



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมความปลอดภัย)

ปริญญา

วิศวกรรมความปลอดภัย

โครงการสหวิทยาการระดับบัณฑิตศึกษา

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การจำลองพลศาสตร์อัคคีภัยเพื่อออกแบบระบบป้องกันอัคคีภัย
ของห้องเก็บสินค้าในอากาศยาน

Fire Dynamics Simulation for Fire Protection Design of Aircraft Compartment

นามผู้วิจัย นายวีรวิทย์ วัฒนาสวัสดิ์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ธงไชย ศรีนพคุณ, Ph.D.)

กรรมการ

(อาจารย์นันทยา หาญศักดิ์เกษม, Ph.D.)

กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ชวลิต ดิศักดิ์ชัยการ, Ph.D.)

ประธานสาขาวิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์อนนต์ วงษ์เกษม, M.S.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์วินัย อางคงหาญ, M.A.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 4 เดือน เมษายน พ.ศ. 2549

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การจำลองพลศาสตร์อัคคีภัยเพื่อออกแบบระบบป้องกันอัคคีภัย
ของห้องเก็บสินค้าในอากาศยาน

Fire Dynamics Simulation for Fire Protection Design
of Aircraft Compartment

โดย

นายวีรวิทย์ วัฒนาศาสตร์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมความปลอดภัย)
พ.ศ. 2549

ISBN 974-16-1388-1

วีรวิทย์ วัฒนาศาสตร์ 2549: การจำลองพลศาสตร์อัคคีภัยเพื่อออกแบบระบบป้องกัน
อัคคีภัยของห้องเก็บสินค้าในอากาศยาน วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
(วิศวกรรมความปลอดภัย) สาขาวิศวกรรมความปลอดภัย โครงการสหวิทยาการระดับ
บัณฑิตศึกษา ประชานกรรมการที่ปรึกษา: รองศาสตราจารย์ธงไชย ศรีนพคุณ, Ph.D.
148 หน้า

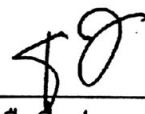
ISBN 974-16-1388-1

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการศึกษาและจำลองเหตุการณ์อัคคีภัย เพื่อออกแบบระบบป้องกัน
อัคคีภัยของห้องเก็บสินค้าในอากาศยาน โดยการประยุกต์ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป 3 ส่วนที่นำมา
ประกอบกัน คือ โปรแกรม Fire Dynamics Simulation โปรแกรม Smokeview และโปรแกรม
PyroSim โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อจำลองอากาศยานชนิด Airbus 380 (A380) ที่สามารถโดยสาร
ได้มากกว่า 555 คน โดยการจำลองจะครอบคลุม การศึกษาพลศาสตร์อัคคีภัย การออกแบบ
ระบบตรวจจับความร้อนบนห้องเก็บสินค้าบนอากาศยานส่วนหน้า

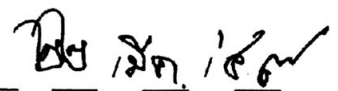
ผลจากการวิจัย พบว่าในการจำลองเหตุการณ์ที่เลวร้ายที่สุดปรากฏว่าเพลิงได้ลุกไหม้
ไปตลอดทั่วทั้งอากาศยานภายในเวลาประมาณ 206 วินาที ซึ่งค่าของอุณหภูมิจะเปลี่ยนแปลงไป
อยู่ระหว่างช่วง 500 – 2,000 องศาเซลเซียส โดยจุดเริ่มต้นของเชื้อเพลิงเป็นกล่องกระดาศที่เกิด
ไฟลุกไหม้ขึ้นในห้องเก็บสินค้าบนอากาศยาน จะมีค่าพีล็กซ์ความร้อนอยู่ระหว่าง 240 – 350
 kW/m^2 ภายในระยะเวลาประมาณ 30 วินาที ความร้อนจะแผ่ขยายครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมดของ
ห้องเก็บสินค้า โดยอุณหภูมิของตู้คอนเทนเนอร์ที่เป็นต้นเหตุเพลิงไหม้เท่ากับ 790 องศา
เซลเซียส อุณหภูมิภายในห้องเก็บสินค้าส่วนหน้าเท่ากับ 879 องศาเซลเซียส อุณหภูมิภายใน
ห้องผู้โดยสารชั้น 1 และชั้น 2 เท่ากับ 1,190 และ 1,920 องศาเซลเซียส ตามลำดับ แสดงว่า
กรณีที่เกิดเหตุเพลิงไหม้ขึ้น จะต้องมีการตรวจจับความร้อนและอุณหภูมิให้ครอบคลุม
ทั้งหมด 32 จุด เพื่อให้สามารถจับความร้อนให้ได้ภายใน 1 นาที



ลายมือชื่อนิติ



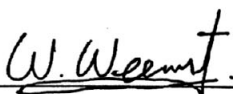
ลายมือชื่อประธานกรรมการ



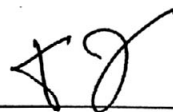
Weerawit Watthansawad 2006: Fire Dynamics Simulation for Fire Protection Design of Aircraft Compartment. Master of Engineering (Safety Engineering), Major Field: Safety Engineering, Interdisciplinary Graduate Program. Thesis Advisor: Associate Professor Thongchai Srinophakun, Ph.D. 148 pages.
ISBN 974-16-1388-1

This research aimed to study, simulate and design of fire protection of aircraft compartment by fire dynamics simulation. There are 3 package programs utilized which comprise of Fire Dynamics Simulation, Smokeview and PyroSim. The objective focused on aircraft type Airbus 380(A380) which has a capacity of more than 555 passengers. The simulation covered the fire dynamics study, the heat detector design at the front compartment.

The results found that the worst case of fire spread through aircraft was within 206 second and the temperature was between 500 – 2,000°C. The paper boxes; a source of fire, had heat flux between 240 - 350 kW/m² within 30 second. The heat had spread over an entire front compartment. The temperature in the source of fire container was 790°C. At the front compartment was 879°C and on the first floor and second floor were 1,190°C and 1,920°C. After evaluated by FDS, the aircraft compartment should have an installation of 32 heat detector system for monitoring the heat increment within 1 minute.



Student's signature



Thesis Advisor's signature

22 / Mar. / 06

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ธงไชย ศรีนพคุณ ประธานที่ปรึกษา ที่ได้ช่วยเหลือในการวางแผนงานวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ตลอดจนให้คำปรึกษาแนะนำและตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ดร. นันทิยา หาญสุภลักษณ์ กรรมการที่ปรึกษาวิชาเอก รองศาสตราจารย์ ดร. ขวลิศ กิตติชัยการ กรรมการที่ปรึกษาวิชารอง และผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย รองศาสตราจารย์ ดร. พิชิต สุขเจริญพงษ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษา ข้อคิด ความรู้ แนวทาง แนะนำและช่วยเหลือสิ่งที่เป็นประโยชน์อย่างสูงสุดในการทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จอย่างสมบูรณ์เป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้

ขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อพ่อน วัฒนาสวัสดิ์และคุณแม่พรณี วัฒนาสวัสดิ์และพี่น้อง ที่เป็นกำลังใจและช่วยผลักดันให้มีความอดทน และไม่ย่อท้อต่อสิ่งที่เป็นอุปสรรค จนทำให้สามารถจบการศึกษาได้ในเวลา 2 ปี

ขอขอบคุณ คุณอุทัยวรรณ ลออคุณ ที่ช่วยเหลือในการดูแลและสนับสนุนอย่างสุดความสามารถ ตลอดจนเป็นกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

ขอขอบคุณ พี่น้องชาววิศวกรรมความปลอดภัยทุกคน ทุกท่านที่ให้กำลังใจและชี้แนะจนสามารถสำเร็จลุล่วงได้

คุณประโยชน์อันเกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้จัดทำวิทยานิพนธ์ขอมอบแด่ครอบครัว อาจารย์ เพื่อนๆ ร่วมสายงาน และประเทศไทย

วีรวิทย์ วัฒนาสวัสดิ์

กุมภาพันธ์ 2549

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(4)
สารบัญภาพ	(5)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(10)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
ขอบเขตของงานวิจัย	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
การตรวจเอกสาร	4
ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	4
ทฤษฎีการเกิดเพลิงไหม้	6
หลักการออกแบบของการป้องกันและระงับอัคคีภัย	8
ทฤษฎีการเคลื่อนของไฟในพื้นที่ปิดล้อม	12
กฎหมายและมาตรฐานที่ใช้อ้างอิงในประเทศไทยและข้อกำหนดอื่นๆ	20
ทฤษฎีเกี่ยวกับส่วนประกอบของอากาศยาน	22
การแบ่งประเภทของห้องเก็บสินค้าภายในอากาศยาน	29
ความรู้เกี่ยวกับสินค้าอันตราย	34
หลักการเบื้องต้นเกี่ยวกับตู้คอนเทนเนอร์ที่ใช้ลำเลียงสินค้าบนอากาศยาน	38
การใช้โปรแกรมสร้างภาพเสมือนจริงจำลองเหตุเพลิงไหม้	39
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	42
อุปกรณ์และวิธีการ	47
อุปกรณ์	47
ระบบคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์เสริมประกอบ	47
โปรแกรมที่ใช้	47
ระบบปฏิบัติการ	47

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
วิธีการ	48
กำหนดปัญหา / เก็บรวบรวมข้อมูล / ศึกษาข้อมูลอ้างอิง	48
ศึกษาลักษณะสภาพแวดล้อมของห้องเก็บสินค้าบนอากาศยาน	
ที่ใช้ให้สอดคล้องกับเงื่อนไขที่ออกแบบ	51
ศึกษาปฏิกิริยา คุณสมบัติและการปล่อยพลังงานของวัสดุที่เป็นเชื้อเพลิง	51
ทดสอบความถูกต้องโครงสร้างฐานข้อมูล	52
ศึกษาการใช้โปรแกรม Fire Dynamics Simulator (FDS)	52
ศึกษาการใช้โปรแกรม PyroSim ร่วมกับการใช้โปรแกรม FDS	52
สร้างแบบจำลองที่สนใจ	53
วิเคราะห์ผลการทดลองและการทดสอบแบบจำลอง	53
สรุปผลการทดลองและเขียนรายงาน	53
ผลการทดลองและวิจารณ์	54
ผลการทดลอง	54
วิเคราะห์และศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับห้องเก็บสินค้าบนอากาศยาน	
และที่เกี่ยวข้องกับอากาศยาน	54
การวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อน การแผ่รังสี โดยโปรแกรม	
สร้างภาพเสมือน	59
การนำโปรแกรมสร้างภาพเสมือนไปประยุกต์ใช้ในสร้างแบบจำลอง	64
การประยุกต์ใช้อุปกรณ์ตรวจจับความร้อนและเทอร์โมคัปเปิ้ล	72
วิจารณ์	90
สรุปผล	93
ข้อเสนอแนะ	95
แนวทางการวิจัยต่อเนื่อง	99
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	101

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก	104
ภาคผนวก ก การใช้โปรแกรม PyroSim	105
ภาคผนวก ข การกำหนดพื้นผิวของวัสดุที่มีอยู่ในข้อมูลพื้นฐาน	128
ภาคผนวก ค คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในโปรแกรม PyroSim และ FDS	133

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	รายละเอียดและน้ำหนักของเชื้อเพลิงที่มีอยู่บนอากาศยาน ต่ออากาศยาน 1 เครื่อง	16
2	จำนวนถังดับเพลิงที่ต้องติดตั้งบนอากาศยานโดยพิจารณาจากจำนวน ผู้โดยสารที่มีอยู่บนอากาศยาน	45
3	ข้อมูลเบื้องต้นของอากาศยานชนิด Airbus	49
4	สถิติอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นเนื่องจากไฟไหม้อากาศยานในระหว่าง ปี 1967 – 1998	50
5	แสดงการเปรียบเทียบการประยุกต์ใช้โปรแกรมสร้างภาพเสมือน ของอากาศยาน	70
6	แสดงผลการเกิดเหตุเพลิงไหม้บนอากาศยานเรียงตามลำดับ	82
7	แสดงผลการกระจายตัวของควันไฟบนอากาศยานเรียงตามลำดับ	85
8	แสดงอุณหภูมิที่เทอร์โมคัปเปิ้ลบันทึกอุณหภูมิได้ในส่วนต่างๆ ของอากาศยาน	93
 ตารางผนวกที่		
ข1	แสดงภาพของพื้นผิวในข้อมูลพื้นฐาน	129
ค1	แสดงคุณสมบัติที่เกี่ยวกับการเกิดเหตุเพลิงไหม้ของวัสดุที่เป็น ข้อมูลพื้นฐานของโปรแกรม PyroSim	134

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ปฏิกิริยาของการเผาไหม้	7
2	สถาปัตยกรรมกับการป้องกันอัคคีภัย	8
3	การเกิดเหตุเพลิงไหม้ขึ้นที่บริเวณด้านใต้ห้องเก็บสินค้า	9
4	แนวคิดของการวางระบบป้องกันอัคคีภัยของ NFPA 550	11
5	สัญลักษณ์ทางตรรกวิทยาแสดงแนวคิดของการวางระบบป้องกันอัคคีภัย ของ NFPA 550	12
6	ดัดแปลงจากแบบจำลองของการแพร่กระจายความร้อน ในห้องเก็บสินค้าบนอากาศยาน	16
7	การเกิดไฟและการกระจายควันแบบ Buoyant Plume	18
8	การเกิดไฟและการกระจายควันแบบ Attach Flow	18
9	การเกิดไฟและการกระจายควันแบบ Diffuse Source	19
10	การเกิดไฟและการกระจายควันแบบ Containerized Source	19
11	ลำตัวของอากาศยาน	23
12	การจัดแบ่งที่นั่งและชั้นของอากาศยาน	24
13	ตำแหน่งที่ใช้เก็บสินค้าบนอากาศยาน	25
14	ส่วนประกอบของ Propulsion-unit	27
15	Auxiliary Power Unit	27
16	ส่วนประกอบของล้ออากาศยาน	28
17	การสร้างแบบจำลองเหตุเพลิงไหม้ในห้องเก็บสินค้าของอากาศยาน	32
18	การสร้างแบบจำลองเหตุเพลิงไหม้ในห้องเก็บสินค้าของอากาศยาน และลุกลามไปตลอดทั่วทั้งอากาศยานซึ่งแบ่งอุณหภูมิตามสี่และ ตามแนวแกน X แกน Y และแกน Z	32
19	ภาพพื้นที่ที่ห้ามจอดอุปกรณ์ให้บริการภาคพื้นดินเข้ามาจอด ด้านใต้ปีกของเครื่องบินตาม NFPA 402	34
20	ภาพแสดงการแบ่งประเภทของสินค้าอันตราย	37

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
21	แสดง ULD ชนิดที่ใช้บนอากาศยาน	39
22	ภาพแสดงแบบจำลองเครื่องบินแบบ Wide-body ที่เขียนคำสั่งใน Notepad และแสดงออกมาในโปรแกรม Smokeview	40
23	ภาพแสดงแบบจำลองของห้องเก็บสินค้าบนอากาศยานส่วนหลัง ที่แสดงออกมาในโปรแกรม Smokeview	41
24	การใช้โปรแกรม PyroSim ในการสร้างแบบจำลอง	41
25	ภาพแสดงระดับของการตอบสนองของอุปกรณ์ตรวจจับควันในห้องเก็บสินค้าบนอากาศยานเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงแต่ละประเภท	43
26	ภาพระบบการส่งผ่านของอากาศเข้าไปในอากาศยาน	44
27	แสดงห้องเก็บสินค้าบนอากาศยาน	55
28	แสดงสินค้าที่ถูกเก็บในตู้คอนเทนเนอร์และเกิดเหตุเพลิงไหม้ขึ้น	56
29	แสดงผลการสร้างห้องเก็บสินค้าบนอากาศยานที่มีตู้คอนเทนเนอร์บรรจุสินค้าอยู่เต็ม	57
30	แสดงคุณสมบัติของกระดาศที่โปรแกรม PyroSim กำหนดเอาไว้โดยอาศัยจากข้อมูลพื้นฐานที่โปรแกรม FDS กำหนดขึ้น	58
31	แสดงอุณหภูมิการเผาไหม้และการลุกลามของเพลิงที่รวดเร็วและรุนแรงเมื่อเกิดเพลิงไหม้ที่กล่องกระดาศที่เก็บอยู่ในห้องเก็บสินค้าในอากาศยานและลุกลามขึ้นมาบนห้องของผู้โดยสาร โดยมีการแบ่งแยกอุณหภูมิตามแถบสี	59
32	แสดงลักษณะการใช้มวลของออกซิเจน	60
33	แสดงพลังงานการแผ่รังสีไปด้านข้างของอากาศยาน	61
34	รายละเอียดเบื้องต้นของโปรแกรม PyroSim	65
35	แสดงระยะเวลาที่ใช้โปรแกรมตั้งแต่วันที่เริ่มใช้งานจนถึงวันหมดอายุและช่อง Site Key สำหรับใส่รหัสในการต่ออายุ	65
36	แสดงอัตราส่วนของการออกแบบเครื่องบินกับการประยุกต์ใช้โปรแกรม	66

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
37	แสดงพื้นที่ที่ใช้ในการคำนวณและเซลล์ Grid ที่กำหนดขึ้น	68
38	ภาพด้านบนแสดงคำสั่ง SAWTOOTH=FALSE. เพื่อให้ภาพเสมือนออกมามีความเรียบ เปรียบเทียบกับภาพด้านล่างเป็นภาพที่ไม่ใช้คำสั่งดังกล่าว	69
39	แสดงตำแหน่งจุดที่มีการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับความร้อนซึ่งแทนด้วยจุดสีเหลี่ยมสีแดง	72
40	จุดที่มีการติดตั้ง Heat Detector บนเครื่องบินแบบ B 707	74
41	แผนผังการจัดวางตำแหน่ง Heat Detector และอุปกรณ์ตรวจจับที่นำมาใช้แสดงผล	75
42	แสดงผลของอุปกรณ์ตรวจจับในแถวที่ 1 ชุดที่ 4 (แถว 1-4) ที่มีการตรวจจับได้ที่เวลา 140 วินาที	78
43	แสดงผลของอุปกรณ์ตรวจจับในแถวที่ 2 ชุดที่ 5 (แถว 2-5) ที่มีการตรวจจับได้ที่เวลา 140 วินาที	78
44	แสดงผลการปรับปรุงและลดตำแหน่งสำหรับการติดตั้งที่นำมาใช้เทียบเคียงกับงานวิจัย	79
45	แสดงผลของอุปกรณ์ตรวจจับในแถวที่ 1 ที่สามารถตรวจจับได้รวดเร็วยิ่งขึ้น	80
46	แสดงผลของอุปกรณ์ตรวจจับในแถวที่ 1 ที่สามารถตรวจจับได้รวดเร็วยิ่งขึ้น	80
47	แสดงตำแหน่งจุดที่มีการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิ้ล	81
48	แสดงอุณหภูมิของขณะเกิดเหตุที่เวลา 10 วินาที ที่มีอุณหภูมิอยู่ที่ประมาณ 600 – 1,050 องศาเซลเซียส	88
49	แสดงการเคลื่อนที่ทิศทางเคลื่อนที่ของไฟโดยมีความเร็วตามเส้นเวกเตอร์และไฟมีการเคลื่อนที่ตามแถบสีด้วยความเร็วที่ 13 เมตรต่อวินาที	89
50	ขั้นตอนการใช้โปรแกรมในการวิเคราะห์และประเมินผลกระทบ	91

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า
ก1 การสอบสวนอุบัติเหตุเหตุการณ์ที่อากาศยานชนตึกเวิร์ลเทรด โดยใช้แบบจำลองของโปรแกรม FDS	107
ก2 หน้าต่างสำหรับการเริ่มที่จะติดตั้งโปรแกรม PyroSim	108
ก3 การติดตั้งครั้งแรกให้เลือกแบบ Modify	109
ก4 แสดงขั้นตอนในการเลือกที่อยู่สำหรับการติดตั้งโปรแกรม	109
ก5 แสดงขั้นตอนในการเลือกเพื่อเสร็จสิ้นการติดตั้งโปรแกรม	110
ก6 แสดงไอคอนสำหรับการเข้าไปใช้งานโปรแกรมและหน้าต่างเริ่มการใช้งาน	111
ก7 หน้าต่างเริ่มต้นสำหรับการใช้งานโปรแกรม PyroSim	111
ก8 แสดงแถบคำสั่ง(ด้านบน) และแถบเครื่องมือ(ด้านล่าง)	113
ก9 แสดงการตั้งชื่อ Grid ที่ต้องการ	114
ก10 แสดงการตั้งค่า Grid ที่จะใช้ในการสร้างแบบจำลอง	114
ก11 แสดงขอบเขตและ Grid ที่กำหนดและแสดงผลที่หน้าต่างของ โปรแกรม PyroSim	115
ก12 แสดงการเลือกใช้ข้อมูลของคุณสมบัติพื้นผิววัสดุทั้งหมด	116
ก13 แสดงการเลือกกำหนดคุณสมบัติของผนังที่ต้องการ	117
ก14 แสดงการเลือกกำหนดคุณสมบัติของผนังที่ต้องการ	118
ก15 กล้องสำหรับคำสั่งบล็อกบาร์ (Block Bar)	118
ก16 หน้าต่าง Configure Background Image for “Default”	120
ก17 การใส่รูปภาพลงที่พื้นหลังเพื่อช่วยในการออกแบบส่วนโค้ง	120
ก18 แสดงผลลัพธ์ภายหลังจากที่ได้ใส่รูปภาพลงไปในพื้นหลังเรียบร้อยแล้ว	121
ก19 แสดงการสร้างภาพให้มีส่วนโค้งมนหลังจากที่ได้ใส่รูปภาพลงไป ที่พื้นหลังให้เป็นเขตสำหรับการสร้างภาพเสมือน	121
ก20 แสดงคำสั่งสำหรับการติดตั้งสปริงเกอร์และอุปกรณ์ตรวจจับความร้อน	122
ก21 แสดงการใส่ชื่อของสปริงเกอร์และจุดอ้างอิงพิกัดในการติดตั้งสำหรับ การออกแบบ	123

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
ก22	แสดงการใส่ชื่อของอุปกรณ์ตรวจจับความร้อนและจุดอ้างอิงพิกัดในการติดตั้งสำหรับการออกแบบ	123
ก23	แสดงคำสั่งของการเลือกติดตั้งเทอร์โมคัปเปิ้ล	124
ก24	แสดงการใส่ชื่อของเทอร์โมคัปเปิ้ลและจุดอ้างอิงพิกัดในการติดตั้ง	125
ก25	แสดงจุดสี่เหลี่ยมที่ใช้แสดงให้กับผู้ใช้งานทราบถึงจุดที่แยกโดยสี 3 สี ได้แก่ จุดสีแดงแสดงการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับความร้อน จุดสีน้ำเงินแสดงการติดตั้งสปริงเกอร์ และจุดสีเหลืองแสดงการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิ้ล	126
ก26	แสดงหน้าต่าง Simulation Parameters สำหรับใช้ในการประมวลผลผลลัพธ์และระยะเวลาในการวิจัยผลทดลอง	127
ข1	แสดงการใส่พื้นผิว(Texture) ของโปรแกรม PryoSim	132

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

A	พื้นที่ที่เกี่ยวกับการระเหยกลายเป็นไอ หน่วยเป็น ตารางเมตร
A_f	พื้นที่ผิวของเปลวไฟ หน่วยเป็น ตารางเมตร
E	จำนวนปริมาตรของออกซิเจน (MJ/kg-O^2)
D	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ มีหน่วยเป็น นิ้ว (Inch)
$F_{1 \rightarrow 2}$	ปัจจัยจากรูปร่างภายนอกระหว่างเปลวไฟและเป้าหมาย (Configuration of view factor between flame and target, unitless)
- HRR	หรือจำนวนของการแพร่กระจายความร้อน มีหน่วยเป็น วัตต์
ΔH_c	ประสิทธิภาพความร้อนของการเผาไหม้ (Heat of combustion) หน่วยเป็น kJ/g
n	สัมประสิทธิ์การพาความร้อน หน่วยเป็น $\text{w/m}^2 \cdot \text{c}$
k	สัมประสิทธิ์การกระจายหรือการดูดกลืนของเปลวไฟ (Flame emission / Absorption coefficient, m^{-1})
L	ความหนาของผนัง มีหน่วยเป็นเมตร
ΔT	อุณหภูมิที่ต่างกัน
$\dot{m}''$	อัตราการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง (Burning rate) หน่วยเป็น kg/sec
Pa	ความดันบรรยากาศ หน่วยเป็น kPa
Pf	ค่าแรงเสียดทานของน้ำที่สูญเสียของน้ำในท่อ 1 ฟุต มีหน่วยเป็น psi/foot
Q	ปริมาตรการไหลของน้ำ หน่วยเป็น แกลลอนต่อนาที (gpm)
$\dot{Q}$	อัตราการปล่อยความร้อนจากไฟ (Energy release rate of the fire, kW)
$\dot{q}$	ฟลักซ์ความร้อนของการแผ่รังสีที่ตกกระทบบนเป้าหมาย (Radiant heat flux) หน่วยเป็น kW/m^2
r	ระยะจากจุดที่เกิดการระเบิดไปยังจุดที่สนใจ หน่วยเป็น เมตร
u	ความเร็วของลม (Wind velocity) หน่วยเป็น m/sec
x, y, z	พิกัดต่างๆ ที่สนใจ (Coordinate of Plume) หน่วยเป็น เมตร
α	ค่าความดูดกลืนของอากาศ (Atmospheric absorptivity)
ε	การแผ่ของเปลวไฟ (Flame emissivity) โดยที่ $\varepsilon = 1 - e^{(-kl)}$
σ	ค่าคงที่ของสเตฟาน (Stefan-Boltzmann constant, $5.67 \times 10^{-11} \text{ kW/m}^2 \text{K}^4$)
τ	ค่าการส่งถ่ายไปยังอากาศโดยรอบ โดยที่ $\tau = 1 - \alpha$

