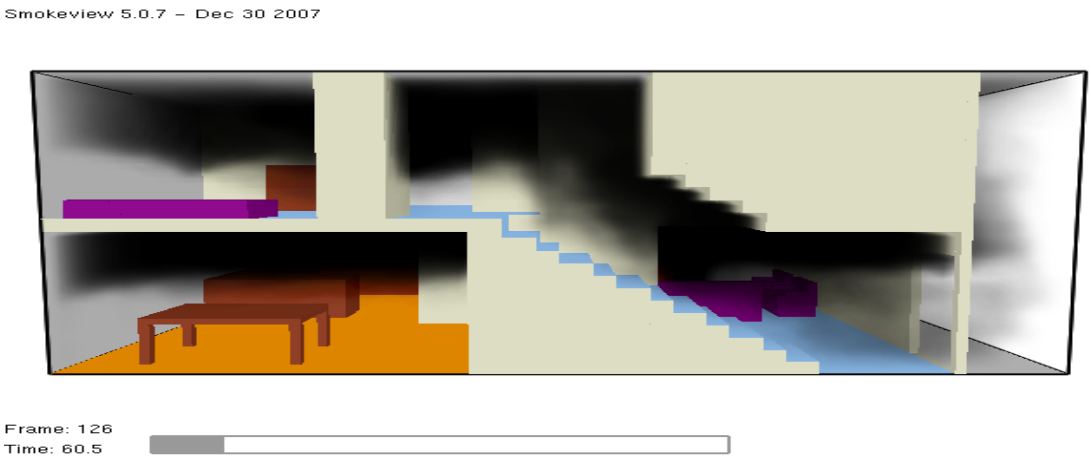
ภาพที่ 39 แสดงการกระจายตัวของควันที่เวลา 150 วินาที

ภาพที่ 40 แสดงการกระจายตัวของควันที่เวลา 300 วินาที

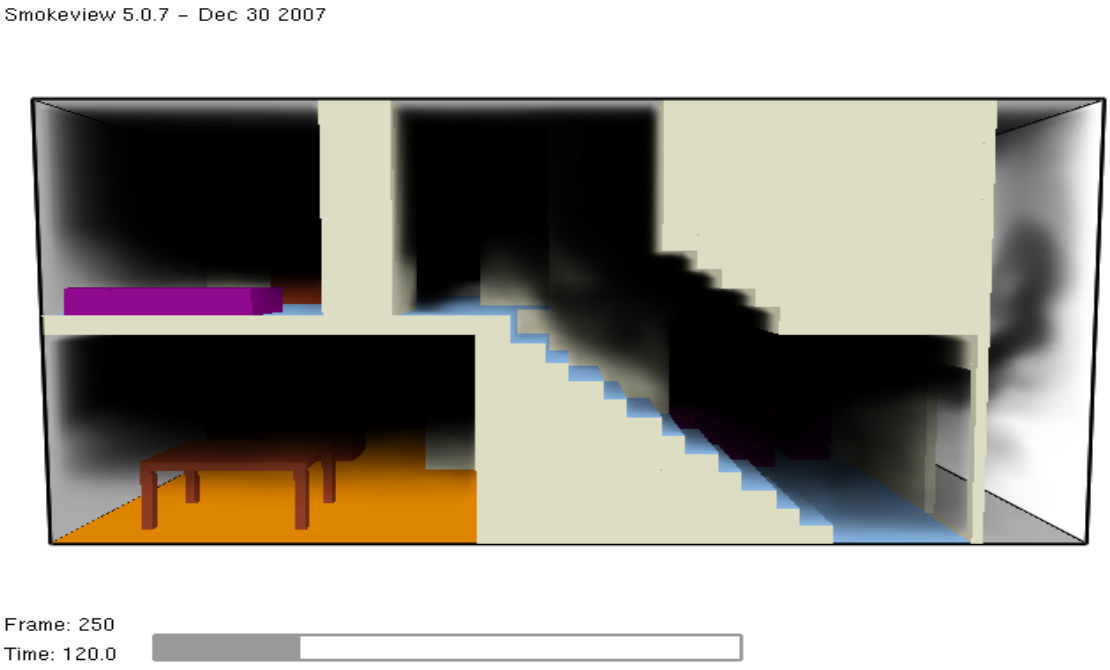
2. ระยะการมองเห็น(Visibility)

จากการจำลองพบว่าควันเริ่มกระจายตัวมาถึงบันไดซึ่งเป็นเส้นทางที่หนีออกจากตัวบ้านภายในเวลา 10 วินาที จากนั้นจะเคลื่อนที่ไปที่ชั้น 2 เมื่อเวลาผ่านไป 120 วินาทีจะทำให้ระยะการมองเห็นลดลงต่ำกว่า 3 เมตรจากนั้นควันกระจายจนเต็มช่องบันไดภายในเวลา 250 วินาทีทำให้ระยะการมองเห็นเป็น 0 เมตร โดยได้ทำภาพตัดขวางแสดงการมองเห็นที่ X = 5.80 เพื่อแสดงระยะการมองเห็นที่ช่วงระยะเวลาต่างๆ

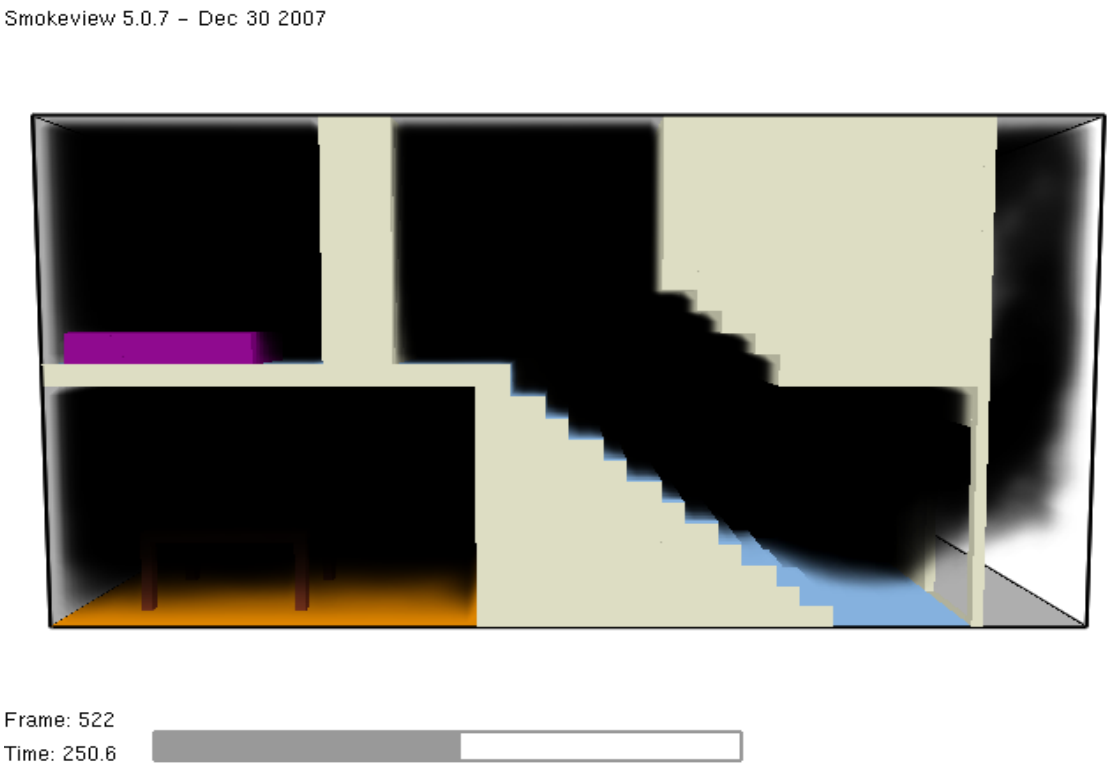
ภาพที่ 41 แสดงการกระจายตัวของควันที่ช่องบันไดที่เวลา 10 วินาที



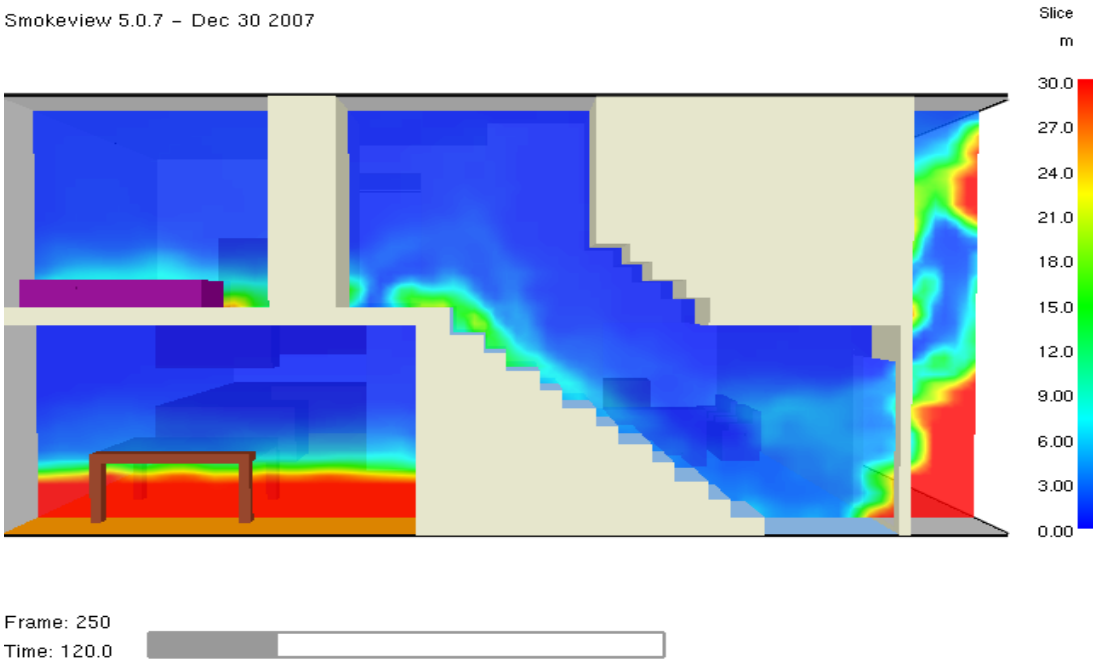
ภาพที่ 42 แสดงการกระจายตัวของควันที่ช่องบันไดที่เวลา 60 วินาที



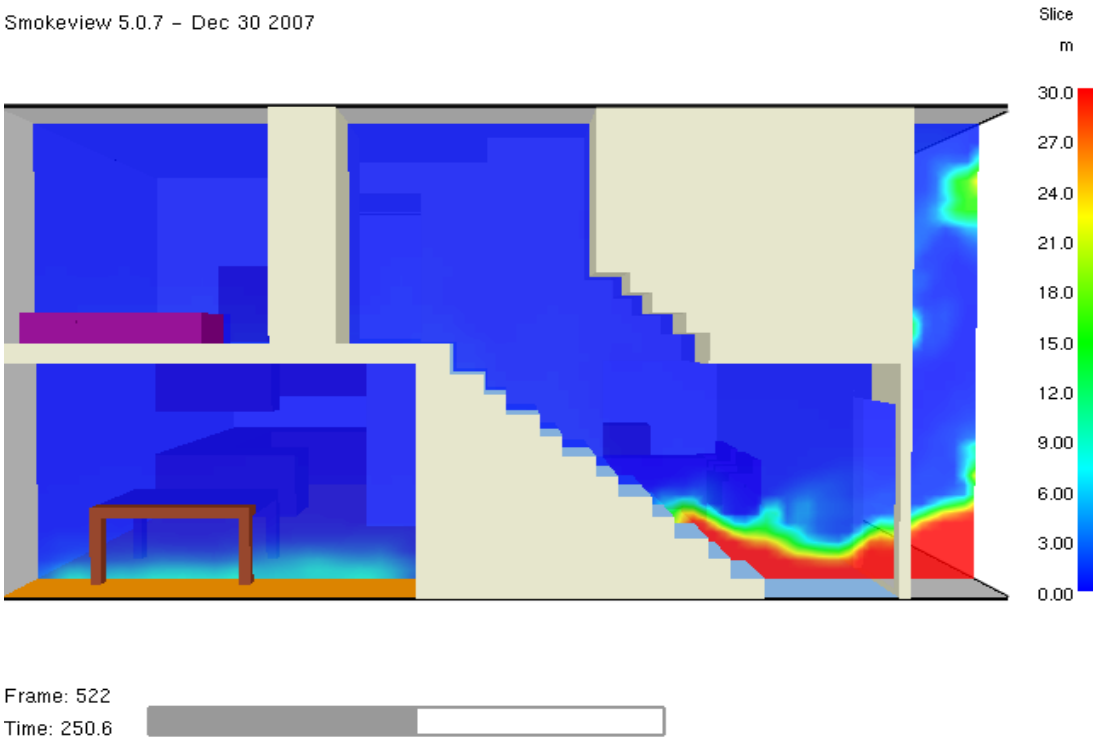
ภาพที่ 43 แสดงการกระจายตัวของควันที่ช่องบันไดที่เวลา 120 วินาที



ภาพที่ 44 แสดงการกระจายตัวของควันที่ช่องบันไดที่เวลา 250 วินาที



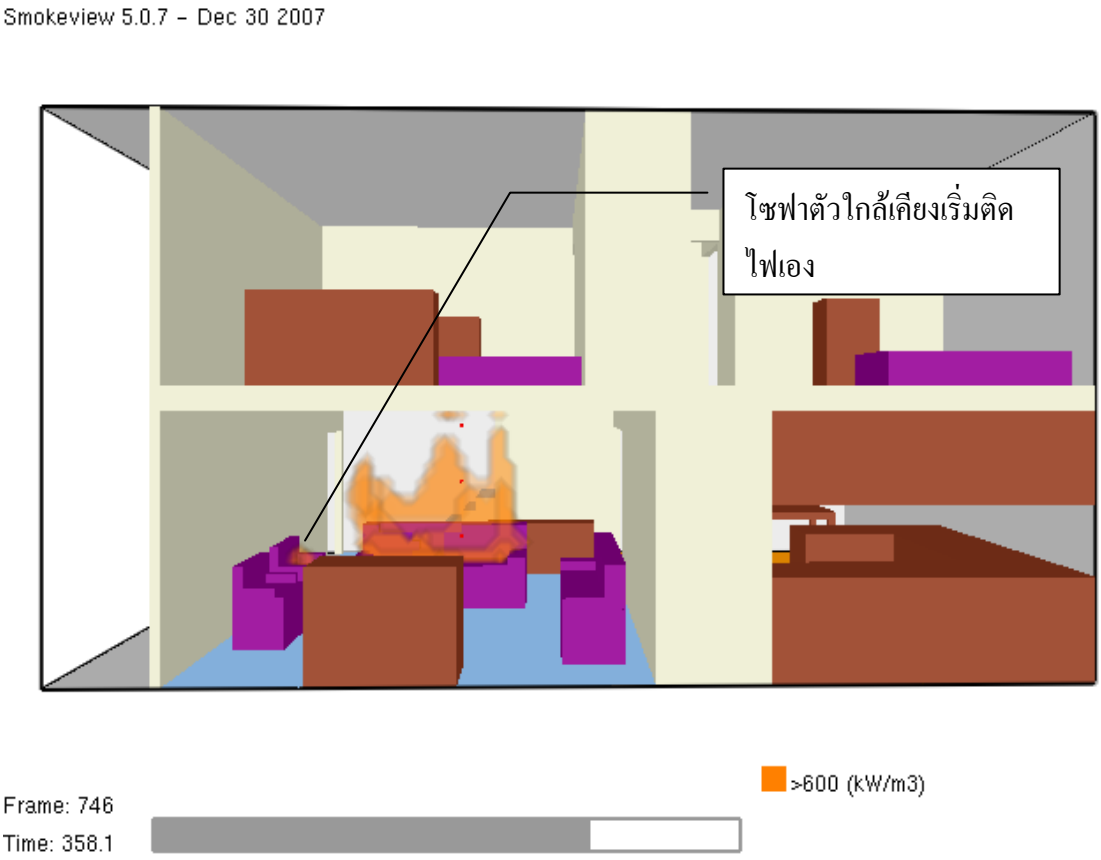
ภาพที่ 45 ภาพตัดขวางแนวแกน X ที่ X = 5.8 แสดงการมองเห็นที่เวลา 120 วินาที



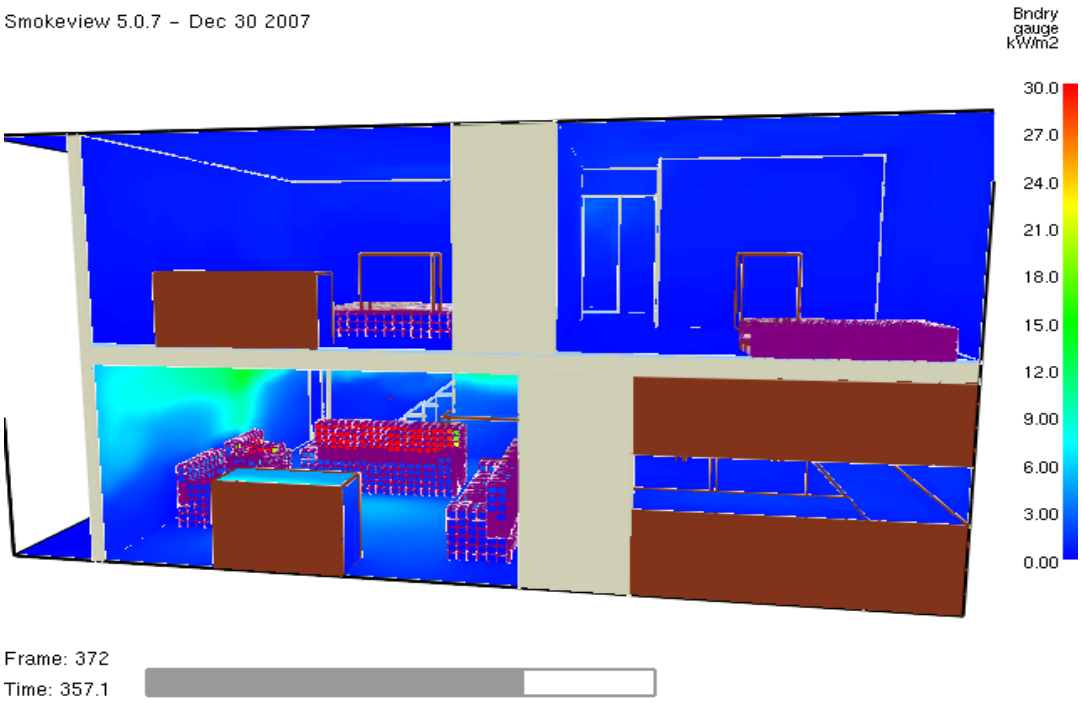
ภาพที่ 46 ภาพตัดขวางแนวแกน X ที่ X = 5.8 แสดงการมองเห็นที่เวลา 250 วินาที

3. อัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อน (Heat Release Rate)

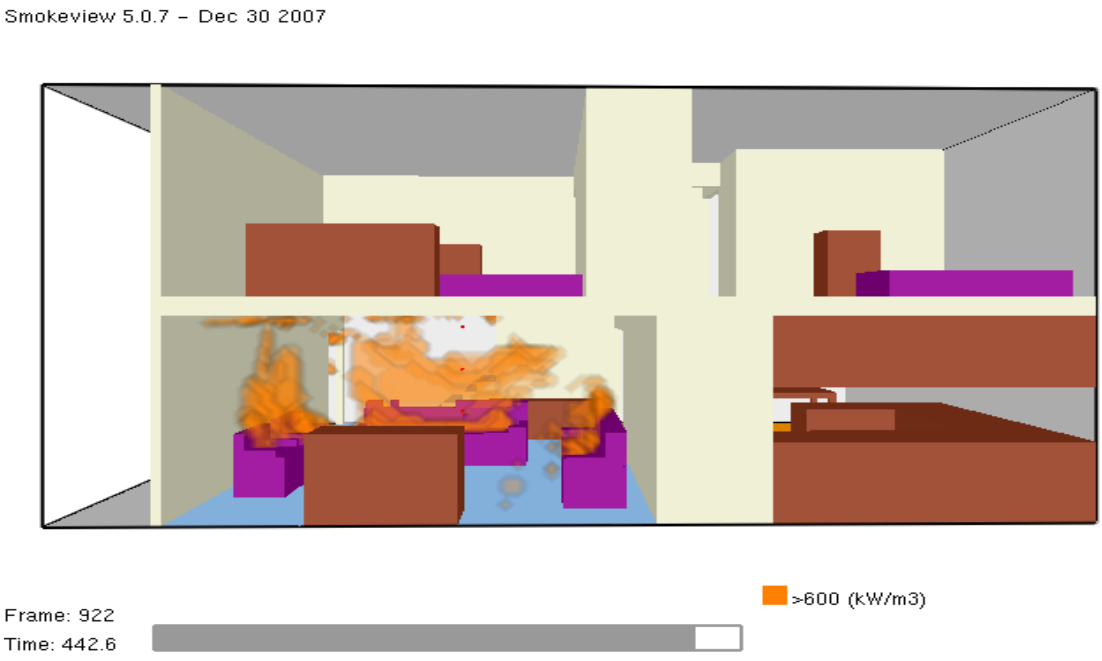
ค่าอัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนจากแบบจำลองจะพบว่าช่วงแรกจะมีอัตราการปลดปล่อยพลังงานเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ เมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 358 วินาทีโซฟาตัวที่อยู่ใกล้เคียงจะลุกติดไฟเนื่องจากการแผ่รังสีความร้อน หลังจากนั้นอัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึง 6500 kW ซึ่งจะเป็นช่วง Post Flash over ที่เวลา 443 วินาที จากนั้นไฟยังลุกลามต่อไปยังประตูทางออกและช่องบันไดเนื่องจากยังมีออกซิเจนหลงเหลือโดยจะมีอัตราการปลดปล่อยพลังงานสูงสุด 8600 kW ที่เวลา 464 วินาที



ภาพที่ 47 ภาพแสดงโซฟาตัวใกล้เคียงเริ่มติดไฟเนื่องจากการแผ่รังสีความร้อนที่เวลา 358 วินาที

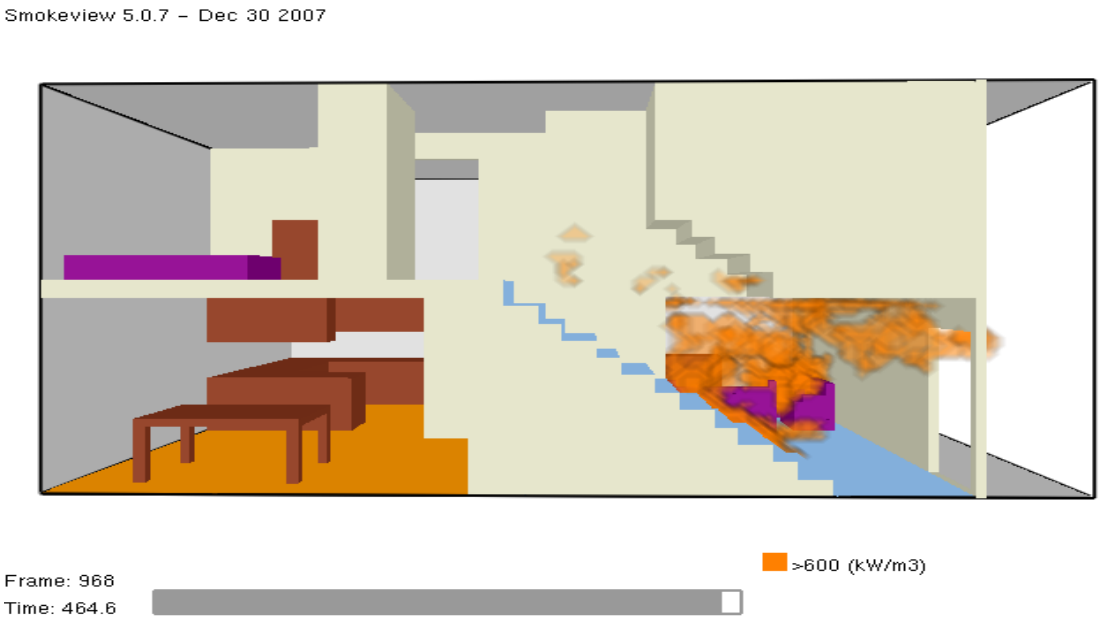


ภาพที่ 48 ภาพแสดง Heat Flux ขณะที่โซฟาตัวใกล้เคียงเริ่มติดไฟที่เวลา 358 วินาที

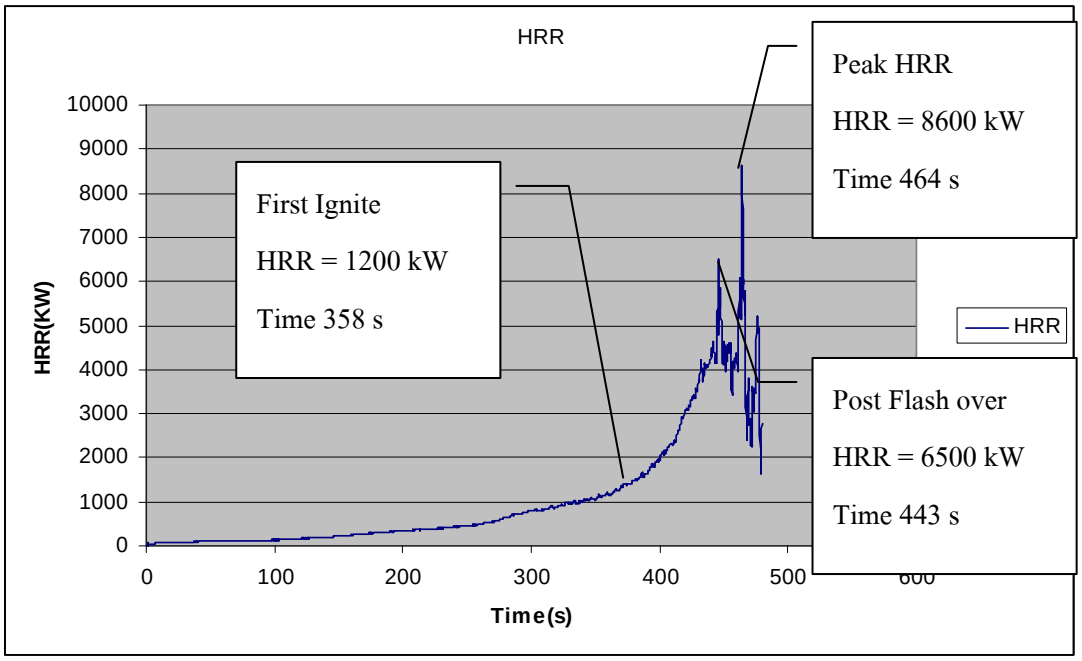


ภาพที่ 49 ภาพแสดงการเกิด Post Flash Over ที่เวลา 443 วินาที

ภาพที่ 50 ภาพแสดง Heat Flux ขณะที่เกิด Post Flash Over ที่เวลา 443 วินาที



ภาพที่ 51 ภาพแสดงการลุกลามของไฟจากห้องรับแขกมาที่บันไดและประตูที่เวลา 464 วินาที



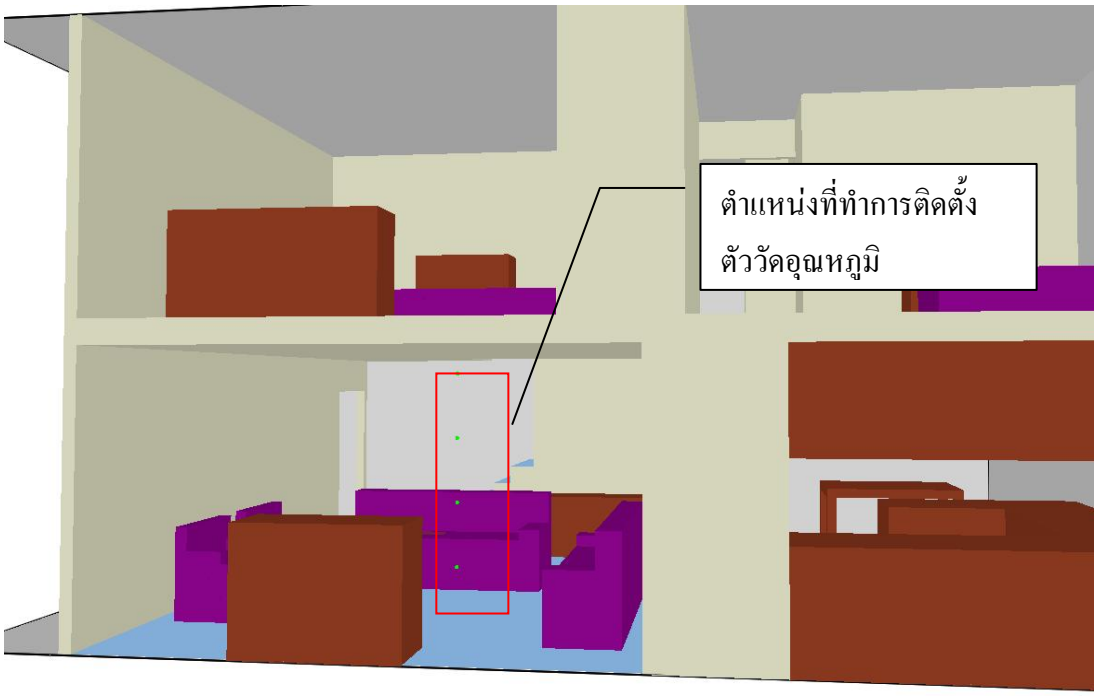
ภาพที่ 52 กราฟแสดงอัตราการปลดปล่อยพลังงานของแบบจำลองที่เวลา 0-480 วินาที

