วิทยานิพนธ์

การประยุกต์ใช้พลศาสตร์อัคคีภัยเพื่อใช้ในการออกแบบการจัดเก็บ
สารเคมีไวไฟเพื่อป้องกันการเกิดเพลิงไหม้

APPLICATION OF FIRE DYNAMIC SIMULATOR TO DESIGN
FLAMMABLE CHEMICAL MANAGEMENT
FOR FIRE PREVENTION

นางสาวเรืองรัตน์ ต่อไมตรี

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. 2551

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย)

ปริญญา

วิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย	โครงการสหวิทยาการระดับบัณฑิตศึกษา
สาขา	**ภาควิชา**

เรื่อง การประยุกต์ใช้พลศาสตร์อัคคีภัยเพื่อใช้ในการออกแบบการจัดเก็บสารเคมีไวไฟเพื่อป้องกันการเกิดเพลิงไหม้

Application of Fire Dynamic Simulator to Design Flammable Chemical Management for Fire Prevention

นามผู้วิจัย นางสาวเรืองรัตน์ ต่อไมตรี

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ....

(รองศาสตราจารย์ธงไชย ศรีนพคุณ, Ph.D.)

ประธานสาขาวิชา ....

(รองศาสตราจารย์สุรชัย รดาการ, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

....

(รองศาสตราจารย์วินัย อาจคงหาญ, M.A.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 8 **เดือน** เมษายน **พ.ศ.** 2551

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การประยุกต์ใช้พลศาสตร์อัคคีภัยเพื่อใช้ในการออกแบบการจัดเก็บสารเคมีไวไฟ เพื่อป้องกันการเกิดเพลิงไหม้

Application of Fire Dynamic Simulator to Design Flammable Chemical Management for Fire Prevention

โดย

นางสาวเรืองรัตน์ ต่อไมตรี

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย)
พ.ศ. 2551

เรืองรัตน์ ต่อไมตรี 2551: การประยุกต์ใช้พลศาสตร์อัคคีภัยเพื่อใช้ในการออกแบบการจัดเก็บสารเคมีไวไฟเพื่อป้องกันการเกิดเพลิงไหม้ ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย) สาขาวิชาวิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย โครงการสหวิทยาการระดับบัณฑิตศึกษา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์ธงไชย ศรีนพคุณ, Ph.D. 129 หน้า

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษา และนำเสนอมาตรการป้องกันและระงับอัคคีภัยในการจัดเก็บสารเคมีไวไฟภายในสถานประกอบกิจการประเภทอุตสาหกรรม โดยการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการสร้างแบบจำลอง เพื่อศึกษาพฤติกรรมการเกิดเพลิงไหม้ของสารเคมีไวไฟ การกระจายตัวของอุณหภูมิ และอัตราการปล่อยพลังงานความร้อน ซึ่งในการทดลองได้ทำการศึกษาจากสถานการณ์ที่เลวร้ายที่สุดที่อาจเกิดขึ้นในการจัดเก็บสารเคมี คือ กรณีสารเคมีรั่วไหลออกมาอยู่ภายในถาดรองสารเคมี และเกิดการลุกติดไฟ

ผลจากการศึกษาได้นำมาปรับปรุงมาตรการป้องกันและระงับอัคคีภัยในแบบเชิงรุกคือการติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิงและแบบเชิงรับในการจัดเก็บสารเคมีคือการลดขนาดหน้าตัดของถาดรองรับกรณีสารเคมีหกรั่วไหลภายในห้องจัดเก็บสารเคมีไวไฟ ซึ่งจากเดิมใช้ถาดรองรับสารเคมีหกรั่วไหลขนาดใหญ่เพียงถาดเดียว เมื่อสร้างแบบจำลองและใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในวิเคราะห์ผล เมื่อเกิดเพลิงไหม้พบว่าอัตราการปล่อยพลังงานความร้อนและอุณหภูมิที่เกิดจากเพลิงไหม้สูงถึง 1834.92 กิโลวัตต์ และ 655 องศาเซลเซียส ตามลำดับ แต่หลังจากที่ได้ทำการปรับปรุงโดยการลดขนาดหน้าตัดของภาชนะที่ใช้รองรับสารเคมี เพื่อจำกัดการลุมลามไฟไปตามผิวหน้าของของเหลวไวไฟ และติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิงเพื่อจ่ายน้ำลงมาดับไฟที่กำลังไหม้ ทำให้อัตราการปล่อยพลังงานความร้อนและอุณหภูมิที่เกิดจากเพลิงไหม้ลดลงเหลือ 596.98 กิโลวัตต์ และ 557.65 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เมื่อคำนวณค่าอัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนพบว่าอัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนที่เป็นค่าเฉพาะจากการทดลองลดลงร้อยละ 67.47 และอุณหภูมิลดลงร้อยละ 14.86 ซึ่งช่วยเพิ่มความปลอดภัยในการจัดเก็บสารเคมีไวไฟได้เป็นอย่างมาก

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก 30 / 05 / 2551

Reungrat Tormaitree 2008: Application of Fire Dynamic Simulator to Design Flammable Chemical Management for Fire Prevention. Master of Engineering (Fire Protection Engineering), Major Field: Fire Protection Engineering, Interdisciplinary Graduate Program. Thesis Advisor: Associate Professor Thongchai Srinopakun, Ph.D. 129 pages.

This research representative how to protect and fire prevention, this concerns with the fuel chemical keeping in all factorial. The computer program is provided and necessary usage to simulate fire-brunt situation model. From the simulation model we can learn how about temperature distribution and heat release rate. As we have tested in laboratory found that the worst case scenario may occur in the fuel chemical keeping area the keeping chemical occasionally lease and leaking to the chemical tray and finally got fire-brunt.

The result is extremely improve to set passive and active fire prevention by adding two things such as a sprinkler is the active fire prevention, and the passive fire prevention is reduction the front-size plate of chemical tray because we have experienced from the old model which is a big chemical tray but cannot protect fuel chemical leak. So this reason we can simulate the new chemical tray model by using computer designed and analyze the data from its when happen fire-brunt, situation, we found that heat release rate and temperature so high more than 1834.92 kilowatt and 655 ^{O}C. After we calculated from the lab found that the heat release different absolutely heat release rate was at 67.47 percent and temperature declined at 14.86 percent that event available to support us more carefully when fuel chemical keeping in safety area where can protect fire-disaster.

Student's signature	Thesis Advisor's signature	30 / 03 / 2008

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ รองศาตราจารย์ ดร. ธงไชย ศรีนพคุณ ประธานกรรมการที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.สุรชัย รดาการ หัวหน้าภาควิชา และผู้ช่วยศาสตราจารย์ดร.เดชา พวงดาวเรือง ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา และตอบข้อสงสัย ชี้แนะแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์และตรวจสอบความถูกต้องของวิทยานิพนธ์ให้กับข้าพเจ้า จนทำให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ และอาจารย์ประจำภาควิชาทุกท่านที่ได้ให้วิชาความรู้ และประสบการณ์ต่างๆ ทำให้สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการทำวิทยานิพนธ์และตลอดถึงการทำงานในอนาคตได้เป็นอย่างดี รวมถึงเจ้าหน้าที่ประจำโครงการวิศวกรรมป้องกันอัคคีภัยที่ให้ความช่วยเหลือในการติดต่อประสานงาน ตลอดจนเพื่อนนิสิตทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือในการหาข้อมูลสำหรับทำวิทยานิพนธ์ให้กับข้าพเจ้าเป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อเกิดสว่าง คุณแม่สุดา ต่อไมตรี พี่น้องและทุกท่านที่คอยเป็นกำลังใจและให้ความช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้มาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณเพื่อนร่วมงานของข้าพเจ้าทุกคนที่สนับสนุน และได้คอยช่วยเหลือระหว่างที่ข้าพเจ้ากำลังทำวิทยานิพน์ฉบับนี้

เรืองรัตน์ ต่อไมตรี

กุมภาพันธ์ 2551

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	41
อุปกรณ์	41
วิธีการ	42
ผลและวิจารณ์	61
ผลของพฤติกรรมการเกิดเพลิงไหม้ห้องสารเคมีไวไฟก่อนทำการปรับปรุง	61
ผลของพฤติกรรมการเกิดเพลิงไหม้ห้องสารเคมีไวไฟหลังทำการปรับปรุง	66
วิจารณ์	91
สรุปและข้อเสนอแนะ	93
สรุป	93
ข้อเสนอแนะ	96
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	98
ภาคผนวก	100
ภาคผนวก ก ขั้นตอนการใช้โปรแกรมในการวิเคราะห์และประเมินผลกระทบ	101
ภาคผนวก ข ขั้นตอนการวางหัวกระจายน้ำดับเพลิง	103
ภาคผนวก ค Input file ของแบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์ก่อนทำการปรับปรุงเพื่อป้องกันการเกิดเพลิงไหม้	105
ภาคผนวก ง Input file ของแบบจำลองห้องจัดเก็บสารเคมี หลังการออกแบบปรับปรุงเพื่อป้องกันการเกิดอัคคีภัย	110
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	129

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

ตารางที่		หน้า
1	ประเภทของไฟสามารถแยกตาม วัตถุดิบที่เป็นเชื้อเพลิง	6
2	การจำแนกของเหลวไวไฟและของเหลวติดไฟ Class IA	20
3	การจำแนกของเหลวไวไฟและของเหลวติดไฟ Class IB	21
4	การจำแนกของเหลวไวไฟและของเหลวติดไฟ Class IC	22
5	การจำแนกของเหลวไวไฟและของเหลวติดไฟ Class II	23
6	การจำแนกของเหลวไวไฟและของเหลวติดไฟ Class III	24
7	มาตรฐานในการจัดเก็บสารเคมีไวไฟ	26
8	อัตราการลุกไหม้ของไฟแบ่งตามการเผาไหม้และเงื่อนไขของไฟ	33
9	อัตราการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง	36
10	ค่าความร้อนของการกลายเป็นไอ (Heat of vaporization)	49
11	อัตราการเผาไหม้สูงสุดต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ (Maximum burning flux)	50
12	ค่าคงที่สำหรับหาอัตราการเผาไหม้ของอ่างไฟ (Pool fire)	52
13	การกำหนดค่าสูงสุดของระยะห่างระหว่างหัวกระจายน้ำดับเพลิง และพื้นที่ป้องกันของหัวกระจายน้ำดับเพลิง	58

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ปฏิกิริยาของการเผาไหม้	4
2	การนำความร้อน, การพาความร้อน, การแผ่รังสีความร้อน	7
3	สถาปัตยกรรม กับการป้องกันอัคคีภัย	9
4	การแบ่งพื้นที่แบบต่างๆ โดยใช้ผนังกันไฟ	10
5	ตู้คอนเทนเนอร์แบบสโตร์ขนาด 2.4 x 6 x 2.6 เมตร	14
6	ตู้คอนเทนเนอร์แบบสำนักงานขนาด 2.4 x 6 x 2.6 เมตร	14
7	ตู้คอนเทนเนอร์แบบห้องเย็นขนาด 2.4 x 12 x 2.9 เมตร (ไฮคิวบิก)	15
8	ตู้คอนเทนเนอร์แบบสโตร์ดัดแปลง	15
9	ตัวอย่างตู้คอนเทนนอร์ที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในงานต่างๆ	16
10	ตัวอย่างตู้คอนเทนเนอร์ที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในงานต่างๆ	18
11	ตัวอย่างตู้คอนเทนเนอร์ที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในงานต่างๆ	18
12	การจำแนกของเหลวไวไฟและของเหลวติดไฟ	20
13	รูปแบบมาตรฐานของตู้เก็บสารเคมีไวไฟ	25
14	การดับเพลิงด้วย Spray Water	34
15	ไฟในลักษณะต่างๆ	35
16	ลักษณะของตู้คอนเทนเนอร์ดัดแปลงที่ใช้ในการจัดเก็บสารเคมีไวไฟด้านนอก	43
17	แบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์ดัดแปลงที่ใช้ในการจัดเก็บสารเคมีไวไฟด้านนอก	44
18	แบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์ดัดแปลงที่ใช้ในการจัดเก็บสารเคมีไวไฟด้านใน	44
19	จุดติดตั้งหัววัดอุณหภูมิ และถาดรองรับสารเคมีหกรั่วไหลโดยมองจากทางด้านบน	45
20	จุดติดตั้งหัววัดอุณหภูมิ และถาดรองรับสารเคมีหกรั่วไหลโดยมองจากทางด้านข้าง	45
21	ไดอะแกรมแสดงการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงและฟลักซ์ความร้อนต่าง ๆ ที่ตกกระทบผิวเชื้อเพลิง	47

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
22	อัตราการเผาไหม้ของน้ำมันเบนซินของกองเพลิงขนาดต่าง ๆ	51
23	ออกซิเจนแคลอริมิเตอร์ (Oxygen Calorimeter)	55
24	แสดงการออกแบบตู้คอนเทนเนอร์ที่มีการแบ่งถาดรองสารเคมีให้มีขนาดเล็กลงโดยมีขนาดเท่ากับ 1 เมตร x 1 เมตร x 0.2 เมตร และตำแหน่งการติดตั้งหัววัดอุณหภูมิ	56
25	Miscellaneous Storage and Commodity Classes I through IV Storage	57
26	แสดงตำแหน่งที่มีหลังปรับปรุงโดยการติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิงสำหรับตู้คอนเทนเนอร์เก็บสารเคมีไวไฟ ตามมาตรฐาน NFPA	59
27	แสดงแบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์ดัดแปลงที่ใช้ในการจัดเก็บสารเคมีไวไฟด้านในหลังจากมีการติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิง 2 ชุด	60
28	ควันซึ่งเกิดจากการเผาไหม้จะลอยตัวขึ้นไปในแนวดิ่ง	61
29	ควันลอยตัวขึ้นไปจนกระทบกับเพดานของห้อง และเปลี่ยนทิศทางการไหลไปในแนวระดับขนานกับแนวการวางตัวของเพดานของตู้คอนเทนเนอร์	62
30	ภาพแสดงการกระจายตัวของควันอย่างรวดเร็วตั้งแต่ก่อนเกิดเพลิงไหม้ในวินาทีที่ 10, 20, 30, 40 และ 50 ตามลำดับ	62
31	ภาพแสดงการกระจายตัวอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในตู้คอนเทนเนอร์นั้นได้เพิ่มสูงขึ้นและกระจายตัวสู่ด้านบน ดังภาพตัดขวางตามระนาบแกน X ที่ตำแหน่ง X = 3.5	63
32	ภาพแสดงการกระจายตัวอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในตู้คอนเทนเนอร์นั้นได้เพิ่มสูงขึ้นและกระจายตัวสู่ด้านบน ดังภาพตัดขวางตามระนาบแกน Y ที่ตำแหน่ง Y = 5.5	63
33	ภาพแสดงการกระจายตัวอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในตู้คอนเทนเนอร์นั้นได้เพิ่มสูงขึ้นและกระจายตัวสู่ด้านบน ดังภาพตัดขวางตามระนาบแกน Z ที่ตำแหน่ง Z = 1.5	64
34	กราฟแสดงอัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นจากการสร้างแบบจำลองโดย FDS ก่อนออกแบบเพื่อควบคุมเพลิงไหม้	64

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
35	กราฟแสดงค่าอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจากการสร้างแบบจำลองโดย FDS ก่อนออกแบบเพื่อควบคุมเพลิงไหม้ที่ตำแหน่งความสูงของหัววัดอุณหภูมิที่ 1 เมตร	65
36	กราฟแสดงค่าอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจากการสร้างแบบจำลองโดย FDS ก่อนออกแบบเพื่อควบคุมเพลิงไหม้ที่ตำแหน่งความสูงของหัววัดอุณหภูมิที่ 2 เมตร	66
37	แบบห้องและแบบจำลองของจัดเก็บสารเคมีไวไฟแบบจำลองก่อนปรับปรุง	67
38	แบบห้องและแบบจำลองของจัดเก็บสารเคมีไวไฟกรณีหลังออกแบบปรับปรุงเพื่อควบคุมการเกิดเพลิงไหม้โดยการลดขนาดพื้นที่หน้าตัดของถาดรองรับสารเคมีกรณีหกรั่วไหล	67
39	ภาพแสดงการกระจายตัวของควันอย่างรวดเร็วตั้งแต่ก่อนเกิดเพลิงไหม้กรณีหลังลดขนาดพื้นที่หน้าตัดของถาดรองรับสารเคมีกรณีหกรั่วไหลในวินาทีที่ 10, 20, 30, 40 และ 50 ตามลำดับ	68
40	ภาพแสดงการกระจายตัวอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในตู้คอนเทนเนอร์กรณีหลังลดขนาดพื้นที่หน้าตัดของถาดรองรับสารเคมีกรณีหกรั่วไหลได้เพิ่มสูงขึ้นและกระจายตัวสู่ด้านบน ดังภาพตัดขวางตามระนาบแกน X ที่ตำแหน่ง X = 3.5 ในวินาทีที่ 10 (ภาพซ้าย) และวินาทีที่ 40 (ภาพขวา)	68
41	ภาพแสดงการกระจายตัวอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในตู้คอนเทนเนอร์กรณีหลังลดขนาดพื้นที่หน้าตัดของถาดรองรับสารเคมีกรณีหกรั่วไหลได้เพิ่มสูงขึ้นและกระจายตัวสู่ด้านบน ดังภาพตัดขวางตามระนาบแกน Y ที่ตำแหน่ง Y = 5.5 ในวินาทีที่ 10 (ภาพซ้าย) และวินาทีที่ 40 (ภาพขวา)	69
42	ภาพแสดงการกระจายตัวอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในตู้คอนเทนเนอร์กรณีหลังลดขนาดพื้นที่หน้าตัดของถาดรองรับสารเคมีกรณีหกรั่วไหลได้เพิ่มสูงขึ้นและกระจายตัวสู่ด้านบน ดังภาพตัดขวางตามระนาบแกน Z ที่ตำแหน่ง Z = 1.5 ในวินาทีที่ 10 (ภาพซ้าย) และวินาทีที่ 40 (ภาพขวา)	69

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
43	กราฟแสดงค่าความร้อนที่เกิดขึ้นจากการสร้างแบบจำลองโดย FDS หลังจากออกแบบ โดยการลดขนาดพื้นที่หน้าตัดของถาดรองรับสารเคมีกรณีหกรั่วไหล	70
44	กราฟแสดงค่าอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจากการสร้างแบบจำลองโดย FDS หลังจากออกแบบ โดยการลดขนาดพื้นที่หน้าตัดของถาดรองรับสารเคมีกรณีหกรั่วไหล ที่ตำแหน่งความสูงของหัววัดอุณหภูมิที่ 1 เมตร	71
45	กราฟแสดงค่าอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจากการสร้างแบบจำลองโดย FDS หลังจากออกแบบ โดยการลดขนาดพื้นที่หน้าตัดของถาดรองรับสารเคมีกรณีหกรั่วไหล ที่ตำแหน่งความสูงของหัววัดอุณหภูมิที่ 2 เมตร	71
46	แบบและแบบจำลองห้องจัดเก็บสารเคมีไวไฟหลังการปรับปรุงเพื่อควบคุมการเกิดเพลิงไหม้ โดยการติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิง	72
47	ภาพแสดงการกระจายตัวของควันอย่างรวดเร็วตั้งแต่ก่อนเกิดเพลิงไหม้ภายในห้องเก็บสารเคมีหลังการปรับปรุง โดยการติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิงในวินาทีที่ 10, 20, 30, 40 และ 50 ตามลำดับ	73
48	ภาพแสดงการกระจายตัวอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในตู้คอนเทนเนอร์หลังการติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิงนั้นได้เพิ่มสูงขึ้นและกระจายตัวสู่ด้านบน ดังภาพตัดขวางตามระนาบแกน X ที่ตำแหน่ง X = 3.5	73
49	ภาพแสดงการกระจายตัวอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในตู้คอนเทนเนอร์หลังการติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิงนั้นได้เพิ่มสูงขึ้นและกระจายตัวสู่ด้านบน ดังภาพตัดขวางตามระนาบแกน Y ที่ตำแหน่ง Y = 5.5	74
50	ภาพแสดงการกระจายตัวอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในตู้คอนเทนเนอร์หลังการติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิงนั้นได้เพิ่มสูงขึ้นและกระจายตัวสู่ด้านบน ดังภาพตัดขวางตามระนาบแกน Z ที่ตำแหน่ง Z = 1.5	74
51	กราฟแสดงอัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนที่ได้จากการวิเคราะห์โดย FDS สำหรับห้องจัดเก็บสารเคมี หลังการปรับปรุงโดยการติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิง	75

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
52	กราฟแสดงค่าอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจากการสร้างแบบจำลองโดย FDS หลังการปรับปรุงโดยการติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิง ที่ตำแหน่งความสูงของหัววัดอุณหภูมิที่ 1 เมตร	75
53	กราฟแสดงค่าอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจากการสร้างแบบจำลองโดย FDS หลังการปรับปรุงโดยการติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิง ที่ตำแหน่งความสูงของหัววัดอุณหภูมิที่ 2 เมตร	76
54	ค่าความร้อนที่เกิดขึ้นจากการจำลองโดย FDS แบบมีการออกแบบควบคุมเพลิงไหม้โดยการติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิง และแสดงค่าอุณหภูมิที่หัวกระจายน้ำดับเพลิงทำงาน	77
55	ภาพกลางด้านบนเป็นแบบแสดงตำแหน่งการติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิงโดยมองจากด้านบน ส่วนภาพซ้ายและขวาด้านล่างแสดงแบบจำลองของการลดขนาดพื้นที่หน้าตัดของถาดรองรับสารเคมี ร่วมกับการติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิงโดยมองจากด้านข้างและด้านบน	78
56	ภาพแสดงการกระจายตัวของควันอย่างรวดเร็วตั้งแต่ก่อนเกิดเพลิงไหม้ภายในห้องเก็บสารเคมีหลังจากลดขนาดพื้นที่หน้าตัดของถาดรองรับสารเคมี ร่วมกับการติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิงในวินาทีที่ 10, 20, 30, 40 และ 50 ตามลำดับ	79
57	ภาพแสดงการกระจายตัวอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในตู้คอนเทนเนอร์เก็บสารเคมีหลังจากลดขนาดพื้นที่หน้าตัดของถาดรองรับสารเคมี ร่วมกับการติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิงนั้นได้เพิ่มสูงขึ้นและกระจายตัวสู่ด้านบนดังภาพตัดขวางตามระนาบแกน X ที่ตำแหน่ง X = 3.5	79
58	ภาพแสดงการกระจายตัวอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในตู้คอนเทนเนอร์เก็บสารเคมีหลังจากลดขนาดพื้นที่หน้าตัดของถาดรองรับสารเคมี ร่วมกับการติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิงนั้นได้เพิ่มสูงขึ้นและกระจายตัวสู่ด้านบนดังภาพตัดขวางตามระนาบแกน Y ที่ตำแหน่ง Y = 5.5	80

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

ภาพที่		หน้า
59	ภาพแสดงการกระจายตัวอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในตู้คอนเทนเนอร์เก็บสารเคมีหลังจากลดขนาดพื้นที่หน้าตัดของถาดรองรับสารเคมี ร่วมกับการติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิงนั้นได้เพิ่มสูงขึ้นและกระจายตัวสู่ด้านบน ดังภาพตัดขวางตามระนาบแกน Z ที่ตำแหน่ง Z= 1.5	80
60	กราฟแสดงอัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนที่ได้จากการวิเคราะห์โดย FDS การปรับปรุงโดยการลดขนาดพื้นที่หน้าตัดของถาดรองรับสารเคมีกรณีหกรั่วไหล ร่วมกับการติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิง	81
61	กราฟแสดงค่าอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจากการสร้างแบบจำลองโดย FDS หลังการปรับปรุงโดยการลดขนาดพื้นที่หน้าตัดของถาดรองรับสารเคมีกรณีหกรั่วไหล ร่วมกับการติดตั้งและหัวกระจายน้ำดับเพลิงที่ตำแหน่งความสูงของหัววัดอุณหภูมิที่ 1 เมตร	82
62	กราฟแสดงค่าอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจากการสร้างแบบจำลองโดย FDS หลังการปรับปรุงโดยการลดขนาดพื้นที่หน้าตัดของถาดรองรับสารเคมีกรณีหกรั่วไหล ร่วมกับการติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิงที่ตำแหน่งความสูงของหัววัดอุณหภูมิที่ 2 เมตร	82
63	การกระจายตัวของอุณหภูมิในวินาทีที่ 10 เปรียบเทียบระหว่างกรณีปรับปรุงโดยการลดขนาดของถาดรองสารเคมีกรณีหกรั่วเพียงอย่างเดียว (ก) ปรับปรุงโดยการติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิงเพียงอย่างเดียว (ข) และกรณีปรับปรุงโดยใช้ทั้ง 2 วิธีร่วมกัน (ค)	84
64	การกระจายตัวของอุณหภูมิในวินาทีที่ 40 เปรียบเทียบระหว่างกรณีปรับปรุงโดยการลดขนาดของถาดรองสารเคมีกรณีหกรั่วเพียงอย่างเดียว (ก) ปรับปรุงโดยการติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิงเพียงอย่างเดียว (ข) และกรณีปรับปรุงโดยใช้ทั้ง 2 วิธีร่วมกัน (ค)	85

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
65	การกระจายตัวของอุณหภูมิในวินาทีที่ 120 เปรียบเทียบระหว่างกรณีปรับปรุงโดยการลดขนาดของถาดรองสารเคมีกรณีหกรั่วเพียงอย่างเดียว (ก) ปรับปรุงโดยการติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิงเพียงอย่างเดียว (ข) และกรณีปรับปรุงโดยใช้ทั้ง 2 วิธีร่วมกัน (ค)	86
66	กราฟแสดงอัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนเปรียบเทียบระหว่างกรณีปรับปรุงโดยการลดขนาดของถาดรองสารเคมีกรณีหกรั่วเพียงอย่างเดียว (ก) ปรับปรุงโดยการติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิงเพียงอย่างเดียว (ข) และกรณีปรับปรุงโดยใช้ทั้ง 2 วิธีร่วมกัน (ค)	87
67	กราฟแสดงค่าอุณหภูมิเปรียบเทียบระหว่างกรณีปรับปรุงโดยการลดขนาดของถาดรองสารเคมีกรณีหกรั่วเพียงอย่างเดียว (ก) ปรับปรุงโดยการติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิงเพียงอย่างเดียว (ข) และกรณีปรับปรุงโดยใช้ทั้ง 2 วิธีร่วมกัน(ค) ที่ความสูง 1 เมตร	88
68	กราฟแสดงค่าอุณหภูมิเปรียบเทียบระหว่างกรณีปรับปรุงโดยการลดขนาดของถาดรองสารเคมีกรณีหกรั่วเพียงอย่างเดียว (ก) ปรับปรุงโดยการติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิงเพียงอย่างเดียว (ข) และกรณีปรับปรุงโดยใช้ทั้ง 2 วิธีร่วมกัน (ค) ที่ความสูง 2 เมตร	89
69	ภาพตัดขวางแสดงค่าอุณหภูมิเปรียบเทียบระหว่างกรณีปรับปรุงโดยการลดขนาดของถาดรองสารเคมีกรณีหกรั่วเพียงอย่างเดียว (แบบ 2ก) ภาพบน และกรณีปรับปรุงโดยใช้ทั้ง 2 วิธีร่วมกัน (แบบ 2ค) ภาพล่าง ที่ความสูง 1.5 เมตร ในวินาทีที่ 100, 110 และ120 ที่สามารถเห็นความแตกต่างได้ชัดเจนกว่ากราฟ	90

ภาพผนวกที่		
1	ขั้นตอนการใช้โปรแกรมในการวิเคราะห์และประเมินผลกระทบ	102

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

k	ค่าคงที่ของ Stefan-Boltzman = 5.67 x 10-8 W/m^2K^4
l	ระยะความหนาของวัตถุ (m)
T	ค่าของอุณหภูมิ (Kelvin)
h	ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน
ε	สภาพเปล่งรังสีของวัสดุ
σ	ค่าคงที่ของ Stefan-Boltzman = 5.67 x 10-8 W/m^2K^4
Q	อัตราการไหล (Flow rate)
K	สัมประสิทธิ์ของ ขนาดของหัวกระจายน้ำ (Orifice flow coefficient, K-factor)
P	แรงดันในเส้นท่อ (Pipe Pressure)
AS	พื้นที่ป้องกันของหัวกระจายน้ำดับเพลิง
S	ระยะในเส้นท่อเดียวกัน (Along branch lines)
L	ระยะห่างระหว่างหัวกระจายน้ำดับเพลิง ระหว่างเส้นท่อที่ขนานกัน (Between branch lines)
$\dot{Q}$	อัตราการปล่อยพลังงาน (kW)
$\dot{m}$	อัตราการเผาไหม้มวลสารต่อหน่วยพื้นที่ต่อเวลา (kg/m^2-Sec)

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

$\Delta H_{c,eff}$	ค่าความร้อนของการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง (kJ/kg)
A_{dike}	พื้นที่ของการเผาไหม้ (m^2)
$k\beta$	ค่าคงที่ของการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง (m^{-1})
D	เส้นผ่าศูนย์กลางของพื้นที่ที่มีการเผาไหม้ (m)
$\dot{m}_f^{''}$	อัตราการเผาไหม้ต่อพื้นที่ หรือ ฟลักซ์การเผาไหม้ (g/ m^2-s)
$\dot{q}^{''}$	ฟลักซ์ความร้อนสุทธิที่ตกกระทบผิวของเชื้อเพลิง (Net heat fulx, kW/m^2)
L	ความร้อนของการกลายเป็นไอ (Heat Of Gasifiaction, kJ/g)
$\dot{q}^{''}_{flame}$	ผลรวมของ ฟลักซ์ความร้อนจากเปลวไฟ (Flame Heat Flux)
$q^{''}_{external}$	ฟลักซ์ความร้อนจากภายนอก (External Heat Flux)
$\dot{q}^{''}_{re}$	ฟลักซ์ความร้อนสูญเสียเนื่องจากการแผ่รังสีย้อนกลับ (Reradiation)
h_{fg}	ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ
c_p	ความจุความร้อนจำเพาะของเชื้อเพลิง
A	พื้นที่ของการเผาไหม้(m^2)
χ	ประสิทธิภาพการเผาไหม้ (Combustion efficiency)

การประยุกต์ใช้พลศาสตร์อัคคีภัยเพื่อใช้ในการออกแบบการจัดเก็บสารเคมีไวไฟเพื่อป้องกันการเกิดเพลิงไหม้

Application of Fire Dynamic Simulator to Design Flammable Chemical Management for Fire Prevention

คำนำ

ปัจจุบันสารเคมีไวไฟประเภทตัวทำละลายถูกนำมาใช้เป็นจำนวนมากในโรงงานอุตสาหกรรม และเป็นสิ่งจำเป็นที่ในกระบวนการผลิตขาดไม่ได้ ดังนั้น โรงงานอุตสาหกรรมทั้งหลายจึงจำเป็นต้องมีการจัดเก็บสารเคมีเหล่านี้สำรองไว้ในโรงงานตลอดเวลา ทั้ง ๆ ที่เจ้าของโรงงานอุตสาหกรรมทั้งหลายก็ทราบถึงอันตรายของสารเคมีเหล่านี้เป็นอย่างดี แต่โรงงานอุตสาหกรรมหลายแห่งก็มิได้มีมาตรการในการจัดการป้องกันภัยที่ดีพอ ซึ่งจะเห็นได้จากสถิติจำนวนอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นของประเทศไทยในรอบ 10 ปีที่ผ่านมา สารเคมีประเภทสี ทินเนอร์ และตัวทำละลายเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดเพลิงลุกไหม้ ถึง 16 ครั้ง (สุเมธา วิเชียรเพชร, ฝ่ายติดตามและฟื้นฟูกองจัดการสารอันตราย และกากของเสีย กรมควบคุมมลพิษ) ซึ่งสร้างความเสียหายมูลกว่า163 ล้านบาท มีผู้บาดเจ็บ 16 ราย และเสียชีวิตอีก 2 ศพ

ดังนั้นการวิจัยในครั้งนี้จึงได้ทำการศึกษาพฤติกรรมของสารตัวทำละลายเอทานอล ซึ่งเป็นสารเคมีประเภทตัวทำละลายชนิดหนึ่งที่นิยมใช้กันมากในวงการอุตสาหกรรมประเภทผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีการจัดเก็บในห้องเก็บสารเคมี โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สร้างแบบจำลองใช้ในการคาดคะเนหาระดับความรุนแรง เมื่อเกิดเพลิงไหม้ภายในห้องจัดเก็บสารเคมี การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ พฤติกรรมการลุกลามของเพลิงในเวลาต่าง ๆ ซึ่งการใช้โปรแกรมสร้างแบบจำลองนี้สามารถทำให้เห็นลักษณะการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลได้อย่างต่อเนื่องและชัดเจน และสามารถนำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์มาใช้ในการออกแบบและจัดเก็บสารเคมีได้อีกด้วย

วัตถุประสงค์

1. เพื่อใช้หลักวิศวกรรมป้องกันอัคคีภัยในการวิเคราะห์และแก้ไขปัญหาการจัดเก็บสารเคมีไวไฟประเภทตัวทำละลายเพื่อออกแบบและป้องกันไม่ให้เกิดการลุกลามของเพลิง

2. เพื่อศึกษาลักษณะการเกิดเพลิงไหม้ภายในห้องเก็บสารเคมีไวไฟประเภทตัวทำละลายด้วยการใช้โปรแกรมสร้างแบบจำลองการเกิดเพลิงไหม้ Fire Dynamic Simulator (FDS) ซึ่งสามารถเห็นลักษณะการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลได้อย่างต่อเนื่อง

3. เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและอัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนในช่วงเวลาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นภายในห้องจัดเก็บสารเคมีไวไฟประเภทตัวทำละลาย

4. เพื่อวางแนวทางป้องกันอัคคีภัยทั้งเชิงรุกและเชิงรับให้ปลอดภัยสำหรับห้องจัดเก็บสารเคมีไวไฟประเภทตัวทำละลาย

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถใช้โปรแกรม FDS สร้างแบบจำลองการเกิดเพลิงไหม้ภายห้องจัดเก็บสารเคมีไวไฟประเภทตัวทำละลายได้

2. ทำให้ทราบพฤติกรรมการเกิดเพลิงไหม้และการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่เกิดจากสารเคมีไวไฟประเภทตัวทำละลาย ภายในห้องจัดเก็บสารเคมีได้

3. สามารถนำผลที่ได้จากการวิจัยมาออกแบบการจัดเก็บสารเคมีไวไฟประเภทตัวทำละลาย เพื่อป้องกันการเกิดเพลิงไหม้ได้

4. สามารถนำผลที่ได้จากการวิจัยมาประยุกต์ใช้ในการหามาตรการป้องกันและหาแนวทางควบคุมเมื่อเกิดเพลิงไหม้ เพื่อป้องกันการเกิดเพลิงไหม้ขั้นรุนแรงได้

ขอบเขตของงานวิจัย

1. ใช้โปรแกรม FDS วิเคราะห์ปัญหาเพื่อป้องกันการเกิดเพลิงไหม้ห้องจัดเก็บตัวทำละลายสารเอทานอล ของโรงงานผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

2. กำหนดให้แหล่งต้นเพลิงเกิดจากภาชนะบรรจุสารเอทานอลในถาดรองขนาด $1.3 \times 3.8 \times 0.02$ เมตร ภายในตู้คอนเทนเนอร์เก็บสารเคมีขนาด 3 x 6 x 2.4 เมตรซึ่งอ้างอิงจากขนาดของตู้คอนเทนเนอร์ และถาดรองรับสารเคมีหกรั่วไหลขนาดเท่าของจริงที่ใช้งาน โดยเก็บเฉพาะสารละลายเอทานอลเพียงอย่างเดียว

3. การวิเคราะห์จำกัดที่การวิเคราะห์ด้วยแบบจำลอง โดยการใช้คอมพิวเตอร์เท่านั้นไม่มีการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

4. การสร้างแบบจำลองพลศาสตร์อัคคีภัยในงานวิจัยนี้ ข้อมูลของสารเคมีที่นำมาใช้ในการสร้างแบบจำลองมาจากฐานข้อมูลของตัวโปรแกรม FDS

การตรวจเอกสาร

ทฤษฎีการเกิดเพลิงไหม้

เพลิงไหม้ คือ ปฏิกิริยาการเผาไหม้ซึ่งถ้าไม่สามารถควบคุมได้อาจมีแนวโน้มที่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สิน ปฏิกิริยาการเผาไหม้เกิดจากการเชื้อเพลิงทำปฏิกิริยาเคมีกับก๊าซออกซิเจนก่อให้เกิดความร้อนและแสงสว่างเป็นปริมาณมาก ปฏิกิริยาการเผาไหม้ต้องการปัจจัย 3 อย่างที่จะทำให้เกิดการเผาไหม้สมบูรณ์ ด้แก่

1) เชื้อเพลิง (Fuel)
2) พลังงานความร้อนเป็นตัวเริ่มปฏิกิริยา (Heat causes vaporization)
3) ออกซิเจนในอากาศ 21 % (Oxygen 21 % in air)

ปฏิกิริยาการเผาไหม้จะเป็นไปอย่างต่อเนื่องเมื่อมีองค์ประกอบครบทั้ง 3 อย่างตลอดเวลาของการเกิดติดไฟ การจำกัดการติดไฟนั้นทำได้โดยการจำกัดปริมาณก๊าซที่ก่อให้เกิดเพลิงไหม้ปริมาณของออกซิเจนที่ 15% จนทำให้ไม่สามารถจุดติดไฟได้ แต่ถ้าปริมาณของก๊าซออกซิเจนที่ 26% อัตราการเผาไหม้จะเพิ่มเป็น 2 เท่าของสภาพปกติในระหว่างการเผาไหม้ของแข็งหรือของเหลวที่เป็นเชื้อเพลิงจะกลายเป็นไอระเหยติดไฟได้ก่อนและผสมกับออกซิเจน หลังจากนั้นจึงเกิดเหตุจุดติดไฟ ซึ่งสามารถแสดงปฏิกิริยาของการเผาไหม้ได้ดังภาพที่ 1

ภาพที่ 1 ปฏิกิริยาของการเผาไหม้

ที่มา: National Fire Protection Association [NFPA] (2002)

พฤติกรรมของไฟ

ความร้อนเป็นสิ่งที่ทำให้อุณหภูมิของเชื้อเพลิงสูงขึ้นถึงจุดติดไฟ (Ignitions point) และส่งผลต่อให้องค์ประกอบของการเกิดไฟ (ปฏิกิริยาการสันดาป) เกิดขึ้น อย่างเหมาะสม ซึ่งเชื้อเพลิงแต่ละชนิดย่อมจะมีจุดติดไฟไม่เหมือนกัน เช่น เชื้อเพลิงเหลวอาจมีจุดติดไฟต่ำกว่าพวกเชื้อเพลิงแข็ง

ความร้อนของการเผาไหม้ (Heat of combustion) คือ ปริมาณความร้อนที่ปลดปล่อยออกมาเมื่อสสารเกิดปฏิกิริยา การเผาไหม้ อย่างสมบูรณ์แล้ว (การเผาไหม้ คือ การเปลี่ยนรูปสสารให้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ) ความร้อนของการเผาไหม้ หมายถึง การเกิดความร้อน (calorific) หรือค่าเชื้อเพลิง (fuel value) โดยขึ้นอยู่กับชนิด จำนวนอะตอมในโมเลกุลและการจัดเรียงตัวของอะตอมในโมเลกุลค่าการเกิดความร้อน (calorific values) สำหรับเชื้อเพลิงก๊าซค่าการเกิดความร้อน (calorific values) นำมาใช้ในการคำนวณหาพิกัดขนาดของไฟ (fire loading) แต่ไม่ได้แสดงถึงอันตรายของไฟดังกล่าว เพราะอันตรายของไฟขึ้นอยู่กับอัตราการลุกไหม้ ซึ่งคำนวณค่ามาจากการแพร่กระจายของเชื้อเพลิง และปริมาณความร้อนทั้งหมดเกิดขึ้น

การแบ่งระยะของการเกิดเพลิงไหม้

การเกิดเพลิงไหม้สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ช่วงเวลา ได้แก่

1. ระยะเริ่มก่อตัวของเพลิงไหม้ (Growth Phase)
2. ระยะที่มีการเผาไหม้อย่างต่อเนื่อง (Steady State Burning Phase)
3. ระยะที่มีการเผาไหม้ลดลง (Decay Phase)

ประเภทของไฟแยกตามชนิดของวัตถุดิบ (Material Classifications of Fire) สามารถแยกตามชนิดของวัตถุดิบได้ดังแสดงในตารางที่ 1

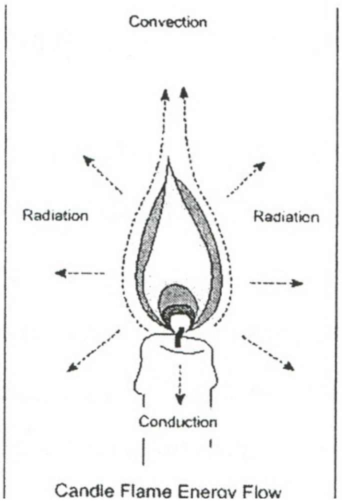
ตารางที่ 1 ประเภทของไฟสามารถแยกตามวัตถุดิบที่เป็นเชื้อเพลิง

ประเภทของไฟ	สัญลักษณ์	ประเภทของเชื้อเพลิง
A		ของแข็ง เช่น ฟืน ฟาง ยาง ไม้ ผ้า กระดาษ พลาสติก ปอ นุ่น ฝ้าย
B		ของเหลว & ก๊าซ เช่น น้ำมันแอลกอฮอล์ ทินเนอร์ จารบี
C		ของแข็งที่มีกระแสไฟฟ้าไหลอยู่ เช่น อุปกรณ์ไฟฟ้าทุกชนิด
D		โลหะ หรือสารเคมีที่ติดไฟ เช่น วัตถุระเบิด, ปุ๋ยยูเรีย

ที่มา: Department of Engineering (2006)

ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน

กลไกของ การถ่ายเทความร้อน (หรือพลังงาน) สิ่งที่จะสามารถทำให้เข้าใจพฤติกรรมและกระบวนการของไฟ ที่ควรจะสนในมีอยู่สามอย่างนั่นคือ การนำความร้อน, การพาความร้อน, และการแผ่รังสีความร้อน



ภาพที่ 2 การนำความร้อน, การพาความร้อน, การแผ่รังสีความร้อน

ที่มา: http//www.nasaexploers.com (2006)

สมการพื้นฐานสำหรับการถ่ายเทความร้อน ได้แก่

การนำความร้อน เป็นความสัมพันธ์ของกายถ่ายเทความร้อนผ่านของแข็งที่มีความหนา โดย k คือคุณสมบัติวัตถุหรือค่าการนำความร้อน (kW/mK), l คือระยะความหนาของวัตถุ (m) และ T_1, T_2คือค่าของอุณหภูมิ (ในองศา Kelvin)

$$\dot{q}'' = \frac{k}{l}(T_1 - T_2) \qquad \text{kW/m}^2 \qquad (1)$$

การนำความร้อน (Conduction) คือ ความร้อนซึ่งถ่ายเท เมื่อมีวัตถุชิ้นหนึ่งสัมผัสอยู่กับวัตถุอยู่กับวัตถุอื่นโดยตรง การนำความร้อนจะเกิดขึ้นเมื่อวัตถุที่ร้อนกับวัตถุที่เย็นกว่า สัมผัสกันนั่นคือ เมื่อวัตถุที่ร้อนถูกสัมผัสก็จะเย็นลง ส่วนวัตถุที่เย็นก็จะร้อนขึ้น