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

AHM	Airport Handling Manual
CFD	Computational Fluid Dynamics
CO	Carbon monoxide
CO ₂	Carbon dioxide
DGR	Dangerous Goods
FAA	Federal Aviation Administration
FDS	Fire Dynamic Simulation
IATA	International Air Transport Association
ICAO	International Civil Aviation Organization
MSDS	Material Safety Data Sheet
NBS	National Bureau of Standards
NFPA	National Fire Protection Association
NIST	National Institute of Standard and Technology
ODP	Ozone Depletion Potential
ULD	Unit Load Device
GWP	Global Warming Potential

การจำลองพลศาสตร์อัคคีภัยเพื่อออกแบบระบบป้องกันอัคคีภัย ของห้องเก็บสินค้าภายในอากาศยาน

Fire Dynamics Simulation for Fire Protection Design of Aircraft Compartment

คำนำ

อุตสาหกรรมเกี่ยวกับธุรกิจการบิน การให้บริการเกี่ยวกับอากาศยาน บริการอุปกรณ์ภาคพื้น บริการคลังสินค้า และบริการช่างอากาศยานนั้น เป็นการดำเนินงานชนิดหนึ่งที่นับได้ว่าเป็นงานที่มีปัจจัยของความเสี่ยงอยู่เสมอ ยิ่งในปัจจุบันอากาศยานนับว่าเป็นยานพาหนะที่มีสมรรถนะที่สามารถทำให้มนุษย์ชาติไปถึงที่หมายได้อย่างรวดเร็วและถือว่ามีความปลอดภัยเป็นอันดับหนึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับจำนวนของสถิติอุบัติเหตุของการเดินทาง โดยทางการคมนาคมอื่นๆ รวมทั้งอัตราการเจริญเติบโตของธุรกิจทางด้านอากาศยานในปัจจุบันนับว่ามีอัตราการเจริญเติบโตที่รวดเร็วเป็นอย่างยิ่ง โดยเฉพาะในปี พ.ศ. 2549 รัฐบาลมีนโยบายที่จะเปิดท่าอากาศยานแห่งใหม่ขึ้นที่หนองงูเห่า หรือท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ ซึ่งแสดงว่าธุรกิจที่อยู่ในภาคอุตสาหกรรมการบินกำลังอยู่ในช่วงเจริญเติบโตอย่างยิ่ง ดังนั้นการควบคุมการปฏิบัติงานและการป้องกันไม่ให้เกิดอุบัติเหตุกับการปฏิบัติงานข้างเครื่อง (Airside Safety) และกับอากาศยาน (Aircraft) เป็นสิ่งที่มีความสำคัญ เพราะในกรณีที่เกิดอุบัติเหตุเกี่ยวกับอากาศยานแล้ว มักจะทำให้ทรัพย์สินเสียหายมีมูลค่าสูงหรืออาจทำให้เกิดการบาดเจ็บถึงขั้นเสียชีวิตได้

เนื่องจากให้บริการทางด้านคลังสินค้าและการให้บริการเกี่ยวกับการจัดเรียงสินค้าขึ้นเครื่องบิน (Aircraft Cargo Onload) เป็นการลำเลียงสินค้า (Cargo) กระเป๋า (Baggage) หรือกระทั้งศพของมนุษย์ (Human Remain) โดยเฉพาะการลำเลียงและจัดวางสินค้าในอากาศยานนั้น มักจะเป็นเชื้อเพลิงได้เป็นอย่างดี หรือในบางครั้งสินค้าที่ขนส่งเป็นสินค้าหรือวัตถุอันตราย (Dangerous Goods) ซึ่งหากมีการจัดเรียงสินค้าหรือวัตถุอันตรายไม่ถูกต้องตามหลักการทางด้านความปลอดภัยแล้ว อาจจะก่อให้เกิดการทำปฏิกิริยาของสินค้าหรือวัตถุอันตราย จนนำไปสู่การเกิดอัคคีภัยและการระเบิดภายในอากาศยานขึ้น ดังนั้นโดยส่วนมากเมื่อเกิดเหตุเพลิงไหม้ขึ้นที่ภายในห้องเก็บสินค้าบนอากาศยานที่มีผู้โดยสารอยู่บนนั้น จึงต้องจัดให้มีจัดให้มีระบบดับเพลิง

ที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ซึ่งระบบที่มีประสิทธิภาพนั้นจะต้องสามารถจับกลุ่มควันหรือความร้อนให้ได้ก่อนที่เพลิงไหม้จะลุกลามขึ้นจนไม่อาจจะจับเหตุได้ รวมถึงการเลือกอุปกรณ์ที่ใช้ดับเพลิงบนอากาศยานนั้น จะต้องเป็นอุปกรณ์ที่ได้มาตรฐานและทดสอบได้โดยง่าย ซึ่งเมื่อเกิดเหตุเพลิงไหม้ขึ้นแล้ว จะมีปัจจัยอื่นที่เข้ามาสนับสนุนและทำให้เหตุเพลิงไหม้ขยายลุกลามไปได้อย่างรวดเร็ว เช่น ชนิดสินค้าที่เก็บในอากาศยาน น้ำมันเชื้อเพลิง น้ำมันไฮดรอลิกหรืออากาศที่ไหลเวียนถ่ายเทในอากาศยาน ดังนั้น เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดอุปกรณ์ตรวจจับ จะต้องมีประสิทธิภาพตามมาตรฐานที่กำหนดอย่างเที่ยงตรง

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

การวิจัยเรื่องการจำลองพลศาสตร์อัคคีภัยเพื่อออกแบบระบบป้องกันอัคคีภัยของห้องเก็บสินค้าภายในอากาศยาน ดำเนินการไปตามความสำคัญของประเด็นปัญหาข้างต้น โดยโครงการวิจัยนี้กำหนดวัตถุประสงค์เอาไว้ 2 ประการ ดังนี้

1. เพื่อประยุกต์ใช้โปรแกรมการสร้างภาพเสมือนจำลองเหตุการณ์ในกรณีที่เกิดอัคคีภัยขึ้นภายในห้องเก็บสินค้าภายในอากาศยานและจำลองเหตุการณ์ขึ้น โดยกำหนดให้เกิดเหตุสายไฟฟ้าลัดวงจรและเกิดการอาร์ค จนทำให้เกิดความร้อนและประกายไฟไปถูกกล่องกระดาศที่ใช้บรรจุสินค้าอยู่ด้านในส่วนเก็บสินค้าบนอากาศยานส่วนหน้าจนทำให้เกิดอัคคีภัยขึ้น
2. เพื่อประยุกต์ศาสตร์ด้านวิศวกรรมความปลอดภัยและวิศวกรรมอัคคีภัย ในการกำหนดนโยบายและมาตรการในการลดโอกาสที่จะทำให้เกิดอัคคีภัยขึ้นภายในห้องเก็บสินค้าในอากาศยานเพื่อนำไปพัฒนาและปรับปรุงการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับความร้อนบนอากาศยาน

ขอบเขตของการวิจัย

1. ใช้หลักการของพลศาสตร์อัคคีภัยมาวิเคราะห์ปัญหาและป้องกันการเกิดเพลิงไหม้ขั้นรุนแรงจนทำให้เพลิงไหม้จากห้องเก็บสินค้าในอากาศยานส่วนหน้าชนิด A380 ที่จอดอยู่บนภาคพื้นดินจนลุกลามไปจนทั่วทั้งอากาศยาน

2. ประยุกต์การใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาผสมผสานกับการสร้างภาพเสมือนของ Fire Dynamics Simulator Version 4.05[NIST](2005) ให้เห็นภาพแต่ละมิติของการเคลื่อนที่ของไฟในทุกช่วงเวลาที่กำหนด
3. การวิเคราะห์จำกัดที่การวิเคราะห์ด้วยแบบจำลอง โดยการใช้คอมพิวเตอร์เท่านั้น โดยไม่มีการทดสอบในห้องปฏิบัติการ
4. การศึกษาด้วยการวิจัยนี้จะศึกษาห้องเก็บสินค้าในอากาศยาน โดยจะทำการศึกษาอากาศยานชนิดที่เป็นอากาศยานโดยสารที่มีขนาดใหญ่ (Wide-body Type)
5. การจำลองเหตุการณ์ศาสตร์อัคคีภัยจะใช้การเผาไหม้เชื้อเพลิงประเภท A ได้แก่ เชื้อเพลิงที่เป็นกล่องกระดายเป็นหลัก

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. การศึกษาการทำงานของโปรแกรมภาพเสมือน จะทำให้เราทราบการแพร่กระจายของไฟในพื้นที่ห้องเก็บสินค้าภายในอากาศยาน
2. ทำให้สามารถกำหนดแผนงานและวิธีการป้องกันไม่ให้เกิดอัคคีภัยขึ้นภายในห้องเก็บสินค้าของอากาศยาน
3. ทำให้ลดโอกาส รวมทั้งลดค่าใช้จ่ายและความสูญเสียที่อาจจะเกิดขึ้นจากเหตุเพลิงไหม้ทั้งทางด้านทรัพย์สินและชีวิต

การตรวจเอกสาร

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

Blake (2001) ได้กล่าวไว้ว่า ห้องเก็บสินค้าในอากาศยาน (Aircraft Compartment) ห้องผู้โดยสาร(Cabin) โดยส่วนมากจะต้องมีการติดตั้งระบบตรวจจับการเกิดเหตุเพลิงไหม้ที่ใช้เพื่อแจ้งไปยังลูกเรือที่โดยสารไปกับเครื่องบินภายใน 1 นาที ตั้งแต่เริ่มเกิดเหตุอัคคีภัยขึ้น รวมถึงต้องจัดให้มีการทดสอบระบบอัคคีภัยให้ระบบสามารถพร้อมใช้งานได้อยู่เสมอ

Freiling (2001) กล่าวไว้ว่า ระบบที่ใช้ในการป้องกันอัคคีภัยในห้องเก็บสินค้าภายในอากาศยาน สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

1. ระบบป้องกันเชิงรับ (Passive Fire Protection) โดยที่อุปกรณ์ที่ใช้ประกอบระบบจะต้องเป็นอุปกรณ์ที่มีความทนไฟและเป็นอุปกรณ์ที่ไม่ติดไฟได้ง่าย (Fire Proof or Inflammable Materials) และต้องมีการติดตั้งให้ครอบคลุมทุกพื้นที่ภายในอากาศยาน
2. ระบบป้องกันเชิงรุก (Active Fire Protection System) หมายถึง ระบบที่ต้องมีการแจ้งเตือนไปยังลูกเรือ (Crews) และระบบถังดับเพลิงชนิดมือถือ (Hand Held Fire Extinguisher)

Anttila and Gill (2003) การพัฒนาโปรแกรมการทำงานของ Computational Fluid Dynamics (CFD) เพื่อให้มีการพยากรณ์และศึกษาการเคลื่อนที่ของควันในห้องเก็บสินค้าในอากาศยาน และนำผลที่ได้จากการทดลองไปพัฒนาระบบป้องกันอัคคีภัยบนอากาศยาน ดังนี้

1. เพื่อให้มีการออกแบบจุดติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับความร้อนที่เหมาะสม และสามารถตรวจจับได้อย่างมีประสิทธิภาพและประสิทธิผลในกรณีที่เกิดเหตุเพลิงไหม้
2. เพื่อให้ลูกเรือหรือบุคคลอื่นที่ไม่ใช่ผู้เชี่ยวชาญทางด้านอัคคีภัย เข้าใจและสามารถใช้งานอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับระบบป้องกันอัคคีภัยได้โดยง่าย

Lett (2002) กล่าวว่าไว้ว่าการเกิดอค์ก๊ยขึ้นที่บริเวณห้องโดยสารและห้องเก็บสินค้าของอากาศยานมักจะเกิดได้ไม่บ่อยครั้งนัก แต่ในกรณีที่เกิดขึ้นแล้วจะมีผลกระทบและมีความสูญเสียที่ไม่อาจประเมินมูลค่าได้โดยวิธีป้องกันที่วิศวกรจะต้องคำนึงถึงก็คือ การใช้อุปกรณ์ที่มีความสามารถในการทนไฟได้ รวมทั้งการขนส่งสินค้าอันตรายต่าง เช่น วัตถุไวไฟ สารกัมมันตภาพรังสี หรือสินค้าอื่นที่มีคุณสมบัติเป็นสินค้าอันตรายตามที่สมาคมการขนส่งระหว่างประเทศ International Air Transport Association [IATA](2004) กำหนดเป็นมาตรฐานไว้ทั้ง 9 ชนิด ซึ่งมาตรฐานเกี่ยวกับการขนส่งสินค้าอันตรายต้องมีความชัดเจน และครอบคลุมไปถึง ขนาดและจำนวนที่อนุญาตให้ทำการขนส่งทางอากาศ (Shipped and Quantities Allowed) การบรรจุภัณฑ์และการหีบห่อ(Packaging Method) และต้องคำนึงถึงชนิดของอากาศยาน(Aircraft Type) ที่จะนำสินค้าอันตรายขนส่งไปทางอากาศด้วย

Reinhardt (2005) สรุปการทดลองสำหรับการจำลองเหตุเพลิงไหม้ขึ้นที่ภายในห้องเก็บสินค้าบนอากาศยาน โดยแบ่งออกเป็น 4 การทดลอง คือ การทดลองการเกิดเหตุเพลิงไหม้ขึ้นในกรณีที่ไหม้อยู่ในห้องเก็บกระเป๋าบนอากาศยาน กรณีที่เกิดเหตุเพลิงไหม้ในตู้คอนเทนเนอร์ การเกิดเหตุเพลิงไหม้ขึ้นที่สินค้าที่จัดวางอยู่ด้านบนสุด และการระเหยของละอองสารเคมี (Aerosol) ที่มาจากสินค้าอันตราย จนทำให้เกิดการระเบิดขึ้นที่ภายในห้องเก็บสินค้าบนอากาศยาน

Karlsson and Quintiere (1999) ได้เสนอเทคนิคสำหรับการประยุกต์ใช้โปรแกรม Computer Fluid Dynamics (CFD) เป็น โปรแกรมที่วิศวกรความปลอดภัยนิยมนำมาใช้คำนวณกันอย่างแพร่หลาย ซึ่งโปรแกรมไม่เฉพาะเจาะจงว่าจะต้องสามารถนำมาใช้เกี่ยวกับการจำลองที่เกี่ยวกับของไหล การถ่ายเทความร้อนเท่านั้น ยังสามารถแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงสถานะของการเผาไหม้ได้ ยกตัวอย่างเช่น การเปลี่ยนแปลงสถานะของการเผาไหม้ หรือแม้แต่การทำปฏิกิริยาของเคมี เช่น การจำลองความหลากหลายของการเปลี่ยนแปลงสถานะของของไหลในเตาหลอมโลหะ ซึ่งนอกจากนี้ สิ่งสำคัญของการใช้โปรแกรมดังกล่าวก็คือ การจำลองความแปรปรวนของแบบจำลอง การแสดงการแผ่รังสีและการแพร่กระจายของควัน รวมทั้งการแสดงผลแบบจำลองของการเผาไหม้

พิชญะ (2547) ได้กล่าวไว้ว่าการใช้โปรแกรม CFD ในปัจจุบันได้มีจำนวนเพิ่มมากขึ้น เพราะสืบเนื่องจากในช่วงระยะเวลา 10 ปีที่ผ่านมา ได้มีรายงานผลการวิจัยจากสถาบันต่างๆ มากมายทั่วโลก ซึ่งทำให้การพัฒนาซอฟต์แวร์ที่ใช้สำหรับคำนวณในการออกแบบมีจำนวนที่เพิ่มมากขึ้นตามมา ทั้งนี้จากผลของการพัฒนาซอฟต์แวร์ที่ใช้สำหรับในการจำลองเหตุเพลิงไหม้ที่มี

อย่างมากมาย จนทำให้มีการกำหนดมาตรฐานทางด้านอัคคีภัยเป็นไปด้วยความรวดเร็วและมีมาตรฐานทางด้านการคำนวณเกี่ยวกับสถิติและตัวเลขที่เป็นมาตรฐานทางด้านอัคคีภัย

1. ทฤษฎีการเกิดเพลิงไหม้ (Fire Theory)

เพลิงไหม้ คือ ปฏิกิริยาการเผาไหม้ซึ่งถ้าไม่สามารถควบคุมได้อาจมีแนวโน้มที่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สิน ปฏิกิริยาการเผาไหม้เกิดจากการเชื้อเพลิงทำปฏิกิริยาเคมีกับก๊าซออกซิเจน ก่อให้เกิดความร้อนและแสงสว่างเป็นปริมาณมาก ปฏิกิริยาการเผาไหม้ต้องการปัจจัย 3 อย่างที่จะทำให้เกิดการเผาไหม้สมบูรณ์ ได้แก่

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

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



ภาพที่ 1 ปฏิกิริยาของการเผาไหม้

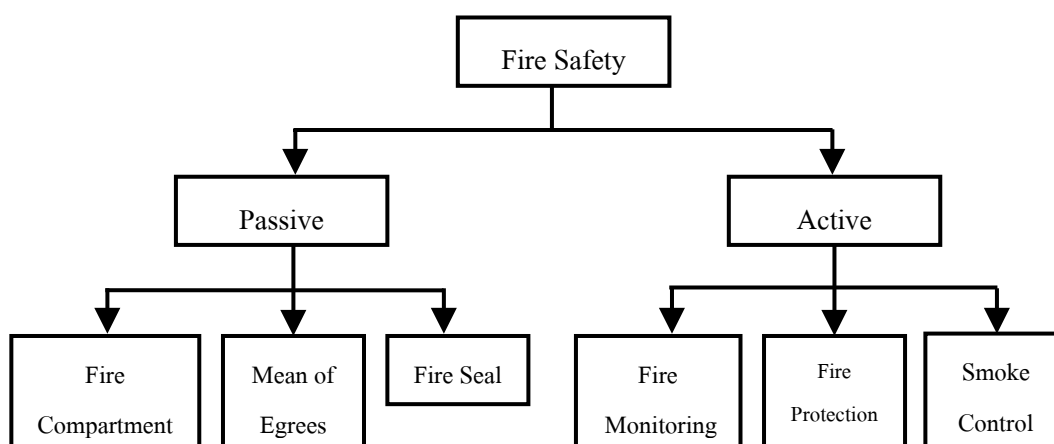
ที่มา: National Fire Protection Association[NFPA] (2002)

การดับเพลิงเป็นทฤษฎีที่ตรงข้ามกับทฤษฎีการเกิดเพลิงไหม้ นั่นคือ การจำกัดองค์ประกอบ
การเกิดเพลิงไหม้ ทั้ง 3 อย่างออก เพื่อควบคุมปริมาณการเผาไหม้หรือทำให้การเผาไหม้
ไม่สมบูรณ์ทำให้ไฟดับ ได้แก่

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

2. หลักการออกแบบของการป้องกันและระงับอัคคีภัย (Design Concept of Fire Prevention)

การป้องกันอัคคีภัยที่เกี่ยวกับโครงสร้างและผลงานทางด้านสถาปัตยกรรมนั้น จะอยู่ในส่วนที่เรียกว่าเชิงรับ (Passive Fire Safety) และเมื่อมีการออกแบบระบบเชิงรับเรียบร้อยแล้ว จึงต้องจัดระบบป้องกันอัคคีภัยในส่วนเชิงรุก (Active Fire Safety) ดังภาพที่ 2 เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการป้องกันอัคคีภัยให้มีประสิทธิผลที่สูงสุด



ภาพที่ 2 สถาปัตยกรรม กับการป้องกันอัคคีภัย

ที่มา: เกชา (2542)

1. การป้องกันอัคคีภัยทางด้านเชิงรับ (Passive Fire Safety) เนื่องจากการป้องกันและระงับอัคคีภัยบนอากาศยานเป็นลักษณะที่เฉพาะเจาะจง ดังนั้นการป้องกันอัคคีภัยเชิงรับนั้นจึงมีแนวทางที่ควรดำเนินการ ดังนี้

1.1 การเลือกใช้วัสดุในการตกแต่งภายในด้วยวัสดุที่ทนไฟ (Aircraft Interior Fire Resistant) การเกิดเหตุเพลิงไหม้จากวัสดุที่ตกแต่งภายในเป็นสาเหตุประมาณร้อยละ 20 เมื่อช่วง ค.ศ.1981-1990 ดังนั้นในการเลือกวัสดุตกแต่งภายในอากาศยาน จึงนับได้ว่าเป็นสิ่งที่จำเป็นที่จะต้องพิจารณาเป็นอันดับแรก ซึ่งเทคโนโลยีในปัจจุบันการเลือกใช้วัสดุในพาหนะการบิน (Commercial Aircraft) ประมาณร้อยละ 80-90 จะมีการใช้วัสดุที่ทำจาก Nomex honeycomb ซึ่งผสมสาร Vinyl Fluoride และวัสดุดังกล่าวเมื่อมีการถูกจุดไฟแล้วจะต้องไม่ก่อให้เกิดควันที่เป็นพิษอีกด้วย

1.2 การจัดมาตรการในการตรวจสอบภายในพื้นที่ซ่อนเร้น (Hidden Area) เพื่อป้องกันการเกิดอัคคีภัย เนื่องจากในพื้นที่ดังกล่าวจะมีอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับไฟฟ้า สายสัญญาณหรืออุปกรณ์ภายในอากาศยานเอง ดังที่ได้แสดงในภาพที่ 3 ที่มีการเกิดเหตุเพลิงไหม้ขึ้นที่บริเวณซ่อนเร้น ดังนั้นจึงต้องมีการกำหนดระเบียบปฏิบัติในการตรวจสอบ การศึกษาและจำลองเหตุการณ์เพลิงไหม้ขึ้นในพื้นที่ซ่อนเร้น การออกแบบระบบการจี้ดวงและติดตั้งอุปกรณ์จับควันไฟหรือความร้อน



ภาพที่ 3 การเกิดเหตุเพลิงไหม้ขึ้นที่บริเวณด้านใต้ห้องเก็บสินค้า (Hidden Area)

ที่มา: Federal Aviation Administration Technical Center (2001)

1.3 การจัดวางสินค้าที่เป็นอันตรายแบ่งแยกจากกัน (Dangerous Goods Separate) ซึ่งจะช่วยลดความเสี่ยงและความเป็นอันตรายของการเกิดเหตุเพลิงไหม้ได้ระดับหนึ่ง

1.4 การยึดแขวนของหนักควรจะต้องยึดด้วย Steel Expansion Bolt เพราะเมื่อเกิดเหตุเพลิงไหม้จะทำให้ไม้ไหม้ไฟและจะต้องยึดติดให้แน่นเพื่อป้องกันกรณีที่มีการดับเพลิงและผจญเพลิง เจ้าหน้าที่ดับเพลิงจะต้องไม่ถูกโครงสร้างหล่นทับจนได้รับบาดเจ็บ

2. การป้องกันอัคคีภัยทางด้านเชิงรุก (Active Fire Safety) คือ การติดตั้งระบบสัญญาณจับควันหรือเปลวไฟและระบบดับเพลิงอัตโนมัติ

2.1 ระบบสัญญาณจับควันหรือเปลวไฟ โดยระบบที่เหมาะสมที่จะติดตั้ง คือ ระบบที่เป็นแบบ Photoelectric หรือ Ionization ดังนั้นระบบดังกล่าวจึงเป็นระบบเริ่มต้นที่สำคัญที่จะทำให้ระบบดับเพลิงไหม้อัตโนมัติทำงาน และต้องแจ้งผลให้กับกับต้นผู้ที่เป็นคนควบคุมเครื่องบินและลูกเรือทราบโดยอัตโนมัติ

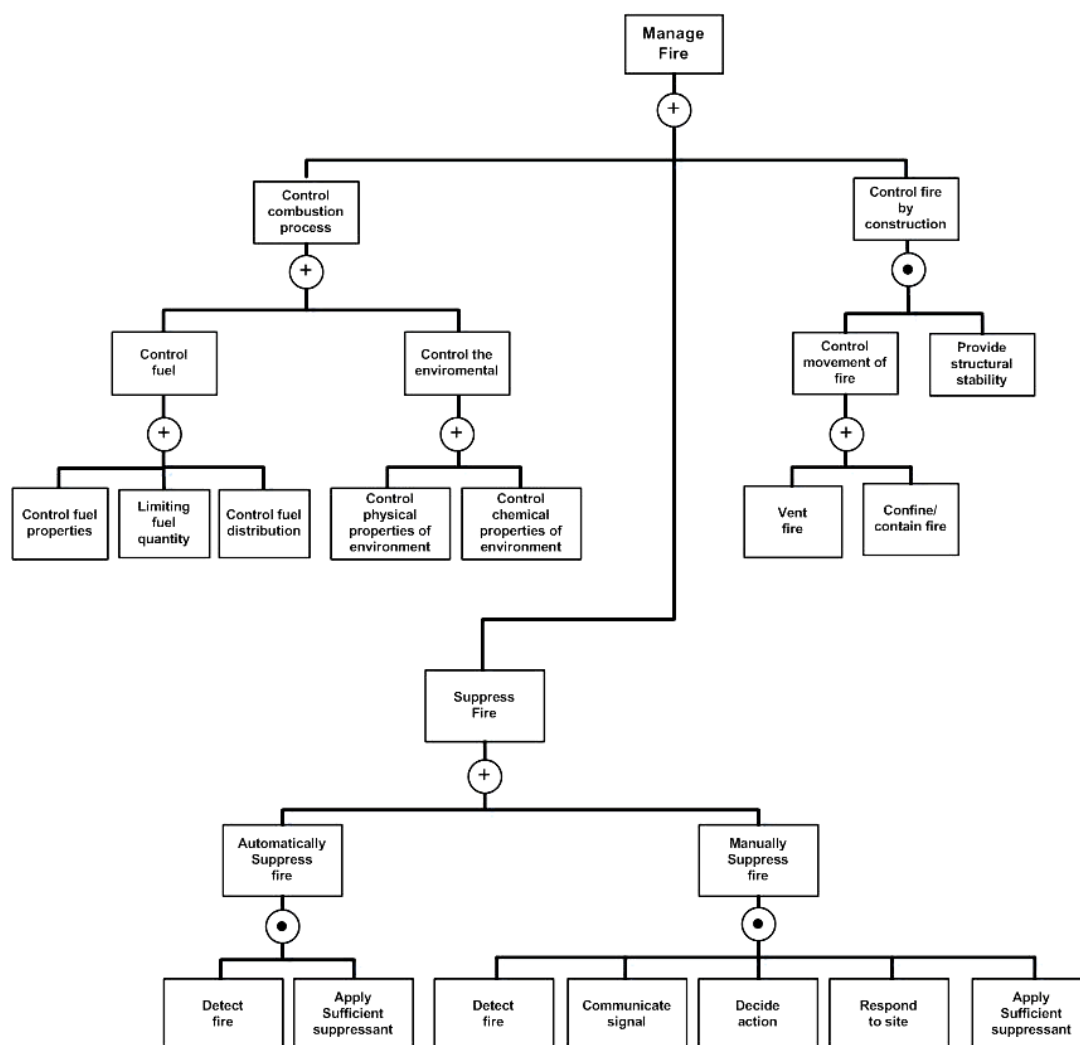
2.2 ระบบดับเพลิงอัตโนมัติเป็นระบบที่ทำงานร่วมกับระบบจับควันหรือเปลวไฟ ซึ่งระบบที่นิยมใช้จะเป็นทั้งระบบแบบระงับเพลิงไหม้ (Fire Suppression) ไม่ให้ไฟทำให้เกิดความเสียหายกับอากาศยานมากจนไม่สามารถซ่อมแซมและนำกลับมาใช้ได้ เพราะเนื่องจากในกรณีที่อากาศยานบินอยู่บนท้องฟ้าแล้วจะมีปัจจัยที่เกี่ยวกับการหมุนเวียนของอากาศที่เข้าไปอาจทำให้ไฟลุกลามได้อย่างรวดเร็วยิ่งขึ้น สำหรับระบบดับเพลิงที่สามารถใช้ได้ นั้น มักจะใช้ระบบดับเพลิงชนิดที่เป็นหัวฉีดแบบฮาโลน (Halon Nozzle) หรือแบบหมอกน้ำ (Water Mist) รวมทั้งจะต้องมีถังดับเพลิงชนิดที่เป็นแบบถังติดตั้งไว้บนอากาศยานด้วย (Hand Held Fire Extinguisher) ซึ่งในแต่ละระบบจะต้องได้มาตรฐานตามที่สมาคมการขนส่งระหว่างประเทศระหว่างประเทศ [IATA] (2004) กำหนดเอาไว้