จากกราฟจะเห็นว่าก่อนที่โซฟาตัวแรกจะเริ่มติดไฟที่เวลา 358 วินาทีอัตราการปลดปล่อยพลังงานจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ จากนั้นจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนกระทั่งถึงจุด Post Flash Over ที่เวลา 443 วินาที และปลดปล่อยพลังงานสูงสุดที่ 464 วินาที

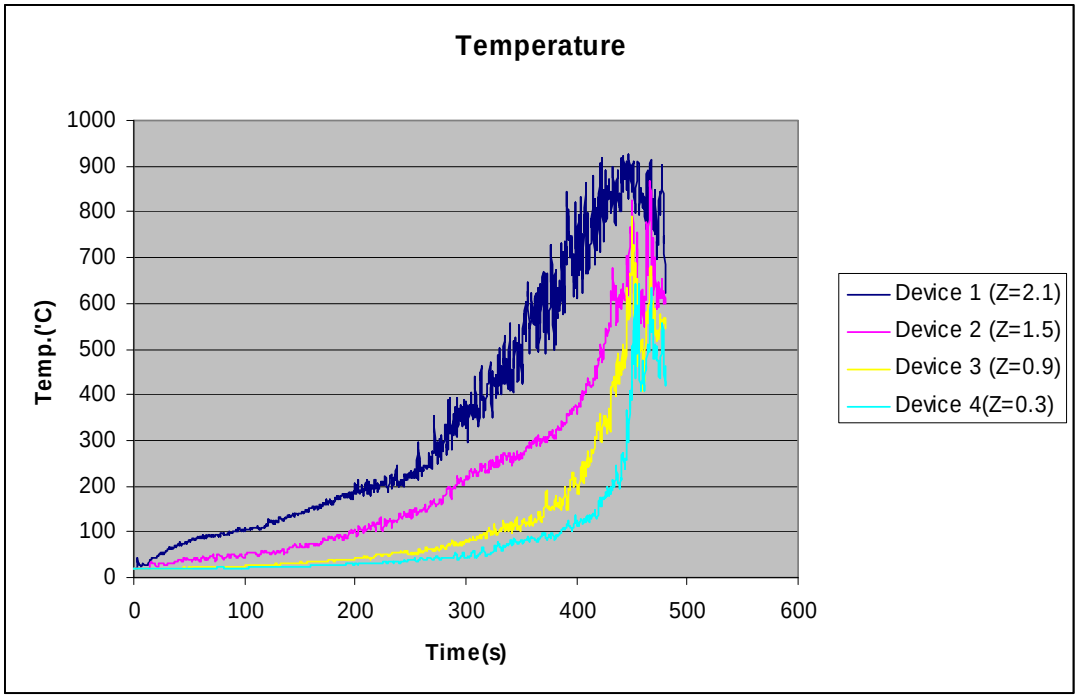
เมื่อเกิด Post Flash Over ขึ้นจะมีอัตราการปลดปล่อยพลังงานอยู่ที่ 6500 kW เมื่อรวมพื้นของผนังทั้งสี่ด้านของห้องมีพื้นที่รวม 45 m^2 ก็จะได้ค่า Heat Flux ที่ตกกระทบกับผนังทั้งสี่ด้านอยู่ที่ 144.44 kW/ m^2

4. การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ

ในการจำลองได้ทำการติดตั้งตัววัดอุณหภูมิ(Thermo Couple)ไว้ที่กึ่งกลางของห้องนั่งเล่นที่ตำแหน่งความสูงต่างๆ ที่ 0.3 เมตร, 0.9 เมตร, 1.5 เมตร และ 2.1 เมตรเพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่เวลาต่างๆ และยังได้แสดงภาคตัดขวางของการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิที่ระนาบต่างๆ คือ X = 3.10, X = 5.8 และ Z = 1.50 เพื่อดูการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ของบ้านและบริเวณบันไดที่เป็นเส้นทางการหนีออกจากตัวบ้านว่าขณะเกิดเพลิงไหม้นั้นอุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร

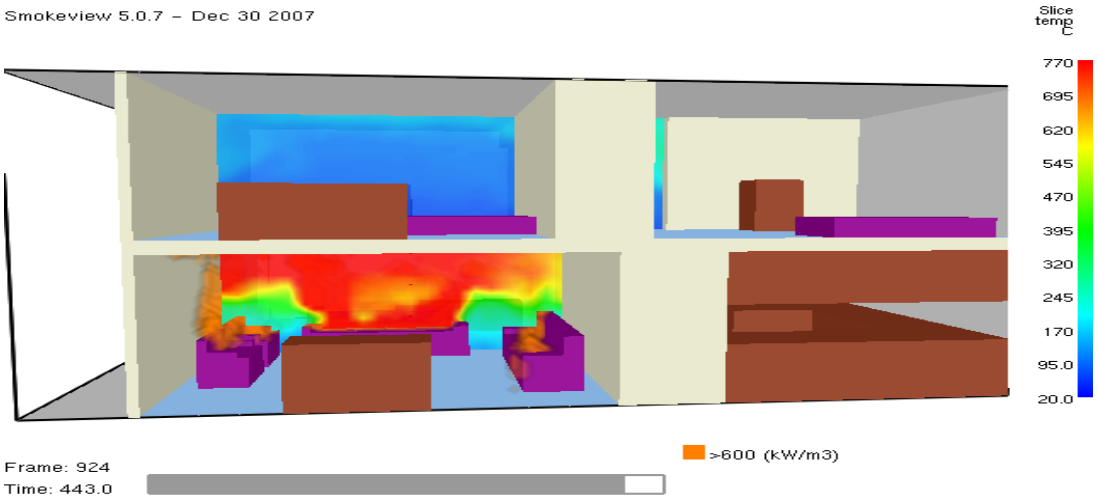


ภาพที่ 53 แสดงตำแหน่งการติดตั้งตัววัดอุณหภูมิเพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ



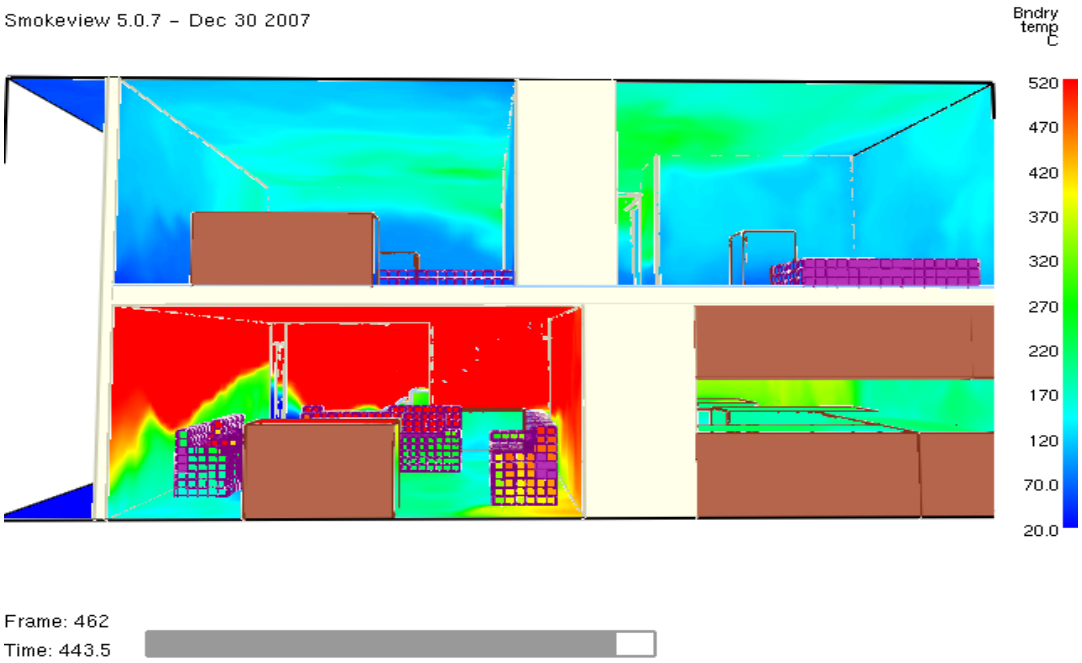
ภาพที่ 54 กราฟแสดงการเพิ่มขึ้นของตัวจับอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ที่เวลา 0-480 วินาที

จากกราฟจะแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิภายในห้องนั่งเล่นช่วงเวลาที่เกิด Post Flash over จนถึงช่วงที่ปลดปล่อยความร้อนออกมามากที่สุดที่เวลา 443 -464 วินาทีนั้นอุณหภูมิเฉลี่ยจะเพิ่มสูงขึ้นถึง 800 – 900 ^{o}C จากการจำลองพบว่าจะเกิด Post Flash over จะที่ช่วงเวลา 443 วินาที จึงได้ทำการแสดงภาพตัดขวางที่ตำแหน่ง X= 3.10 และ Z = 1.50 เพื่อดูการกระจายตัวของอุณหภูมิ



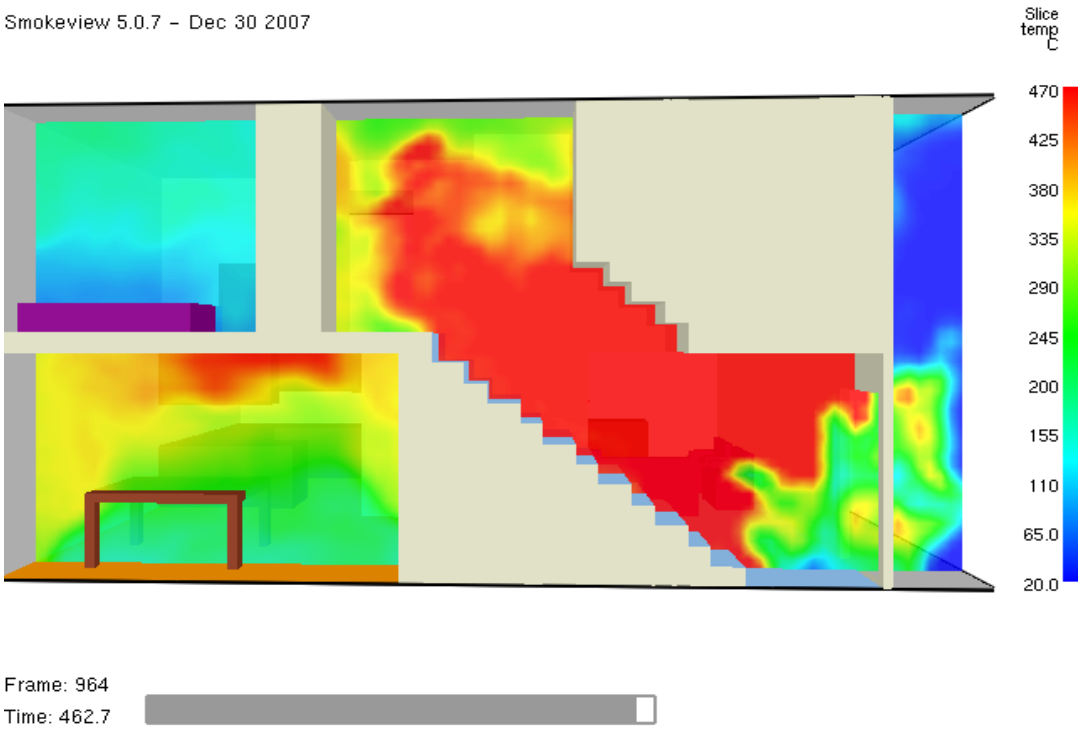
ภาพที่ 55 ภาพตัดขวางแนวแกน X ที่ X = 3.10 แสดงอุณหภูมิที่เวลา 443 วินาที

ภาพที่ 56 ภาพตัดขวางแนวแกน Z ที่ Z = 1.50 แสดงอุณหภูมิที่เวลา 443 วินาที

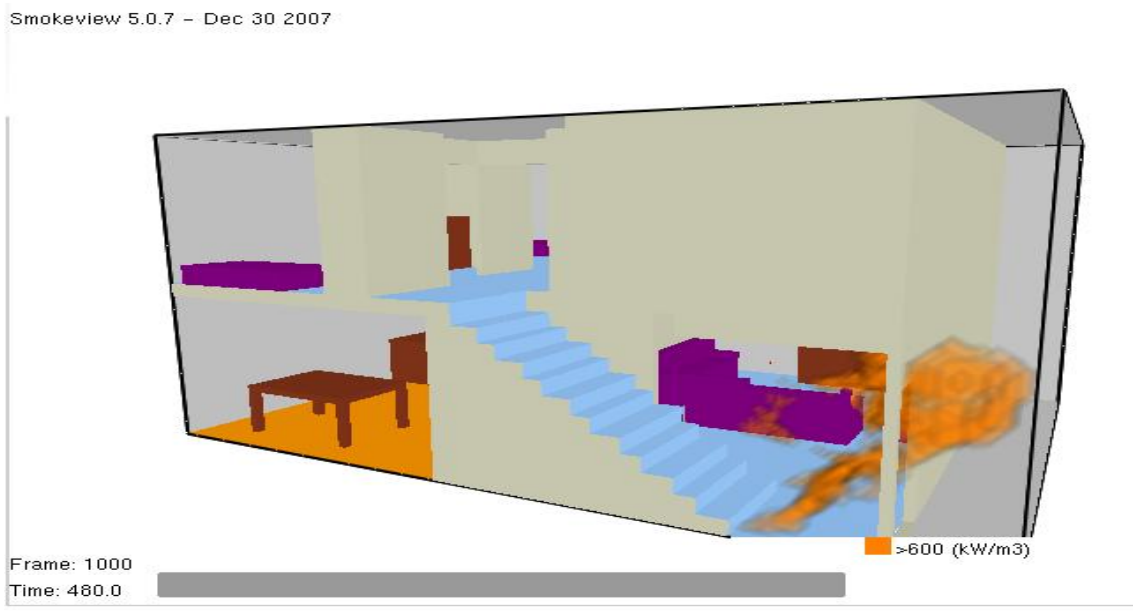


ภาพที่ 57 ภาพแสดงอุณหภูมิภายของผนังในห้องนั่งเล่นที่เวลา 443 วินาที

จากผลการจำจองจะพบว่าที่เวลา 443 วินาทีภาพตัวขวางแนวแกน X = 3.10 อุณหภูมิสูงสุดจะสูงถึง 770 ^{o}C และ ที่ภาพตัวขวางแนวแกน Z = 1.50 จะเห็นว่าอุณหภูมิภายในห้องรับของในช่วงที่เกิด Flash over จะอยู่ที่ 650 – 720 ^{o}C โดยในขณะนั้นอุณหภูมิภายของผนังในห้องรับแขกจะเพิ่มขึ้นสูงถึง 500 ^{o}C จากนั้นไฟจะเริ่มลามไปที่บันไดและประตูทางออกที่เวลา 463วินาที ทำให้อุณหภุมิที่บันได (X = 5.80) เพิ่มสูงขึ้นถึง 470 ^{o}C จากนั้นเปลวไฟจะพุ่งออกมาจากบ้านเนื่องจากต้องการออกซิเจนในการเผาไหม้จนกระทั่งสิ้นสุดเวลาที่ทำการจำลองที่ 480 วินาที



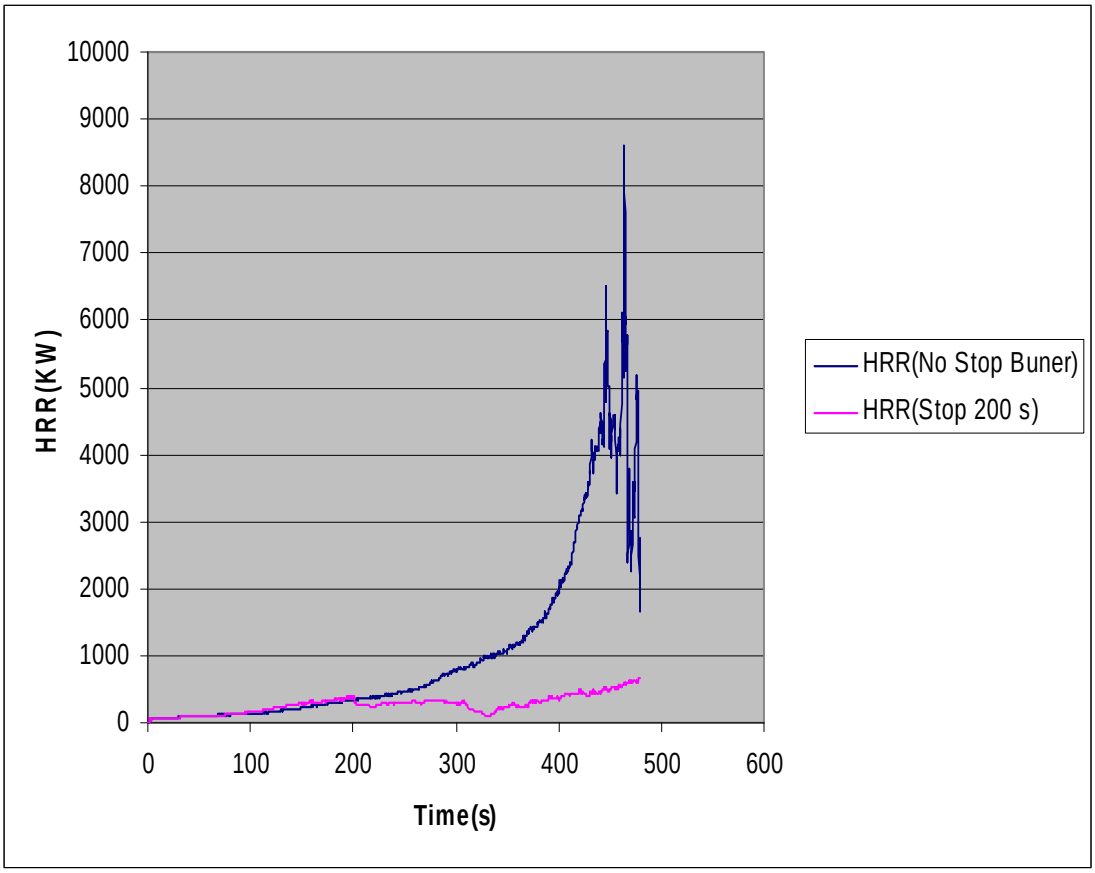
ภาพที่ 58 ภาพตัดขวางแนวแกน X ที่ X = 5.8 แสดงอุณหภูมิที่เวลา 463 วินาที



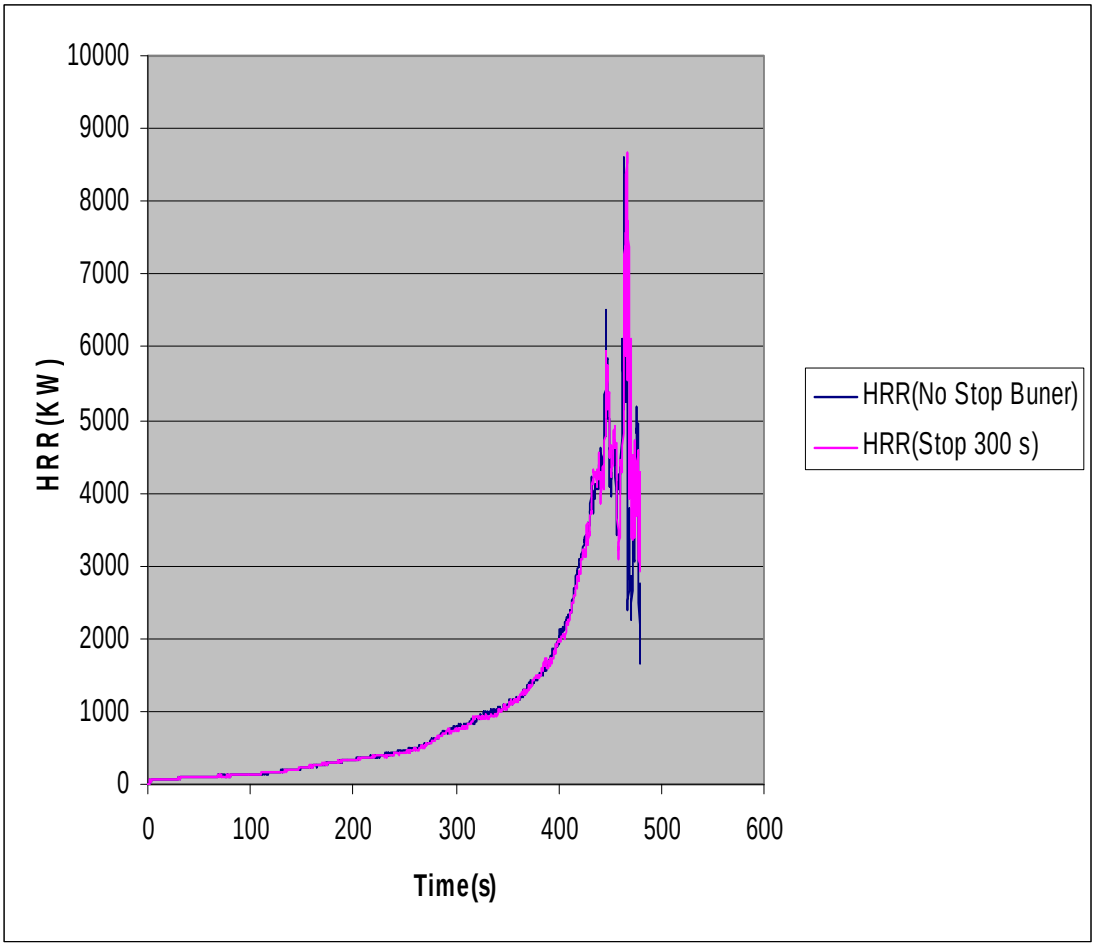
ภาพที่ 59 ภาพแสดงเปลวไฟพุ่งออกมาจากประตูที่เวลา 480 วินาที

ผลของการสร้างแบบจำลองเพื่อวิเคราะห์การเกิดเพลิงไหม้ในบ้านพักอาศัยหลังจากติดตั้งระบบสปริงเกลอร์

การจำลองนี้ได้กำหนดให้ Burner ปล่อยความร้อน 50 kW ตลอดระยะที่ทำการจำลองในเวลา 480 วินาทีทำให้เห็นเปลวไฟออกมาจากบริเวณ Burner ตลอดเวลาจึงทำให้ดูเหมือนว่าไม่สามารถดับเพลิงได้จึงได้ทดลองให้ Burner หยุดการทำงานที่ 200 วินาที่และ 300 วินาทีเพื่อดูว่าการหยุดการทำงานของ Burner ที่เวลาเท่าไหร่แล้วยังทำให้เพลิงสามารถลุกลามต่อไปได้เหมือนกับกรณีที่ไม่มีการหยุดการทำงานของ Burner โดยการเปรียบทียบจะดูจากอัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อน



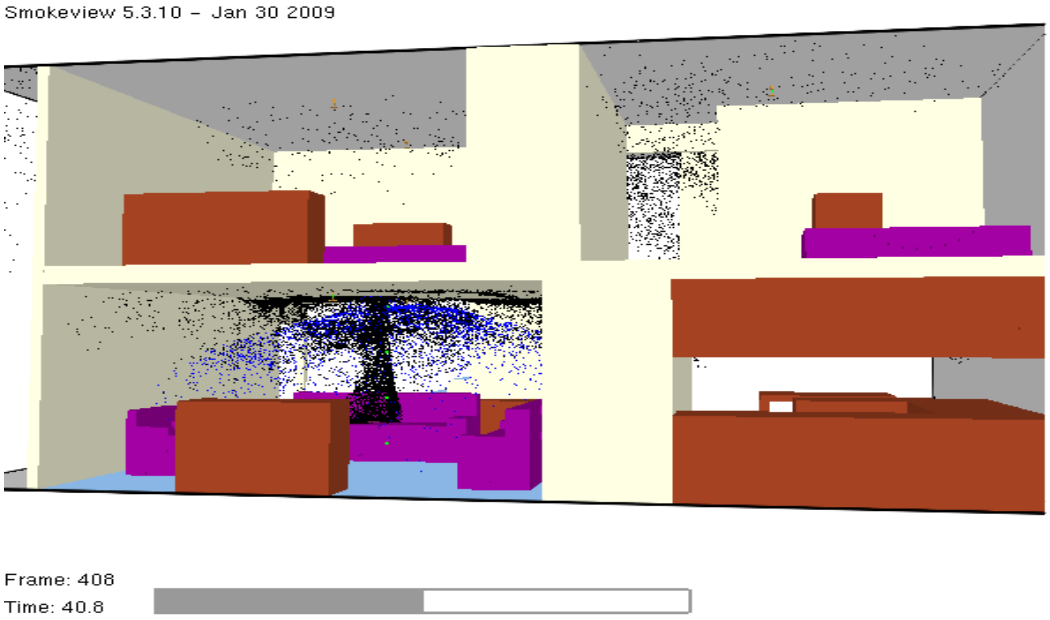
ภาพที่ 60 ภาพแสดงอัตราการปลดปล่อยพลังงานเปรียบเทียบกันกรณีไม่หยุดการทำงานและหยุดการทำงานของBurner ที่เวลา 200 วินาที



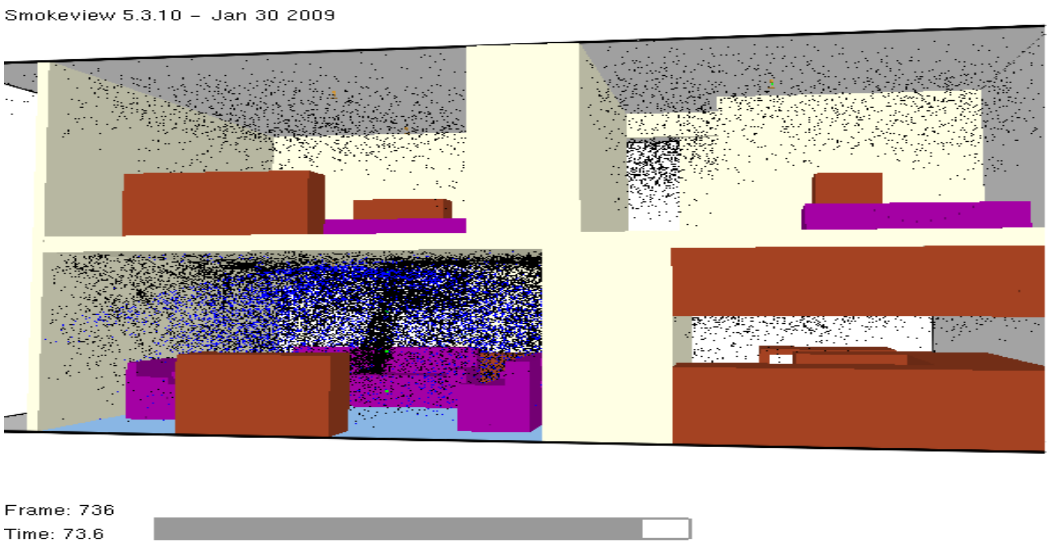
ภาพที่ 61 ภาพแสดงอัตราการปลดปล่อยพลังงานเปรียบเทียบกันกรณีไม่หยุดการทำงานและหยุดการทำงานของBurner ที่เวลา 300 วินาที