การพาความร้อน คือการถ่ายเทความร้อนจากของไหล เช่น อากาศ, เปลวไฟหรือความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ที่บริเวณผิดหน้าของไฟ (ของแข็ง หรือของเหลว) โดย h คือ ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน ฟลั๊กซ์การถ่ายเทความร้อนแบบพกพา แสดงได้ดังนี้

$$\dot{q}'' = h(T_1 - T_2) \qquad \text{kW/m}^2 \qquad (2)$$

การพาความร้อน คือ การถ่ายเทความร้อน โดยอาศัยการหมุนเวียนเคลื่อนที่ของตัวกลาง เช่น ก๊าซ หรือของเหลว ความร้อนที่เกิดขึ้นจากเตาไฟ จะแพร่กระจายไปทั่วทั้งห้องได้ เนื่องจากอากาศร้อนบริเวณเตา พาความร้อนออกมา การหมุนเวียนของอากาศร้อนไปทั่วทั้งห้องและไปถึงชิ้นวัตถุจัดเป็นการถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อน จากนั้นความร้อนจึงจะถ่ายเทจากอากาศไปสู่วัตถุด้วยวิธีการนำความร้อน (Conduction) ตามธรรมชาติของอากาศเมื่อได้รับความร้อนจะขยายตัวและลอยสูงขึ้น ดังนั้นการถ่ายเทความร้อนโดยการพา มักจะเกิดขึ้นในทิศทางเคลื่อนที่จากด้านล่างขึ้นสู่ด้านบนเสมอ แม้ว่าจะมีการใช้พัดลมเป่าให้กระแสอากาศอาจหมุนเวียนพาความร้อนไปทุกทิศทางแล้วก็ตาม

การแผ่รังสี (Radiation) คือ รูปแบบการเคลื่อนที่ของพลังงานผ่านห้วงอวกาศ 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) ซึ่งตาของคนเราสามารถมองเห็นได้แค่ในช่วงความยาวคลื่นหนึ่ง ๆ เท่านั้น โดย ε คือ สภาพเปล่งรังสีของวัสดุ σ เป็นค่าคงที่ของ Stefan-Boltzman = 5.67 x 10-8 W/m^2K^4

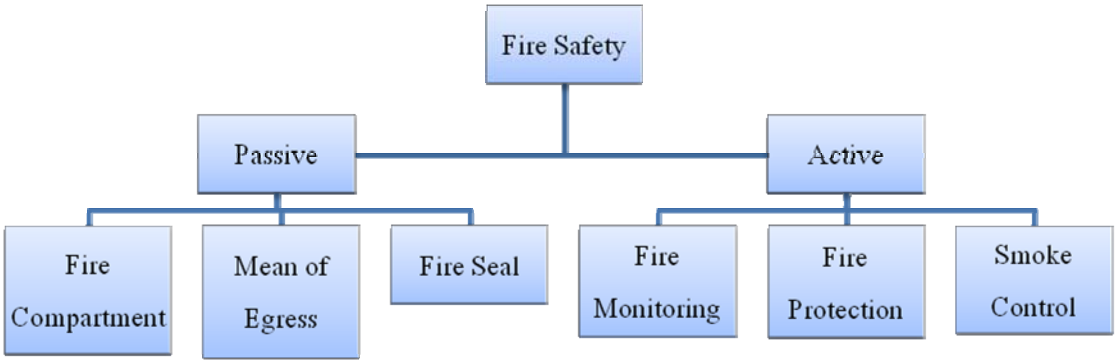
$$\dot{q}'' = \varepsilon\sigma\left({T_1}^4 - {T_2}^4\right) \qquad \text{kW/m}^2 \qquad (3)$$

การดับเพลิงเป็นทฤษฎีที่ตรงข้ามกับทฤษฎีการเกิดเพลิงไหม้ นั่นคือ การกำจัดองค์ประกอบการเกิดเพลิงไหม้ ทั้ง 3 อย่างออก เพื่อควบคุมปริมาณการเผาไหม้หรือทำให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ทำให้ไฟดับ ได้แก่

1. การกำจัดเชื้อเพลิงออก
2. การลดปริมาณออกซิเจนจาก 21% ให้ต่ำลงมาที่ 15% ในอากาศ
3. ลดอุณหภูมิของเชื้อเพลิงให้ต่ำกว่าจุดที่ติดไฟ
4. การตัดปฏิกิริยาลูกโซ่ของการเผาไหม้

หลักการออกแบบของการป้องกันและระงับอัคคีภัย (Design Concept of Fire Prevention)

การป้องกันอัคคีภัยที่เกี่ยวกับโครงสร้างและผลงานทางด้านสถาปัตยกรรมนั้น จะอยู่ในส่วนที่เรียกว่าเชิงรับ (Passive Fire Safety) และเมื่อมีการออกแบบระบบเชิงรับเรียบร้อยแล้ว จึงต้องจัดระบบป้องกันอัคคีภัยในส่วนเชิงรุก (Active Fire Safety) ดังภาพที่ 3 เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการป้องกันอัคคีภัยให้มีประสิทธิผลที่สูงสุด



ภาพที่ 3 สถาปัตยกรรม กับการป้องกันอัคคีภัย

ที่มา: เกชา (2542)

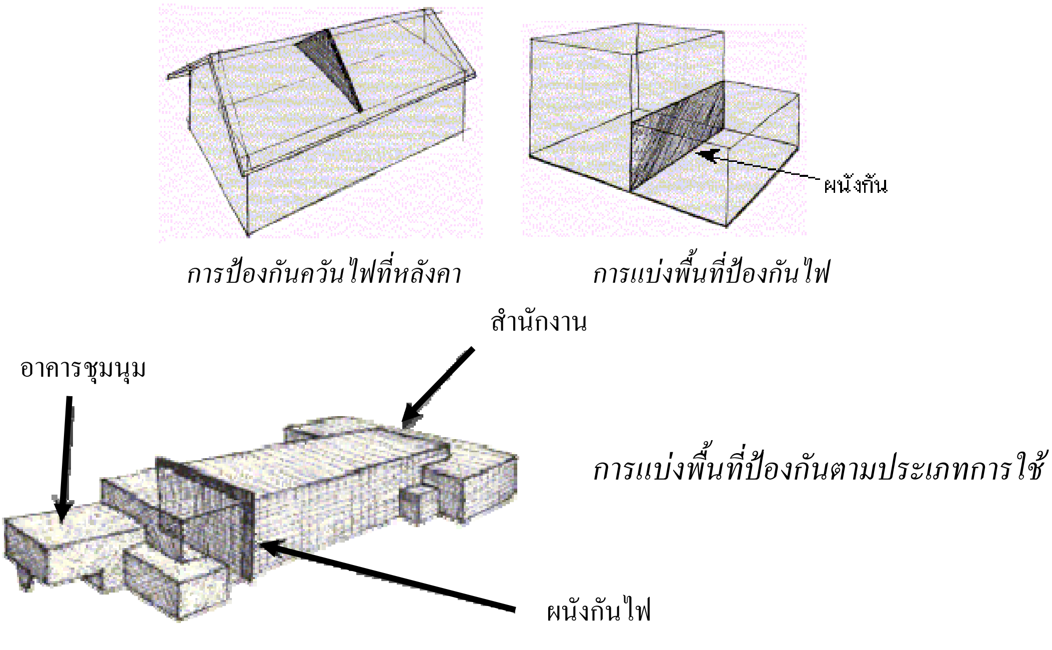
เมื่อเกิดเพลิงไหม้ขึ้นเพลิงจะเกิดจากจุดเล็ก ๆ และค่อย ๆ ขยายตัวลุกลามไปตามเชื้อเพลิงที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียงจนอาจลามไปถึงหน้าต่างและประตูทำให้เกิดความเสียหาย ในช่วงนี้เองแสงสว่างจะเปลวเพลิงจะสังเกตเห็นได้อย่างชัดเจน รวมไปถึงควันร้อนจะเริ่มมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ ถ้าควันเหล่านี้ไม่มีช่องระบายก็จะสะสมตัวเป็นชั้นควันร้อนซึ่งความสูงของชั้นควันก็จะขยายตัวลงด้านล่างเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นสาเหตุให้คนที่ติดอยู่ภายในกองเพลิงทั้งหลายเสียชีวิตมากที่สุดเนื่องจากการสำลักควันเหล่านี้นั่นเอง ดังนั้นเพื่อความปลอดภัยของชีวิต ป้องกันความเสียหายของทรัพย์สิน และให้ธุรกิจสามารถดำเนินต่อไปได้จึงต้องมีมาตรการในการป้องกันเกิดขึ้นซึ่งมาตรการดังกล่าวแบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ

1. การป้องกันเชิงรับ (Passive Fire Safety)

แนวทางของการป้องกันเชิงรับ สิ่งที่ต้องพิจารณาของระบบป้องกันอัคคีภัย คือ การหยุดการลามไฟเพื่อลดความสูญเสียที่เกิดกับชีวิต และทรัพย์สินให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ การป้องกันการลามไฟ ประกอบด้วยวิธีการ ดังนี้

ก. การแบ่งส่วนอาคารเพื่อป้องกันไฟด้วยแนวผนังกันไฟ (Fire Compartment) โดยในการแบ่งส่วนอาคารนั้นจะขึ้นอยู่กับประเภทของอาคาร ดังนี้

- อาคารที่มีพื้นที่ต่อชั้นมาก
- อาคารที่มีประเภทพื้นที่ใช้สอยคนละประเภทในอาคารเดียวกัน
- อาคารที่มีความสูงเกิน 30 ชั้น



ภาพที่ 4 การแบ่งพื้นที่แบบต่าง ๆ โดยใช้ผนังกันไฟ

ที่มา: เกชา (2542)

โดยแบ่งส่วนที่สำคัญออกจากส่วนอื่น ๆ ดังนี้

- โถงลิฟท์และโถงบันได
- โถงลิฟท์สำหรับพนักงานดับเพลิง
- ห้องอุปกรณ์ไฟฟ้า
- ห้องเก็บสินค้า
- ศูนย์บัญชาการดับเพลิง

คุณสมบัติของผนังทนไฟ

1) มีอัตราการทนไฟตามที่กำหนด ซึ่งส่วนมากมักจะเป็น 1-2 ชั่วโมง
2) แข็งแรง ไม่ล้มเมื่อถูกไฟเผา
3) จะต้องกั้นชนพื้นถึงพื้น
4) หากมีช่องเปิด ก็ต้องอุดปิดด้วยวัสดุกันไฟ
5) ควรมีป้ายแสดงว่าเป็นผนังทนไฟ

ข. ทางออก (Mean of Egress) เนื่องจากเป็นสิ่งที่สำคัญที่สุดที่จะทำให้คนมีหนทางรอดได้ แต่ส่วนใหญ่สถานประกอบการหลายแห่งก็มิได้ปฏิบัติให้ถูกต้องดังข้อกำหนดผลลัพธ์ที่เกิดขึ้น จึงทำให้มีผู้ที่เสียชีวิตมากมายเมื่อเกิดเพลิงไหม้แต่ละครั้ง ซึ่งข้อกำหนดของทางออกได้มีกำหนดไว้ตามมาตร ฐานของ NFPA 5000 ซึ่งกล่าวถึงความหมายของเส้นทางหนีไฟ ส่วนประกอบ ความสามารถ ความจุของเส้นทางหนีไฟ จำนวนเส้นทางหนีไฟ การจัดเตรียมเส้นทางหนีไฟ การวัดระยะจากระยะสัญจรจนถึงทางออก แสงสว่างภายในเส้นทางหนีไฟ ไฟสำรองฉุกเฉิน เครื่องหมายหรือสัญลักษณ์ในเส้นทางหนีไฟ ฯลฯ เช่น

1) ประตู (Door)

- ต้องเปิดจากภายในได้เมื่ออาคารเปิดใช้งาน

- ถ้าประตูมีล็อค ต้องเปิดได้โดยไม่ต้องใช้กุญแจ เครื่องมือพิเศษ หรือต้องใช้ความรู้ความสามารถพิเศษในการเปิดจากภายในอาคาร

- ทุกประตูของบันไดหนีไฟอาคาร 4 ชั้นขึ้นไป ต้อง Re-entry จากบันไดกลับเข้าภายในอาคารได้

- กลอน หรือสลักประตู ต้องติดตั้งไม่ต่ำกว่า 0.86 เมตร และไม่สูงกว่า 1.22 เมตรจากพื้น

- ถ้าเป็นประตูบานคู่ให้แต่ละบานมีที่เปิดของตัวเอง ห้ามใช้ประตูแบบที่ต้องเปิดบานหนึ่งก่อนจึงเปิดอีกบานหนึ่งได้

2) บันได (Stair)

- ต้องมีชานพักที่ประตูทางเข้า

- ชานพักต้องมีความกว้างไม่น้อยกว่าความกว้างบันได ยกเว้นบันไดตรง

- บันได และทางลาด ต้องมีราวจับทั้งสองด้าน

- บันไดที่สูงตั้งแต่ 5 ชั้นขึ้นไปต้องมีป้ายบอกข้อมูลติดภายใน

- ต้องปิดล้อมด้วยวัสดุที่มีอัตราการทนไฟอย่างน้อย 2 ชั่วโมง ซึ่งทำได้ 3 วิธี ได้แก่ Natural Ventilation, Mechanical Ventilation Incorporating a Vestibule, Pressurizing

ค. การอุดปิดกันไฟ (Fire Seal) ช่องท่อจะต้องปิดและใช้วัสดุเพื่ออุดกันไฟทุกชั้น ในทางปฏิบัติผู้รับเหมาจะเทพื้นให้เหลือช่องเปิดให้น้อย แล้วจึงอุดปิดด้วยฉนวนใยหินหรือใยแก้ว Fire Barrier และ Fire seal ซึ่งมักจะมีคุณสมบัติพองตัวเมื่อถูกความร้อนและกลายสภาพเป็นเซรามิก ส่วนท่อพีวีซีจะใช้ Fire Coupling รัดกับท่อ เมื่อถูกความร้อนและท่อพีวีซีละลายหายไปสารที่อยู่ใน coupling จะพองตัวและอุดช่องว่างเอง

ท่อลมต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นท่อแอร์หรือท่อระบายอากาศจะใช้ลิ้นกันไฟ (Fire Damper) หรือยิ่งไปกว่านั้น อาจจะใช้ลิ้นกันควันไฟ (Smoke Damper) ท่อที่เดินในแนวราบที่ผ่านผนังทนไฟและพื้นที่ปิดล้อมก็ต้องอุดกันไฟเช่นเดียวกัน

2. การป้องกันเชิงรุก (Active Fire Safety)

แนวทางของการป้องกันเชิงรุก สิ่งที่ต้องพิจารณาของระบบเตือนภัยและระงับอัคคีภัย คือ การตรวจจับเพลิงไหม้และการระงับเหตุเพลิงไหม้ เมื่อเกิดเพลิงไหม้ในระยะเริ่มต้นเพื่อลดความสูญเสียที่จะเกิดขึ้นกับชีวิตและทรัพย์สินให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ ซึ่งการแจ้งเหตุและระงับเหตุประกอบด้วยวิธีการ ดังนี้

ก. อุปกรณ์แจ้งเหตุและระบุตำแหน่งที่เกิดเพลิงไหม้ (Fire Monitoring)
ข. อุปกรณ์ระงับเหตุเพลิงไหม้ (Fire Protection)
ค. อุปกรณ์ระบายควัน (Smoke Control)

ชนิด และลักษณะทั่วไปของตู้คอนเทนเนอร์

1. ตู้คอนเทนเนอร์แบบสโตร์
2. ตู้คอนเทนเนอร์แบบสำนักงาน
3. ตู้คอนเทนเนอร์แบบห้องเย็น
4. ตู้คอนเทนเนอร์แบบสโตร์ดัดแปลง

ภาพที่ 5 ตู้คอนเทนเนอร์แบบสโตร์ขนาด 2.4 x 6 x 2.6 เมตร

ที่มา: http://www.containerconstruction.com/, 12 กันยายน 2550

ภาพที่ 6 ตู้คอนเทนเนอร์แบบสำนักงานขนาด 2.4 x 6 x 2.6 เมตร

ที่มา: http://www.containerconstruction.com/, 12 กันยายน 2550

ภาพที่ 7 ตู้คอนเทนเนอร์แบบห้องเย็นขนาด 2.4x12x2.9 เมตร (ไฮคิวบิก)

ที่มา: http://www.containerconstruction.com/, 12 กันยายน 2550

ภาพที่ 8 ตู้คอนเทนเนอร์แบบสโตร์ดัดแปลง

ที่มา: http://www.containerconstruction.com/, 12 กันยายน 2550

ตู้คอนเทนเนอร์ดัดแปลง

ตู้คอนเทนเนอร์ดัดแปลง นั้นหมายถึง การดัดแปลงใด ๆ เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้สอย ซึ่งประโยชน์ของตู้ที่สามารถสัมผัสได้คือ

1. ความแข็งแรงทนทาน อายุการใช้งานมากกว่า 15 ปี (ขึ้นกับการวาง)

2. สามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวกสำหรับตู้คอนเทนเนอร์ขนาด 6 เมตรเท่านั้น

3. มูลค่าหลังการใช้งานคงยังอยู่เมื่อเทียบกับอาคารคอนกรีต เพราะท่านสามารถขายเป็นเศษเหล็กได้ และค่ารื้อถอนยังถูกมาก

ภาพที่ 9 ตัวอย่างตู้คอนเนอร์ที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในงานต่าง ๆ

ที่มา: http://www.containerconstruction.com/, 12 กันยายน 2550

ตู้คอนเทนเนอร์สำนักงาน

ตู้คอนเทนเนอร์สำนักงานโดยทั่วไปแบ่งตามการดัดแปลงดังนี้

1. ตู้คอนเทนเนอร์ดัดแปลงขนาด 2.5 x 6 x 2.6 เมตร ประกอบด้วย

- การกรุภายในด้วยแผ่นฉนวนขนาด 6 มิลลิเมตร
- ประตูพีวีซีอย่างหนา ขนาด 0.8 x 2 เมตร 1 บาน
- หน้าต่างบานสไลด์ ขนาด 0.7 x 1.2 เมตร 2 บาน
- ระบบแสงสว่างหลอดฟูออเลสเซน 2 x 40 W

- ปลั๊ก 2 จุด เบรคเกอร์ 30 แอมป์

2. ตู้คอนเทนเนอร์ดัดแปลงขนาด 2.5 x 12 x 2.6 เมตร ประกอบด้วย

- การกรุภายในด้วยแผ่นฉนวนขนาด 6 มิลลิเมตร
- ประตูพีวีซีอย่างหนา ขนาด 0.8 x 2 เมตร 1 บาน
- หน้าต่างบานสไลด์ ขนาด 0.7 x 1.2 เมตร 4 บาน
- ระบบแสงสว่างหลอดฟูออเลสเซน 4 x 40 W
- ปลั๊ก 4 จุด เบรคเกอร์ 30 แอมป์

3. ตู้คอนเทนเนอร์ผนังเบา (Polystyrene) ต่อใหม่มีขนาดดังต่อไปนี้

3.1 ตู้คอนเทนเนอร์ผนังเบาขนาด 3 x 6 x 2.4 เมตร

- หน้าต่างบานกระทุ้ง 2 บาน
- ประตู 1 บาน
- ระบบแสงสว่างภายใน 2 x 40W เบรคเกอร์ 30 แอมป์

3.2 ตู้คอนเทนเนอร์ผนังเบาขนาด 3 x 12 x 2.4 เมตร

- หน้าต่างบานกระทุ้ง 6 บาน
- ประตู 1 บาน
- ระบบแสงสว่างภายใน 4 x 40W เบรคเกอร์ 30 แอมป์

ภาพที่ 10 ตัวอย่างตู้คอนเนอร์ที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในงานต่าง ๆ

ที่มา: http://www.containerconstruction.com/, 12 กันยายน 2550

ตู้คอนเทนเนอร์ทำความเย็น (Reefer)

ตู้คอนเทนเนอร์ทำความเย็นมีรายละเอียดเบื้องต้นดังนี้

- เครื่องมิซูบิชิเทอร์โมคิง/แคเรียร์/
- ทำอุณหภูมิที่ 20 ถึง -18 องศาเซลเซียส
- ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย สำหรับตู้ขนาด 6 เมตร 5-6,000 บาทต่อเดือน

ขนาดของตู้โดยทั่วไปมีดังนี้

1. ตู้คอนเทนเนอร์ห้องเย็นขนาด 2.5 x 12 x 2.6 เมตร (Standard)
2. ตู้คอนเทนเนอร์ห้องเย็นขนาด 2.5 x 12 x 2.9 เมตร (High cube)
3. ตู้คอนเทนเนอร์ห้องเย็นขนาด2.5 x 6 x 2.6 เมตร

ภาพที่ 11 ตัวอย่างตู้คอนเนอร์ที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในงานต่าง ๆ

ที่มา : http://www.containerconstruction.com/บริษัท คอนเทนเนอร์คอนสตรัคชั่น จำกัด

การจำแนกประเภทของสารเคมีอันตราย (Flammable & Combustible Liquid)

Flammable Liquid หมายถึง เชื้อเพลิงเหลวที่มี Flash point ต่ำกว่า 100 °F (37.8 °C) แบ่งได้เป็น 3 Class

- CLASS IA

เชื้อเพลิงเหลวที่มี Flash point ต่ำกว่า 73 °F (22.8 °C) และ Boiling Point ไม่เกิน 100 °F (37.8 °C)

- CLASS IB

เชื้อเพลิงเหลวที่มี Flash point ต่ำกว่า 73 ° F (22.8 °C) และ Boiling Point สูงกว่า 100 °F (37.8 °C)

- CLASS IC

เชื้อเพลิงเหลวที่มี Flash point สูงกว่า 73 °F (22.8 °C) แต่ไม่เกิน 100 °F (37.8 °C)

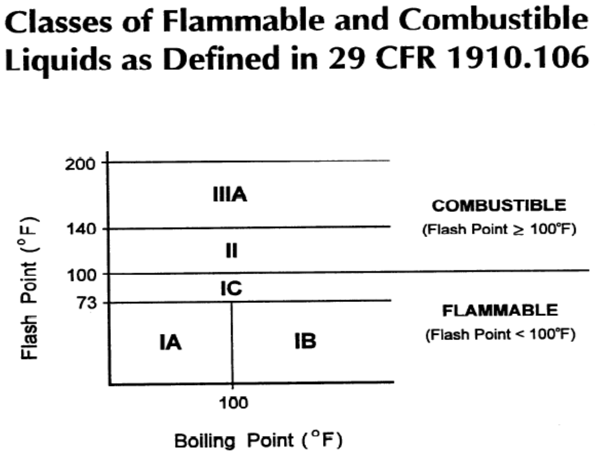
Combustible Liquid หมายถึง เชื้อเพลิงเหลวที่มี Flash point สูงกว่า 100 °F (37.8 °C) แบ่งได้เป็น 2 Class

- CLASS II

เชื้อเพลิงเหลวที่มี Flash point สูงกว่า 100 ° F (37.8 ° C) แต่ไม่เกิน 140 ° F (60 ° C)

- CLASS IIIA

เชื้อเพลิงเหลวที่มี Flash point สูงกว่า 140 ° F (60 ° C) แต่ไม่เกิน 200 ° F (93.3 ° C)



ภาพที่12 การจำแนกของเหลวไวไฟและของเหลวติดไฟ

ที่มา: http://www.osha.gov/pls/oshaweb/

ตารางที่ 2 การจำแนกของเหลวไวไฟและของเหลวติดไฟ Class IA

Class IA

Liquid		Flash Point (°F)	Boiling Point (°F)	Flammable Limit		Vapor Density Air = 1	PEL (ppm)
Common Name	Other Name			LEL	UEL		
1-1 Dichloroethylene	Vinylidene chloride	0	99	7.3	10.0	3.4	-
Ethylamine		<0	63	3.5	14.0	1.6	10
Ethyl Chloride	Chloroethane	-58	54	3.8	15.4	2.2	1000
Ethyl Ether	Ether	-49	95	1.9	36.0	2.6	400
Isopentane		<-60	82	1.4	7.6	2.5	-
Isopropyl Chloride	2-Chloropropane	-26	97	2.8	10.7	2.7	-
Methyl Formate		-2	90	5.0	23.0	2.1	100
Pentane		<-40	97	1.5	7.8	2.5	1000
Propylene Oxide		-35	93	2.8	37.0	2.0	100

ที่มา: http://www.osha.gov/pls/oshaweb/

ตารางที่ 3 การจำแนกของเหลวไวไฟและของเหลวติดไฟ Class IB

Class IB

Liquid		**Flash Point (^oF)**	**Boiling Point (^oF)**	**Flammable Limit**		**Vapor Density Air = 1**	**PEL (ppm)**
Common Name	**Other Name**			**LEL**	**UEL**		
Acetone		0	134	2.6	12.8	2.0	1000
Benzene	Benzol	12	176	1.3	7.1	2.8	1
Carbon Disulfide	Carbon bisulfide	-22	115	1.3	50.0	2.6	20
1,2-Dichloroethylene	Acethylene	43	140	9.7	12.8	3.4	200
Ethyl Acetate		24	171	2.2	11.0	3.0	400
Ethyl Alcohol	Ethanol,	55	173	3.3	19	1.6	1000
Ethyl Benzene		59	277	1.0	6.7	3.7	100
Gasoline		-45	100-399	1.4	7.6	3-4	-
Hexane		-7	156	1.1	7.5	3.0	500
Methyl Acetate		14	135	3.1	16	2.6	200
Methyl Alcohol	Wood alcohol,	52	147	6.7	36	1.1	200
Methyl Ethyl Ketone	MEK, 2-	21	176	1.8	10	2.5	200
Methyl Propyl	2-Pentanone	45	216	1.5	8.2	2.9	200
VM&P Naphtha	76^o Naphtha	20-45	212-320	0.9	6.0	4.2	-
Octane		56	257	1.0	6.5	3.9	500
Propyl Acetate		58	215	2.0	8.0	3.5	200
Isopropyl Acetate		40	192	1.8	8.0	3.5	250
Isopropyl Alcohol	IPA, 2-Propanol	53	180	2.0	12	2.1	400
Toluene	Toluol	40	232	1.2	7.1	3.1	200
Butyl Acetate		72	260	1.7	7.6	4.0	150

ที่มา: http://www.osha.gov/pls/oshaweb/

ตารางที่ 4 การจำแนกของเหลวไวไฟและของเหลวติดไฟ Class IC

Class IC

Liquid		Flash Point (^{o}F)	Boiling Point (^{o}F)	Flammable Limit		Vapor Density Air = 1	PEL (ppm)
Common Name	**Other Name**			**LEL**	**UEL**		
Isoamyl Acetate	Banana Oil	77	288	1.0	7.5	4.5	100
Amyl Alcohol	Pentanol	91	281	1.2	10	3.0	
Butyl Alcohol	Butanol	84	243	1.4	11.2	2.6	100
Methyl Isobutyl Ketone	MIBK, Hexone	73	246	1.4	7.5	3.5	100
Naphtha (Petroleum)	Mineral Spirits, Petroleum Ether	85-110	302-399	0.8	0.6	4.2	-
Propyl Alcohol	Propanol	77	208	2.1	13.5	2.1	200
Styrene (Monomer)	Vinyl Benzene	90	295	1.1	6.1	3.6	100
Turpentine		95	307-347	0.8	-	-	100
Xylene	Xylol	81-115	281-291	1.1	7.0	3.7	100

ที่มา: http://www.osha.gov/pls/oshaweb/

ตารางที่ 5 การจำแนกของเหลวไวไฟและของเหลวติดไฟ Class II

Class II

Liquid		Flash Point (°F)	Boiling Point (°F)	Flammable Limit		Vapor Density Air = 1	PEL (ppm)
Common Name	**Other Name**			**LEL**	**UEL**		
Isoamyl Alcohol		109	268	1.2	-	3.0	100
Cellosolve Acetate	2-Ethoxyethyl Acetate	117	313	1.7	-	4.7	100
Cyclohexanone		111	313	-	-	3.4	50
Fuel Oil #1 & #2		100+	-	-	-	-	-
Fuel Oil #4		110+	-	-	-	-	-
Fuel Oil #5		130+	-	-	-	-	-
Kerosene		110-150	180-300	0.7	5.0	4.5	-
Naphtha (coal tar)		100-110	300-400	-	-	4.3	100
Naphtha (High Flash)	100o Naphtha Safety Solvent, Stoddard Solvent	100-110	300-400	6.0	6.0	>4.2	500
Methyl Cellosolve	2-Methoxyethanol	115	255	14.0	14.0	-	25

ที่มา: http://www.osha.gov/pls/oshaweb/

ตารางที่ 6 การจำแนกของเหลวไวไฟและของเหลวติดไฟ Class III

Class III

Liquid		**Flash Point (^oF)**	**Boiling Point (^oF)**	**Flammable Limit**		**Vapor Density Air = 1**	**PEL (ppm)**
Common Name	**Other Name**			**LEL**	**UEL**		
Aniline		158	363	1.3	-	3.2	5
Butyl Cellosolve		160	340	1.1	10.6	4.1	50
Cellosolve Solvent		202	275	1.8	14.0	3.1	200
Cyclohexanol		162	322	-	-	2.5	50
Ethylene Glycol	Glycol	232	387	3.2	-	-	-
Furfural		140	324	2.1	19.3	3.3	5
Glycerine	Glycerol	320	554	-	-	3.2	-
Isophorone		184	419	0.9	3.9	-	25
Nitrobenzene		190	412	-	-	4.3	1

ที่มา: http://www.osha.gov/pls/oshaweb/

ตู้เก็บสารไวไฟ

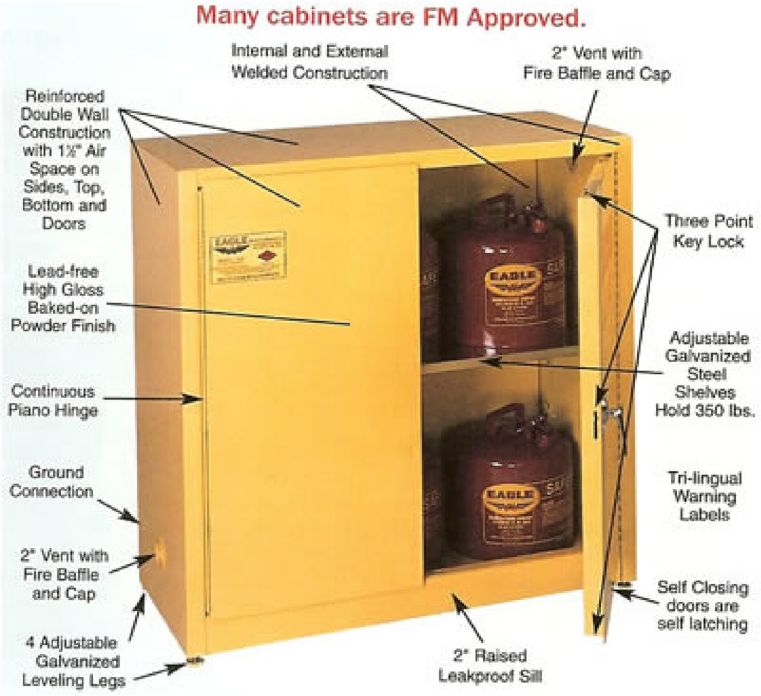
- เก็บ ≤ 60 แกลลอน สำหรับ Class I, Class II และ ≤ 120 แกลลอน สำหรับ Class III

- วัสดุทำตู้ต้องทำจากไม้หรือเหล็กที่ผ่านการทดสอบว่าภายในตู้สามารถทนอุณหภูมิได้ไม่น้อยกว่า 325 ^{o} F ในเวลา 10 นาที

- ติด Label ที่มองเห็นชัดเจนว่า “Flammable-Keep Fire Away”

- ตัวตู้และประตูต้องทำด้วยเหล็กที่ความหนาไม่น้อยกว่าเหล็กเบอร์18 ประตู และผนังต้องทำเป็นเหล็กโปร่งมีช่อง air gap ขนาด 1.5นิ้ว

- ประตูตู้ต้องมีที่ล๊อค 3 แห่งและฐานประตูต้องยกสูงจากด้านล่าง 2 นิ้ว



ภาพที่ 13 รูปแบบมาตรฐานของตู้เก็บสารเคมีไวไฟ

ที่มา: http://www.osha.gov/pls/oshaweb/

ห้องเก็บสารไวไฟ

- ห้องที่สร้างต้องอ้างอิง NFPA 251-1969 , Standard Methods of Fire Tests of Building Construction and Materials

- ประตูห้องต้องสามารถปิดเองได้

- กำแพงต้องทำด้วยวัตถุทนไฟอย่างน้อย 2 ชั่วโมง

- ต้องทำธรณีประตู,ทางลาดของห้องที่เก็บวัตถุไวไฟให้สูงจากพื้นไม่น้อยกว่า 4 นิ้ว หรือทำห้องเก็บสารไวไฟให้พื้นต่ำกว่าห้องอื่นไม่น้อยกว่า 4 นิ้ว

ตารางที่ 7 มาตรฐานในการจัดเก็บสารเคมีไวไฟ

STORAGE IN INSIDE ROOMS			
Fire Protection Provided[2]	**Fire Resistance**	**Maximum Floor Area(ft)[2]**	**Total Allowable Quantities (gal/ft[2] floor area)**
Yes	2 hr.	500	10
No	2 hr.	500	4’
Yes	1 hr.	150	5’
No	1 hr.	150	2

ที่มา: http://www.osha.gov/pls/oshaweb/

งานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม Fire Dynamics simulator มาช่วยในการวิเคราะห์สาเหตุการลุกลามของเพลิงในพื้นที่ปิดล้อมและใช้พื้นฐานของสามเหลี่ยมของไฟมาใช้อธิบายการเกิดเพลิงไหม้เบื้องต้นเพื่อมาหาแนวทางการออกแบบห้องเก็บสารเคมีไวไฟให้มีความปลอดภัย และนำค่าไปประยุกต์ใช้ในการกำหนดวิธีการป้องกันการเกิดการลุกลามของเพลิงไหม้ห้องเก็บสารเคมีไวไฟให้เหมาะสม

การสร้างแบบจำลองพลศาสตร์อัคคีภัย โดยใช้โปรแกรม FDS

การจำลองการเกิดเพลิงไหม้ด้วย CFD

ควันและแก๊สพิษเป็นสาเหตุของการเสียชีวิตจากเพลิงไหม้ แม้ว่าจะมีการพัฒนาปรับปรุงการออกแบบอาคารให้ได้ตามมาตรฐาน แต่การแพร่กระจายอย่างรวดเร็วของเปลวไฟ และควันไฟยังคงเป็นปัญหาหลักและจำเป็นที่ต้องทำความเข้าใจกับพฤติกรรมของไฟให้มากขึ้น

ดังนั้นจึงมีการนำแบบจำลองของไฟ (Fire Modeling) และเครื่องมือที่ช่วยให้มองเห็นภาพ (Visualization Tool) มาใช้เพื่อหาทางป้องกันแก้ไขการแพร่กระจายของควันและเปลวไฟ

1. CFD คืออะไร

ปี 1970 สถาบัน NIST (The National Institute of Standard and Technology) ของประเทศสหรัฐอเมริกาได้พัฒนาแบบจำลองเกี่ยวกับไฟฟ้าที่สามารถอธิบายได้ว่าไฟสามารถแผ่ไปในห้องได้อย่างไร แบบจำลองจะแบ่งห้องปิดล้อมออกเป็น 2 ส่วน โดยพบว่าส่วนบนจะประกอบไปด้วยควันร้อนและผลพลอยได้จากการเผาไฟม้ ส่วนล่างประกอบไปด้วยอากาศที่มีอุณหภูมิใกล้เคียงกับบรรยากาศปกติ แบบจำลองนี้จึงช่วยให้เราอธิบายได้ว่าพื้นจะยุบตัวลงมาเมื่อเกิดเพลิงไหม้ได้อย่างไร

แบบจำลองแบบแบ่งเขตของไฟ (Zone Fire Model) ใช้หลักการของสมการอนุรักษ์มวลและพลังงานเพื่ออธิบายการเกิดไฟของทั้ง 2 ชั้น คือด้านบน และด้านล่าง สมการโมเมนตัม, กฎของ Bernoulli ถูกนำมาใช้คำนวณอัตราการไหลของลมภายในห้องปิดล้อม (Compartment) ซึ่งสมการเหล่านี้สามารถอธิบายกระบวนการทางกายภาพ เช่น การลุกไหม้ของไฟและการแพร่รังสีความร้อนและการถ่ายเทความร้อน Zone Fire Model ช่วยในการพยากรณ์การแบ่งความสูงของทั้ง 2 ชั้นในห้องปิดล้อม และอุณหภูมิในแต่ละชั้น โดยพิจารณาจากแนวโน้มการก่อตัวเป็นชั้นของควันร้อนหรือการลอยตัวของความร้อนในแต่ละชั้น อย่างไรก็ตาม Zone Fire Model ไม่ได้พิจารณาเกี่ยวกับปัจจัยอื่นที่มีความสำคัญ แต่จะพิจารณาข้อมูลเกี่ยวกับอัตราการปล่อยค่าความร้อน ซึ่งการคำนวณโดยใช้ Zone Fire Model บนเครื่องคอมพิวเตอร์สามารถทำได้ภายในเวลาไม่กี่นาที ซึ่งเทคนิค Computational fluid dynamics (CFD) มักถูกใช้ใน Zone Fire Model

2. Fire Dynamics Simulator และ Smoke View

การศึกษาแบบจำลองของไฟด้วยคอมพิวเตอร์ล่าสุดที่ NIST ได้สนับสนุนให้นำมาใช้งานคือ Fire Dynamics Simulator (FDS) ซึ่งระบบนี้จะทำการพยากรณ์การเคลื่อนที่ของควัน หรือการไหลของอากาศร้อนที่เกิดจากเพลิงไหม้, แรงลม, ระบบระบายอากาศ และปัจจัยอื่น ๆ โดย CFD ใช้เทคนิค ที่เรียกว่า LES (Large Eddy Simulator) เพื่ออธิบายเกี่ยวกับการเกิดความร้อนจากเพลิงไหม้ในห้องปิดล้อม นอกจากนี้ LES ยังใช้อธิบายความแปรปรวนของอัตราการไหล โดยความแปรปรวนนี้เป็นสาเหตุ ให้แก๊สเคลื่อนที่ไปได้ในระยะที่กว้าง ซึ่งเป็นสิ่งที่ยากต่อการจำลองเหตุการณ์บนคอมพิวเตอร์ ในขณะที่ FDS สามารถอธิบายเกี่ยวกับการเผาไหม้ในรูปแบบ

ง่ายๆ คือ เชื้อเพลิง และออกซิเจนจะถูกเผาทันทีที่ผสมกัน และจากการทดลองพบว่ามีปฏิกิริยาทางเคมีเข้ามาเกี่ยวข้องในกระบวนการเป็นจำนวนมากถึงร้อยปฏิกิริยา

FDS ถูกพัฒนาขึ้นมาโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อแก้ไขปัญหาเกี่ยวกับไฟในระบบวิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย ด้วยการใช้เครื่องมือเกี่ยวกับหลักการของกลไกการเกิดไฟแลการเผาไหม้ โดยมีการใช้ Smoke view เข้ามาในการแสดงผลของ FDS ได้ง่ายขึ้น ซึ่งสามารถนำไปใช้งานในแบบจำลองนี้เกี่ยวข้องกับการออกแบบระบบต่าง ๆ ของอาคาร เช่น ระบบดักจับควันและระบบกระจายน้ำดับเพลิง และสามารถนำไปใช้งานในส่วนเกี่ยวข้องกับบ้านพักอาศัย และสิ่งปลูกสร้างทางอุตสาหกรรม

3. รายละเอียดของการจำลองแบบ

FDS มีหลักการที่เหมือนกับแบบจำลอง CFD คือ แบ่งห้องหรืออาคารออกเป็นส่วนเล็กๆ ในลักษณะที่เรียกว่า computational cell เพื่อใช้คำนวณความหนาแน่น, ความเร็ว, อุณหภูมิ, ความดัน และความเข้มข้นของแก๊สในแต่ละช่องโดยใช้กฎการอนุรักษ์มวลและพลังงาน FDS นี้จะใช้คุณสมบัติของวัสดุต่างๆ เช่น วัสดุตกแต่ง ผนังห้อง พื้นห้อง และเพดานในการจำลองเหตุการณ์การเกิดเพลิงไหม้

ความสามารถในการแสดงผลของแบบจำลองนี้ขึ้นอยู่กับการออกแบบจำนวน Cell ลักษณะเดียวกับคุณภาพของภาพดิจิตอลขึ้นอยู่กับจำนวนพิกเซล (Pixel) ซึ่งคอมพิวเตอร์ในปัจจุบันสามารถกำหนดได้ถึง 2-3 ล้านพิกเซล ดังนั้นผู้ใช้งานต้องตัดสินใจว่าต้องการผลลัพธ์ที่มีความละเอียดมากน้อยเพียงใด จำนวนช่องและอัตราการไหลเป็นส่วนสำคัญในการกำหนดระยะเวลาในการทดลองโดยระยะเวลาในการทดลองอาจอยู่ในช่วงของนาทีถึงสัปดาห์ขึ้นอยู่กับจำนวนของช่องและระยะเวลาของการคำนวณ ซึ่งผู้ใช้งานส่วนใหญ่พยายามกำหนดเวลาในการทดลองไว้ไม่ให้เกินกว่า 1-2 วัน

แบบจำลอง CFD สามารถอธิบายผลของข้อมูลได้มากกว่า 1 GByte เช่นเดียวกับโปรแกรมซอฟท์แวร์ Smoke view ที่สามารถช่วยในการพยากรณ์เกี่ยวกับการเกิดเพลิงไหม้ในรูปแบบที่ง่ายและสามารถเข้าใจได้ง่าย โดย Smoke view เวอร์ชั่นแรกเริ่มประกาศใช้ในเดือน

กุมภาพันธ์ ปี 2000 และมีการพัฒนาปรับปรุงต่อมาอีกหลายเวอร์ชั่น โดยสามารถทำงานได้หลายระบบปฏิบัติการ เช่น Windows, UNIX และ Linux

Smoke view สามารถแสดงผลจากแบบจำลอง FDS ได้ทั้งในลักษณะ 2 มิติ และ 3 มิติ โดย Smoke view จะแสดงผลของข้อมูลแบบ ค่าของข้อมูล ณ เวลาใดเวลาหนึ่ง โดยใช้ข้อมูลประเภทเดียวกัน นอกจากนี้ยังสามารถแสดงผลในรูปแบบอื่นๆ ได้ด้วย เช่น animated isosurfaces, color contours of gas phase, animated flow vectors และ particle animations for simulating smoke or water droplets โดยแต่ละเทคนิคจะถูกเลือกนำมาใช้ตามวัตถุประสงค์ หรือลักษณะปัญหาที่แตกต่างกัน

4. Slices-2D animated contours & Isosurfaces-3D animated contours

Smoke view ในลักษณะ 2D สามารถแสดงภาพการเคลื่อนไหวโดยแบ่งตามเฉดสีทั้งในแนวแกนนอน และแกนตั้งของแต่ละระนาบในการทดลอง ในขณะที่ 3D จะแสดงผลในรูปแบบข้อมูลที่เป็น 3 มิติ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพื้นที่ว่างของฮาร์ดดิสก์ แต่ระบบนี้ไม่สามารถเก็บข้อมูลได้ตลอดเวลาการทดลอง ดังนั้นผู้ใช้จึงต้องกำหนดข้อมูลที่ต้องการเก็บก่อนเริ่มการทดลอง โดยทั้ง 2 รูปแบบ นี้จะใช้วิธีการวาดเส้นรูปร่างเพื่อแสดงปริมาณอุณหภูมิ, ความร้อน ซึ่งวิธีการนี้เหมาะกับการแสดงผลความเร็วของการเกิดเปลวไฟ หรือการเกิดเพลิงไหม้ที่ก่อตัวขึ้น

ระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิง

เป้าหมายของระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิง

เป้าหมายของระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิง คือ การส่งน้ำไปยังวัตถุเป้าหมายที่มีการเกิดเพลิงไหม้และ ลดการลุกลามของเพลิงออกไปสู่จุดอื่น ซึ่งจะลดอัตราการลุกลามของตัวเพลิงเอง ทำให้สภาพแวดล้อมมีอุณหภูมิลดลง

ขนาดของหยดน้ำ

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

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

Q = อัตราการไหล (Flow rate)

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

P = แรงดันในเส้นท่อ (Pipe Pressure)

ข้อจำกัดของระบบ Sprinkler ประการหนึ่งคือ ปริมาณน้ำที่ต้องมีเพียงพอต่อระบบการออกแบบที่เหมาะสมจะต้องทำให้หัวกระจายน้ำดับเพลิงทำงานในช่วงเวลาที่พอเหมาะกับการลุกไหม้ของไฟนั่นคือถ้าระบบทำงานช้าเกินไป ไฟก็จะลุกลามมากเกินกว่าที่ระบบกระจายน้ำสามารถควบคุมได้ แต่ถ้าระบบทำงานเร็วเกินไปจำนวนของหัวกระจายน้ำ ก็จะทำงานมากเกินไปทำให้เกิดความเสียหายและ ทำให้ลดปริมาณน้ำที่ใช้จ่ายให้กับกระจายน้ำที่อยู่ใกล้กับจุดที่เกิดเพลิงไหม้ลดลง

การทำงานของหัวกระจายน้ำดับเพลิง

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

การแบ่งประเภทของพื้นที่ครอบครอง

การแบ่งประเภทของพื้นที่ครอบครองหมายถึงการกำหนดประเภทของพื้นที่นั้น ๆ โดยพิจารณาจากการใช้งาน เพื่อจะสามารถจัดระบบป้องกันอัคคีภัยตามมาตรฐานที่กำหนดจำแนกออกเป็น 3 ประเภทดังนี้

1. พื้นที่ครอบครองอันตรายน้อย

พื้นที่ครองครองอันตรายน้อย เป็นพื้นที่ที่วัสดุที่สามารถเป็นเชื้อเพลิงได้อยู่น้อยและวัสดุที่มีค่าอัตราการปล่อยความร้อนต่ำ (Low Heat Release) เช่น ที่พักอาศัย สำนักงานทั่วไป สถานศึกษา

2. พื้นที่ครอบครองอันตรายปานกลาง

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

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

2.3 พื้นที่ครอบครองอันตรายมาก (Extra Hazard Occupancies)

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

2.3.2 พื้นที่ครอบครองอันตรายมาก กลุ่มที่ 2 (Extra Hazard Group 2) เป็นพื้นที่ที่มีการครอบครองวัสดุ หรือวัตถุดิบ ที่สามารถเกิดการเผาไหม้ได้ และเมื่อเกิดการลุกไหม้จะไหม้อย่างต่อเนื่องและใช้เวลานาน เช่น อุตสาหกรรมพลาสติก พื้นที่ ๆ ใช้สารฉีดเหลวชนิดไวไฟได้

ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้กำหนดประเภทของพื้นที่โดยพิจารณาจากการใช้งาน เพื่อจะสามารถจัดระบบป้องกันอัคคีภัยตามมาตรฐานที่กำหนด เป็นแบบพื้นที่ครอบครองอันตรายมาก กลุ่มที่ 2 เพราะ Ethanol เป็นสารเหลวชนิดไวไฟ

การกำหนดพื้นที่ป้องกันของหัวกระจายน้ำดับเพลิง

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

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

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

โดยค่าที่ได้จะต้องไม่เกินค่า พื้นที่ป้องกันของหัวกระจายน้ำดับเพลิงสูงสุด (Maximum Protection Area of Coverage) ที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน หรือตามการออกแบบของหัวกระจายน้ำดับเพลิงนั้น

ประสิทธิภาพของการดับเพลิงของน้ำ

1. ทำให้เปลวไฟเย็นลง โดยในการดับเพลิง เมื่อหยดน้ำถูกส่งเข้าไปในเปลวไฟตัวของเปลวไฟก็จะถูกทำให้เย็นลงอย่างต่อเนื่องจนกว่าจะไม่สามารถติดขึ้นมาได้อีก

2. ทำให้ผิวหน้าของเป้าหมายเย็นลงนั่นคือ เมื่อหยดน้ำกระทบถูกผิวหน้าที่กำลังลุกไหม้จะทำให้ผิวบริเวณนั้นมีอุณหภูมิลดลงซึ่งการจะทำให้ดับต้องใช้เวลาจนกว่ากระบวนการเผาไหม้นั้นไม่เกิดขึ้นอีก

3. ลดการแผ่รังสีของเปลวไฟ ตัวของหยดน้ำจะทำการป้องกันหรือลดการแผ่รังสีจากเปลวไฟทำให้อัตราการเผาไหม้ลดลงที่บริเวณพื้นผิวของวัตถุเป้าหมาย

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

ตารางที่ 8 ตารางแสดงอัตราการลุกไหม้ของไฟแบ่งตามการเผาไหม้และเงื่อนไขของไฟ

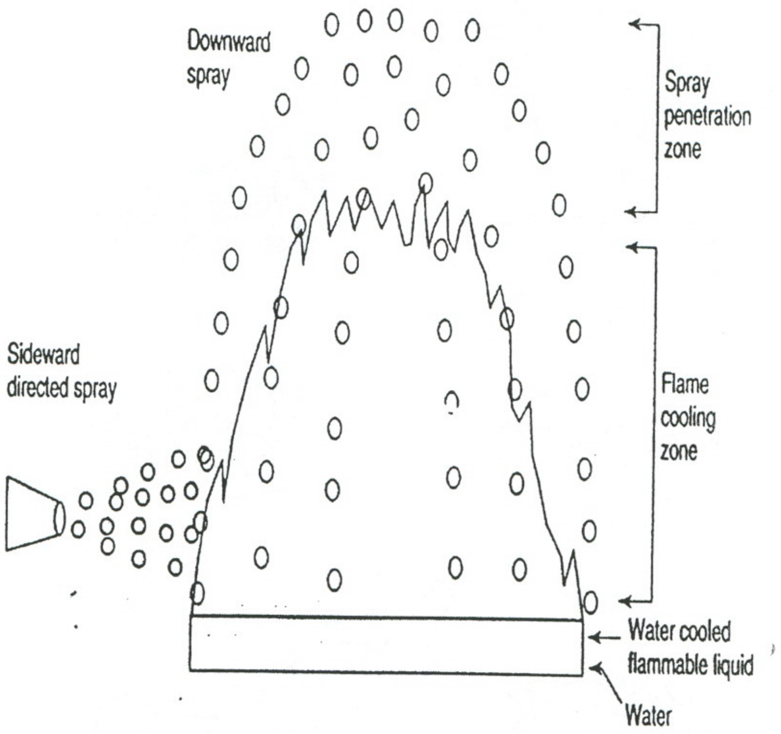
อัตราการลุกไหม้ช้า	$\dot{Q} = \left(0.00293\frac{kW}{Sec^2}\right) * t^2 \ \ (1050kW\ in\ 600\ sec)$
อัตราการลุกไหม้ปานกลาง	$\dot{Q} = \left(0.01172\frac{kW}{Sec^2}\right) * t^2 \ \ (1050kW\ in\ 300\ sec)$
อัตราการลุกไหม้เร็ว	$\dot{Q} = \left(0.0469\frac{kW}{Sec^2}\right) * t^2 \ \ (1050kW\ in\ 150\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

ที่มา: Spray Characteristics of Sprinkler (2002)

ในผลการวิเคราะห์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ พบว่าค่าความร้อนที่เกิดขึ้นจากการจำลองโดยใช้โปรแกรม FDS มีอัตราการลุกไหม้ของไฟอยู่ในกลุ่มของ อัตราการลุกไหม้เร็วมาก

Water Spray มีความสามารถในการควบคุมและระงับไฟที่เกิดจากของเหลวไวไฟได้อย่างมีประสิทธิภาพ กลไกและวิธีการทำงานสามารถอธิบายได้ดังนี้

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



ภาพที่ 14 ภาพแสดงการดับเพลิงด้วย Spray Water

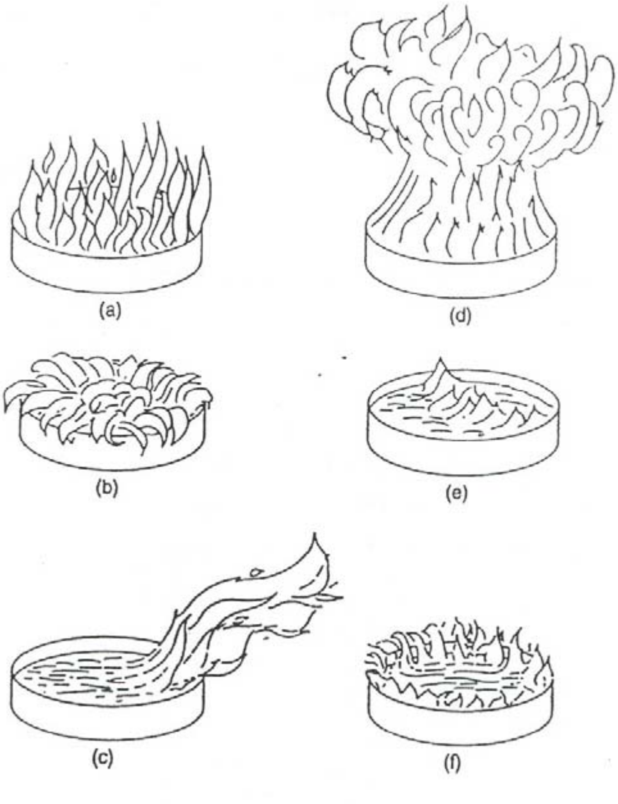
ที่มา: Industrial Fire Protection Engineering (n.d.)

ภาพที่ 15 ในหน้าถัดไป แสดงถึงลักษณะของไฟในรูปแบบต่างๆ ดังนี้

ภาพที่ 15 (a) แสดงเปลวไฟที่ถูก หัวกระจายน้ำ ควบคุมทำให้เปลวไฟมีลักษณะไม่สูงหยดน้ำที่ถูกพ่นออกมาจะลดอุณหภูมิที่ผิว และลดการระเหยที่ผิวหน้าของเป้าหมายลง

ภาพที่ 15 (b) แสดงให้เห็นถึงรูปร่างของเปลวไฟที่มีลักษณะแบบราบเหตุเพราะทิศทางของอากาศที่มีทิศทางลง ซึ่งจะมีลักษณะเดียวกันกับละอองน้ำที่ถูกกระจายตัวมีทิศทางลงด้วยความเร็ว

ภาพที่ 15 (c) แสดงภาพเปลวไฟที่ถูกเป่าทำให้ทิศทางเอียง จะถูกใช้กับลักษณะของไฟที่เกิดจากของเหลวที่มีจุดวาบไฟต่ำ เช่น เฮนเทน (heptanes) ลักษณะการดับเพลิงแบบนี้จะเห็นเมื่อเปลวไฟถูกเป่าจนพ้นขอบของเหลว



ภาพที่ 15 ภาพแสดงไฟในลักษณะต่างๆ

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

ภาพที่ 15 (d) แสดงให้เห็นภาพเปลวไฟที่ลุกอย่างรุนแรงแสดงถึงลักษณะการตกกระทบของหยดน้ำกับผิวของของเหลวที่กำลังลุกไหม้ที่อุณหภูมิมากกว่า 100 $^{\circ}$C ซึ่งถ้าหยดน้ำมีขนาดเล็กและไม่สามารถจมเข้าไปในของเหลวได้ การลุกไหม้แบบนี้จะเกิดขึ้นในช่วงสั้นๆ จนกระทั่ง

อุณหภูมิของของเหลวลดลงต่ำหรือไฟถูกทำให้ดับ แต่ถ้าหยดน้ำมีขนาดใหญ่มากพอที่จะจมลงในของเหลวได้เปลวไฟก็อาจลุกไหม้แบบรุนแรงในลักษณะนี้ยาวนานขึ้น

ภาพที่ 15 (e) เป็นภาพของเปลวไฟที่มีลักษณะเป็นสันใกล้จะดับเมื่อของเหลวไม่มีไฟติดที่อื่นๆ

ภาพที่ 15 (f) เป็นภาพแสดงถึงลักษณะของไฟที่บริเวณขอบของภาชนะเมื่ออุณหภูมิที่ขอบของภาชนะมีอุณหภูมิสูงกว่าตรงกลางเพราะไม่มีไฟลุกไหม้ที่บริเวณตรงกลางของภาชนะ

การประมาณค่าอัตราการปล่อยความร้อน

ตารางที่ 9 แสดงอัตราการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง (BURNING RATE DATA FOR LIQUID HYVROCARBON FUELS)

Fuel	**Mass Burning Rate**	**Heat of Combustion**	**Density**	**Empirical Constant**
	$\dot{m}''$ (kg/m^2-sec)	$\Delta H_{c,eff}$ (kJ/kg)	ρ (kg/m^3)	$k\beta$ (m^{-1})
Methanol	0.017	20,000	796	100
Ethanol	0.015	26,800	794	100
Butane	0.078	45,700	573	2.7
Benzene	0.085	40,100	874	2.7
Hexane	0.074	44,700	650	1.9
Heptane	0.101	44,600	675	1.1

ตารางที่ 9 (ต่อ)

Fuel	Mass Burning Rate	Heat of Combustion	Density	Empirical Constant
	$\dot{m}''$ (kg/m^2-sec)	$\Delta H_{c,eff}$ (kJ/kg)	ρ (kg/m^3)	$k\beta$ (m^{-1})
Xylene	0.09	40,800	870	1.4
Acetone	0.041	25,800	791	1.9
Dioxane	0.018	26,200	1035	5.4
Diethy Ether	0.085	34,200	714	0.7
Benzine	0.048	44,700	740	3.6
Gasoline	0.055	43,700	740	2.1
Kerosine	0.039	43,200	820	3.5
Diesel	0.045	44,400	918	2.1
JP-4	0.051	43,500	760	3.6
JP-5	0.054	43,000	810	1.6
Transformer Oil, Hydrocarbon	0.039	46,000	760	0.7
561 Silicon Transformer Fluid	0.005	28,100	960	100
Fuel Oil, Heavy	0.035	39,700	970	1.7
Crude Oil	0.0335	42,600	855	2.8
Lube Oil	0.039	46,000	760	0.7

ที่มา: SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 2nd Edition (2002)

จากสมการ

$$\dot{Q} = \dot{m} * \Delta H_{c,eff} \quad (6)$$

$\dot{Q}$ = อัตราการปล่อยพลังงาน (Heat release rate) กิโลวัตต์ (kW)

$\dot{m}$ = อัตราการเผาไหม้มวลสารต่อหน่วยเวลา (Burning or mass loss rate) (kg/Sec)

$\Delta H_{c,eff}$ = ค่าความร้อนของการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง (kJ/kg)

โดยทั่วไปอัตราการเผาไหม้ของสารจะได้จากการทำการทดลองเผาไหม้ตัวสารนั้นๆ (Free Bruning Test) และทำการเปรียบเทียบกับพื้นที่ที่มีการเผาไหม้มีหน่วยเป็น (kg/m^2-Sec) ถ้าในกรณีที่ทราบพื้นที่ของการเผาไหม้และทราบค่าความร้อนของการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง $\Delta H_{c,eff}$ สมการด้านบนจะสามารถเปลี่ยนเป็น

$$\dot{Q} = \dot{m} * \Delta H_{c,eff}(1 - e^{-k\beta D}) * A_{dike} \quad (7)$$

โดย

$\dot{Q}$ = อัตราการปล่อยพลังงาน (kW)

$\dot{m}$ = อัตราการเผาไหม้มวลสารต่อหน่วยพื้นที่ต่อเวลา (kg/m^2-Sce)

$\Delta H_{c,eff}$ = ค่าความร้อนของการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง (kJ/kg)

A_{dike} = พื้นที่ของการเผาไหม้ (m^2)

$k\beta$ = ค่าคงที่ของการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง (m^{-1})

D = เส้นผ่าศูนย์กลางของพื้นที่ที่มีการเผาไหม้ (^{m})

ในกรณีที่เส้นผ่าศูนย์กลางของการรั่วหกของสารมีขนาดใหญ่มาก ทำให้ค่าของเทอมที่อยู่ในฟังก์ชั่นเอ็กโปเนเชี่ยนมีค่าน้อย สมการที่ (7) สามารถลดรูปเป็นสมการที่ (8) ได้ดังนี้

$$\dot{Q} = \dot{m} * \Delta H_{c,eff}(1 - e^{-k\beta D}) * A_{dike} \quad (8)$$

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เกชา (2542) ได้ศึกษาสถาปัตยกรรมกับการป้องกันอัคคีภัยในยุโรป สหรัฐอเมริกา สิงค์โปร์ มาเลเซีย และฮ่องกง คนที่ประกอบวิชาชีพทางด้านสถาปัตยกรรมจะต้องมีความรู้เรื่องข้อกำหนดทางด้านการป้องกันอัคคีภัย อันเป็นข้อกำหนดส่วนที่สำคัญที่สุดในการออกแบบอาคาร ข้อกำหนดบทแรกๆ ใน Architectural Building Code ก็คือ Fire Safety Codes and Regulation ส่วนในประเทศไทยยังไม่มีหลักสูตรทางด้านการป้องกันอัคคีภัย แต่คณะกรรมการป้องกันอุบัติภัยแห่งชาติ (กปอ.) ก็ได้เคยมีนโยบายสวัสดิศึกษา เพื่อให้มีการสอนเรื่องความปลอดภัยในสถานศึกษา และหวังว่าในอนาคตทบวงมหาวิทยาลัยและกระทรวงศึกษาฯ ก็คงจะเห็นความสำคัญ และกำหนดให้มีหลักสูตรนี้เพิ่มในคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ วิศกรรมศาสตร์ รวมทั้งการศึกษาในระดับโรงเรียนต่อไป

ชนาคัลภ์ (2542) ได้ศึกษาแนวความคิดในการออกแบบเพื่อการป้องกันอัคคีภัยในอาคารประเภทโรงแรม จากงานวิจัยสรุปได้ว่าการเกิดอัคคีภัยอาคารส่วนใหญ่เกิดจากความประมาทของมนุษย์ ดังนั้นควรให้การศึกษา คือ การฝึกอบรมเกี่ยวกับการป้องกันและระงับอัคคีภัยในอาคาร เพื่อป้องกันเหตุเพลิงไหม้ที่จะเกิดขึ้น เนื่องจากหลักการของระบบการตรวจจับอัคคีภัยคือการปกป้องช่วยเหลือชีวิตก่อนทรัพย์สิน เมื่อระบบเกิดการบกพร่องก็อาจทำให้สูญเสียชีวิตและทรัพย์สินได้จึงควรมีระบบดับเพลิงอัตโนมัติภายในอาคาร ส่วนการจำกัดวงพื้นที่เป็นการป้องกันไฟเชิงรับซึ่งจะช่วยต้านทานการเกิดและลุกลามของไฟโดยมากจะเป็นส่วนที่รวมอยู่กับตัวอาคาร เช่น โครงสร้างอาคารควรทำจากวัสดุกันไฟและความร้อน ควรมีเครื่องดับเพลิงในบริเวณอาคาร และควรมีแบบแปลนผังแสดงตำแหน่งอุปกรณ์ดับเพลิงแสดงให้เห็นได้ในบริเวณของอาคาร

วีรวิทย์ (2549) ได้ศึกษาและจำลองเหตุการณ์พลศาสตร์อัคคีภัย เพื่อออกแบบระบบป้องกันอัคคีภัยของห้องเก็บสินค้าในอากาศยาน โดยการประยุกต์ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป 3 ส่วนที่นำมาประกอบกัน คือ โปรแกรม Fire Dynamic Simulation โปรแกรม Smokeview และโปรแกรม Pyrosim จากงานวิจัยสรุปได้ว่าเมื่อจำลองเหตุการณ์เพลิงไหม้ทั้งอากาศยาน ความร้อนจะแผ่ขยายครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมดของห้องเก็บสินค้า ทั้งตู้คอนเทรนเนอร์ที่เป็นต้นเหตุและภายในห้องเก็บสินค้า นั่นแสดงให้เห็นว่า กรณีที่เกิดเหตุเพลิงไหม้ขึ้น จะต้องมีอุปกรณ์ตรวจจับความร้อนและอุณหภูมิให้ครอบคลุมทั้งหมด 32 ชุด เพื่อให้สามารถจับความร้อนให้ได้ภายใน 1 นาที

Vaivads (1996) ศึกษาเกี่ยวกับการคำนวณการลุกไหม้ของเชื้อเพลิงเมทานอลและน้ำมันเบนซินกรณีหกรั่วไหลในท่อเครื่องยนต์ (A computational Study of the Flammability of Methanol and Gasoline Fuel Spills on Hot Engine Manifolds, 1996) โดยการศึกษาอันตรายจากการเกิดเพลิงไหม้น้ำมันเบนซินและเมทานอล ซึ่งมีความแตกต่างกันเพราะเชื้อเพลิงทั้งสองมีความแตกต่างกันทั้งคุณสมบัติทางด้านกายภาพ และคุณสมบัติทางเคมี เมื่อหาส่วนผสมของไอระเหยที่แพร่ออกมาเปรียบเทียบกันระหว่างการเกิดเพลิงไหม้ หรือการระเบิดเนื่องจากอุบัติเหตุ หรือเชื้อเพลิงหกรั่วไหล ในการศึกษาครั้งนี้เปรียบเทียบพฤติกรรมการเกิดเพลิงไหม้ของน้ำมันเบนซินกับเมทานอลโดยการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ช่วยในการพิจารณาความเสี่ยงที่เพิ่มขึ้นจากการใช้เมทานอลเป็นเชื้อเพลิงโดยการจำลองสิ่งแวดล้อมของช่วงที่ลุกติดไฟบนพื้นผิวท่อเปิดอุณหภูมิสูง 700 และ 1000 เคลวิล โดยใช้เทคนิค CFD จากการทดลองพบว่าที่พื้นผิว 700 เคลวิล เชื้อเพลิงทั้งคู่ไม่ลุกติดไฟ แม้ว่าอุณหภูมิที่พื้นผิวดังกล่าวจะสูงกว่าอุณหภูมิที่ลุกติดไฟได้เองของเชื้อเพลิงทั้งคู่ก็ตาม แต่ที่พื้นผิว 1000 เคลวิล กลับพบว่าเชื้อเพลิงทั้งสองลุกติดไฟได้เอง และอุณหภูมิของเชื้อเพลิงพบว่าอุณหภูมิที่เกิดจากพื้นผิวร้อนดังกล่าว มีค่าใกล้เคียงกับค่าต่ำสุดที่ต้องการสำหรับการลุกติดไฟได้เอง สรุปได้ว่าไม่มีนัยสำคัญที่จะทำให้ความเสี่ยงในการลุกติดไฟเพิ่มขึ้นบนพื้นผิวท่อร้อนเมื่อเปลี่ยนจากน้ำมันเชื้อเพลิงเป็นเมทานอล เพราะมันขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่พื้นผิวท่อร้อนเท่านั้น

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. ระบบคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์เสริมประกอบ

1.1 เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล AMD Turion64x2 Mobile Technology ความจุ Hard Disk ขนาด 80GB หน่วยประมวลผลความเร็วสูง (RAM) 1.5 GB

1.2 เครื่องพิมพ์ Epson stylus CX3500 ใช้สำหรับพิมพ์เอกสารรูปเล่มวิทยานิพนธ์

2. โปรแกรมที่ใช้งาน

2.1 โปรแกรมสร้างภาพเสมือน Pyrosim จากบริษัท Thunderhead Engineer Consultant Incorporation ประเทศสหรัฐอเมริกา สำหรับนำมาใช้ในการสร้างแบบจำลองหลักที่ใช้ในการทำวิทยานิพนธ์ โดยการสร้างในส่วนของกราฟฟิกหลังจากนั้นก็จะนำข้อมูลพื้นฐานออกสู่โปรแกรม FDS & Smokeview Version 4.07

2.2 โปรแกรมสร้างภาพเสมือน FDS & Smokeview Version 4.07 สำหรับนำมาใช้เป็นโครงสร้างฐานข้อมูลที่รับจาก Pyrosim และนำข้อมูลพื้นฐานดังกล่าวมาประมวลผลออกมาเป็นค่าต่าง ๆ ที่ใช้ในงานวิจัย

2.3 โปรแกรม LAYOUT ใช้สำหรับออกแบบห้องจัดเก็บสารเคมีเป็นแบบ 2 มิติ เพื่อนำมาใช้เป็นภาพประกอบในวิทยานิพนธ์

2.3 โปรแกรม Microsoft Office 2007 ใช้ในการจัดทำเอกสารรูปเล่มวิทยานิพนธ์

3. ระบบปฏิบัติการ

3.1 Microsoft Window XP Professional

วิธีการ

1. หาข้อมูลสถิติการเกิดเพลิงไหม้ที่เกิดจาก สารเคมีประเภทตัวทำละลาย และศึกษาค้นคว้าทฤษฏีการเกิดเพลิงไหม้ของสารเคมีที่ทำการวิจัย

2. ค้นคว้าหนังสือ เอกสาร วารสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสารเคมีที่ทำการวิจัย และโปรแกรม Fire Dynamic Simulator

3. ศึกษาการใช้โปรแกรม FDS & Smokeview Version 4.07

ในการที่จะใช้โปรแกรม FDS สำหรับประมวลผลข้อมูลจะต้องเขียนข้อมูลพื้นฐานขึ้นก่อน และเมื่อได้ข้อมูลพื้นฐานครบถ้วนและจึงจะสามารถนำไปประมวลผลในโปรแกรม DOS

4. ศึกษาการใช้โปรแกรม Pyrosim ร่วมกับการใช้ FDS

สำหรับโปรแกรม Pyrosim สามารถนำมาใช้สร้างภาพเสมือนโดยการเขียนกราฟฟิกขึ้นมาก่อนแล้วโปรแกรม Pyrosim จะแสดงผลข้อมูลที่เป็น Code ตามมาให้ โปรแกรมนี้สามารถทำให้ผู้ที่ไม่ทราบ Code ของ FDS สามารถสร้างเสมือนขึ้นมาเพื่อนำไปใช้ใน FDS ได้เช่นกัน และภาพเสมือนที่สร้างขึ้นใน Pyrosim จะมีความเสมือนจริงมากกว่าที่เขียนขึ้นใน FDS

5. เก็บรวบรวมข้อมูลแบบของตู้คอนเทนเนอร์ และทำการสร้างแบบจำลองการเกิดเพลิงไหม้จากข้อมูลตู้คอนเทนเนอร์ที่รวบรวมไว้ สร้างโดยอ้างอิงจากขนาดเท่าของจริงที่มีการใช้งานและจากนั้นก็ทำการเผาไหม้แบบจำลองที่สร้างขึ้น

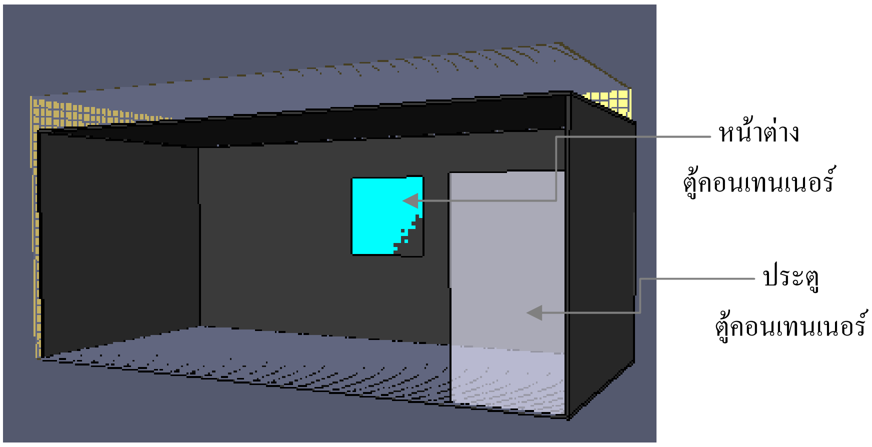
6. ทำการวิเคราะห์ข้อมูลผลการทดลองที่ได้จากการเผาไหม้แบบจำลองเพื่อนำข้อมูลที่ได้มาประยุกต์ใช้ในการออกแบบการจัดเก็บสารเคมีประเภทตัวทำละลายภายในห้องจัดเก็บสารเคมีไวไฟ เพื่อป้องกันการลุกลามของไฟ

7. สรุปผลการทดลองและจัดทำรายงาน นำผลการวิเคราะห์ที่ได้มาสรุป และเปรียบเทียบกันระหว่างผลการทดลองก่อนทำการปรับปรุง และหลังจากปรับปรุงภายในห้องเก็บสารเคมีไวไฟ วิธีการศึกษาการจำลองการเกิดเพลิงไหม้ห้องจัดเก็บสารเคมีไวไฟ มีรายละเอียดและวิธีการศึกษาดังนี้

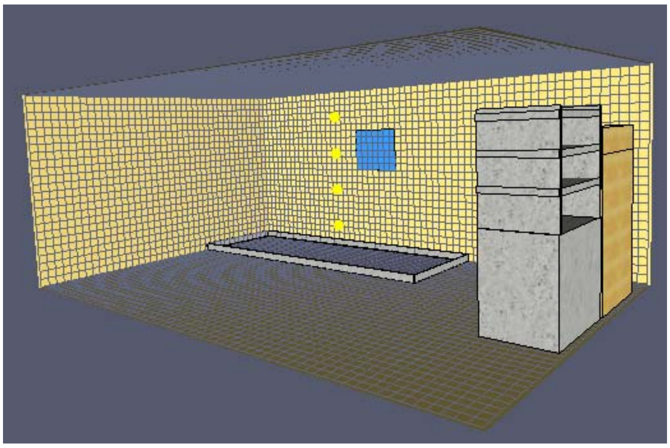
1. ข้อมูลของห้องจัดเก็บสารเคมีไวไฟที่ใช้ในการทำงานวิจัย (ก่อนการปรับปรุง)

ห้องจัดเก็บสารเคมีไวไฟที่ใช้ในการศึกษาวิจัยเป็นตู้คอนเทนเนอร์ดัดแปลงผนังยิปซั่มหนา 0.06 เมตร ขนาดของตู้กว้าง 3 เมตร ยาว 6 เมตร สูง 2.4 เมตร มีหน้าต่างกระจกบานกระทุ้ง 2 บาน และประตู 1 บาน ปิดสนิท ดังภาพที่ 16 และแบบจำลองดังภาพที่ 17 และ 18 ในการทดลองกำหนดให้ใช้เก็บเฉพาะเอทานอล (Ethanol) เพียงอย่างเดียว ณ จุดที่เป็นต้นเพลิงเป็นถาดรองรับสารเคมีหกรั่วไหลขนาดกว้าง 1.3 เมตร ยาว 3.8เมตร สูง 0.02เมตร ดังตำแหน่งที่แสดงตามภาพที่ 19

ภาพที่ 16 แสดงลักษณะของตู้คอนเทนเนอร์ดัดแปลงที่ใช้ในการจัดเก็บสารเคมีไวไฟด้านนอก

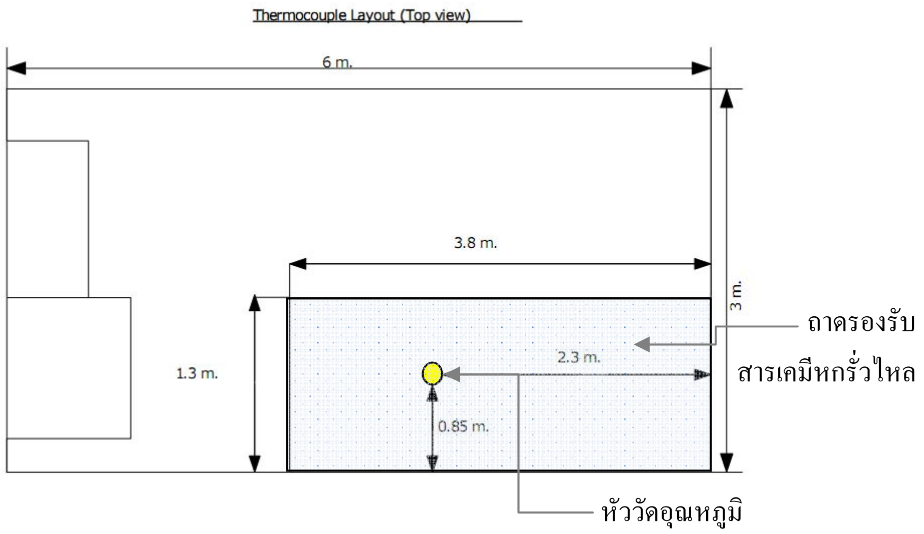


ภาพที่ 17 แสดงแบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์ดัดแปลงที่ใช้ในการจัดเก็บสารเคมีไวไฟด้านนอก

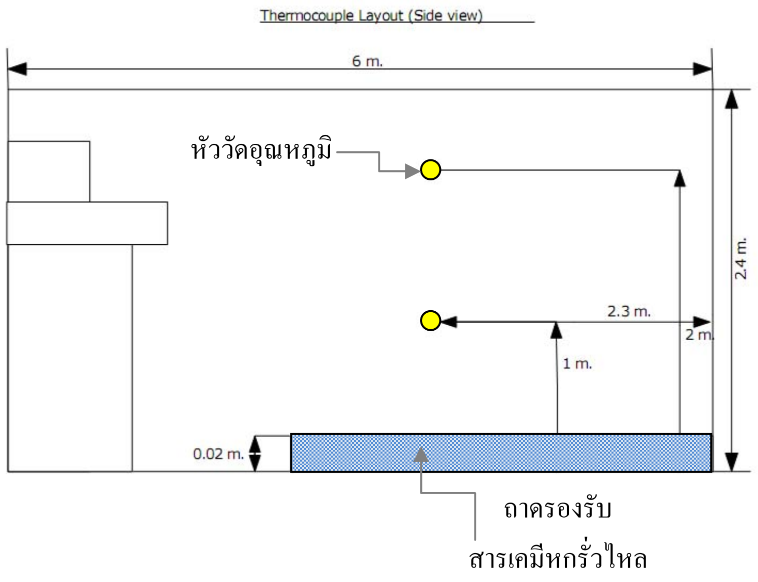


ภาพที่ 18 แสดงแบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์ดัดแปลงที่ใช้ในการจัดเก็บสารเคมีไวไฟด้านใน

จากภาพที่ 19, 20 แสดงตำแหน่งของถาดรองรับสารเคมีหกรั่วไหล และตำแหน่งของหัววัดอุณหภูมิที่ได้ทำการติดตั้ง โดยมีการติดตั้งอยู่ห่างจากผนังด้านกว้าง (3 เมตร) เป็นระยะ 2.3 เมตร และอยู่ห่างจากผนังด้านยาว (6 เมตร) เป็นระยะ 0.85 เมตร และความสูงของหัววัดอุณหภูมิอยู่ที่ 1.0 เมตร และ 2 เมตรจากพื้น ตามลำดับ เพื่อใช้ตรวจจับค่าอุณหภูมิที่เวลาต่าง ๆ และนำมาทำการเปรียบเทียบกัน



ภาพที่ 19 แสดงจุดติดตั้งหัววัดอุณหภูมิ และถาดรองรับสารเคมีหกรั่วไหลโดยมองจากทางด้านบน



ภาพที่ 20 แสดงจุดติดตั้งหัววัดอุณหภูมิ และถาดรองรับสารเคมีหกรั่วไหลโดยมองจากทางด้านข้าง

งานวิจัยในครั้งนี้ได้สร้างแบบจำลองแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนแรกเป็นการสร้างแบบจำลองจากตู้คอนเทนเนอร์ที่ใช้เก็บสารเคมีไวไฟ ที่มีการใช้งานจริง เพื่อศึกษาพฤติกรรมการเกิดเพลิงไหม้ อุณหภูมิที่เกิดขึ้น และพลังงานความร้อนปลดปล่อยสูงสุด อีกส่วนหนึ่งเป็นการสร้างแบบจำลองที่มีนำข้อด้อยของส่วนแรกมาพัฒนาปรับปรุง เพื่อควบคุมการเกิดเพลิงไหม้ ซึ่งในการปรับปรุงแบบหลังนี้ได้มีการปรับปรุงแบ่งออกเป็น 2 วิธีด้วยกันคือ การลดขนาดพื้นที่หน้าตัดของถาดรองรับสารเคมีกรณีหกรั่วไหล ให้มีขนาดเล็กลงแต่สามารถรองรับสารเคมีได้หมดในกรณีเกิดการหกรั่วโดยไม่ไหลออกมาด้านนอก และสุดท้ายคือการติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิงเพื่อควบคุมการลุกไหม้ของเพลิง จากนั้นนำค่าของอุณหภูมิ พลังงานความร้อนปลดปล่อยสูงสุด มาเปรียบเทียบกัน

2. หลักการปรับปรุงห้องจัดเก็บสารเคมีไวไฟ

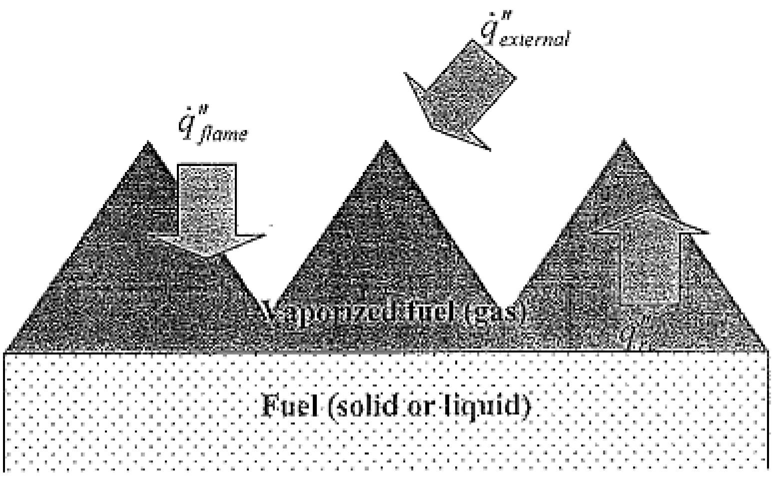
2.1 การลดขนาดพื้นที่หน้าตัดของเชื้อเพลิงเพื่อลดอัตราการเผาไหม้และอัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อน

2.1.1 อัตราการเผาไหม้ (Burning Rate)

อัตราการเผาไหม้ (Burning Rate,$\dot{m}''$) คืออัตราที่เชื้อเพลิงซึ่งอาจอยู่ในสถานะของแข็ง ของเหลว หรือแก๊ส “เผาไหม้” (ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ) ในเพลิงไหม้ขนาดใหญ่เชื้อเพลิงที่กลายเป็นไออาจไม่เผาไหม้ทั้งหมดก็ได้เนื่องจากมีออกซิเจนไม่เพียงพอต่อการเผาไหม้ ฉะนั้นเราควรทำความเข้าใจถึงความแตกต่างระหว่างอัตราการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงและอัตราการสูญเสียมวลของเชื้อเพลิง (Fuel Mass Loss Rate) อัตราการสูญเสียมวลของเชื้อเพลิง คืออัตราที่เชื้อเพลิงในสถานะของเหลวหรือของแข็งเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอ อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติแล้วเราสามารถประมาณอัตราการเผาไหม้ได้จากอัตราการสูญเสียมวลของเชื้อเพลิงได้ถ้าการเผาไหม้นั้นอยู่ในสภาวะที่มีออกซิเจนมากเพียงพอ ทั้งนี้เนื่องจากเชื้อเพลิงที่เปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอสามารถทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศที่มีอยู่มากเกินพอได้ เราสามารถคำนวณหาอัตราการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงได้จากสมการ

$$\dot{m}_f'' = \frac{\dot{q}''}{L} \tag{9}$$

โดย $\dot{m}_f''$ คืออัตราการเผาไหม้ต่อพื้นที่ หรือ ฟลักซ์การเผาไหม้ (g/ m^2-s), $\dot{q}''$ คือ ฟลักซ์ความร้อนสุทธิที่ตกกระทบผิวของเชื้อเพลิง *(*Net heat fulx, kW/m^2), และ L คือความร้อนของการกลายเป็นไอ (Heat Of Gasifiaction, kJ/g)



ภาพที่ 21 ไดอะแกรมแสดงการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงและฟลักซ์ความร้อนต่าง ๆ ที่ตกกระทบผิวเชื้อเพลิง

จากภาพที่ 21 ฟลักซ์ความร้อนสุทธิที่ตกกระทบผิวของเชื้อเพลิง *($\dot{q}''$)* เป็นผลรวมของ ฟลักซ์ความร้อนจากเปลวไฟ (Flame Heat Flux, $\dot{q}''_{flame}$), ฟลักซ์ความร้อนจากภายนอก (External Heat Flux, $q''_{external}$) ซึ่งอาจมาจากการแผ่รังสีของชั้นความร้อนที่ลอยอยู่เหนือกองเพลิง และ ฟลักซ์ความร้อนสูญเสียเนื่องจากการแผ่รังสีย้อนกลับ (Reradiation, $\dot{q}''_{re}$) จากผิวของเชื้อเพลิง

ความร้อนของการกลายเป็นไอ (Heat of gasification, L) คือความร้อนที่เชื้อเพลิงต้องการเพื่อเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอ ในของเหลวความร้อนนี้สามารถแยกออกได้เป็น 2 ส่วนคือ 1) ความร้อนในการเพิ่มอุณหภูมิของเชื้อเพลิงจากอุณหภูมิเริ่มต้นจนถึงจุดเดือด และ 2) ความร้อนในการเป็นสถานะกลายเป็นไอที่อุณหภูมิคงที่ หรือความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ (Heat of vaporization, h_{fg}) โดย

$$L = h_{fg} + c_p(T_b - T_\infty) \tag{10}$$

โดย L คือความร้อนของการกลายเป็นไอ, h_{fg} คือความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ, c_p คือความจุความร้อนจำเพาะของเชื้อเพลิง, T_b คือจุดเดือด, และ T_∞ คืออุณหภูมิเริ่มต้นของเชื้อเพลิง (อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม)

สำหรับเชื้อเพลิงของแข็ง การเปลี่ยนสภาพกลายเป็นไอในกระบวนการไพโรไลซิสจะเกิดขึ้นเป็นช่วงอุณหภูมิ ไม่ได้คงที่ที่อุณหภูมิใดอุณหภูมิหนึ่ง ดังนั้นเราจึงไม่นิยามความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอในเชื้อเพลิงของแข็ง ความร้อนของการกลายเป็นไอจึงเป็นพลังงานโดยรวมตลอดช่วงอุณหภูมิที่ของแข็งต้องการในการเปลี่ยนสภาพกลายเป็นไอ