การควบคุมและบริหารจัดการเกี่ยวกับการเกิดอัคคีภัย (Manage Fire) ตามที่ได้แสดงไว้ในภาพที่ 4 มีวัตถุประสงค์เพื่อลดอันตรายและการแพร่ขยายของการเกิดอัคคีภัย รวมทั้งเพื่อลดผลกระทบจากการเกิดอัคคีภัยให้น้อยที่สุด โดยมีแนวความคิดแบ่งได้เป็นดังนี้

1. ควบคุมกระบวนการเผาไหม้ (Control Combustion Process) ได้แก่ การควบคุมปริมาณเชื้อเพลิง การลดอุณหภูมิ ควบคุมการแพร่กระจายของเชื้อเพลิง

2. ควบคุมการเผาไหม้โดยและออกแบบให้โครงสร้างอากาศยานให้มีความสามารถในการทนไฟ (Control Fire by Construction) เช่น การออกแบบทางด้านวิศวกรรมเพื่อให้โครงสร้างของอากาศยานทนไฟได้ยาวนานมากขึ้น

3. ควบคุมและระงับอัคคีภัย (Suppress Fire) เป็นแนวทางการจัดการที่เกี่ยวข้องกับการดับเพลิงและระงับอัคคีภัยตามแนวทางหลังจากที่เกิดเหตุอัคคีภัยขึ้นไปแล้ว (Fire Protection) โดยมีวิธีการดำเนินงาน 2 รูปแบบ คือ การออกแบบระบบดับเพลิงให้สามารถทำงานได้อัตโนมัติ และออกแบบให้ระบบทำงานด้วยการควบคุมจากมนุษย์



ภาพที่ 4 แนวคิดของการวางระบบป้องกันอัคคีภัยของ NFPA 550

ที่มา: National Fire Protection Association (2002)

ตามทฤษฎีของการบริหารจัดการจะต้องอาศัย แนวคิดของการวางระบบป้องกันอัคคีภัย ตามภาพที่ 4 โดยแนวความคิดจะใช้ในเชิงตรรกวิทยา ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับแผนภูมิต้นไม้ ซึ่งมีจุดสำคัญ (Key) ตามภาพที่ 5 ได้แก่ (+) หรือประตู (or) แสดงว่าให้เลือกการดำเนินงาน อย่างใดอย่างหนึ่ง รวมทั้ง (●) หรือประตู (and) ที่แสดงว่าการบริหารจัดการเรื่องดังกล่าว ต้องปฏิบัติควบคู่กัน

Key			
+	=	“or” gate	
●	=	“and” gate	

ภาพที่ 5 สัญลักษณ์ทางตรรกวิทยา (Logic Symbol) แสดงแนวคิดของการวางระบบป้องกัน อัคคีภัยของ NFPA 550

ที่มา: National Fire Protection Association (2002)

3. ทฤษฎีการเคลื่อนที่ของไฟในพื้นที่ปิดล้อม (Enclosure Fire Dynamics)

Babrauskas (1980) พัฒนาโมเดลโดยยึดถือการเกิด flashover จะเกิดขึ้นเมื่อผลต่างของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นสูง (ΔT) เท่ากับ 575 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิแวดล้อมเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส วิธีการคำนวณหาค่า Flashover ส่วนใหญ่ใช้เทคนิคสมดุลมวลและพลังงาน (Mass and Energy Balance) ควบคู่กับข้อมูลการทดลอง และใช้ผลการทดลองเปรียบเทียบกับคำนวณ การเกิดไฟลุกท่วมที่ได้จากการทดลองและการคำนวณนั้น ค่าพิชิตการคายความร้อนต่ำสุดที่ทำให้เกิดไฟลุกท่วม ขึ้นอยู่กับขนาดช่องเปิดที่ถ่ายเทอากาศเข้ามาในห้อง หรือเรียกว่า Ventilation factor

จากลักษณะดังกล่าวตามทฤษฎีของการถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer) ที่นำมาใช้ในโปรแกรมภาพเสมือน (Fire Dynamic Simulator) ซึ่งสามารถแบ่งได้ ดังนี้

1. การนำความร้อน (Conduction) เป็นการถ่ายเทความร้อนวิธีเดียวที่เกิดขึ้นในวัตถุที่เป็นตัวกลางทึบแสง เมื่อมีความแตกต่างของอุณหภูมิเกิดขึ้นในวัตถุดังกล่าวจะมีความร้อนถ่ายเทจากจุดที่มีอุณหภูมิสูงไปยังจุดที่มีอุณหภูมิต่ำของวัตถุนั้น ค่าการนำความร้อน (Thermal Conductivity, k) เป็นคุณสมบัติทางกายภาพของตัวกลางที่ความร้อนเคลื่อนที่ผ่าน ดังที่แสดงในสมการที่ (1)

$$\dot{q}_w = \frac{-kA\Delta T}{L} \quad (1)$$

$\dot{q}_w$ = อัตราความร้อนที่ไหลผ่านผนัง หน่วยเป็น วัตต์ (w)

k = ค่าการนำความร้อนของผนัง หน่วยเป็น W/m. K

A = พื้นที่หน้าตัดของผนังที่ตั้งฉากกับทิศทางการไหล หน่วยเป็น ตารางเมตร (m^2)

ΔT = อุณหภูมิผิวที่แตกต่างกัน

L = ความหนาของผนัง หน่วยเป็น เมตร (m)

2. การพาความร้อน (Convection) เมื่อความร้อนสัมผัสกับผิววัตถุที่มีอุณหภูมิแตกต่างกัน จะมีการแลกเปลี่ยนพลังงานความร้อนระหว่างอากาศกับวัตถุ ขบวนการแลกเปลี่ยนความร้อนนี้เรียกว่า การถ่ายเทความร้อนแบบการพา ในที่นี้ควันทที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้จะลอยตัวขึ้นไปที่เพดานสูงโดยหลักการพาความร้อน ซึ่งถ้ามีอุณหภูมิของควันไฟสูงก็สามารถทำให้เกิดการลุกลามของเพลิงไฟได้ ควันทที่เกิดขึ้นจากการพาความร้อนลอยตัวไปสะสมที่เพดาน กระบวนการนี้สามารถจำแนกออกได้ 2 ประเภท

2.1 การพาความร้อนแบบอิสระ (Free Convection) เกิดมาจากความแตกต่างของอุณหภูมิในอากาศ เนื่องมาจากการที่อากาศสัมผัสผิวของวัตถุที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันและทำให้เกิดแรงลอยตัวขึ้น

2.2 การพาความร้อนแบบบังคับ (Force Convection) เกิดจากแรงภายนอกมาบังคับให้ความร้อนเคลื่อนที่ผ่านผิววัตถุที่ร้อนหรือเย็นกว่า เนื่องจากอากาศจากการพาความร้อนแบบบังคับมีความเร็วที่สูงกว่าแบบอิสระ ดังนั้น ความร้อนที่ถ่ายเทได้จากความแตกต่างของอุณหภูมิที่มีขนาดเท่าๆ กันกับการพาความร้อนแบบอิสระจึงมีปริมาณความร้อนมากกว่า แต่อย่างไรก็ตามสำหรับอัตราการถ่ายเทความร้อนเป็นตามทฤษฎีกระบวนการของการลุกลามและการเคลื่อนที่ของไฟ (Flammability Theory) ดังที่แสดงในสมการที่ (2)

$$\dot{q}_w = h(T_2 - T_1) \quad (2)$$

$\dot{q}_w$ = การพาความร้อน หน่วยเป็น W/m^2

h = สัมประสิทธิ์การพาความร้อน หน่วยเป็น $W/m^2.C$

T_1 = อุณหภูมิเฉลี่ยของเปลวไฟสูงสุด หน่วยเป็น องศาเซลเซียส ($^{\circ}C$)

T_2 = อุณหภูมิรอบข้าง หน่วยเป็น องศาเซลเซียส ($^{\circ}C$)

3. การแผ่รังสีความร้อน (Radiation) ความร้อนจากการนำและการพา จะไหลผ่านได้ในกรณีที่ไม่มีสื่อกลางเท่านั้น สำหรับความร้อนจากการแผ่รังสีนั้นจะไหลผ่านได้ แม้กระทั่งในสุญญากาศในการแผ่รังสีความร้อน พลังงานจะเคลื่อนไปในรูปของแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic) ที่มีความเร็วเท่ากับความเร็วของแสง จำนวนพลังงานที่ถูกส่งออกจากผิวในรูปรังสีความร้อนนั้นขึ้นอยู่กับอุณหภูมิสัมบูรณ์และลักษณะผิวหน้าที่รังสีตกกระทบ ที่แสดงถึงค่าฟลักความร้อนที่เกิดขึ้นด้วยปัจจัยแวดล้อม ดังที่แสดงในสมการที่ (3)

$$\dot{q}_w = \varepsilon \sigma T_2^4 F_{1 \rightarrow 2} \tau \quad (3)$$

$\dot{q}_w$ = ฟลักซ์ความร้อนของการแผ่รังสี ตกกระทบบนเป้าหมาย หน่วยเป็น kW/m^2

ε = อัตราของพลังงานในการแผ่รังสีที่กระจายต่อพื้นผิวของเปลวไฟ หน่วยเป็น kW/m^2

σ = ค่าคงที่ของ Stefan-boltzmann constant $5.67 \times 10^{-11} kW/m^2-K^4$

T_2 = อุณหภูมิของเปลวไฟหรือผิวหน้าของวัตถุที่เกิดความร้อน หน่วยเป็น เคลวิน (K)

$F_{1 \rightarrow 2}$ = ปัจจัยจากรูปร่างภายนอกระหว่างเปลวไฟและเป้าหมาย (Configuration or View factor between flame and target)

τ = ค่าการส่งถ่ายไปยังอากาศโดยรอบที่แผ่ออกผ่านอากาศ ดังแสดงในสมการที่ (4)

$$\tau = 1 - \alpha \quad (4)$$

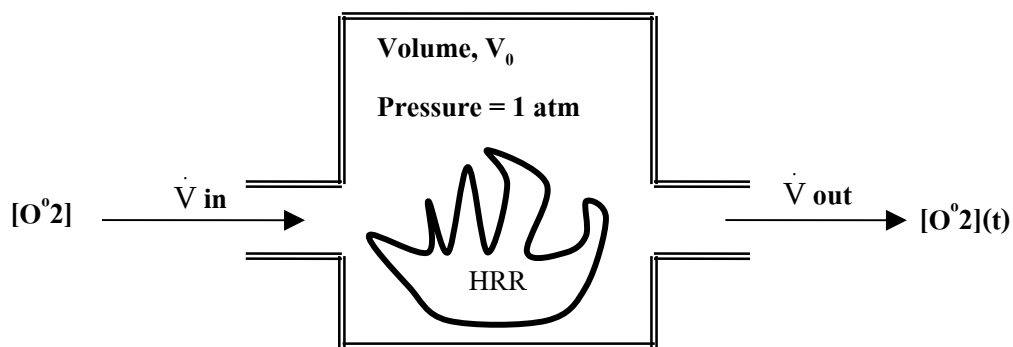
โดยที่ α = ค่าความดูดกลืนของอากาศ (Atmospheric absorptive)

4. ทฤษฎีของการแพร่กระจายความร้อนในห้องเก็บสินค้าบนอากาศยาน (Compartment Fire Model) โดยการแพร่กระจายของความร้อนจะมีลักษณะที่ผสมปนเปกันไปหลายอย่าง ซึ่งในภาพที่ 6 ได้แสดงให้เห็นแบบจำลองของการแพร่กระจายความร้อนในห้องเก็บสินค้าบนอากาศยานให้เห็นอย่างง่าย รวมทั้งสมการของการปลดปล่อยความร้อนสำหรับการคำนวณค่าของออกซิเจนที่ใช้ไประหว่างที่เกิดเหตุเพลิงไหม้ดังแสดงในสมการที่ (5)

$$M_{\text{fire}} = \frac{-HRR}{E} \quad (5)$$

$-HRR$ = Heat Release Rate หรือจำนวนของการแพร่กระจายความร้อน(Watts)
ซึ่งเป็นผลจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงต่อหน่วยของการใช้ออกซิเจนเผาไหม้

E = จำนวนปริมาตรของออกซิเจน (MJ/kg-O₂)



ภาพที่ 6 ดัดแปลงจากแบบจำลองของการแพร่กระจายความร้อนในห้องเก็บสินค้าบนอากาศยาน (Compartment Fire Model)

ที่มา: Federal Aviation Administration (2005)

Fire Research of Federal Aviation Administration (1999) ได้วิจัยและทำการประเมินค่าของน้ำหนักเชื้อเพลิงที่ใช้เป็นวัสดุตกแต่งและเฟอร์นิเจอร์ที่ใช้บนอากาศยาน (Aircraft Cabin Material) ซึ่งเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้อัคคีภัยสามารถขยายและลุกลามไปได้อย่างรวดเร็ว นับแต่จุดที่เริ่มมีการเกิดเหตุเพลิงไหม้ขึ้นบนอากาศยาน โดยได้ทำการเปรียบเทียบเอาไว้ในตารางที่ 1 ที่แสดงถึงรายละเอียดและน้ำหนักของเชื้อเพลิงที่มีการตกแต่งอยู่บนอากาศยานต่ออากาศยาน 1 เครื่อง

ตารางที่ 1 รายละเอียดและน้ำหนักของเชื้อเพลิงที่มีอยู่บนอากาศยานต่ออากาศยาน 1 เครื่อง

Cabin Material	Kilograms Weight per Aircraft	Cabin Material	Kilograms Weight per Aircraft
Acoustical Insulation	100 - 400	Paint	5
Blankets	20 - 250	Passenger Service Unit	250 - 350
Cargo Liners	> 50	Partitions and Sidewall	100 - 1000
Carpeting	100 - 400	Pillows	5 - 70
Ceiling	600	Thermoplastic parts	250
Curtain	0 - 100	Seat Belt	5 - 160

ตารางที่ 1 (ต่อ)

Cabin Material	Kilograms Weight per Aircraft	Cabin Material	Kilograms Weight per Aircraft
Ducting	450	Seat Cushions	175 – 900
Elastomers	250	Seat Upholstery	80 – 430
Emergency Slides	25 - 500	Seat Trim	40 – 200
Floor Panels	70 – 450	Wall Covering	50
Floor Covering	10 – 100	Windows	200 – 350
Life Rafts	160 – 530	Window Shades	100
Life Vests	50 – 250	Wire Insulation	150 - 200
		Total Combustibles	3,300 – 8,400

ที่มา: FAA (2000)

William and Hugo (2002) ได้ทำการศึกษาและทดลองลักษณะของการเกิดเหตุเพลิงไหม้ภายในอากาศยาน ซึ่งสามารถแบ่งจำลองเหตุการณ์ลักษณะของการแพร่กระจายของควันไฟและการลุกลามของเปลวไฟได้เป็น 4 ชนิด ดังนี้

1. ไฟที่เกิดจากเชื้อเพลิงที่อยู่ตรงกลางและเกิดกลุ่มควัน (Buoyant Plume) เป็นเหตุเพลิงไหม้ที่อาจจะเกิดขึ้นที่ตัวของสินค้าที่วางอยู่ในอากาศยานโดยทั่วไปและมีกลุ่มควันลอยขึ้นไปสะสมจนเต็มพื้นที่ในห้องเก็บสินค้าและกระเป๋าสานในอากาศยานดังแสดงลักษณะการเกิดไฟไว้ในภาพที่ 7



ภาพที่ 7 การเกิดไฟและการกระจายควันแบบ Buoyant Plume

ที่มา: FAA (2003)

2. ไฟที่เกิดขึ้นจากเชื้อเพลิงที่อยู่ด้านข้างและเกิดกลุ่มควัน (Attach Flow) เป็นเหตุเพลิงไหม้ที่เกิดขึ้นกับสินค้าที่วางชิดขอบของห้องเก็บสินค้าในอากาศยาน และมีการขยายตัวลุกลามไปยังจุดอื่นๆ ดังแสดงลักษณะการเกิดไฟไว้ในภาพที่ 8



ภาพที่ 8 การเกิดไฟและการกระจายควันแบบ Attach Flow

ที่มา: FAA (2003)

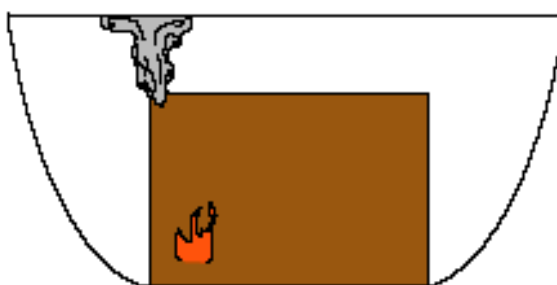
3. ไฟที่เกิดขึ้นจากเชื้อเพลิงที่วางอยู่ด้านล่างและมีการแพร่กระจายของควันไปทั่ว (Diffuse Source) เป็นเหตุเพลิงไหม้ที่เกิดจากเชื้อเพลิงที่วางอยู่ที่ด้านล่างสุด ซึ่งทำให้เกิดความร้อนสูงและมีการแพร่กระจายของควันได้เป็นจำนวนมาก ดังแสดงลักษณะการเกิดไฟไว้ในภาพที่ 9



ภาพที่ 9 การเกิดไฟและการกระจายควันแบบ Diffuse Source

ที่มา: FAA (2003)

4. ไฟที่เกิดขึ้นภายในตู้คอนเทนเนอร์ (Containerized Source) เป็นไฟที่เกิดขึ้นภายในตู้คอนเทนเนอร์ที่ใช้เก็บสินค้าที่จะใช้ขนส่งด้วยอากาศยาน และมีการเกิดกลุ่มควันที่จะออกตามช่องของรอยต่อของตู้คอนเทนเนอร์ดังแสดงลักษณะการเกิดไฟไว้ในภาพที่ 10



ภาพที่ 10 การเกิดไฟและการกระจายควันแบบ Containerized Source

ที่มา: FAA (2003)

ซึ่งในการวิจัยในครั้งนี้ได้ทำการทดลองให้มีการเผาไหม้ภายในตู้คอนเทนเนอร์ ที่เป็นรูปแบบของการขนส่งที่เป็นมาตรฐานของการขนส่งสินค้าทางอากาศที่กำหนดโดยสมาคมการขนส่งระหว่างประเทศหรือ International Air Transport Association[IATA] (2004) เป็นผู้กำหนดขึ้นและใช้ถือเป็นข้อกำหนดที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

4. กฎหมายและมาตรฐานที่ใช้อ้างอิงในประเทศไทยและข้อกำหนดอื่นๆ

4.1 พระราชบัญญัติการเดินอากาศ พ.ศ. 2547

เป็นกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการความปลอดภัยในการดำเนินงานในท่าอากาศยาน ซึ่งออกเมื่อวันที่ 26 มิถุนายน 2528 เป็นกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับคำจำกัดนิยามของอุปกรณ์และพื้นที่ต่างๆ ในท่าอากาศยาน รวมทั้งข้อกำหนดและข้อห้ามที่เกี่ยวกับความปลอดภัยในการทำงานในลานจอดอากาศยาน ดังตัวอย่างบางส่วนที่เกี่ยวข้องดังนี้

4.1.1 ห้ามนำดอกไม้เพลิง อาวุธปืน เครื่องกระสุนปืน อาวุธโดยสภาพเทียม อาวุธ ซึ่งมีรูปและลักษณะอันเชื่อว่าเป็นสิ่งเทียมอาวุธ วัตถุระเบิด วัตถุมีพิษ วัตถุออกซิไดส์ หรือวัตถุที่มีสภาพรังสีเข้ามาในพื้นที่ท่าอากาศยานควบคุม

4.1.2 จัดให้มีสิ่งป้องกันไม่ให้คนโดยสาร สัตว์ หรือสิ่งของที่บรรทุกมาในยานพาหนะ นั้นตกหล่น ร่วงไหลส่งกลิ่นหรือเสียง แสงสะท้อนหรือปลิวไปจากยานพาหนะ อันอาจก่อให้เกิดเหตุเดือดร้อนรำคาญ ทำให้เขตท่าอากาศยานควบคุมประอะเปื้อน ทำให้เสื่อมเสียสุขภาพอนามัยแก่ประชาชน หรือก่อให้เกิดอันตรายแก่บุคคลและทรัพย์สิน

4.1.3 ยานพาหนะที่บรรทุกสิ่งของเข้าไปในลานจอด จะต้องบรรทุกให้ปลอดภัย มั่นคง แข็งแรง และยานพาหนะที่เข้าไปในลานจอดจะต้องมีอุปกรณ์ที่เป็นส่วนควบ รวมทั้งระบบต่างๆ ต้องอยู่ในลักษณะที่สมบูรณ์

4.2 ประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่องการป้องกันและระงับอัคคีภัยในสถานประกอบการ เพื่อความปลอดภัยในการทำงานสำหรับลูกจ้าง ปี พ.ศ.2534

เป็นกฎหมายที่ประกาศใช้เมื่อวันที่ 21 พฤศจิกายน 2534 โดยอาศัยอำนาจแห่ง คณะปฏิวัติ ฉบับที่ 103 ลงวันที่ 16 มีนาคม 2515 ซึ่งเป็นกฎหมายที่ออกมาภายหลังจากที่เกิดเหตุ โรงงานผลิตตุ๊กตาเคเดอร์เกิดเหตุเพลิงไหม้และมีผู้เสียชีวิตกว่า 188 คน โดยที่ในสาระสำคัญของกฎหมายจะเกี่ยวข้องกับการบริหารจัดการเกี่ยวกับการจัดเตรียมถังดับเพลิงชนิดต่างๆ และการฝึกซ้อมให้พนักงานในแต่ละพื้นที่จะต้องสามารถใช้ถังดับเพลิงได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 40

รวมทั้งสิ่งที่สำคัญนายจ้างต้องจัดให้มีการฝึกซ้อมแผนฉุกเฉินในการอพยพและดับเพลิงอย่างน้อยปีละ 1 ครั้ง เพื่อเป็นการจัดกำลังคนและให้ทางสถานประกอบการกิจการต้องมีการเตรียมความพร้อม

4.3 กฎกระทรวงเกี่ยวกับการกำหนดเงื่อนไขในการใช้และการเก็บรักษา และการมีไว้ครอบครอง ซึ่งสิ่งที่ทำให้เกิดอัคคีภัยได้โดยง่าย และกิจการอันอาจทำให้เกิดอัคคีภัยได้โดยง่าย และการจัดให้มีบุคคลและสิ่งจำเป็นในการป้องกันและระงับอัคคีภัย พ.ศ.2548

เป็นกฎหมายฉบับที่ทันสมัยมากที่สุด และประกาศใช้เมื่อวันที่ 4 กุมภาพันธ์ 2548 โดยในเนื้อหาของกฎหมายได้บรรยายถึงคำจำกัดความของสิ่งของอันตรายที่มีการจำแนกเอาไว้ อย่างค่อนข้างชัดเจน รวมทั้งวัตถุอันตรายต่างในกฎหมายฉบับนี้มีการกำหนดให้มีการจัดทำข้อมูลความปลอดภัย หรือ Material Safety Data Sheet (MSDS) ซึ่งเป็นเอกสารที่มีความครอบคลุมเกี่ยวกับการปฐมพยาบาล การปฏิบัติเมื่อเกิดเหตุเพลิงไหม้ ข้อมูลด้านพิษวิทยา เป็นต้น และที่สำคัญเป็นกฎหมายที่กำหนดให้มีเจ้าหน้าที่ความปลอดภัยด้านอัคคีภัย เพื่อให้มีการตรวจสอบและรายงานต่อกระทรวงเพื่อเป็นการป้องกันและบริหารจัดการเกี่ยวกับการป้องกันอัคคีภัย

4.4 กฎเกี่ยวกับการบริหารจัดการเกี่ยวกับการควบคุมการปฏิบัติเพื่อความปลอดภัยในการทำงานข้างเครื่อง (Airside Safety Awareness)