จากภาพที่ 60 และ 61 แสดงให้เห็นว่าเมื่อเรากำหนดให้หยุดปล่อยหลังงานความร้อนที่เวลา 200 วินาทีจะพบว่าเพลิงสามารถลุกลามต่อได้แต่อัตราการปลดปล่อยพลังงานจะต่ำกว่ากรณีที่ไม่ได้กำหนดให้ Burner หยุดการทำงาน ส่วนในกรณีที่กำหนดให้ Burner หยุดการทำงานที่เวลา 300 วินาทีจะพบว่าอัตราการปลดปล่อยพลังงานใกล้เคียงกับกรณีที่ไม่ได้กำหนดให้ Burner หยุดการทำงานดังนั้นจึงได้กำหนดให้ Burner หยุดการทำงานที่เวลา 300 วินาที โดยจะทำการติดตั้งสปริงเกลอร์เพื่อศึกษาผลการทดลอง

จากการจำลองจะพบว่าสปริงเกลอร์หัวแรกจะเริ่มทำงานที่เวลา 40 วินาทีและสปริงเกลอร์ตัวที่ 2 จะเริ่มทำงานที่เวลา 73 วินาที จากนั้นเพลิงจะถูกควบคุมไม่ให้ลุกลามจนกระทั่งหยุดการทำงานของ Burner



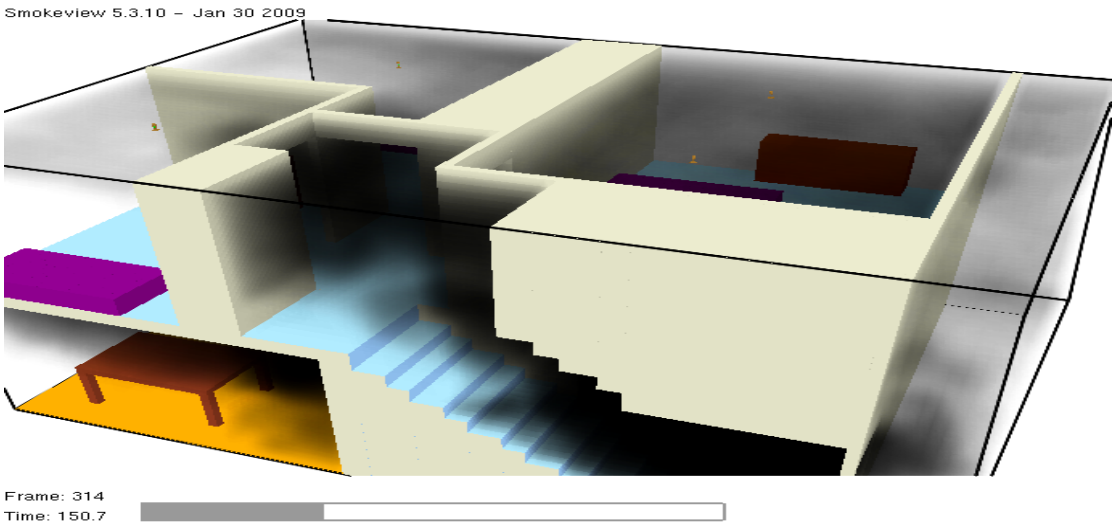
ภาพที่ 62 ภาพแสดงสปริงเกลอร์หัวที่ 1 เริ่มทำงานที่เวลา 40 วินาที



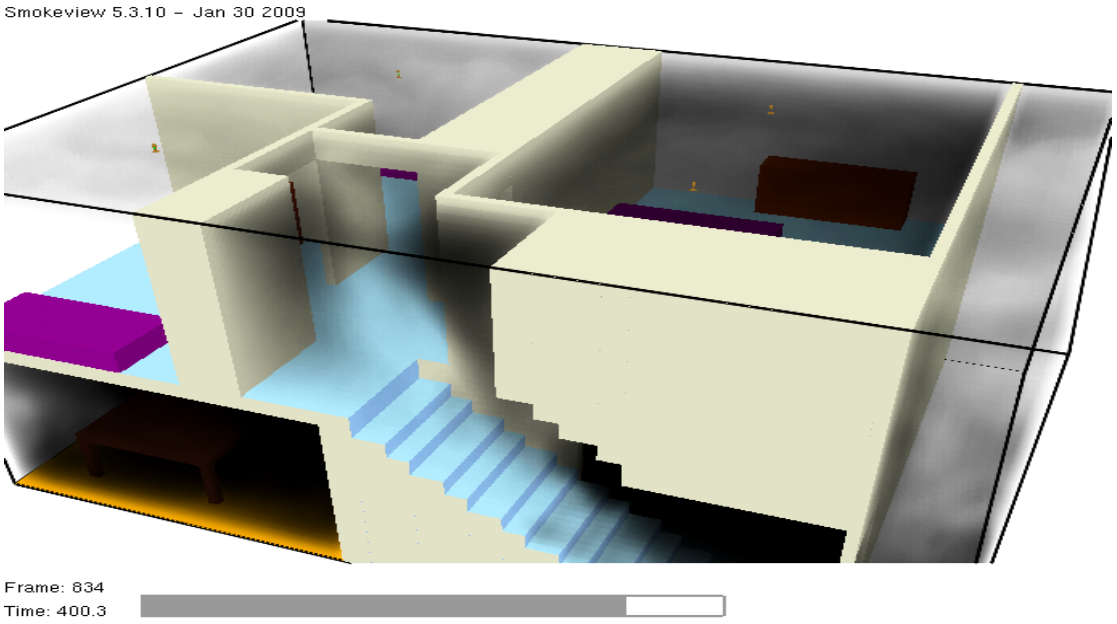
ภาพที่ 63 ภาพแสดงสปริงเกลอร์หัวที่ 2 เริ่มทำงานที่เวลา 73 วินาที

1. การกระจายตัวของควัน

สำหรับแบบจำลองของบ้านที่ติดตั้งระบบสปริงเกลอร์จะพบว่าหลังจากสปริงเกลอร์เริ่มทำงานจะทำให้ปริมาณควันลดลงไปจำนวนมากช่วยเพิ่มระยะการมองเห็นในการหนีให้มากขึ้น



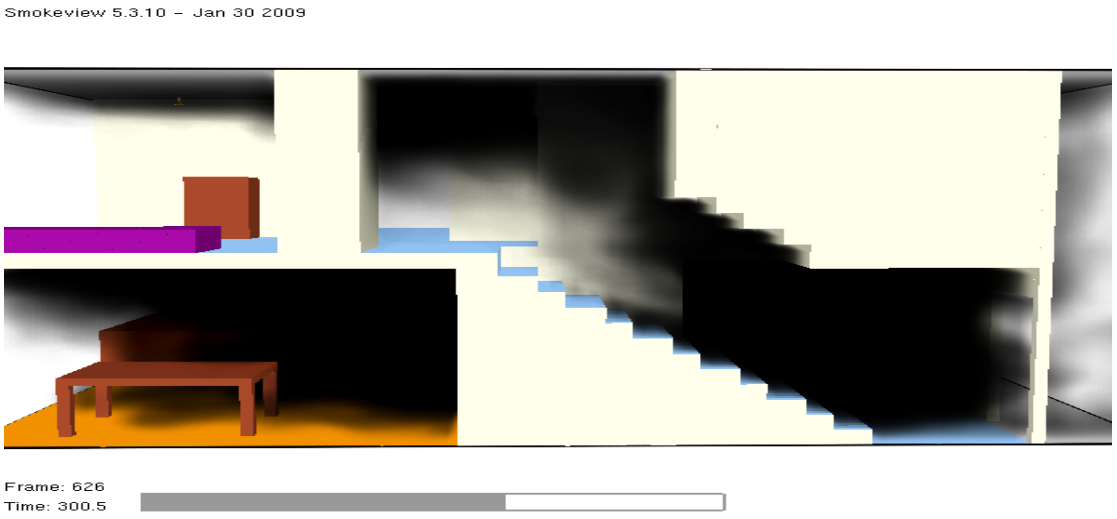
ภาพที่ 64 แสดงการกระจายตัวของควันที่เวลา 150 วินาที



ภาพที่ 65 แสดงการกระจายตัวของควันที่เวลา 400 วินาที

2. ระยะการมองเห็น

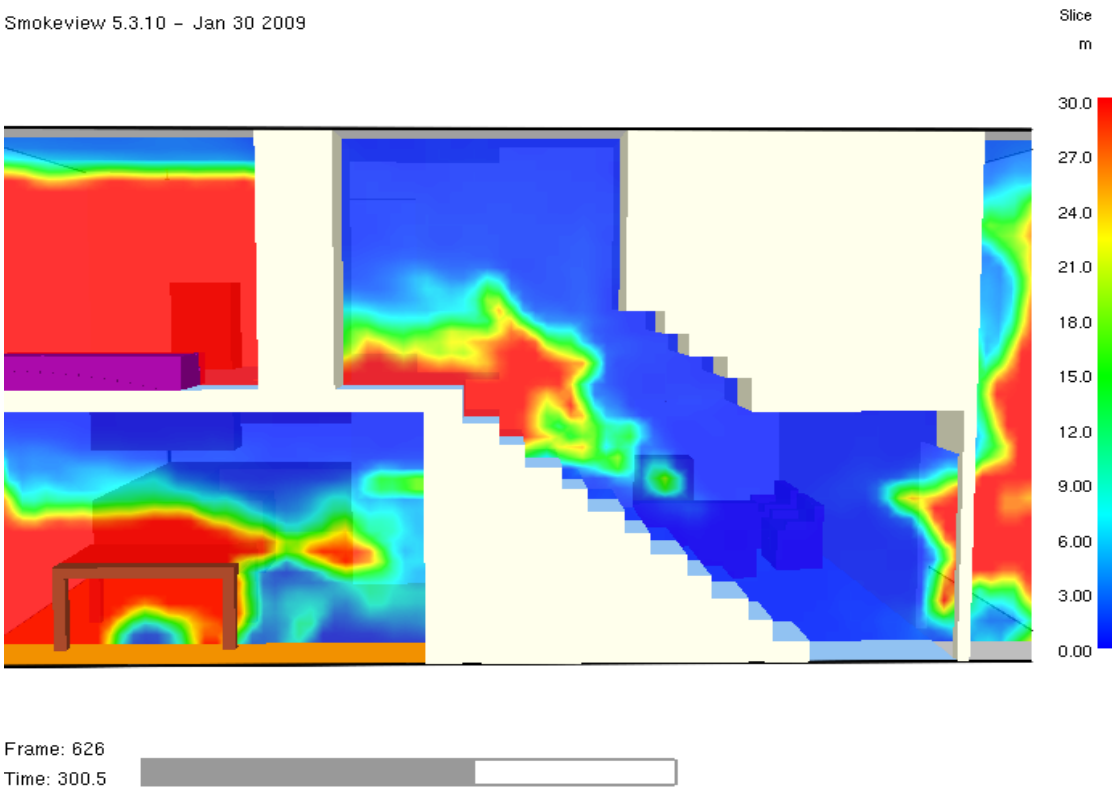
การจำลองได้ทำภาพตัดขวางแสดงระยะการมองเห็นที่ตำแหน่ง X = 5.8 เพื่อดูระยะการการมองเห็นบริเวณบันได โดยจะเปรียบเทียบดูที่เวลา 300 วินาที, 380 วินาที และ 460 วินาทีว่ามีระยะการมองเห็นเปลี่ยงแปลงอย่างไร



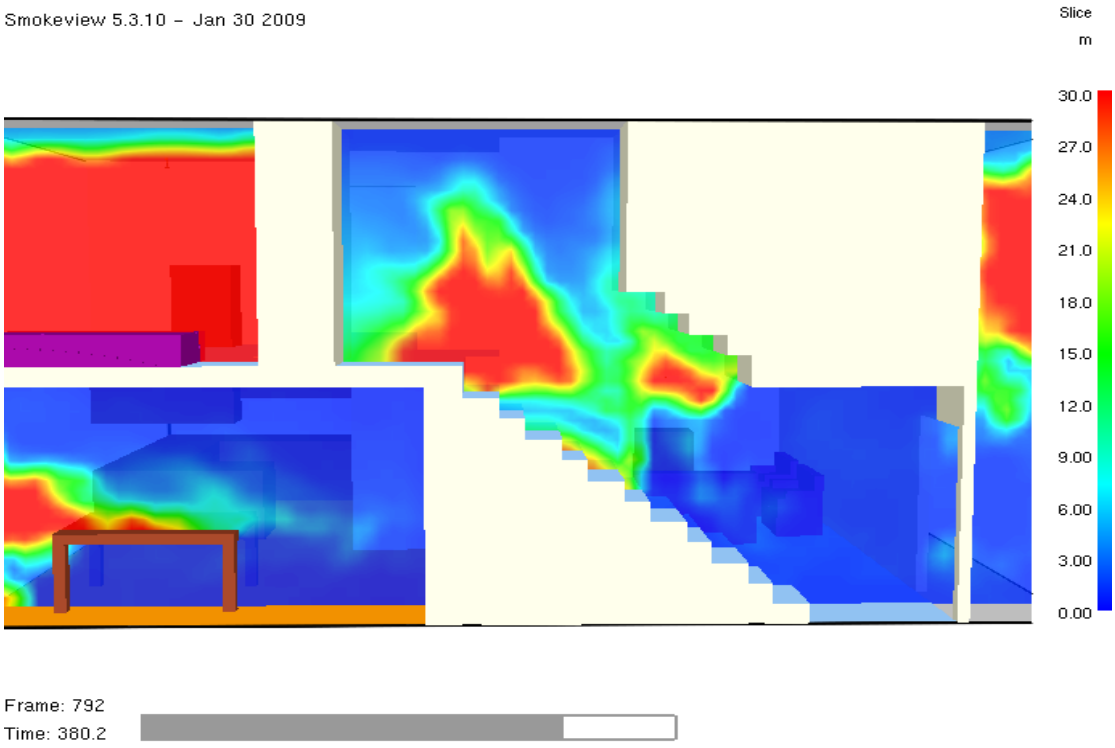
ภาพที่ 66 แสดงการกระจายตัวของควันที่ช่องบันไดที่เวลา 300 วินาที

ภาพที่ 67 แสดงการกระจายตัวของควันที่ช่องบันไดที่เวลา 380 วินาที

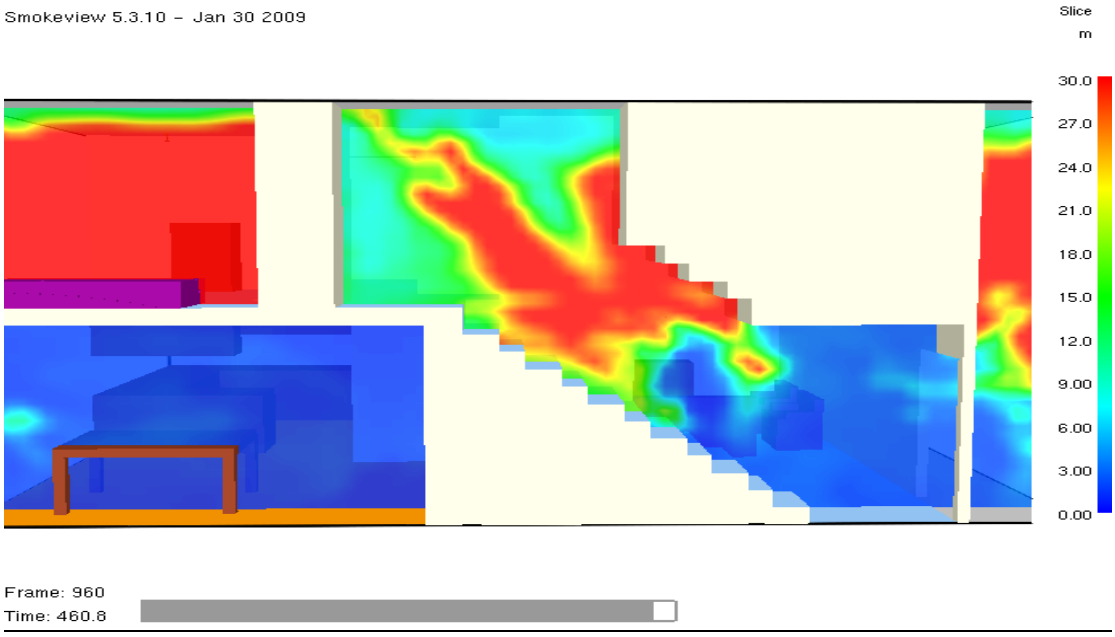
ภาพที่ 68 แสดงการกระจายตัวของควันที่ช่องบันไดที่เวลา 460 วินาที



ภาพที่ 69 ภาพตัดขวางแนวแกน X ที่ X = 5.8 แสดงการมองเห็นที่เวลา 300 วินาที



ภาพที่ 70 ภาพตัดขวางแนวแกน X ที่ X = 5.8 แสดงการมองเห็นที่เวลา 380 วินาที

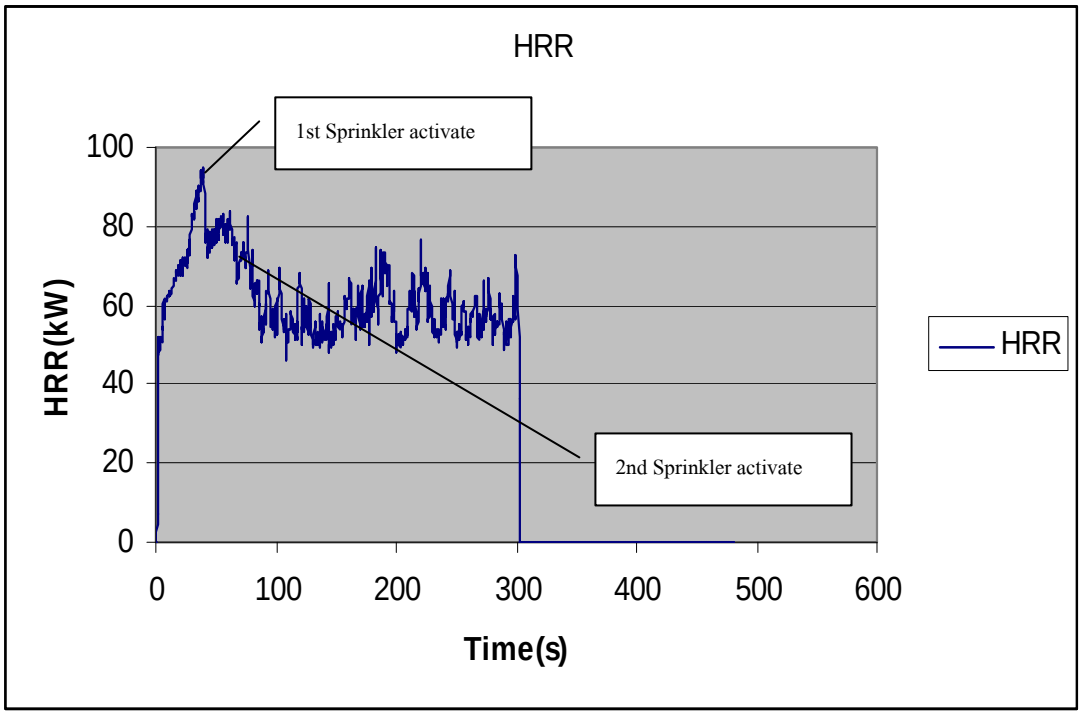


ภาพที่ 71 ภาพตัดขวางแนวแกน X ที่ X = 5.8 แสดงการมองเห็นที่เวลา 460 วินาที

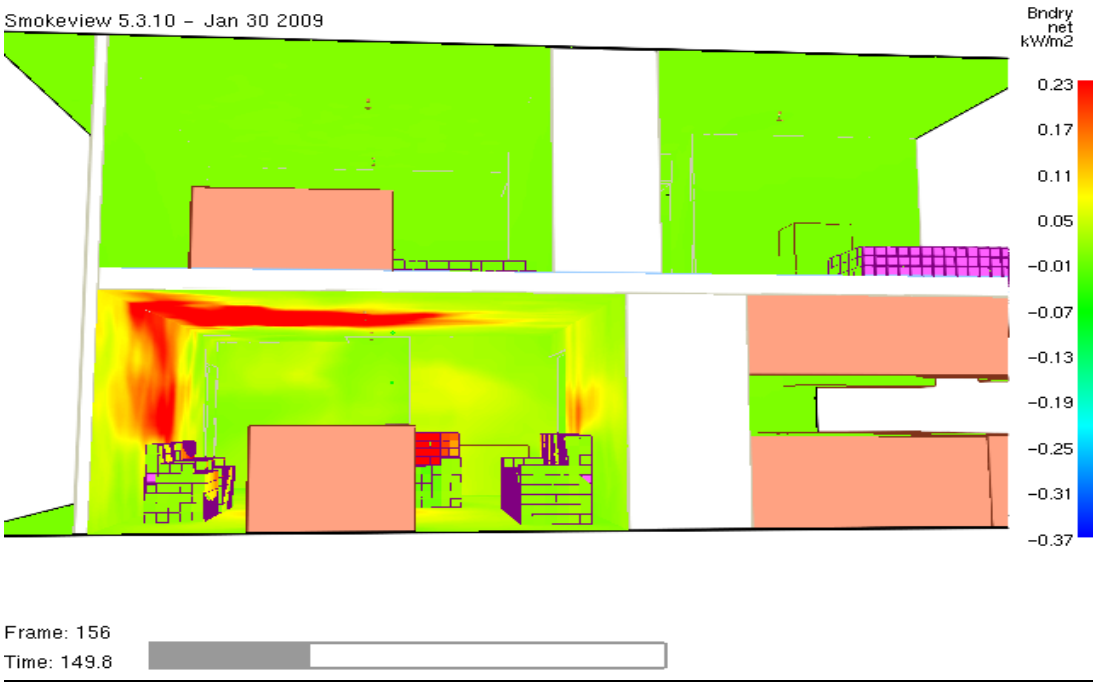
จากการจำลองจะพบว่าที่เวลา 300 วินาทีระยะการมองเห็นบริเวณบันไดจะต่ำกว่า 3 เมตร จากนั้นเมื่อเวลาผ่านไป 380 วินาทีระยะการมองเห็นจะเพิ่มขึ้นเป็น 9-12 เมตร และจะเพิ่มขึ้นถึง 12-15 เมตรที่เวลา 460 วินาทีซึ่งเป็นระยะที่เพียงพอต่อการอพยพออกจากบ้านหลังจากที่สปริงเกลอร์ทำงาน

3. อัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อน (Heat Release Rate)

จากผลการจำลองพบว่าสปริงเกลอร์หัวแรกจะเริ่มทำงานที่เวลา 40 วินาทีขณะที่มีอัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อน 95 kW จากนั้นสปริงเกลอร์หัวที่ 2 จะเริ่มทำงานที่เวลา 73 วินาทีทำให้อัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนลดลงมาและถูกควบคุมให้อยู่ในช่วง 50-70 kW จนถึงเวลาเรากำหนดค่า Burner ให้หยุดปล่อยพลังงานความร้อนที่เวลา 300 วินาที่ จะพบว่าสปริงเกลอร์สามารถไฟดับลงและทำให้อัตตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนเป็น 0 KW ซึ่งช่วยป้องกันไม่ให้เกิด Post Flash over ได้อย่างมีประสิทธิภาพเพราะช่วงที่เกิด Post Flash over นั้นจะมีอัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนสูงถึง 6500 KW



ภาพที่ 72 กราฟแสดงอัตราการปลดปล่อยพลังงานที่เวลา 0 - 480 วินาที

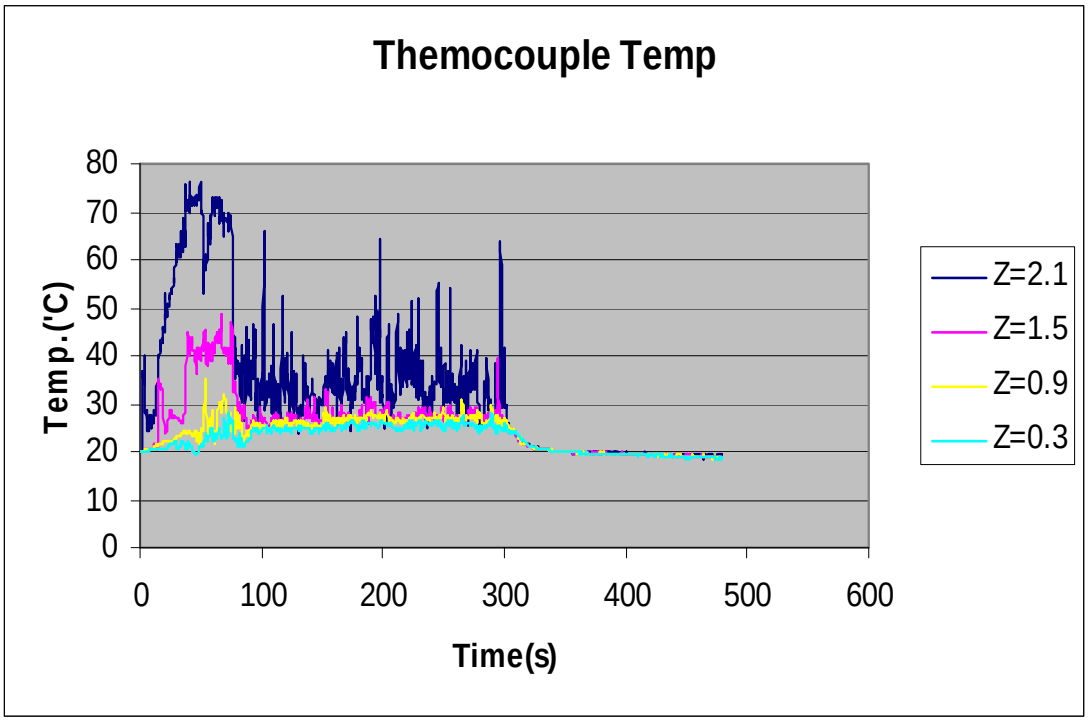


ภาพที่ 73 ภาพแสดง Heat Flux ที่เวลา 150 วินาที

ภาพที่ 74 ภาพแสดง Heat Flux ที่เวลา 330 วินาที

4. การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ

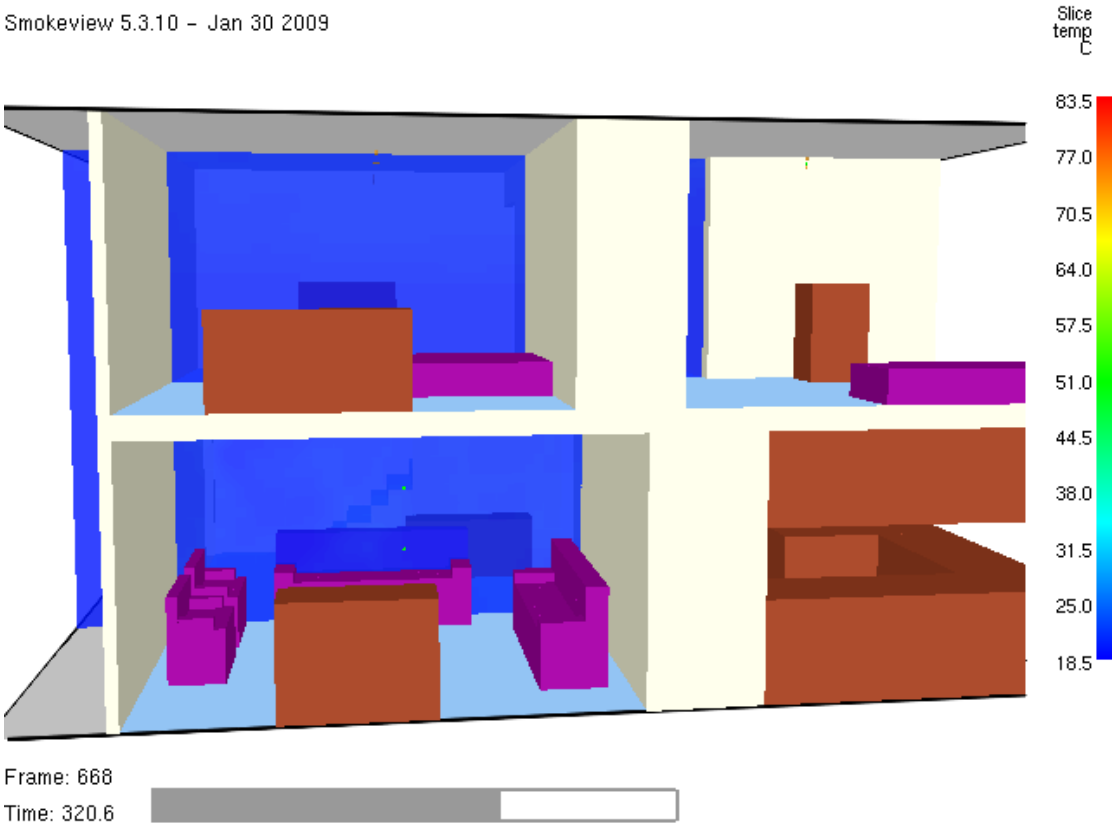
ในการจำลองได้ทำการติดตั้งตัววัดอุณหภูมิ(Thermo Couple)ไว้ที่กึ่งกลางของห้องนั่งเล่นที่ตำแหน่งความสูงต่างๆ ที่ 0.3 เมตร, 0.9 เมตร, 1.5 เมตร และ 2.1 เมตร เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่เวลาต่างๆ ขณะที่สปริงเกลอร์เริ่มทำงาน และยังได้แสดงภาคตัดขวางของการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิที่ระนาบต่างๆ คือ X = 3.10 , X = 5.8 และ Z = 1.50 เพื่อดูความเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ของบ้านและบริเวณบันไดที่เป็นเส้นทางการหนีออกจากตัวบ้านว่าขณะสปริงเกลอร์เริ่มทำงานเพลิงทำให้อุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร



ภาพที่ 75 กราฟแสดงอุณหภูมิของตัววัดอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆที่เวลา 0-480 วินาที

จากการจำลองพบว่าเมื่อสปริงเกลอร์ตัวแรกเริ่มทำงานที่เวลา 40 วินาทีจะสามารถควบคุมอุณหภูมิภายในห้องให้ไม่เกิน 80 ^{o}C หลังจากที่สปริงเกลอร์ตัวที่ 2 ทำงานที่เวลา 73 วินาทีอุณหภูมิจะลดต่ำลงมาที่ 50 ^{o}C จากนั้นอุณหภูมิจะเริ่มคงที่อยู่ที่ 25^{o}C หลังจากหยุดหารทำงานของ Burner อุณหภูมิจะลดลงเหลือ 20 ^{o}C ที่เวลา 330 วินาทีและคงที่ไปจนหมดเวลาการจำลองที่ 480 วินาที

ภาพที่ 76 ภาพตัดขวางแนวแกน X ที่ X = 3.1 แสดงอุณหภูมิที่เวลา 150 วินาที

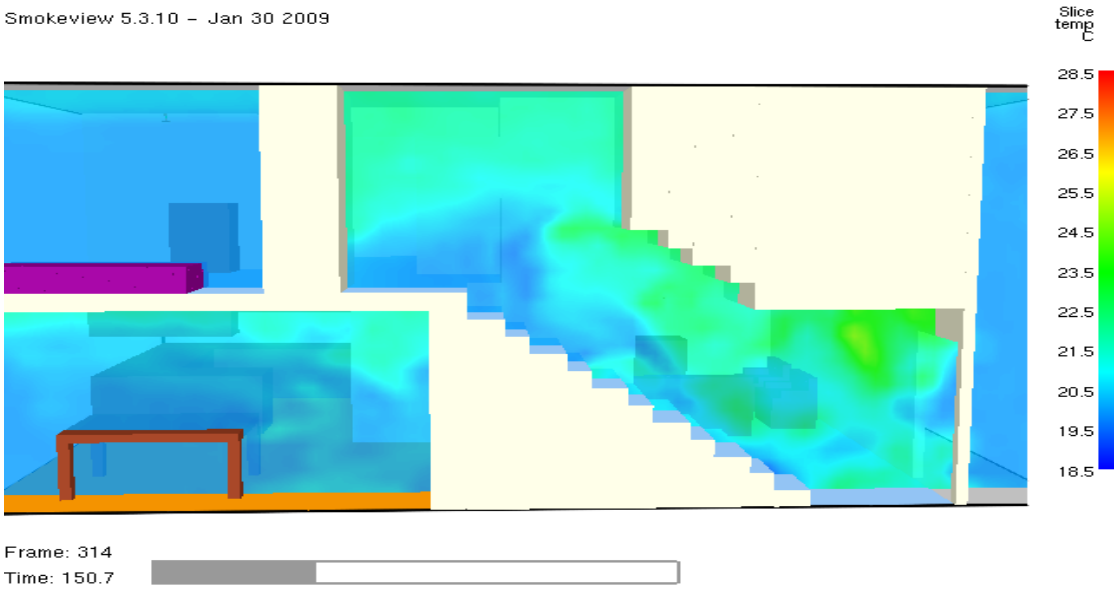


ภาพที่ 77 ภาพตัดขวางแนวแกน X ที่ X = 3.1 แสดงอุณหภูมิที่เวลา 330 วินาที

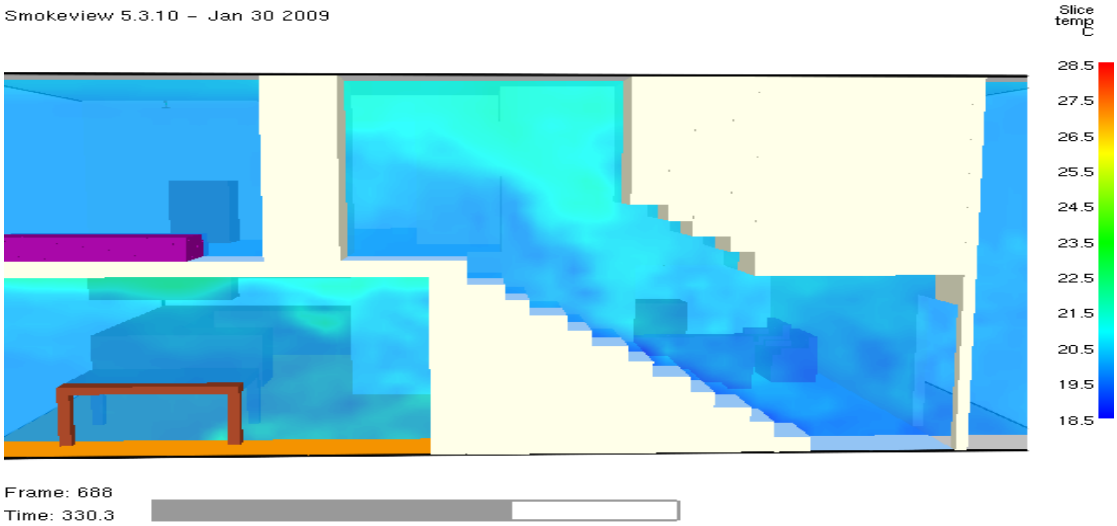
ภาพที่ 78 ภาพตัดขวางแนวแกน Z ที่ Z = 1.5 แสดงอุณหภูมิที่เวลา 150 วินาที

ภาพที่ 79 ภาพตัดขวางแนวแกน Z ที่ Z = 1.5 แสดงอุณหภูมิที่เวลา 330 วินาที

จากภาพตัดขวางแนวแกน X ที่ X = 3.1 แสดงให้เห็นว่าหลังจากสปริงเกลอร์หัวเริ่มทำงานที่เวลา 150 วินาที อุณหภูมิจะอยู่ที่ 80 °C จากนั้นอุณหูมิจะลดต่ำลงเหลือ 20 °C เมื่อเวลาผ่านไป 330 วินาที ส่วนที่ตำแหน่งแนวแกน Z ที่ Z = 1.5 ที่เวลา 150 วินาที อุณหภูมิจะอยู่ที่ 38 °C และลดลงเหลือ 20 °C เมื่อเวลาผ่านไป 330 วินาที



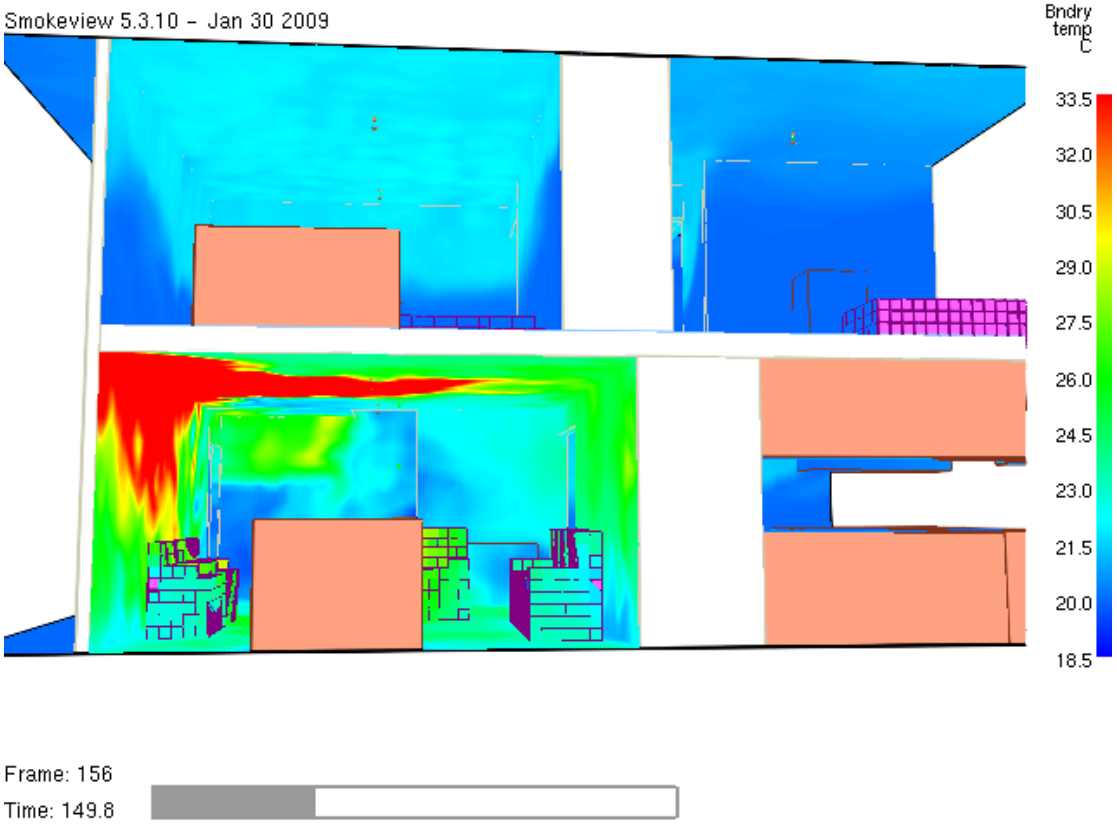
ภาพที่ 80 ภาพตัดขวางแนวแกน X ที่ X = 5.8 แสดงอุณหภูมิที่เวลา 150 วินาที



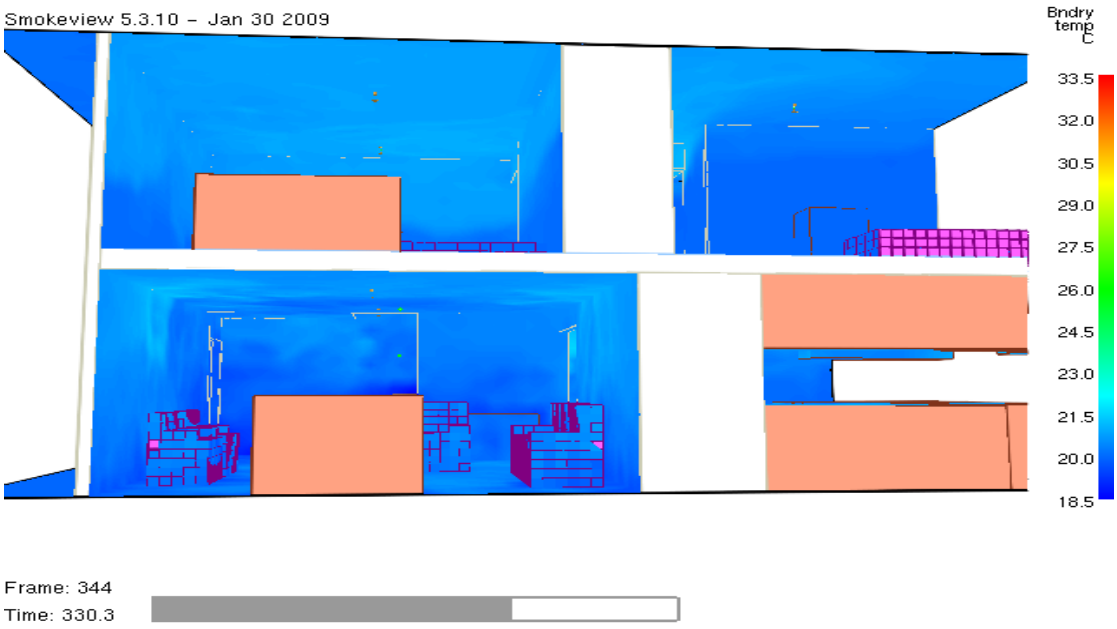
ภาพที่ 81 ภาพตัดขวางแนวแกน X ที่ X = 5.8 แสดงอุณหภูมิที่เวลา 330 วินาที

จากภาพตัดขวางแนวแกน X ที่ X = 3.1 แสดงให้เห็นว่าหลังจากสปริงเกลอร์หัวเริ่มทำงานที่เวลา 150 วินาที อุณหภูมิจะอยู่ที่ 26 °C จากนั้นอุณหูมิจะลดต่ำลงเหลือ 20 °C เมื่อเวลาผ่านไป 330 วินาที ซึ่งช่วยเพิ่มความปลอดภัยให้กับผู้ที่อาศัยอยู่ที่ชั้น 2 ได้อพยพออกมาอย่างปลอดภัย

นอกจากนี้หัวสปริงเกลอร์ที่ใช้กับบ้านพักอาศัยยังมีมุมของการกระจายน้ำที่ช่วยในการหล่อเย็นของผนังห้องด้วยโดยในในขณะที่สปริงเกลอร์ทำงานจะช่วยควบคุมไม่ให้อุณหภูมิของผนังห้องที่เกิดเพลิงไหม้อยู่ที่ 20-30 °C ดังที่แสดงให้เป็นในภาพที่ 82 และ 83



ภาพที่ 82 ภาพแสดงอุณหภูมิภายของผนังในห้องนั่งเล่นที่เวลา 150 วินาที



ภาพที่ 83 ภาพแสดงอุณหภูมิภายของผนังในห้องนั่งเล่นที่เวลา 330 วินาที

วิจารณ์

จากการที่เราได้ออกแบบระบบสปริงเกลอร์ที่ใช้ในบ้านพักอาศัยและคำนวณหาขนาดของปั๊มที่ต้องการในระบบจะเห็นว่าปั๊มน้ำธรรมดาก็สามารถที่จะทำให้ระบบสปริงเกลอร์ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยที่ไม่จำเป็นต้องใช้ Fire Pump ที่มีขนาดใหญ่เหมือนกับในอาคารสูง เมื่อใช้โปรแกรม FDS จำลองเปรียบเทียบกันจะพบว่าบ้านที่ไม่ได้ติดตั้งระบบสปริงเกลอร์จะมีการลุกลามของเพลิงอย่างรวดเร็วในเวลาเพียง 5-6 นาทีจนไม่สาสามรถควบคุมเพลิงไว้ได้และทำให้เกิด Post flash over ซึ่งผู้ที่อยู่ในบ้านก็มีความเสี่ยงที่จะไม่สามารถอพยพออกจากบ้านได้หรือมีโอกาศที่จะบาดเจ็บและเสียชีวิตจากเหตุเพลิงไหม้ ส่วนในกรณีที่เราติดตั้งระบบสปริงเกลอร์นั้นพบว่าสปริงเกลอร์จะตอบสนองและเริ่มทำงานอย่างรวดเร็วขณะที่กองไฟยังเป็นไฟดวงเล็ก ทำให้สามารถควบคุมไฟไว้ไม่ให้ลุกลามจนเกิดเป็น Post Flash over ซึ่งมีความรุนแรงมากสำหรับเพลิงไหม้ในพื้นที่ปิดล้อมและยังทำให้ควันลดลงอย่างมากช่วยเพิ่มระยะในการมองเห็นในการที่จะอพยพออกจากบ้านขณะที่เกิดเพลิงได้อย่างปลอดภัย อีกทั้งสปริงเกลอร์ยังช่วยหล่อเย็นทำให้อุณหภูมิของผนังลดลงช่วยป้องกันไม่ให้โครงสร้างของบ้านถล่มหรือทรุดตัวขณะเกิดเพลิงไหม้

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

ผลที่ได้จาการคำนวณหาขนาดของปั๊มกรณีที่สปริงเกลอร์ทำงานหัวสปริงเกลอร์ 1 หัว และกรณีที่สปริงเกลอร์ทำงานพร้อมกัน 2 หัวเมื่อนำผลที่ได้มาวิเคราะห์จะได้ขนาดของปั๊มที่ต้องการคือ อัตราการไหล 83.8 ลิตร/นาทีที่ความดัน 1.325 บาร์ และปริมาณน้ำที่ต้องการสำรองคือ 588.6 ลิตร สำหรับบ้านที่จำลองกรณีที่ไม่ได้ติดตั้งระบบสปริงเกลอร์จะพบว่าการควันจะกระจายตัวไปทั่วทุกห้องของบ้านภายในเวลา 300 วินาที ทำให้ระยะการมองเห็นที่บริเวณบันไดต่ำกว่า 3 เมตรที่เวลา 120 วินาทีจากนั้นระยะการมองเห็นจะลดต่ำลงจนเป็น 0 เมตรที่เวลา 250 วินาที ซึ่งเป็นอุปสรรคในการอพยพออกจากบ้าน ในส่วนของอัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนนั้นจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ในช่วงแรกจนถึงเวลา 358 วินาทีจะเริ่มมีการลุกติดไฟเองของโซฟาตัวข้างเคียงซึ่งอัตราการปลดปล่อยพลังงานอยู่ที่ 1200 kW จากนั้นไฟจะลุกลามอย่างรวดเร็วและเกิด Post flash over ขึ้นที่เวลา 443 วินาทีโดยจะมีอัตราการปลดปล่อยพลังงานอยู่ที่ 6500 kW จากนั้นไฟจะลุกลามต่อมาที่บริเวณบันไดเละมีอัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนสูงสุด 8600 kW ที่เวลา 464 วินาที สำหรับอุณหภูมิของช่วงเวลาที่เกิด Post flash over ไปจนถึงช่วงที่มีอัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนสูงสุด จะทำให้อุณหภูมิเฉลี่ย ณ.ช่วงเวลานั้นเพิ่มสูงขึ้นถึง 850^{o}C โดยในขณะที่ไฟลามไฟจนถึงบันไดจะทำให้ช่องบันไดมีอุณหภูมิอยู่ที่ 470 ^{o}C ซึ่งเป็นอันตรายต่อชีวิตสำหรับผู้พักอาศัย สำหรับบ้านที่ได้ทำงานติดตั้งระบบสปริงเกลอร์จะพบว่าสปริงเกลอร์ตัวแรกจะเริ่มทำงานที่เวลา 40 วินาทีแต่ยังไม่สามารถควบคุมความร้อนได้จึงทำสปริงเกลอร์ตัวที่สองเริ่มทำงานที่เวลา 72 วินาทีจึงจะสามารถควบคุมไม่ให้เพลิงลุกลามได้ เมื่อเรากำหนดให้ Burner ไม่ปล่อยพลังงานความร้อนที่เวลา 300 วินาทีจะพบว่าสปริงเกลอร์ทำให้อัตราการปลดปล่อยพลังงานลดลงเหลือ 0 kW และยังทำให้อุณหภูมิภายในห้องลดต่ำลงเหลือ 20 ^{o}C ที่เวลา 330 วินาที ส่วนระยะการมองเห็นนั้นหลังจากที่ไฟดับจะมีระยะมองเห็นเพิ่มมากขึ้นเพราะควันได้ระบายออกทางประตูทางออกโดยระยะการมองเห็นจะเพิ่มขึ้นเป็น 15 เมตรที่เวลา 460 วินาทีซึ่งเพียงพอที่จะให้ผู้พักอาศัยหลบหนีออกจากตัวบ้านได้อย่างปลอดภัย

จะเห็นว่าบ้านที่ติดตั้งระบบสปริงเกลอร์จะช่วยป้องกันไม่ให้ไฟดวงเล็กๆ ลุกลามจนเกิด Post flash over ที่ไม่สามารถควบคุมได้และยังช่วยเพิ่มระยะการมองเห็นให้มากขึ้นทำให้ผู้พักอาศัยมีโอกาศที่จะรอดชีวิตมากขึ้นรวมถึงยังช่วยปกป้องทรัพย์สินไม่ให้เสียการจากากรเกิดเพลิงไหม้

ข้อเสนอแนะ

1. สามารถนำงานวิจัยนี้ไปพัฒนาต่อสำหรับการออกแบบระบบสปริงเกลอร์โดยนำไปประยุกต์ใช้กับ โรงเรียน, อาคารพานิชย์, โรงแรมขนาดเล็กและสถานเริงรมย์ต่างๆ

2. สำหรับการจำลองพบว่ากริดยิ่งมีขนาดเล็กจะทำให้ผลการจำลองใกล้เคียงกับความเป็นจริงแต่จะใช้เวลาในการจำลองนานตามขนาดของกริด สำหรับการจำลองในพื้นที่ใหญ่ๆ ควรเลือกขนาดของกริดให้เหมาะสม

3. โปรแกรมที่นำมาใช้งานวิจัยนี้ยังมีข้อจำกัดคือ โปรแกรม Pyrosim 2008 สามารถใช้งานได้เพียง 30 วัน และ โปรแกรม FDS Version 5 ยังไม่มีฐานข้อมูลเกี่ยวกับวัสดุมากเพียงพอ หากต้องการจำลองเหตุการณ์ที่ ไม่มีวัสดุอยู่ในฐานข้อมูลจำเป็นต้องกำหนดข้อมูลของวัสดุเองหรือดาวน์โหลดข้อมูลวัสดุจากผลการจำลองต่างๆ ของ NIST

4. ผลที่ได้จาการวิจัยนี้เป็นผลที่มาจากการวิเคราะห์แบบจำลองด้วยคอมพิวเตอร์เท่านั้น ไม่มีการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

โกวิทย์ วงกุหลาบ. 2548. **การศึกษาและประยุกต์ใช้โปรแกรม Fire Dynamics Simulator เพื่อการออกแบบป้องกันการเกิดเพลิงไหม้ : กรณีศึกษาคลังเก็บอะไหล่รถยนต์.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

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

_____. 2550. Chapter 10 . **Compartment Fire.** เอกสารประกอบการสอนวิชา Fire Dynamic. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

บุญศักดิ์ ทรัพย์เชี่ยวชาญ. 2551. **การศึกษาการแผ่กระจายควันในบันไดที่ไม่ปิดล้อมของอาคารสำนักงานโดยการคำนวนทางพลศาวตร์เชิงตัวเลขของของไหล(CFD).** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เรืองรัตน์ ต่อไมตรี. 2551. **การประยุกต์ใช้พลศาสตร์อัคคีภัยเพื่อใช้ในการออกแบบการจัดเก็บสารเคมีไวไฟเพื่อป้องกันการเกิดเพลิงไหม้.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สันติ ศรีปัตถา. 2548. **การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำสเปรย์ที่เหมาะสม ของระบบป้องกันอัคคีภัยในบริเวณที่ตั้งหม้อแปลงไฟฟ้า.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Babrauskas, V. 1985. **Fire Behavior of Upholstered Furniture**. National Engineering Laboratory Center for Fire Research.

Canute soft. 2006. **FHC User Manual.** Hydraulic calculation software for water based fire protection systems .

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

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.

Lowson, J.R. 1988. **Measurement of Droplet Size in Sprinkler Sprays** . U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE National Engineering Laboratory Center for Fire Research.

McGrattan, K. 2008. **Fire Dynamics Simulator (Version 5) User's Guide.** National Institute of Standards and Technology: Gaithersburg, Maryland.

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

_____. 2002b. **Standard for the Installation of Sprinkler Systems in One and Two-Family Dwellings and Manufactured Homes**. NFPA13D**.**

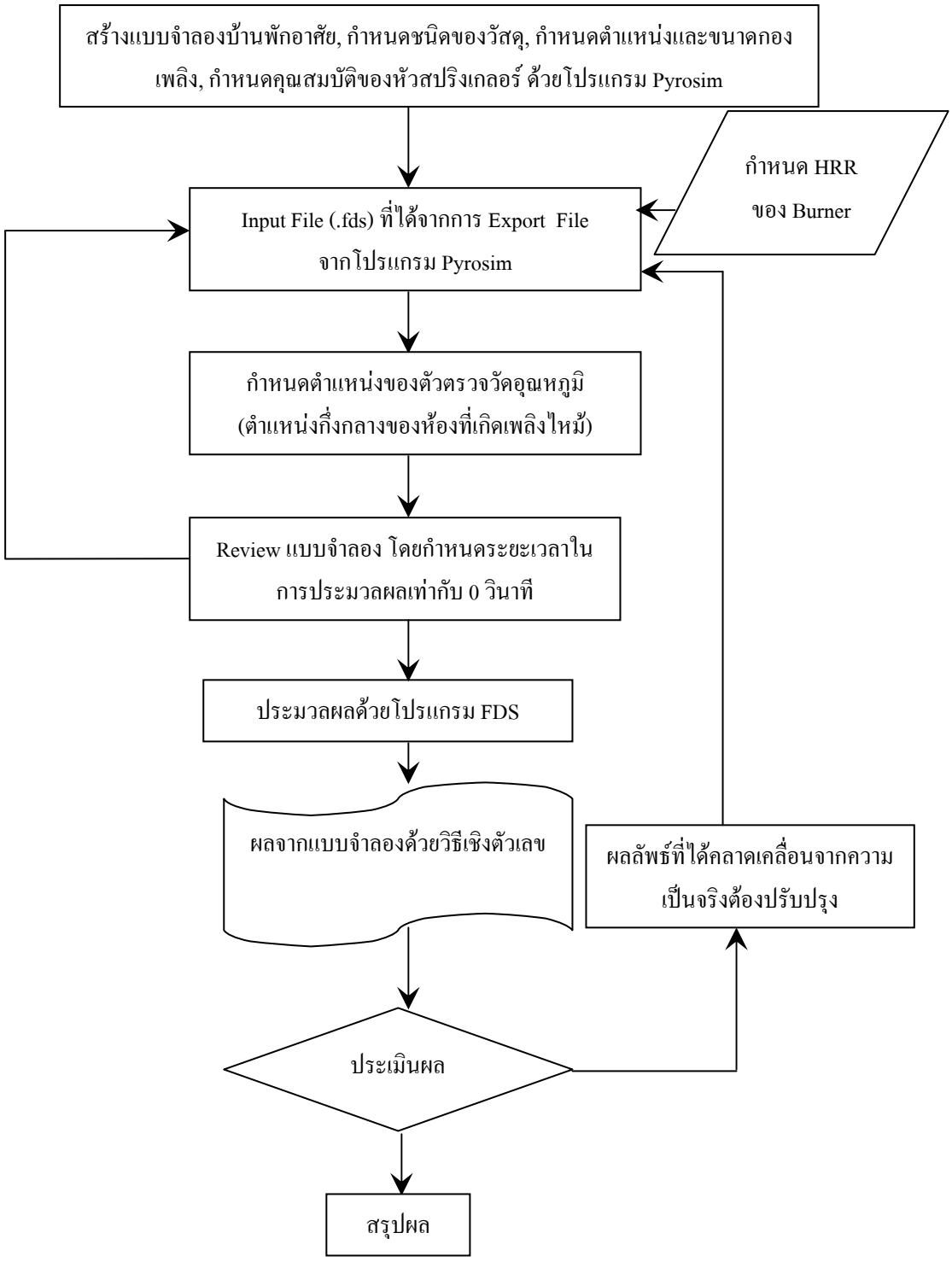
Thunder Head Enguneering. 2008. **PyroSim User Manual.** A Model Construction Tool For Fire Dynamics Simulator .