ความร้อนของการกลายเป็นไอเป็นคุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์สำหรับเชื้อเพลิงของเหลว แต่สำหรับเชื้อเพลิงของแข็ง เช่น ไม้ ความร้อนนี้เป็นเพียงค่าโดยประมาณ เนื่องจากไม้มีการเปลี่ยนสภาพเป็นถ่านซึ่งเป็นฉนวนความร้อนในระหว่างการเผาไหม้ ดังนั้นค่า L จึงแปรผันตามเวลา ความร้อนของการกลายเป็นไอของเชื้อเพลิงชนิดต่าง ๆ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 10 เนื่องจากความร้อนของการกลายเป็นไอเป็นพลังงานที่เชื้อเพลิงต้องการในกระบวนการเผาไหม้ เชื้อเพลิงที่มีความร้อนของการกลายเป็นต่ำจะสามารถเผาไหม้และลามไฟได้ง่ายกว่าเชื้อเพลิงที่มีความร้อนของการกลายเป็นไอสูง ความร้อนของการกลายเป็นไอโดยเฉลี่ยของเชื้อเพลิงของเหลวจะมีค่าอยู่ในระหว่าง 0.33 ถึง 1.23 *kJ/g* ในขณะที่เชื้อเพลิงของแข็งจะมีค่าสูงกว่าโดยอยู่ที่ระหว่าง 1.7 ถึง 6.5 *kJ/g* ดังนั้นเชื้อเพลิงของเหลวจึงจุดติดไฟและเผาไหม้ได้ง่ายกว่าเชื้อเพลิงของแข็ง

ตารางที่ 10 ค่าความร้อนของการกลายเป็นไอ (Heat of vaporization)

เชื้อเพลิง	*ความร้อนของการกลายเป็นไอ* *L (kJ/g)*
เชื้อเพลิงของเหลว	
Gasoline	0.33
Hexane	0.45
Heptane	0.50
Kerosene	0.67
Ethanol	1.00
Methanol	1.23
พลาสติก	
Polyethylene	1.8-3.6
Polypropylene	2.0-3.1
Polymethyl Methacrylate	1.6-2.8
Nylon 6/6	2.4-3.8
Ploystyrene foam	1.3-1.9
Flexible Polyurethane foam	1.2-2.7
***เชื้อเพลิงของแข็งเป็นถ่านได้ (*Solid Char formation)**	
Polyvinyl chloride	1.7-2.5
Rigid polyurethane foam	1.2-5.3
กระดาษ	2.2
ไม้	4-6.5

อัตราการเผาไหม้ของกองเพลิงโดยทั่วไปมีค่าประมาณ 5 ถึง 50 g/m^2s ถ้าเชื้อเพลิงมีอัตราการเผาไหม้ต่ำกว่า 50 g/m^2s โดยประมาณ การเผาไหม้จะไม่สามารถดำเนินต่อไปได้ไฟจะดับลง จากสมการที่ (9) จะเห็นว่าอัตราการเผาไหม้จะเพิ่มขึ้นถ้าค่าฟลักซ์สุทธิที่ตกกระทบผิวของเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น ฟลักซ์ความร้อนที่ตกกระทบผิวเชื้อเพลิงสามารถเพิ่มขึ้นได้จากหลายสาเหตุ เช่น การเพิ่มออกซิเจนให้กับการเผาไหม้จะทำให้อุณหภูมิของเปลวเพลิงเพิ่มสูงขึ้นฟลักซ์

ความร้อนจากเปลวไฟมีค่าสูงขึ้นดังนั้นอัตราการเผาไหม้ก็จะเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามการเผาไหม้อาจดับลงถึงแม้ว่ามีอัตราการเผาไหม้มากกว่า 50 g/m^2s ถ้าการเผาไหม้มีออกซิเจนไม่เพียงพอ

ตารางที่ 11 อัตราการเผาไหม้สูงสุดต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ (Maximum burning flux)

เชื้อเพลิง	***ฟลักซ์การเผาไหม้สูงสุด*** $\dot{m}''_{f,max}$ ***(g/m2.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
Methanal	22
Polymethyl Methacrylate	28
Polyethylene	26
Flexible polyurethane foam	21-27
Rigid polyurethane foam	22-25
Polyvinyl chloride	16
Polystyrene	38
Polypropylene	24
Wood crib	*11*

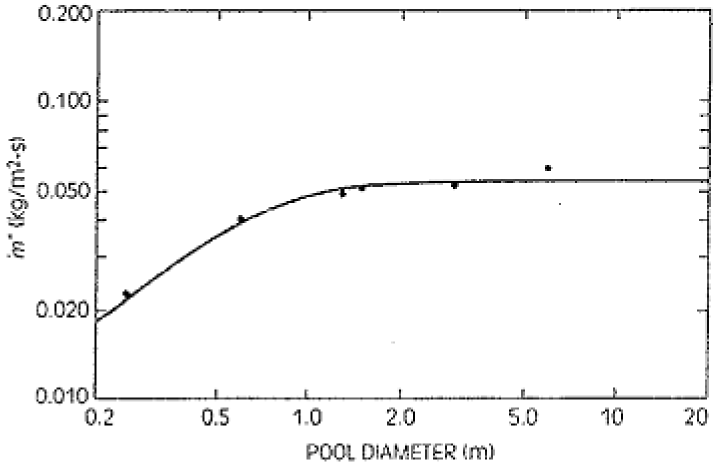
สมการที่ (9) เป็นสมการทางทฤษฎีในการคำนวณหาอัตราการเผาไหม้ ในทางปฏิบัติแล้วการใช้สมการที่ (9) เพื่อคำนวณหาอัตราการเผาไหม้อาจทำได้ยาก เนื่องจากการประมาณค่าฟลักซ์ความร้อนสุทธิที่ตกกระทบผิวของเชื้อเพลิงทำได้ยาก อย่างไรก็ตามเราสามารถหาอัตรา

การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงชนิดต่าง ๆ ได้จากการทำการทดลองแล้วบันทึกค่า อัตราการเผาไหม้สูงสุด (*Maximum burning rate*) ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อเชื้อเพลิงเผาไหม้กับออกซิเจนที่มีปริมาณมากเกินพอสำหรับกาเรผาไหม้โดยสมบูรณ์ อัตราการเผาไหม้สูงสุดต่อพื้นที่หรือฟลักซ์การเผาไหม้สูงสุดของเชื้อเพลิงชนิดต่าง ๆ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 11 การประมาณอัตราการเผาไหม้โดยใช้ค่าฟลักซ์การเผาไหม้สูงสุดถึงแม้จะเป็นการประมาณค่าที่ค่อนข้างจะไม่ละเอียดแต่อย่างน้อยเราก็สามารถใช้ค่าเหล่านี้เป็นขีดจำกัดเพื่อใช้ในการออกแบบทางวิศวกรรมได้

ในการเผาไหม้ที่เกิดจากเชื้อเพลิงของเหลวหกกระจายบนพื้นในลักษณะอ่างไฟ (Pool fire) เช่นการเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิงหกลงบนพื้นด้วยอุบัติเหตุ เราสามารถประมาณหาฟลักซ์การเผาไหม้ได้จากสมการที่มาจากการทดลองโดย

$$\dot{m}_f'' = \dot{m}_{f,\infty}''(1 - e^{-k\beta D}) \qquad (11)$$

โดย $\dot{m}_f''$ คืออัตราการเผาไหม้ของอ่างไฟ(Pool fire burning rate), $\dot{m}_{f,\infty}''$ คืออัตราการเผาไหม้สูงสุดของอ่างไฟ (Asymtotic burning rate), $k\beta$ คือค่าพารามิเตอร์ของกองเพลิงซึ่งมีค่าขึ้นอยู่กับชนิดของเชื้อเพลิงดังแสดงไว้ในตารางที่ 12 และ *D* คือเส้นผ่านศูนย์กลางของกองเพลิง



ภาพที่ 22 อัตราการเผาไหม้ของน้ำมันเบนซินของกองเพลิงขนาดต่าง ๆ

ที่มา: Babrauskas (1995)

จากการทดลองพบว่าอัตราการเผาไหม้ของอ่างไฟจะเพิ่มขึ้นเมื่อเส้นผ่านศูนย์กลางของ กองเพลิงเพิ่มขึ้น อย่างไหร่ก็ตามเมื่อเส้นผ่านศูนย์กลางของกองเพลิงเพิ่มขึ้นจนมีขนาดมากกว่า 2 เมตร อัตราการเผาไหม้จะมีค่าคงที่ไม่ขึ้นกับเส้นผ่านศูนย์กลางอีกต่อไปดังแสดงในภาพที่ 22 เราเรียกอัตราการเผาไหม้ค่านี้ว่าอัตราการเผาไหม้สูงสุดของอ่างไฟ (Asymptotic burning rate) เส้นผ่านศูนย์กลางของกองเพลิง D ได้มาจากพื้นที่การเผาไหม้ของอ่างไฟที่เป็นวงกลม ในกรณีที่พื้นที่ของการเผาไหม้ไม่เป็นวงกลมเราสามารถประมาณค่า D ได้จากค่าเส้นผ่านศูนย์กลางของวงกลมที่มีพื้นที่เท่ากับพื้นที่ของกองเพลิง

ตารางที่ 12 ค่าคงที่สำหรับหาอัตราการเผาไหม้ของอ่างไฟ (Pool fire)

เชื้อเพลิง	*ความหนาแน่น* (kg/m^3)	$\dot{m}''_{f,\infty}$ ($kg/m^2.s$)	ΔH_c (MJ/kg)	β (m^{-1})
Liquid H2	70	0.017	120.0	6.1
LNG	415	0.078	50.0	1.1
LPG	585	0.099	46.0	1.4
Methanol	796	0.017	20.0	-
Ethanol	794	0.015	26.8	-
Butane	573	0.078	45.7	2.7
Benzene	874	0.085	40.1	2.7
Hexane	650	0.074	44.7	1.9
Heptane	675	0.101	44.6	1.1
Xylene	870	0.09	40.8	1.4
Acetone	791	0.041	25.8	1.9
Dioxane	1035	0.018	26.2	5.4
Gasoline	740	0.055	43.7	2.1
Kerosene	820	0.039	43.2	3.5
Transformer Oil	760	0.039	46.4	0.7
Fuel Oil	940-1000	0.035	39.7	1.7

ตารางที่ 12 (ต่อ)

เชื้อเพลิง	***ความหนาแน่น (kg/m³)***	$\dot{m}''_{f,\infty}$ ***(kg/m².s)***	ΔH_c ***(MJ/kg)***	β ***(m⁻¹)***
Crude Oil	830-880	0.022-0.045	42.5-42.7	2.8
Polypropylene	905	0.018	43.2	-
Polymethyl Methacrylate	1184	0.020	24.9	3.3
Polystyrene	1050	0.034	39.7	-

ที่มา: Babrauskas (1995)

2.1.2 อัตราการปล่อยพลังงานความร้อน (Heat Release Rate)

อัตราการปล่อยพลังงานความร้อน (Heat Release Rate,Q) คืออัตราที่พลังงานความร้อนถูกปล่อยออกมาจากการเผาไหม้ เราสามารถคำนวณหาอัตราการปล่อยความร้อนของกองเพลิงได้จาก

$$\dot{Q} = m''_f A_\chi \Delta H_C \quad (12)$$

โดย $\dot{Q}$ คืออัตราการปล่อยพลังงานความร้อน (kW), m''_f คือฟลักซ์การเผาไหม้ (g/ m^2-s), A คือพื้นที่ของการเผาไหม้(m^2), χ คือประสิทธิภาพการเผาไหม้ (Combustion efficiency), และ ΔH_C คือความร้อนของการเผาไหม้ (heat of combustion, kJ/g)

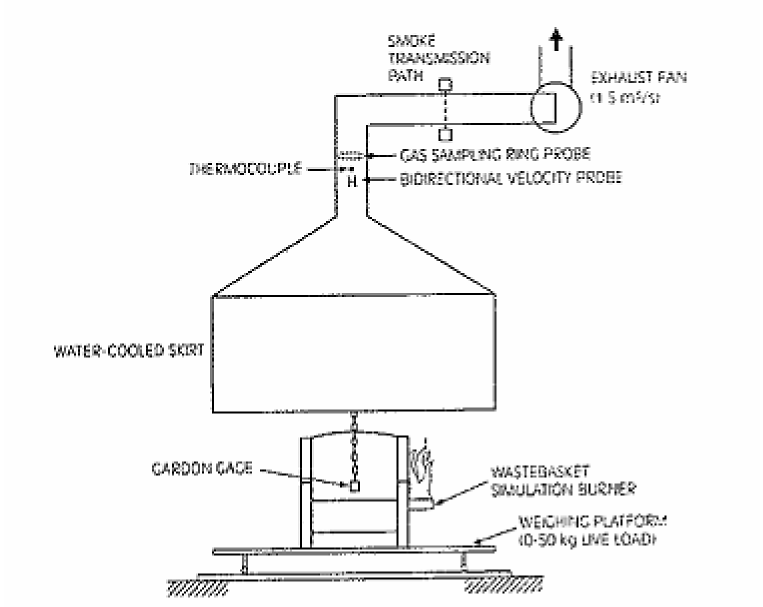
ความร้อนของเผาไหม้เป็นพลังงานความร้อนที่เชื้อเพลิงปล่อยออกมาได้ต่อมวลของเชื้อเพลิงที่เผาไหม้เมื่อการเผาไหม้เป็นไปอย่างสมบูรณ์ (Complete combustion) เราสามารถคำนวณหาความร้อนของการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแต่ละชนิดได้จากกฎการอนุรักษ์พลังงานของปฏิกิริยาเคมีระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศ ซึ่งค่าความร้อนที่ได้นี้จะถือเป็นค่าทางทฤษฎี อย่างไรก็ตามในเหตุอัคคีภัยการเผาไหม้มักจะเกิดขึ้นอย่างไม่สมบูรณ์ทำให้ความร้อนที่ปล่อยออกมามีค่าน้อยกว่าค่าทางทฤษฎี เราเรียกความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้จริงนี้ว่า ความร้อนของการเผาไหม้

จริง (Effective heat of combustion, $\Delta H_{c,eff}$) ในการเผาไหม้จะมีเขม่า (Soot) ซึ่งเป็นอนุภาพของคาร์บอนที่ยังไม่เผาไหม้เกิดขึ้นในกองเพลิงและลำควัน เขม่าเป็นดัชนีตัวหนึ่งที่แสดงถึงการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ การเผาไหม้ยิ่งไม่สมบูรณ์มากเท่าใดปริมาณเขม่าที่เกิดขึ้นก็จะมากตามไปด้วย อัตราส่วนของความร้อนของการเผาไหม้จริงต่อความร้อนของการเผาไหม้ทางทฤษฎีเรียกว่า ประสิทธิภาพการเผาไหม้ (χ) โดย

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

เชื้อเพลิงที่เผาไหม้แล้วไม่เกิดหรือเกิดเขม่าน้อยเช่น แอลกอฮอล์ เมื่อเผาไหม้จะมีเขม่าน้อยมากหรือไม่เลย ทำให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ของแอลกอฮอล์มีค่าเกือบ 100 เปอร์เซ็นต์ในทางตรงกันข้ามการเผาไหม้ของน้ำมันดิบ (Crude oil) จะมีเขม่าควันสูงมาก ประสิทธิภาพการเผาไหม้จึงมีค่าต่ำอยู่ในช่วงประมาณเพียง 60 ถึง 70% ในทางปฏิบัติเราสามารถหาความร้อนของการเผาไหม้จริงได้จากการเผาเชื้อเพลิงในอุปกรณ์ที่เรียกว่า ออกซิเจนแคลอริมิเตอร์ (Oxygen calorimeter) ดังแสดงในภาพที่ 23

ในออกซิเจนแคลอริมิเตอร์เชื้อเพลิงจะถูกปล่อยให้เผาไหม้อย่างอิสระ ควันซึ่งเป็นแก๊สผลิตภัณฑ์การเผาไหม้จะถูกเก็บตัวอย่างโดยตัวเก็บควัน (Gas sampling probe) ตัวอย่างควันเหล่านี้จะถูกนำไปวิเคราะห์เพื่อหาอัตราการใช้ออกซิเจนแล้วนำมาคำนวณหาค่าความร้อนของการเผาไหม้จริง ในการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงซึ่งโดยส่วนใหญ่เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน พบว่า เชื้อเพลิงจะคายพลังงานความร้อนออกมาประมาณ 13 kJ ต่อ 1 g ของออกซิเจนที่เผาไหม้ ดังนั้นถ้าเราทราบว่าออกซิเจนถูกใช้ไปในการเผาไหม้เท่าใด (ในอากาศ 1 g ประกอบด้วยออกซิเจน 0.233 g) เราก็สามารถหาพลังงานความร้อนที่ปล่อยออกมาจากการเผาไหม้ได้



ภาพที่ 23 ออกซิเจนแคลอริมิเตอร์ (*Oxygen Calorimeter)*

ที่มา: Babrauskas (1995)

ดังนั้น จากสมการของอัตราการเผาไหม้และอัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนพบว่า เส้นผ่านศูนย์กลางของกองเพลิง และพื้นที่ของการเผาไหม้มีผลต่ออัตราการเผาไหม้และอัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อน ดังนั้นถ้าทำการจำกัดพื้นที่ของการเผาไหม้ให้เล็กลง อัตราการเผาไหม้และอัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนก็จะลดลงเช่นกัน

ในงานวิจัยได้ทำการลดขนาดพื้นที่หน้าตัดของถาดรองรับสารเคมีหกรั่วไหลให้มีพื้นที่หน้าตัดขนาด 1 x 1 เมตร จากเงื่อนไขดังนี้

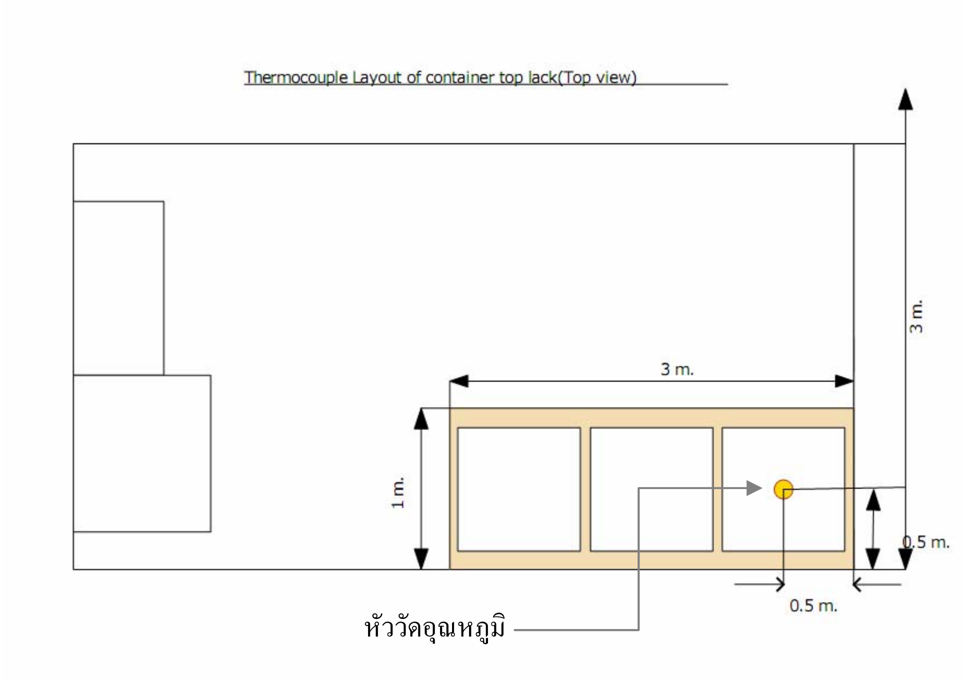
เงื่อนไขของการลดขนาดพื้นที่หน้าตัดสารเคมีในการทำงานวิจัย

1) ปริมาตรถาดรองรับสารเคมีต้องสามารถรองรับสารเคมีได้ในปริมาณเท่าเดิมหรือไม่น้อยกว่าเดิม

2) ในการจัดวางถาดรองรับสารเคมีต้องมีพื้นที่ทางเดิน และสำหรับรถเข็นความกว้างไม่น้อยกว่า 1 เมตร

3) งบประมาณในการจัดซื้อถาดรองรับสารเคมีที่มีอยู่อย่างจำกัด เนื่องจากยิ่งถาดรองรับสารเคมีขนาดเล็ก ก็จำเป็นที่จะต้องใช้หลายถาด ดังนั้นงบประมาณในการจัดซื้อก็จะยิ่งสูงตาม

ในภาพที่ 24 เป็นการลดขนาดพื้นที่หน้าตัดของถาดรองรับสารเคมีกรณีหกรั่วไหล ให้ขนาดพื้นที่ผิวหน้าตัดเล็กลงแต่ยังสามารถรองรับสารเคมีได้หมด กรณีเกิดการหกรั่วไหล พร้อมแสดงจุดที่ทำการติดตั้งหัววัดอุณหภูมิที่ความสูงเดียวกันเพื่อนำข้อมูลมาใช้เปรียบเทียบกัน



ภาพที่ 24 แสดงการออกแบบตู้คอนเทนเนอร์ที่มีการแบ่งถาดรองสารเคมีให้มีขนาดเล็กลง โดยมีขนาดเท่ากับ 1 เมตร x 1 เมตร x 0.2 เมตร และตำแหน่งการติดตั้งหัววัดอุณหภูมิ

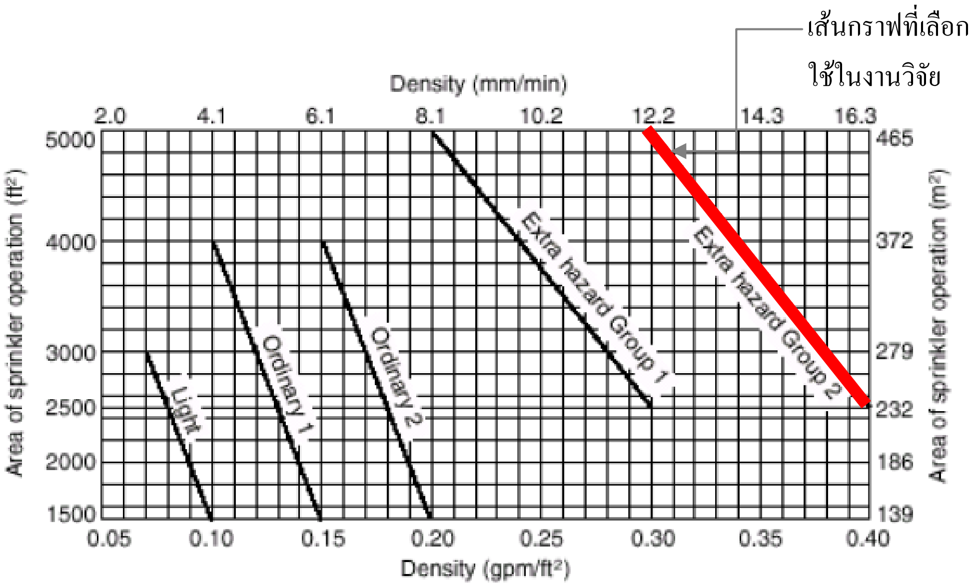
2.2 การติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิงตามมาตรฐาน NFPA 13

ส่วนหลังที่มีการออกแบบสำหรับควบคุมเพลิงนั้นในการติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิง ใช้หัวกระจายน้ำดับเพลิงที่มีอยู่ในฐานข้อมูลของ FDS โดยเลือกใช้หัวกระจายน้ำดับเพลิงแบบ K-5 โดยออกแบบตามมาตรฐานของ NFPA 13 หัวกระจายน้ำดับเพลิงมีค่า Density เท่ากับ 12.2 mm/min ครอบคลุมพื้นที่ 232 m^2

3. ขั้นตอนการวางหัวกระจายน้ำดับเพลิง

สำหรับการคำนวณหาระยะห่างระหว่างหัวกระจายน้ำดับเพลิง พื้นที่ป้องกันของหัวกระจายน้ำดับเพลิง และการวางตำแหน่งของหัวกระจายน้ำดังเพลิงสามารถคำนวณได้จากตารางที่ 10 ซึ่งเป็นตารางการกำหนดค่าสูงสุดของระยะห่างระหว่างหัวกระจายน้ำดับเพลิง และพื้นที่ป้องกันของหัวกระจายน้ำดับเพลิงแบบพื้นที่ครอบครองอันตรายมาก กลุ่มที่ 2 ในตารางที่ 4 ชนิดของสิ่งกีดขวางได้แบ่งออกเป็น 3 แบบ คือ แบบไม่มีสิ่งกีดขวาง แบบโครงสร้างที่กีดขวางไม่ติดไฟ และแบบโครงสร้างที่สิ่งกีดขวางติดไฟ

1. กำหนดพื้นที่ของห้องเก็บสารเคมีไวไฟและเลือก Protective Area ตามตาราง



ภาพที่ 25 Miscellaneous Storage and Commodity Classes I through IV Storage

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

ตารางที่ 13 การกำหนดค่าสูงสุดของระยะห่างระหว่างหัวกระจายน้ำดับเพลิง และพื้นที่ป้องกันของหัวกระจายน้ำดับเพลิง

ชนิดของสิ่งกีดขวาง	ระบบที่ใช้คำนวณ	ค่าสูงสุดของพื้นที่ป้องกัน		ค่าสูงสุดของระยะห่างระหว่างหัวกระจายน้ำดับเพลิง	
		ft^2	m^2	ft	m
ทุกแบบ	Pipe Schedule	90	8.4	12	3.7
ทุกแบบ	Hydraulically calculated with density >=0.25 (10.2)	100	9.3	12	3.7
ทุกแบบ	Hydraulically calculated with density <0.25 (10.2)	130	12.1	15	4.6

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

1. คำนวณจำนวนหัวกระจายน้ำดับเพลิงจาก

จำนวนหัวกระจายน้ำดับเพลิง = พื้นที่ที่ต้องการออกแบบ/ Protective Area (14)

2. ปริมาณน้ำที่ใช้คำนวณจาก

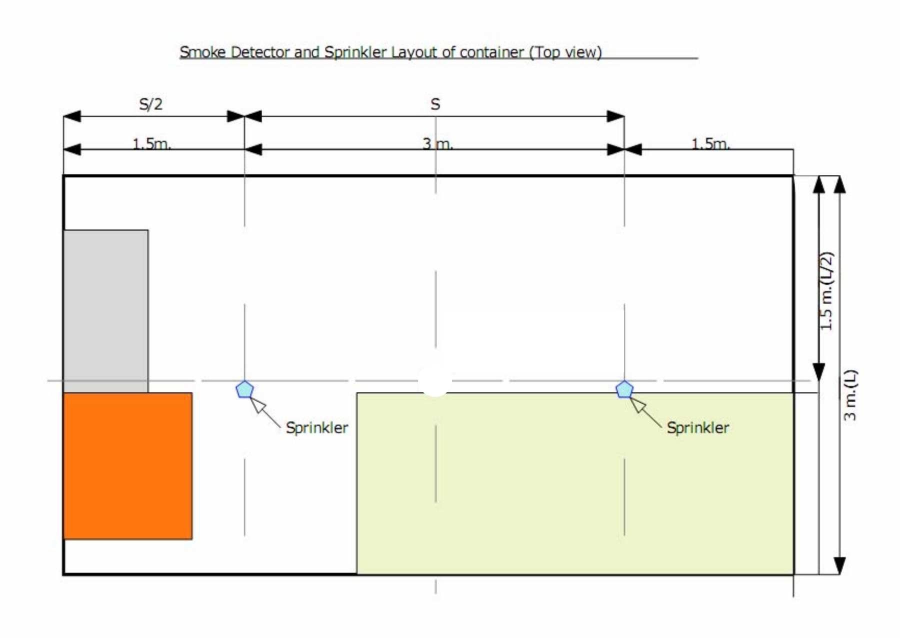
ปริมาณน้ำ = พื้นที่ที่ต้องการออกแบบ x ความหนาแน่นของน้ำ (15)

3. ทำการออกแบบวางหัวกระจายน้ำดับเพลิง โดยมีหัวกระจายน้ำดับเพลิงในแนวเส้นท่อเดียวกัน 2 แถว แถวละ 1 หัว จากนั้นกำหนดระยะระหว่างหัวกระจายน้ำดับเพลิง ดังนี้

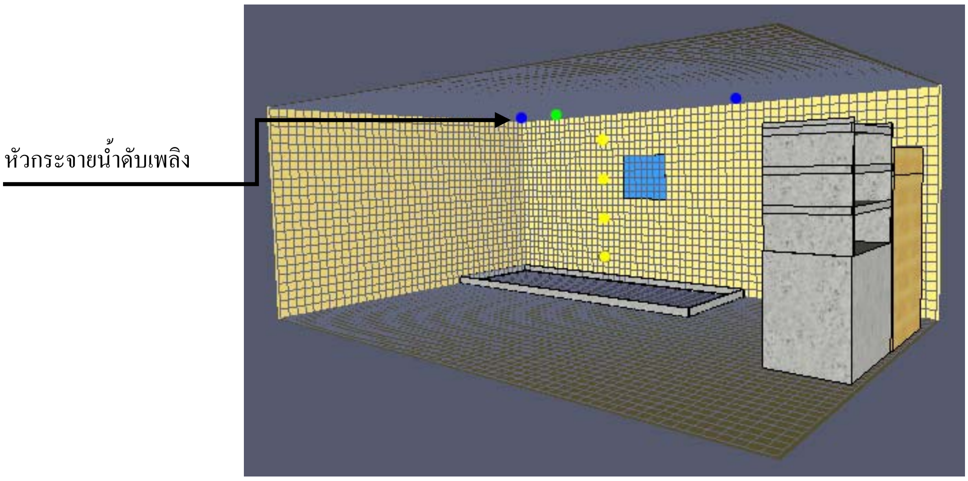
- ระยะห่างในแนวเส้นท่อเดียวกัน (Along branch line) ; S
- ระยะจากกำแพงถึงหัวกระจายน้ำดับเพลิง = S/2
- ระยะห่างในแนวระหว่างเส้นท่อ (Between branch line); L
- ระยะจากกำแพงถึงหัวกระจายน้ำดับเพลิง = L/2

พื้นที่การป้องกันของหัวกระจายน้ำดับเพลิง As = S*L

ในภาพที่ 26, 27 เป็นตำแหน่งการติดตั้งตำแหน่งของหัวกระจายน้ำดับเพลิงจากการออกแบบ และแบบจำลองที่มีการติดอุปกรณ์ดังกล่าวภายใน โดยรายละเอียดการคำนวณได้แสดงไว้ใน ภาคผนวก ข



ภาพที่ 26 แสดงตำแหน่งที่มีหลังปรับปรุงโดยการติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิงสำหรับตู้คอนเทนเนอร์เก็บสารเคมีไวไฟ ตามมาตรฐาน NFPA

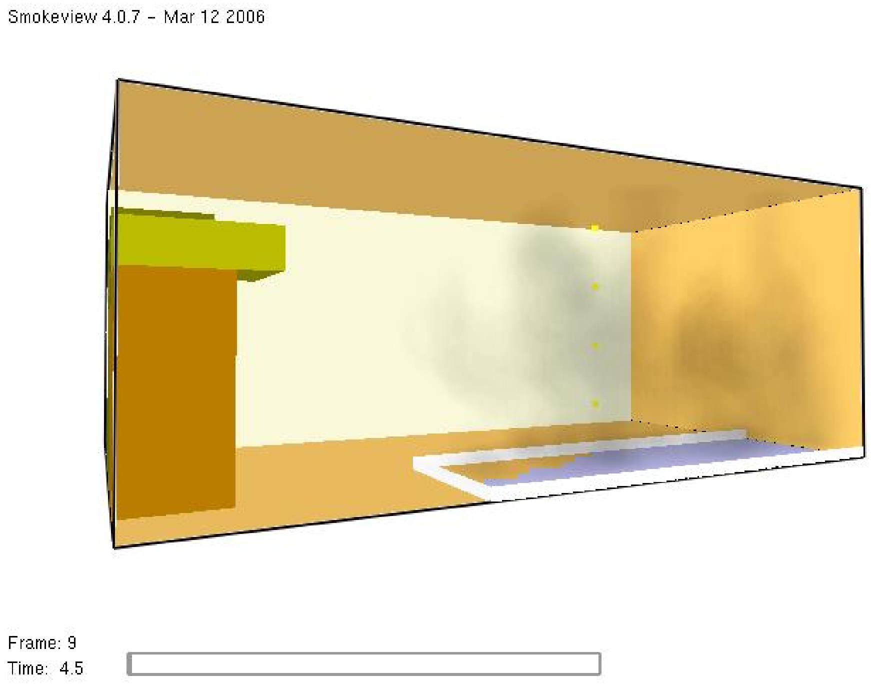


ภาพที่ 27 แสดงแบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์ดัดแปลงที่ใช้ในการจัดเก็บสารเคมีไวไฟด้านใน หลังจากมีการติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิง 2 ชุด

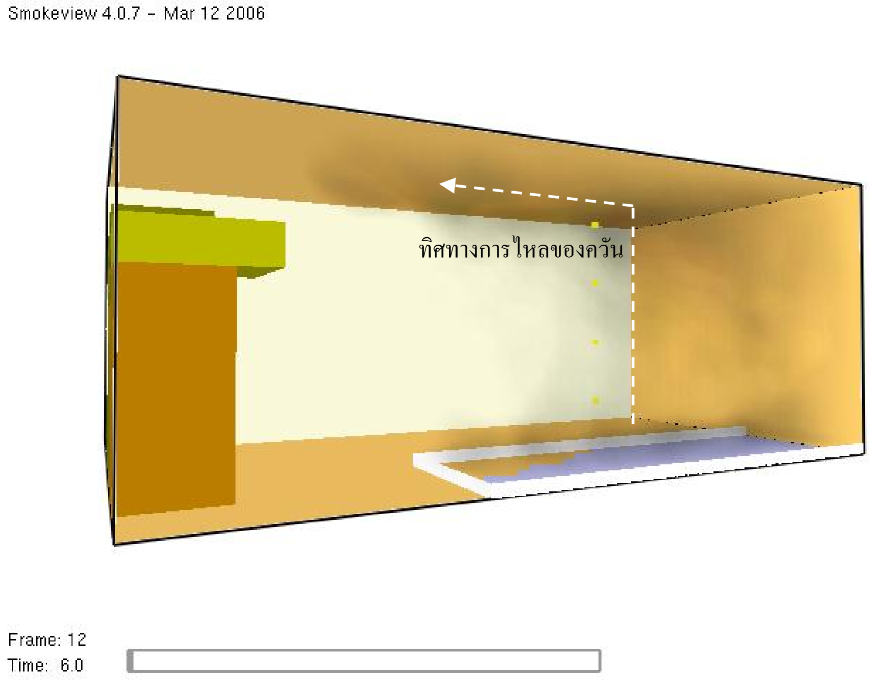
ผลและวิจารณ์

ผลจากการสร้างแบบจำลอง เพื่อวิเคราะห์พฤติกรรมการเกิดเพลิงไหม้ภายในตู้คอนเทนเนอร์เก็บสารเคมีไวไฟก่อนทำการปรับปรุง

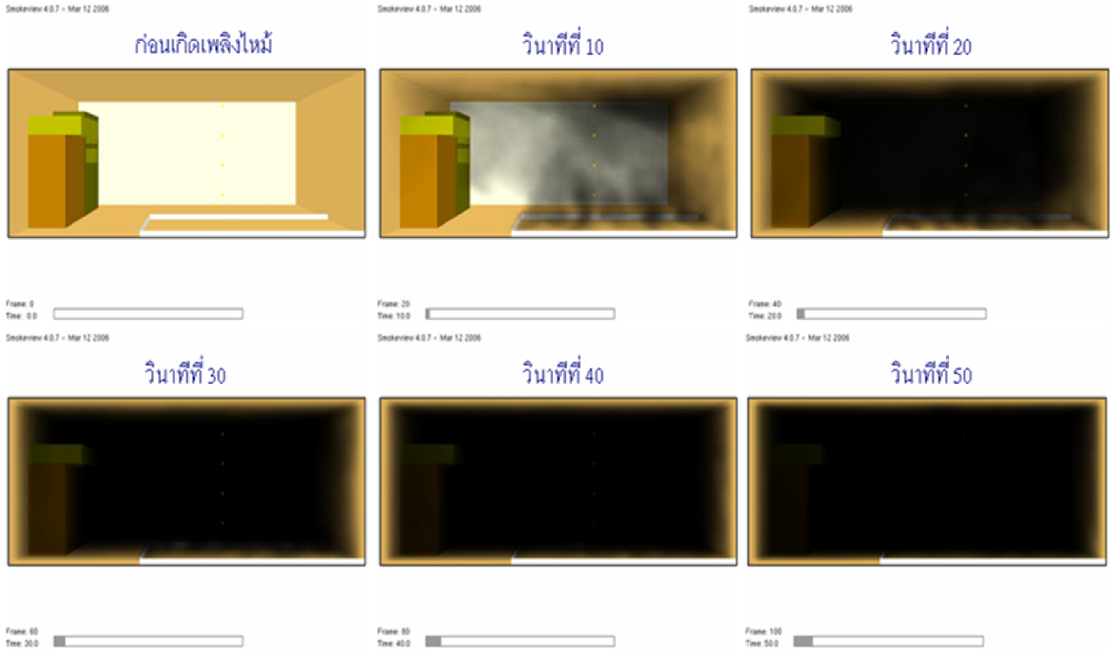
จากการสร้างแบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์จัดเก็บสารเคมีไวไฟ เพื่อวิเคราะห์พฤติกรรมการเกิดเพลิงไหม้พบว่า เมื่อเกิดเพลิงไหม้ควันซึ่งเกิดจากการเผาไหม้จะลอยตัวขึ้นไปในแนวดิ่ง เมื่อควันลอยตัวขึ้นไปจนกระทบกับเพดานของห้อง ควันก็เปลี่ยนทิศทางการไหลไปในแนวระดับขนานกับแนวการวางตัวของเพดานของตู้คอนเทนเนอร์ ดังภาพที่ 28, 29 และการกระจายตัวของควันเป็นดังภาพที่ 30 ควันเริ่มกระจายเต็มห้องในวินาทีที่ 20 ส่วนอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในตู้คอนเทนเนอร์นั้นได้เพิ่มสูงขึ้นและกระจายตัวสู่ด้านบน ดังภาพที่ 31, 32 และ 33 ซึ่งเป็นภาพจากแบบจำลอง



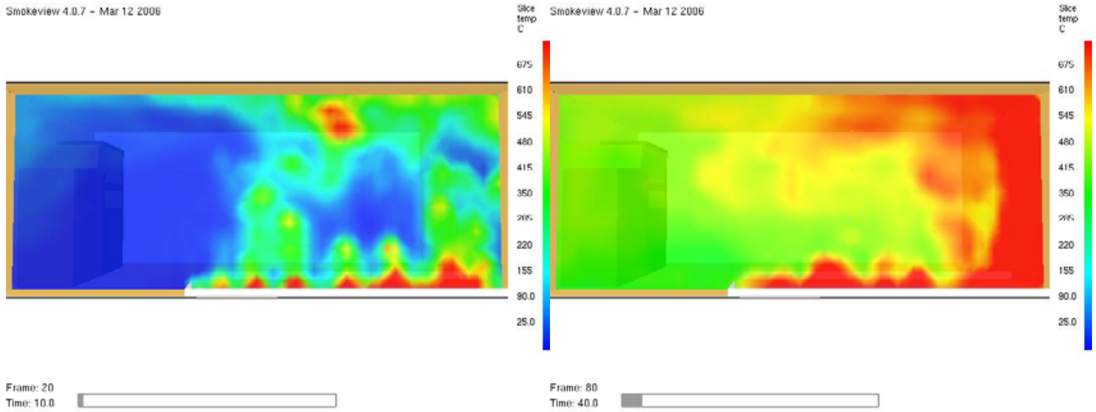
ภาพที่ 28 ควันซึ่งเกิดจากการเผาไหม้จะลอยตัวขึ้นไปในแนวดิ่ง



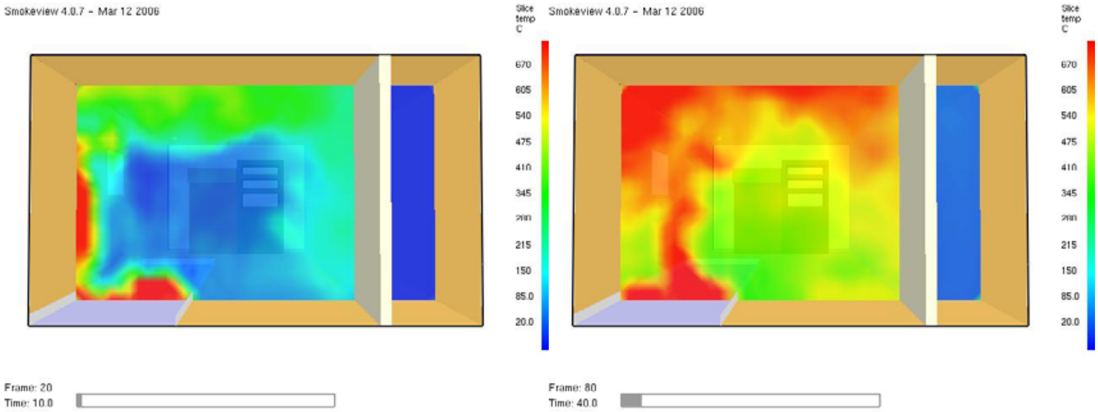
ภาพที่ 29 ควันลอยตัวขึ้นไปจนกระทบกับเพดานของห้อง และเปลี่ยนทิศทางการไหลไปในแนวระดับขนานกับแนวการวางตัวของเพดานของตู้คอนเทนเนอร์



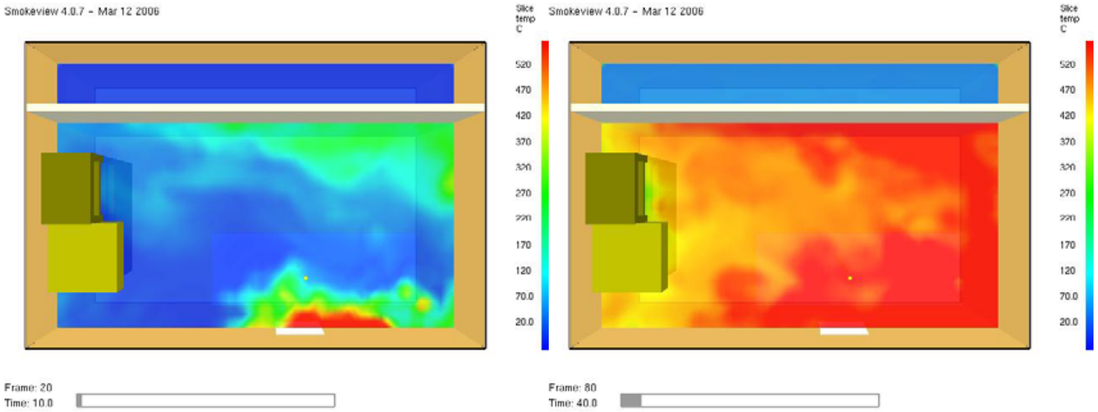
ภาพที่ 30 ภาพแสดงการกระจายตัวของควันอย่างรวดเร็วตั้งแต่ก่อนเกิดเพลิงไหม้ในวินาทีที่ 10, 20, 30, 40 และ 50 ตามลำดับ