เป็นแนวทางการปฏิบัติงานตามกฎหมายของสมาคมการขนส่งระหว่างประเทศ ซึ่งมีอยู่ในมาตรฐานคู่มือการทำงานข้างเครื่องอย่างปลอดภัยหรือ Airport Handling Manual [AHM] (2004) ของหมวดที่ AHM No.500 และ AHM No.600-660 ซึ่งในแต่ละข้อกำหนดได้กำหนดด้วยมาตรฐานที่เกี่ยวกับการปฏิบัติงานอย่างปลอดภัย โดยมีส่วนที่เกี่ยวข้องดังนี้

4.4.1 AHM 500 (2004) Load Control เป็นส่วนที่เป็นมาตรฐานเรื่องของน้ำหนักขึ้นเพื่อนำไปจัดวางบนห้องเก็บสินค้าบนอากาศยาน ซึ่งจำเป็นต้องมีมาตรฐานในการจัดวางสินค้า เพราะการจัดวางสินค้าบนห้องเก็บสินค้าในอากาศยานในแต่ละชนิดของอากาศยาน และแต่ละประเภทของสินค้านี้มีลักษณะการจัดวางที่เป็นลักษณะพิเศษโดยเฉพาะ เช่น ลักษณะของการจัดวางสินค้าแบบ Compartment Load Limitation แบบ Running (Linear) Load Limitation แบบ Area Load Limitation ซึ่งรูปแบบเหล่านี้ต้องมีการจัดวางสินค้าให้ถูกต้องและต้องมีการคำนวณหาน้ำหนักที่เหมาะสมในการจัดวาง เพื่อให้ Weight & Balance ของอากาศยานอยู่ในสภาพที่สมดุล

และต้องมีการจัดวางสินค้าให้แน่นหนา และในกรณีที่เป็นสินค้าอันตรายจะต้องวางให้แยกประเภทให้ถูกต้อง ไม่วางสารเคมีที่ก่อให้เกิดปฏิกิริยาไวไฟใกล้กันจนทำให้เกิดการทำปฏิกิริยา จนทำให้เกิดเพลิงไหม้ เหวะระเบิดหรือเกิดการหกรั่วไหลขึ้นได้

4.4.2 AHM 612 (2004) Recommendation for Airside Safety Performance Audits เป็นวิธีการปฏิบัติพื้นฐานที่สำคัญและมีประสิทธิภาพและประสิทธิผลมากในการตรวจสอบการควบคุมการปฏิบัติของการทำงานข้างเครื่อง ซึ่งการตรวจสอบต้องทำในระหว่างที่มีการปฏิบัติงานข้างเครื่องจริงหรือเรียกว่า Real-Time ซึ่งการตรวจจะใช้แบบฟอร์มมาตรฐานที่ใช้ในการตรวจสอบการปฏิบัติงานข้างเครื่อง

4.4.3 AHM 620 (2004) Guideline for an Emergency Management System เป็นข้อกำหนดที่ว่าด้วยเรื่องของการควบคุมในกรณีที่เกิดเหตุฉุกเฉิน ซึ่งประเภทของการกำหนดแผนที่จะมีการดำเนินงานในกรณีที่เกิดเหตุฉุกเฉินประกอบไปด้วย

- ก. แผนการตรวจตรา (Early Warning)
- ข. แผนการเตรียมความพร้อม (Preparation)
- ค. แผนการนำไปใช้ (Implementation)
- ง. แผนการปฏิบัติ (Operational)
- ฉ. แผนการฟื้นฟู (Recovery)
- ช. แผนการสอบสวน (Investigation)
- ซ. แผนของการประเมินผล (Evaluation)

5. ทฤษฎีเกี่ยวกับส่วนประกอบของอากาศยาน

เพื่อให้ทราบและเข้าใจถึงประเด็นปัญหาที่ชัดเจนในการวิจัยและจุดที่นำมาคำนวณการเคลื่อนที่ของไฟในห้องเก็บสินค้าบนอากาศยาน วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงขอเสนอส่วนประกอบของอากาศยานที่จะใช้ในการเปรียบเทียบและนำมาคำนวณการเคลื่อนที่ของไฟในพื้นที่ปิดล้อมด้วย CFD โดยมีส่วนประกอบที่สำคัญ ดังนี้

5.1 ลำตัวของอากาศยาน (Aircraft Fuselage) ลำตัวของอากาศยานเป็นโครงสร้างหลัก ตั้งแต่ส่วนหัว(Nose) ถึงหางเครื่องบิน (Tail) ซึ่งประกอบไปด้วย ห้องบังคับการบิน (Cockpit) ห้องผู้โดยสาร (Passenger Cabin) และส่วนที่ใช้สำหรับระวางบรรทุกสินค้า(Compartment) ดังแสดงรายละเอียดของส่วนประกอบตามภาพที่ 11

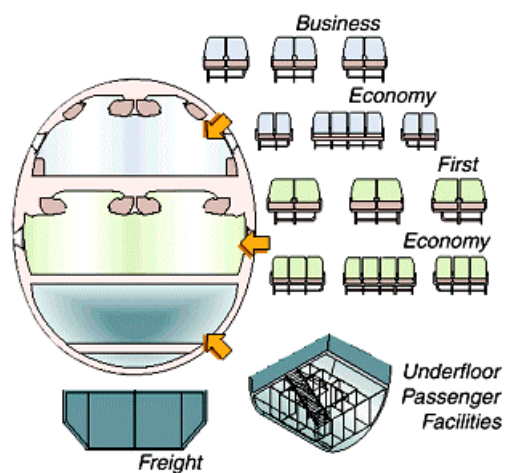


ภาพที่ 11 ลำตัวของอากาศยาน

ที่มา: <http://www.Aerosite.net> (2005)

5.1.1 ห้องบังคับการบิน Cockpit อยู่บริเวณส่วนหัวของเครื่องบินเป็นที่นั่งของผู้ควบคุมการบินหรือนักบิน (Pilot, Captan)

5.1.2 ห้องผู้โดยสาร (Passenger Cabin) การจัดแบ่งที่นั่งสำหรับผู้โดยสารมักจะแบ่งเป็น 3 ระดับด้วยกัน คือ ผู้โดยสารชั้นหนึ่ง (First Class) ผู้โดยสารชั้นธุรกิจ (Business Class) ผู้โดยสารชั้นประหยัด (Economic Class) และมีห้องเก็บสินค้าอยู่ส่วนด้านล่าง ดังแสดงในภาพที่ 12



ภาพที่ 12 การจัดแบ่งที่นั่งและชั้นของอากาศยาน

ที่มา: <http://www.Aerosite.net> (2005)

5.1.3 ส่วนที่ใช้ระวางบรรทุกสินค้าและกระเป๋าผู้โดยสาร (Compartment) ส่วนนี้จะเป็นส่วนที่อยู่ใต้ Cabin และแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ

- 1) ห้องเก็บสินค้าบนอากาศยานส่วนหน้า (Forward Compartment)
- 2) ห้องเก็บสินค้าบนอากาศยานส่วนหลัง (AFT Compartment)

3) Bulk เป็นส่วนเล็กๆ หลังสุดต่อจากห้องเก็บสินค้าบนอากาศยานส่วนหลัง และติดกับปลายหางเครื่องบินใช้บรรทุกสินค้าหรือกระเป๋าเป็นชิ้น (Piece by Piece) ซึ่งในภาพที่ 13 เป็นตัวอย่างของอากาศยานที่แสดงตำแหน่งของส่วนที่ใช้เก็บสินค้าบนอากาศยาน โดยที่ด้านล่างจะมีห้องเก็บสินค้าส่วนหน้า และห้องเก็บสินค้าส่วนหลังและส่วน Bulk สำหรับเก็บกระเป๋า



ภาพที่ 13 ตำแหน่งที่ใช้เก็บสินค้าบนอากาศยาน

- (1) แทนตำแหน่งห้องเก็บสินค้าบนอากาศยานส่วนหน้า
- (2) แทนตำแหน่งห้องเก็บสินค้าบนอากาศยานส่วนหลัง
- (3) แทนตำแหน่ง Bulk ใช้บรรจุทุกสินค้าหรือกระเป๋าเป็นชิ้น

ที่มา: <http://www.Aerosite.net> (2005)

5.2 ปีกของอากาศยาน (Aircraft Wing) เป็นส่วนที่ทำให้เกิดแรงยกขึ้น กล่าวได้ว่าเป็นส่วนประกอบที่รับน้ำหนักขณะที่อากาศยานทำการบิน พร้อมทั้งเป็นที่ติดตั้งอุปกรณ์ในการบังคับการบินและทิศทางการบินอีกด้วย ส่วนประกอบที่สำคัญของปีกมีดังนี้

5.2.1 Flap เป็นแผ่น Airfoil ติดไว้ที่ชายปีกด้านหลัง (Tailling Edge) ตามปกติ Flap จะถูกเก็บอยู่กับที่แต่เมื่อต้องการใช้งาน Flap จะถูกขยายออก เพื่อที่จะเพิ่มผิวปีกให้มากขึ้น ซึ่งจะทำให้เพิ่มแรงยก (Lift) กับตัวเครื่องบิน เนื่องจากว่าพื้นที่ผิวปีก (Wing Area) เป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เกิดแรงยก

5.2.2 Slat เป็นแผ่น Airfoil เหมือนกับ Flap แต่เล็กกว่าและติดตั้งอยู่บริเวณชายหน้าปีก (Wing Leading Edge) ตามปกติจะถูกเก็บ เมื่อกางออกจะทำให้พื้นที่ผิวปีกเพิ่มมากขึ้น มีผลทำให้อากาศยานมีแรงยกมากขึ้น เช่นเดียวกับ Flap แต่มีหน้าที่นอกเหนือก็คือป้องกันการร่วนหล่นของอากาศยาน

5.2.3 Spoiler คือ อุปกรณ์ที่ติดตั้งอยู่กับปีกด้านบนทั้งสองข้างของอากาศยาน ในเวลาปกติแผ่นนี้จะถูกเก็บแนบสนิทไว้กับปีก แต่เมื่อต้องการเพิ่มแรงต้าน แผ่น Spoiler จะถูกกางออกมาด้านลม ทำให้อากาศยานช้าลง แผ่น Spoiler จึงมีชื่ออีกอย่างหนึ่งว่า Speed Break

5.2.4 Aileron หรือปีกแก้อียง มีลักษณะเป็นสามเหลี่ยมผืนผ้า ขาหน้าติดกับปีกของเครื่องบิน ขาหลังปล่อยอิสระ สามารถยกขาหลังขึ้น (Move up) หรือลง (Move Down) ได้ เพื่อช่วยในการเลี้ยวขวาของอากาศยาน

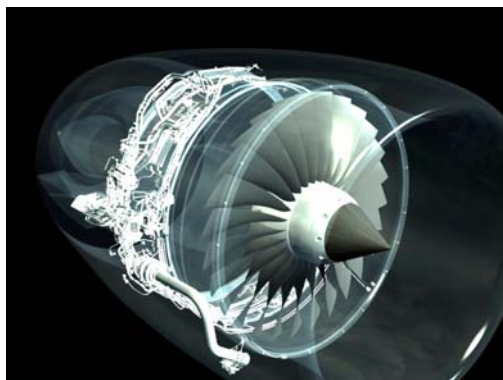
5.2.5 Fuel Tanks หรือถังน้ำมัน จะถูกออกแบบให้อยู่บริเวณปีกของอากาศยาน และลำตัวของอากาศยาน และอากาศยานแต่ละแบบก็จะมีลักษณะต่างกัน

5.3 ส่วนหาง (Tail-Plans) เป็นส่วนประกอบที่เป็นชุดพวงใช้สำหรับบังคับทิศทาง เลี้ยวซ้ายและขวา ขึ้นและลง ตัวอย่างเช่น หางเสือเลี้ยว (Rudder) แพนหางขึ้นลง (Elevator)

5.4 Propulsion-Unit เป็นส่วนประกอบที่ทำให้อากาศยานเคลื่อนที่ได้ ทั้งนี้ได้แสดง ส่วนภาพเอาไว้ในภาพที่ 14 ซึ่งมีการแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ดังนี้

5.4.1 เครื่องยนต์ชนิดลูกสูบ เป็นเครื่องยนต์ที่นำพลังงานความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้เปลี่ยนเป็นพลังงานกลทำให้เกิดกำลังในการขับเคลื่อน กระบอกสูบอาจเรียงเป็น แนวรัศมี

5.4.2 เครื่องยนต์ชนิดก๊าซเทอร์ไบน์ (Gasturbine) เป็นเครื่องยนต์กังหันก๊าซ ที่อัดอากาศแล้ว ทำให้เกิดแรงระเบิดเกิดพลังงานในการขับเคลื่อน



ภาพที่ 14 ส่วนประกอบของ Propulsion-unit

ที่มา: <http://www.Aerosite.net> (2005)

5.5 Auxiliary Power Unit (APU) เป็นเครื่องยนต์ที่ใช้สำหรับในกรณีที่อากาศยานจอดที่สนามบินแล้ว จะเปลี่ยนมาใช้เครื่องยนต์ดังกล่าวแทนการติดเครื่อง เพื่อให้ระบบปรับอากาศได้ทำงานอย่างต่อเนื่อง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดมลพิษจากเครื่องยนต์และประหยัดพลังงานของอากาศยาน ดังแสดงลักษณะไว้ในภาพที่ 15



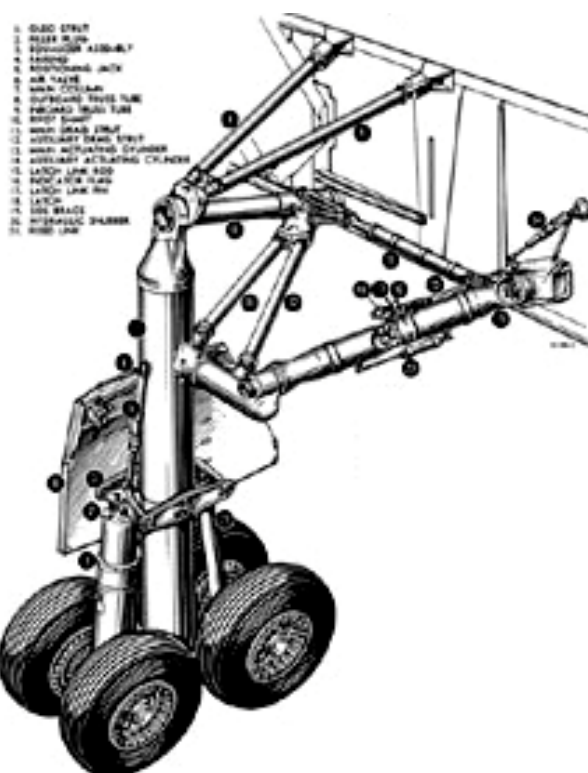
ภาพที่ 15 Auxiliary Power Unit

ที่มา: <http://www.Aerosite.net> (2005)

5.6 ล้อ (Landing Gear) จะเป็นส่วนที่ใช้สำหรับการนำอากาศยานขึ้นสู่อากาศ (Take off) และเมื่อนำอากาศยานจอดที่ภาคพื้นดินดังแสดงส่วนประกอบเอาไว้ตามภาพที่ 16 โดยประกอบไปด้วย 2 ส่วน คือ

5.6.1 ล้อหน้า (Nose Gear) เป็นล้อที่ใช้สำหรับบังคับทิศทางในขณะที่เครื่องบินกำลังจะเข้าและออกจากสนามบินบนภาคพื้น รวมทั้งใช้สำหรับเป็นที่ดันเครื่องออกจากหลุมจอดต่างๆ ของสนามบิน

5.6.2 ล้อหลัง (Main Gear) เป็นล้อที่ใช้สำหรับรองรับน้ำหนักเป็นหลักและเป็นส่วนแรกที่จะสัมผัสพื้นในขณะที่อากาศยานร่อนลง



ภาพที่ 16 ส่วนประกอบของล้ออากาศยาน

ที่มา: <http://www.Aerosite.net> (2005)

6. การแบ่งประเภทของห้องเก็บสินค้าภายในอากาศยาน (Cargo Compartment Classification)

เนื่องจากการศึกษาจะเน้นไปที่การศึกษาการจำลองโปรแกรมสร้างภาพเสมือนโดยให้มีความชัดเจนเริ่มต้นของการเกิดเหตุอัคคีภัยขึ้นที่ห้องเก็บสินค้าบนอากาศยานส่วนหน้า (Forward Compartment) ซึ่งตามกฎระเบียบของสหพันธ์บริหารการบินแห่งสหรัฐอเมริกา หรือ Federal Aviation Administration [FAA](2000) ได้แบ่งประเภทของห้องเก็บสินค้าตามกฎการบินพลเรือน Federal Aviation Regulation (FAR) โดยอยู่ในข้อกำหนดที่ FAR121 Airworthiness Requirement ที่แบ่งตามลักษณะการเกิดเหตุเพลิงไหม้และวิธีเบื้องต้นเกี่ยวกับการดับเพลิง ไว้ดังนี้

6.1 Class A cargo or baggage compartment

6.1.1 การลุกติดไฟหรือเริ่มเกิดไฟจะพบได้โดยง่ายโดยลูกเรือ (Crewmember) ขณะที่ทำการบินอยู่บนอากาศ

6.1.2 การเข้าไปในพื้นที่เก็บสินค้าบนอากาศยานสามารถเข้าไปได้โดยง่าย (Easily Accessible in Flight)

6.2 Class B cargo or baggage compartment

6.2.1 การลุกติดไฟจะสามารถแจ้งให้กับลูกเรือ (Crewmember) เข้าถึงห้องเก็บสินค้าที่เกิดเหตุลุกติดไฟได้โดยใช้เครื่องดับเพลิงชนิดมือถือ (Hands Fire Extinguisher)

6.2.2 กรณีที่มีการเข้าไปในพื้นที่ที่เกิดเหตุเพลิงไหม้จะทำให้ลูกเรือไม่ได้รับอันตรายใดๆ จากควันไฟหรือเปลวไฟ รวมทั้งสารดับเพลิงต้องไม่เป็นอันตรายกับลูกเรือ

6.2.3 ต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์แจ้งเหตุฉุกเฉิน เช่น Smoke Detectors ที่ได้รับการรับรองมาตรฐานตามกฎหมายของ FAR เพื่อแจ้งเตือนให้กับลูกเรือหรือวิศวกรประจำสถานีที่ได้รับทราบทันทีที่เกิดเหตุ

6.3 Class C cargo or baggage compartment

6.3.1 ต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์แจ้งเหตุฉุกเฉิน เช่น Smoke Detectors ที่ได้รับการรับรองมาตรฐานตามกฎของ FAR เพื่อแจ้งเตือนให้กับลูกเรือหรือวิศวกรประจำสถานีที่ได้รับทราบทันทีที่เกิดเหตุ

6.3.2 ต้องมีการติดตั้งระบบดับเพลิง (Fire Suppression System) เพื่อควบคุมไฟไม่ให้ลุกลามขยายวงกว้างออกไปรวมทั้งต้องมีระบบแจ้งเตือนไปยังลูกเรือรับทราบด้วย

6.3.3 กรณีที่มีการเข้าไปในพื้นที่ที่เกิดเหตุเพลิงไหม้จะทำให้ลูกเรือไม่ได้รับอันตรายใดๆ จากควันไฟหรือเปลวไฟ รวมทั้งสารดับเพลิงต้องไม่เป็นอันตรายกับลูกเรือ

6.3.4 ต้องมีการติดตั้งระบบระบายอากาศภายในห้องจัดเก็บสินค้าภายในอากาศยาน เมื่อเกิดเหตุเพลิงไหม้ขึ้น เพื่อระบายทั้งควันและสารดับเพลิงออกจากอากาศยาน

6.4 Class D cargo or baggage compartment

ในปัจจุบัน FAA ได้ทำการยกเลิก Class D ไปแล้ว ซึ่งเป็นอากาศยานที่ไม่สามารถเข้าถึงพื้นที่ขณะทำการบินอยู่ (Not accessible during flight) ซึ่งหลังจากที่สายการบิน ValueJet Flight 592 ได้เกิดอุบัติเหตุทาง FAA จึงได้ยกเลิกการใช้อากาศยานแบบนี้ไป

6.5 Class E cargo compartment ลักษณะนี้เป็นอากาศยานที่มีเฉพาะห้องเก็บสินค้าไม่มีผู้โดยสารไปด้วยกับอากาศยานหรือเรียกว่าเครื่อง Freighter

6.5.1 ต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์แจ้งเหตุฉุกเฉิน เช่น Smoke Detectors ที่ได้รับการรับรองมาตรฐานตามกฎของ FAR เพื่อแจ้งเตือนให้กับลูกเรือหรือวิศวกรประจำสถานีที่ได้รับทราบทันทีที่เกิดเหตุ

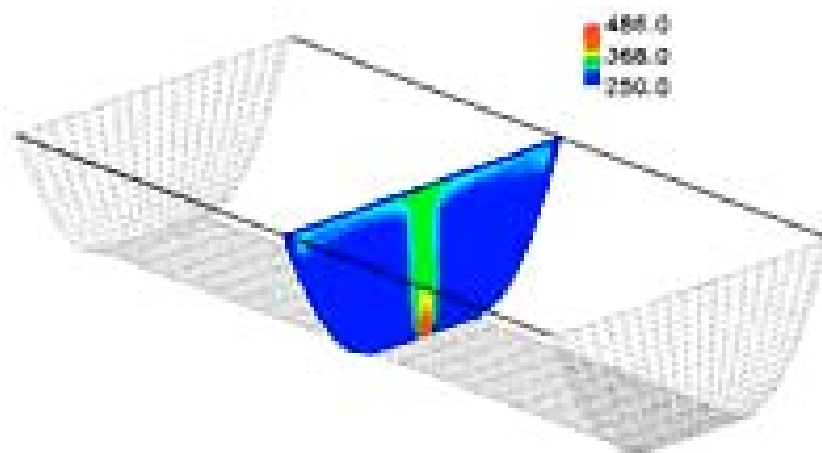
6.5.2 ต้องมีการติดตั้งระบบระบายอากาศภายในห้องจัดเก็บสินค้าภายในอากาศยาน เมื่อเกิดเหตุเพลิงไหม้ขึ้น เพื่อระบายทั้งควันและสารดับเพลิงออกจากอากาศยาน

6.5.3 ต้องมีระบบที่จะใช้กำจัดหรือลดควันที่เป็นพิษที่อาจจะเกิดจากการลุกไหม้เชื้อเพลิงที่เป็นสารเคมีอันตราย

6.5.4 ต้องมีแผนอพยพฉุกเฉินให้กับลูกเรือ (Crew Emergency Exit)

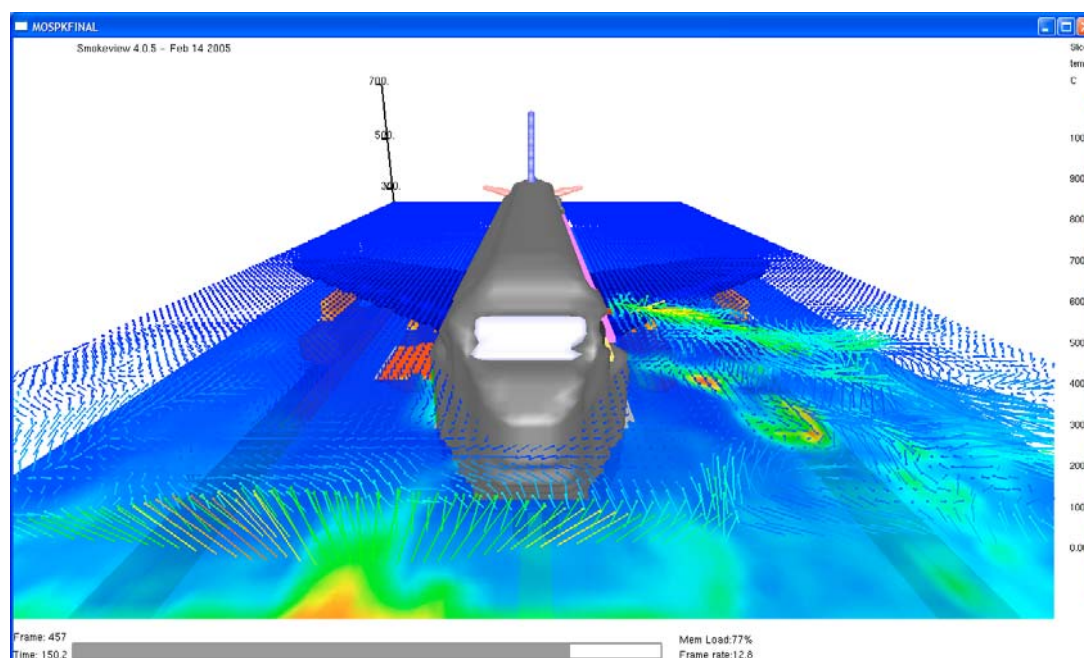
ซึ่งการจำลองเหตุเพลิงไหม้ในการวิจัยครั้งนี้ จะใช้การจำลองเหตุเพลิงไหม้ประเภทของห้องเก็บสินค้าภายในอากาศยานที่อยู่ใน Class C ซึ่งจะประกอบไปด้วยห้องผู้โดยสาร (Cabin) และห้องเก็บสินค้าที่อยู่ด้านล่างของอากาศยาน (Compartment) ซึ่งเรียกเครื่องแบบนี้ว่าเครื่อง Passenger เพราะเป็นอากาศยานที่มีผู้โดยสาร โดยสารไปกับอากาศยาน ซึ่งในกรณีที่เกิดเหตุเพลิงไหม้ขึ้นจะทำให้เกิดความสูญเสียที่รุนแรงส่งผลกระทบต่อทรัพย์สินและมีโอกาสที่ผู้โดยสารจะเสียชีวิตมากที่สุด