Tyco Fire Suppression &Building Product. 2009**. Home fire Sprinkler System**. http://www.tyco-rapidresponse.com., May 15, 2009.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม FDS(Flowchart)



ภาพผนวกที่ ก1 ขั้นตอนการใช้โปรแกรม FDS

ภาคผนวก ข

ผล Hydraulic Calculation ด้วยโปรแกรม FHC

ผล Hydraulic Calculation ด้วยโปรแกรม FHC

1. ผลการคำนวณกรณีสปริงเกลอร์ทำงาน 1 หัว

Full Hydraulic Calculations Computer Printout Page No 1

Submitted by user number 9926 FIRETRADE ENGINEERING CO LTD 21/56 Soi Soonvijai Rama 9 Road Bangkapi Huay-Kwang THAILAND Bangkok 10320 Tel:66 02 641 4707 Fax:66 02 2030 282	Project: Home sprinkler Address: --- Number: --- Area ref: 2nd Floor Bed room(1Spk) Hazard: Light Hazard Authority: National Fire Protection Association Source: 52.0 l/min @ 1.325 bar Printout: 6-µØÅÒµÁ-52 at 07:57

Project Data and Design Parameters

Project name	Home sprinkler
Area reference	2nd Floor Bed room(1Spk)
Address / location	---
Project number	---
Installation number(s)	-
Drawing number(s)	---
Issue no / date	---
Designers reference	Firetrade engineering Co..Ltd.
Project Data File	F:\..\..\..\HOME 1 SPK.FHC
Hazard classification	Light Hazard
Design authority	National Fire Protection Association
Insurance company	---
Specified density of discharge	5.10 mm/min (l/min/m2)
Assumed maximum area of operation	10.20 m2
Number of operating sprinkler heads	1
Maximum area covered per head	10.20 m2
Highest head / nozzle above source	4.50 m
Number of pipes in system	14 from 25 to 25 mm
Pressure loss equation used	Hazen-Williams
Fluid	Water
Pipe Data Table	BS9251_CPVC.PDT
Maximum fluid velocity	1.39 m/s in pipe 1 2
Volume of pipework and fittings	0.01 m3
Elbows are welded for	0 mm and above
Comment	-
Checked by & Date	

Source duty = 52.0 l/min @ 1.325 bar at node no 1

FHC - Hydraulic Analysis Software - Ver: 1.5.0 By CANUTE LLP - Email info@canutesoft.com Web www.canutesoft.com	Program FHC

Full Hydraulic Calculations Computer Printout Page No 2

Submitted by user number 9926
FIRETRADE ENGINEERING CO LTD
21/56 Soi Soonvijai
Rama 9 Road
Bangkapi
Huay-Kwang
THAILAND Bangkok 10320
Tel:66 02 641 4707 Fax:66 02 2030 282

Project: Home sprinkler
Address: ---
Number: ---
Area ref: 2nd Floor Bed room(1Spk)
Hazard: Light Hazard
Authority: National Fire Protection Association
Source: 52.0 l/min @ 1.325 bar
Printout: 6-µØÀÒµÁ-52 at 07:57

Operating Sprinkler Heads, Nozzles and Hydrants

Head no	Node no	Size mm	'K' factor	Flow l/min	Area m2	Density mm/min Req.d	Density mm/min Actual	Pressure bar Min	Pressure bar Actual	Heights m	Pipe no
2	15	12.3	60.50	52.0	10.200	5.10	5.10	0.48	0.739	4.500	14

0 heads are under the required density / minimum pressures

Full Hydraulic Calculations Computer Printout Page No 3

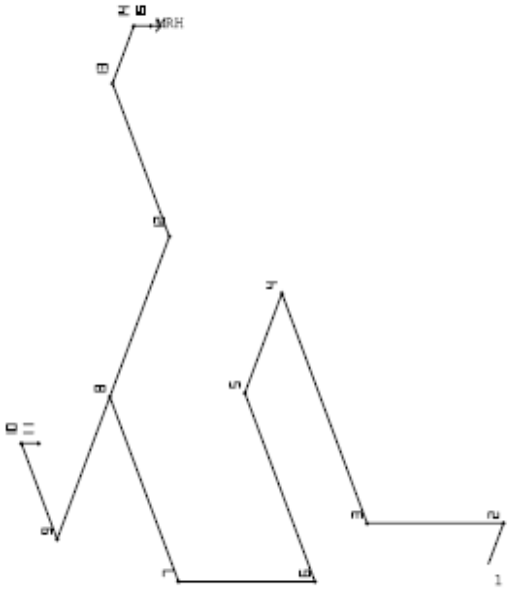
Submitted by user number 9926
FIRETRADE ENGINEERING CO LTD
21/56 Soi Soonvijai
Rama 9 Road
Bangkapi
Huay-Kwang
THAILAND Bangkok 10320
Tel:66 02 641 4707 Fax:66 02 2030 282

Project: Home sprinkler
Address: ---
Number: ---
Area ref: 2nd Floor Bed room(1Spk)
Hazard: Light Hazard
Authority: National Fire Protection Association
Source: 52.0 l/min @ 1.325 bar
Printout: 6-µØÀÇ¤Á-52 at 07:57

Hydraulically Significant Pipes in System

NUMBERS		PIPE		FLOW	DIMENSIONS		ANGLE	VALUES	HEIGHT M	PRESSURES BARS	
Pipe no	Start / End	Size / Bore	Type / 'C'	L/min / Vel m/s	Length EL	VJ T / VT	Dir. / Slope	Eq.len / mbar/m	Start / End	Start / End	Frict / Static
1	1	25mm	CP	52.0	0.530		180	0.53	0.000	1.325	-0.004
	2	28.20	150	1.4	0	0	0.0	7.4	0.000	1.321	+0.000
2	2	25mm	CP	52.0	2.400		Up	2.40	0.000	1.321	-0.018
	3	28.20	150	1.4	1	0	90.0	7.4	2.400	1.068	-0.235
3	3	25mm	CP	52.0	3.000		90	3.00	2.400	1.068	-0.022
	4	28.20	150	1.4	1	0	0.0	7.4	2.400	1.046	+0.000
4	4	25mm	CP	52.0	1.300		0	1.30	2.400	1.046	-0.010
	5	28.20	150	1.4	1	0	0.0	7.4	2.400	1.037	+0.000
5	5	25mm	CP	52.0	2.460		270	2.46	2.400	1.037	-0.018
	6	28.20	150	1.4	1	0	0.0	7.4	2.400	1.018	+0.000
6	6	25mm	CP	52.0	2.400		Up	2.40	2.400	1.018	-0.018
	7	28.20	150	1.4	1	0	90.0	7.4	4.800	0.766	-0.235
7	7	25mm	CP	52.0	2.410		90	2.41	4.800	0.766	-0.018
	8	28.20	150	1.4	1	0	0.0	7.4	4.800	0.748	+0.000
11	8	25mm	CP	52.0	2.090		180	2.09	4.800	0.748	-0.015
	12	28.20	150	1.4	0	1	0.0	7.4	4.800	0.732	+0.000
12	12	25mm	CP	52.0	2.000		90	2.00	4.800	0.732	-0.015
	13	28.20	150	1.4	1	0	0.0	7.4	4.800	0.718	+0.000
13	13	25mm	CP	52.0	0.750		180	0.75	4.800	0.718	-0.006
	14	28.20	150	1.4	1	0	0.0	7.4	4.800	0.712	+0.000
14	14	25mm	CP	52.0	0.300		Dn	0.30	4.800	0.712	-0.002
	15	28.20	150	1.4	1	0	-90.0	7.4	4.500	0.739	+0.029

Full Hydraulic Calculations Computer Printout Page No 4



2. ผลการคำนวณกรณีสปริงเกลอร์ทำงาน 2 หัว

Full Hydraulic Calculations Computer Printout Page No 1

Submitted by user number 9926 FIRETRADE ENGINEERING CO LTD 21/56 Soi Soonvijai Rama 9 Road Bangkapi Huay-Kwang THAILAND Bangkok 10320 Tel:66 02 641 4707 Fax:66 02 2030 282	Project: Home sprinkler Address: --- Number: --- Area ref: 2nd Floor Bed room(2Spk) Hazard: Light Hazard Authority: National Fire Protection Association Source: 83.8 l/min @ 1.220 bar Printout: 8-àÁ.Â-52 at 15:25

Project Data and Design Parameters

Project name	Home sprinkler
Area reference	2nd Floor Bed room(2Spk)
Address / location	---
Project number	---
Installation number(s)	-
Drawing number(s)	---
Issue no / date	---
Designers reference	Firetrade engineering Co..Ltd.
Project Data File	F:\..\..\HOME 1 SPK.FHC
Hazard classification	Light Hazard
Design authority	National Fire Protection Association
Insurance company	---
Specified density of discharge	3.70 mm/min (l/min/m2)
Assumed maximum area of operation	20.40 m2
Number of operating sprinkler heads	2
Maximum area covered per head	10.20 m2
Highest head / nozzle above source	4.50 m
Number of pipes in system	12 from 25 to 25 mm
Pressure loss equation used	Hazen-Williams
Fluid	Water
Pipe Data Table	BS9251_CPVC.PDT
Maximum fluid velocity	2.24 m/s in pipe 1 2
Volume of pipework and fittings	0.01 m3
Elbows are welded for	0 mm and above
Comment	-
Checked by & Date	

Source duty = 83.8 l/min @ 1.220 bar at node no 1

FHC - Hydraulic Analysis Software - Ver: 1.5.0 By CANUTE LLP - Email info@canutesoft.com Web www.canutesoft.com	Program FHC

Full Hydraulic Calculations Computer Printout Page No 2

Submitted by user number 9926
FIRETRADE ENGINEERING CO LTD
21/56 Soi Soonvijai
Rama 9 Road
Bangkapi
Huay-Kwang
THAILAND Bangkok 10320
Tel:66 02 641 4707 Fax:66 02 2030 282

Project: Home sprinkler
Address: ---
Number: ---
Area ref: 2nd Floor Bed room(2Spk)
Hazard: Light Hazard
Authority: National Fire Protection Association
Source: 83.8 l/min @ 1.220 bar
Printout: 8-àÁÉÒÂ¹-52 at 15:25

Operating Sprinkler Heads, Nozzles and Hydrants

Head no	Node no	Size mm	'K' factor	Flow l/min	Area m2	Density mm/min Req.d	Density mm/min Actual	Pressure bar Min	Pressure bar Actual	Heights m	Pipe no
1	11	12.3	60.50	41.9	10.200	3.70	4.11	0.48	0.480	4.500	10
2	13	12.3	60.50	41.9	10.200	3.70	4.11	0.48	0.480	4.500	12

0 heads are under the required density / minimum pressures

Full Hydraulic Calculations Computer Printout Page No 3

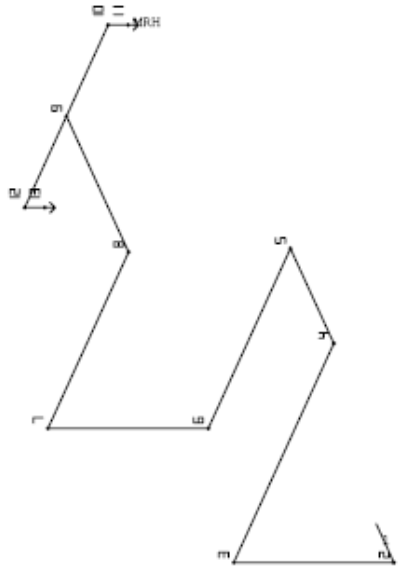
Submitted by user number 9926
FIRETRADE ENGINEERING CO LTD
21/56 Soi Soonvijai
Rama 9 Road
Bangkapi
Huay-Kwang
THAILAND Bangkok 10320
Tel:66 02 641 4707 Fax:66 02 2030 282

Project: Home sprinkler
Address: ---
Number: ---
Area ref: 2nd Floor Bed room(2Spk)
Hazard: Light Hazard
Authority: National Fire Protection Association
Source: 83.8 l/min @ 1.220 bar
Printout: 8-àÀ.Â-52 at 15:25

Hydraulically Significant Pipes in System

NUMBERS		PIPE		FLOW	DIMENSIONS			ANGLE	VALUES	HEIGHT M	PRESSURES BARS	
Pipe no	Start / End	Size / Bore	Type / 'C'	L/min / Vel m/s	Length / EL	T	VJ / VT	Dir. / Slope	Eq.len / mbar/m	Start / End	Start / End	Frict / Static
1	1	25mm	CP	83.8	0.530			180	0.53	0.000	1.220	-0.009
	2	28.20	150	2.2	0	0		0.0	17.8	0.000	1.211	+0.000
2	2	25mm	CP	83.8	2.400			Up	2.40	0.000	1.211	-0.043
	3	28.20	150	2.2	1	0		90.0	17.8	2.400	0.933	-0.235
3	3	25mm	CP	83.8	3.000			90	3.00	2.400	0.933	-0.054
	4	28.20	150	2.2	1	0		0.0	17.8	2.400	0.880	+0.000
4	4	25mm	CP	83.8	1.300			0	1.30	2.400	0.880	-0.023
	5	28.20	150	2.2	1	0		0.0	17.8	2.400	0.856	+0.000
5	5	25mm	CP	83.8	2.460			270	2.46	2.400	0.856	-0.044
	6	28.20	150	2.2	1	0		0.0	17.8	2.400	0.812	+0.000
6	6	25mm	CP	83.8	2.400			Up	2.40	2.400	0.812	-0.043
	7	28.20	150	2.2	1	0		90.0	17.8	4.800	0.534	-0.235
7	7	25mm	CP	83.8	2.410			90	2.41	4.800	0.534	-0.043
	8	28.20	150	2.2	1	0		0.0	17.8	4.800	0.491	+0.000
8	8	25mm	CP	83.8	1.860			0	1.86	4.800	0.491	-0.033
	9	28.20	150	2.2	1	0		0.0	17.8	4.800	0.458	+0.000
9	9	25mm	CP	41.9	1.250			90	1.25	4.800	0.458	-0.006
	10	28.20	150	1.1	0	1		0.0	4.9	4.800	0.452	+0.000
10	10	25mm	CP	41.9	0.300			Dn	0.30	4.800	0.452	-0.001
	11	28.20	150	1.1	1	0		-90.0	4.9	4.500	0.480	+0.029
11	9	25mm	CP	41.9	1.250			270	1.25	4.800	0.458	-0.006
	12	28.20	150	1.1	0	1		0.0	4.9	4.800	0.452	+0.000
12	12	25mm	CP	41.9	0.300			Dn	0.30	4.800	0.452	-0.001
	13	28.20	150	1.1	1	0		-90.0	4.9	4.500	0.480	+0.029

Full Hydraulic Calculations Computer Printout Page No 4



ภาคผนวก ค

Input File ของแบบจำลองบ้านพักอาศัย

1. แบบจำลองกรณีที่บ้านไม่ได้ติดตั้งระบบสปริงเกลอร์

แสดงชื่อหัวเรื่องและขนาดของ Mesh size
&HEAD CHID='house', TITLE='House Fire'/ &MESH IJK=64,90,48, XB=0.00,6.40,0.00,9.0,0.00,4.80/

แสดงระยะเวลาที่ทำการจำลอง 480 วินาที
&TIME T_END=480.00/

แสดงคุณสมบัติของเชื้อเพลิงที่ใช้ในแบบจำลอง
&REAC ID = 'POLYURETHANE' FYI = 'C_6.3 H_7.1 N O_2.1, NFPA Handbook, Babrauskas' SOOT_YIELD = 0.10 N = 1.0 C = 6.3 CO_YIELD = 0.02 H = 7.1 O = 2.1 /

แสดงปริมาณความร้อนที่ให้กับ Burner และขนาดพื้นที่ Burner
&SURF ID='BURNER', HRRPUA=1000., PART_ID='smoke', COLOR='RASPBERRY' &VENT XB= 2.90, 3.10, 6.00, 6.25, 0.50, 0.50, SURF_ID='BURNER'

แสดงการกำหนดอนุภาคของควัน

```
&PART ID='smoke', MASSLESS=.TRUE., SAMPLING_FACTOR=1 /&MESH
```

แสดงตำแหน่งการติดตั้งตัววัดอุณหภูมิ(Thermo Couple)

```
&DEVC XYZ=2.3,5.7,2.1, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC XYZ=2.3,5.7,1.5, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC XYZ=2.3,5.7,0.9, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC XYZ=2.3,5.7,0.3, QUANTITY='TEMPERATURE' /
```

แสดงคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในแบบจำลอง

```
&MATL ID                = 'FABRIC'
    SPECIFIC_HEAT       = 1.0
    CONDUCTIVITY        = 0.1
    DENSITY             = 100.0
    N_REACTIONS         = 1
    NU_FUEL             = 1.
    REFERENCE_TEMPERATURE = 340.
    HEAT_OF_REACTION    = 3000.
    HEAT_OF_COMBUSTION  = 15000. /

&MATL ID                = 'FOAM'
    SPECIFIC_HEAT       = 1.0
    CONDUCTIVITY        = 0.05
    DENSITY             = 40.0
    N_REACTIONS         = 1
    NU_FUEL             = 1.
    REFERENCE_TEMPERATURE = 340.
    HEAT_OF_REACTION    = 1500.
    HEAT_OF_COMBUSTION  = 30000. /
```

```
&MATL ID           = 'GYPSUM PLASTER'
     CONDUCTIVITY  = 0.48
     SPECIFIC_HEAT = 0.84
     DENSITY       = 1440. /

&MATL ID='GYPSUM BOARD_MATL',
     SPECIFIC_HEAT=0.84,
     CONDUCTIVITY=0.4800,
     DENSITY=1.4400000E003/
&MATL ID='CARPET_MATL',
     SPECIFIC_HEAT=9.00,
     CONDUCTIVITY=0.1600,
     DENSITY=750.00,
     EMISSIVITY=1.00,
     HEAT_OF_COMBUSTION=2.2300000E004,
     N_REACTIONS=1,
     HEAT_OF_REACTION=2.0000000E003,
     NU_FUEL=0.62,
     N_T=1.00,
     THRESHOLD_TEMPERATURE=250.00,
     N_S=1.00,
     REFERENCE_RATE=0.1000,
     REFERENCE_TEMPERATURE=100.00/

&MATL ID='SPRUCE_VIRGIN',
     DENSITY=450.00,
     CONDUCTIVITY=0.1600,
     SPECIFIC_HEAT=0.68,
     EMISSIVITY=1.00,
     N_REACTIONS=1,
```

```
    HEAT_OF_REACTION=500.00,
    NU_FUEL=0.50,
    NU_RESIDUE=0.50,
    RESIDUE='SPRUCE_CHAR',
    N_T=1.00,
    THRESHOLD_TEMPERATURE=360.00,
    N_S=1.00,
    REFERENCE_RATE=0.1000,
    REFERENCE_TEMPERATURE=100.00/
&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/
&MATL ID='SPRUCE_CHAR',
    DENSITY=120.00,
    CONDUCTIVITY=0.1600,
    SPECIFIC_HEAT=0.68,
    EMISSIVITY=1.00/

&MATL ID='SPRUCE_FLOOR_VIRGIN',
    DENSITY=450.00,
```

```
    CONDUCTIVITY=0.1600,
    SPECIFIC_HEAT=0.68,
    EMISSIVITY=1.00,
    N_REACTIONS=1,
    HEAT_OF_REACTION=500.00,
    NU_FUEL=0.50,
    NU_RESIDUE=0.50,
    RESIDUE='SPRUCE_FLOOR_CHAR',
    N_T=1.00,
    THRESHOLD_TEMPERATURE=360.00,
    N_S=1.00,
    REFERENCE_RATE=0.1000,
    REFERENCE_TEMPERATURE=100.00/

&MATL ID='SPRUCE_FLOOR_CHAR',
    DENSITY=120.00,
    CONDUCTIVITY=0.1600,
    SPECIFIC_HEAT=0.68,
    EMISSIVITY=1.00//

&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/

&SURF ID='CARPET',
    RGB=153,204,255,
    TEXTURE_MAP='psm_carpet_blue.jpg',
```

```
    TEXTURE_WIDTH=0.61,
    TEXTURE_HEIGHT=0.61,
    BACKING='EXPOSED',
    MATL_ID(1,1)='CARPET_MATL',
    MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.00,
    THICKNESS(1)=6.0000000E-003/
    BURN_AWAY     = .TRUE.
    PART_ID       = 'smoke' /
&SURF ID           = 'UPHOLSTERY'
    COLOR         = 'PURPLE'
    BURN_AWAY     = .TRUE.
    MATL_ID(1:2,1) = 'FABRIC','FOAM'
    THICKNESS(1:2) = 0.002,0.1
    PART_ID       = 'smoke' /
&SURF ID='SPRUCE',
    RGB=128,51,26,
    TEXTURE_MAP='psm_wood1.jpg',
    TEXTURE_WIDTH=0.61,
    TEXTURE_HEIGHT=0.61,
    BACKING='EXPOSED',
    MATL_ID(1,1:2)='SPRUCE_VIRGIN','Water',
    MATL_MASS_FRACTION(1,1:2)=0.99,0.0100,
    THICKNESS(1)=0.0280/
    BURN_AWAY     = .TRUE.
    PART_ID       = 'smoke' /
&SURF ID='SPRUCE_FLOOR',
    RGB=128,51,26,
    TEXTURE_MAP='psm_wood2.jpg',
    TEXTURE_WIDTH=0.61,
    TEXTURE_HEIGHT=0.61,
```

```
    BACKING='EXPOSED',
    MATL_ID(1,1:2)='SPRUCE_FLOOR_VIRGIN','Water',
    MATL_MASS_FRACTION(1,1:2)=0.99,0.0100,
    THICKNESS(1)=0.0280/
&SURF ID            = 'WALL'
    RGB           = 200,200,200
    MATL_ID       = 'GYPSUM PLASTER'
    THICKNESS     = 0.012
```

แสดงการวางตำแหน่งของอุปกรณ์ภายในบ้าน(Obstruction)

```
&OBST XB=5.10,5.20,3.70,5.50,0.00,2.30, SURF_ID='GYPSUM BOARD'/ Stairwell wall
&OBST XB=5.20,6.40,3.70,4.00,0.00,2.30, SURF_ID6='GYPSUM BOARD','GYPSUM
BOARD','GYPSUM BOARD','CARPET','GYPSUM BOARD','GYPSUM BOARD'/ Dining ->
basement
&OBST XB=3.60,5.10,3.70,3.80,2.00,2.30, SURF_ID='GYPSUM BOARD'/ Dining/living
soffit
&OBST XB=5.20,6.40,4.00,4.25,0.00,2.20, SURF_ID6='GYPSUM BOARD','GYPSUM
BOARD','GYPSUM BOARD','CARPET','GYPSUM BOARD','CARPET'/ Stair
&OBST XB=5.20,6.40,4.25,4.50,0.00,2.00, SURF_ID6='GYPSUM BOARD','GYPSUM
BOARD','GYPSUM BOARD','CARPET','GYPSUM BOARD','CARPET'/ Stair[1]
&OBST XB=5.20,6.40,4.50,4.75,0.00,1.80, SURF_ID6='GYPSUM BOARD','GYPSUM
BOARD','GYPSUM BOARD','CARPET','GYPSUM BOARD','CARPET'/ Stair[2]
&OBST XB=5.20,6.40,4.75,5.00,0.00,1.60, SURF_ID6='GYPSUM BOARD','GYPSUM
BOARD','GYPSUM BOARD','CARPET','GYPSUM BOARD','CARPET'/ Stair[3]
&OBST XB=5.20,6.40,5.00,5.25,0.00,1.40, SURF_ID6='GYPSUM BOARD','GYPSUM
BOARD','GYPSUM BOARD','CARPET','GYPSUM BOARD','CARPET'/ Stair[4]
&OBST XB=5.20,6.40,5.25,5.50,0.00,1.20, SURF_ID6='GYPSUM BOARD','GYPSUM
BOARD','GYPSUM BOARD','CARPET','GYPSUM BOARD','CARPET'/ Stair[5]
&OBST XB=5.20,6.40,5.50,5.75,0.00,1.00, SURF_ID6='GYPSUM BOARD','GYPSUM
BOARD','GYPSUM BOARD','CARPET','GYPSUM BOARD','CARPET'/ Stair[6]
&OBST XB=5.20,6.40,5.75,6.00,0.00,0.80, SURF_ID6='GYPSUM BOARD','GYPSUM
```

```
BOARD','GYPSUM BOARD','CARPET','GYPSUM BOARD','CARPET'/ Stair[7]
&OBST XB=5.20,6.40,6.00,6.25,0.00,0.60, SURF_ID6='GYPSUM BOARD','GYPSUM
BOARD','GYPSUM BOARD','CARPET','GYPSUM BOARD','CARPET'/ Stair[8]
&OBST XB=5.20,6.40,6.25,6.50,0.00,0.4000, SURF_ID6='GYPSUM BOARD','GYPSUM
BOARD','GYPSUM BOARD','CARPET','GYPSUM BOARD','CARPET'/ Stair[9]
&OBST XB=5.20,6.40,6.50,6.75,0.00,0.2000, SURF_ID6='GYPSUM BOARD','GYPSUM
BOARD','GYPSUM BOARD','CARPET','GYPSUM BOARD','CARPET'/ Stair[10]
&OBST XB=0.60,2.60,4.00,4.20,0.3000,0.90, SURF_ID='UPHOLSTERY'/ Back
&OBST XB=0.60,0.80,4.10,4.60,0.50,0.60, SURF_ID='UPHOLSTERY'/ Left arm
&OBST XB=2.40,2.60,4.10,4.60,0.50,0.60, SURF_ID='UPHOLSTERY'/ Right arm
&OBST XB=0.60,2.60,4.00,4.60,0.00,0.50, SURF_ID='UPHOLSTERY'/ Seat
&OBST XB=3.20,3.40,5.00,7.00,0.3000,0.90, SURF_ID='UPHOLSTERY'/ Back
&OBST XB=2.70,3.20,5.00,5.20,0.50,0.60, SURF_ID='UPHOLSTERY'/ Left arm
&OBST XB=2.70,3.20,6.80,7.00,0.50,0.60, SURF_ID='UPHOLSTERY'/ Right arm
&OBST XB=2.70,3.40,5.00,7.00,0.00,0.50, SURF_ID='UPHOLSTERY'/ Seat
&OBST XB=2.20,3.00,7.70,7.80,0.3000,0.80, SURF_ID='UPHOLSTERY'/ Back
&OBST XB=2.90,3.00,7.40,7.80,0.50,0.60, SURF_ID='UPHOLSTERY'/ Left arm
&OBST XB=2.20,2.30,7.40,7.80,0.50,0.60, SURF_ID='UPHOLSTERY'/ Right arm
&OBST XB=2.20,3.00,7.30,7.80,0.00,0.50, SURF_ID='UPHOLSTERY'/ Seat
&OBST XB=1.10,1.90,7.70,7.80,0.3000,0.80, SURF_ID='UPHOLSTERY'/ Back
&OBST XB=1.80,1.90,7.40,7.80,0.50,0.60, SURF_ID='UPHOLSTERY'/ Left arm
&OBST XB=1.10,1.20,7.40,7.80,0.50,0.60, SURF_ID='UPHOLSTERY'/ Right arm
&OBST XB=1.10,1.90,7.30,7.80,0.00,0.50, SURF_ID='UPHOLSTERY'/ Seat
&OBST XB=5.00,6.00,0.60,2.10,0.70,0.80, SURF_ID='SPRUCE'/ Table top
&OBST XB=5.00,5.10,0.60,0.70,0.00,0.70, SURF_ID='SPRUCE'/ Obstruction
&OBST XB=5.00,5.10,2.00,2.10,0.00,0.70, SURF_ID='SPRUCE'/ Obstruction[1]
&OBST XB=5.90,6.00,0.60,0.70,0.00,0.70, SURF_ID='SPRUCE'/ Obstruction[1]
&OBST XB=5.90,6.00,2.00,2.10,0.00,0.70, SURF_ID='SPRUCE'/ Obstruction[1][1]
&OBST XB=4.70,5.10,4.10,5.60,0.00,0.70, SURF_ID='SPRUCE'/ Cabinet
&OBST XB=0.00,0.50,5.50,6.80,0.00,1.00, SURF_ID='SPRUCE'/ Enter. Center
&OBST XB=0.00,1.07,0.00,0.3000,1.50,2.30, SURF_ID='SPRUCE'/ upper cabinet
&OBST XB=0.00,0.2667,0.3000,2.80,1.50,2.30, SURF_ID='SPRUCE'/ upper cabinet
```

```
&OBST XB=2.67,3.07,0.00,1.50,1.50,2.30, SURF_ID='SPRUCE'/ upper cabinet
&OBST XB=2.40,3.07,0.00,1.80,0.00,0.90, SURF_ID='SPRUCE'/ lower cabinet
&OBST XB=0.00,2.40,0.00,0.80,0.00,0.90, SURF_ID='SPRUCE'/ lower cabinet
&OBST XB=0.00,0.67,0.80,2.80,0.00,0.90, SURF_ID='SPRUCE'/ lower cabinet
&OBST XB=0.00,5.20,0.00,8.00,2.30,2.50, SURF_IDS='CARPET','GYPSUM
BOARD','GYPSUM BOARD'/ floor
&OBST XB=5.20,6.40,0.00,4.00,2.30,2.50, SURF_ID6='GYPSUM BOARD','GYPSUM
BOARD','GYPSUM BOARD','CARPET','GYPSUM BOARD','CARPET'/ floor
&OBST XB=5.20,6.40,2.40,3.00,2.50,4.80, SURF_ID='GYPSUM BOARD'/ 2nd floor closet
wall
&OBST XB=5.10,5.20,4.30,8.00,2.50,4.80, SURF_ID='GYPSUM BOARD'/ Master bedroom
wall
&OBST XB=5.20,6.40,6.30,8.00,2.30,4.80, SURF_ID='GYPSUM BOARD'/ 2nd floor corner
&OBST XB=2.90,3.00,0.00,2.50,2.50,4.80, SURF_ID='GYPSUM BOARD'/ Bedroom 1/2
wall
&OBST XB=3.00,4.00,2.40,2.50,2.50,4.80, SURF_ID='GYPSUM BOARD'/ Bedroom 1/2
wall
&OBST XB=0.00,4.00,3.50,4.40,2.50,4.80, SURF_ID='GYPSUM BOARD'/ Bathroom
&OBST XB=4.00,5.10,4.30,4.40,4.40,4.80, SURF_ID='GYPSUM BOARD'/ Master bedroom
soffit
&OBST XB=4.00,5.20,2.40,2.50,4.40,4.80, SURF_ID='GYPSUM BOARD'/ Bedroom 1/hall
soffit
&OBST XB=3.90,4.00,2.50,3.50,4.40,4.80, SURF_ID='GYPSUM BOARD'/ Bedroom 2/hall
soffit
&OBST XB=5.20,6.40,5.30,5.55,3.20,4.80, SURF_ID='GYPSUM BOARD'/ stairwell ceiling
&OBST XB=5.20,6.40,5.55,5.80,3.00,4.80, SURF_ID='GYPSUM BOARD'/ stairwell
ceiling[1]
&OBST XB=5.20,6.40,5.80,6.05,2.80,4.80, SURF_ID='GYPSUM BOARD'/ stairwell
ceiling[2]
&OBST XB=5.20,6.40,6.05,6.30,2.60,4.80, SURF_ID='GYPSUM BOARD'/ stairwell
ceiling[3]
&OBST XB=3.10,3.60,1.00,1.60,2.50,3.50, SURF_ID='SPRUCE'/ Dresser
```