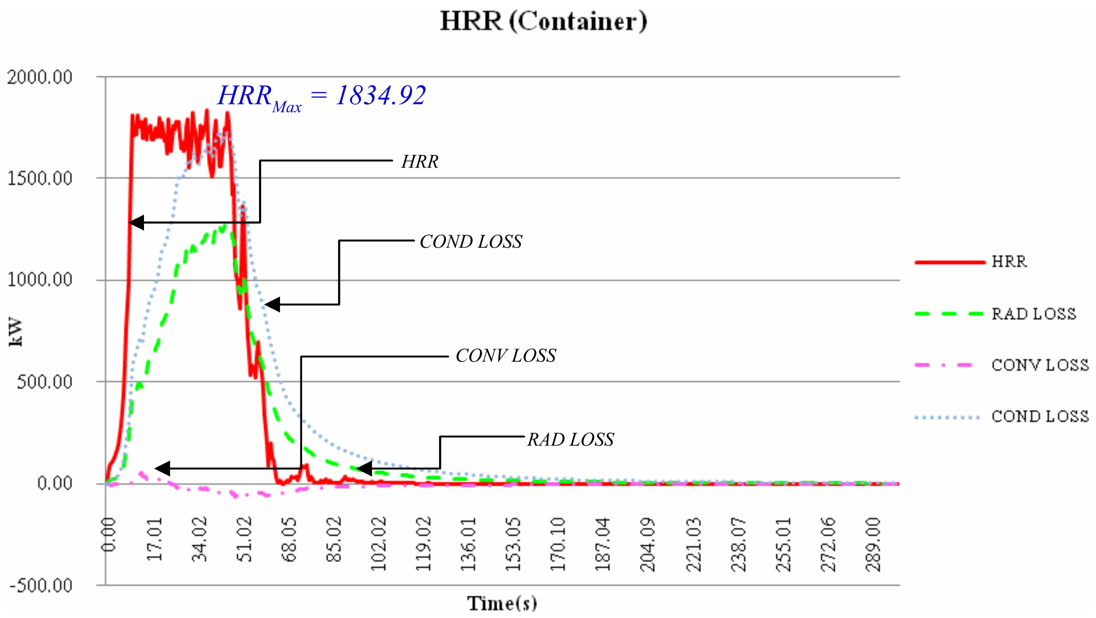
ภาพที่ 31 ภาพแสดงการกระจายตัวอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในตู้คอนเทนเนอร์นั้นได้เพิ่มสูงขึ้นและกระจายตัวสู่ด้านบน ดังภาพตัดขวางตามระนาบแกน X ที่ตำแหน่ง X = 3.5 ในวินาทีที่ 10 (ภาพซ้าย) และวินาทีที่ 40 (ภาพขวา)



ภาพที่ 32 ภาพแสดงการกระจายตัวอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในตู้คอนเทนเนอร์นั้นได้เพิ่มสูงขึ้นและกระจายตัวสู่ด้านบน ดังภาพตัดขวางตามระนาบแกน Y ที่ตำแหน่ง Y = 5.5 ในวินาทีที่ 10 (ภาพซ้าย) และวินาทีที่ 40 (ภาพขวา)



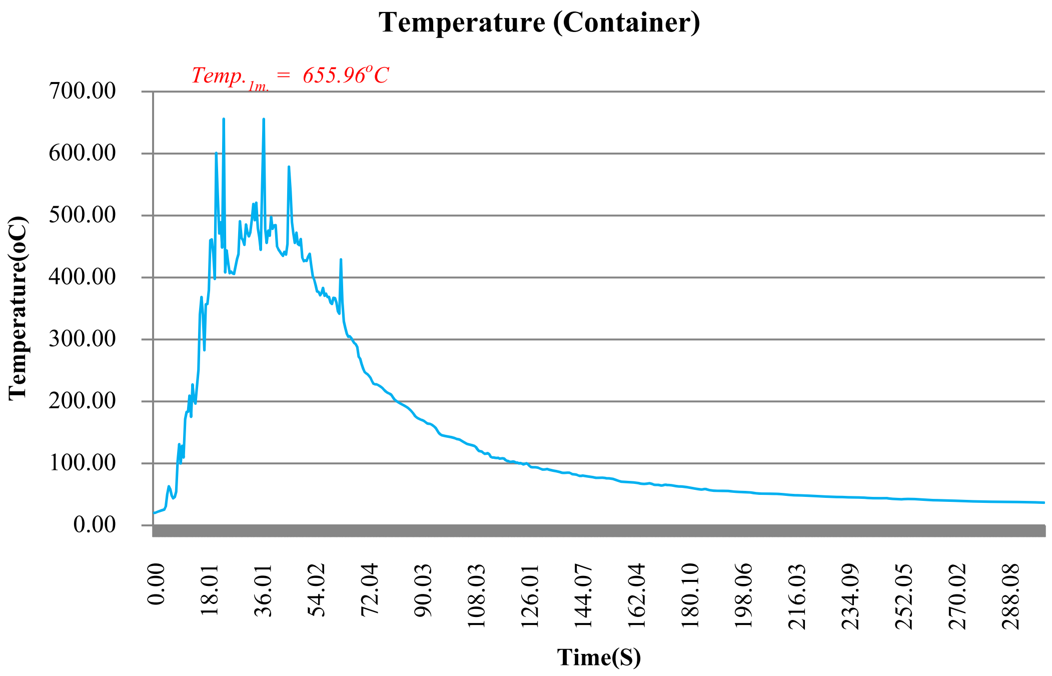
ภาพที่ 33 ภาพแสดงการกระจายตัวอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในตู้คอนเทนเนอร์นั้นได้เพิ่มสูงขึ้นและกระจายตัวสู่ด้านบน ดังภาพตัดขวางตามระนาบแกน Z ที่ตำแหน่ง Z = 1.5 ในวินาทีที่ 10 (ภาพซ้าย) และวินาทีที่ 40 (ภาพขวา)



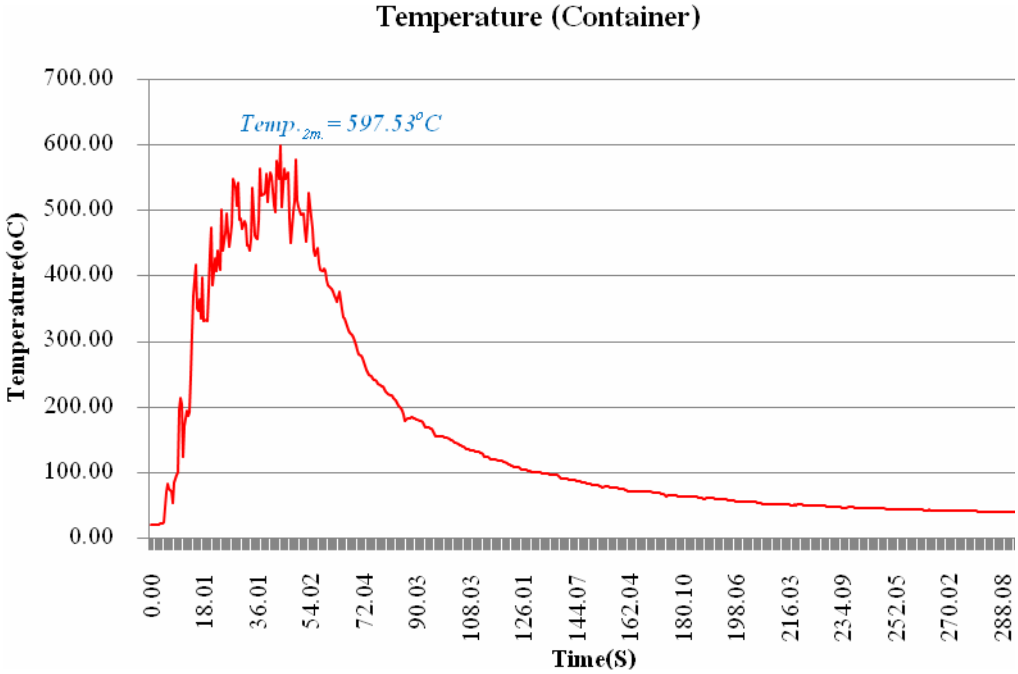
ภาพที่ 34 กราฟแสดงอัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นจากการสร้างแบบจำลองโดย FDS ก่อนออกแบบเพื่อควบคุมเพลิงไหม้

จากภาพที่ 34 เส้น **HRR (เส้นทึบสีแดง)** แสดงถึงอัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ของแบบจำลองการเกิดเพลิงไหม้(Heat Release Rate) เส้น **RAD LOSS (เส้นประสีเขียว)** แสดงค่าความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ภายในขอบเขตของแบบจำลองที่เกิดจากการแผ่รังสีความร้อน (Radiation Loss) เส้น **CONV LOSS (เส้นประสลับจุดสีชมพู)** แสดงค่าความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ภายในขอบเขตของแบบจำลองที่เกิดจากการพาความร้อน (Convection Loss) เส้น **COND LOSS (เส้นจุดสีฟ้า)** แสดงค่าความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ภายในขอบเขตของแบบจำลองที่เกิดจากการนำความร้อน (Conduction Loss)

ในภาพที่ 34, 35 และ 36 เป็นกราฟแสดงอัตราการปล่อยพลังงานความร้อน และอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจากการสร้างแบบจำลองและติดตั้งหัววัดอุณหภูมิเหนือถาดรองรับการหกรั่วไหลโดยพบว่าค่าอัตราการปล่อยพลังงานความร้อนสูงสุดมีค่า 1834.92 กิโลวัตต์ ค่าอุณหภูมิที่ความสูง 1 เมตร มีอุณหภูมิสูงสุด 655 องศาเซลเซียส ที่วินาทีที่ 23 และที่ความสูง 2 เมตร มีอุณหภูมิสูงสุด 597.53 องศาเซลเซียส ที่วินาทีที่ 44



ภาพที่ 35 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจากการสร้างแบบจำลองโดย FDS ก่อนออกแบบเพื่อควบคุมเพลิงไหม้ที่ตำแหน่งความสูงของหัววัดอุณหภูมิที่ 1 เมตร

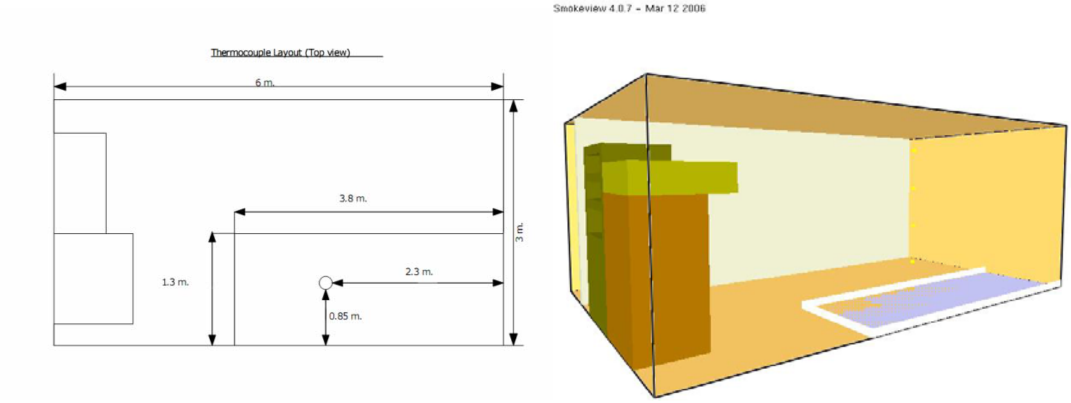


ภาพที่ 36 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจากการสร้างแบบจำลองโดย FDS ก่อนออกแบบเพื่อควบคุมเพลิงไหม้ที่ตำแหน่งความสูงของหัววัดอุณหภูมิที่ 2 เมตร

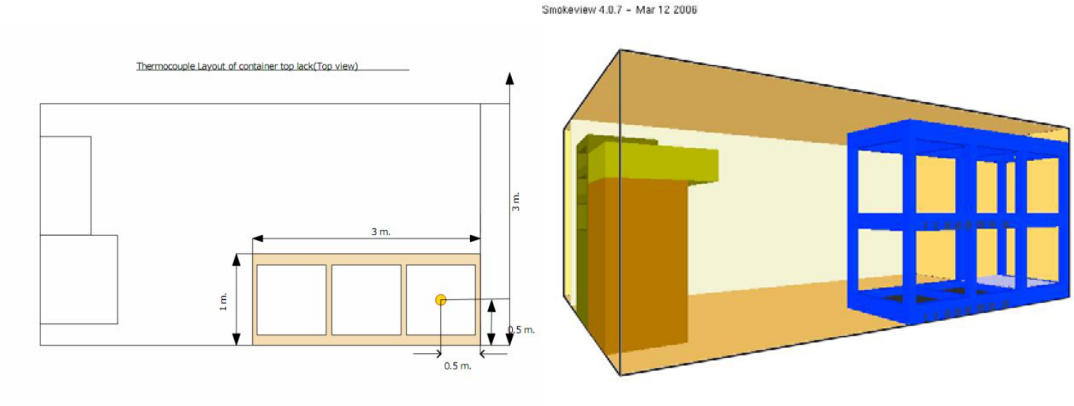
ผลจากการสร้างแบบจำลอง เพื่อวิเคราะห์พฤติกรรมการเกิดเพลิงไหม้ภายในตู้คอนเทนเนอร์เก็บสารเคมีไวไฟหลังจากที่มีการออกแบบเพื่อควบคุมการเกิดเพลิงไหม้

ในงานวิจัยนี้ได้มีการออกแบบปรับปรุงห้องเก็บสารเคมีไวไฟเพื่อควบคุมการเกิดเพลิงไหม้ดังนี้

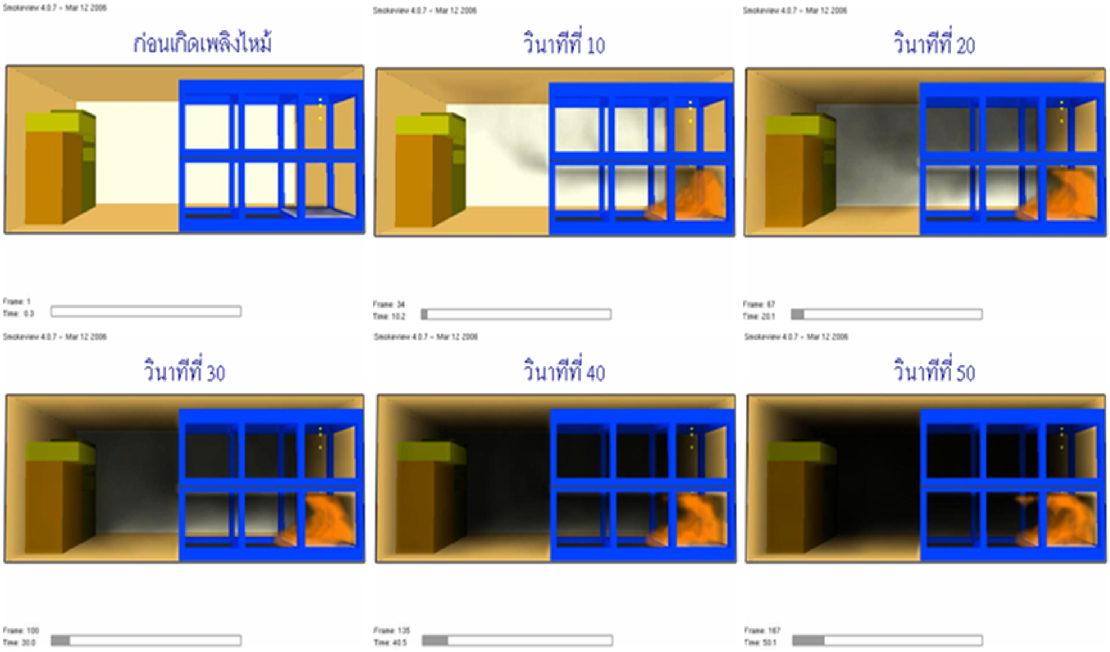
1. ปรับปรุงโดยการลดขนาดพื้นที่หน้าตัดของถาดรองรับสารเคมีกรณีหกรั่วไหล ให้มีขนาดเล็กลง แต่เพิ่มความสูง เพื่อให้สามารถรองรับสารเคมีได้ในปริมาณเท่ากันกับถาดใหญ่เดิมหรือรองรับได้ทั้งหมดกรณีเกิดการหกรั่ว โดยในภาพด้านซ้ายแสดงแบบห้อง และในภาพด้านขวาแสดงแบบจำลองก่อนปรับปรุงและแบบจำลองกรณีหลังออกแบบปรับปรุงเพื่อควบคุมการเกิดเพลิงไหม้โดยการลดขนาดพื้นที่หน้าตัดของถาดรองรับสารเคมีกรณีหกรั่วไหล ให้มีขนาดเล็กลงดังแสดงในภาพที่ 37 และภาพที่ 38 ตามลำดับ



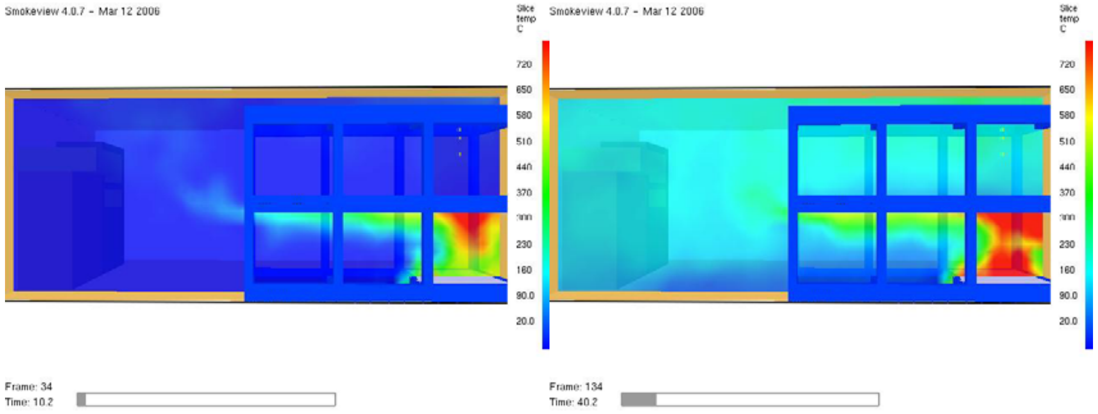
ภาพที่ 37 แสดงแบบห้องและแบบจำลองของจัดเก็บสารเคมีไวไฟแบบจำลองก่อนปรับปรุง



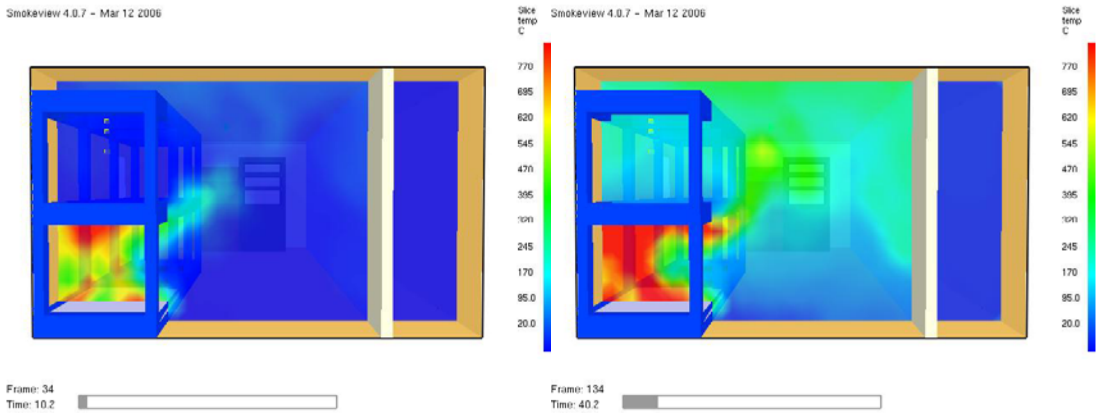
ภาพที่ 38 แสดงแบบห้องและแบบจำลองของจัดเก็บสารเคมีไวไฟกรณีหลังออกแบบปรับปรุง เพื่อควบคุมการเกิดเพลิงไหม้โดยการลดขนาดพื้นที่หน้าตัดของถาดรองรับสารเคมี กรณีหกรั่วไหล



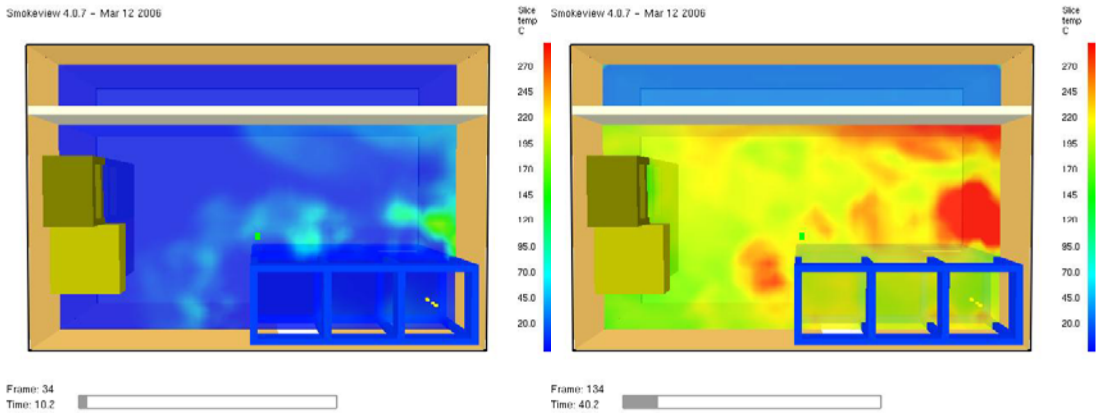
ภาพที่ 39 ภาพแสดงการกระจายตัวของควันอย่างรวดเร็วตั้งแต่ก่อนเกิดเพลิงไหม้กรณีหลังลดขนาดพื้นที่หน้าตัดของถาดรองรับสารเคมีกรณีหกรั่วไหลในวินาทีที่ 10, 20, 30, 40 และ 50 ตามลำดับ



ภาพที่ 40 ภาพแสดงการกระจายตัวอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในตู้คอนเทนเนอร์กรณีหลังลดขนาดพื้นที่หน้าตัดของถาดรองรับสารเคมีกรณีหกรั่วไหลได้เพิ่มสูงขึ้นและกระจายตัวสู่ด้านบน ดังภาพตัดขวางตามระนาบแกน X ที่ตำแหน่ง X = 3.5 ในวินาทีที่ 10 (ภาพซ้าย) และวินาทีที่ 40 (ภาพขวา)

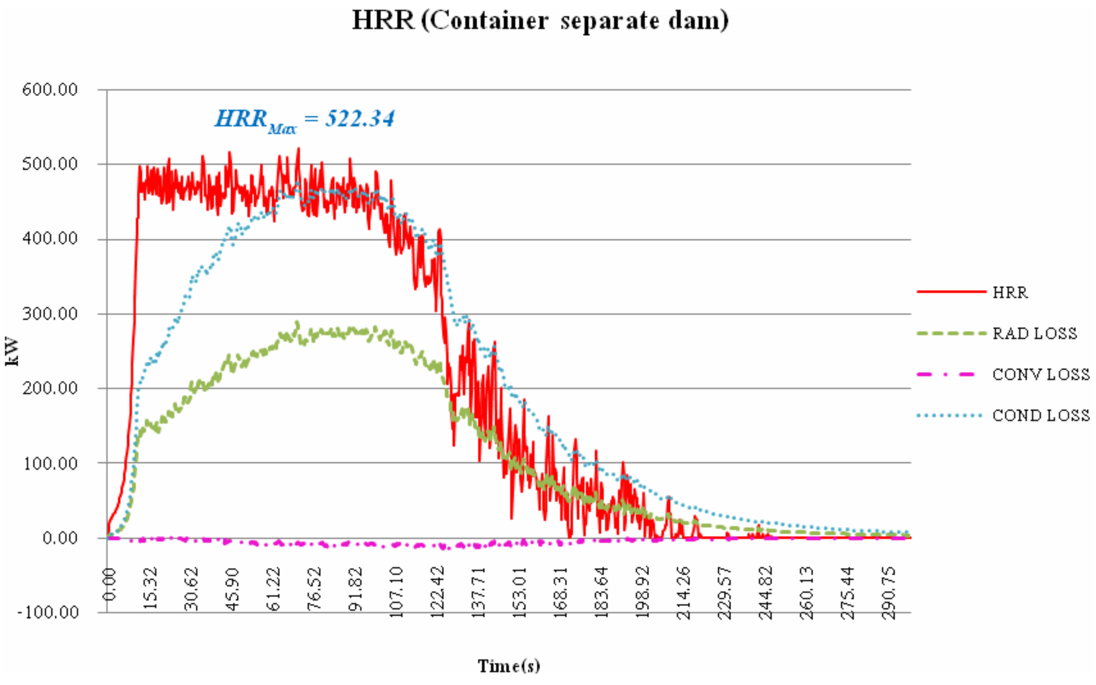


ภาพที่ 41 ภาพแสดงการกระจายตัวอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในตู้คอนเทนเนอร์กรณีหลังลดขนาดพื้นที่หน้าตัดของถาดรองรับสารเคมีกรณีหกรั่วไหลได้เพิ่มสูงขึ้นและกระจายตัวสู่ด้านบน ดังภาพตัดขวางตามระนาบแกน Y ที่ตำแหน่ง Y = 5.5 ในวินาทีที่ 10 (ภาพซ้าย) และวินาทีที่ 40 (ภาพขวา)

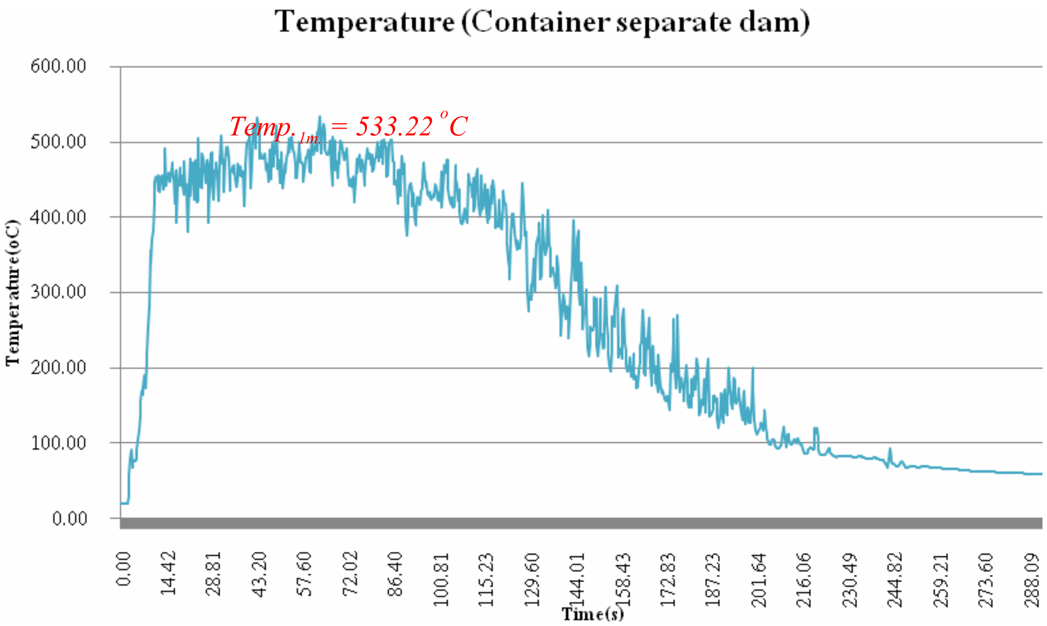


ภาพที่ 42 ภาพแสดงการกระจายตัวอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในตู้คอนเทนเนอร์กรณีหลังลดขนาดพื้นที่หน้าตัดของถาดรองรับสารเคมีกรณีหกรั่วไหลได้เพิ่มสูงขึ้นและกระจายตัวสู่ด้านบน ดังภาพตัดขวางตามระนาบแกน Z ที่ตำแหน่ง Z = 1.5 ในวินาทีที่ 10 (ภาพซ้าย) และวินาทีที่ 40 (ภาพขวา)

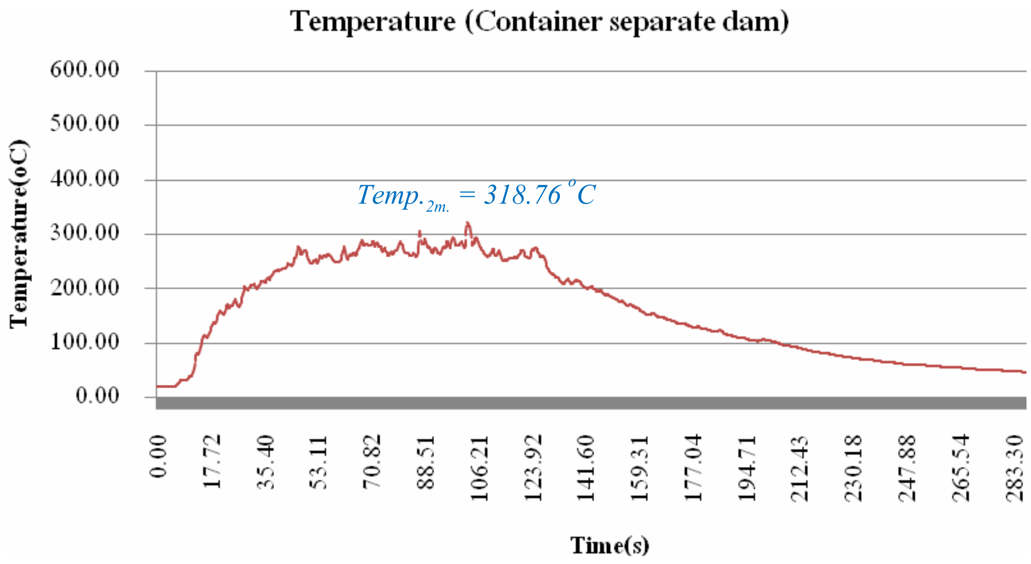
ในภาพที่ 43, 44 และ 45 เป็นกราฟแสดงอัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนและค่าอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจากการสร้างแบบจำลองและติดตั้งหัววัดอุณหภูมิเหนือถาดรองรับการหกรั่วไหลหลังจากออกแบบปรับปรุงโดยการการลดขนาดพื้นที่หน้าตัดของถาดรองรับสารเคมี และเพิ่มด้านสูงแทนโดยที่ปริมาตรถาดเท่าเดิม พบว่าค่าอัตราการปล่อยพลังงานความร้อนสูงสุดมีค่า 522.34 กิโลวัตต์ และที่ความสูง 1 เมตร มีอุณหภูมิสูงสุด 533.22 องศาเซลเซียส ที่วินาทีที่ 63.20 วินาที และที่ความสูง 2 เมตร มีอุณหภูมิสูงสุด 321.05 องศาเซลเซียส ที่วินาทีที่ 102.61 วินาที



ภาพที่ 43 กราฟแสดงอัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นจากการสร้างแบบจำลองโดย FDS หลังจากออกแบบ โดยการลดขนาดพื้นที่หน้าตัดของถาดรองรับสารเคมีกรณีหกรั่วไหล



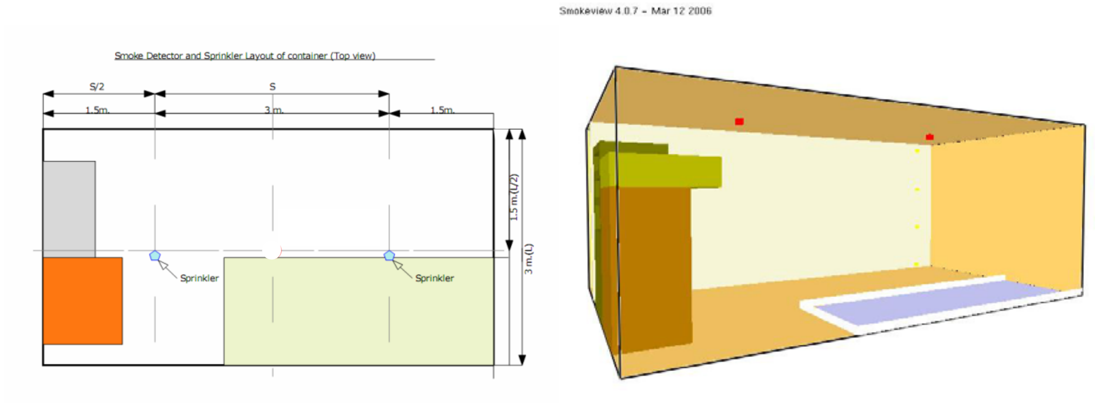
ภาพที่ 44 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจากการสร้างแบบจำลองโดย FDS หลังจากออกแบบโดยการลดขนาดพื้นที่หน้าตัดของถาดรองรับสารเคมีกรณีหกรั่วไหล ที่ตำแหน่งความสูงของหัววัดอุณหภูมิที่ 1 เมตร



ภาพที่ 45 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจากการสร้างแบบจำลองโดย FDS หลังจากออกแบบโดยการลดขนาดพื้นที่หน้าตัดของถาดรองรับสารเคมีกรณีหกรั่วไหล ที่ตำแหน่งความสูงของหัววัดอุณหภูมิที่ 2 เมตร

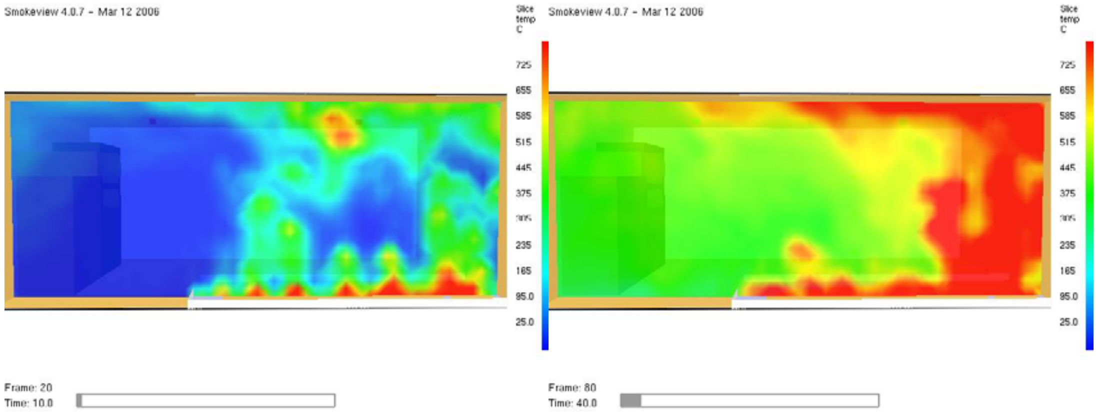
จากผลการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม FDS สำหรับตู้คอนเทนเนอร์จัดเก็บสารเคมีไวไฟที่ได้มีการปรับปรุงโดยการการลดขนาดพื้นที่หน้าตัดของถาดรองรับสารเคมี และเพิ่มความสูงถาดแทน โดยที่ปริมาตรของถาดเท่าเดิมและยังสามารถรองรับปริมาณสารเคมีได้ทั้งหมดกรณีเกิดการหกรั่วแล้วพบว่า อุณหภูมิและค่าความร้อนที่เกิดขึ้นภายในห้องจัดเก็บสารเคมีลดลงเป็นอย่างมากดังจะเห็นได้จากภาพที่ 43, 44 และ 45 เนื่องจากพื้นผิวของเหลวมีขนาดเล็กลง และในการเผาไหม้นั้นเชื้อเพลิงต้องระเหยกลายเป็นไอและผสมกับอากาศในปริมาตรที่พอเหมาะ ดังนั้นพื้นผิวหน้าของเหลวที่เล็กลงจากการแบ่งถาดของเหลวไวไฟนั้น ทำให้ปริมาตรของเหลวที่สัมผัสกับความร้อนและพร้อมที่จะระเหยกลายเป็นไอมีน้อยลง ไอเชื้อเพลิงก็น้อยลงตามไปด้วย จึงเป็นเหตุให้อัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนและค่าอุณหภูมิสูงสุดจากการเกิดเพลิงไหม้ลดลงจากก่อนที่จะมีการปรับปรุงห้องจัดเก็บสารเคมีไวไฟอย่างเห็นได้ชัด

1. ปรับปรุงโดยการติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิง ในการติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิง ใช้มาตรฐาน NFPA 13 โดยพื้นที่ของห้องเก็บสารเคมีไวไฟ มีค่าเท่ากับ 18 ตารางเมตร ในการติดตั้งจะใช้หัวกระจายน้ำดับเพลิงทั้งหมด 2 หัว และติดตั้งในแนวเส้นท่อเดียวกัน ทั้ง 2 หัว ระยะห่างระหว่างหัวกระจายน้ำดับเพลิงในแนวเส้นท่อเดียวกันมีค่า 3 เมตร ระยะห่างจากผนังด้านกว้าง (3 เมตร) ถึงหัวกระจายน้ำดับเพลิง คือ 1.5 เมตร ระยะห่างจากผนังด้านยาว (6 เมตร) ถึงหัวกระจายน้ำดับเพลิง คือ 1.5 เมตร ดังนั้น พื้นที่ป้องกันของหัวกระจายน้ำดับเพลิงมีค่าเท่ากับ 9 ตารางเมตร ดังภาพที่ 46 ด้านซ้ายแบบแสดงตำแหน่งการติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิง และด้านขวาแสดงแบบจำลองหลังการติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิง

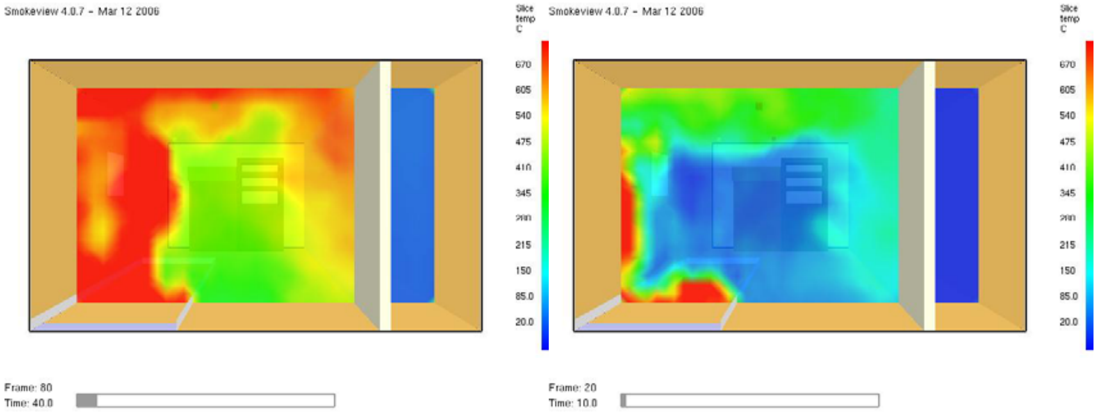


ภาพที่ 46 แสดงแบบและแบบจำลองห้องจัดเก็บสารเคมีไวไฟหลังการปรับปรุงเพื่อควบคุมการเกิดเพลิงไหม้ โดยการติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิง

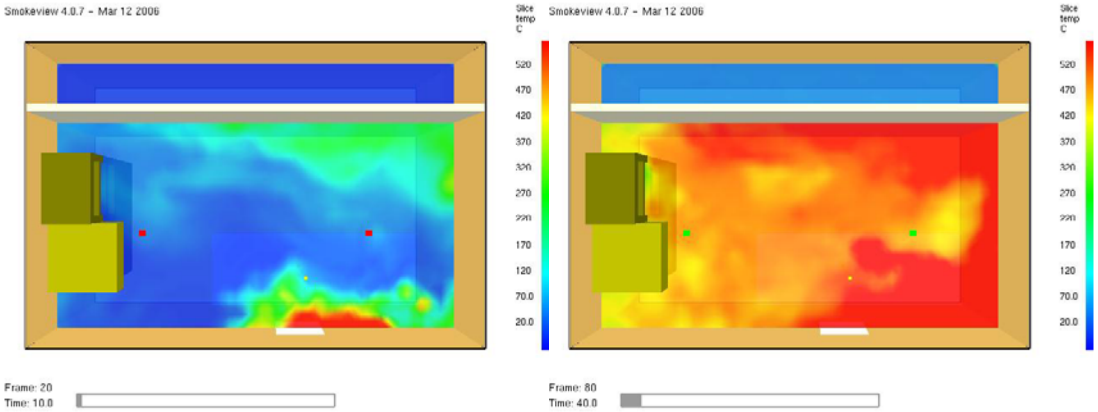
ภาพที่ 47 ภาพแสดงการกระจายตัวของควันอย่างรวดเร็วตั้งแต่ก่อนเกิดเพลิงไหม้ภายในห้องเก็บสารเคมีหลังการปรับปรุงโดยการติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิงในวินาทีที่ 10, 20, 30, 40 และ 50 ตามลำดับ



ภาพที่ 48 ภาพแสดงการกระจายตัวอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในตู้คอนเทนเนอร์หลังการติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิงนั้นได้เพิ่มสูงขึ้นและกระจายตัวสู่ด้านบน ดังภาพตัดขวางตามระนาบแกน X ที่ตำแหน่ง X = 3.5 ในวินาทีที่ 10 (ภาพซ้าย) และวินาทีที่ 40 (ภาพขวา)

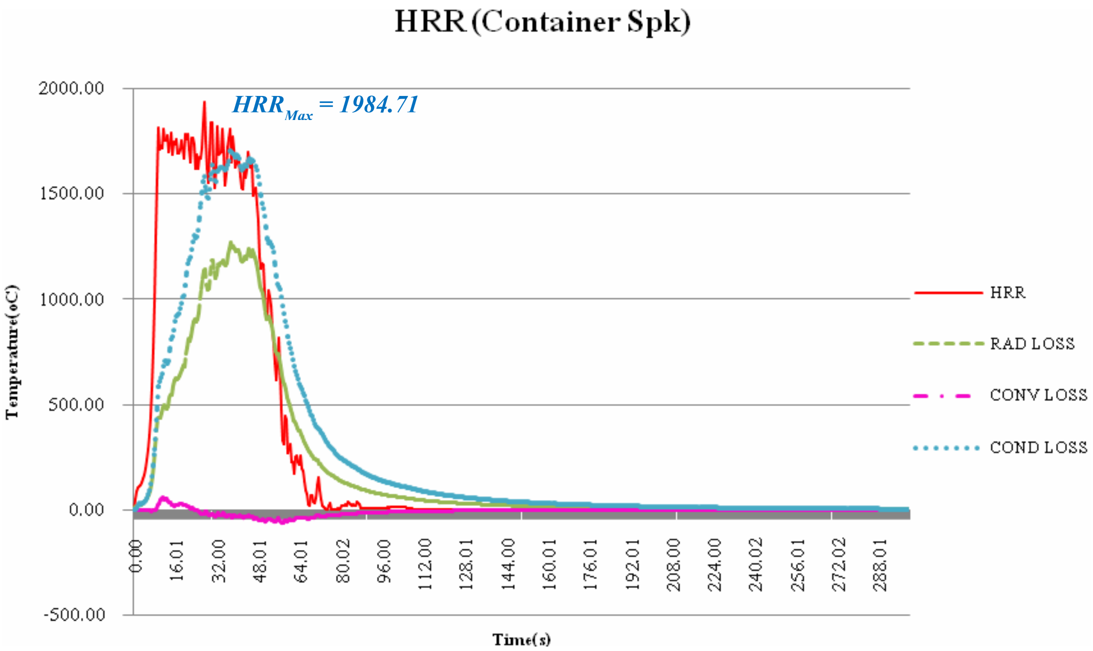


ภาพที่ 49 ภาพแสดงการกระจายตัวอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในตู้คอนเทนเนอร์หลังการติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิงนั้นได้เพิ่มสูงขึ้นและกระจายตัวสู่ด้านบน ดังภาพตัดขวางตามระนาบแกน Y ที่ตำแหน่ง Y = 5.5 ในวินาทีที่ 10 (ภาพซ้าย) และวินาทีที่ 40 (ภาพขวา)