โปรแกรมสร้างภาพเสมือนจริง ที่นำมาประยุกต์ใช้ในการคาดคะเนการเคลื่อนที่ของไฟในพื้นที่ของห้องเก็บสินค้าบนอากาศยานนั้น เป็นโปรแกรมการทำงานของ CFD มาออกแบบและศึกษาประมาณการระดับความรุนแรงเมื่อเกิดเพลิงของสินค้าที่เก็บไว้ที่ห้องเก็บสินค้าภายในอากาศยาน ดังที่แสดงลักษณะการจำลองการศึกษาตามภาพที่ 17 เพื่อกำหนดให้ห้องเก็บสินค้ามีระบบป้องกันเชิงรับและเชิงรุกที่สามารถหยุดยั้งหรือชะลอการลุกลามของไฟอย่างเหมาะสม รวมถึงมีการจำลองลักษณะของอากาศยานตามที่เกิดเหตุเพลิงไหม้ห้องเก็บสินค้าบนอากาศยานตามภาพที่ 18 เพื่อศึกษาอุณหภูมิโดยแบ่งอุณหภูมิตามสี่และตามแนวแกน X , แกน Y และแกน Z ที่เกิดขึ้นภายในและนำไปสู่การเสนอแนะและแก้ไขมาตรฐานการตรวจสอบสินค้า และสินค้าอันตรายให้มีความปลอดภัยมากยิ่งขึ้น วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงมีแนวความคิดที่จะศึกษาการแพร่กระจายตัวของควันไฟและการลุกลามของเปลวไฟ เพื่อนำไปพัฒนาห้องเก็บสินค้าในอากาศยานให้มีความปลอดภัยและการออกมาตรการหรือข้อกำหนดที่เป็นมาตรฐานสากลสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับอากาศยานแบบอื่นๆได้



ภาพที่ 17 การสร้างแบบจำลองเหตุเพลิงไหม้ในห้องเก็บสินค้าของอากาศยาน

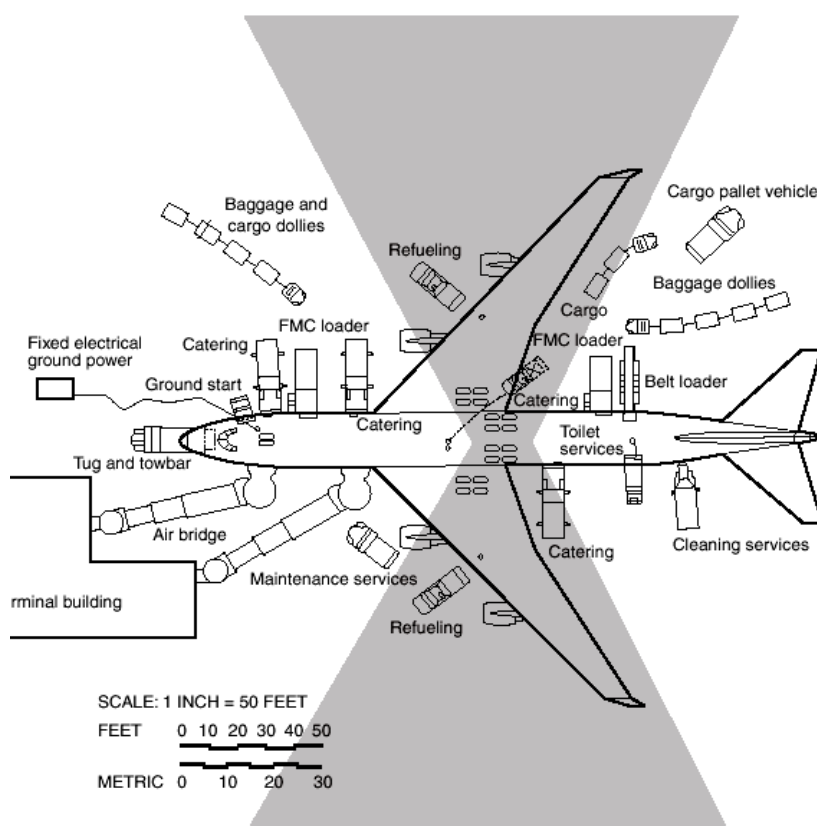
ที่มา: FAA (2003)



ภาพที่ 18 การสร้างแบบจำลองเหตุเพลิงไหม้ในห้องเก็บสินค้าของอากาศยานและลูกกลิ้งไปตลอดทั่วทั้งอากาศยานซึ่งแบ่งอุณหภูมิตามสี่และตามแนวแกน X , แกน Y และแกน Z

การเกิดอัคคีภัยขึ้นบนอากาศยาน นอกเหนือจากสินค้าและสินค้าอันตรายที่อาจเป็นสาเหตุที่เกิดขึ้นได้แล้วนัั้น ยังมีส่วนของการเกิดการลุดคุดไฟของน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีการเก็บอยู่ที่ปีกสองข้างของอากาศยาน ดังนั้น ตามมาตรฐานของ NFPA402 จึงได้กำหนดว่าในพื้นที่นับตั้งแต่ว่าเก็บลืออากาศยานเป็นมุม 45 องศา เป็นระยะออกไปไม่น้อยกว่า 90 เมตร ไม่ควรมีอุปกรณ์ภาคพื้นที่เป็นเครื่องยนต์มาจอดเอาไว้ เพราะเมื่อมีการสตาร์ทเครื่องอาจทำให้เกิดการลุดคุดไฟของน้ำมันเชื้อเพลิงที่เก็บอยู่ที่ปีกทั้ง 2 ข้างของอากาศยาน

ความแรงของลมและอุณหภูมิของลมที่พุ่งออกมาจากเครื่องยนต์มีอันตรายสำหรับผู้ปฏิบัติงานอยู่ใกล้เคียง โดยเฉพาะเครื่องยนต์ Turbo Fan เป็นเครื่องยนต์ขนาดใหญ่ ซึ่งสามารถดูดลิ่งของหรือคนเข้าไปได้ จึงต้องอยู่ห่างจากด้านหน้าของเครื่องยนต์เป็นแนวรัศมีครึ่งวงกลมอย่างน้อย 7 เมตร เมื่อเครื่องยนต์ลุดอยู่ และอยู่ห่างจากน้อย 9 เมตร สำหรับเมื่อเครื่องลงจอด โดยได้แสดงรายละเอียดพื้นที่ที่ห้ามนำอุปกรณ์ให้บริการภาคพื้นเข้ามาจอดด้านใต้ปีกตามส่วนที่แรงเอาไว้ในภาพที่ 19



ภาพที่ 19 ภาพพื้นที่ที่ห้ามจอดอุปกรณ์ให้บริการภาคพื้นดินเข้ามาจอดด้านใต้ปีกของเครื่องบิน
ตาม NFPA 402 (Wheel Fragmentation Area)

ที่มา: National Fire Protection Association (2002)

7. ความรู้เกี่ยวกับสินค้าอันตราย (Dangerous Goods)

Dangerous Goods (DGR) สินค้าอันตราย คือ สิ่งของหรือสารซึ่งสามารถก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพ ความไม่ปลอดภัย หรือความเสียหายต่อทรัพย์สินเมื่อทำการขนส่งทางอากาศ และถูกแบ่งประเภทตาม IATA Regulation(2004) ดังแสดงการจำแนกเอาไว้ในภาพที่ 20 ดังนั้น ถึงแม้ว่าจะมีความเสี่ยงที่จะทำให้เกิดอันตรายเมื่อต้องขนส่งทางอากาศ แต่ด้วยเหตุผลดังต่อไปนี้ จึงต้องดำเนินการขนส่ง คือ

7.1 เมื่อมีการขนส่งทางอากาศ เนื่องจากลักษณะพิเศษของการขนส่งทางอากาศ เช่น ความสั่นสะเทือน การเปลี่ยนแปลงความกดดันอากาศและอุณหภูมิ จะมีผลต่อสินค้าและวัสดุที่ใช้บรรจุจนทำให้เกิดอันตรายต่อตัวอากาศยาน ผู้โดยสารและลูกเรือ ซึ่งไม่เห็นได้ชัดเจนบนพื้นดิน

7.2 มีความต้องการในเชิงพาณิชย์ (Commercial demand) เช่น สี แบตเตอรี่และ Time-sensitive ได้แก่ กัมมันตภาพรังสีที่ใช้ทางการแพทย์และสินค้าที่ต้องเก็บในสภาพเย็นจัดเป็นเวลานาน บางครั้งการขนส่งทางอากาศเป็นวิธีการเดียว ที่จะไปยังสถานที่ห่างไกล

7.3 สินค้าบางตัวต้องใช้บนอากาศยานเพื่อความเหมาะสมที่จะบินหรือใช้ในการดำเนินงาน (Airworthiness or Operation) เช่น น้ำมันอากาศยาน แบตเตอรี่ เครื่องดับเพลิง แพยาง สินค้าปลอดภาษี เช่น น้ำหอม เครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์ จำเป็นต้องใช้บริการในห้องผู้โดยสารในระหว่างการบิน

7.4 การจำแนกประเภทของสินค้าอันตราย (Classification of Dangerous Goods)

สินค้าอันตราย แบ่งเป็น 9 Class ตามชนิดของอันตราย ในบางประเภทได้ถูกแบ่งย่อยไปอีกเป็น Division เพื่อบอกถึงอันตรายที่เฉพาะเจาะจงภายใน Class นั้น ตัวเลขแสดง Class ไม่ได้หมายถึงความรุนแรงของอันตรายซึ่งหมายความว่า Class 1 อันตรายกว่า Class 2 หรือ Class 3

เนื่องจากแต่ละ Class หรือ Division มีลักษณะเฉพาะที่ใช้บอกกว่าสิ่งของหรือลักษณะของสารเคมีถูกจัดอยู่ใน Class หรือ Division ใด ดังนี้

Class 1 วัตถุระเบิด (Explosive)

Class 2 ก๊าซ (Gases)

Division 2.1 ก๊าซไวไฟ (Flammable Gas)

Division 2.2 ก๊าซไม่ไวไฟและไม่เป็นพิษ (Non-flammable, non-toxic gas)

Division 2.3 ก๊าซพิษ (Toxic gas)

Class 3 ของเหลวไวไฟ (Flammable Liquid)

Class 4 ของแข็งไวไฟ (Flammable Solid)

Division 4.1 ของแข็งไวไฟ (Flammable Liquid)

Division 4.2 สันดาปได้ด้วยตัวเอง (Spontaneously combustible)

Division 4.3 อันตรายเมื่อเปียก (Dangerous when wet)

Class 5 สารให้ออกซิเจน (Oxidizing substances and Organic peroxide)

Division 5.1 ออกซิไดเซอร์ (Oxidizer)

Division 5.2 ออแกนิกเปอร์ออกไซด์ (Organic Peroxide)

Class 6 สารพิษและสารก่อโรค (Toxic and Infectious Substances)

Division 6.1 สารพิษ (Toxic substances)

Division 6.2 สารก่อโรค (Infection substances)

Class 7 สารแผ่รังสี (Radioactive material)

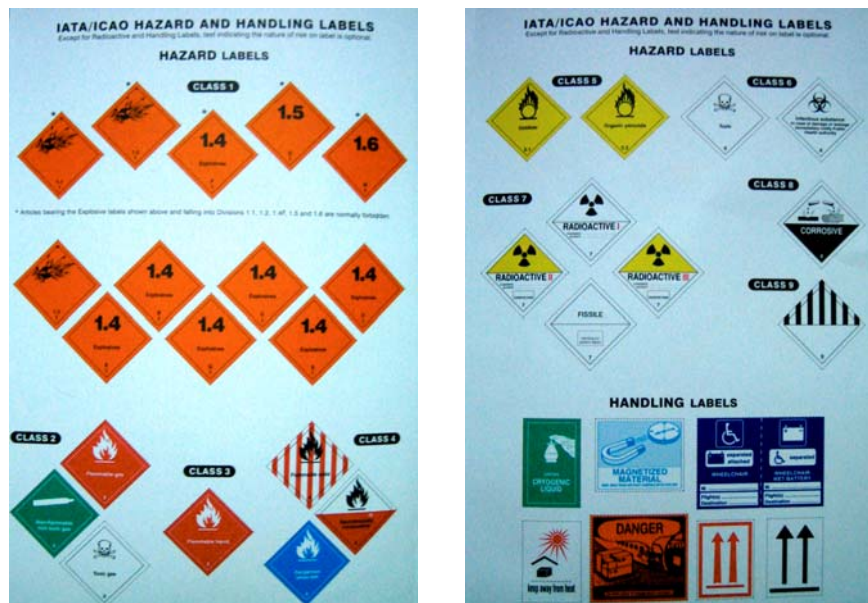
แบ่งเป็น Category I –White

Category II-Yellow

Category III-Yellow

Class 8 สารกัดกร่อน (Corrosive material)

Class 9 สินค้าอันตรายอื่นๆ (Miscellaneous Dangerous Goods)



ภาพที่ 20 ภาพแสดงการแบ่งประเภทของสินค้าอันตราย

ที่มา: IATA (2004)

ดังนั้น การบรรจุหีบห่อและจัดวางสินค้าในห้องเก็บสินค้าของอากาศยาน นอกจากต้องคำนึงถึงการป้องกันความเสียหายระหว่างการขนส่งแล้ว จะต้องมีการที่ปลอดภัย มีการตรวจสอบลักษณะหีบห่อก่อนที่จะนำขึ้นอากาศยาน มีการติดฉลากเพื่อชี้แจงแสดงถึงประเภทของสินค้าอันตรายต่างๆ ให้เห็นชัดเจน รวมทั้งต้องมีการนำขึ้นไปเก็บบนอากาศยานได้อย่างเหมาะสม ไม่จัดเก็บสารที่มีปฏิกิริยาไวไฟใกล้กัน หรือสารที่อาจก่อให้เกิดการระเบิดได้หากสัมผัสกับอากาศ ต้องมีการหีบห่อที่มิดชิดและป้องกันสินค้าอันตรายสัมผัสกับความชื้นได้

8. หลักการเบื้องต้นเกี่ยวกับตู้คอนเทนเนอร์ที่ใช้ลำเลียงสินค้าบนอากาศยาน

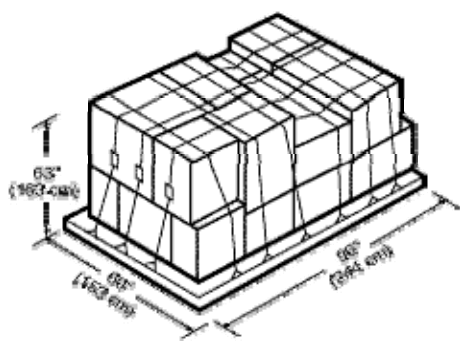
Unit Load Device (ULD) หมายถึง ตู้คอนเทนเนอร์(Container) พาเลท(Pallet) หรือ IGLOO เป็นสรพนามที่ใช้ในการเรียกใช้อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับจัดเรียงสินค้า เป็นอุปกรณ์ขนถ่ายสินค้าที่อำนวยความสะดวก ทำให้การเคลื่อนย้ายสินค้าทำได้อย่างรวดเร็วจากจุดหนึ่งไปยังจุดหนึ่งอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งจะต้องได้รับมาตรฐานการรับรองให้สามารถใช้งานได้จาก IATA(2004) หรือได้รับการพิจารณาจากสายการบินต่างๆ จึงจะสามารถอนุญาตให้ใช้งานได้ โดยที่แต่ละสายการบินจะมีคู่มือของ ULD ซึ่งแสดงลักษณะของการใช้งาน รวมทั้งน้ำหนักบรรจุ ความสูง และความกว้าง ซึ่ง ULD จะแบ่งออกเป็น 3 ชนิดใหญ่ๆ ดังนี้

8.1 พาเลทหรือแผ่น (Pallet) แผ่นนี้จะใช้ควบคู่กับกับตาข่ายหรือ Net แผ่นโดยทั่วไป จะมีความหนาโดยประมาณ 1 นิ้ว และมีร่องใส่ห่วงสำหรับยึดตาข่ายอยู่โดยรอบที่ขอบของแผ่น หรืออาจจะมีจุดยึดสำหรับยึดติดตาข่ายเพื่อคลุมรัดสินค้า หรือสิ่งของบนแผ่นให้ยึดติดแน่นกับแผ่น

8.2 ตู้คอนเทนเนอร์ (Container) ตู้คอนเทนเนอร์มีหลายรูปแบบ หลายขนาด ส่วนมากผลิตขึ้นจากโลหะที่มีน้ำหนักเบา เช่น ไฟเบอร์กลาส อลูมิเนียม ประตูดังกล่าวด้วยโลหะ ฝ้าใบ หรือพลาสติกก็ได้

8.3 อีกู (IGLOO) เป็นอุปกรณ์ที่ช่วยให้สามารถใช้ประโยชน์จากที่ว่างภายในห้องเก็บสินค้าของอากาศยานได้มากที่สุด และป้องกันไม่ให้ผนังภายในลำตัวของอากาศยานถูกสินค้ากระแทก จึงใช้ฝาคีโรบ (Igloo shell) มาใช้ประกอบกับแผ่นและตาข่าย ฝาคีโรบนี้จะมีรูปร่างเหมาะสมกับอากาศยานแต่ละประเภท

โดยที่การจัดเรียงสินค้าในอากาศยานเชิงพาณิชย์ในปัจจุบันจะใช้ ULD เป็นมาตรฐานในการบรรจุภัณฑ์และจัดเรียงที่คลังสินค้าก่อนที่จะนำขึ้นไปบนอากาศยาน แต่ทั้งนี้จะต้องมีลักษณะของรูปร่างเดียวกับห้องเก็บสินค้าบนอากาศยานที่จะนำตู้คอนเทนเนอร์เข้าไปในห้องเก็บสินค้าบนอากาศยานด้วย ดังแสดงลักษณะ ULD ที่ใช้บนอากาศยานไว้ในภาพที่ 21



ภาพที่ 21 แสดง ULD ชนิดที่ใช้บนอากาศยาน

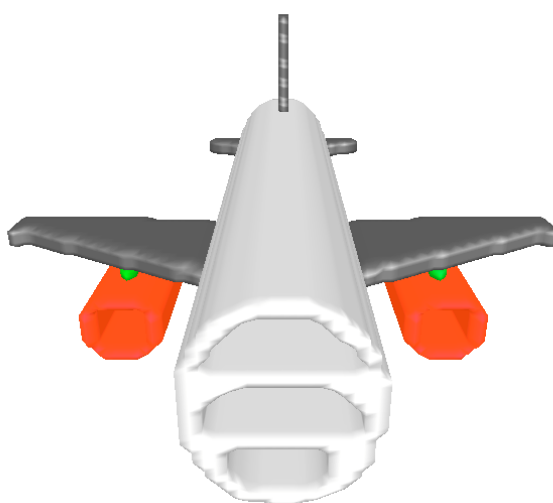
ที่มา: Thai Airport Ground Services Co., Ltd. (2005)

9. การใช้โปรแกรมสร้างภาพเสมือนจริงจำลองเหตุเพลิงไหม้

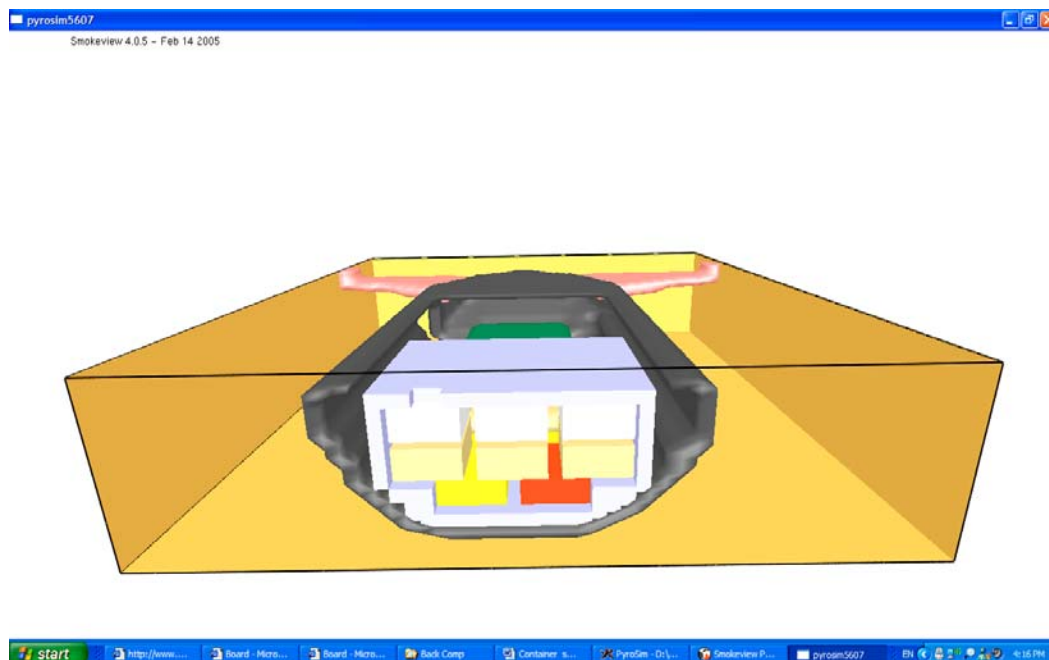
เป็นการใช้โปรแกรมภาพเสมือนในการจำลองเหตุเพลิงไหม้ขึ้นภายในห้องเก็บสินค้าของอากาศยาน Fire Dynamic Simulation (FDS) ซึ่งการใช้โปรแกรมจะเป็นในรูปแบบของการจำลองเหตุการณ์สมมติขึ้น โดยมีการใช้โปรแกรม เพื่อเป็นการสร้างภาพเสมือน และใช้โปรแกรม Smokeview ใช้ศึกษาการเคลื่อนที่และการลุกลามของควันไฟและเปลวไฟ โดยในช่วงแรกได้ทำการทดลองการสร้างภาพเสมือนอย่างง่ายตามภาพที่ 22 เพื่อตรวจสอบถึงความเป็นไปได้ที่โปรแกรมจะสามารถประยุกต์ใช้กับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ซึ่งการสร้างอาจจะต้องใช้การเขียนคำสั่งขึ้นในโปรแกรม Notepad และประมวลผลใน DOS เพื่อให้ประเมินผลออกมา โดยในภาพที่ 23 เป็นการประเมินผลที่ชี้บ่งเฉพาะจุดโดยในภาพแสดงถึงห้องเก็บสินค้าบนอากาศยานส่วนหลังที่มีตู้คอนเทนเนอร์ที่จัดเรียงสินค้าอยู่ด้านในเรียบร้อยแล้ว หรือใช้โปรแกรม PyroSim ดังภาพที่ 24 เพื่อสร้างแบบจำลองภาพเสมือนที่คิดค้นโดยสถาบัน Thunderhead Engineer Consultant

Incorporate เป็นเครื่องมือในการสร้างแบบจำลองขึ้นภายหลังจากที่มีการคำนวณออกมาแล้ว เพื่อเป็นการแสดง

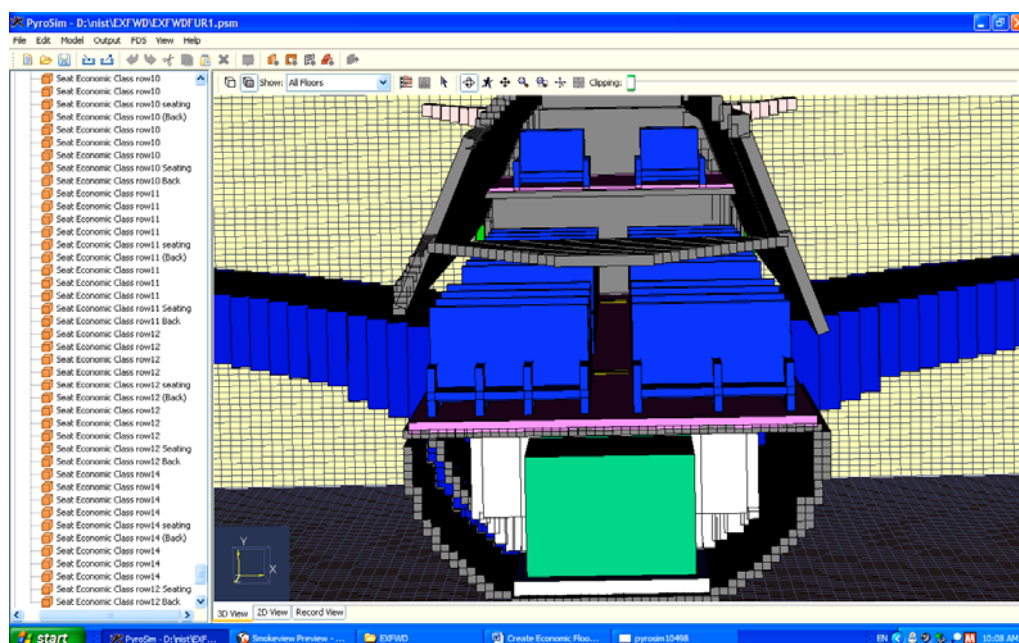
ให้เห็นอย่างชัดเจนว่าการลุกลามของควันไฟและเปลวไฟมีแนวทางในการลุกลามไปอย่างไร เพื่อนำมาใช้พิจารณาในการบริหารจัดการควบคุมทางด้านความปลอดภัยหรือการออกแบบการจัดวางหัวสปริงเกอร์เพื่อเป็นการระงับเหตุอัคคีภัยที่เกิดขึ้น



ภาพที่ 22 ภาพแสดงแบบจำลองเครื่องบินแบบ Wide-body ที่เขียนคำสั่งใน Notepad และแสดงออกมาในโปรแกรม Smokeview



ภาพที่ 23 ภาพแสดงแบบจำลองของห้องเก็บสินค้าบนอากาศยานส่วนหลังที่แสดงออกมาในโปรแกรม Smokeview



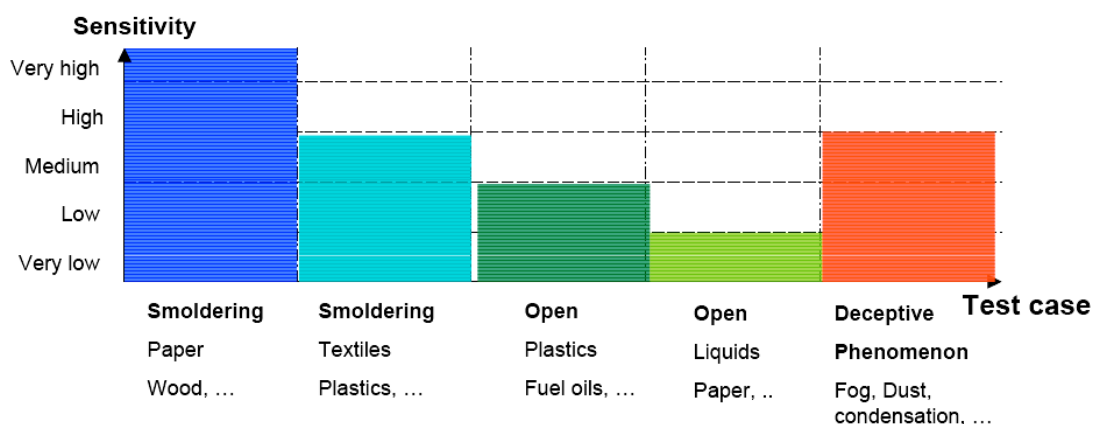
ภาพที่ 24 การใช้โปรแกรม PyroSim ในการสร้างแบบจำลอง (A model Construction Tool For Fire Dynamic Simulation)

10. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สุโข (2547) ได้วิจัยถึงความสำคัญของระบบป้องกันอัคคีภัยของสนามบินต้องได้รับการออกแบบให้สามารถตรวจจับ เตือนภัย จำกัดขอบเขตการลุกลามและระงับการแพร่ขยายของอัคคีภัยไม่ให้เกิดความเสียหายแก่ชีวิตและทรัพย์สิน เพราะฉะนั้นความปลอดภัยของผู้โดยสารจากความเสียหายเนื่องจากการเกิดอัคคีภัย ซึ่งสามารถกำหนดขอบเขตของระดับความปลอดภัยของผู้โดยสารได้ล่วงหน้า ก่อนที่จะเข้าสู่กระบวนการออกแบบตามมาตรฐาน ของข้อกำหนดทั้งในประเทศและข้อกำหนดอื่นที่เกี่ยวข้อง

Schmoetzer (2003) วิจัยเรื่องการออกแบบระบบป้องกันอัคคีภัยบนอากาศยานต้องอาศัยความถูกต้องแม่นยำ โดยอาจจะต้องพิจารณาจากเชื้อเพลิงที่มีอยู่บนอากาศยาน เช่น ในกรณีที่มีการเก็บสินค้าจำพวกกระดาศ ไม้ อุปกรณ์ตรวจจับต้องมีความรวดเร็วในการตรวจจับให้เร็วยิ่งขึ้น และต้องมีข้อผิดพลาดในการตรวจจับให้น้อยที่สุด นอกจากนี้ยังจะต้องมีการทดสอบอุปกรณ์ตรวจจับให้มีความน่าเชื่อถือ และให้เหมาะสมและพิจารณา รวมถึงการติดตั้งจะต้องมีความถูกต้องและเหมาะสมกับชนิดของอากาศยานที่จะนำไปใช้ด้วย

ทั้งนี้ระบบการตรวจจับที่มีประสิทธิภาพและประสิทธิผลจะต้องมีความสามารถในการตรวจจับกลุ่มควันได้ไม่เกิน 60 วินาที นับตั้งแต่ระยะที่เริ่มเกิดควันไฟโดยเฉพาะบนอากาศยานที่มีการขนส่งสินค้าที่มีเชื้อเพลิงประเภท A หรือกล่องกระดาศ ทำให้ต้องเพิ่มมีระดับของตรวจจับได้อย่างรวดเร็วหรือระดับสูงสุด(High) โดยต้องสามารถเปรียบเทียบการตอบสนองของเชื้อเพลิงประเภทต่างๆได้ตามภาพที่ 25



ภาพที่ 25 ภาพแสดงระดับของการตอบสนองของอุปกรณ์ตรวจจับควันในห้องเก็บสินค้าบนอากาศยานเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงแต่ละประเภท

ที่มา: International Aircraft Systems Fire Prevention Working Group (2003)

Brook (2004) สถาบัน International Aero Technologies LLC ได้ทำการทดสอบระบบดับเพลิงแบบความดันต่ำคู่กับการหัวฝอยกระจายน้ำ หรือ Low Pressure Dual Fluid Water Mist ซึ่งจากการทดลอง พบว่าระบบดับเพลิงแบบหัวฝอยกระจายน้ำสามารถช่วยลดอุณหภูมิในการกรณีที่เกิดเหตุเพลิงไหม้ขึ้นได้เป็นอย่างดี และอยู่ในระดับมาตรฐานขั้นต่ำที่ทางสถาบัน FAA กำหนดซึ่งหมายความว่าในอนาคตผลจากสัญญา Montreal Protocol ที่ให้มีการยกเลิกการใช้สารดับเพลิงชนิด Halon จะทำให้มีทางเลือกสำหรับระบบดับเพลิงชนิดใหม่ที่ไม่ทำให้เกิดการทำลายโอโซน และเป็นสาเหตุทำให้โลกร้อนขึ้น

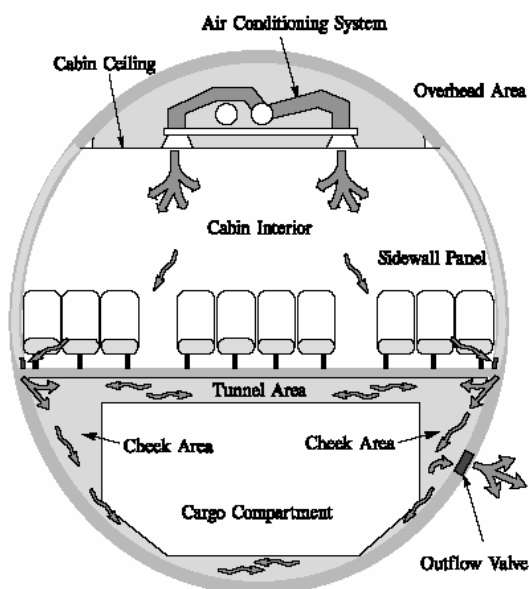
ห้องวิจัยที่ FAA (2004) ได้เผยแพร่สิ่งพิมพ์เกี่ยวกับการเกิดเหตุเพลิงไหม้ขึ้นบนพื้นที่ช้อนเร้นที่มีอยู่บนอากาศยาน เมื่อวันที่ 1 สิงหาคม 2546 และได้สรุปสาเหตุหลักที่มักจะทำให้เกิดเหตุเพลิงไหม้ขึ้นภายในพื้นที่ช้อนเร้นบนอากาศยานไว้ดังนี้

1. สาเหตุหลักและโดยส่วนมากที่มักจะทำให้เกิดเหตุเพลิงไหม้ขึ้นในพื้นที่ช้อนเร้นบนอากาศยานส่วนใหญ่เกิดจากการอาร์ค(Arc) ของสายไฟ ซึ่งผลจากการสอบสวนอุบัติเหตุโดยส่วนมากพบว่าอาร์คของสายไฟจะเกิดเป็นลำดับแรก จนทำให้เกิดความร้อนแพร่กระจายและทำให้เกิดเปลวไฟไปลุกติดขึ้นที่อุปกรณ์และวัสดุอื่นที่ติดตั้งอยู่ด้านข้าง หรือความร้อนได้ส่งต่อ

ไปอุดตันกับฝุ่นละอองหรือคราบน้ำมันต่างๆที่อยู่ในพื้นที่ซ่อนเร้นในอากาศยานจนทำให้เกิดเพลิงไหม้ขึ้น

2. เกิดจากอุปกรณ์ไฟฟ้าเกิดการช็อต อุปกรณ์และวงจรไฟฟ้าที่ติดตั้งอยู่บนอากาศยาน อาจเกิดการลัดวงจรได้ เนื่องจากการเสื่อมชำรุดและขาดการดำเนินการซ่อมบำรุงเชิงป้องกันที่เหมาะสม (Preventive Maintenance) และผลต่อเนื่องที่ตามมา คือ การเกิดความร้อนและลัดวงจรจากฝุ่นละอองหรือคราบน้ำมันจนทำให้เกิดอัคคีภัยขึ้น

3. เกิดจากช่องที่ส่งอากาศเข้าไปสู่อากาศยาน ซึ่งมักจะเกิดจากการขาดการตรวจสอบ จนทำให้อุปกรณ์ส่งจ่ายอากาศชำรุด และส่งอากาศเข้าไปจนทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นและเป็นสาเหตุให้เกิดเหตุเพลิงไหม้ขึ้น ซึ่งลักษณะการส่งผ่านอากาศจะมีตัวส่งผ่านอากาศที่ด้านบนและมีท่อส่งอากาศไปตามห้องโดยสารและนำอากาศไปสู่ห้องเก็บสินค้าบนอากาศยาน ลักษณะตามภาพที่ 26 การเกิดเหตุในลักษณะนี้มักจะทำให้เกิดเหตุเพลิงไหม้จนทำให้โครงสร้างของอากาศยานเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้



ภาพที่ 26 ภาพระบบการส่งผ่านของอากาศเข้าไปในอากาศยาน

ที่มา: FAA (2004)

Hughes (2002) ได้วิจัยและศึกษาลักษณะการติดตั้งถังดับเพลิงแบบมือถือที่ควรจะต้องติดบนอากาศยานให้มีความพอเพียงต่อความสามารถในการระงับเหตุเมื่อเกิดอัคคีภัยขึ้น พบว่า จะต้องติดตั้งในบริเวณที่สามารถหยิบใช้งานได้โดยง่ายในกรณีที่เกิดเหตุฉุกเฉินขึ้น และสำหรับการกำหนดจำนวนของถังดับเพลิงที่ควรที่จะติดตั้งบนอากาศยานนั้น ขึ้นอยู่กับจำนวนของผู้โดยสารที่อยู่บนอากาศยานและความสามารถในการบรรทุกผู้โดยสารของอากาศยานชนิดนั้น โดยได้กำหนดหลักเกณฑ์ไว้ตามตารางที่ 2 นี้

ตารางที่ 2 จำนวนถังดับเพลิงที่ต้องติดตั้งบนอากาศยานโดยพิจารณาจากจำนวนผู้โดยสารที่อยู่บนอากาศยาน

จำนวนผู้โดยสาร (คน)	จำนวนถังดับเพลิง (ถัง)
7 ถึง 30	1
31 ถึง 60	2
61 ถึง 200	3
201 ถึง 300	4
301 ถึง 400	5
401 ถึง 500	6
501 ถึง 600	7
601 ถึง 700	8

ที่มา: FAA (2002)

นอกจากการติดตั้งถังดับเพลิงในห้องของผู้โดยสารแล้วจะต้องมีการติดตั้งในห้องของนักบินด้วย รวมทั้งถังดับเพลิงที่นำไปติดตั้งจะต้องดับเพลิงประเภท A ประเภท B และประเภท E และ นักบินและผู้ช่วยนักบินต้องสามารถนำถังดับเพลิงเข้าไปดับเพลิงในห้องเก็บสินค้าในอากาศยานได้ด้วย

จากหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอมาทั้งหมด การเกิดอัคคีภัยบนห้องเก็บสินค้าบนอากาศยานมีสาเหตุจากหลายสาเหตุ เช่น การเกิดการอาร์คของไฟฟ้า การจัดเรียงสินค้าที่ทำปฏิกิริยากันเองทำให้เกิดการลุกติดไฟขึ้น เป็นต้น ดังนั้นเพื่อเป็นการป้องกันความสูญเสียที่อาจเกิดขึ้นได้ รวมถึงการกำหนดมาตรการที่เกี่ยวข้องกับการบริหารจัดการและการออกแบบในเชิงวิศวกรรมความปลอดภัย การจำลองพลศาสตร์อัคคีภัย เพื่อออกแบบระบบป้องกันอัคคีภัยของห้องเก็บสินค้าบนอากาศยาน จึงเป็นเครื่องมือที่มีส่วนสำคัญที่ใช้ในการสร้างภาพเสมือนและจำลองเหตุการณ์ที่มีการพัฒนาไปถึงการเกิดเหตุที่รุนแรงและเลวร้ายที่สุด (Worst Case) เพราะเมื่อมีข้อมูลเกี่ยวกับการเกิดเหตุเพลิงไหม้แล้ว จะช่วยทำให้ทราบถึงแนวทางและกฎทางด้านความปลอดภัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบระบบป้องกัน ที่ควรนำมาใช้พิจารณาในระบบที่เกี่ยวกับการออกแบบห้องเก็บสินค้าบนอากาศยานเพื่อความปลอดภัยสูงสุด ได้อย่างยั่งยืนต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. ระบบคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์เสริมประกอบ

1.1 เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล Pentium IV ความจุของ Hard Disk ขนาด 40 GB
หน่วยประมวลผลความเร็วสูง RAM 1 GB

1.2 เครื่องพิมพ์ชนิดใช้เลเซอร์

1.3 กล้องถ่ายภาพดิจิทัล

2. โปรแกรมที่ใช้

2.1 โปรแกรมสร้างภาพเสมือน FDS & Smokeview Version 4.05 สำหรับเขียนข้อมูล
พื้นฐาน (Input file) ที่จะใช้เป็นโครงสร้างฐานข้อมูล (Data structure) เพื่อประมวลผลใน
โปรแกรม DOS

2.2 โปรแกรมสร้างภาพเสมือน PyroSim โดยได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท
Thunderhead Engineer Consultant Incorporation ประเทศสหรัฐอเมริกา สำหรับนำมาใช้สร้าง
ภาพเสมือนที่จะนำออกสู่ข้อมูลพื้นฐานที่จะใช้เป็นแบบจำลองหลักที่ใช้ในการทำวิทยานิพนธ์

2.3 โปรแกรม Microsoft office 2002 ใช้ในการจัดทำเอกสาร

2.4 โปรแกรม ACDSSee 6.0 ใช้ในการจัดและตกแต่งภาพ

3. ระบบปฏิบัติการ

3.1 Microsoft Window XP (Service Pack 2.0 – Build 2082)

วิธีการ

1. กำหนดปัญหา / เก็บรวบรวมข้อมูล / ศึกษาข้อมูลอ้างอิง

Anttila et al.(2003) ได้ทำการศึกษาถึงและจำลองเหตุการณ์เกิดเหตุเพลิงไหม้ภายในห้องเก็บสินค้าภายในอากาศยาน โดยได้อาศัยข้อกำหนดของ FAA เพื่อเป็นพื้นฐานในการจำลองเหตุการณ์ว่าก่อนที่เพลิงไหม้จะลุกลามไปตามโครงสร้างของอากาศยานจนทำให้ขยายลุกลามออกไปเป็นเพลิงไหม้ที่รุนแรงนั้น ซึ่งในปัจจุบันการทดสอบจะต้องมีการทดสอบวัสดุต่างๆ ที่จะนำมาใช้บนอากาศยานอย่างละเอียดก่อนที่จะสามารถนำมาใช้บนอากาศยานได้

ในปัจจุบันการจำลองเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นบนห้องเก็บสินค้าในอากาศยานนั้น จะรวมไปถึงการทดสอบอุปกรณ์ในการตรวจจับควันภายในห้องเก็บสินค้าของอากาศยานว่ามีความสามารถในการจับควันและแจ้งเหตุไปยังห้องของกัปตัน และลูกเรือภายใน 1 นาทีหรือไม่

ดังนั้นอากาศยานในปัจจุบันที่เป็นที่นิยมและมักจะถูกเลือกใช้ก็คือ อากาศยานของบริษัท Airbus ซึ่งถ้าคิดในปริมาณการบินที่ระยะทางที่เท่ากันกับอากาศยานของบริษัท Boeing พบว่าอากาศยานของบริษัท Airbus มีต้นทุนเกี่ยวกับค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับเชื้อเพลิงที่น้อยกว่า ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้ จึงได้ทำการออกแบบอากาศยานให้มีความใกล้เคียงกับรูปแบบของเครื่อง Airbus มากที่สุด ทั้งนี้จากการศึกษาพบว่าขนาดและการจัดระวางของ Airbus ที่จะศึกษาในการวิจัยมีข้อมูลดังตารางที่ 3 นี้

ตารางที่ 3 ข้อมูลเบื้องต้นของอากาศยานชนิด Airbus

รายละเอียด	ขนาด
ความยาวของปีก:	261 ft. 10 in. / 79.8 m
ลำตัวยาว:	239 ft. 6 in. / 73.0 m
ความสูง:	79 ft. 1 in. / 24.1 m
เพดานการบิน:	43,000 ft.
น้ำหนัก:	606,300 lbs / 275,013 kg
เครื่องยนต์:	Four RollRoyce Trent 900
ความเร็ว:	562 knots / 1,041 km/h / 0.85 mach

ที่มา: <http://www.Aerosite.net> (2005)

ข้อมูลสถิติเกี่ยวกับอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นเนื่องจากเกิดไฟไหม้ขึ้น ที่บริเวณพื้นที่เก็บสินค้าบนอากาศยานตามตารางที่ 4 แสดงสถิติอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นเนื่องจากไฟไหม้อากาศยานในระหว่างปี 1967 - 1998 พบว่าจำนวนความถี่ของการเกิดอุบัติเหตุมีไม่บ่อยครั้ง แต่หลังจากที่เกิดเหตุพบว่ามีผู้บาดเจ็บและเสียชีวิตเป็นจำนวนมาก เพราะมีสาเหตุเนื่องจากในพื้นที่ดังกล่าวเป็นพื้นที่ที่ไม่มีผู้โดยสารอยู่ในห้องเก็บสินค้าบนอากาศยาน รวมทั้งเมื่อเกิดเหตุหากระบบและอุปกรณ์ตรวจจับอยู่ในสภาพที่ชำรุด หรือไม่มีประสิทธิภาพในการตรวจจับควัน หรือเปลวไฟแล้ว อาจทำให้เพลิงเกิดการลุกลามไหม้ขึ้นได้อย่างรวดเร็ว เพราะเนื่องจากสินค้าที่ลำเลียงอยู่บนห้องเก็บสินค้าบนอากาศยานนั้น บางทีอาจเป็นวัตถุไวไฟ รวมทั้งบรรจุภัณฑ์ต่างๆ ยังเป็นวัสดุที่ง่ายต่อการติดไฟ และเป็นเชื้อเพลิงอย่างดี เพราะบรรจุภัณฑ์ที่หีบห่อเหล่านั้นมักเป็นวัสดุที่ทำจาก กล่อง กระดาษ โฟม พลาสติก ไม้ ซึ่งถือว่าเป็นเชื้อเพลิงที่อยู่ในประเภท A และหากพิจารณาถึงผลต่อเนื่องถ้าเกิดเหตุเพลิงไหม้ขึ้นแล้ว วัสดุที่ใช้ตกแต่งห้องโดยสารนั้นก็เป็พวกพรมและผ้าทอใยสังเคราะห์ ทำให้เป็นส่วนผลักดันให้การเกิดเหตุเพลิงไหม้ขึ้นบนอากาศยานเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว และส่งผลกระทบที่ไม่อาจประเมินค่าได้

ตารางที่ 4 สถิติอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นเนื่องจากไฟไหม้อากาศยานในระหว่างปี 1967 – 1998

วัน/เดือน/ปี	ชนิดของ อากาศยาน	จำนวนผู้โดยสาร (คน)	จำนวนผู้โดยสาร ที่เสียชีวิต (คน)	สาเหตุที่ทำให้ เกิดอหิภัย
23 มิ.ย. 67	BAC1-11 204AF	34	34	อุปกรณ์ภาคพื้น ทำให้เกิดไฟไหม้
8 เม.ย. 68	B707-465	127	5	น้ำมันเชื้อเพลิง
26 ก.ค. 69	CARAVELLE	37	35	เพลิงไหม้ ในห้องโดยสาร
11 มิ.ย. 73	B707	134	123	เพลิงไหม้ ในห้องโดยสาร
15 พ.ค. 74	CARAVELLE	96	15	น้ำมันเชื้อเพลิง
26 พ.ย. 79	B707-340C	156	156	เพลิงไหม้ ในห้องโดยสาร
19 ส.ค. 80	L1011	301	301	เพลิงไหม้ที่ ห้องเก็บสินค้า
2 มิ.ย. 83	DC9-32	46	23	เพลิงไหม้ ในห้องโดยสาร
30 ส.ค. 84	B737-200	118	2	น้ำมันเชื้อเพลิง
22 ส.ค. 85	B737-236 Sr1	137	55	น้ำมันเชื้อเพลิง
28 พ.ย. 87	B747-244B	159	159	เพลิงไหม้ที่ห้อง เก็บสินค้า
11 พ.ค. 90	B737-300	119	8	น้ำมันเชื้อเพลิง และการระเบิด
11 มิ.ย. 91	DC8-61	261	261	ไฟไหม้อย่างอากาศยาน
11 พ.ค. 96	DC9-32	110	110	เพลิงไหม้ที่ห้อง เก็บสินค้า
2 ก.ย. 98	MD11	231	231	เพลิงไหม้ในห้อง โดยสาร

ที่มา: International Aircraft Fire and Cabin Safety Research Conference – Lisbon (2004)

2. ศึกษาลักษณะสภาพแวดล้อมของห้องเก็บสินค้าบนอากาศยานที่ใช้ให้สอดคล้องกับเงื่อนไขที่ออกแบบ

ดำเนินการคัดเลือกวัสดุและเฟอร์นิเจอร์ที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับวัสดุที่ใช้บนอากาศยาน เพื่อให้การจำลองเหตุการณ์มีความสมจริงมากที่สุด โดยใช้ข้อมูลพื้นฐานที่มีอยู่ในโปรแกรม FDS พิจารณาถึงข้อกำหนดที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

2.1 การแบ่งประเภทของห้องเก็บสินค้าบนอากาศยานตามหลักของ FAA ซึ่งได้อธิบายไว้แล้วในการแบ่งประเภทของห้องเก็บสินค้าภายในอากาศยานในหน้าที่ 25

2.2 กำหนดประเภทของอากาศยานที่สนใจจะศึกษา โดยใช้การศึกษาเครื่องที่เป็นแบบ Airbus เท่านั้น

2.3 กำหนดวัสดุที่จะใช้ในการออกแบบ โดยอาศัยวัสดุที่มีในข้อมูลพื้นฐานของโปรแกรม สร้างภาพเสมือน

3. ศึกษาปฏิกิริยา คุณสมบัติและการปล่อยพลังงานของวัสดุที่เป็นเชื้อเพลิง

จากการสร้างรูปแบบบนโปรแกรม PyroSim เริ่มโดยเขียนคำสั่งสำหรับฐานข้อมูลของโปรแกรมสร้างภาพเสมือน FDS และ Smokeview เพื่อทดสอบคำสั่งที่นำมาใช้แสดงผลลัพธ์ของการสร้างแบบจำลองตรงตามความต้องการหรือไม่ ในที่นี้ทำการเลือกแบบทดสอบ 2 แบบ คือ

3.1 สร้างแบบจำลองของวัสดุประเภท CARPET ULPHOTERY และ PAPER เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีค่าความร้อนจากการเผาไหม้ (Heat of combustion; ΔH_c) ที่อยู่ในพิสัยระดับค่าสูง

3.2 สร้างแบบจำลองของห้องที่มีการเกิดไฟไหม้ลุกลาม (Flashover) เพื่อพัฒนาการนำไปใช้กำหนดระยะเวลาติดตั้งตัวจับความร้อนและหัวกระจายน้ำดับเพลิงสำหรับห้องเก็บสินค้าบนอากาศยานเพื่อการบริหารเกี่ยวกับการอัคคีภัยสำหรับห้องเก็บสินค้าบนอากาศยาน

4. ทดสอบความถูกต้องโครงสร้างฐานข้อมูล

4.1 สร้างห้องเก็บสินค้าบนอากาศยานที่มีต้นแบบที่มีการกำหนดโครงสร้างของฐานข้อมูล (Data structure) ตามข้อมูลของสถาบัน National Institute of Standards and Technology (NIST) ที่นำมาใช้เป็นโครงสร้างของห้อง เช่น พรหม ที่นั่งโดยสาร เพื่อพิจารณาอัตราการเผาไหม้และการกำหนดขอบเขตของห้องที่ต้องการ

4.2 การเลือกวัสดุที่ใช้ในการทดลองนี้ใช้วัสดุติดไฟประเภทเครื่องตกแต่งโดยมีการใช้วัสดุตกแต่ง พรหม และกล่องกระดาษเป็นต้นแบบของการสร้างเหตุการณ์จำลองการเผาไหม้

5. ศึกษาการใช้โปรแกรม Fire Dynamics Simulator (FDS)

ทำการประมวลผลข้อมูลที่เขียนตามคำสั่งที่สถาบัน NIST กำหนดบนเครื่องคอมพิวเตอร์ เพื่อให้ทำงานตามเงื่อนไขที่กำหนดโดยฐานข้อมูลที่ต้องการผลลัพธ์ คือ อุณหภูมิของความร้อนที่เกิดขึ้นในห้อง หน่วยเป็น องศาเซลเซียส และค่าฟลักความร้อนที่แผ่รังสีภายในห้อง หน่วยเป็น kW/m^2 รวมทั้งอัตราการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นเมื่อวัสดุถูกเผาไหม้ หน่วยเป็น kg/sec

6. ศึกษาการใช้โปรแกรม PyroSim ร่วมกับการใช้โปรแกรม FDS

ประยุกต์ใช้โปรแกรม PyroSim ร่วมกับโปรแกรม FDS เพื่อศึกษาการสร้างภาพเสมือนเพื่อการวิเคราะห์ผลการทดลองจะใช้ลักษณะการเคลื่อนที่ของไฟในพื้นที่ปิดล้อม(Encloser) และพื้นที่ที่เป็นแบบโซน (Zone Model) มาทำนายหรือคาดคะเนระดับความรุนแรงของอุณหภูมิ ความร้อน ค่าฟลักความร้อนที่แผ่รังสีและอัตราการเผาไหม้ส่งผลให้เกิดควันขึ้นภายในห้องเก็บสินค้าบนอากาศยานและดูกลامتต่อไปทั่วทั้งอากาศยาน ในช่วงเวลาที่กำหนดเพื่อวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดขึ้นและหามาตรการหรือแนวทางลดระดับความรุนแรงที่เกิดขึ้นจนถึงขั้นปลอดภัย

7. สร้างแบบจำลองที่สนใจ

สร้างแบบจำลองให้มีส่วนประกอบที่สำคัญให้ครบถ้วนและทดสอบด้วยการเผาไหม้ และนำผลวิเคราะห์ที่ได้จากการทดลองมาสรุปแนวทางเปรียบเทียบข้อกำหนดของกฎหมายและมาตรฐานของประเทศไทย ให้มีทิศทางที่สอดคล้องกับมาตรฐานสากลหรือให้อยู่ในระดับที่ผู้ใช้งานสามารถนำไปปฏิบัติได้อย่างสะดวกและปลอดภัย