&OBST XB=5.60,6.40,0.2000,1.80,2.50,2.80, SURF_ID='UPHOLSTERY'/ Bed

&OBST XB=2.30,2.80,1.00,1.60,2.50,3.50, SURF_ID='SPRUCE'/ Dresser

&OBST XB=0.00,0.80,0.2000,1.80,2.50,2.80, SURF_ID='UPHOLSTERY'/ Bed

&OBST XB=0.00,0.4000,5.70,7.30,2.50,3.30, SURF_ID='SPRUCE'/ Dresser

&OBST XB=1.20,2.60,4.30,6.20,2.50,2.80, SURF_ID='UPHOLSTERY'/ Bed

&OBST XB=4.60,5.00,5.70,6.80,2.50,3.50, SURF_ID='SPRUCE'/ Dresser

&OBST XB=0.00,6.40,8.00,8.10,0.00,4.80, SURF_ID='GYPSUM BOARD'/ Wall

&OBST XB=0.00,3.60,2.80,3.80,0.00,2.30, SURF_ID='GYPSUM BOARD'/ Living/kitchen wall

แสดงตำแหน่งของประตู

&HOLE XB=5.40,6.30,8.00,8.10,0.00,1.90/ Door

แสดงตำแหน่งช่อง(Vent)ต่างๆ

&VENT SURF_ID='CARPET', XB=0.00,6.40,3.80,8.00,0.00,0.00/ Living Room

&VENT SURF_ID='SPRUCE_FLOOR', XB=0.00,6.40,0.00,3.80,0.00,0.00, RGB=255,153,0/ Kitchen

&VENT MB='YMIN',SURF_ID='OPEN' /

&VENT MB='YMAX',SURF_ID='OPEN' /

แสดงผลที่ต้องการศึกษา

&BNDF QUANTITY='GAS TEMPERATURE'/

&BNDF QUANTITY='GAUGE HEAT FLUX'/

&BNDF QUANTITY='HEAT_FLUX'/

&BNDF QUANTITY='WALL_TEMPERATURE'/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBY=6.00/

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

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=3.10/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=5.80/

&SLCF QUANTITY='visibility', PBX=5.80/

2. แบบจำลองกรณีที่บ้านติดตั้งระบบสปริงเกลอร์

แสดงชื่อหัวเรื่องและขนาดของ Mesh size
&HEAD CHID='house', TITLE='House Fire Sprinkler'/ &MESH IJK=64,90,48, XB=0.00,6.40,0.00,9.0,0.00,4.80/

แสดงระยะเวลาที่ทำการจำลอง 480 วินาที
&TIME T_END=480.00/

แสดงคุณสมบัติของเชื้อเพลิงที่ใช้ในแบบจำลอง
&REAC ID = 'POLYURETHANE' FYI = 'C_6.3 H_7.1 N O_2.1, NFPA Handbook, Babrauskas' SOOT_YIELD = 0.10 N = 1.0 C = 6.3 CO_YIELD = 0.02 H = 7.1 O = 2.1 /

แสดงปริมาณความร้อนที่ให้กับ Burner และขนาดพื้นที่ Burner
&SURF ID='BURNER', HRRPUA=1000., PART_ID='smoke', COLOR='RASPBERRY' &VENT XB= 2.90, 3.10, 6.00, 6.25, 0.50, 0.50, SURF_ID='BURNER', CTRL_ID='CTRL'/ Burner

แสดงการกำหนดอนุภาคของควันและละอองน้ำ
&PART ID='smoke', MASSLESS=.TRUE., SAMPLING_FACTOR=1 /&MESH &PART ID='water drops', WATER=.TRUE., QUANTITIES(1:3)='DROPLET_DIAMETER','DROPLET_TEMPERATURE','DROPLET_AGE',

```
DROPLETS_PER_SECOND=4000, DIAMETER=700., SAMPLING_FACTOR=1 /
```

แสดงตำแหน่งการติดตั้งตัววัดอุณหภูมิ(Thermo Couple)

```
&DEVC XYZ=2.3,5.7,2.1, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC XYZ=2.3,5.7,1.5, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC XYZ=2.3,5.7,0.9, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC XYZ=2.3,5.7,0.3, QUANTITY='TEMPERATURE' /
```

แสดงคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในแบบจำลอง

```
&MATL ID                = 'FABRIC'
    SPECIFIC_HEAT       = 1.0
    CONDUCTIVITY        = 0.1
    DENSITY             = 100.0
    N_REACTIONS         = 1
    NU_FUEL             = 1.
    REFERENCE_TEMPERATURE = 340.
    HEAT_OF_REACTION    = 3000.
    HEAT_OF_COMBUSTION  = 15000. /

&MATL ID                = 'FOAM'
    SPECIFIC_HEAT       = 1.0
    CONDUCTIVITY        = 0.05
    DENSITY             = 40.0
    N_REACTIONS         = 1
    NU_FUEL             = 1.
    REFERENCE_TEMPERATURE = 340.
    HEAT_OF_REACTION    = 1500.
    HEAT_OF_COMBUSTION  = 30000. /

&MATL ID          = 'GYPSUM PLASTER'
```

```
    CONDUCTIVITY  = 0.48
    SPECIFIC_HEAT = 0.84
    DENSITY       = 1440. /

&MATL ID='GYPSUM BOARD_MATL',
    SPECIFIC_HEAT=0.84,
    CONDUCTIVITY=0.4800,
    DENSITY=1.4400000E003/
&MATL ID='CARPET_MATL',
    SPECIFIC_HEAT=9.00,
    CONDUCTIVITY=0.1600,
    DENSITY=750.00,
    EMISSIVITY=1.00,
    HEAT_OF_COMBUSTION=2.2300000E004,
    N_REACTIONS=1,
    HEAT_OF_REACTION=2.0000000E003,
    NU_FUEL=0.62,
    N_T=1.00,
    THRESHOLD_TEMPERATURE=250.00,
    N_S=1.00,
    REFERENCE_RATE=0.1000,
    REFERENCE_TEMPERATURE=100.00/

&MATL ID='SPRUCE_VIRGIN',
    DENSITY=450.00,
    CONDUCTIVITY=0.1600,
    SPECIFIC_HEAT=0.68,
    EMISSIVITY=1.00,
    N_REACTIONS=1,
    HEAT_OF_REACTION=500.00,
```

```
    NU_FUEL=0.50,
    NU_RESIDUE=0.50,
    RESIDUE='SPRUCE_CHAR',
    N_T=1.00,
    THRESHOLD_TEMPERATURE=360.00,
    N_S=1.00,
    REFERENCE_RATE=0.1000,
    REFERENCE_TEMPERATURE=100.00/
&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/
&MATL ID='SPRUCE_CHAR',
    DENSITY=120.00,
    CONDUCTIVITY=0.1600,
    SPECIFIC_HEAT=0.68,
    EMISSIVITY=1.00/

&MATL ID='SPRUCE_FLOOR_VIRGIN',
    DENSITY=450.00,
    CONDUCTIVITY=0.1600,
```

```
    SPECIFIC_HEAT=0.68,
    EMISSIVITY=1.00,
    N_REACTIONS=1,
    HEAT_OF_REACTION=500.00,
    NU_FUEL=0.50,
    NU_RESIDUE=0.50,
    RESIDUE='SPRUCE_FLOOR_CHAR',
    N_T=1.00,
    THRESHOLD_TEMPERATURE=360.00,
    N_S=1.00,
    REFERENCE_RATE=0.1000,
    REFERENCE_TEMPERATURE=100.00/

&MATL ID='SPRUCE_FLOOR_CHAR',
    DENSITY=120.00,
    CONDUCTIVITY=0.1600,
    SPECIFIC_HEAT=0.68,
    EMISSIVITY=1.00//

&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/
&SURF ID='CARPET',
    RGB=153,204,255,
    TEXTURE_MAP='psm_carpet_blue.jpg',
    TEXTURE_WIDTH=0.61,
    TEXTURE_HEIGHT=0.61,
```

```
    BACKING='EXPOSED',
    MATL_ID(1,1)='CARPET_MATL',
    MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.00,
    THICKNESS(1)=6.0000000E-003/
    BURN_AWAY     = .TRUE.
    PART_ID       = 'smoke' /
&SURF ID           = 'UPHOLSTERY'
    COLOR         = 'PURPLE'
    BURN_AWAY     = .TRUE.
    MATL_ID(1:2,1) = 'FABRIC','FOAM'
    THICKNESS(1:2) = 0.002,0.1
    PART_ID       = 'smoke' /
&SURF ID='SPRUCE',
    RGB=128,51,26,
    TEXTURE_MAP='psm_wood1.jpg',
    TEXTURE_WIDTH=0.61,
    TEXTURE_HEIGHT=0.61,
    BACKING='EXPOSED',
    MATL_ID(1,1:2)='SPRUCE_VIRGIN','Water',
    MATL_MASS_FRACTION(1,1:2)=0.99,0.0100,
    THICKNESS(1)=0.0280/
    BURN_AWAY     = .TRUE.
    PART_ID       = 'smoke' /
&SURF ID='SPRUCE_FLOOR',
    RGB=128,51,26,
    TEXTURE_MAP='psm_wood2.jpg',
    TEXTURE_WIDTH=0.61,
    TEXTURE_HEIGHT=0.61,
    BACKING='EXPOSED',
    MATL_ID(1,1:2)='SPRUCE_FLOOR_VIRGIN','Water',
```

```
    MATL_MASS_FRACTION(1,1:2)=0.99,0.0100,
    THICKNESS(1)=0.0280/
&SURF ID            = 'WALL'
    RGB             = 200,200,200
    MATL_ID         = 'GYPSUM PLASTER'
    THICKNESS       = 0.012
```

แสดงการวางตำแหน่งของอุปกรณ์ภายในบ้าน(Obstruction)

```
&OBST XB=5.10,5.20,3.70,5.50,0.00,2.30, SURF_ID='GYPSUM BOARD'/ Stairwell wall
&OBST XB=5.20,6.40,3.70,4.00,0.00,2.30, SURF_ID6='GYPSUM BOARD','GYPSUM
BOARD','GYPSUM BOARD','CARPET','GYPSUM BOARD','GYPSUM BOARD'/ Dining ->
basement
&OBST XB=3.60,5.10,3.70,3.80,2.00,2.30, SURF_ID='GYPSUM BOARD'/ Dining/living
soffit
&OBST XB=5.20,6.40,4.00,4.25,0.00,2.20, SURF_ID6='GYPSUM BOARD','GYPSUM
BOARD','GYPSUM BOARD','CARPET','GYPSUM BOARD','CARPET'/ Stair
&OBST XB=5.20,6.40,4.25,4.50,0.00,2.00, SURF_ID6='GYPSUM BOARD','GYPSUM
BOARD','GYPSUM BOARD','CARPET','GYPSUM BOARD','CARPET'/ Stair[1]
&OBST XB=5.20,6.40,4.50,4.75,0.00,1.80, SURF_ID6='GYPSUM BOARD','GYPSUM
BOARD','GYPSUM BOARD','CARPET','GYPSUM BOARD','CARPET'/ Stair[2]
&OBST XB=5.20,6.40,4.75,5.00,0.00,1.60, SURF_ID6='GYPSUM BOARD','GYPSUM
BOARD','GYPSUM BOARD','CARPET','GYPSUM BOARD','CARPET'/ Stair[3]
&OBST XB=5.20,6.40,5.00,5.25,0.00,1.40, SURF_ID6='GYPSUM BOARD','GYPSUM
BOARD','GYPSUM BOARD','CARPET','GYPSUM BOARD','CARPET'/ Stair[4]
&OBST XB=5.20,6.40,5.25,5.50,0.00,1.20, SURF_ID6='GYPSUM BOARD','GYPSUM
BOARD','GYPSUM BOARD','CARPET','GYPSUM BOARD','CARPET'/ Stair[5]
&OBST XB=5.20,6.40,5.50,5.75,0.00,1.00, SURF_ID6='GYPSUM BOARD','GYPSUM
BOARD','GYPSUM BOARD','CARPET','GYPSUM BOARD','CARPET'/ Stair[6]
&OBST XB=5.20,6.40,5.75,6.00,0.00,0.80, SURF_ID6='GYPSUM BOARD','GYPSUM
BOARD','GYPSUM BOARD','CARPET','GYPSUM BOARD','CARPET'/ Stair[7]
&OBST XB=5.20,6.40,6.00,6.25,0.00,0.60, SURF_ID6='GYPSUM BOARD','GYPSUM
```

```
BOARD','GYPSUM BOARD','CARPET','GYPSUM BOARD','CARPET'/ Stair[8]
&OBST XB=5.20,6.40,6.25,6.50,0.00,0.4000, SURF_ID6='GYPSUM BOARD','GYPSUM
BOARD','GYPSUM BOARD','CARPET','GYPSUM BOARD','CARPET'/ Stair[9]
&OBST XB=5.20,6.40,6.50,6.75,0.00,0.2000, SURF_ID6='GYPSUM BOARD','GYPSUM
BOARD','GYPSUM BOARD','CARPET','GYPSUM BOARD','CARPET'/ Stair[10]
&OBST XB=0.60,2.60,4.00,4.20,0.3000,0.90, SURF_ID='UPHOLSTERY'/ Back
&OBST XB=0.60,0.80,4.10,4.60,0.50,0.60, SURF_ID='UPHOLSTERY'/ Left arm
&OBST XB=2.40,2.60,4.10,4.60,0.50,0.60, SURF_ID='UPHOLSTERY'/ Right arm
&OBST XB=0.60,2.60,4.00,4.60,0.00,0.50, SURF_ID='UPHOLSTERY'/ Seat
&OBST XB=3.20,3.40,5.00,7.00,0.3000,0.90, SURF_ID='UPHOLSTERY'/ Back
&OBST XB=2.70,3.20,5.00,5.20,0.50,0.60, SURF_ID='UPHOLSTERY'/ Left arm
&OBST XB=2.70,3.20,6.80,7.00,0.50,0.60, SURF_ID='UPHOLSTERY'/ Right arm
&OBST XB=2.70,3.40,5.00,7.00,0.00,0.50, SURF_ID='UPHOLSTERY'/ Seat
&OBST XB=2.20,3.00,7.70,7.80,0.3000,0.80, SURF_ID='UPHOLSTERY'/ Back
&OBST XB=2.90,3.00,7.40,7.80,0.50,0.60, SURF_ID='UPHOLSTERY'/ Left arm
&OBST XB=2.20,2.30,7.40,7.80,0.50,0.60, SURF_ID='UPHOLSTERY'/ Right arm
&OBST XB=2.20,3.00,7.30,7.80,0.00,0.50, SURF_ID='UPHOLSTERY'/ Seat
&OBST XB=1.10,1.90,7.70,7.80,0.3000,0.80, SURF_ID='UPHOLSTERY'/ Back
&OBST XB=1.80,1.90,7.40,7.80,0.50,0.60, SURF_ID='UPHOLSTERY'/ Left arm
&OBST XB=1.10,1.20,7.40,7.80,0.50,0.60, SURF_ID='UPHOLSTERY'/ Right arm
&OBST XB=1.10,1.90,7.30,7.80,0.00,0.50, SURF_ID='UPHOLSTERY'/ Seat
&OBST XB=5.00,6.00,0.60,2.10,0.70,0.80, SURF_ID='SPRUCE'/ Table top
&OBST XB=5.00,5.10,0.60,0.70,0.00,0.70, SURF_ID='SPRUCE'/ Obstruction
&OBST XB=5.00,5.10,2.00,2.10,0.00,0.70, SURF_ID='SPRUCE'/ Obstruction[1]
&OBST XB=5.90,6.00,0.60,0.70,0.00,0.70, SURF_ID='SPRUCE'/ Obstruction[1]
&OBST XB=5.90,6.00,2.00,2.10,0.00,0.70, SURF_ID='SPRUCE'/ Obstruction[1][1]
&OBST XB=4.70,5.10,4.10,5.60,0.00,0.70, SURF_ID='SPRUCE'/ Cabinet
&OBST XB=0.00,0.50,5.50,6.80,0.00,1.00, SURF_ID='SPRUCE'/ Enter. Center
&OBST XB=0.00,1.07,0.00,0.3000,1.50,2.30, SURF_ID='SPRUCE'/ upper cabinet
&OBST XB=0.00,0.2667,0.3000,2.80,1.50,2.30, SURF_ID='SPRUCE'/ upper cabinet
&OBST XB=2.67,3.07,0.00,1.50,1.50,2.30, SURF_ID='SPRUCE'/ upper cabinet
&OBST XB=2.40,3.07,0.00,1.80,0.00,0.90, SURF_ID='SPRUCE'/ lower cabinet
```

```
&OBST XB=0.00,2.40,0.00,0.80,0.00,0.90, SURF_ID='SPRUCE'/ lower cabinet
&OBST XB=0.00,0.67,0.80,2.80,0.00,0.90, SURF_ID='SPRUCE'/ lower cabinet
&OBST XB=0.00,5.20,0.00,8.00,2.30,2.50, SURF_IDS='CARPET','GYPSUM
BOARD','GYPSUM BOARD'/ floor
&OBST XB=5.20,6.40,0.00,4.00,2.30,2.50, SURF_ID6='GYPSUM BOARD','GYPSUM
BOARD','GYPSUM BOARD','CARPET','GYPSUM BOARD','CARPET'/ floor
&OBST XB=5.20,6.40,2.40,3.00,2.50,4.80, SURF_ID='GYPSUM BOARD'/ 2nd floor closet
wall
&OBST XB=5.10,5.20,4.30,8.00,2.50,4.80, SURF_ID='GYPSUM BOARD'/ Master bedroom
wall
&OBST XB=5.20,6.40,6.30,8.00,2.30,4.80, SURF_ID='GYPSUM BOARD'/ 2nd floor corner
&OBST XB=2.90,3.00,0.00,2.50,2.50,4.80, SURF_ID='GYPSUM BOARD'/ Bedroom 1/2
wall
&OBST XB=3.00,4.00,2.40,2.50,2.50,4.80, SURF_ID='GYPSUM BOARD'/ Bedroom 1/2
wall
&OBST XB=0.00,4.00,3.50,4.40,2.50,4.80, SURF_ID='GYPSUM BOARD'/ Bathroom
&OBST XB=4.00,5.10,4.30,4.40,4.40,4.80, SURF_ID='GYPSUM BOARD'/ Master bedroom
soffit
&OBST XB=4.00,5.20,2.40,2.50,4.40,4.80, SURF_ID='GYPSUM BOARD'/ Bedroom 1/hall
soffit
&OBST XB=3.90,4.00,2.50,3.50,4.40,4.80, SURF_ID='GYPSUM BOARD'/ Bedroom 2/hall
soffit
&OBST XB=5.20,6.40,5.30,5.55,3.20,4.80, SURF_ID='GYPSUM BOARD'/ stairwell ceiling
&OBST XB=5.20,6.40,5.55,5.80,3.00,4.80, SURF_ID='GYPSUM BOARD'/ stairwell
ceiling[1]
&OBST XB=5.20,6.40,5.80,6.05,2.80,4.80, SURF_ID='GYPSUM BOARD'/ stairwell
ceiling[2]
&OBST XB=5.20,6.40,6.05,6.30,2.60,4.80, SURF_ID='GYPSUM BOARD'/ stairwell
ceiling[3]
&OBST XB=3.10,3.60,1.00,1.60,2.50,3.50, SURF_ID='SPRUCE'/ Dresser
&OBST XB=5.60,6.40,0.2000,1.80,2.50,2.80, SURF_ID='UPHOLSTERY'/ Bed
&OBST XB=2.30,2.80,1.00,1.60,2.50,3.50, SURF_ID='SPRUCE'/ Dresser
```

```
&OBST XB=0.00,0.80,0.2000,1.80,2.50,2.80, SURF_ID='UPHOLSTERY'/ Bed
&OBST XB=0.00,0.4000,5.70,7.30,2.50,3.30, SURF_ID='SPRUCE'/ Dresser
&OBST XB=1.20,2.60,4.30,6.20,2.50,2.80, SURF_ID='UPHOLSTERY'/ Bed
&OBST XB=4.60,5.00,5.70,6.80,2.50,3.50, SURF_ID='SPRUCE'/ Dresser
&OBST XB=0.00,6.40,8.00,8.10,0.00,4.80, SURF_ID='GYPSUM BOARD'/ Wall
&OBST XB=0.00,3.60,2.80,3.80,0.00,2.30, SURF_ID='GYPSUM BOARD'/ LV/kitchen wall
```

แสดงตำแหน่งของประตู

```
&HOLE XB=5.40,6.30,8.00,8.10,0.00,1.90/ Door
```

แสดงตำแหน่งช่อง(Vent)ต่างๆ

```
&VENT SURF_ID='CARPET', XB=0.00,6.40,3.80,8.00,0.00,0.00/ Living Room
&VENT SURF_ID='SPRUCE_FLOOR', XB=0.00,6.40,0.00,3.80,0.00,0.00, RGB=255,153,0/
Kitchen
&VENT MB='YMIN',SURF_ID='OPEN' /
&VENT MB='YMAX',SURF_ID='OPEN' /
```

แสดงคุณสมบัติของหัวสปริงเกลอร์

```
&PROP ID='K-60.5', QUANTITY='SPRINKLER LINK TEMPERATURE', RTI=35.,
C_FACTOR=0.0, ACTIVATION_TEMPERATURE=68.0, OFFSET=0.10,
OPERATING_PRESSURE = 0.74, PART_ID='water drops', FLOW_RATE=52.1,
DROPLET_VELOCITY=10., SPRAY_ANGLE=80.0,80.0, SMOKEVIEW_ID='sprinkler
pendent'
```

แสดงตำแหน่งที่ติดตั้งหัวสปริงเกลอร์

```
&DEVC XYZ=1.38 5.95 2.2, PROP_ID='K-4.9', ID='Sprinkler_1',/
&DEVC XYZ=3.93 5.95 2.2, PROP_ID='K-4.9', ID='Sprinkler_2',/
&DEVC XYZ=1.55 2.00 2.2, PROP_ID='K-4.9', ID='Sprinkler_3',/
&DEVC XYZ=4.70 2.00 2.2, PROP_ID='K-4.9', ID='Sprinkler_4',/
&DEVC XYZ=1.35 5.95 4.6, PROP_ID='K-4.9', ID='Sprinkler_5',/
```

```
&DEVC XYZ=3.85 5.95 4.6, PROP_ID='K-4.9', ID='Sprinkler_6',/
&DEVC XYZ=1.45 2.00 4.6, PROP_ID='K-4.9', ID='Sprinkler_7',/
&DEVC XYZ=4.6 1.25 4.6, PROP_ID='K-4.9', ID='Sprinkler_8',/
```

แสดงการ Set เวลาการหยุดปล่อยพลังงานความร้อนของ Burner ที่ 300 วินาที

```
&RAMP ID='CTRL_RAMP', T=299.75, F=1.00/
&RAMP ID='CTRL_RAMP', T=300.25, 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'/
```

แสดงผลที่ต้องการศึกษา

```
&BNDF QUANTITY='GAS TEMPERATURE'/
&BNDF QUANTITY='GAUGE HEAT FLUX'/
&BNDF QUANTITY='HEAT_FLUX'/
&BNDF QUANTITY='WALL_TEMPERATURE'/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBY=6.00/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBZ=1.50/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=3.10/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=5.80/
&SLCF QUANTITY='visibility', PBX=5.80/
```

ภาคผนวก ง

อุปกรณ์ที่ใช้ในการติดตั้งระบบสปริงเกลอร์ในบ้านพักอาศัย

อุปกรณ์ที่ใช้ในการติดตั้งระบบสปริงเกลอร์ในบ้านพักอาศัย

1. หัวสปริงเกลอร์

tyco / Fire & Building Products

Technical Services: Tel: (800) 381-9312 / Fax: (800) 791-5500

rapid response™
HOME FIRE SPRINKLER SYSTEM

Series LFII Residential Pendent Sprinklers 4.9 K-factor

General Description

The Series LFII (TY2234) Residential Pendent Sprinklers are decorative, fast response, frangible bulb sprinklers designed for use in residential occupancies such as homes, apartments, dormitories, and hotels. When aesthetics and optimized flow characteristics are the major consideration, the Series LFII (TY2234) should be the first choice.