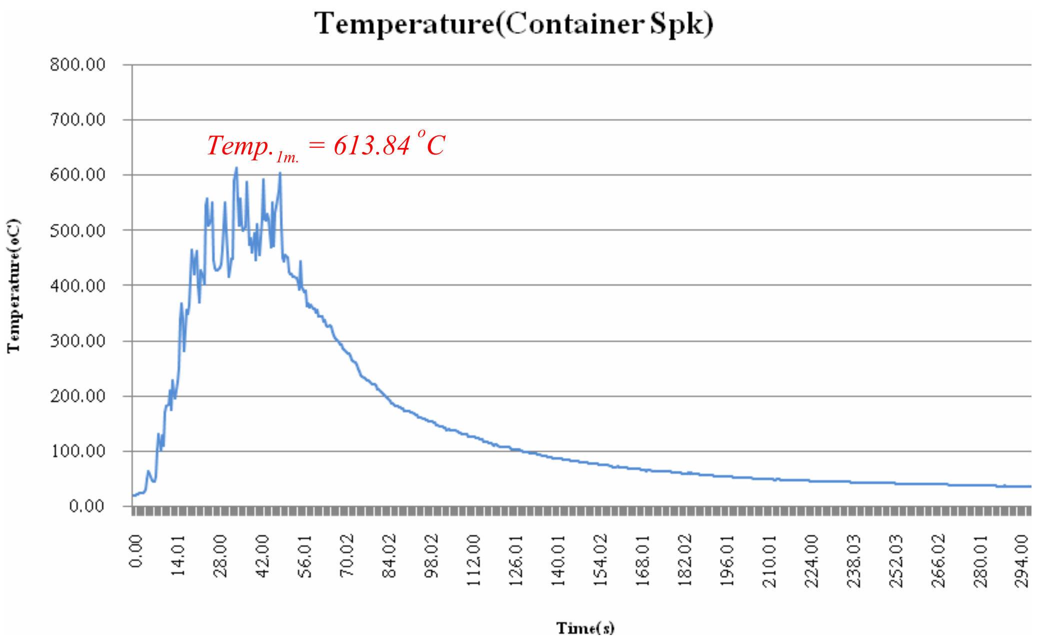


ภาพที่ 50 ภาพแสดงการกระจายตัวอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในตู้คอนเทนเนอร์หลังการติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิงนั้นได้เพิ่มสูงขึ้นและกระจายตัวสู่ด้านบน ดังภาพตัดขวางตามระนาบแกน Z ที่ตำแหน่ง Z = 1.5 ในวินาทีที่ 10 (ภาพซ้าย) และวินาทีที่ 40 (ภาพขวา)

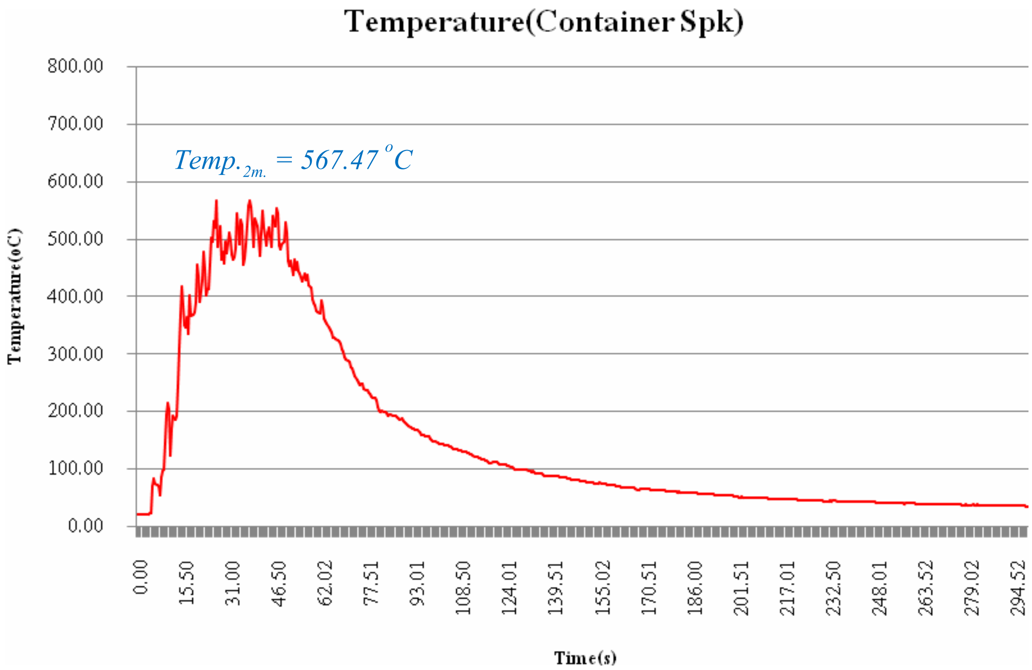
ในภาพที่ 51, 52 และ 53 เป็นกราฟแสดงค่าความร้อน และอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจากการสร้างแบบจำลองและติดตั้งหัววัดอุณหภูมิเหนือถาดรองรับการหกรั่วไหล หลังจากมีการปรับปรุงเพื่อควบคุมการเกิดเพลิงไหม้ โดยการติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิงที่ความสูง 1 เมตร มีอุณหภูมิสูงสุด 613.84 องศาเซลเซียส ที่วินาทีที่ 34 วินาที และที่ความสูง 2 เมตร มีอุณหภูมิสูงสุด 567.47 องศาเซลเซียส ที่วินาทีที่ 26.51



ภาพที่ 51 กราฟแสดงอัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนที่ได้จากการวิเคราะห์โดย FDS สำหรับห้องจัดเก็บสารเคมี หลังการปรับปรุงโดยการติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิง

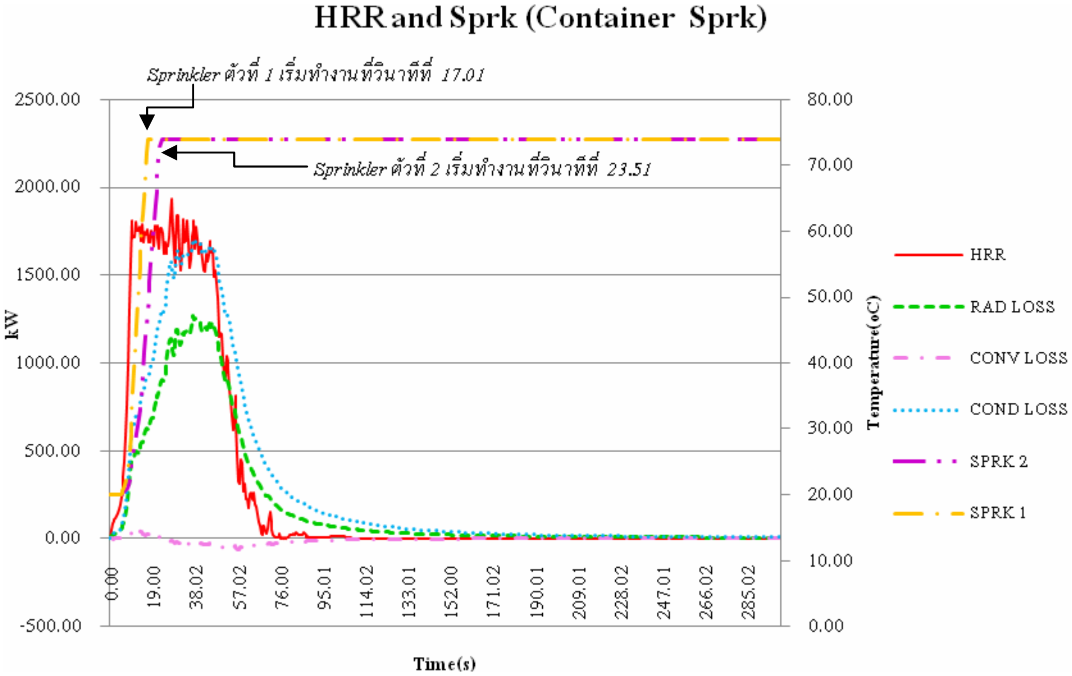


ภาพที่ 52 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจากการสร้างแบบจำลองโดย FDS หลังการปรับปรุงโดยการติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิง ที่ตำแหน่งความสูงของหัววัดอุณหภูมิที่ 1 เมตร



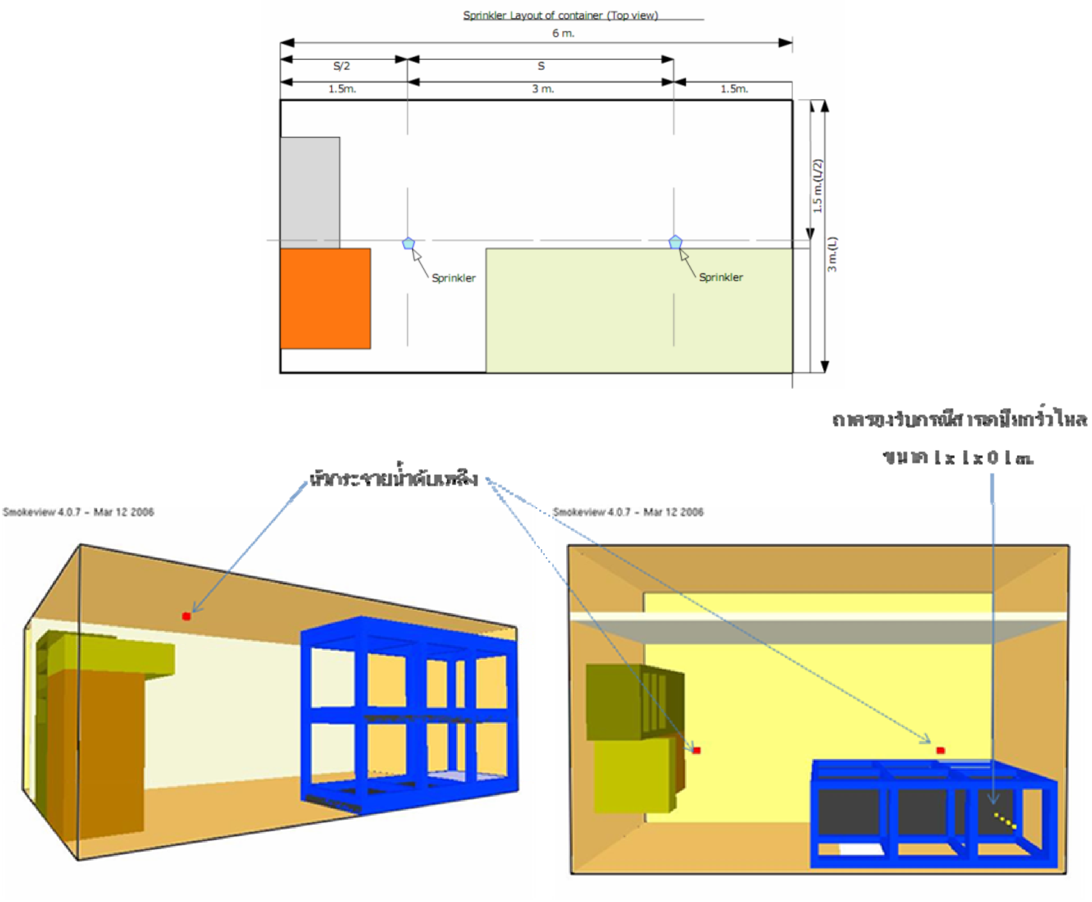
ภาพที่ 53 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจากการสร้างแบบจำลองโดย FDS หลังการปรับปรุงโดยการติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิง ที่ตำแหน่งความสูงของหัววัดอุณหภูมิที่ 2 เมตร

ผลการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม FDS สำหรับตู้คอนเทนเนอร์จัดเก็บสารเคมีไวไฟที่ได้มีการปรับปรุงโดยการติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิงแล้ว พบว่า เมื่อหัวกระจายน้ำดับเพลิงทำงาน (ที่อุณหภูมิ 74 องศาเซลเซียส) พบว่า อุณหภูมิและค่าความร้อนที่เกิดขึ้นภายในห้องจัดเก็บสารเคมีไม่ได้ลดลงจากก่อนปรับปรุงมากนัก ดังจะเห็นได้จากภาพที่ 51, 52และ 53 แสดงให้เห็นถึงความเปลี่ยนแปลงของค่าความร้อนที่เกิดขึ้นจากการทดลองในกรณีที่มีการติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิงเพื่อควบคุมการเกิดเพลิงไหม้จะเห็นได้ว่าค่าความร้อน และอุณหภูมิจะลดลงเพียงเล็กน้อยเมื่อหัวกระจายน้ำดับเพลิงทำงาน

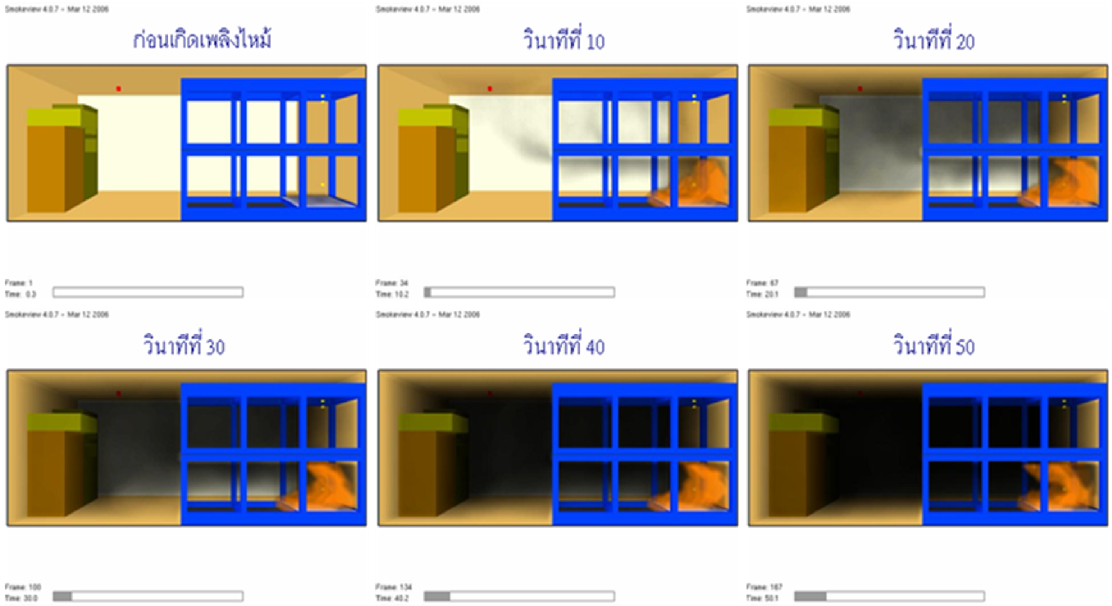


ภาพที่ 54 แสดงค่าความร้อนที่เกิดขึ้นจากการจำลองโดย FDS แบบมีการออกแบบควบคุมเพลิงไหม้โดยการติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิง และแสดงค่าอุณหภูมิที่หัวกระจายน้ำดับเพลิงทำงาน

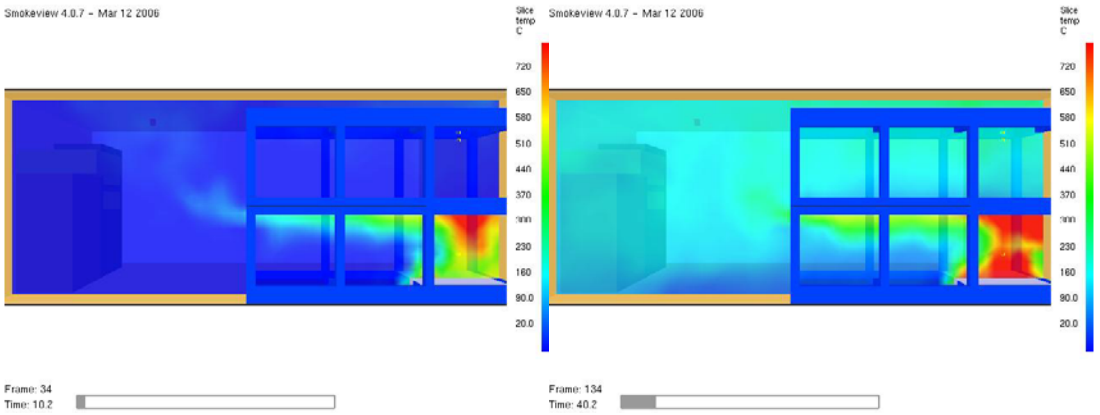
2. ปรับปรุงโดยการลดขนาดพื้นที่หน้าตัดของถาดรองรับสารเคมีกรณีหกรั่วไหล ร่วมกับการติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิง ในการติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิง ใช้มาตรฐาน NFPA 13 เช่นเดียวกับการปรับปรุงในข้อที่ 2 ดังภาพที่ 55 ด้านซ้ายบนเป็นแบบแสดงตำแหน่งการติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิงโดยมองจากด้านบน และด้านขวาบนแสดงแบบจำลองหลังการติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิงโดยมองจากด้านบน ภาพกลางด้านล่างแสดงแบบจำลองของการลดขนาดพื้นที่หน้าตัดของถาดรองรับสารเคมี ร่วมกับการติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิงโดยมองจากด้านข้าง



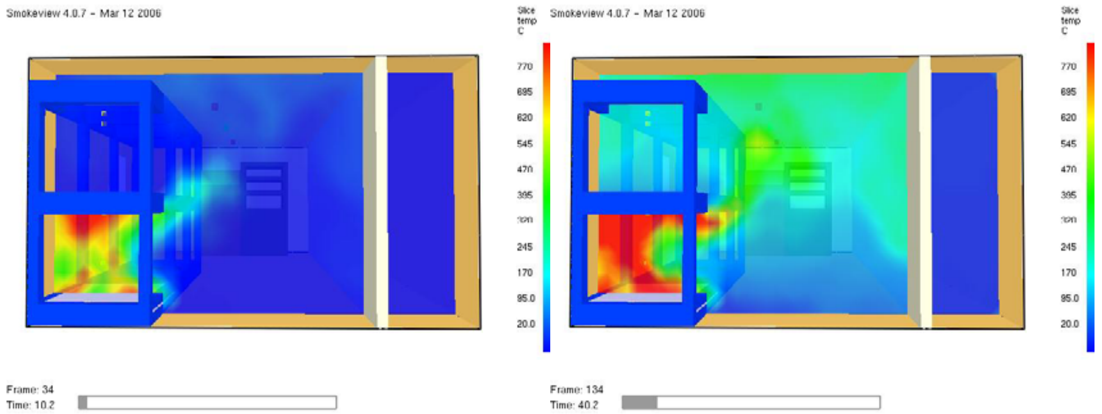
ภาพที่ 55 ภาพกลางด้านบนเป็นแบบแสดงตำแหน่งการติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิงโดยมองจากด้านบน ส่วนภาพซ้ายและขวาด้านล่างแสดงแบบจำลองของการลดขนาดพื้นที่หน้าตัดของถาดรองรับสารเคมี ร่วมกับการติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิงโดยมองจากด้านข้างและด้านบน



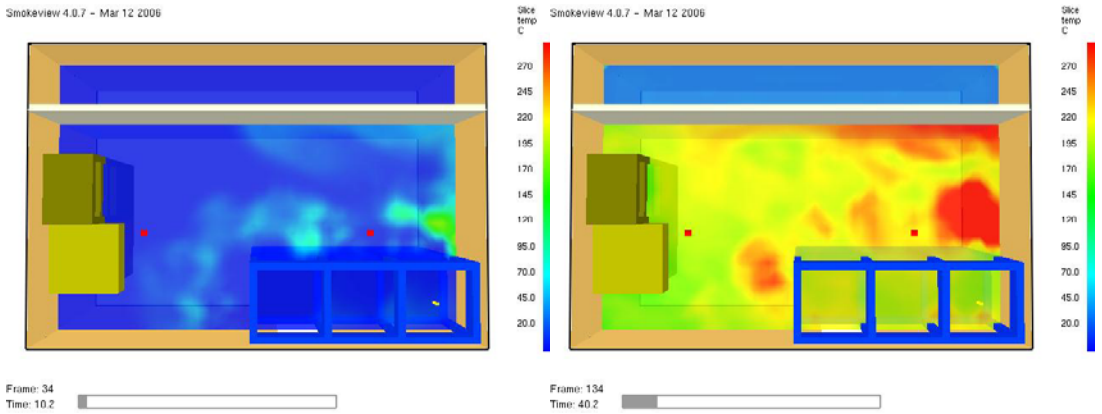
ภาพที่ 56 ภาพแสดงการกระจายตัวของควันอย่างรวดเร็วตั้งแต่ก่อนเกิดเพลิงไหม้ภายในห้องเก็บสารเคมีหลังจากลดขนาดพื้นที่หน้าตัดของถาดรองรับสารเคมี ร่วมกับการติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิงในวินาทีที่ 10, 20, 30, 40 และ 50 ตามลำดับ



ภาพที่ 57 ภาพแสดงการกระจายตัวอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในตู้คอนเทนเนอร์เก็บสารเคมีหลังจากลดขนาดพื้นที่หน้าตัดของถาดรองรับสารเคมี ร่วมกับการติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิงนั้นได้เพิ่มสูงขึ้นและกระจายตัวสู่ด้านบน ดังภาพตัดขวางตามระนาบแกน X ที่ตำแหน่ง X = 3.5 ในวินาทีที่ 10 (ภาพซ้าย) และวินาทีที่ 40 (ภาพขวา)



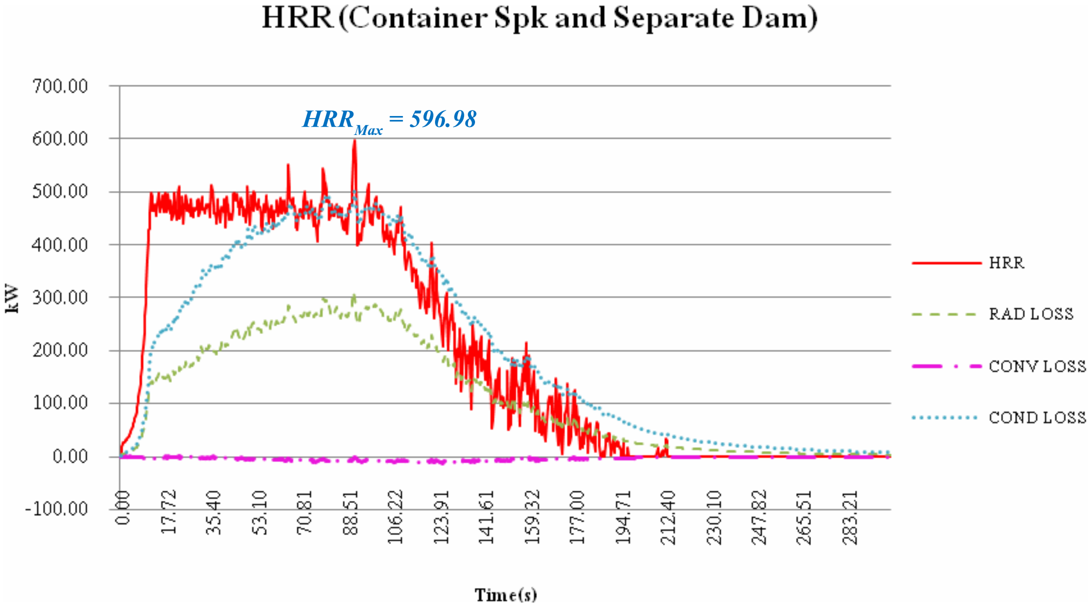
ภาพที่ 58 ภาพแสดงการกระจายตัวอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในตู้คอนเทนเนอร์เก็บสารเคมีหลังจากลดขนาดพื้นที่หน้าตัดของถาดรองรับสารเคมี ร่วมกับการติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิงนั้นได้เพิ่มสูงขึ้นและกระจายตัวสู่ด้านบน ดังภาพตัดขวางตามระนาบแกน Y ที่ตำแหน่ง Y = 5.5 ในวินาทีที่ 10 (ภาพซ้าย) และวินาทีที่ 40 (ภาพขวา)



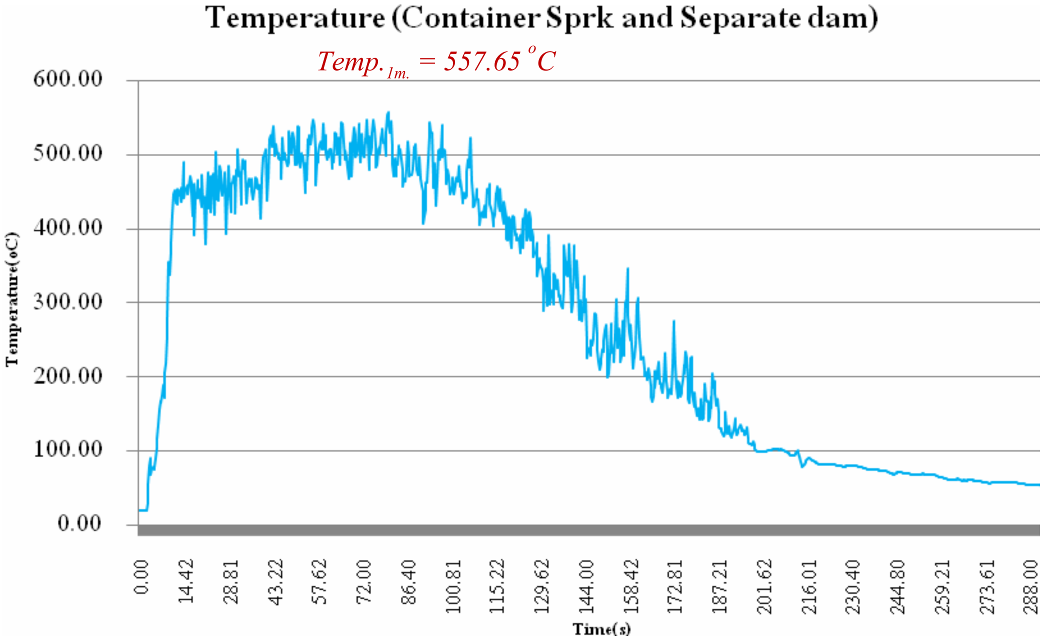
ภาพที่ 59 ภาพแสดงการกระจายตัวอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในตู้คอนเทนเนอร์เก็บสารเคมีหลังจากลดขนาดพื้นที่หน้าตัดของถาดรองรับสารเคมี ร่วมกับการติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิงนั้นได้เพิ่มสูงขึ้นและกระจายตัวสู่ด้านบน ดังภาพตัดขวางตามระนาบแกน Z ที่ตำแหน่ง Z= 1.5 ในวินาทีที่ 10 (ภาพซ้าย) และวินาทีที่ 40 (ภาพขวา)

ในภาพที่ 60, 61 และ 62 เป็นกราฟแสดงอัตราการปล่อยพลังงานความร้อน และอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจากการสร้างแบบจำลองและติดตั้งหัววัดอุณหภูมิเหนือถาดรองรับการหกรั่วไหลหลังจากมีการปรับปรุงเพื่อควบคุมการเกิดเพลิงไหม้ โดยการลดขนาดพื้นที่หน้าตัดของถาดรองรับสารเคมีกรณีหกรั่วไหล ร่วมกับการติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิง พบว่าอัตราการปล่อยพลังงาน

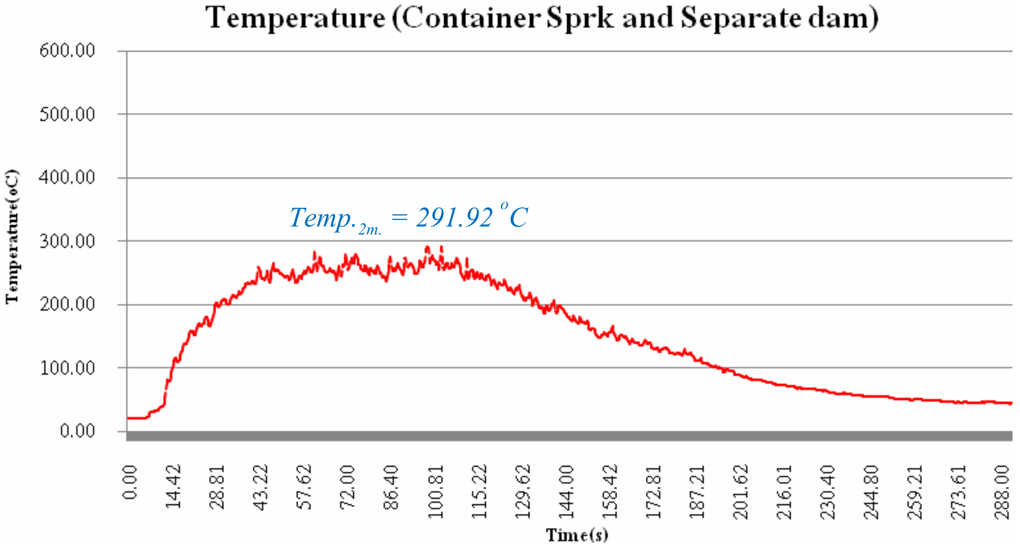
ความร้อนสูงสุดมีค่า 596.98 กิโลวัตต์ และที่ความสูง 1 เมตร มีอุณหภูมิสูงสุด 557.65 องศาเซลเซียส ที่วินาทีที่ 80.72 และที่ความสูง 2 เมตร มีอุณหภูมิสูงสุด 291.92 องศาเซลเซียส ที่วินาทีที่ 99



ภาพที่ 60 กราฟแสดงอัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนที่ได้จากการวิเคราะห์โดย FDS การปรับปรุงโดยการลดขนาดพื้นที่หน้าตัดของถาดรองรับสารเคมีกรณีหกรั่วไหล ร่วมกับการติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิง

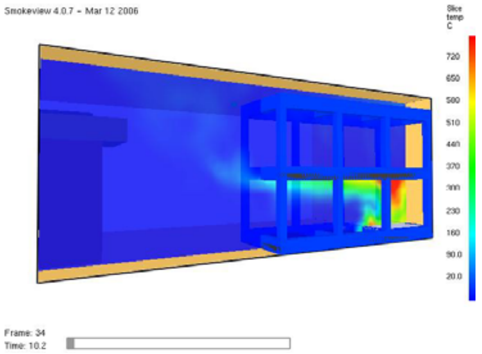


ภาพที่ 61 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจากการสร้างแบบจำลองโดย FDS หลังการปรับปรุงโดยการลดขนาดพื้นที่หน้าตัดของถาดรองรับสารเคมีกรณีหกรั่วไหล ร่วมกับการติดตั้งและหัวกระจายน้ำดับเพลิงที่ตำแหน่งความสูงของหัววัดอุณหภูมิที่ 1 เมตร

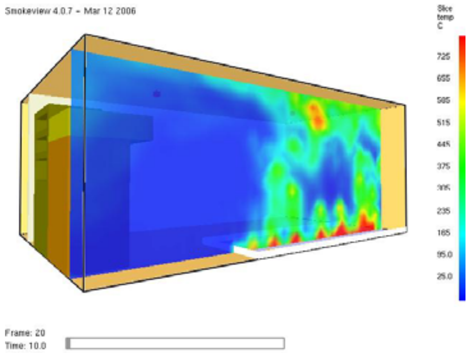


ภาพที่ 62 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจากการสร้างแบบจำลองโดย FDS หลังการปรับปรุงโดยการลดขนาดพื้นที่หน้าตัดของถาดรองรับสารเคมีกรณีหกรั่วไหล ร่วมกับการติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิงที่ตำแหน่งความสูงของหัววัดอุณหภูมิที่ 2 เมตร

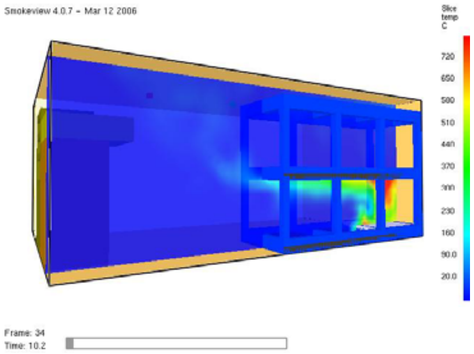
ผลการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม FDS สำหรับตู้คอนเทนเนอร์จัดเก็บสารเคมีไวไฟที่ได้มีการปรับปรุงโดยการลดขนาดพื้นที่หน้าตัดของถาดรองรับสารเคมีกรณีหกรั่วไหล ร่วมกับการติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิงแล้ว พบว่า เมื่อหัวกระจายน้ำดับเพลิงทำงาน (ที่อุณหภูมิ 74 องศาเซลเซียส) พบว่า ค่าอุณหภูมิและอัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นภายในห้องจัดเก็บสารเคมีไม่ได้แตกต่างจากการปรับปรุงเพียงการลดขนาดพื้นที่หน้าตัดของถาดรองรับสารเคมีเพียงอย่างเดียวมากนัก แต่จะสังเกตได้ว่าเวลาที่ค่าอุณหภูมิและอัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนลดลงนั้นใช้เวลาเร็วขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับการลดขนาดพื้นที่หน้าตัดของถาดรองรับสารเคมีเพียงอย่างเดียว โดยจะดูได้จากความชันของกราฟที่มีความชันเพิ่มมากขึ้นหลังจากผ่านช่วงที่มีอุณหภูมิคงที่หรืออัตราการปล่อยพลังงานความร้อนคงที่มาแล้วดังจะเห็นได้จากภาพที่ 60, 61 และ 62 แสดงให้เห็นถึงความเปลี่ยนแปลงของค่าอุณหภูมิ และอัตราการปล่อยพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นจากการทดลองในกรณีที่มีการปรับปรุงโดยการลดขนาดพื้นที่หน้าตัดของถาดรองรับสารเคมีกรณีหกรั่วไหล ร่วมกับการติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิง เปรียบเทียบกับภาพที่ 43, 44 และ 45 แสดงให้เห็นถึงความเปลี่ยนแปลงของค่าอุณหภูมิ และอัตราการปล่อยพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นจากการทดลองในกรณีที่มีการปรับปรุงโดยการลดขนาดพื้นที่หน้าตัดของถาดรองรับสารเคมีกรณีหกรั่วไหลเพียงอย่างเดียว



(ก)

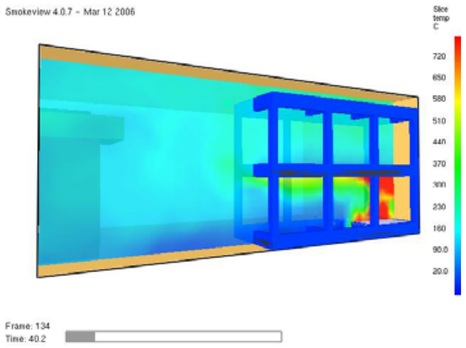


(ข)

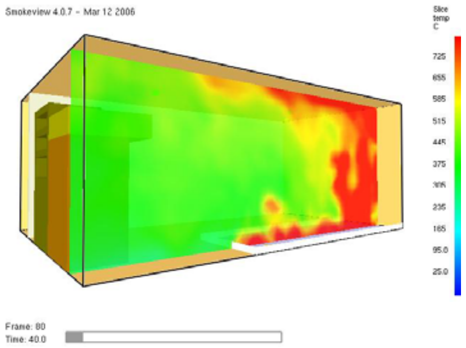


(ค)

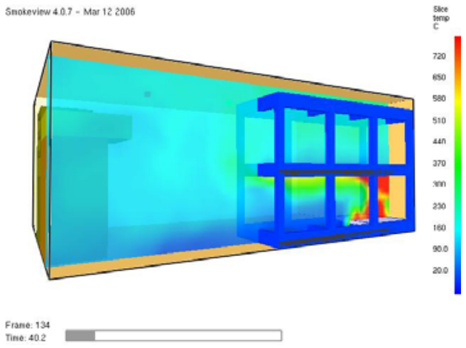
ภาพที่ 63 เป็นการแสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิในวินาทีที่ 10 เปรียบเทียบระหว่างกรณีปรับปรุงโดยการลดขนาดของถาดรองสารเคมีกรณีหกรั่วเพียงอย่างเดียว (ก) ปรับปรุงโดยการติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิงเพียงอย่างเดียว (ข) และกรณีปรับปรุงโดยใช้ทั้ง 2 วิธีร่วมกัน (ค)



(ก)

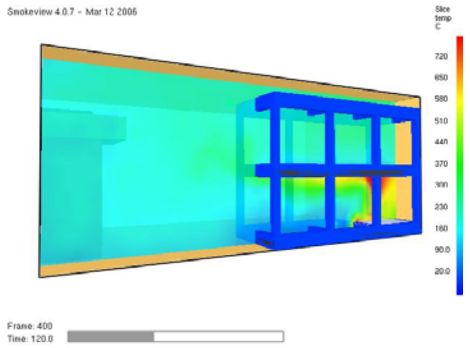


(ข)

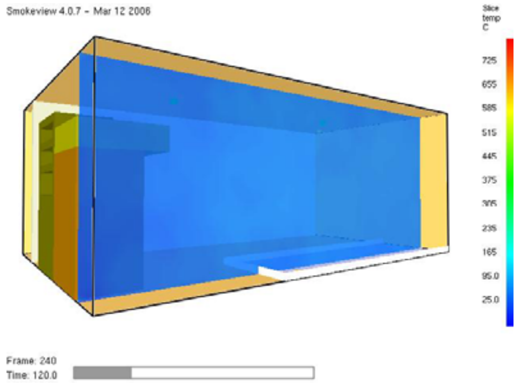


(ค)

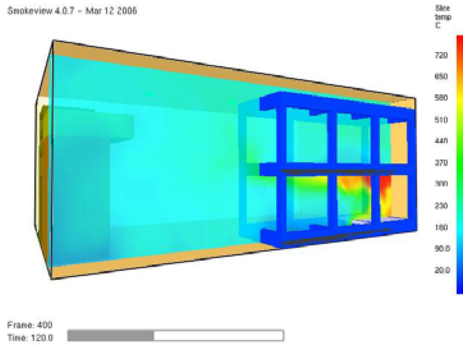
ภาพที่ 64 เป็นการแสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิในวินาทีที่ 40 เปรียบเทียบระหว่างกรณีปรับปรุงโดยการลดขนาดของถาดรองสารเคมีกรณีหกรั่วเพียงอย่างเดียว (ก) ปรับปรุงโดยการติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิงเพียงอย่างเดียว (ข) และกรณีปรับปรุงโดยใช้ทั้ง 2 วิธีร่วมกัน (ค)



(ก)

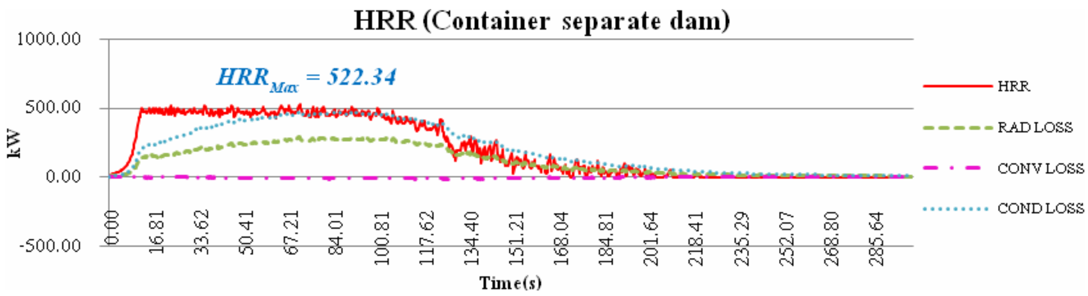


(ข)

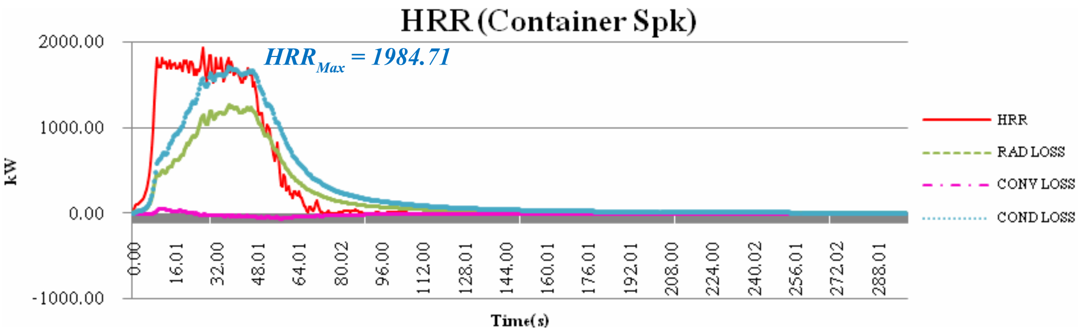


(ค)

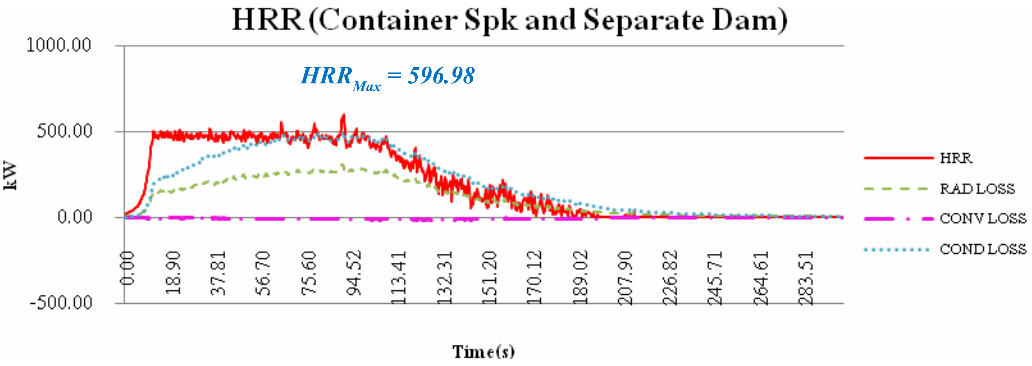
ภาพที่ 65 เป็นการแสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิในวินาทีที่ 120 เปรียบเทียบระหว่างกรณีปรับปรุงโดยการลดขนาดของถาดรองสารเคมีกรณีหกรั่วเพียงอย่างเดียว (ก) ปรับปรุงโดยการติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิงเพียงอย่างเดียว (ข) และกรณีปรับปรุงโดยใช้ทั้ง 2 วิธีร่วมกัน (ค)



(ก)

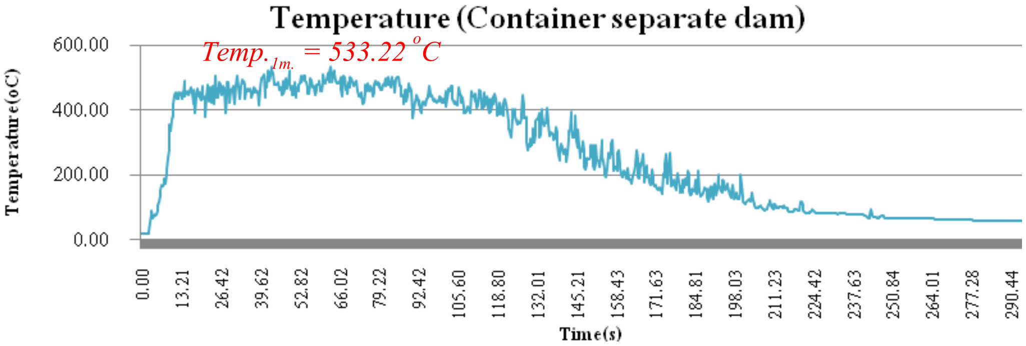


(ข)

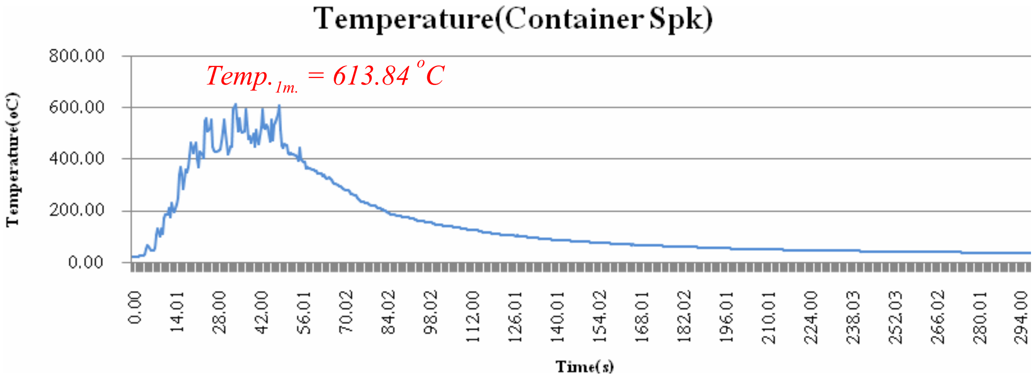


(ค)