8. วิเคราะห์ผลการทดลองและการทดสอบแบบจำลอง

การวิเคราะห์ผลการทดลองจะใช้ลักษณะการเคลื่อนที่และการลุกลามของเปลวไฟในพื้นที่ ปิดล้อมหรือภายในห้องเก็บสินค้าของอากาศยานมาทำนายและคาดคะเนระดับของการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิความร้อน ค่าฟลักความร้อนที่แผ่รังสีและอัตราการเผาไหม้ที่ส่งผลทำให้เกิดควัน ขยายลุกลามขึ้นไปบนห้องโดยสารบนอากาศยาน ในช่วงเวลาที่กำหนดและเป็นกรณีที่เป็นเหตุการณ์ที่เลวร้ายที่สุด

9. สรุปผลการทดลองและเขียนรายงาน

นำผลการวิเคราะห์ที่ได้จากการทดลองมาสรุปแนวทางเปรียบเทียบจากผลการวิจัยที่มี ใกล้เคียง และร่างมาตรฐานที่สอดคล้องกับมาตรฐานสากลหรือให้อยู่ในระดับที่ผู้ใช้งานสามารถนำไปปฏิบัติได้อย่างถูกต้องในกรณีที่มีการจัดลำเลียงหรือขนส่งสินค้าทางอากาศหรือกรณีที่เกิดเหตุฉุกเฉินขึ้นได้อย่างปลอดภัย

ผลการทดลองและวิจารณ์

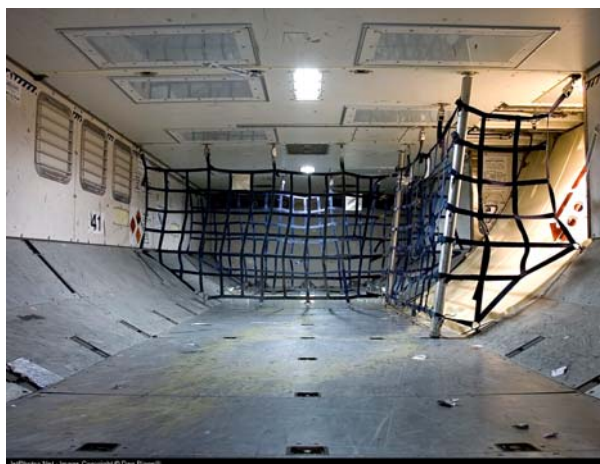
ลำดับขั้นตอนการดำเนินการเพื่อประยุกต์ใช้โปรแกรมสร้างภาพเสมือนในการวิเคราะห์ความเสี่ยงของอัตราการเผาไหม้ที่ส่งผลให้เกิดการเคลื่อนที่ของอุณหภูมิความร้อน ค่าฟลักความร้อนที่เกิดจากการแผ่รังสี การเคลื่อนที่ของควันไฟ โดยการดำเนินการทั้งหมดนี้ได้ทำการวิเคราะห์ผลการดำเนินการทั้งสิ้น 4 ขั้นตอนด้วยกัน คือ

1. วิเคราะห์และศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับห้องเก็บสินค้าบนอากาศยาน และที่เกี่ยวข้องกับอากาศยาน
2. การวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อน การแผ่รังสี โดยโปรแกรมสร้างภาพเสมือน
3. การนำโปรแกรมสร้างภาพเสมือนไปประยุกต์ใช้ในสร้างแบบจำลอง
4. การประยุกต์ใช้อุปกรณ์ตรวจจับความร้อนและเทอร์โมคัปเปิ้ล

ผลการทดลอง

1. วิเคราะห์และศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับห้องเก็บสินค้าบนอากาศยาน และที่เกี่ยวข้องกับอากาศยาน

ห้องเก็บสินค้าบนอากาศยานนั้น พบว่าการขนส่งทางอากาศจะต้องมีการนำสินค้าไปจัดเรียงบนอากาศยาน โดยในภาพที่ 27 เป็นภาพที่แสดงห้องเก็บสินค้าบนอากาศยาน โดยสินค้าส่วนมากจะอยู่ในรูปที่เป็นกล่องบรรจุภัณฑ์เรียบร้อยแล้ว (Packaging) และจะถูกบรรจุอยู่ในตู้คอนเทนเนอร์ หรือ ULD เรียบร้อย เพราะฉะนั้นถือว่ากล่องกระดาษเหล่านี้ถือว่าเป็นเชื้อเพลิงประเภท A ซึ่งมีโอกาสที่จะทำให้เกิดอัคคีภัยได้โดยง่าย รวมทั้งหากในกรณีที่มีการลุกลามของไฟขึ้นไปจนถึงห้องของผู้โดยสาร (Cabin) อาจทำให้มีความเสียหายจนถึงขั้นรุนแรงได้

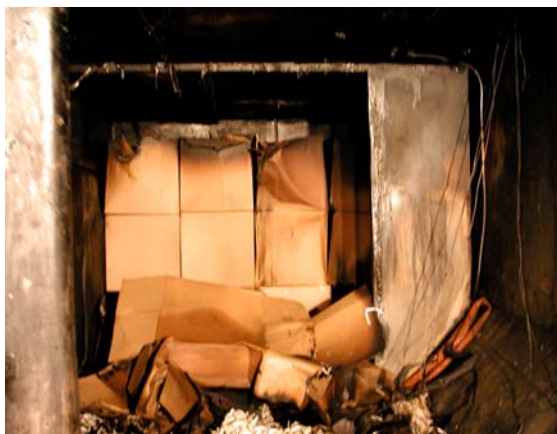


ภาพที่ 27 แสดงห้องเก็บสินค้าบนอากาศยาน

ที่มา: www.Jetphoto.Net (2005)

ดังนั้น โดยทั่วไปการจัดและลำเลียงสินค้าบนอากาศยานจะมีแผนการจัดเรียง (Load Plan) และมีการจัดการในเรื่องของสมดุล (Weight and Balance) ในการจัดเรียงสินค้าเพราะในกรณีที่จะเรียงไม่สมดุลอาจทำให้เครื่องบินเกิดพลิกคว่ำ ซึ่งเป็นอันตรายอีกชนิดหนึ่งนอกเหนือจากการเกิดอุบัติเหตุขึ้นที่ห้องเก็บสินค้าในอากาศยาน

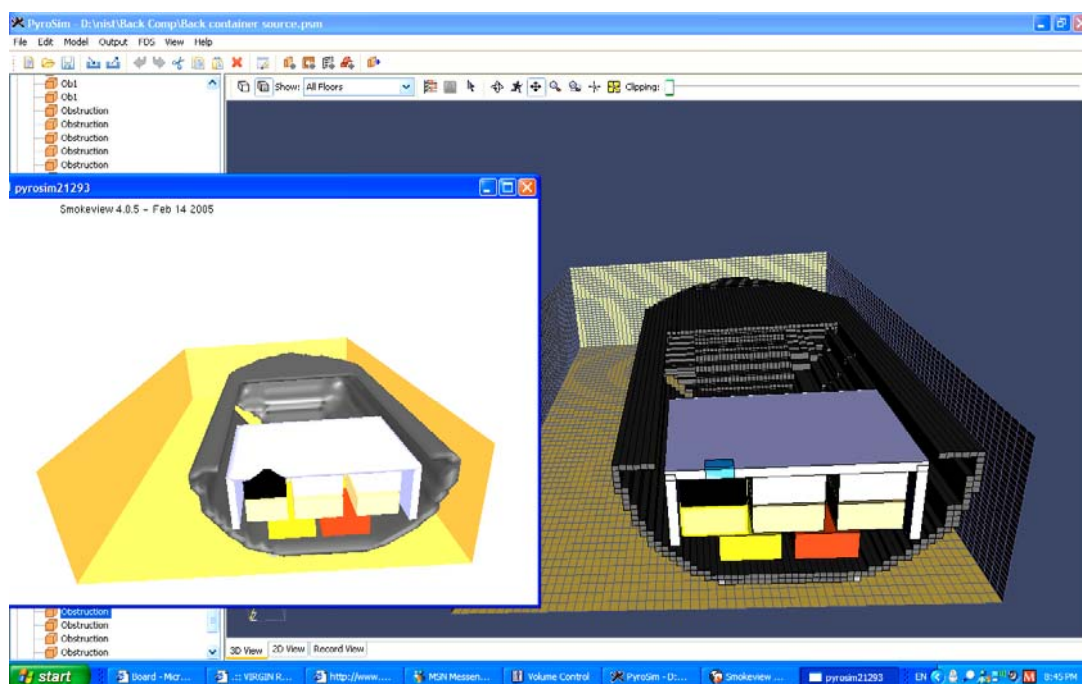
ทั้งนี้การจัดเรียงสินค้าดังกล่าวถ้าหากได้ทำการประเมินความเสี่ยงและพิจารณา พบว่าการเก็บสินค้าในอากาศยานหากไม่จัดเก็บสินค้าที่ง่ายต่อการเกิดอุบัติเหตุ หรือไปจัดเก็บรวมกับสินค้าอันตราย เช่น วัตถุไวไฟ อาจทำให้เป็นเชื้อเพลิงได้อย่างดีในกรณีที่เกิดการลุกติดไฟขึ้นภายในตู้คอนเทนเนอร์ ซึ่งมีลักษณะของการจัดเรียงสินค้าขึ้นภายในตู้คอนเทนเนอร์ตามภาพที่ 28 และเกิดเหตุเพลิงไหม้ขึ้นภายใน และจากการพิจารณาเพิ่มเติม พบว่าวัสดุที่ใช้สำหรับทำเป็นส่วนประกอบภายในลำตัวของอากาศยานเองก็มีส่วนที่เป็นไฟเบอร์กลาสเป็นส่วนประกอบ ดังนั้น หากกรณีที่มีเหตุเพลิงไหม้ขึ้นมาก็อาจทำให้ไฟลุกลามไปได้โดยง่าย ซึ่งผลจากเหตุผลดังกล่าวจึงทำให้ต้องมีการกำหนดระบบดับเพลิงที่มีความเที่ยงตรง และน่าเชื่อถือเพื่อให้การตรวจสอบวันและเปลวเพลิงทำได้อย่างรวดเร็ว และสามารถแจ้งให้กับกัปตันและลูกเรือได้รับทราบได้ทันเหตุการณ์ให้เร็วที่สุด เพื่อที่กัปตันจะได้ตัดสินใจเพื่อการสั่งการให้ระบบดับเพลิงทำงาน หรือนำอากาศยานลงจอดเพื่ออพยพผู้โดยสารลงจากอากาศยานไปสู่สนามบินที่ใกล้ที่สุด เพื่อลดความสูญเสีย และมีการตรวจสอบอุปกรณ์ที่ชำรุดและแก้ไขได้ทันทั่วทั้ง



ภาพที่ 28 แสดงสินค้าที่ถูกเก็บในตู้คอนเทนเนอร์และเกิดเหตุเพลิงไหม้ขึ้น

ที่มา: FAA (2005)

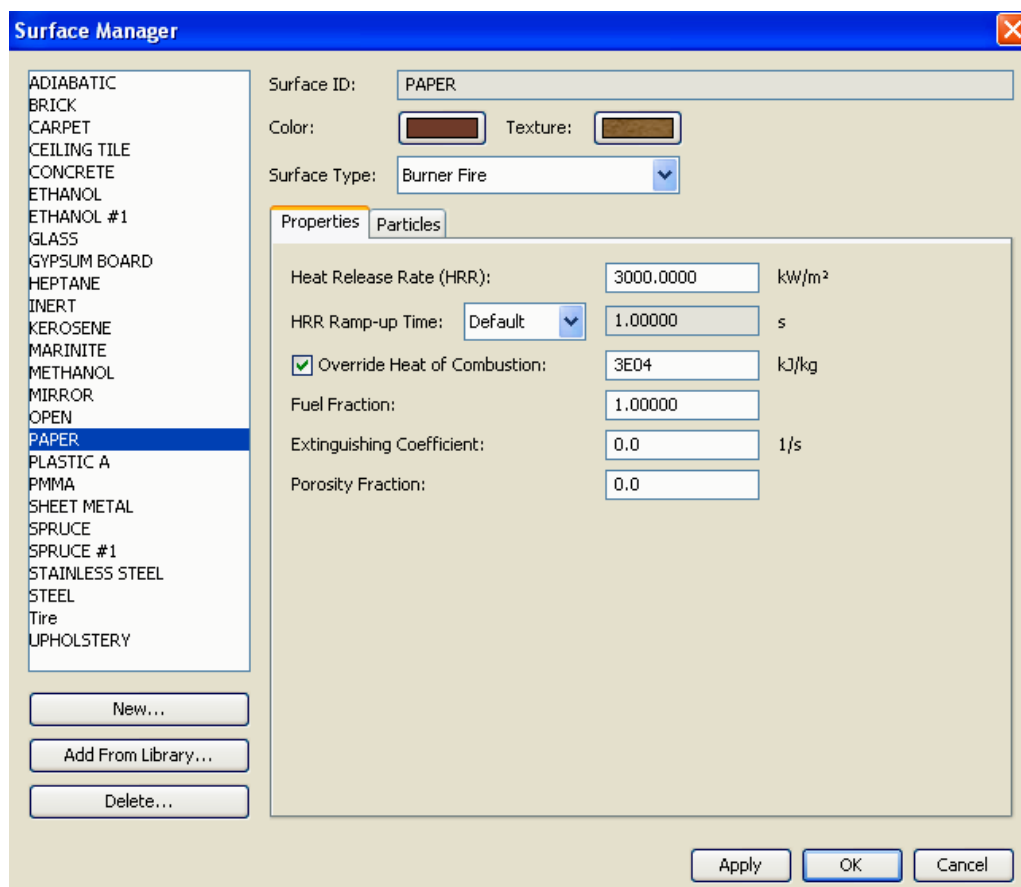
ในภาพที่ 28 แสดงให้เห็นว่าเพลิงไหม้ที่เกิดขึ้นในตู้คอนเทนเนอร์ ซึ่งพบว่ามีกระดาสที่เป็นเชื้อเพลิงประเภท A อยู่เป็นจำนวนมาก ดังนั้นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จึงได้สร้างแบบจำลองโดยกำหนดให้มีกล่องกระดาสบรรจุอยู่ในตู้คอนเทนเนอร์ และได้ผลจากการทดลองและสร้างแบบได้ผลตามภาพที่ 29 และเพื่อให้ผลของการสร้างภาพเสมือนมีการเปรียบเทียบและพิจารณาถึงผลลัพธ์ของการสร้างภาพเสมือนขึ้นมา จึงควรที่จะพิจารณาตัวอย่าง (Preview) เพื่อเป็นการตรวจสอบความเรียบร้อยที่จะดำเนินการในขั้นต่อไป โดยในภาพที่ 29 ได้แสดงผลการเปรียบเทียบการสร้างภาพเสมือนจากโปรแกรม PyroSim ที่เป็นหน้าต่างขึ้นมาทางด้านขวามือ และพิจารณาผลลัพธ์จากโปรแกรม Smokeview ทางด้านซ้ายมือ โดยในภาพเสมือนจริงได้สร้างตู้คอนเทนเนอร์ที่มีการบรรจุสินค้าอยู่เต็ม และต้องมีลักษณะผลลัพธ์ที่แสดงออกมามีลักษณะที่เหมือนกันและใกล้เคียงกับแบบจำลองของอากาศยานมากที่สุด



ภาพที่ 29 แสดงผลการสร้างห้องเก็บสินค้าบนอากาศยานที่มีตู้คอนเทนเนอร์บรรจุสินค้าอยู่เต็ม

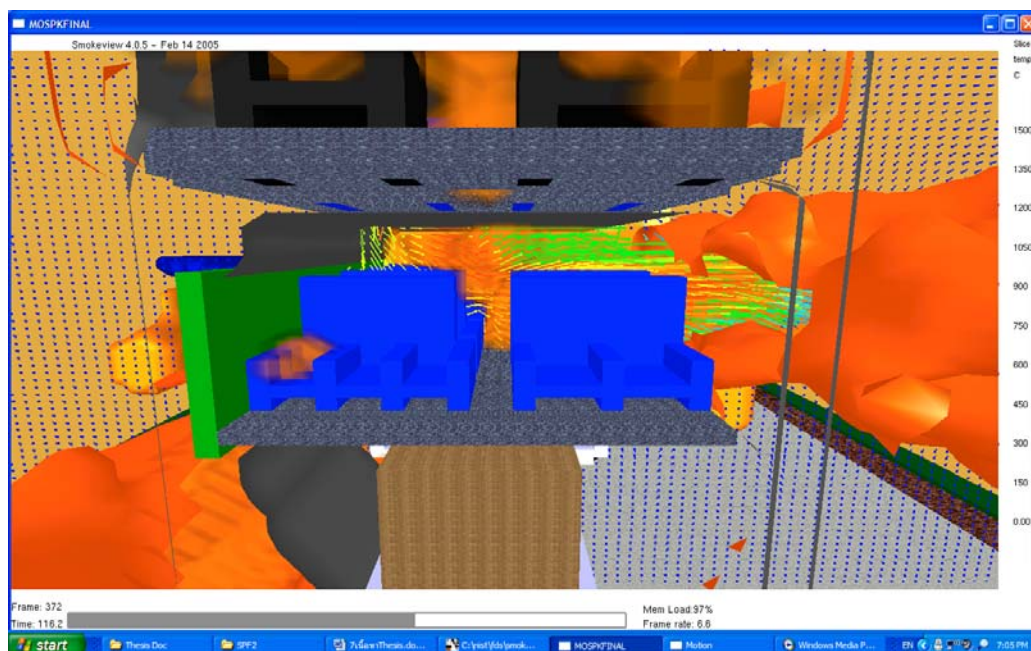
โดยที่ได้มีการกำหนดค่าการกระจายให้มีคุณสมบัติพื้นฐานตามที่ FDS กำหนดไว้ แต่ใช้การสร้างโดยกำหนดขนาดและคุณสมบัติพื้นฐานตามที่ในโปรแกรม PyroSim ที่เชื่อมโยงข้อมูลพื้นฐานจากคุณสมบัติของวัสดุพื้นฐานในโปรแกรม FDS ซึ่งในภาพที่ 30 ได้แสดงลักษณะข้อมูลดังรายละเอียดดังนี้

1. พื้นผิวเป็นกระดามีลักษณะพื้นผิว (Textrue) เป็นแบบสีน้ำตาล(Brown)
2. ชนิดของพื้นผิววัสดุ (Surface Type) เป็น Burner Fire
3. การลุกติดไฟของกระดากับ $3,000 \text{ kW/m}^2$
4. มีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิขณะลุกติดไฟทุก 1 วินาที
5. Override Heat of Combustion เท่ากับ $3.00\text{E}04 \text{ kJ/kg}$



ภาพที่ 30 แสดงคุณสมบัติของกระดานที่โปรแกรม PyroSim กำหนดเอาไว้ โดยอาศัยจากข้อมูลพื้นฐานที่โปรแกรม FDS กำหนดขึ้น

โดยหลังจากที่ได้สร้างเสร็จเรียบร้อยแล้วและทำการทดลองเผาในโปรแกรม Smokeview ปรากฏว่าการเผาไหม้และการลุกลามเป็นไปอย่างรวดเร็ว ซึ่งโดยทั่วไปการขนส่งและลำเลียงในปัจจุบันมักจะใช้กล่องกระดาษ และโฟมเป็นบรรจุภัณฑ์ ดังนั้นจากผลจะเห็นได้ว่าภายใน 1 นาทีการเผาไหม้ที่ห้องเก็บสินค้าส่วนหน้าจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นอยู่ที่ 600 – 900 องศาเซลเซียส และหากเพลิงลุกลามต่อไป จะลุกลามขึ้นไปในห้องโดยสารชั้นล่างที่อุณหภูมิสูงสุดที่ 1,190 องศาเซลเซียส และพัฒนาเพลิงต่อไปจนทำให้ห้องผู้โดยสารชั้นบนเกิดเหตุเพลิงไหม้และมีอุณหภูมิสูงสุดที่ 1,920 องศาเซลเซียส ซึ่งหากพิจารณาตามภาพที่ 31 จะแสดงให้เห็นสไลด์ของอุณหภูมิภายในห้องผู้โดยสารโดยจำแนกตามแถบสีด้านข้าง ซึ่งหากเกิดเหตุขึ้นและไม่สามารถดับไฟได้จะทำให้การลุกลามเป็นไปได้อย่างรวดเร็วและรุนแรง ทั้งนี้การกำหนดพื้นผิวของวัสดุที่มีอยู่ในข้อมูลพื้นฐานและคุณสมบัติพื้นฐานของชนิดพื้นผิววัสดุ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้รวบรวมข้อมูลทั้งหมดอยู่ในภาคผนวกที่ ข



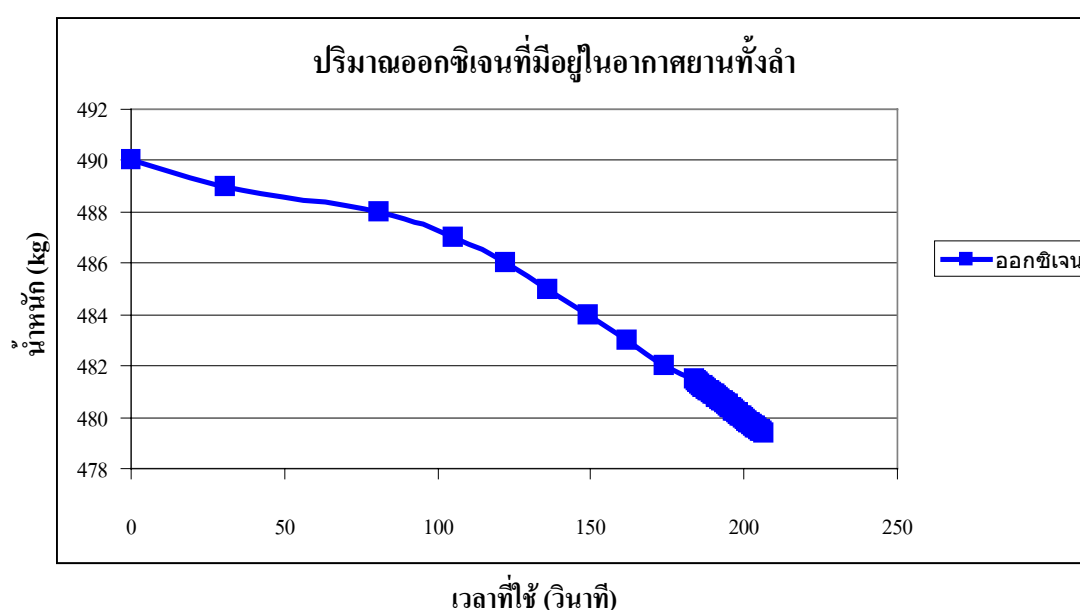
ภาพที่ 31 แสดงอุณหภูมิการเผาไหม้และการลุกลามของเพลิงที่รวดเร็วและรุนแรง เมื่อเกิดเพลิงไหม้ที่กล่องกระดาษที่เก็บอยู่ในห้องเก็บสินค้าในอากาศยานและลุกลามขึ้นด้านบนห้องของผู้โดยสาร โดยมีการแบ่งแยกอุณหภูมิตามแถบสี

2. การวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อน การแผ่รังสี โดยโปรแกรมสร้างภาพเสมือน

เมื่อเกิดการจุดติดไฟจนถึงการพัฒนาเป็นไฟที่เผาไหม้สมบูรณ์แล้ว การลามของไฟจะทำให้เกิดกระบวนการถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer) เมื่อวัสดุติดไฟได้อยู่ติดกัน การลามของไฟเป็นไปโดยการนำความร้อน แม้กระทั่งวัสดุติดไฟอยู่คนละห้อง แต่วางติดผนังซึ่งสามารถนำความร้อนได้ การลุกลามของไฟจากห้องหนึ่งไปอีกห้องหนึ่งสามารถเป็นไปได้อย่างง่ายดาย การลามโดยการพาความร้อน ทำได้โดยเปลวควัน แต่มักเกิดได้ในแนวดิ่ง ส่วนการลามโดยการแผ่รังสีความร้อน จะทำให้ไฟลามไปยังห้องผู้โดยสารด้านบนตามช่องเปิดและตามช่องส่งผ่านอากาศ รวมทั้งพื้นที่ซ่อนเร้นตามโครงสร้างของอากาศยาน การขยายตัวของไฟในระยะเริ่มต้นมักจะเป็นไปในแนวดิ่งมากกว่าในแนวราบ เมื่อเปลวไฟทำให้เกิดควันร้อนปกคลุมเป็นดอกเห็ดได้ห้องเก็บสินค้าบนอากาศยาน ควันร้อนเหล่านี้จะแผ่รังสีความร้อนลงมาปกคลุมทุกส่วนในห้อง ทำให้การเผาไหม้เกิดรวดเร็วขึ้น ในขณะเดียวกันออกซิเจนของอากาศภายในห้องจะถูกใช้ในการเผาไหม้จนหมดลง

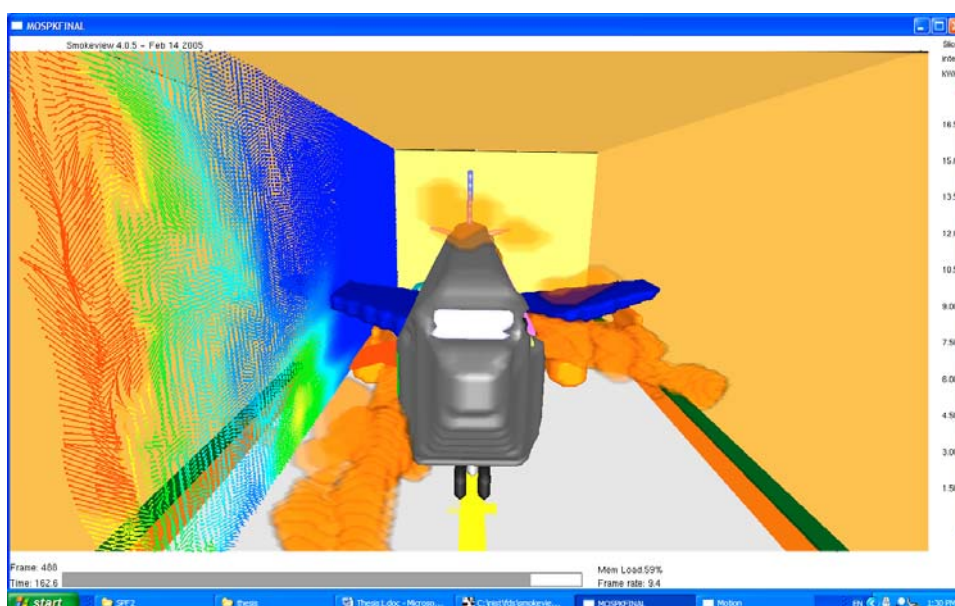
ผลการทดสอบโปรแกรมโดยให้แสดงผลออกมาในรูปของตารางที่อยู่ในรูปของกราฟ ผลปรากฏว่าสามารถสรุปได้ดังนี้