The Series LFII are to be used in wet pipe residential sprinkler systems for one- and two-family dwellings and mobile homes per NFPA 13D; wet pipe residential sprinkler systems for residential occupancies up to and including four stories in height per NFPA 13R; or, wet pipe sprinkler systems for the residential portions of any occupancy per NFPA 13.

The Series LFII (TY2234) has a 4.9 (70,6) K-factor that provides the required residential flow rates at reduced pressures, enabling smaller pipe sizes and water supply requirements.

The recessed version of the Series LFII (TY2234) is intended for use in areas with finished ceilings. It employs a two-piece Style 20 Recessed Escutcheon. The Recessed Escutcheon provides 1/4 inch (6,4 mm) of recessed adjustment or up to 1/2 inch (12,7 mm) of total adjustment from the flush ceiling position. The adjustment provided by the Recessed Escutcheon reduces the accuracy to which the pipe nipples to the sprinklers must be cut.

The Series LFII (TY2234) has been designed with heat sensitivity and water distribution characteristics proven to help in the control of residential fires and to improve the chance for occupants to escape or be evacuated.

IMPORTANT

Always refer to Technical Data Sheet TFP700 for the "INSTALLER WARNING" that provides cautions with respect to handling and installation of sprinkler systems and components. Improper handling and installation can permanently damage a sprinkler system or its components and cause the sprinkler to fail to operate in a fire situation or cause it to operate prematurely.

WARNINGS

The Series LFII (TY2234) Residential Pendent Sprinklers described herein must be installed and maintained in compliance with this document, as well as with the applicable standards of the National Fire Protection Association, in addition to the standards of any other authorities having jurisdiction. ***Failure to do so may impair the performance of these devices.***

The owner is responsible for maintaining their fire protection system and devices in proper operating condition. The installing contractor or sprinkler manufacturer should be contacted with any questions.

Sprinkler/Model Identification Number

SIN TY2234

Maximum Coverage Area [a] Ft. x Ft. (m x m)	Maximum Spacing Ft. (m)	Minimum Flow [b] and Residual Pressure For Horizontal Ceiling (Max. 2 Inch Rise for 12 Inch Run)	Minimum Flow [b] and Residual Pressure For Sloped Ceiling (Greater Than 2 Inch Rise Up To Max. 4 Inch Rise for 12 Inch Run)		Minimum Flow [b] and Residual Pressure For Sloped Ceiling (Greater Than 4 Inch Rise Up To Max. 8 Inch Rise for 12 Inch Run)	
		155°F/68°C or 175°F/79°C	155°F/68°C	175°F/79°C	155°F/68°C	175°F/79°C
12 x 12 (3,7 x 3,7)	12 (3,7)	13 GPM (49,2 LPM) 7.0 psi (0,48 bar)	13 GPM (49,2 LPM) 7.0 psi (0,48 bar)	17 GPM (64,3 LPM) 12.0 psi (0,83 bar)	13 GPM (49,2 LPM) 7.0 psi (0,48 bar)	17 GPM (64,3 LPM) 12.0 psi (0,83 bar)
14 x 14 (4,3 x 4,3)	14 (4,3)	13 GPM (49,2 LPM) 7.0 psi (0,48 bar)	13 GPM (49,2 LPM) 7.0 psi (0,48 bar)	17 GPM (64,3 LPM) 12.0 psi (0,83 bar)	13 GPM (49,2 LPM) 7.0 psi (0,48 bar)	17 GPM (64,3 LPM) 12.0 psi (0,83 bar)
16 x 16 (4,9 x 4,9)	16 (4,9)	13 GPM (49,2 LPM) 7.0 psi (0,48 bar)	13 GPM (49,2 LPM) 7.0 psi (0,48 bar)	17 GPM (64,3 LPM) 12.0 psi (0,83 bar)	13 GPM (49,2 LPM) 7.0 psi (0,48 bar)	17 GPM (64,3 LPM) 12.0 psi (0,83 bar)
18 x 18 (5,5 x 5,5)	18 (5,5)	17 GPM (64,3 LPM) 12.0 psi (0,83 bar)	17 GPM (64,3 LPM) 12.0 psi (0,83 bar)	17 GPM (64,3 LPM) 12.0 psi (0,83 bar)	17 GPM (64,3 LPM) 12.0 psi (0,83 bar)	17 GPM (64,3 LPM) 12.0 psi (0,83 bar)
20 x 20 (6,1 x 6,1)	20 (6,1)	20 GPM (75,7 LPM) 16.7 psi (1,15 bar)	20 GPM (75,7 LPM) 16.7 psi (1,15 bar)	20 GPM (75,7 LPM) 16.7 psi (1,15 bar)	21 GPM (79,5 LPM) 18.4 psi (1,27 bar)	22 GPM (83,3 LPM) 20.2 psi (1,39 bar)

(a) For coverage area dimensions less than or between those indicated, it is necessary to use the minimum required flow for the next highest coverage area for which hydraulic design criteria are stated.

(b) Requirement is based on minimum flow in GPM (LPM) from each sprinkler. The associated residual pressures are calculated using the nominal K-factor. Refer to Hydraulic Design Criteria Section for details.

TABLE A
NFPA 13D AND NFPA 13R WET PIPE HYDRAULIC DESIGN CRITERIA FOR THE SERIES LFII (TY2234) RESIDENTIAL PENDENT AND RECESSED PENDENT SPRINKLERS

Technical Data

Approvals:
UL and C-UL Listed. NYC Approved under MEA 44-03-E.

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

Discharge Coefficient:
K = 4.9 GPM/psi$^{1/2}$ (70,6 LPM/bar$^{1/2}$)

Temperature Rating:
155°F/68°C or 175°F/79°C

Finishes:
White Polyester Coated,
Chrome Plated, or Natural Brass

Physical Characteristics:
Frame . . . . . Brass
Button . . . . . Bronze
Sealing Assembly . . . . . Beryllium Nickel w/Teflon†
Bulb . . . . . 3 mm dia. Glass
Compression Screw . . . . . Bronze
Deflector . . . . . Bronze
Ejection Spring . . . . Stainless Steel
†DuPont Registered Trademark

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 flow water.

Design Criteria

The Series LFII (TY2234) Residential Pendent Sprinklers are UL and C-UL Listed for installation in accordance with the following criteria.

NOTE
When conditions exist that are outside the scope of the provided criteria, refer to the Residential Sprinkler Design Guide TFP490 for the manufacturer's recommendations that may be acceptable to the local Authority having Jurisdiction.

System Type. Only wet pipe systems may be utilized.

Hydraulic Design. The minimum required sprinkler flow rate for systems designed to NFPA 13D or NFPA 13R are given in Table A as a function of temperature rating and the maximum allowable coverage areas. The sprinkler flow rate is the minimum required discharge from each of the total number of "design sprinklers" as specified in NFPA 13D or NFPA 13R.

For systems designed to NFPA 13, the number of design sprinklers is to be the four most hydraulically demanding sprinklers. The minimum required discharge from each of the four sprinklers is to be the greater of the following:

- The flow rates given in Table A for NFPA 13D and 13R as a function of temperature rating and the maximum allowable coverage area.
- A minimum discharge of 0.1 gpm/sq. ft. over the "design area" comprised of the four most hydraulically demanding sprinklers for the actual coverage areas being protected by the four sprinklers.

Obstruction To Water Distribution. Locations of sprinklers are to be in accordance with the obstruction rules of NFPA 13 for residential sprinklers.

Operational Sensitivity.

- For "Horizontal Ceilings" (maximum 2 inch rise for 12 inch run), the sprinklers are to be installed with a deflector to ceiling distance of 1-3/8 to 4 inches or in the recessed position using only the Style 20 Recessed Escutcheon as shown in Figure 2.

NOTES
The "Beam Ceiling Design Criteria" section starting on Page 4 permits deflector to ceiling distances up to 15-3/4 inches.

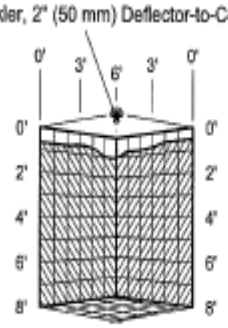
So as to help avoid obstructions to water distribution, a maximum 12 inch deflector-to-ceiling distance is permitted for NFPA 13D and NFPA 13R applications where the sprinklers are located in closets.

- For "Sloped Ceilings" (greater than 2 inch rise up to 8 inch rise for 12 inch run), the sprinklers are to be installed with a deflector to ceiling

TFP710, Page 33 of 44

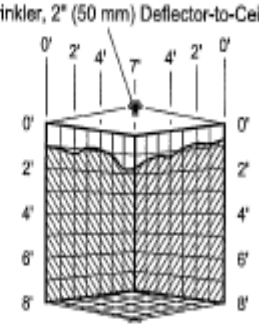
(Refer to the General Description section on Page 1 before applying the spray pattern data.)

Sprinkler, 2" (50 mm) Deflector-to-Ceiling



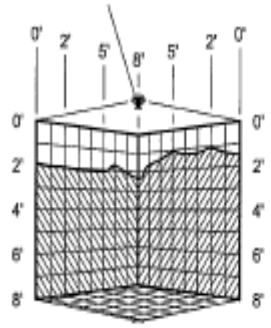
12' x 12' (3.7 m x 3.7 m) Maximum Coverage Area
13 GPM (49.2 LPM) Flow

Sprinkler, 2" (50 mm) Deflector-to-Ceiling



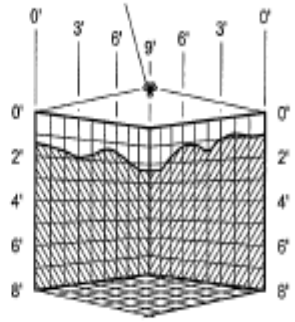
14' x 14' (4.3 m x 4.3 m) Maximum Coverage Area
13 GPM (49.2 LPM) Flow

Sprinkler, 2" (50 mm) Deflector-to-Ceiling



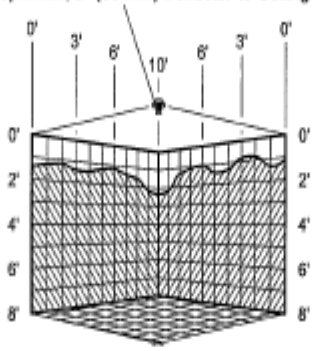
16' x 16' (4.9 m x 4.9 m) Maximum Coverage Area
13 GPM (49.2 LPM) Flow

Sprinkler, 2" (50 mm) Deflector-to-Ceiling



18' x 18' (5.5 m x 5.5 m) Maximum Coverage Area
17 GPM (64.3 LPM) Flow

Sprinkler, 2" (50 mm) Deflector-to-Ceiling



20' x 20' (6.1 m x 6.1 m) Maximum Coverage Area
20 GPM (75.7 LPM) Flow

WALL WETTING PATTERNS

K=4.9 (K70), Residential
Pendent Sprinkler
SIN TY2234, Series LFII

2. Domestic Shut off Valve

tyco / Fire & Building Products

Technical Services: Tel: (800) 381-9312 / Fax: (800) 791-5500

rapid response™
HOME FIRE SPRINKLER SYSTEM

Model RSV-1 Residential Domestic Shutoff Valve 1 Inch (DN25) For Dual Purpose Residential Water Supply

General Description

The Rapid Response™, Model RSV-1 Residential Domestic Shutoff Valves are intended for use in dual-purpose residential water supply piping that serves both domestic and NFPA 13D residential fire protection sprinkler system needs.

When a fire sprinkler operates, the RSV-1 Valve will automatically shut off water flow to the domestic system and divert the available water supply to the fire sprinkler system. Consequently, when the RSV-1 is utilized, the system designer need not add the domestic flow demand to the fire sprinkler system flow demand.

Use of the Model RSV-1 Residential Domestic Shutoff Valve should be considered when either the water supply cannot adequately provide for both the domestic design demand and fire sprinkler flow demand, or it is desirable to increase the effectiveness of the fire sprinkler system by automatically shutting off domestic flow.

The RSV-1 maximizes the effective use of an existing water supply and, therefore, in areas with limited water supplies, it may eliminate the need to add costly pumps, pressurized reservoirs, or electrically operated domestic shutoff valves. The RSV-1 has a built-in check valve in the fire sprinkler system outlet that eliminates the need for a separate check valve. Also, the RSV-1 automatically resets, thereby eliminating the need for valve disassembly after a fire sprinkler system test or operation.

The Model RSV-1 Residential Domestic Shutoff Valve is a redesignation of the Gem Model F540 and Star Model S370 Residential Domestic Shutoff Valves.

WARNING

The Model RSV-1 Residential Domestic Shutoff Valves described herein must be installed and maintained in compliance with this document, as well as with the applicable standards of the National Fire Protection Association, in addition to the standards of any other authorities having jurisdiction. ***Failure to do so may impair the performance of these devices.***

The owner is responsible for maintaining their fire protection system and devices in proper operating condition. The installing contractor or sprinkler manufacturer should be contacted with any questions.

Technical Data

Approvals
The 1 inch (DN25) Model RSV-1 Residential Domestic Shutoff Valve is UL and ULC Listed and is suitable for use in water supply arrangements for residential fire sprinkler systems designed per NFPA 13D.

Maximum Pressure
175 psi (12,1 bar)

Pressure Loss
Figure 4

Assembly
The Body, Top Cover, and Bottom Cover are bronze. The Piston, Differential Ring, and Sleeve are glass reinforced Polyphenylene Oxide. The Upper Cap is brass. The O-rings are Buna-N, while the Upper and Lower Seals are are EPDM. The Spring, Upper Cap Screws, and Piston Screws are stainless steel.

Weight
11 lbs. (5 kg)

Patents
U.S.A. 5,236,002

Design Criteria

The RSV-1 must be installed vertically with the Water Supply Port at the bottom, the Fire Sprinkler Port at the top, and the Domestic Port at the side. The typical arrangement is shown in Figure 1.

Local regulations concerning public water supplies may require a backflow prevention device. The design of the RSV-1 anticipates that the backflow prevention device will be located in the water supply upstream of the RSV-1 as shown in Figure 1. Should the local regulations require the backflow prevention device to be located in the fire sprinkler line downstream of the RSV-1, a by-pass per Figure 2 must be installed.

NOTES

A check valve is not to be installed between the RSV-1 and the fire sprinklers unless a by-pass per Figure 2 is installed. Absence of the by-pass may result in defeating the automatic resetting capability of the RSV-1.

Installation of the by-pass defeats the ability of the RSV-1 to perform as a check valve.

Minimum Water Supply Requirements. In order for the 1 Inch (DN25) RSV-1 Valve to automatically operate, once a fire sprinkler operates, the fire sprinkler system from the water main to the most hydraulically remote sprinkler must be designed to provide a minimum single sprinkler flow of 12.5 GPM (47,3 LPM), when the supply pressure at the main is at its minimum expected value.

NOTES

The minimum single sprinkler flow rate of 12.5 GPM (47,3 LPM), required for use with the RSV-1 Valve, does not take precedence over any more hydraulically demanding single sprinkler flow rate specified for the residential sprinklers being utilized.

It is not necessary to take into account the trickle flow through the RSV-1 Valve By-Pass Restriction, into the domestic system, when performing hydraulic design calculations for the fire sprinkler system.

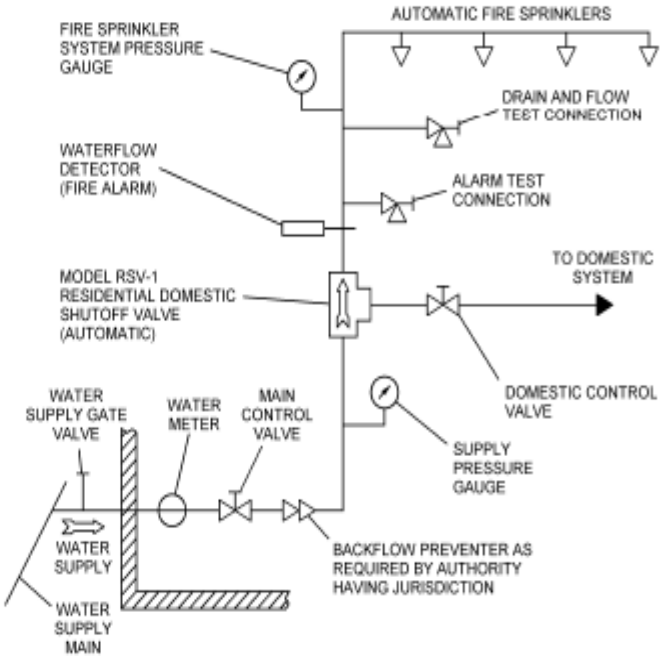


FIGURE 1
TYPICAL ARRANGEMENT

Operating Principles

The design of the RSV-1 Valve is such that if there is a fire sprinkler operation during domestic usage, the RSV-1 Valve will automatically shut off flow to the domestic system and divert the available water supply to the fire sprinkler system, thereby eliminating the lower flow into the sprinkler system that might otherwise be caused by possible significant domestic water usage.

When the RSV-1 Valve is in the normal standby position as shown in Figure 3, the Piston, assisted by the Spring, is in the down position. With the Piston in the down position, the Fire Sprinkler Seat permits the RSV-1 to perform as a conventional check valve. Also, with the Piston in the down position, water is available on demand through the Domestic Flow Passage and out the Domestic Port.

Upon operation and a minimum design water flow (i.e., 12.5 gpm) to the automatic residential fire sprinkler system, the Piston moves upward. With the Piston in the up position, any water

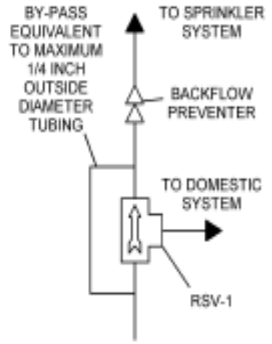


FIGURE 2
REQUIRED BY-PASS FOR BACKFLOW PREVENTION IN THE FIRE SPRINKLER LINE

flow to the Domestic Flow Port is diverted to the Fire Flow Port.

The contours of the Piston have been specifically configured to minimize its upward movement except under the level of sustained fire sprinkler system flow resulting from operation of one or more fire sprinklers. However, because most fire sprinkler systems contain air pockets, the Piston will tend to move momentarily upward if there is a surge in supply pressure. The momentary opening and reclosing of the Piston at the Fire Sprinkler Seat will trap a portion of the pressure increase within the fire sprinkler system. The trapping of pressure increases within the fire sprinkler system will help to reduce the possibility of a subsequent surge in the supply pressure from causing the waterflow detector to signal a false alarm (unless a by-pass is installed per Figure 2).

As indicated above, domestic system usage may reduce the pressure available to the fire sprinkler system. However, when utilizing the RSV-1 Valve, it is not necessary to take into account the complex hydraulic modeling of the domestic system that would otherwise be required to determine the minimum possible residual (flowing) pressure that would be available to the fire sprinkler system.

For operation of the RSV-1 Valve, it is

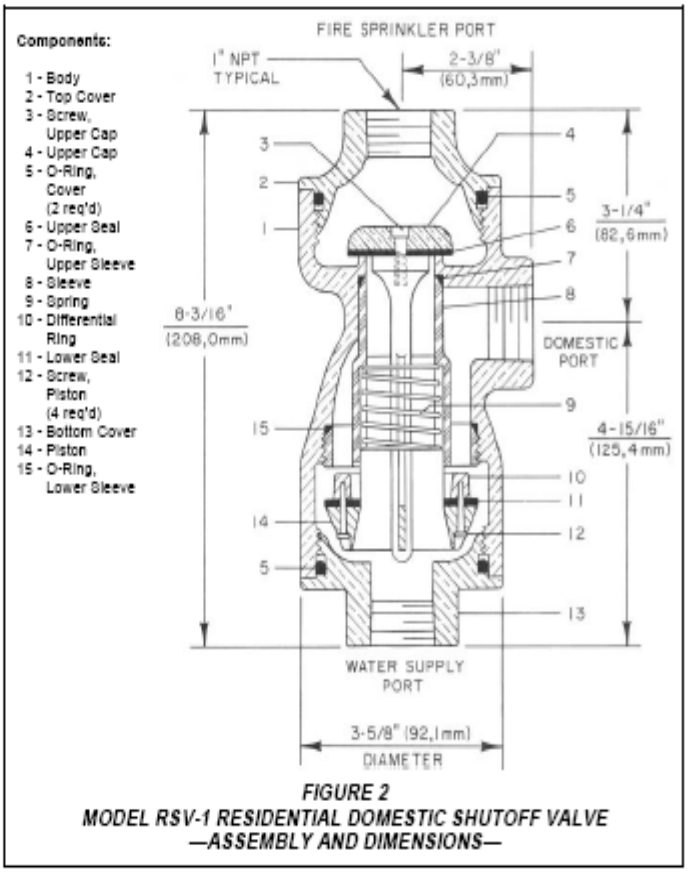


FIGURE 2
MODEL RSV-1 RESIDENTIAL DOMESTIC SHUTOFF VALVE
—ASSEMBLY AND DIMENSIONS—

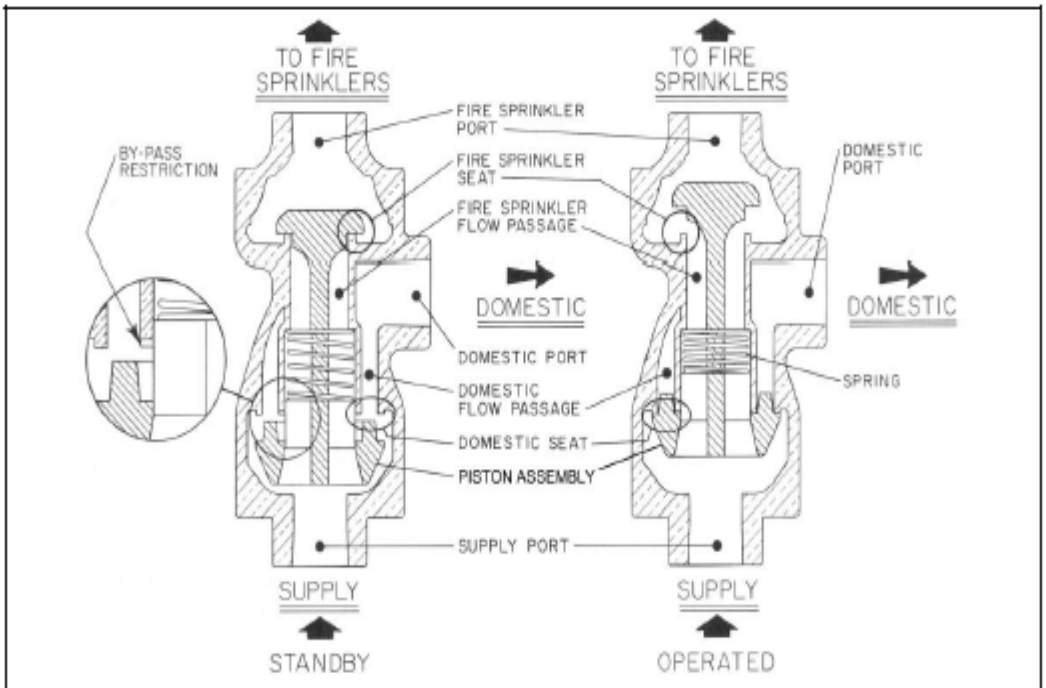


FIGURE 3, STANDBY AND OPERATED POSITIONS FOR MODEL RSV-1 VALVE

3. Riser Manifold

tyco / Fire & Building Products

Technical Services: Tel: (800) 381-9312 / Fax: (800) 791-5500

rapid response™
HOME FIRE SPRINKLER SYSTEM

Figure 513D (13D) and 513D/R (13D/R) Riser Manifolds 1, 1-1/2, and 2 Inch (DN25, DN40, and DN50) For NFPA 13D/13R Residential Sprinkler Systems

General Description

The Riser Manifolds described in this technical data sheet provide the necessary waterflow alarm, pressure gauge, and drain equipment in a single assembly for use in NFPA 13D or 13R residential sprinkler systems as follows:

NFPA 13D

- Figure 513D (13D)
  1 Inch (DN25)
  Female Thread x Female Thread

NFPA 13D/13R

- Figure 513D/R (13D/R)
  1-1/2 Inch (DN40)
  Male Thread x Female Thread
  Male Thread x Male Thread
- Figure 513D/R (13D/R)
  2 Inch (DN50)
  Groove x Groove
  Male Thread x Groove

The variety of sizes and end connections allow cost effective and easy transition to check valves, control valves, and system piping. The Riser Manifolds may be installed in either the horizontal (flow switch on top) or vertical (flow going up).

WARNING

The Riser Manifolds described herein must be installed and maintained in compliance with this document, as well as with the applicable standards of the National Fire Protection Association, in addition to the standards of any other authorities having jurisdiction. ***Failure to do so may impair the performance of these devices.***

The owner is responsible for maintaining their fire protection system and devices in proper operating condition. The installing contractor or sprinkler manufacturer should be contacted with any questions.

Technical Data

Approvals
The Figure 513D (13D) and 513D/R (13D/R) Riser Manifolds with a cover tamper switch for the waterflow alarm switch are UL Listed, ULC Listed, and FM Approved.

The Figure 513D (13D) and 513D/R (13D/R) Riser Manifolds without a cover tamper switch for the waterflow alarm switch are UL Listed and FM Approved.

Maximum Working Pressure
175 psi (12,1 bar)

Assembly
The manifold body of the Figure 513 is ductile iron, whereas the manifold body of the Figure 13 is cast iron. The two assemblies are completely interchangeable in function, application, and end-to-end laying length.

Finish
Red painted.

Installation

The Riser Manifolds may be installed in either the horizontal (flow switch on top) or vertical (flow going up). The inlet of the Riser Manifold may be directly connected to a shut-off control valve.

NOTES

(1) Where applicable pipe thread sealant is to be applied sparingly. Use of a non-hardening pipe thread sealant is recommended.

(2) Provisions for an alarm test flow must be made. The alarm test flow is to be through an orifice having a flow capacity equal to or smaller than the smallest orifice sprinkler in the system. One of two options can be considered. The first option is to temporarily install a test orifice in the outlet of the drain line prior to performing the alarm test. The second option is to install an Inspector's Test Connection downstream of the Waterflow Alarm Switch.

(3) Never remove any piping component nor correct or modify any piping deficiencies without first depressurizing and draining the system.

Step 1. Install the manifold body with the flow arrow pointing in the downstream position using threaded connections and/or listed mechanical grooved connections, as applicable.

Step 2. Connect the drain line, and then close the drain valve.

Step 3. Refer to Figure 4 for wiring guidance. All wiring must be performed in accordance with the Authority Having Jurisdiction and/or the National Electrical Code.

Step 4. Place the system in service by filling the system with water. When filling the system, partially open the control valve to slowly fill the system. *Filling the system slowly will help avoid damaging the waterflow alarm switch.*

After the system is fully pressurized, completely open the control valve.

Step 5. Secure all supply valves open.