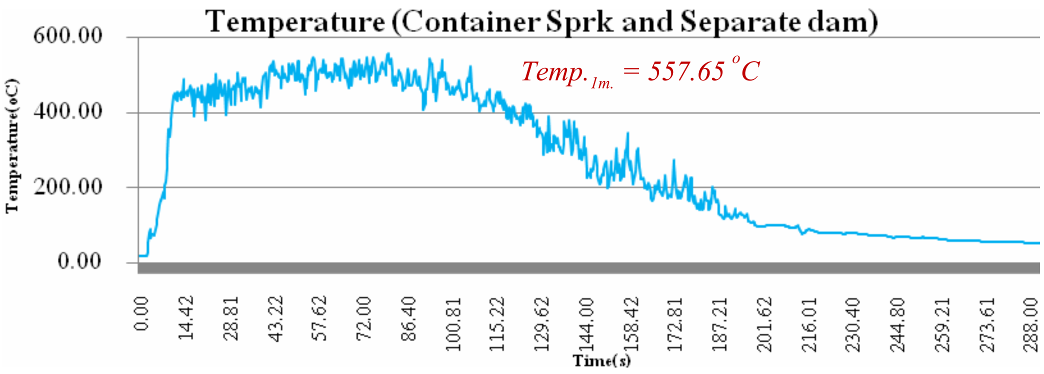
ภาพที่ 66 กราฟแสดงอัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนเปรียบเทียบระหว่างกรณีปรับปรุงโดยการลดขนาดของถาดรองสารเคมีกรณีหกรั่วเพียงอย่างเดียว (ก) ปรับปรุงโดยการติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิงเพียงอย่างเดียว (ข) และกรณีปรับปรุงโดยใช้ทั้ง 2 วิธีร่วมกัน (ค)



(ก)

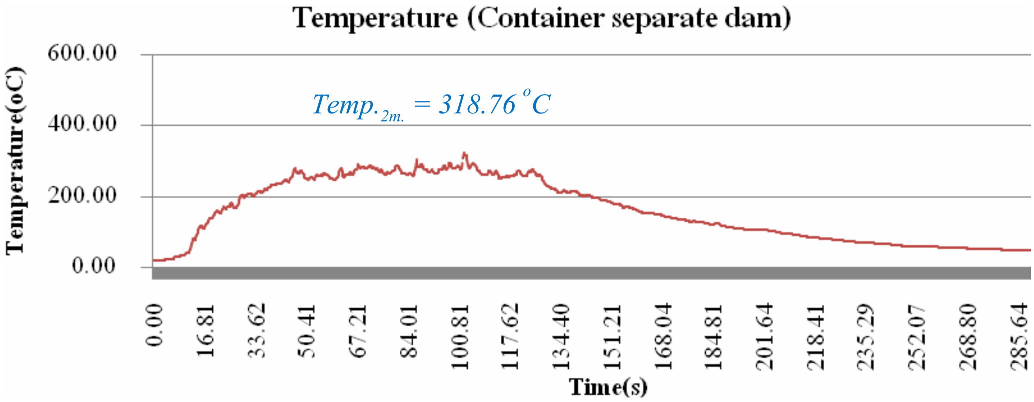


(ข)

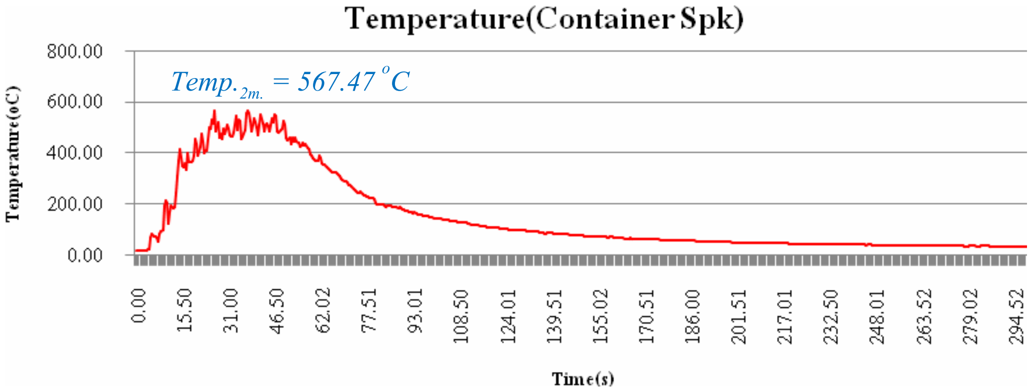


(ค)

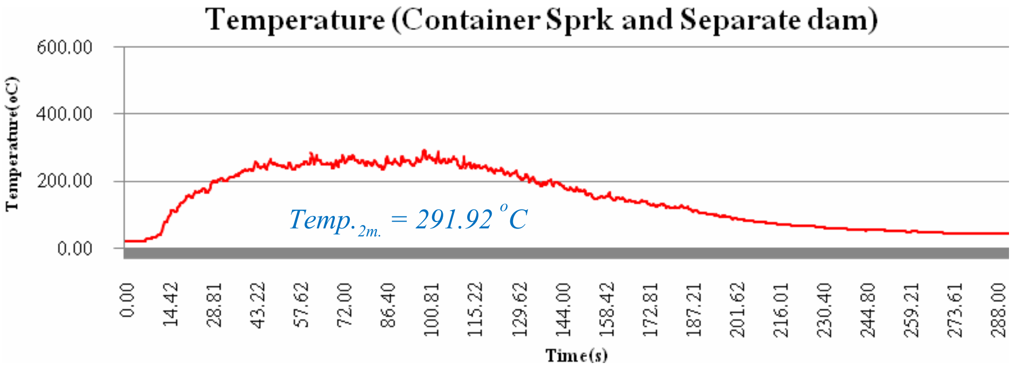
ภาพที่ 67 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิเปรียบเทียบระหว่างกรณีปรับปรุงโดยการลดขนาดของถาดรองสารเคมีกรณีหกรั่วเพียงอย่างเดียว (ก) ปรับปรุงโดยการติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิงเพียงอย่างเดียว (ข) และกรณีปรับปรุงโดยใช้ทั้ง 2 วิธีร่วมกัน (ค) ที่ความสูง 1 เมตร



(ก)

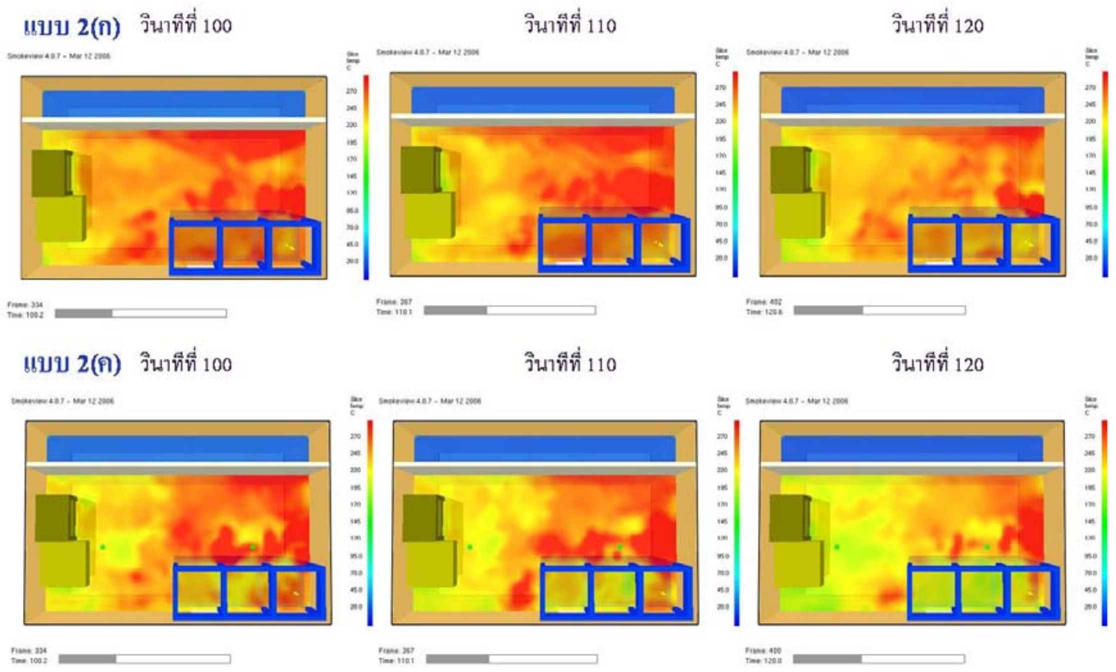


(ข)



(ค)

ภาพที่ 68 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิเปรียบเทียบระหว่างกรณีปรับปรุงโดยการลดขนาดของถาดรองสารเคมีกรณีหกรั่วเพียงอย่างเดียว (ก) ปรับปรุงโดยการติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิงเพียงอย่างเดียว (ข) และกรณีปรับปรุงโดยใช้ทั้ง 2 วิธีร่วมกัน (ค) ที่ความสูง 2 เมตร



ภาพที่ 69 ภาพตัดขวางแสดงค่าอุณหภูมิเปรียบเทียบระหว่างกรณีปรับปรุงโดยการลดขนาดของถาดรองสารเคมีกรณีหกรั่วเพียงอย่างเดียว (แบบ 2ก) ภาพบน และกรณีปรับปรุงโดยใช้ทั้ง 2 วิธีร่วมกัน (แบบ 2ค) ภาพล่าง ที่ความสูง 1.5 เมตร ในวินาทีที่ 100, 110 และ120 ที่สามารถเห็นความแตกต่างได้ชัดเจนกว่ากราฟ

วิจารณ์

จากการสร้างแบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์จัดเก็บสารเคมีไวไฟเพื่อศึกษาพฤติกรรมการเกิดเพลิงไหม้สารเคมีไวไฟพบว่าเมื่อมีเพลิงไหม้เกิดขึ้นกลุ่มควันร้อนจะกระจายตัวขึ้นสู่ที่สูงและไหลไปตามแนวระนาบของเพดานตู้คอนเทนเนอร์ และจากการวิเคราะห์โดยการใช้โปรแกรม FDS พบว่าก่อนการออกแบบปรับปรุงห้องจัดเก็บสารเคมีไวไฟนั้นเมื่อเกิดเพลิงไหม้ขึ้นจะมีอัตราการปล่อยพลังงานและค่าอุณหภูมิที่เกิดขึ้นสูงมาก ดังนั้นจึงได้มีการออกแบบเพื่อป้องกันและลดความเสียหายที่อาจเกิดขึ้น โดยมี 2 วิธี คือ การลดขนาดหน้าตัดของถาดรองรับสารเคมีกรณีหกรั่วไหลเนื่องจากการที่เชื้อเพลิงจะเกิดการลุกไหม้ได้นั้นต้องเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอ ซึ่งการที่เชื้อเพลิงจะกลายสภาพเป็นไอได้นั้นต้องใช้พลังงานความร้อนที่เรียกว่า ความร้อนของการกลายเป็นไอ (Heat of gasification,*L*) ซึ่งความร้อนดังกล่าวจะประกอบไปด้วย 1) ความร้อนในการเพิ่มอุณหภูมิของเชื้อเพลิงจากอุณหภูมิเริ่มต้นจนถึงจุดเดือด และ 2) ความร้อนในการเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอที่อุณหภูมิคงที่ หรือที่เรียกว่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอนั่นเอง จากทฤษฎีดังกล่าวข้างต้นแสดงให้เห็นว่า ถ้าเชื้อเพลิงเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอได้น้อยจะส่งผลให้เกิดการลุกไหม้ได้น้อย และสิ่งที่ตามมานั่นคือ อัตราการปล่อยพลังงานความร้อน และอุณหภูมิย่อมลดน้อยลงตามไปด้วย ดังจะเห็นได้จากผลหลังการปรับปรุงห้องจัดเก็บสารเคมี โดยการลดขนาดพื้นที่หน้าตัดของถาดรองรับสารเคมีกรณีเกิดการหกรั่วไหล แต่สิ่งที่ตามมาคือระยะเวลาในการปล่อยพลังงานความร้อนยาวนานขึ้น

สำหรับผลการทดลองในส่วนที่สองพบว่าการติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิงไม่ได้ทำให้อัตราการปล่อยพลังงานความร้อน และค่าอุณหภูมิที่เกิดจากเพลิงไหม้ลดลงมากนัก เนื่องจากการทดลองเป็นการจำลองสภาวะห้องปิดซึ่งมีเชื้อเพลิงและปริมาณออกซิเจนในจำนวนที่จำกัด ดังนั้นเมื่อมีการติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิง และหัวกระจายน้ำดับเพลิงเริ่มทำงานจะพบว่าเพลิงนั้นมีแนวโน้มที่จะดับลงได้เอง จึงไม่สามารถสังเกตแนวโน้มของกราฟในช่วงหลังได้ แต่สิ่งที่ได้จากกราฟจะพบว่า เส้นกราฟที่ลดลงของตู้คอนเทนเนอร์ที่ใช้จัดเก็บสารเคมีไวไฟหลังปรับปรุงโดยการติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิง มีความชันมากกว่า เส้นกราฟขณะที่อัตราการปล่อยพลังงานความร้อนลดลงของตู้คอนเทนเนอร์ก่อนปรับปรุงระบบป้องกันและควบคุมเพลิงไหม้ นั่นแสดงให้เห็นว่าหัวกระจายน้ำดับเพลิงเป็นส่วนที่ช่วยลดเวลาที่ใช้ในการลดอัตราการปล่อยพลังงานความร้อน และอุณหภูมิจากค่าสูงลงมาสู่ค่าต่ำได้นั่นเอง

ดังนั้น จึงได้มีนำการออกแบบปรับปรุงทั้ง 2 กรณี มาใช้ร่วมกันซึ่งจากการทดลองพบว่า อัตราการปล่อยพลังงานความร้อน และค่าอุณหภูมิเมื่อเกิดเพลิงไหม้นั้นมีค่าลดน้อยลงอย่างมาก และเวลาที่ใช้ในการลดอัตราการปล่อยพลังงานความร้อน และค่าอุณหภูมิจากค่าสูงลงมาสู่ค่าต่ำนั้นเร็วขึ้นด้วย

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

งานวิจัยนี้ได้เสนอผลการจำลองพฤติกรรมการเกิดเพลิงไหม้ กระจายตัวของอุณหภูมิ และการปลดปล่อยพลังงานความร้อนภายในห้องจัดเก็บสารเคมีไวไฟโดยการสร้างภาพกราฟฟิกโดยโปรแกรม Pyrosim และส่งต่อข้อมูลเพื่อวิเคราะห์และสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรม Fire Dynamic Simulator (FDS) และผลที่ได้จากการศึกษาดังกล่าวได้นำมาออกแบบปรับปรุงการจัดเก็บสารเคมีไวไฟภายในห้องจัดเก็บสารเคมีทั้งแบบเชิงรับ และแบบเชิงรุกโดยแบบเชิงรับ คือ การลดพื้นที่หน้าตัดของถาดรองรับสารเคมีกรณีหกรั่วไหลให้มีขนาดเล็กลง ส่วนแบบเชิงรุก ได้แก่การติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิงภายในห้องจัดเก็บสารเคมี ผลการศึกษาสามารถสรุปได้ดังนี้

ก่อนปรับปรุง

- การสร้างแบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์จัดเก็บสารเคมีไวไฟ เพื่อวิเคราะห์พฤติกรรมการเกิดเพลิงไหม้พบว่า เมื่อเกิดเพลิงไหม้ควันซึ่งเกิดจากการเผาไหม้จะลอยตัวขึ้นไปในแนวดิ่ง เมื่อควันลอยตัวขึ้นไปจนกระทบกับเพดานของห้อง ควันก็เปลี่ยนทิศทางการไหลไปในแนวระดับขนานกับแนวการวางตัวของเพดานของตู้คอนเทนเนอร์ และเวลาที่ควันเริ่มกระจายตัวจนกระทั่วกระจายเต็มห้องใช้เวลา 20 วินาที

- อัตราการปลอดปล่อยพลังงานความร้อนสูงสุดของเพลิงภายในห้องจัดเก็บสารเคมีมีค่า 1834.92 กิโลวัตต์

- อุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในตู้คอนเทนเนอร์นั้นได้เพิ่มสูงขึ้นและกระจายตัวสู่ด้านบน ซึ่งจากการสร้างแบบจำลองและติดตั้งหัววัดอุณหภูมิเหนือถาดรองรับการหกรั่วไหล ค่าอุณหภูมิที่ความสูง 1 เมตร มีอุณหภูมิสูงสุด 655 องศาเซลเซียส ที่วินาทีที่ 23 และที่ความสูง 2 เมตร มีอุณหภูมิสูงสุด 597.53 องศาเซลเซียส ที่วินาทีที่ 44

แบบที่ 1 ปรับปรุงโดยการลดขนาดพื้นที่หน้าตัดของถาดรองรับสารเคมีกรณีหกรั่วไหลให้มีขนาดเล็กลง แต่เพิ่มความสูง เพื่อให้สามารถรองรับสารเคมีได้ในปริมาณเท่ากันกับถาดใหญ่เดิม หรือรองรับได้ทั้งหมดกรณีเกิดการหกรั่ว

- พบว่า เมื่อเกิดเพลิงไหม้ควันซึ่งเกิดจากการเผาไหม้จะลอยตัวขึ้นไปในแนวดิ่ง เมื่อควันลอยตัวขึ้นไปจนกระทบกับชั้นที่ 2 ของถาดรองรับสารเคมีด้านบน ควันก็จะเปลี่ยนทิศทางการไหลขนานไปตามด้านล่างของถาดรองรับสารเคมีชั้นที่ 2 เมื่อควันไหลพ้นชั้นเก็บสารเคมีแล้วก็จะลอยตัวขึ้นสู่เพดานของห้องอีกครั้ง และเมื่อควันไหลไปกระทบกับเพดานห้อง ควันก็จะเปลี่ยนทิศทางการไหลไปในแนวระดับขนานกับแนวการวางตัวของเพดานของตู้คอนเทนเนอร์ และเวลาที่ควันเริ่มกระจายตัวจนกระทั่วกระจายเต็มห้องใช้เวลา 40วินาที

- อัตราการปลอดปล่อยพลังงานความร้อนสูงสุดของเพลิงภายในห้องจัดเก็บสารเคมีมีค่า 522.34 กิโลวัตต์

- อุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในตู้คอนเทนเนอร์นั้นได้เพิ่มสูงขึ้นและกระจายตัวสู่ด้านบน ซึ่งจากการสร้างแบบจำลองและติดตั้งหัววัดอุณหภูมิเหนือถาดรองรับการหกรั่วไหล ค่าอุณหภูมิที่ความสูง 1 เมตร มีอุณหภูมิสูงสุด 533.22 องศาเซลเซียส ที่วินาทีที่ 63.20 วินาที และที่ความสูง 2 เมตร มีอุณหภูมิสูงสุด 321.05 องศาเซลเซียส ที่วินาทีที่ 102.61 วินาที

- จากผลการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม FDS สำหรับตู้คอนเทนเนอร์จัดเก็บสารเคมีไวไฟที่ได้มีการปรับปรุงโดยการการลดขนาดพื้นที่หน้าตัดของถาดรองรับสารเคมี และเพิ่มความสูงถาดแทน โดยที่ปริมาตรของถาดเท่าเดิมและยังสามารถรองรับปริมาณสารเคมีได้ทั้งหมดกรณีเกิดการหกรั่วแล้วพบว่า อุณหภูมิและค่าความร้อนที่เกิดขึ้นภายในห้องจัดเก็บสารเคมีลดลงเป็นอย่างมาก เนื่องจากพื้นผิวของเหลวมีขนาดเล็กลง และในการเผาไหม้นั้นเชื้อเพลิงต้องระเหยกลายเป็นไอและผสมกับอากาศในปริมาตรที่พอเหมาะ ดังนั้นพื้นผิวหน้าของเหลวที่เล็กลงจากการแบ่งถาดของเหลวไวไฟนั้น ทำให้ปริมาตรของเหลวที่สัมผัสกับความร้อนและพร้อมที่จะระเหยกลายเป็นไอมีน้อยลง ไอเชื้อเพลิงก็น้อยลงตามไปด้วย จึงเป็นเหตุให้อัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนและค่าอุณหภูมิสูงสุดจากการเกิดเพลิงไหม้ลดลงจากก่อนที่จะมีการปรับปรุงห้องจัดเก็บสารเคมีไวไฟอย่างเห็นได้ชัด

แบบที่ 2 ปรับปรุงโดยการติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิง ในการติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิงใช้มาตรฐาน NFPA 13 โดยพื้นที่ของห้องเก็บสารเคมีไวไฟ มีค่าเท่ากับ 18 ตารางเมตร ในการติดตั้งจะใช้หัวกระจายน้ำดับเพลิงทั้งหมด 2 หัว

- พบว่า เมื่อเกิดเพลิงไหม้ควันซึ่งเกิดจากการเผาไหม้จะลอยตัวขึ้นไปในแนวดิ่ง เมื่อควันลอยตัวขึ้นไปจนกระทบกับเพดานของห้อง ควันก็เปลี่ยนทิศทางการไหลไปในแนวระดับขนานกับแนวการวางตัวของเพดานของตู้คอนเทนเนอร์ และเวลาที่ควันเริ่มกระจายตัวจนกระทั่วกระจายเต็มห้องใช้เวลา 20 วินาที เช่นเดียวกันกับห้องจัดเก็บสารเคมีก่อนปรับปรุง

- อัตราการปลอดปล่อยพลังงานความร้อนสูงสุดของเพลิงภายในห้องจัดเก็บสารเคมีมีค่า 1984.71 กิโลวัตต์ ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างจากห้องจัดเก็บสารเคมีก่อนปรับปรุง

- อุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในตู้คอนเทนเนอร์นั้นได้เพิ่มสูงขึ้นและกระจายตัวสู่ด้านบน ซึ่งจากการสร้างแบบจำลองและติดตั้งหัววัดอุณหภูมิเหนือถาดรองรับการหกรั่วไหล ค่าอุณหภูมิที่ความสูง 1 เมตร มีอุณหภูมิสูงสุด 613.84 องศาเซลเซียส ที่วินาทีที่ 34 วินาที และที่ความสูง 2 เมตร มีอุณหภูมิสูงสุด 567.47 องศาเซลเซียส ที่วินาทีที่ 26.51

- ผลการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม FDS สำหรับตู้คอนเทนเนอร์จัดเก็บสารเคมีไวไฟที่ได้มีการปรับปรุงโดยการติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิงแล้ว พบว่า เมื่อหัวกระจายน้ำดับเพลิงทำงาน (ที่อุณหภูมิ 74 องศาเซลเซียส) พบว่า อัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นภายในห้องจัดเก็บสารเคมีไม่แตกต่างจากก่อนปรับปรุงมากนัก แต่สิ่งที่ลดลงคืออุณหภูมิสูงสุดที่เกิดขึ้นำภายในห้องจัดเก็บสารเคมีขณะที่เพลิงลุกไหม้

แบบที่ 3 ปรับปรุงโดยการลดขนาดพื้นที่หน้าตัดของถาดรองรับสารเคมีกรณีหกรั่วไหล ร่วมกับการติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิง ในการติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิง

- พบว่า เมื่อเกิดเพลิงไหม้ควันซึ่งเกิดจากการเผาไหม้จะลอยตัวขึ้นไปในแนวดิ่ง เมื่อควันลอยตัวขึ้นไปจนกระทบกับชั้นที่ 2 ของถาดรองรับสารเคมีด้านบน ควันก็จะเปลี่ยนทิศทางการไหลขนานไปตามด้านล่างของถาดรองรับสารเคมีชั้นที่ 2 เมื่อควันไหลพ้นชั้นเก็บสารเคมีแล้วก็จะลอยตัวขึ้นสู่เพดานของห้องอีกครั้ง และเมื่อควันไหลไปกระทบกับเพดานห้อง ควันก็จะเปลี่ยน

ทิศทางการไหลไปในแนวระดับขนานกับแนวการวางตัวของเพดานของตู้คอนเทนเนอร์ และเวลาที่ควันเริ่มกระจายตัวจนกระทั่วกระจายเต็มห้องใช้เวลา 40วินาที เช่นเดียวกับการปรับปรุงแบบที่ 1 คือการลดขนาดพื้นที่หน้าตัดของถาดรองรับสารเคมีกรณีหกรั่วไหลเพียวอย่างเดียว

- อัตราการปลอดปล่อยพลังงานความร้อนสูงสุดของเพลิงภายในห้องจัดเก็บสารเคมีมีค่า 596.98 กิโลวัตต์

- อุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในตู้คอนเทนเนอร์นั้นได้เพิ่มสูงขึ้นและกระจายตัวสู่ด้านบน ซึ่งจากการสร้างแบบจำลองและติดตั้งหัววัดอุณหภูมิเหนือถาดรองรับการหกรั่วไหล ค่าอุณหภูมิที่ความสูง 1 เมตร มีอุณหภูมิสูงสุด 557.65 องศาเซลเซียส ที่วินาทีที่ 80.72 และที่ความสูง 2 เมตร มีอุณหภูมิสูงสุด 291.92 องศาเซลเซียส ที่วินาทีที่ 99

- ผลการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม FDS สำหรับตู้คอนเทนเนอร์จัดเก็บสารเคมีไวไฟที่ได้มีการปรับปรุงโดยการลดขนาดพื้นที่หน้าตัดของถาดรองรับสารเคมีกรณีหกรั่วไหล ร่วมกับการติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิงแล้ว พบว่า เมื่อหัวกระจายน้ำดับเพลิงทำงาน (ที่อุณหภูมิ 74 องศาเซลเซียส) พบว่า ค่าอุณหภูมิและอัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นภายในห้องจัดเก็บสารเคมีไม่ได้แตกต่างจากการปรับปรุงเพียงการลดขนาดพื้นที่หน้าตัดของถาดรองรับสารเคมีเพียงอย่างเดียวมากนัก แต่อัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนลดลงนั้นใช้เวลาเร็วขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับการลดขนาดพื้นที่หน้าตัดของถาดรองรับสารเคมีเพียงอย่างเดียว และค่าอุณหภูมิสูงสุดที่เกิดขึ้นต่ำกว่าแบบอื่นในงานวิจัย

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการจำลองห้องจัดเก็บสารเคมีให้มีขนาดและปริมาตรมากกว่าการสร้างแบบจำลองในการทำวิจัยครั้งนี้ซึ่งได้อ้างอิงมาจากตู้คอนเทนเนอร์ที่ใช้เก็บสารเคมีจริงในบริษัทฯ จึงมีขนาดเล็กทำให้ระยะเวลาในการเกิดเพลิงไหม้ของสารเคมีไวไฟใช้เวลาสั้นมาก จึงไม่สามารถสังเกตความแตกต่างของกราฟได้มากนัก

2. โปรแกรมที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ทั้ง 2 โปรแกรมมีข้อจำกัดคือ ระยะเวลาใช้งานของ Pyrosim และข้อมูลของโครงสร้างหรือวัสดุที่มีให้มาในฐานข้อมูลซึ่งมีอยู่อย่างจำกัด ดังนั้นในการประยุกต์ใช้ในงานวิจัยต่อ ๆ ไปนั้น ถ้านำไปใช้ในการสร้างแบบจำลองที่มีความหลากหลายต้องขอข้อมูลหรือซื้อฐานข้อมูลจาก NIST ซึ่งผลจากการสร้างแบบจำลองได้ผลใกล้เคียงความเป็นจริง

3. ค่าต่าง ๆ ที่ได้จากงานวิจัยนั้นเป็นการจำกัดที่การวิเคราะห์ด้วยแบบจำลอง โดยการใช้คอมพิวเตอร์เท่านั้น ไม่มีการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

เกชา ธีระโกเมน. 2545. ปัญหาในการจัดระบบการป้องกันอัคคีภัยสำหรับอาคาร, น. 1-53 ใน เกชา ธีระโกเมน และโสภณ เหล่าสุวรรณ, บรรณาธิการ. **ประสบการณ์วิศวกรรมงานระบบป้องกันอัคคีภัย.** สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, กรุงเทพฯ.

ชนก ปิติปาละ. 2548. **การประยุกต์ใช้พลศาสตร์อัคคีภัยเพื่อออกแบบห้องแสดงสินค้าให้ปลอดภัยจากเพลิงไหม้สำหรับร้านค้าย่อยภายในศูนย์สรรพสินค้า.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ชนาคัลภ์ พันธ์หว้า. 2542. **แนวความคิดในการออกแบบเพื่อการป้องกันอัคคีภัยในอาคารประเภทโรงแรม.** บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ.

ชโย คุณาไทย. 2548. **การออกแบบระบบดับเพลิงในห้องเครื่องยนต์โดยสาร.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

บริษัท คอนเทนเนอร์คอนสตรัคชั่น จำกัด. 2550. **ตู้คอนเทนเนอร์.** แหล่งที่มา: http://www.containerconstruction.com. 12 กันยายน 2550.

วีรวิทย์ วัฒนาสวัสดิ์. 2549. **การจำลองพลศาสตร์อัคคีภัยเพื่อออกแบบระบบป้องกันอัคคีภัยของห้องเก็บสินค้าในอากาศยาน.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วีระพงศ์ ราชเล็ก. 2549. **การประยุกต์ใช้แบบจำลองพลศาสตร์อัคคีภัย เพื่อปรับปรุงห้องเก็บสารเคมีไวไฟให้ปลอดภัยจากอัคคีภัย สำหรับโรงงานผลิตเลนส์.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

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

Babrauskus, V. 1995. **Chapter3-1 Burning Rates. SFPE Handbook of fire Protection Engineering.** P. J. DiNenno. Quincy, MA, National Fire Protection Association.

Christopher, W.Lautenberger and other. 2003. **A Simplified model for soot formation and oxidation in CFD simulation of non-premixed hydrocarbon flames.** Department of mechanical Engineering, California.

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

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

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

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

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

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

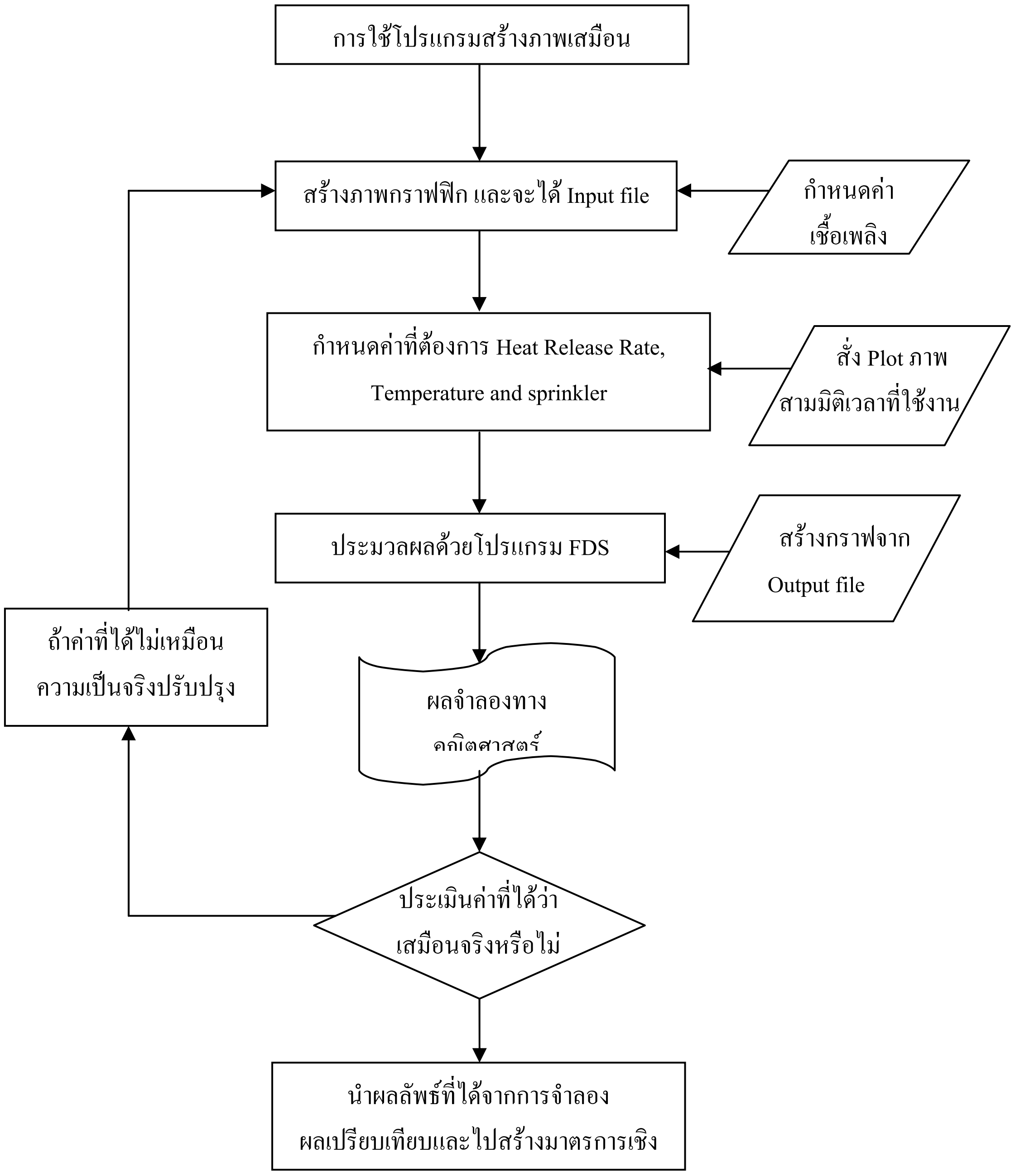
Vaivads, R. H., M.F. Bardon and V. Battista. 1996. A Computational Study of the Flammability of Methanol and Gasoline Fuel Spills on Hot Engine Manifolds. Department of Mechanical Engineering, Canada.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ขั้นตอนการใช้โปรแกรมในการวิเคราะห์และประเมินผลกระทบ

ในงานวิทยานิพนธ์นี้เป็นการประยุกต์ใช้การจำลองสภาวะการเผาไหม้โดยใช้โปรแกรม Pyrosimโปรแกรม Fire dynamic Simulation และ โปรแกรม Smokeview วิเคราะห์และประเมินผลกระทบและสร้างแนวทางเชิงรับและเชิงรุก สรุปได้ดังภาพที่ 92



ภาพผนวกที่ ก1 ขั้นตอนการใช้โปรแกรมในการวิเคราะห์และประเมินผลกระทบ

ภาคผนวก ข

การคำนวณหาระยะห่างระหว่างหัวกระจายน้ำดับเพลิง

กำหนดพื้นที่ของห้องเก็บสารเคมีไวไฟ ซึ่งในงานวิจัยนี้มีค่าเท่ากับ 18 ตารางเมตร (กว้าง 3 เมตร ยาว 6 เมตร) และเลือก Protective Area ดังภาพที่ 25

1. คำนวณจำนวนหัวกระจายน้ำดับเพลิงจาก

จำนวนหัวกระจายน้ำดับเพลิง = พื้นที่ที่ต้องการออกแบบ/ Protective Area

= 18/9.3

= 1.93 หัว

ดังนั้นเลือกจำนวนหัว Sprinklers = 2 หัว

ปริมาณน้ำที่ใช้คำนวณจาก

ปริมาณน้ำ = พื้นที่ที่ต้องการออกแบบ x ความหนาแน่นของน้ำ

= 18 x 12.2

= 219.6 m^3/min

2. ทำการออกแบบวางหัวกระจายน้ำดับเพลิง โดยมีหัวกระจายน้ำดับเพลิงในแนวเส้นท่อเดียวกัน 2 แถว แถวละ 1 หัว จากนั้นกำหนดระยะระหว่างหัวกระจายน้ำดับเพลิงดังนี้
   - ระยะห่างในแนวเส้นท่อเดียวกัน (Along branch line) ; S = 6/2 = 3 เมตร (ไม่เกิน 3.7 เมตร ตามตารางที่ 12)
   - ระยะจากกำแพงถึงหัวกระจายน้ำดับเพลิง = S/2 = 3/2 = 1.5 เมตร (ไม่เกิน 3.7 เมตร ตามตารางที่ 12)
   - ระยะห่างในแนวระหว่างเส้นท่อ (Between branch line); L = 6/2 = 3 เมตร (ไม่เกิน 3.7 เมตร ตามตารางที่ 12)
   - ระยะจากกำแพงถึงหัวกระจายน้ำดับเพลิง = L/2 = 3/2 = 1.5 เมตร (ไม่เกิน 3.7 เมตร ตามตารางที่ 12)
   - พื้นที่การป้องกันของหัวกระจายน้ำดับเพลิง As = S*L = 3*3 = 9 ตารางเมตร (ไม่เกิน 9.3 ตารางเมตร ตามตารางที่ 12)

ภาคผนวก ค

Input file ของแบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์ก่อนทำการปรับปรุงเพื่อป้องกันการเกิดเพลิงไหม้

<u>Input file ของแบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์ก่อนทำการปรับปรุงเพื่อป้องกันเพลิงไหม้</u>

>>>>>>>>>> ***DISPLAY***<<<<<<<<<<

สิ่งที่ต้องการให้แสดงหลังจากการประมวลผลโดยโปรแกรม FDS แล้ว

&BNDF QUANTITY='BURNING_RATE'/

&BNDF QUANTITY='WALL_TEMPERATURE'/

&BNDF QUANTITY='RADIATIVE_FLUX'/

&BNDF QUANTITY='GAUGE_HEAT_FLUX'/

&BNDF QUANTITY='HEAT_FLUX'/

&BNDF QUANTITY='INCIDENT_HEAT_FLUX'/

&PL3D QUANTITIES='W-VELOCITY', 'U-VELOCITY', 'V-VELOCITY', 'HRRPUV', 'TEMPERATURE' WRITE_XYZ=.FALSE./

>>>>>>>>>> ***GRID*** <<<<<<<<<<

การจำกัดพื้นที่ในการวิเคราะห์,ประมวลหรือแสดงผลตามแนวแกน X, Y, Z

&GRID IBAR=40 JBAR=60 KBAR=24/ GRID

&PDIM XBAR0=0.00 YBAR0=0.00 ZBAR0=0.00 XBAR=4.00 YBAR=6.00 ZBAR=2.40/ GRID

&ISOF QUANTITY='TEMPERATURE' VALUE(1)=150.00 VALUE(2)=325.00/

&MISC REACTION='ETHANOL' GAUGE_TEMPERATURE=20.00/

>>>>>>>>>> ***OBSTRUCTION*** <<<<<<<<<<

โครงสร้างภายในแบบจำลองทั้งหมดที่ใช้ในงานวิจัย

1.ตู้เหล็กภายในตู้คอนเทนเนอร์เก็บสารเคมี

&OBST XB=1.37, 2.42, 0.0260, 0.71, 0.0300, 0.97 RGB=0.4000, 0.4000, 0.00 SURF_ID='SHEET METAL' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE. THICKEN=.TRUE./ Obstruction

&OBST XB=1.37, 2.42, 0.0260, 0.71, 1.27, 1.33 RGB=0.4000, 0.4000, 0.00

SURF_ID='SHEET METAL' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE.

THICKEN=.TRUE./ cabinet plate1

&OBST XB=1.37, 2.42, 0.0260, 0.71, 1.57, 1.63 RGB=0.4000, 0.4000, 0.00

SURF_ID='SHEET METAL' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE.

THICKEN=.TRUE./ cabinet plate2

&OBST XB=1.37, 2.42, 0.0260, 0.71, 1.87, 1.93 RGB=0.4000, 0.4000, 0.00

SURF_ID='SHEET METAL' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE.

THICKEN=.TRUE./ carbinet plate3

2.ตู้ไม้ภายในตู้คอนเทนเนอร์เก็บสารเคมี

&OBST XB=2.43, 3.43, 0.0170, 0.98, 1.53, 1.77 RGB=0.60, 0.60, 0.00

SURF_ID='wood_texture' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE.

THICKEN=.FALSE./ Cabinet[1]

&OBST XB=2.43, 3.43, 0.0170, 0.71, 0.0300, 1.53 RGB=0.60, 0.4000, 0.00

SURF_ID='wood_texture' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE.

THICKEN=.FALSE./ Cabinet

3.Ethanol ที่หกรั่วอยู่ภายในถาดรองรับสารเคมี

&OBST XB=2.70, 3.95, 2.23, 5.96, 0.00, 0.0200 RGB=0.80, 0.80, 1.00

SURF_ID='ETHANOL' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE.

THICKEN=.FALSE./ Ethanol

4.ถาดรองรับสารเคมี

&OBST XB=1.39, 1.41, 0.0203, 0.71, 0.97, 1.97 RGB=0.4000, 0.4000, 0.00

SURF_ID='SHEET METAL' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE.

THICKEN=.TRUE./ Wall

&OBST XB=2.36, 2.38, 0.0203, 0.71, 0.97, 1.97 RGB=0.4000, 0.4000, 0.00

SURF_ID='SHEET METAL' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE.

THICKEN=.TRUE./ Wall[1]

&OBST XB=0.80, 0.86, 0.00, 6.00, 0.00, 2.40 SURF_ID='GYPSUM BOARD'

PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.FALSE. THICKEN=.FALSE./ Wall

&OBST XB=2.66, 3.99, 2.16, 2.17, 0.00, 0.1000 RGB=0.96, 0.96, 0.96

SURF_ID='SHEET METAL' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE.

THICKEN=.FALSE./ Bottom Wall (Min X)

&OBST XB=3.98, 3.99, 2.16, 6.03, 0.00, 0.1000 RGB=0.96, 0.96, 0.96

SURF_ID='SHEET METAL' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE.

THICKEN=.FALSE./ Right Wall (Max Y)

&OBST XB=2.66, 3.99, 6.02, 6.03, 0.00, 0.1000 RGB=0.96, 0.96, 0.96

SURF_ID='SHEET METAL' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE.

THICKEN=.FALSE./ Top Wall (Max X)

&OBST XB=2.66, 2.67, 2.16, 6.03, 0.00, 0.1000 RGB=0.96, 0.96, 0.96

SURF_ID='SHEET METAL' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE.

THICKEN=.FALSE./ Left Wall (Min Y)

>>>>>>>>>> ***REACTION ETHANOL*** <<<<<<<<<<

&REAC ID='ETHANOL' SOOT_YIELD=8.000000E-003 NU_H2O=3.00

NU_CO2=2.00 EPUMO2=1.284200E004 RADIATIVE_FRACTION=0.2000

MW_FUEL=46.00 NU_O2=3.00/

>>>>>>>>>> ***SLIDE FILE*** <<<<<<<<<<

&SLCF PBX=3.50 QUANTITY='TEMPERATURE' VECTOR=.TRUE./

&SLCF PBX=3.70 QUANTITY='TEMPERATURE' VECTOR=.TRUE./

&SLCF PBY=5.00 QUANTITY='TEMPERATURE' VECTOR=.TRUE./

&SLCF PBY=5.50 QUANTITY='TEMPERATURE' VECTOR=.TRUE./

&SLCF PBZ=1.50 QUANTITY='TEMPERATURE' VECTOR=.TRUE./

&SLCF PBZ=2.50 QUANTITY='RADIANT_INTENSITY' VECTOR=.TRUE./

>>>>>>>>>> ***SURFACE*** <<<<<<<<<<

1. การกำหนดพื้นผิวของสารเคมี Ethanol ในฐานข้อมูลของโปรแกรม FDS

&SURF ID='ETHANOL' RGB=0.80, 0.80, 1.00 PHASE='LIQUID'

HEAT_OF_VAPORIZATION=837.00 KS=0.1600 BURNING_RATE_MAX=0.0150

EMISSIVITY=0.90 SURFACE_DENSITY=5.00 TMPIGN=78.00

BURN_AWAY=.FALSE. WALL_POINTS=20
HEAT_OF_COMBUSTION=2.680000E004 DENSITY=780.00 DELTA=0.0500
C_P=2.40 FUEL_FRACTION=1.00/

2. การกำหนดพื้นผิวของไม้ในฐานข้อมูลของโปรแกรม FDS

&SURF ID='wood_texture' RGB=0.50, 0.50, 0.50 TEXTURE_MAP='wood.jpg'
TEXTURE_WIDTH=0.50 TEXTURE_HEIGHT=0.50/

3. การกำหนดพื้นผิวของแผ่นเหล็กในฐานข้อมูลของโปรแกรม FDS

&SURF ID='SHEET METAL' RGB=0.2000, 0.2000, 0.2000
TEXTURE_MAP='psm_concrete.jpg' TEXTURE_WIDTH=0.76
TEXTURE_HEIGHT=0.76 C_DELTA_RHO=4.70 DELTA=1.300000E-003
EMISSIVITY=0.90/

4. การกำหนดพื้นผิวของยิปซั่มในฐานข้อมูลของโปรแกรม FDS

&SURF ID='GYPSUM BOARD' RGB=0.80, 0.80, 0.70 HRRPUA=100.00
DENSITY=1.440000E003 KS=0.4800 DELTA=0.0130 C_P=0.84 TMPIGN=400.00
RAMP_Q='RAMP_Q_GYPSUM BOARD'/
&RAMP ID='RAMP_Q_GYPSUM BOARD' T=0.00 F=0.00/
&RAMP ID='RAMP_Q_GYPSUM BOARD' T=1.00 F=0.50/
&RAMP ID='RAMP_Q_GYPSUM BOARD' T=2.00 F=1.00/
&RAMP ID='RAMP_Q_GYPSUM BOARD' T=10.00 F=1.00/
&RAMP ID='RAMP_Q_GYPSUM BOARD' T=20.00 F=0.00/
&RAMP ID='RAMP_Q_GYPSUM BOARD' T=30.00 F=0.00/

>>>>>>>>>> ***THERMOCOUPLE***<<<<<<<<<<

&THCP XYZ=3.15, 3.70, 2.00 QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL='tc 1'/
&THCP XYZ=3.15, 3.70, 1.00 QUANTITY='THERMOCOUPLE' LABEL='tc 2'/

>>>>>>>>>> ***TIME*** <<<<<<<<<<

&TIME TWFIN=300.00/

ภาคผนวก ง

Input file ของแบบจำลองห้องจัดเก็บสารเคมี หลังการออกแบบปรับปรุง
เพื่อป้องกันการเกิดอัคคีภัย

Input file ของแบบจำลองห้องจัดเก็บสารเคมี หลังการออกแบบปรับปรุงเพื่อป้องกันการเกิดอัคคีภัย

1. การปรับปรุงโดยการลดขนาดของถาดรองรับสารเคมีกรณีหกรั่วไหล

>>>>>>>>>> ***DISPLAY***<<<<<<<<<<

สิ่งที่ต้องการให้แสดงหลังจากการประมวลผลโดยโปรแกรม FDS แล้ว

&BNDF QUANTITY='GAUGE_HEAT_FLUX'/

&BNDF QUANTITY='RADIATIVE_FLUX'/

&BNDF QUANTITY='WALL_TEMPERATURE'/

&BNDF QUANTITY='BURNING_RATE'/

&BNDF QUANTITY='HEAT_FLUX'/

&BNDF QUANTITY='INCIDENT_HEAT_FLUX'/

&PL3D QUANTITIES='V-VELOCITY', 'U-VELOCITY', 'W-VELOCITY', 'HRRPUV', 'TEMPERATURE' WRITE_XYZ=.FALSE./

>>>>>>>>>> ***GRID*** <<<<<<<<<<

การจำกัดพื้นที่ในการวิเคราะห์,ประมวลหรือแสดงผลตามแนวแกน X, Y, Z

&GRID IBAR=40 JBAR=60 KBAR=24/ GRID

&PDIM XBAR0=0.00 YBAR0=0.00 ZBAR0=0.00 XBAR=4.00 YBAR=6.00 ZBAR=2.40/ GRID

&ISOF QUANTITY='TEMPERATURE' VALUE(1)=150.00 VALUE(2)=325.00/

&MISC REACTION='ETHANOL' GAUGE_TEMPERATURE=20.00/

>>>>>>>>>> ***OBSTRUCTION*** <<<<<<<<<<

โครงสร้างภายในแบบจำลองทั้งหมดที่ใช้ในงานวิจัย

&OBST XB=1.39, 1.41, 0.0203, 0.71, 0.97, 1.97 RGB=0.4000, 0.4000, 0.00 SURF_ID='SHEET METAL' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE. THICKEN=.TRUE./ Wall

```
&OBST XB=2.36, 2.38, 0.0203, 0.71, 0.97, 1.97 RGB=0.4000, 0.4000, 0.00
SURF_ID='SHEET METAL' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE.
THICKEN=.TRUE./ Wall[1]
&OBST XB=0.80, 0.86, 0.00, 6.00, 0.00, 2.40 SURF_ID='GYPSUM BOARD'
PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.FALSE. THICKEN=.FALSE./ Wall
&OBST XB=1.37, 2.42, 0.0260, 0.71, 0.0300, 0.97 RGB=0.4000, 0.4000, 0.00
SURF_ID='SHEET METAL' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE.
THICKEN=.TRUE./ Obstruction
&OBST XB=1.37, 2.42, 0.0260, 0.71, 1.27, 1.33 RGB=0.4000, 0.4000, 0.00
SURF_ID='SHEET METAL' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE.
THICKEN=.TRUE./ cabinet plate1
&OBST XB=1.37, 2.42, 0.0260, 0.71, 1.57, 1.63 RGB=0.4000, 0.4000, 0.00
SURF_ID='SHEET METAL' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE.
THICKEN=.TRUE./ cabinet plate2
&OBST XB=1.37, 2.42, 0.0260, 0.71, 1.87, 1.93 RGB=0.4000, 0.4000, 0.00
SURF_ID='SHEET METAL' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE.
THICKEN=.TRUE./ carbinet plate3
&OBST XB=2.43, 3.43, 0.0170, 0.98, 1.53, 1.77 RGB=0.60, 0.60, 0.00
SURF_ID='wood_texture' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE.
THICKEN=.FALSE./ Cabinet[1]
&OBST XB=2.43, 3.43, 0.0170, 0.71, 0.0300, 1.53 RGB=0.60, 0.4000, 0.00
SURF_ID='wood_texture' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE.
THICKEN=.FALSE./ Cabinet
&OBST XB=2.90, 3.00, 2.86, 5.96, 1.00, 1.20 RGB=0.00, 0.2000, 1.00
SURF_ID='STEEL02' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE.
THICKEN=.FALSE./ Obstruction
&OBST XB=3.90, 4.00, 2.86, 5.96, 1.00, 1.20 RGB=0.00, 0.2000, 1.00
SURF_ID='STEEL02' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE.
THICKEN=.FALSE./ Obstruction[1]
&OBST XB=2.90, 3.00, 2.86, 5.96, -2.220446E-016, 0.2000 RGB=0.00, 0.2000, 1.00
```

SURF_ID='STEEL02' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE.

THICKEN=.FALSE./ Obstruction[1]

&OBST XB=3.90, 4.00, 2.86, 5.96, -2.220446E-016, 0.2000 RGB=0.00, 0.2000, 1.00

SURF_ID='STEEL02' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE.

THICKEN=.FALSE./ Obstruction[1][1]

&OBST XB=2.90, 3.00, 2.86, 5.96, 2.00, 2.20 RGB=0.00, 0.2000, 1.00

SURF_ID='STEEL02' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE.

THICKEN=.FALSE./ Obstruction[1]

&OBST XB=3.90, 4.00, 2.86, 5.96, 2.00, 2.20 RGB=0.00, 0.2000, 1.00

SURF_ID='STEEL02' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE.

THICKEN=.FALSE./ Obstruction[1][1]

&OBST XB=2.90, 4.00, 3.86, 3.96, -2.220446E-016, 0.2000 RGB=0.00, 0.2000, 1.00

SURF_ID='STEEL02' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE.

THICKEN=.FALSE./ side base[1]

&OBST XB=2.90, 4.00, 3.86, 3.96, 1.00, 1.20 RGB=0.00, 0.2000, 1.00

SURF_ID='STEEL02' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE.

THICKEN=.FALSE./ side base[1][1]

&OBST XB=2.90, 4.00, 3.86, 3.96, 2.00, 2.20 RGB=0.00, 0.2000, 1.00

SURF_ID='STEEL02' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE.

THICKEN=.FALSE./ side base[2][1]

&OBST XB=2.90, 4.00, 4.86, 4.96, -2.220446E-016, 0.2000 RGB=0.00, 0.2000, 1.00

SURF_ID='STEEL02' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE.

THICKEN=.FALSE./ side base[2]

&OBST XB=2.90, 4.00, 4.86, 4.96, 1.00, 1.20 RGB=0.00, 0.2000, 1.00

SURF_ID='STEEL02' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE.

THICKEN=.FALSE./ side base[1][2]

&OBST XB=2.90, 4.00, 4.86, 4.96, 2.00, 2.20 RGB=0.00, 0.2000, 1.00

SURF_ID='STEEL02' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE.

THICKEN=.FALSE./ side base[2][2]

&OBST XB=2.90, 4.00, 5.86, 5.96, -2.220446E-016, 0.2000 RGB=0.00, 0.2000, 1.00

```
SURF_ID='STEEL02' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE.
THICKEN=.FALSE./ side base[3]
&OBST XB=2.90, 4.00, 5.86, 5.96, 1.00, 1.20 RGB=0.00, 0.2000, 1.00
SURF_ID='STEEL02' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE.
THICKEN=.FALSE./ side base[1][3]
&OBST XB=2.90, 4.00, 5.86, 5.96, 2.00, 2.20 RGB=0.00, 0.2000, 1.00
SURF_ID='STEEL02' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE.
THICKEN=.FALSE./ side base[2][3]
&OBST XB=2.90, 4.00, 2.86, 2.96, -2.220446E-016, 0.2000 RGB=0.00, 0.2000, 1.00
SURF_ID='STEEL02' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE.
THICKEN=.FALSE./ side base
&OBST XB=2.90, 4.00, 2.86, 2.96, 1.00, 1.20 RGB=0.00, 0.2000, 1.00
SURF_ID='STEEL02' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE.
THICKEN=.FALSE./ side base[1]
&OBST XB=2.90, 4.00, 2.86, 2.96, 2.00, 2.20 RGB=0.00, 0.2000, 1.00
SURF_ID='STEEL02' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE.
THICKEN=.FALSE./ side base[2]
&OBST XB=2.90, 3.00, 2.86, 2.96, -4.440892E-016, 2.20 RGB=0.00, 0.2000, 1.00
SURF_ID='STEEL02' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE.
THICKEN=.FALSE./ Obstruction
&OBST XB=3.90, 4.00, 2.86, 2.96, -4.440892E-016, 2.20 RGB=0.00, 0.2000, 1.00
SURF_ID='STEEL02' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE.
THICKEN=.FALSE./ Obstruction[1]
&OBST XB=2.90, 3.00, 5.86, 5.96, -6.661338E-016, 2.20 RGB=0.00, 0.2000, 1.00
SURF_ID='STEEL02' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE.
THICKEN=.FALSE./ Obstruction[1]
&OBST XB=3.90, 4.00, 5.86, 5.96, -6.661338E-016, 2.20 RGB=0.00, 0.2000, 1.00
SURF_ID='STEEL02' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE.
THICKEN=.FALSE./ Obstruction[1][1]
&OBST XB=2.90, 3.00, 3.86, 3.96, -4.440892E-016, 2.20 RGB=0.00, 0.2000, 1.00
```

SURF_ID='STEEL02' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE.
THICKEN=.FALSE./ Obstruction[1]
&OBST XB=3.90, 4.00, 3.86, 3.96, -4.440892E-016, 2.20 RGB=0.00, 0.2000, 1.00
SURF_ID='STEEL02' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE.
THICKEN=.FALSE./ Obstruction[1][1]
&OBST XB=2.90, 3.00, 4.86, 4.96, -4.440892E-016, 2.20 RGB=0.00, 0.2000, 1.00
SURF_ID='STEEL02' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE.
THICKEN=.FALSE./ Obstruction[2]
&OBST XB=3.90, 4.00, 4.86, 4.96, -4.440892E-016, 2.20 RGB=0.00, 0.2000, 1.00
SURF_ID='STEEL02' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE.
THICKEN=.FALSE./ Obstruction[1][2]
&OBST XB=2.95, 3.95, 4.92, 5.89, -2.220446E-016, 0.1000 SURF_ID='SHEET
METAL02' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE. THICKEN=.FALSE./
Obstruction
&OBST XB=2.96, 3.96, 3.93, 4.90, 4.857226E-016, 0.1000 SURF_ID='SHEET
METAL02' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE. THICKEN=.FALSE./
Obstruction
&OBST XB=2.96, 3.96, 2.92, 3.90, 4.857226E-016, 0.1000 SURF_ID='SHEET
METAL02' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE. THICKEN=.FALSE./
Obstruction
&OBST XB=2.95, 3.95, 4.92, 5.89, 1.00, 1.10 SURF_ID='SHEET METAL02'
PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE. THICKEN=.FALSE./ Obstruction[1]
&OBST XB=2.96, 3.96, 3.93, 4.90, 1.00, 1.10 SURF_ID='SHEET METAL02'
PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE. THICKEN=.FALSE./ Obstruction[1]
&OBST XB=2.96, 3.96, 2.92, 3.90, 1.00, 1.10 SURF_ID='SHEET METAL02'
PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE. THICKEN=.FALSE./ Obstruction[1]

&OBST XB=2.92, 3.92, 4.89, 5.89, 0.1000, 0.2000 RGB=0.80, 0.80, 1.00
SURF_ID='ETHANOL' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE.
THICKEN=.FALSE./ Ethanol liquid

>>>>>>>>>> ***REACTION*** >>>>>>>>>>

&REAC ID='ETHANOL' SOOT_YIELD=8.000000E-003 NU_H2O=3.00
NU_CO2=2.00 EPUMO2=1.284200E004 RADIATIVE_FRACTION=0.2000
MW_FUEL=46.00 NU_O2=3.00/

>>>>>>>>>> ***SLIDE FILE*** <<<<<<<<<<

&SLCF PBX=3.50 QUANTITY='TEMPERATURE' VECTOR=.TRUE./

&SLCF PBY=5.50 QUANTITY='TEMPERATURE' VECTOR=.TRUE./

&SLCF PBZ=1.50 QUANTITY='TEMPERATURE' VECTOR=.TRUE./

>>>>>>>>>> ***SURFACE*** <<<<<<<<<<

1. การกำหนดพื้นผิวของสารเคมี Ethanol ในฐานข้อมูลของโปรแกรม FDS

&SURF ID='ETHANOL' RGB=0.80, 0.80, 1.00 HEAT_OF_VAPORIZATION=837.00
PHASE='LIQUID' KS=0.1600 BURNING_RATE_MAX=0.0150
SURFACE_DENSITY=5.00 EMISSIVITY=0.90 TMPIGN=78.00 WALL_POINTS=20
BURN_AWAY=.FALSE. C_P=2.40 DELTA=0.0500 DENSITY=780.00
HEAT_OF_COMBUSTION=2.680000E004 FUEL_FRACTION=1.00/

2. การกำหนดพื้นผิวของไม้ในฐานข้อมูลของโปรแกรม FDS

&SURF ID='wood_texture' RGB=0.50, 0.50, 0.50 TEXTURE_MAP='wood.jpg'
TEXTURE_WIDTH=0.50 TEXTURE_HEIGHT=0.50/

3. การกำหนดพื้นผิวของเหล็กในฐานข้อมูลของโปรแกรม FDS

&SURF ID='STEEL02' RGB=0.00, 0.4000, 1.00 TEXTURE_MAP='psm_metal.jpg'
TEXTURE_WIDTH=3.00 TEXTURE_HEIGHT=2.00 C_DELTA_RHO=20.00
DELTA=5.000000E-003 EMISSIVITY=0.90/

4. การกำหนดพื้นผิวของแผ่นเหล็กในฐานข้อมูลของโปรแกรม FDS

&SURF ID='SHEET METAL' RGB=0.2000, 0.2000, 0.2000
TEXTURE_MAP='psm_concrete.jpg' TEXTURE_WIDTH=0.76
TEXTURE_HEIGHT=0.76 C_DELTA_RHO=4.70 DELTA=1.300000E-003

EMISSIVITY=0.90/

&SURF ID='SHEET METAL02' RGB=0.2000, 0.2000, 0.2000

TEXTURE_MAP='psm_concrete.jpg' TEXTURE_WIDTH=0.76

TEXTURE_HEIGHT=0.76 C_DELTA_RHO=4.70 DELTA=1.300000E-003

EMISSIVITY=0.90/

4. การกำหนดพื้นผิวของยิปซั่มบอร์ดในฐานข้อมูลของโปรแกรม FDS

&SURF ID='GYPSUM BOARD' RGB=0.80, 0.80, 0.70 HRRPUA=100.00

DENSITY=1.440000E003 DELTA=0.0130 KS=0.4800 TMPIGN=400.00 C_P=0.84

RAMP_Q='RAMP_Q_GYPSUM BOARD'/

&RAMP ID='RAMP_Q_GYPSUM BOARD' T=0.00 F=0.00/

&RAMP ID='RAMP_Q_GYPSUM BOARD' T=1.00 F=0.50/

&RAMP ID='RAMP_Q_GYPSUM BOARD' T=2.00 F=1.00/

&RAMP ID='RAMP_Q_GYPSUM BOARD' T=10.00 F=1.00/

&RAMP ID='RAMP_Q_GYPSUM BOARD' T=20.00 F=0.00/

&RAMP ID='RAMP_Q_GYPSUM BOARD' T=30.00 F=0.00/

>>>>>>>>>> THERMOCOUPLE<<<<<<<<<<

&THCP XYZ=3.50, 5.50, 1.00 QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL='tc 2'/

&THCP XYZ=3.50, 5.50, 2.00 QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL='tc 1'/

>>>>>>>>>>TIME<<<<<<<<<<

&TIME TWFIN=300.00/

2. หลักการปรับปรุงโดยการติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิง

>>>>>>>>>> ***DISPLAY***<<<<<<<<<<

สิ่งที่ต้องการให้แสดงหลังจากการประมวลผลโดยโปรแกรม FDS แล้ว

&BNDF QUANTITY='GAUGE_HEAT_FLUX'/

&BNDF QUANTITY='RADIATIVE_FLUX'/

&BNDF QUANTITY='WALL_TEMPERATURE'/

&BNDF QUANTITY='BURNING_RATE'/

&BNDF QUANTITY='HEAT_FLUX'/

&BNDF QUANTITY='INCIDENT_HEAT_FLUX'/

&PL3D QUANTITIES='V-VELOCITY', 'U-VELOCITY', 'W-VELOCITY', 'HRRPUV', 'TEMPERATURE' WRITE_XYZ=.FALSE./

>>>>>>>>>> ***GRID*** <<<<<<<<<<

การจำกัดพื้นที่ในการวิเคราะห์,ประมวลหรือแสดงผลตามแนวแกน X, Y, Z

&GRID IBAR=40 JBAR=60 KBAR=24/ GRID

&PDIM XBAR0=0.00 YBAR0=0.00 ZBAR0=0.00 XBAR=4.00 YBAR=6.00 ZBAR=2.40/ GRID

&ISOF QUANTITY='TEMPERATURE' VALUE(1)=150.00 VALUE(2)=325.00/

&MISC REACTION='ETHANOL' GAUGE_TEMPERATURE=20.00/

>>>>>>>>>> ***OBSTRUCTION*** <<<<<<<<<<

โครงสร้างภายในแบบจำลองทั้งหมดที่ใช้ในงานวิจัย

&OBST XB=1.39, 1.41, 0.0203, 0.71, 0.97, 1.97 RGB=0.4000, 0.4000, 0.00 SURF_ID='SHEET METAL' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE. THICKEN=.TRUE./ Wall

&OBST XB=2.36, 2.38, 0.0203, 0.71, 0.97, 1.97 RGB=0.4000, 0.4000, 0.00 SURF_ID='SHEET METAL' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE. THICKEN=.TRUE./ Wall[1]

&OBST XB=0.80, 0.86, 0.00, 6.00, 0.00, 2.40 SURF_ID='GYPSUM BOARD' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.FALSE. THICKEN=.FALSE./ Wall

&OBST XB=2.66, 3.99, 2.16, 2.17, 0.00, 0.1000 RGB=0.96, 0.96, 0.96 SURF_ID='SHEET METAL' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE. THICKEN=.FALSE./ Bottom Wall (Min X)

&OBST XB=3.98, 3.99, 2.16, 6.03, 0.00, 0.1000 RGB=0.96, 0.96, 0.96 SURF_ID='SHEET METAL' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE. THICKEN=.FALSE./ Right Wall (Max Y)

&OBST XB=2.66, 3.99, 6.02, 6.03, 0.00, 0.1000 RGB=0.96, 0.96, 0.96 SURF_ID='SHEET METAL' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE. THICKEN=.FALSE./ Top Wall (Max X)

&OBST XB=2.66, 2.67, 2.16, 6.03, 0.00, 0.1000 RGB=0.96, 0.96, 0.96 SURF_ID='SHEET METAL' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE. THICKEN=.FALSE./ Left Wall (Min Y)

&OBST XB=1.37, 2.42, 0.0260, 0.71, 0.0300, 0.97 RGB=0.4000, 0.4000, 0.00 SURF_ID='SHEET METAL' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE. THICKEN=.TRUE./ Obstruction

&OBST XB=1.37, 2.42, 0.0260, 0.71, 1.27, 1.33 RGB=0.4000, 0.4000, 0.00 SURF_ID='SHEET METAL' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE. THICKEN=.TRUE./ cabinet plate1

&OBST XB=1.37, 2.42, 0.0260, 0.71, 1.57, 1.63 RGB=0.4000, 0.4000, 0.00 SURF_ID='SHEET METAL' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE. THICKEN=.TRUE./ cabinet plate2

&OBST XB=1.37, 2.42, 0.0260, 0.71, 1.87, 1.93 RGB=0.4000, 0.4000, 0.00 SURF_ID='SHEET METAL' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE. THICKEN=.TRUE./ carbinet plate3

&OBST XB=2.43, 3.43, 0.0170, 0.98, 1.53, 1.77 RGB=0.60, 0.60, 0.00 SURF_ID='wood_texture' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE. THICKEN=.FALSE./ Cabinet[1]

&OBST XB=2.43, 3.43, 0.0170, 0.71, 0.0300, 1.53 RGB=0.60, 0.4000, 0.00

SURF_ID='wood_texture' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE.

THICKEN=.FALSE./ Cabinet

&OBST XB=2.70, 3.95, 2.23, 5.96, 0.00, 0.0200 RGB=0.80, 0.80, 1.00

SURF_ID='ETHANOL' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE.

THICKEN=.FALSE./ Ethanol

>>>>>>>>>> ***REACTION*** <<<<<<<<<<

&REAC ID='ETHANOL' SOOT_YIELD=8.000000E-003 NU_H2O=3.00

NU_CO2=2.00 EPUMO2=1.284200E004 RADIATIVE_FRACTION=0.2000

MW_FUEL=46.00 NU_O2=3.00/

>>>>>>>>>> ***SLICE FILE***<<<<<<<<<<

&SLCF PBX=3.50 QUANTITY='TEMPERATURE' VECTOR=.TRUE./

&SLCF PBX=3.70 QUANTITY='TEMPERATURE' VECTOR=.TRUE./

&SLCF PBY=5.00 QUANTITY='TEMPERATURE' VECTOR=.TRUE./

&SLCF PBY=4.50 QUANTITY='TEMPERATURE' VECTOR=.TRUE./

&SLCF PBZ=1.50 QUANTITY='TEMPERATURE' VECTOR=.TRUE./

&SLCF PBZ=2.00 QUANTITY='TEMPERATURE' VECTOR=.TRUE./

>>>>>>>>>> ***SPRINKLER*** <<<<<<<<<<

&SPRK LABEL='SPRK' MAKE='K-5' PART_ID='' XYZ=2.50, 1.50, 2.30/

&SPRK LABEL='SPRK02' MAKE='K-5' PART_ID='' XYZ=2.50, 4.50, 2.30/

>>>>>>>>>> ***SURFACE*** <<<<<<<<<<

1. การกำหนดพื้นผิวของ ไม้ ในฐานข้อมูลของโปรแกรม FDS

&SURF ID='wood_texture' RGB=0.50, 0.50, 0.50 TEXTURE_MAP='wood.jpg'

TEXTURE_WIDTH=0.50 TEXTURE_HEIGHT=0.50/

2. การกำหนดพื้นผิวของสาร Ethanol ในฐานข้อมูลของโปรแกรม FDS

&SURF ID='ETHANOL' RGB=0.80, 0.80, 1.00 HEAT_OF_VAPORIZATION=837.00

PHASE='LIQUID' KS=0.1600 BURNING_RATE_MAX=0.0150

SURFACE_DENSITY=5.00 EMISSIVITY=0.90 TMPIGN=78.00 WALL_POINTS=20

BURN_AWAY=.FALSE. C_P=2.40 DELTA=0.0500 DENSITY=780.00

HEAT_OF_COMBUSTION=2.680000E004 FUEL_FRACTION=1.00/

3. การกำหนดพื้นผิวของสาร แผ่นโลหะ ในฐานข้อมูลของโปรแกรม FDS

&SURF ID='SHEET METAL' RGB=0.2000, 0.2000, 0.2000

TEXTURE_MAP='psm_concrete.jpg' TEXTURE_WIDTH=0.76

TEXTURE_HEIGHT=0.76 C_DELTA_RHO=4.70 DELTA=1.300000E-003

EMISSIVITY=0.90/

4. การกำหนดพื้นผิวของ ยิปซั่มบอร์ด ในฐานข้อมูลของโปรแกรม FDS

&SURF ID='GYPSUM BOARD' RGB=0.80, 0.80, 0.70 HRRPUA=100.00

DENSITY=1.440000E003 DELTA=0.0130 KS=0.4800 TMPIGN=400.00 C_P=0.84

RAMP_Q='RAMP_Q_GYPSUM BOARD'/

&RAMP ID='RAMP_Q_GYPSUM BOARD' T=0.00 F=0.00/

&RAMP ID='RAMP_Q_GYPSUM BOARD' T=1.00 F=0.50/

&RAMP ID='RAMP_Q_GYPSUM BOARD' T=2.00 F=1.00/

&RAMP ID='RAMP_Q_GYPSUM BOARD' T=10.00 F=1.00/

&RAMP ID='RAMP_Q_GYPSUM BOARD' T=20.00 F=0.00/

&RAMP ID='RAMP_Q_GYPSUM BOARD' T=30.00 F=0.00/

>>>>>>>>>> ***THERMOCOUPLE***<<<<<<<<<<

&THCP XYZ=3.15, 3.70, 2.00 QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL='tc 1'/

&THCP XYZ=3.15, 3.70, 1.00 QUANTITY='THERMOCOUPLE' LABEL='tc 2'/

>>>>>>>>>>***TIME***<<<<<<<<<<

&TIME TWFIN=500.00/

3. แบบจำลองห้องเก็บสารเคมีไวไฟแบบลดขนาดถาดรองรับสารเคมีหกรั่วไหลร่วมกับการติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิง

>>>>>>>>>> DISPLAY<<<<<<<<<<

สิ่งที่ต้องการให้แสดงหลังจากการประมวลผลโดยโปรแกรม FDS แล้ว

&BNDF QUANTITY='GAUGE_HEAT_FLUX'/

&BNDF QUANTITY='RADIATIVE_FLUX'/

&BNDF QUANTITY='WALL_TEMPERATURE'/

&BNDF QUANTITY='BURNING_RATE'/

&BNDF QUANTITY='HEAT_FLUX'/

&BNDF QUANTITY='INCIDENT_HEAT_FLUX'/

>>>>>>>>>> GRID <<<<<<<<<<

การจำกัดพื้นที่ในการวิเคราะห์,ประมวลหรือแสดงผลตามแนวแกน X, Y, Z

&GRID IBAR=40 JBAR=60 KBAR=24/ GRID

&PDIM XBAR0=0.00 YBAR0=0.00 ZBAR0=0.00 XBAR=4.00 YBAR=6.00 ZBAR=2.40/ GRID

&ISOF QUANTITY='TEMPERATURE' VALUE(1)=150.00 VALUE(2)=325.00/

&MISC REACTION='ETHANOL' GAUGE_TEMPERATURE=20.00/

>>>>>>>>>> OBSTRUCTION <<<<<<<<<<

โครงสร้างภายในแบบจำลองทั้งหมดที่ใช้ในงานวิจัย

&OBST XB=1.39, 1.41, 0.0203, 0.71, 0.97, 1.97 RGB=0.4000, 0.4000, 0.00 SURF_ID='SHEET METAL' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE. THICKEN=.TRUE./ Wall

&OBST XB=2.36, 2.38, 0.0203, 0.71, 0.97, 1.97 RGB=0.4000, 0.4000, 0.00 SURF_ID='SHEET METAL' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE. THICKEN=.TRUE./ Wall[1]

&OBST XB=0.80, 0.86, 0.00, 6.00, 0.00, 2.40 SURF_ID='GYPSUM BOARD' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.FALSE. THICKEN=.FALSE./ Wall

&OBST XB=1.37, 2.42, 0.0260, 0.71, 0.0300, 0.97 RGB=0.4000, 0.4000, 0.00 SURF_ID='SHEET METAL' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE. THICKEN=.TRUE./ Obstruction

&OBST XB=1.37, 2.42, 0.0260, 0.71, 1.27, 1.33 RGB=0.4000, 0.4000, 0.00 SURF_ID='SHEET METAL' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE. THICKEN=.TRUE./ cabinet plate1

&OBST XB=1.37, 2.42, 0.0260, 0.71, 1.57, 1.63 RGB=0.4000, 0.4000, 0.00 SURF_ID='SHEET METAL' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE. THICKEN=.TRUE./ cabinet plate2

&OBST XB=1.37, 2.42, 0.0260, 0.71, 1.87, 1.93 RGB=0.4000, 0.4000, 0.00 SURF_ID='SHEET METAL' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE. THICKEN=.TRUE./ carbinet plate3

&OBST XB=2.43, 3.43, 0.0170, 0.98, 1.53, 1.77 RGB=0.60, 0.60, 0.00 SURF_ID='wood_texture' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE. THICKEN=.FALSE./ Cabinet[1]

&OBST XB=2.43, 3.43, 0.0170, 0.71, 0.0300, 1.53 RGB=0.60, 0.4000, 0.00 SURF_ID='wood_texture' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE. THICKEN=.FALSE./ Cabinet

&OBST XB=2.90, 3.00, 2.86, 5.96, 1.00, 1.20 RGB=0.00, 0.2000, 1.00 SURF_ID='STEEL02' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE. THICKEN=.FALSE./ Obstruction

&OBST XB=3.90, 4.00, 2.86, 5.96, 1.00, 1.20 RGB=0.00, 0.2000, 1.00 SURF_ID='STEEL02' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE. THICKEN=.FALSE./ Obstruction[1]

&OBST XB=2.90, 3.00, 2.86, 5.96, -2.220446E-016, 0.2000 RGB=0.00, 0.2000, 1.00 SURF_ID='STEEL02' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE. THICKEN=.FALSE./ Obstruction[1]

&OBST XB=3.90, 4.00, 2.86, 5.96, -2.220446E-016, 0.2000 RGB=0.00, 0.2000, 1.00

SURF_ID='STEEL02' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE.

THICKEN=.FALSE./ Obstruction[1][1]

&OBST XB=2.90, 3.00, 2.86, 5.96, 2.00, 2.20 RGB=0.00, 0.2000, 1.00

SURF_ID='STEEL02' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE.

THICKEN=.FALSE./ Obstruction[1]

&OBST XB=3.90, 4.00, 2.86, 5.96, 2.00, 2.20 RGB=0.00, 0.2000, 1.00

SURF_ID='STEEL02' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE.

THICKEN=.FALSE./ Obstruction[1][1]

&OBST XB=2.90, 4.00, 3.86, 3.96, -2.220446E-016, 0.2000 RGB=0.00, 0.2000, 1.00

SURF_ID='STEEL02' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE.

THICKEN=.FALSE./ side base[1]

&OBST XB=2.90, 4.00, 3.86, 3.96, 1.00, 1.20 RGB=0.00, 0.2000, 1.00

SURF_ID='STEEL02' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE.

THICKEN=.FALSE./ side base[1][1]

&OBST XB=2.90, 4.00, 3.86, 3.96, 2.00, 2.20 RGB=0.00, 0.2000, 1.00

SURF_ID='STEEL02' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE.

THICKEN=.FALSE./ side base[2][1]

&OBST XB=2.90, 4.00, 4.86, 4.96, -2.220446E-016, 0.2000 RGB=0.00, 0.2000, 1.00

SURF_ID='STEEL02' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE.

THICKEN=.FALSE./ side base[2]

&OBST XB=2.90, 4.00, 4.86, 4.96, 1.00, 1.20 RGB=0.00, 0.2000, 1.00

SURF_ID='STEEL02' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE.

THICKEN=.FALSE./ side base[1][2]

&OBST XB=2.90, 4.00, 4.86, 4.96, 2.00, 2.20 RGB=0.00, 0.2000, 1.00

SURF_ID='STEEL02' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE.

THICKEN=.FALSE./ side base[2][2]

&OBST XB=2.90, 4.00, 5.86, 5.96, -2.220446E-016, 0.2000 RGB=0.00, 0.2000, 1.00

SURF_ID='STEEL02' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE.

THICKEN=.FALSE./ side base[3]

&OBST XB=2.90, 4.00, 5.86, 5.96, 1.00, 1.20 RGB=0.00, 0.2000, 1.00

SURF_ID='STEEL02' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE.

THICKEN=.FALSE./ side base[1][3]

&OBST XB=2.90, 4.00, 5.86, 5.96, 2.00, 2.20 RGB=0.00, 0.2000, 1.00

SURF_ID='STEEL02' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE.

THICKEN=.FALSE./ side base[2][3]

&OBST XB=2.90, 4.00, 2.86, 2.96, -2.220446E-016, 0.2000 RGB=0.00, 0.2000, 1.00

SURF_ID='STEEL02' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE.

THICKEN=.FALSE./ side base

&OBST XB=2.90, 4.00, 2.86, 2.96, 1.00, 1.20 RGB=0.00, 0.2000, 1.00

SURF_ID='STEEL02' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE.

THICKEN=.FALSE./ side base[1]

&OBST XB=2.90, 4.00, 2.86, 2.96, 2.00, 2.20 RGB=0.00, 0.2000, 1.00

SURF_ID='STEEL02' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE.

THICKEN=.FALSE./ side base[2]

&OBST XB=2.90, 3.00, 2.86, 2.96, -4.440892E-016, 2.20 RGB=0.00, 0.2000, 1.00

SURF_ID='STEEL02' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE.

THICKEN=.FALSE./ Obstruction

&OBST XB=3.90, 4.00, 2.86, 2.96, -4.440892E-016, 2.20 RGB=0.00, 0.2000, 1.00

SURF_ID='STEEL02' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE.

THICKEN=.FALSE./ Obstruction[1]

&OBST XB=2.90, 3.00, 5.86, 5.96, -6.661338E-016, 2.20 RGB=0.00, 0.2000, 1.00

SURF_ID='STEEL02' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE.

THICKEN=.FALSE./ Obstruction[1]

&OBST XB=3.90, 4.00, 5.86, 5.96, -6.661338E-016, 2.20 RGB=0.00, 0.2000, 1.00

SURF_ID='STEEL02' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE.

THICKEN=.FALSE./ Obstruction[1][1]

&OBST XB=2.90, 3.00, 3.86, 3.96, -4.440892E-016, 2.20 RGB=0.00, 0.2000, 1.00

SURF_ID='STEEL02' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE.

THICKEN=.FALSE./ Obstruction[1]

&OBST XB=3.90, 4.00, 3.86, 3.96, -4.440892E-016, 2.20 RGB=0.00, 0.2000, 1.00

SURF_ID='STEEL02' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE.

THICKEN=.FALSE./ Obstruction[1][1]

&OBST XB=2.90, 3.00, 4.86, 4.96, -4.440892E-016, 2.20 RGB=0.00, 0.2000, 1.00

SURF_ID='STEEL02' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE.

THICKEN=.FALSE./ Obstruction[2]

&OBST XB=3.90, 4.00, 4.86, 4.96, -4.440892E-016, 2.20 RGB=0.00, 0.2000, 1.00

SURF_ID='STEEL02' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE.

THICKEN=.FALSE./ Obstruction[1][2]

&OBST XB=2.95, 3.95, 4.92, 5.89, -2.220446E-016, 0.1000 SURF_ID='SHEET

METAL02' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE. THICKEN=.FALSE./

Obstruction

&OBST XB=2.96, 3.96, 3.93, 4.90, 4.857226E-016, 0.1000 SURF_ID='SHEET

METAL02' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE. THICKEN=.FALSE./

Obstruction

&OBST XB=2.96, 3.96, 2.92, 3.90, 4.857226E-016, 0.1000 SURF_ID='SHEET

METAL02' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE. THICKEN=.FALSE./

Obstruction

&OBST XB=2.95, 3.95, 4.92, 5.89, 1.00, 1.10 SURF_ID='SHEET METAL02'

PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE. THICKEN=.FALSE./ Obstruction[1]

&OBST XB=2.96, 3.96, 3.93, 4.90, 1.00, 1.10 SURF_ID='SHEET METAL02'

PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE. THICKEN=.FALSE./ Obstruction[1]

&OBST XB=2.96, 3.96, 2.92, 3.90, 1.00, 1.10 SURF_ID='SHEET METAL02'

PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE. THICKEN=.FALSE./ Obstruction[1]

&OBST XB=2.92, 3.92, 4.89, 5.89, 0.1000, 0.2000 RGB=0.80, 0.80, 1.00

SURF_ID='ETHANOL' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE.

THICKEN=.FALSE./ Ethanol liquid

&PL3D QUANTITIES='V-VELOCITY', 'U-VELOCITY', 'W-VELOCITY', 'HRRPUV',

'TEMPERATURE' WRITE_XYZ=.FALSE./

>>>>>>>>>> ***REACTION*** <<<<<<<<<<

&REAC ID='ETHANOL' SOOT_YIELD=8.000000E-003 NU_H2O=3.00

NU_CO2=2.00 EPUMO2=1.284200E004 RADIATIVE_FRACTION=0.2000

MW_FUEL=46.00 NU_O2=3.00/

>>>>>>>>>> ***SLICE FILE***<<<<<<<<<<

&SLCF PBX=3.50 QUANTITY='TEMPERATURE' VECTOR=.TRUE./

&SLCF PBY=5.50 QUANTITY='TEMPERATURE' VECTOR=.TRUE./

&SLCF PBZ=1.50 QUANTITY='TEMPERATURE' VECTOR=.TRUE./

>>>>>>>>>> ***SPRINKLER*** <<<<<<<<<<

&SPRK LABEL='SPRK' MAKE='K-5' PART_ID='' XYZ=2.50, 1.50, 2.30/

&SPRK LABEL='SPRK02' MAKE='K-5' PART_ID='' XYZ=2.50, 4.50, 2.30/

>>>>>>>>>> ***SURFACE*** <<<<<<<<<<

1. การกำหนดพื้นผิวของ ไม้ ในฐานข้อมูลของโปรแกรม FDS

&SURF ID='wood_texture' RGB=0.50, 0.50, 0.50 TEXTURE_MAP='wood.jpg'

TEXTURE_WIDTH=0.50 TEXTURE_HEIGHT=0.50/

2. การกำหนดพื้นผิวของสาร Ethanol ในฐานข้อมูลของโปรแกรม FDS

&SURF ID='ETHANOL' RGB=0.80, 0.80, 1.00 HEAT_OF_VAPORIZATION=837.00

PHASE='LIQUID' KS=0.1600 BURNING_RATE_MAX=0.0150

SURFACE_DENSITY=5.00 EMISSIVITY=0.90 TMPIGN=78.00 WALL_POINTS=20

BURN_AWAY=.FALSE. C_P=2.40 DELTA=0.0500 DENSITY=780.00

HEAT_OF_COMBUSTION=2.680000E004 FUEL_FRACTION=1.00/

3. การกำหนดพื้นผิวของ เหล็ก ในฐานข้อมูลของโปรแกรม FDS

&SURF ID='STEEL02' RGB=0.00, 0.4000, 1.00 TEXTURE_MAP='psm_metal.jpg'

TEXTURE_WIDTH=3.00 TEXTURE_HEIGHT=2.00 C_DELTA_RHO=20.00

DELTA=5.000000E-003 EMISSIVITY=0.90/

4. การกำหนดพื้นผิวของสาร แผ่นโลหะ ในฐานข้อมูลของโปรแกรม FDS

&SURF ID='SHEET METAL' RGB=0.2000, 0.2000, 0.2000

TEXTURE_MAP='psm_concrete.jpg' TEXTURE_WIDTH=0.76

TEXTURE_HEIGHT=0.76 C_DELTA_RHO=4.70 DELTA=1.300000E-003

EMISSIVITY=0.90/

&SURF ID='SHEET METAL02' RGB=0.2000, 0.2000, 0.2000

TEXTURE_MAP='psm_concrete.jpg' TEXTURE_WIDTH=0.76

TEXTURE_HEIGHT=0.76 C_DELTA_RHO=4.70 DELTA=1.300000E-003

EMISSIVITY=0.90/

5. การกำหนดพื้นผิวของ ยิปซั่มบอร์ด ในฐานข้อมูลของโปรแกรม FDS

&SURF ID='GYPSUM BOARD' RGB=0.80, 0.80, 0.70 HRRPUA=100.00

DENSITY=1.440000E003 DELTA=0.0130 KS=0.4800 TMPIGN=400.00 C_P=0.84

RAMP_Q='RAMP_Q_GYPSUM BOARD'/

&RAMP ID='RAMP_Q_GYPSUM BOARD' T=0.00 F=0.00/

&RAMP ID='RAMP_Q_GYPSUM BOARD' T=1.00 F=0.50/

&RAMP ID='RAMP_Q_GYPSUM BOARD' T=2.00 F=1.00/

&RAMP ID='RAMP_Q_GYPSUM BOARD' T=10.00 F=1.00/

&RAMP ID='RAMP_Q_GYPSUM BOARD' T=20.00 F=0.00/

&RAMP ID='RAMP_Q_GYPSUM BOARD' T=30.00 F=0.00/

>>>>>>>>>> ***THERMOCOUPLE***<<<<<<<<<<

&THCP XYZ=3.50, 5.50, 2.00 QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL='tc 1-2.0m.'/

&THCP XYZ=3.50, 5.50, 1.00 QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL='tc 3-1.0m.'/

>>>>>>>>>>***TIME***<<<<<<<<<<

&TIME TWFIN=300.00/

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสาวเรืองรัตน์ ต่อไมตรี
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 21 เมษายน 2525
สถานที่เกิด	พังงา
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (สุขศาสตร์อุตสาหกรรมและความปลอดภัย)
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	เจ้าหน้าที่ความปลอดภัยในการทำงานระดับวิชาชีพ
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	บริษัท ซันอิ (ประเทศไทย) จำกัด