NO.	DESCRIPTION	QTY.	P/N
1	1" Manifold Body, Female x Female NPT	1	N/A
2	Waterflow Alarm Switch: VSR-SF modified with Paddle, UL/FM	1	971-096-01
	VSR-SF modified with Paddle and Cover Tamper Switch, ULC/FM	1	976-519-01
3	200 psi/1400 kPa Water Pressure Gauge	1	2343

NOTES:

1. Approximate weight, 7.5 lbs. (3,4 kg).
2. ULC Listed Manifolds are equipped with Cover Tamper Switches installed internal to the Waterflow Alarm Switches.
3. CH: Common Hardware

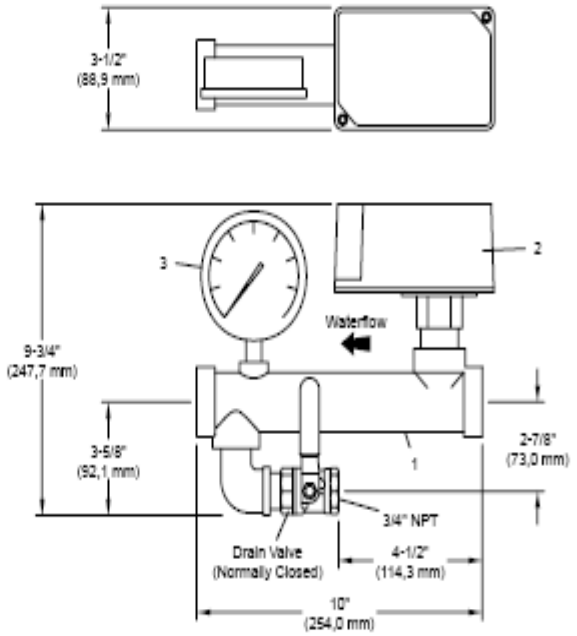


FIGURE 1
1 INCH (DN25) RISER MANIFOLD ASSEMBLY AND DIMENSIONS

NO.	DESCRIPTION	QTY.	P/N
1	1-1/2" Manifold Body, Male x Female NPT	1	N/A
	Male x Male NPT	1	N/A
2	Waterflow Alarm Switch: VSR-SF modified with Paddle, UL/FM	1	971-096-00
	VSR-SF modified with Paddle and Cover Tamper Switch, ULC/FM	1	976-519-02
3	300 psi/2000 kPa Water Pressure Gauge	1	2341

NOTES:

1. Approximate weight, 8.7 lbs. (3,9 kg).
2. ULC Listed Manifolds are equipped with Cover Tamper Switches installed internal to the Waterflow Alarm Switches.
3. CH: Common Hardware

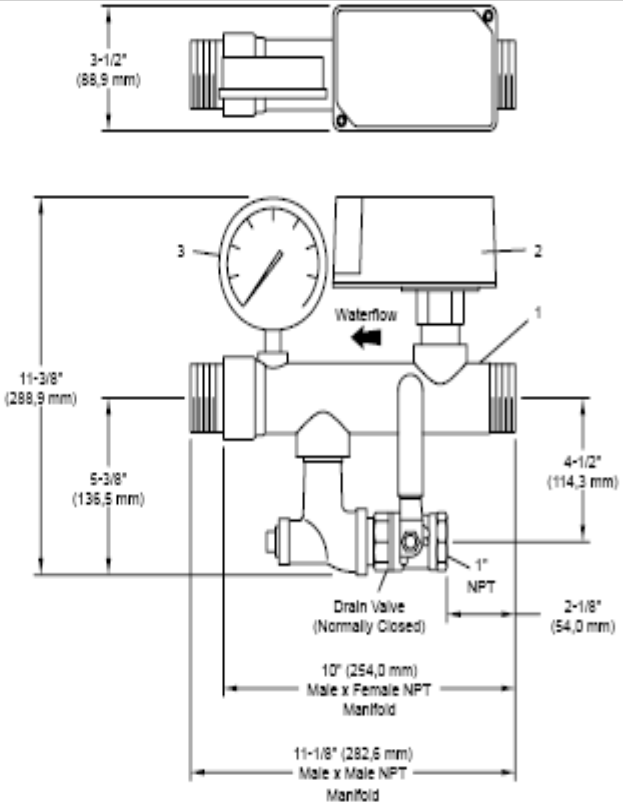


FIGURE 2
1-1/2 INCH (DN40) RISER MANIFOLD ASSEMBLY AND DIMENSIONS

4. Flow switch

POTTER
The Symbol of Protection

FOR SMALL PIPE

VSR-ST
VANE TYPE WATERFLOW ALARM SWITCH WITH RETARD

cUL, UL and CSFM Listed, NYMEA Accepted
Service Pressure: Up to 175 PSI (12,07 BAR)
Minimum Flow Rate for Alarm: 10 GPM (38 LPM)
Maximum Surge: 18 FPS (5,5 m/s)
Enclosure: Die-cast, red powdercoat finish
No. 1144465: Cover held in place with tamper resistant screws
No. 1144466: **Tamper:** Cover incorporates micro-switch.
Cover Tamper: Activated by cover removal.
Cover Tamper Switch Contacts: One set SPDT, Rated at 250VAC.
Cover Tamper Switch Terminations: 8" 22AWG wire leads.
Contact Ratings: Two sets of SPDT (Form C)
10.0 Amps at 125/250 VAC
2.0 Amps at 30 VDC Resistive
Conduit Entrances: Two openings provided for 1/2" conduit. Individual switch compartments suitable for dissimilar voltages.
Usage: Listed plastic, copper and schedule 40 iron pipe.
Fits pipe sizes - 1", 1¼", 1½" and 2"
Note: 12 paddles are furnished with each unit, one for each pipe size of threaded and sweat TEE, one for 1" CPVC, one for 1" CPVC (Central), one for 1" threaded Nibco CPVC, and one for 1½" threaded (Japan).
Environmental Specifications:
- Suitable for indoor or outdoor use with factory installed gasket and die-cast housing.
- For NEMA 4/IP55 rated enclosure - use with appropriate conduit fitting and/or plugs.
- Temperature range: 40° F to 120° F (4,5° C to 49° C)

Stock Number: 1144465
1144466 w/TSK
Replaceable Components: Retard/Switch Assembly, stock no. 1029030

⚠ WARNING

Installation must be perfomed by qualified personnel and in accordance with all national and local codes and ordinances.

Shock hazard. Disconnect power source before servicing. Serious injury or death could result.

Risk of explosion. Not for use in hazardous locations. Serious injury or death could result.

Service Use:

Automatic Sprinkler	NFPA-13
One or two family dwelling	NFPA-13D
Residential occupancy up to four stories	NFPA-13R
National Fire Alarm Code	NFPA-72

The Model VSR-ST is a vane type waterflow switch for use on wet sprinkler systems that use 1", 1-1/4", 1-1/2" or 2" pipe sizes. It is equipped with a union to accommodate installation in confined spaces.
The unit contains two single pole double throw snap action switches and an adjustable, instantly recycling pneumatic retard. The switches are actuated when a flow of 10 gallons per minute (38 liters per minute) or more occurs downstream of the device. The flow condition must exist for a period of time necessary to overcome the selected retard period.

Installation

These devices may be mounted in horizontal or vertical pipe. On horizontal pipe they should be installed on the top side of the pipe where they will be accessible. The units should not be installed within 6" (15 cm) of a valve, drain or fitting which changes the direction of the waterflow. The unit has a 1" NPT fitting for threading into a non-corrosive TEE. See Fig. 1 for proper TEE size, type and installation. Select the proper paddle for the pipe size and type of TEE used. See Fig. 3 for instructions on how to change the paddle.
Loosen the union nut and separate the 1" NPT fitting from the VSR-ST. Use no more than three wraps of teflon tape as thread lubricant. Reattach the VSR-ST to the 1" NPT fitting, verifying that the o-ring is properly positioned in its groove. Hand tighten the nut on the union after orienting the device in the appropriate direction to detect waterflow as shown in Fig. 2.

⚠ CAUTION

Do not over-tighten the union nut, hand tighten only.

The vane must not rub the inside of the TEE or bind in any way. The stem should move freely when operated by hand.
The device can also be used in copper or plastic pipe installations with the proper adapters so that the specified TEE fitting may be installed on the pipe run.

Note: Do not leave cover off for an extended period of time.

Inspection and Testing

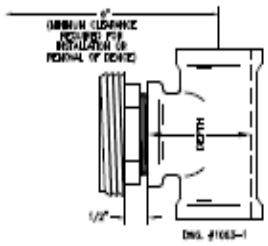
Check the operation of the unit by opening the inspector's test valve at the end of the sprinkler line or the drain and test connection, if an inspector's test valve is not provided.
If there are no provisions for testing the operation of the flow detection device on the system, application of the VSR-ST is not recommended or advisable.
The frequency of the inspection and testing and its associated protective monitoring system should be in accordance with the applicable NFPA Codes and Standards and/or authority having jurisdiction (manufacturer recommends quarterly or more frequently).

POTTER
The Symbol of Protection

FOR SMALL PIPE

VSR-ST
VANE TYPE WATERFLOW ALARM SWITCH WITH RETARD

Fig. 1



Screw the fitting into the TEE fitting as shown.
On sweat TEE's, no threaded bushings, inserts or adapters are permitted unless they comply with the dimensions listed in the chart below.

Important - the depth to the inside bottom of the TEE should have the following dimensions:

⚠ CAUTION

To prevent leakage apply teflon tape sealant to the 1" NPT male fitting only. Do not use any other type of lubricant or sealant.

Approximate Depth Requirement

Tee Size	Threaded	Sweat	CPVC
1" X 1" X 1"	2-1/16"	1-3/4"	2-7/16"
1-1/4" X 1-1/4" X 1"	2-7/16"	2-7/16"	N/a
1-1/2" X 1-1/2" X 1"	2-11/16"	2-1/4"	N/a
2" X 2" X1"	3-3/16"	2-3/4"	N/a

Fig. 2

Retard Adjustment:
The delay can be adjusted by rotating the retard adjustment knob from 0 to the max setting (60-90 seconds). The time delay should be set at the minimum required to prevent false alarms.

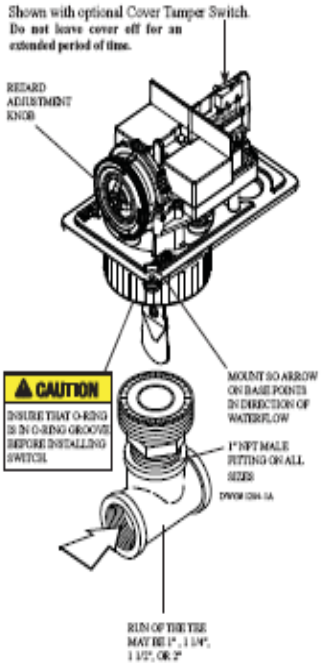
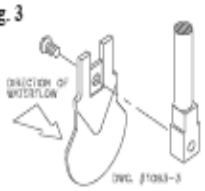


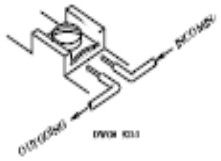
Fig. 3



⚠ WARNING

There are 12 paddles furnished with each unit. One for each size of threaded, sweat or plastic TEE as described in Fig. 1. *The paddles have raised lettering that show the pipe size and type of TEE that they are to be used with. The proper paddle must be used.* The paddle must be properly attached (see Fig. 3) and the screw that holds the paddle must be securely tightened.

Fig. 4 Switch Terminal Connections Clamping Plate Terminal



⚠ CAUTION

An uninsulated section of a single conductor should not be looped around the terminal and serve as two separate connections. The wire must be severed, thereby providing supervision of the connection in the event that the wire becomes dislodged from under the terminal.

Cover Tamper Switch
(Shown with cover in place)

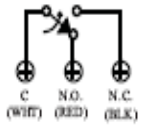
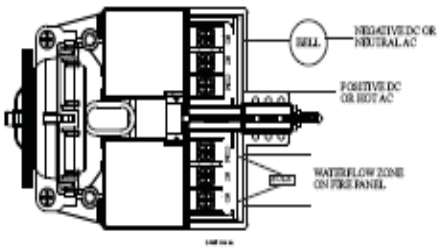


Fig. 5 Typical Electrical Connections

Notes:

1. The model VSR-ST has two switches, one can be used to operate a central station, proprietary or remote signaling unit, while the other is used to operate a local audible or visual annunciator.
2. For supervised circuits see "Switch Terminal Connections" drawing and CAUTION note (Fig. 4).



⚠ CAUTION

Waterflow switches that are monitoring wet pipe sprinkler systems shall not be used as the sole initiating device to discharge AFFF, deluge, or chemical suppression systems. Waterflow switches used for this application may result in unintended discharges caused by surges, trapped air, or short retard times.

5. ท่อ CPVC

tyco / Fire & Building Products

Technical Services: Tel: (800) 381-9312 / Fax: (800) 791-5500

rapidresponse™
HOME FIRE SPRINKLER SYSTEM

BlazeMaster ®
CPVC Fire Sprinkler Pipe & Fittings
Submittal Sheet

General Description

Tyco® CPVC Pipe and Fittings produced by Tyco Fire & Building Products (TFBP) are designed exclusively for use in wet pipe automatic fire sprinkler systems. The Tyco CPVC Pipe and Fittings are produced from BlazeMaster® CPVC compound that is a specially developed thermoplastic compound composed of post chlorinated polyvinyl chloride (CPVC) resin and state of the art additives. Tyco CPVC Pipe and Fittings are easier to install than traditional steel pipe systems, and at the same time, provide superior heat resistance and strength as compared to traditional CPVC and PVC piping materials used in the plumbing trade. Various adapters are available to connect CPVC pipe to metallic piping. All female pipe thread adapters have brass inserts for durability. Grooved adapters connect directly to grooved end valves and metallic pipe, with flexible grooved end couplings.

NOTICE

Tyco® CPVC Pipe and Fittings produced with BlazeMaster® CPVC compound described herein must be installed and maintained in compliance with this document and with the applicable standards of the National Fire Protection Association, in addition to the standards of any authorities having jurisdiction. Failure to do so may impair the performance of these devices.

The owner is responsible for maintaining their fire protection system and devices in proper operating condition. The installing contractor or sprinkler manufacturer should be contacted with any questions.

Technical Data

Sizes
3/4" to 3"

Maximum Working Pressure
175 psi

Approvals
UL, FM, C-UL, NSF, LPCB, MEA, and the City of Los Angeles. (Refer to Installation Handbook IH-1900 dated June 2008 for exact listing/approval information.)

Manufacture Source
U.S.A.

Material

- Pipe: ASTM F442, SDR 13.5
- Fittings: ASTM F438 (Sch. 40) and ASTM F439 (Sch. 80), ASTM F1970

Color
Orange

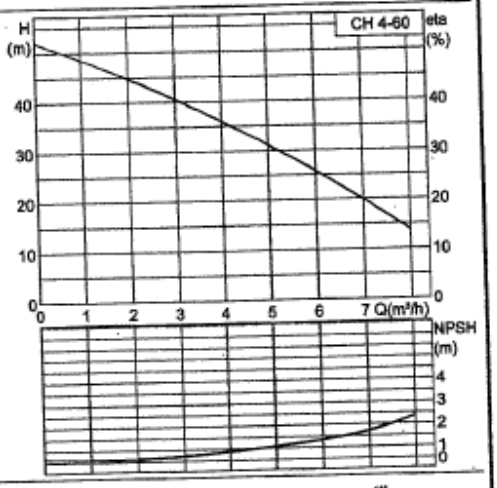
BlazeMaster® is a registered trademark of The Lubrizol Corporation

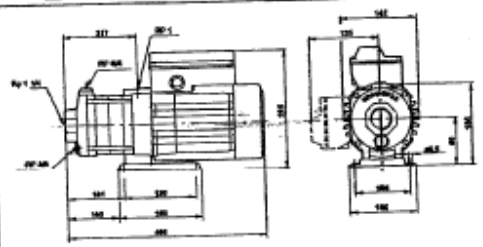
6. ปั๊มน้ำ

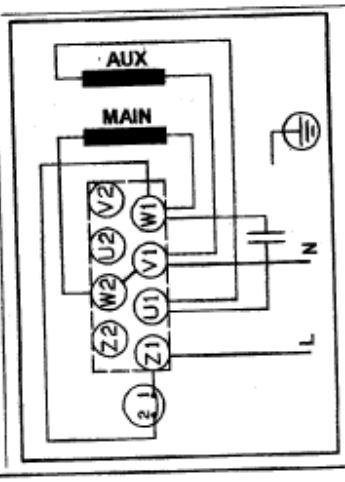
GRUNDFOS

Company name:
Created by:
Phone:
Fax:
Date: 13/3/2552

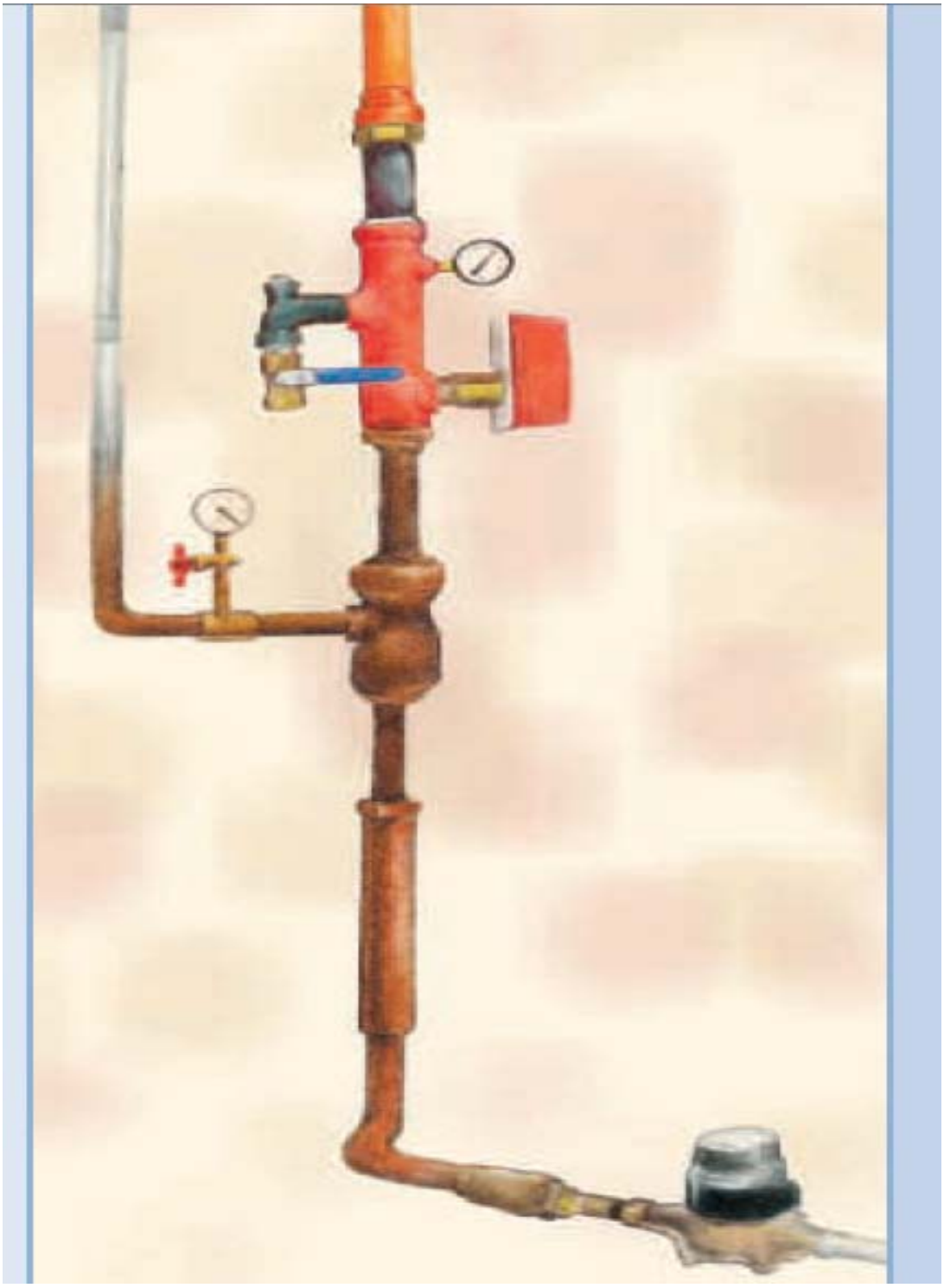
Product name:	CH 4-60 A-W-A CVBE
Product No:	44502106
EAN number:	5708601011467
Technical:	
Rated flow:	5 m³/h
Rated head:	31.3 m
Head max:	52 m
Shaft seal:	CVBE
Curve tolerance:	ISO 9906 Annex A
Pump version:	A
Model:	F
Materials:	
Pump housing:	Cast iron
	EN-JL1030 DIN W.-Nr.
	30 B ASTM
Impeller:	Stainless steel
	1.4301 DIN W.-Nr.
	304 AISI
Material code:	A
Installation:	
Range of ambient temperature:	0 .. 55 °C
Max pressure at stated temp:	6 / 90 bar / °C
	10 / 40 bar / °C
Connect code:	W
Pump inlet:	Rp 1 1/4
Pump outlet:	Rp 1
Liquid:	
Liquid temperature range:	0 .. 90 °C
Electrical data:	
Motor type:	MG80
Power input - P1:	1460 W
P2:	1050 W
Mains frequency:	50 Hz
Rated voltage:	1 x 220-240 V
Rated current:	6.7 A
Capacitor size - run:	25 µF/400 V
Enclosure class (IEC 34-5):	IP54
Insulation class (IEC 85):	F
Motor protec:	CONTACT
Thermal protec:	Internal
Others:	
Net weight:	15.2 kg
Gross weight:	16.6 kg
Shipping volume:	0.024 m³







Printed from Grundfos CAPS



ภาพผนวกที่ ง1 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์ระบบสปริงเกลอร์

ภาคผนวก จ

ผลการคำนวณ Manual Hydraulic Calculation

ผลการคำนวณ Manual Hydraulic Calculation

1. ผลการคำนวณ Manual Hydraulic Calculation กรณีสปริงเกลอร์ทำงาน 1 หัว

HYDRAULIC CALCULATION

FOR Calculation one sprikler

NOZZLE IDENTIFILE & LOCATION			FLOW IN G.P.M.	PIPE SIZE	PIPE FITTING & DEVICE		EQUIV. PIPE LENGTH	FRICTION LOSS PSI/FT	PRESSURE SUMMARY	
			13.700			L	0.98		Pt	10.300
101	K-4.9	q	13.700	1.109	CPVC	F	0	0.03262	Pe	-0.424
1	-0.98	Q	13.700			T	0.98		Pf	0.032
						L	2.46		Pt	9.908
1	0	q	0.000	1.109	Elbow 90	F	7	0.03262	Pe	0.000
2	0	Q	13.700			T	9.46		Pf	0.309
						L	6.56		Pt	10.216
2	0	q	0.000	1.109	Elbow 90	F	7	0.03262	Pe	0.000
3	0	Q	13.700			T	13.56		Pf	0.442
						L	6.85		Pt	10.659
3		q	0.000	1.109	Elbow 90	F	7	0.03262	Pe	0.000
4	0	Q	13.700			T	13.85		Pf	0.452
						L	7.9		Pt	11.110
4	0	q	13.700	1.109	Tee	F	5	0.03262	Pe	0.000
5	0	Q	13.700			T	12.9		Pf	0.421
						L	6.88		Pt	11.531
5	0	q	0.000	1.109	Elbow 90	F	7	0.03262	Pe	2.979
6	6.88	Q	13.700			T	13.88		Pf	0.453
						L	8.06		Pt	14.963
6	0	q	0.000	1.109	Elbow 90	F	7	0.03262	Pe	0.000
7	0	Q	13.700			T	15.06		Pf	0.491
						L	4.26		Pt	15.454
7	0	q	0.000	1.109	Elbow 90	F	7	0.03262	Pe	0.000
8	0	Q	13.700			T	11.26		Pf	0.367
						L	9.84		Pt	15.822
8	0	q	0.000	1.109	Elbow 90	F	7	0.03262	Pe	0.000
9	0	Q	13.700			T	16.84		Pf	0.549
						L	6.88		Pt	16.371
9	0	q	0.000	1.109	Elbow 90	F	7	0.03262	Pe	2.979
10	6.88	Q	13.700			T	13.88		Pf	0.453
						L	1.74		Pt	19.803
10	0	q	0.000	1.109		F	0	0.03262	Pe	0.000
11	0	Q	13.700			T	1.74		Pf	0.057
									Pt	19.859

ภาพผนวกที่ จ1 แสดงผลการคำนวณ Manual Hydraulic Calculation กรณีสปริงเกลอร์ทำงาน 1 หัว

ผลการคำนวณจะได้อัตราการไหลและความดันของปั๊มคือ 13.7 แกลลอน/นาทีที่ความดัน 19.859 psi เมื่อแปลงหน่วยอัตราการไหลเป็นลิตร/นาทีจะได้อัตราการไหลคือ 13.7 x 3.785 = 51.85 ลิตร/นาที และความดันเมื่อแปลงหน่วยเป็นบาร์คือ 19.859/14.7 = 1.350 บาร์

2. ผลการคำนวณ Manual Hydraulic Calculation กรณีสปริงเกลอร์ทำงาน 2 หัว

HYDRAULIC CALCULATION

FOR Calculation two sprikler

NOZZLE IDENTIFILE & LOCATION			FLOW IN G.P.M.	PIPE SIZE	PIPE FITTING & DEVICE	EQUIV. PIPE LENGTH		FRICTION LOSS PSI/FT	PRESSURE SUMMARY	
			11.07			L	0.98		Pt	7.000
101	K-4.9	q	11.070	1.109	CPVC	F	0	0.02199	Pe	-0.424
1	-0.98	Q	11.070			T	0.98		Pf	0.022
						L	4.1		Pt	6.597
1	0	q	0.000	1.109	Elbow 90	F	7	0.02199	Pe	0.000
2	0	Q	11.070			T	11.1		Pf	0.244
						L	0.98		Pt	7.000
102	K-4.9	q	11.070	1.109	Elbow 90	F	0	0.02199	Pe	-0.424
3	-0.98	Q	11.070			T	0.98		Pf	0.022
						L	6.1		Pt	6.597
2	0	q	0.000	1.109	Tee	F	5	0.06127	Pe	0.000
4	0	Q	22.140			T	11.1		Pf	0.680
						L	7.9		Pt	7.277
4	0	q	0.000	1.109	Tee	F	5	0.06127	Pe	0.000
5	0	Q	22.140			T	12.9		Pf	0.790
						L	12		Pt	8.068
5	0	q	0.000	1.109	Elbow 90	F	7	0.06127	Pe	2.979
6	6.88	Q	22.140			T	19		Pf	1.164
						L	8.06		Pt	12.211
6	0	q	0.000	1.109	Elbow 90	F	7	0.06127	Pe	0.000
7	0	Q	22.140			T	15.06		Pf	0.923
						L	4.26		Pt	13.134
7	0	q	0.000	1.109	Elbow 90	F	7	0.06127	Pe	0.000
8	0	Q	22.140			T	11.26		Pf	0.690
						L	9.84		Pt	13.823
8	0	q	0.000	1.109	Elbow 90	F	7	0.06127	Pe	0.000
9	0	Q	22.140			T	16.84		Pf	1.032
						L	6.88		Pt	14.855
9	0	q	0.000	1.109	Elbow 90	F	7	0.06127	Pe	2.979
10	6.88	Q	22.140			T	13.88		Pf	0.850
						L	1.73		Pt	18.685
10	0	q	0.000	1.109		F	0	0.06127	Pe	0.000
11	0	Q	22.140			T	1.73		Pf	0.106
									Pt	18.791

ภาพผนวกที่ จ2 แสดงผลการคำนวณ Manual Hydraulic Calculation กรณีสปริงเกลอร์ทำงาน 2 หัว

ผลการคำนวณจะได้อัตราการไหลและความดันของปั๊มคือ 22.14 แกลลอน/นาทีที่ความดัน 18.791 psi เมื่อแปลงหน่วยอัตราการไหลเป็นลิตร/จะได้อัตราการไหลคือ 22.14 x 3.785 = 83.79 ลิตร/นาที และความดันเมื่อแปลงหน่วยเป็นบาร์คือ 18.791/14.7 = 1.278 บาร์

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นายธนโชค สุขจิตต์
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 19 กุมภาพันธ์ 2523
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	วศ.บ. มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	วิศวกรฝ่ายขาย
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	บริษัท ไฟร์เทรด เอ็นจิเนียริ่ง จำกัด