1. การลุกลามของเปลวไฟเป็นไปในลักษณะที่คงที่ เนื่องจากเชื้อเพลิงที่เป็นปัจจัยในการเผาไหม้เป็นวัสดุที่ง่ายต่อการติดไฟ ดังนั้น การเผาไหม้จึงเป็นลักษณะที่ต่อเนื่อง โดยภายหลังจากที่เกิดเหตุเพลิงไหม้ขึ้นที่ตู้คอนเทนเนอร์ที่อยู่ด้านใต้ของห้องเก็บสินค้าบนอากาศยาน ลักษณะของเพลิงไหม้ได้ขยายลุกลามขึ้นไปในห้องของผู้โดยสาร เพราะเนื่องจากมีเชื้อเพลิงที่เป็นพรม และเก้าอี้ รวมถึงเฟอร์นิเจอร์ซึ่งง่ายต่อการติดไฟตั้งแต่เริ่มจนถึงการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ซึ่งจากผลการทดลองยังพบว่ามีการใช้มวลของออกซิเจน มีลักษณะที่ลดลง ดังกราฟแสดงผลในภาพที่ 32 ดังนั้นหากไม่มีการเคลื่อนย้ายผู้โดยสารออกจากภายในเวลาประมาณ 3 นาที อาจทำให้มีผู้โดยสารเสียชีวิตภายในอากาศยานเป็นจำนวนมาก



ภาพที่ 32 แสดงลักษณะการใช้มวลของออกซิเจน

2. การแสดงผลในภาพที่ 33 เป็นการแสดงผลของการแผ่รังสีความร้อนไปที่ด้านข้างของอากาศยาน โดยกำหนดให้มีการแสดงผลที่แกน X ที่ค่า -263.34 เมตร เมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 162 วินาที และแสดงการแผ่รังสีความร้อนโดยมีหน่วยเป็น kw/m^2 ของการแผ่รังสี โดยแบ่งแยกได้ตามสี สีแดงมีค่ามากกว่า 16.5 kw/m^2 สีเหลืองมีค่าเท่ากับ 13.5 kw/m^2 สีเขียวมีค่าเท่ากับ 9.00 kw/m^2 สีฟ้ามีค่าเท่ากับ 4.50 kw/m^2 และสีน้ำเงินมีค่าน้อยกว่า 1.50 kw/m^2 โดยพบว่าบริเวณด้านข้างที่อยู่ด้านหน้าของอากาศยานมีการแผ่รังสีที่มากกว่า ด้านหลังของอากาศยาน



ภาพที่ 33 แสดงพลังงานการแผ่รังสีไปด้านข้างของอากาศยาน

นอกจากการประเมินผลจากจำลองการสร้างภาพเสมือนในกรณีที่เกิดเหตุเพลิงไหม้แล้ว หากพิจารณาถึงสภาพการทำงานจริง ในกรณีที่เกิดเหตุเพลิงไหม้ขึ้นจริงโดยมีจุดเกิดเหตุจากห้องเก็บสินค้าบนอากาศยานและมีการแผ่รังสีจากห้องเก็บสินค้าบนอากาศยานไปบริเวณพื้นที่ด้านข้าง ซึ่งจะต้องมีอุปกรณ์ที่ทำงานอยู่ข้างเครื่อง รวมทั้งมีพนักงานปฏิบัติงานอยู่ สามารถสรุปได้ว่าอุปกรณ์ที่อยู่ด้านข้างอากาศยานหรือพนักงานที่อยู่ด้านข้างจะต้องได้รับอันตรายจากความร้อนถึงขั้นรุนแรงได้

ซึ่งนอกจากผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลที่ FDS สามารถแสดงผลในรูปของกราฟที่สามารถแสดงด้วยโปรแกรม Microsoft Excel พบว่ามีผลลัพธ์ที่แสดงอยู่ในรูปของไฟล์ที่เปิดได้โดยโปรแกรม Notepad โดยที่โปรแกรมดังกล่าวโปรแกรม FDS จะดำเนินการสำเนาข้อมูลเก็บเอาไว้ในโฟลเดอร์เดียวกับที่ให้โปรแกรมประมวลผลลัพธ์ไว้ ซึ่งสามารถค้นหาได้โดยสังเกตได้จากไฟล์ที่มีนามสกุลเป็น .out ในโฟลเดอร์เดียวกันกับไฟล์ที่ประมวลผล ดังมีรายละเอียดดังนี้

1. ย่อหน้าที่ 1 ในโปรแกรม Notepad ที่ระบุว่า **Job ID string: MOSPKFINAL** หมายถึง ชื่อของไฟล์ที่เราให้ประมวลผลลัพธ์ และมีการบอกชื่อโปรแกรมและเวอร์ชันที่ใช้งานไว้

NIST Fire Dynamics Simulator

Compilation Date: February 11, 2005

Version Number : 4.05

Job TITLE :

Job ID string: MOSPKFINAL

2. ย่อหน้าที่ 2 ในโปรแกรม Notepad หมายถึง จำนวนเซลล์ของขนาดตามแนวแกน X แกน Y และแกน Z โดยที่จำนวนเซลล์เหล่านี้มีผลต่อการแสดงผลลัพธ์ ซึ่งหากผู้จัดทำต้องการให้มีความละเอียดของการแสดงผลมาก เช่น เปลวเพลิงและแบบจำลองภาพเสมือนต้องการให้มีการแสดงผลที่มีผิวเรียบและสมจริง ต้องกำหนดเซลล์ให้มีค่าสูงมากตามไปด้วย

Grid Dimensions, Mesh 1

Cells in the X Direction 108

Cells in the Y Direction 120

Cells in the Z Direction 135

3. ย่อหน้าที่ 3 หมายถึง ขนาดของพื้นที่ที่ผู้จัดทำได้ออกแบบในการทดลองประยุกต์ใช้โปรแกรมสร้างภาพเสมือน โดยมีความยาวเท่ากับ 1,240 เมตร ความกว้างเท่ากับ 800 เมตร และความสูงเท่ากับ 1,910 เมตร

Physical Dimensions, Mesh 1

Length (m)	1240.000
Width (m)	800.000
Height (m)	1910.000
Initial Time Step (s)	0.372

4. ย่อหน้าที่ 4 หมายถึง ข้อมูลทั่วไปที่เกี่ยวกับการจำลองเหตุการณ์พลศาสตร์อค์กีย ได้แก่ เวลาที่ใช้ในจำลองเหตุการณ์(Simulation Times) เท่ากับ 250 วินาที (s) และอุณหภูมิในบรรยากาศเท่ากับ 20 องศาเซลเซียส (°C) โดยที่ค่าเหล่านี้ ผู้จัดทำต้องพิจารณาถึงความเหมาะสมที่จะเกิดขึ้นจริง เช่น ถ้ากรณีที่สร้างแบบจำลองภาพเสมือนจริงและทำให้เกิดการเผาไหม้ขึ้น และทำการหยุดการกระทำซ้ำสำหรับการคำนวณลง และนำไปพิจารณาโดยการแสดงผลการทดลอง ปรากฏว่าการลุกลามของเพลิงไหม้ยังไม่ถึงขั้นที่สมบูรณ์ ต้องทำการเปลี่ยนเวลาในการทดสอบ ให้มีเวลามากขึ้นกว่าที่ได้กำหนด

Miscellaneous Parameters

Simulation Time (s)	250.000
LES Calculation	
Smagorinsky Constant (LES)	0.20
Turb. Prandtl Number	0.50
Turb. Schmidt Number	0.50
Ambient Temperature (C)	20.00

5. ย่อหน้าที่ 5 หมายถึง ขั้นตอนในการกระทำซ้ำเพื่อการคำนวณ ได้แก่ ผลจากการคำนวณ กระทำซ้ำไปมาเพื่อจำลองเหตุการณ์ไหม้ที่เคลื่อนที่และพัฒนาลูกกลมไปทั้งหมด 3,134 ครั้ง และเวลาที่ใช้ไปในการทดสอบครั้งสุดท้ายอยู่ที่ 183.97 วินาที (s)

Iteration 3134 February 3, 2006 15:23:04

CPU/step: 18.442 s, Total CPU: 1.11 hr

Time step: 0.03721 s, Total time: 183.97 s

Max CFL number: 0.92E+00 at (54, 34, 93)

Max divergence: 0.35E+01 at (71, 48, 98)

Min divergence: -.81E+01 at (71, 46, 98)

Background pressure: 1.14856 atm

Fire Resolution Index: 0.794

No. of Lagrangian Particles: 4947

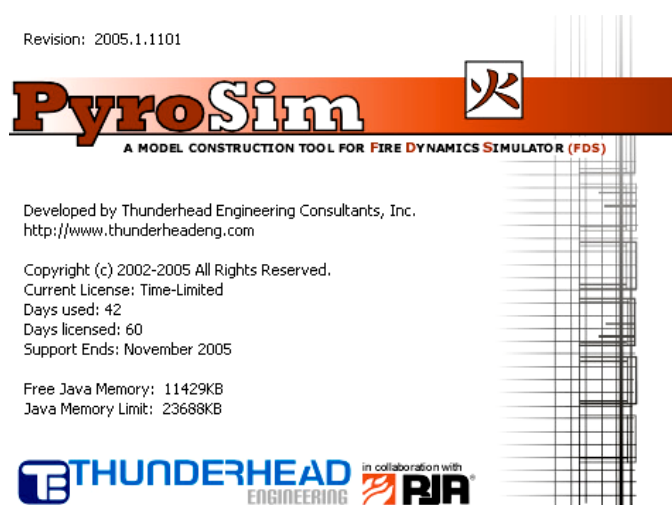
Radiation Loss to Boundaries: 534693087.147 kW

ดังนั้น หลังจากที่คอมพิวเตอร์ได้ทำการคำนวณซ้ำไปมา เพื่อให้ได้คำตอบที่น่าเชื่อถือ และผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงที่สุด และสถาบัน NIST เป็นสถาบันที่มีห้องวิจัย ในการทดสอบเกี่ยวกับเรื่องของการเผาไหม้โดยเฉพาะ ดังนั้น ข้อมูลที่ออกมาจึงเป็นที่น่าเชื่อถือ และได้รับการยอมรับจากนักวิจัยโดยทั่วไป และสามารถนำไปใช้อ้างอิงและประยุกต์ใช้ได้กับ งานจริง

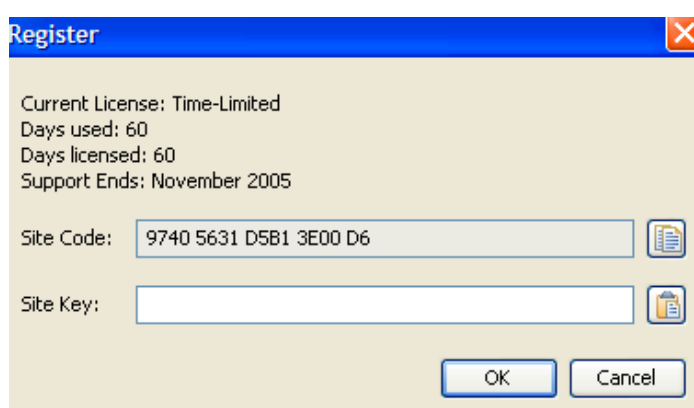
3. การนำโปรแกรมสร้างภาพเสมือนไปประยุกต์ใช้ในสร้างแบบจำลอง

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้มีการประยุกต์โปรแกรมที่ใช้สำหรับในการสร้างภาพเสมือน ในโปรแกรม Smokeview ซึ่งเรียกว่า โปรแกรม PyroSim โปรแกรม PyroSim เป็นโปรแกรม ที่คิดค้นโดย Thunderhead Engineer Consultant Incorporate ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้สำหรับสร้าง รูปแบบของการ Input File ของโปรแกรม FDS โดยเฉพาะ แต่เนื่องจากเป็นโปรแกรมที่ต้องมี การขอ License ในการใช้งาน และสามารถดาวน์โหลดเวอร์ชันทดลองใช้งานได้ 30 วันฟรีได้ที่ เว็บไซต์ <http://www.thunderheadeng.com>

สำหรับการตรวจสอบข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับการใช้งานโปรแกรมให้ไปเลือกที่เมนูบาร์ (Menu Bar) ในที่คำสั่ง Help และให้เลือก About ซึ่งจะแสดงข้อมูลของโปรแกรม PyroSim เหมือนกับในภาพที่ 34 ที่คิดค้นโดยบริษัทใด และมีการใช้งานไปแล้วทั้งสิ้น 42 วัน มีระยะเวลาในการขออนุญาตใช้งานอยู่ที่ 60 วัน ส่วนภาพที่ 35 แสดงถึงส่วนที่จำกัดทะเบียนและหากต้องการต่อเวลาในการใช้งานต้องชำระเงินเพื่อรับ Site key มาพิมพ์เข้าไปเพื่อต่ออายุการใช้งานต่อไป



ภาพที่ 34 รายละเอียดเบื้องต้นของโปรแกรม PyroSim



ภาพที่ 35 แสดงระยะเวลาที่ใช้โปรแกรมตั้งแต่วันที่เริ่มใช้งานจนถึงวันหมดอายุและช่อง Site Key สำหรับใส่รหัสในการต่ออายุ

ทั้งนี้ทางผู้จัดทำได้ดำเนินการติดต่อ เพื่อขอใช้เพื่อการศึกษาตามรายละเอียดที่แสดงในรูปภาพที่ 36 ดังนั้นทาง Thunderhead Engineer จึงได้อนุญาตให้ใช้ License ต่อไปอีก 60 วัน แต่ทั้งนี้ภายหลังจากที่ได้หมด License ไปแล้ว หากต้องการที่จะติดตั้งใหม่จะต้องขอ Site Key เพื่อขอใช้งานต่อไป ซึ่งมีค่าใช้จ่ายที่ค่อนข้างสูง รวมทั้งข้อควรระวังในการใช้งานก็คือ กรณีที่เราทำการ Uninstall และจะไป Install ใหม่ เพื่อตั้งเวลาการใช้งานใหม่นั้นไม่สามารถทำได้

การประยุกต์ใช้โปรแกรม PyroSim เพื่อนำมาออกแบบโดยอาศัยหลักการเบื้องต้นของวิศวกรรมการบิน วิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย และวิศวกรรมความปลอดภัย มาช่วยเพื่อให้การออกแบบให้มีความใกล้เคียงที่สุด โดยอาศัยข้อมูลพื้นฐานที่มีอยู่ของโปรแกรม PyroSim ร่วมกับ FDS นั้น ต้องคำนึงถึงผลลัพธ์ที่ได้จากการออกแบบ ต้องมีการแสดงผลออกของการออกแบบให้เป็นไปอย่างใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด เพราะต้องการให้การออกแบบมีขนาดใหญ่และมีความละเอียดในการคำนวณ โดยจากการทดลองสร้างแบบจำลองเริ่มจากแบบจำลองขนาดเล็ก และทำการทดสอบให้มีการลุกติดไฟขึ้น พบว่าภาพที่ออกมามีความหยาบมาก รวมทั้งการลุกลามของไฟและควันไม่มีความสมจริง ดังนั้นผู้จัดทำได้กำหนดมาตรฐานสำหรับการออกแบบที่ 1:10 ดังภาพที่ 36



ภาพที่ 36 แสดงอัตราส่วนของการออกแบบอากาศยานกับการประยุกต์ใช้โปรแกรม

ที่มา: <http://www.Aerosite.net>

สำหรับขนาดของพื้นที่ที่ใช้ในการคำนวณ และจำนวนเซลล์ Grid ที่กำหนดไว้ตามแนวของแกน X, Y และแกน Z ที่ได้กำหนดไว้ คือ แกน X มีขนาดความกว้างตั้งแต่ -470 ถึง 770 แกน Y มีความยาวตั้งแต่ -100 ถึง 700 และ แกน Z มีความสูงตั้งแต่ -600 จนถึง 1,310 โดยทั้งหมดมีหน่วยเป็นเมตร และสำหรับจำนวนเซลล์ Grid ทั้งหมด คือ แกน X มีจำนวนเท่ากับ 108 เซลล์ แกน Y มีจำนวนเท่ากับ 120 เซลล์ และแกน Z มีจำนวน 135 เซลล์ ดังรายละเอียดจากข้อมูลด้านล่าง

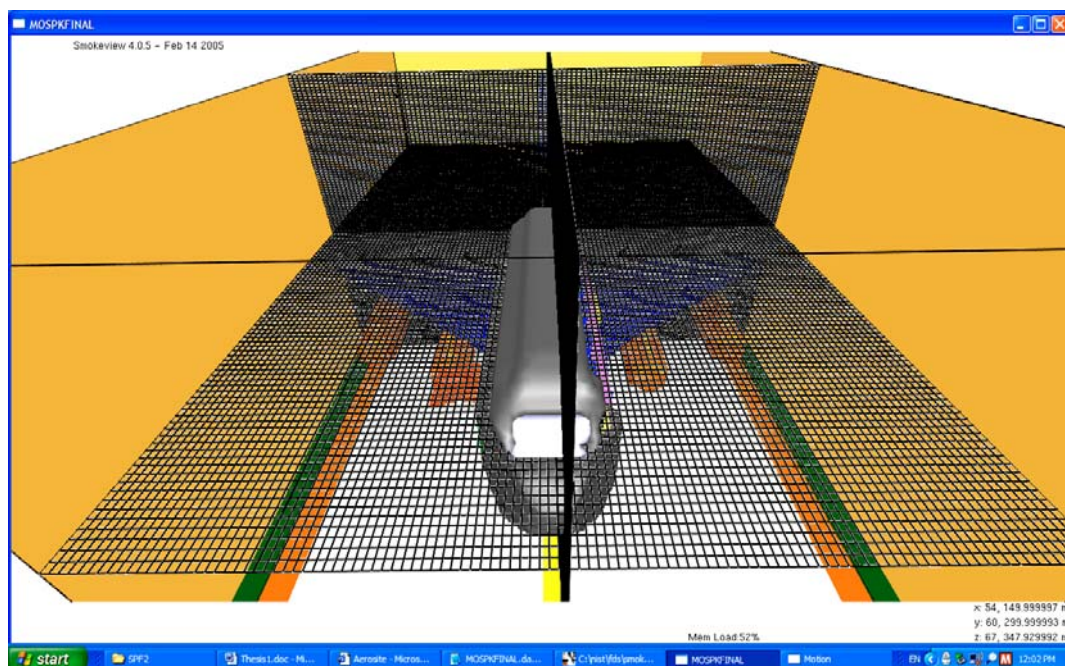
&GRID IBAR=108 JBAR=120 KBAR=135/ Compartment

&PDIM XBAR0=-470.00 YBAR0=-100.00 ZBAR0=-600.00 XBAR=770.00

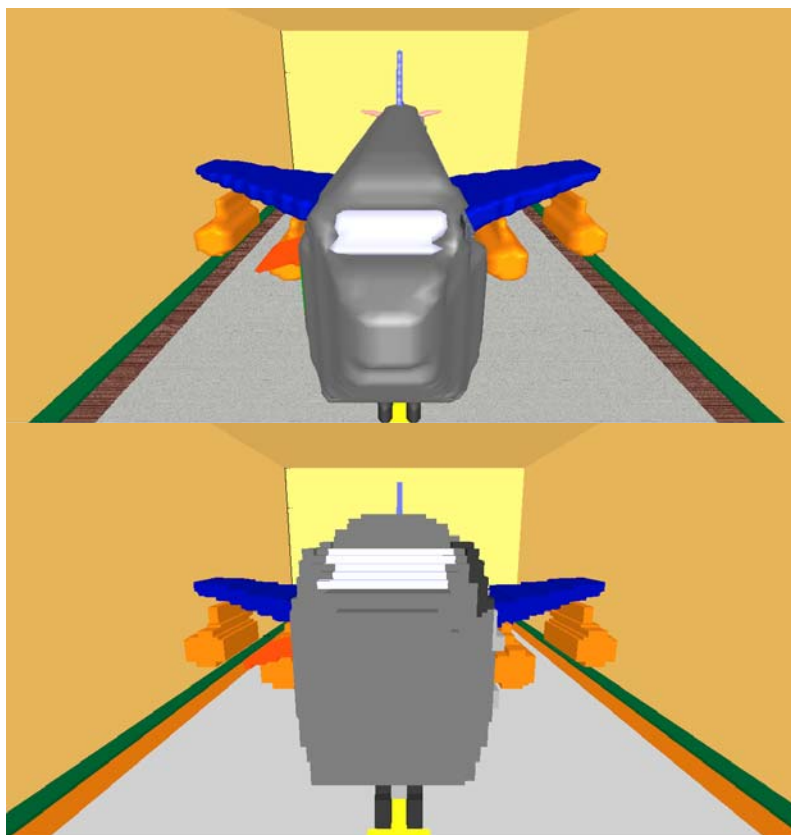
YBAR=700.00 ZBAR=1.310000E003/ Compartment

ซึ่งจากการกำหนดพื้นที่ที่ใช้ในการออกแบบและคำนวณและใช้ความละเอียดของเซลล์ Grid ที่เพียงพอ จึงส่งผลให้การคำนวณออกมาทำให้การสร้างแบบจำลองภาพเสมือนจริงค่อนข้างมีความราบเรียบและดูสมจริงมากที่สุด ซึ่งในภาพที่ 37 ได้แสดงให้เห็นถึงผลของการใช้คำสั่งแสดงเซลล์ Grid ทั้งตามแนวแกน X, แกน Y และแกน Z

ทั้งนี้วิธีการกำหนดให้พื้นผิวของวัตถุที่แสดงในโปรแกรม Smokeview มีการแสดงผลออกมาไม่เป็นรูปสี่เหลี่ยม สามารถทำได้โดยในคำสั่งของ Obstruction ที่กำหนดไปนั้นจะต้องเขียนคำสั่งเพิ่มเติมโดยใช้คำสั่ง SAWTOOTH=FALSE. จะทำให้การแสดงผลของพื้นผิวมีความเรียบและไม่เป็นสี่เหลี่ยม ดังแสดงในภาพที่ 38 ที่เป็นการเปรียบเทียบการใช้คำสั่ง SAWTOOTH และไม่ใช้คำสั่ง



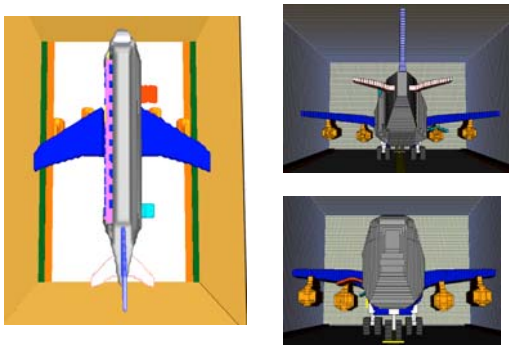
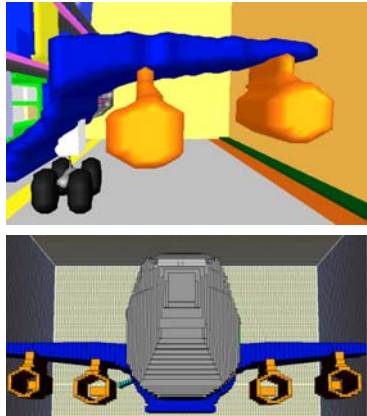
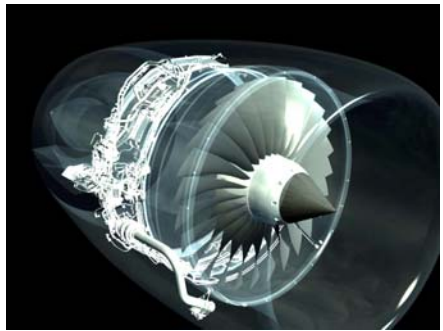
ภาพที่ 37 แสดงพื้นที่ที่ใช้ในการคำนวณและการแสดงเซลล์ Grid ที่กำหนดขึ้น



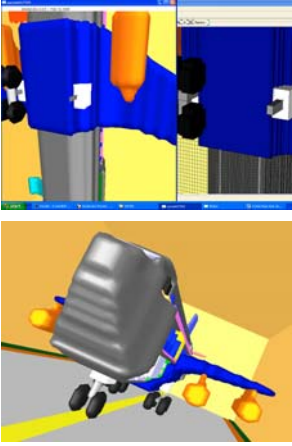
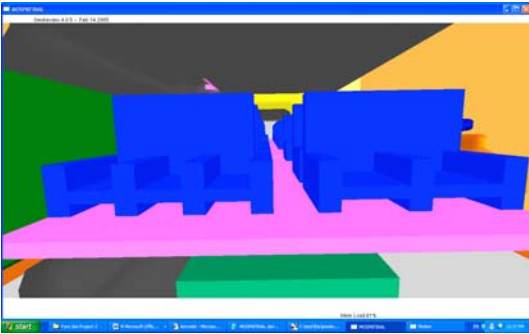
ภาพที่ 38 ภาพด้านบนการใช้คำสั่ง SAWTOOTH=.FALSE. เพื่อให้ภาพเสมือนออกมา
มีความเรียบ เปรียบเทียบกับภาพด้านล่างเป็นภาพที่ไม่ใช้คำสั่งดังกล่าว

เพื่อให้เกิดความชัดเจนสำหรับการออกแบบ ที่ผู้จัดทำได้ดำเนินการสร้างภาพเสมือน
ของอากาศยาน และเปรียบเทียบให้เห็นถึงส่วนประกอบของอากาศยานให้ชัดเจนยิ่งขึ้น
ดังมีรายละเอียดตามตารางที่ 5

ตารางที่ 5 แสดงการเปรียบเทียบการประยุกต์ใช้โปรแกรมสร้างภาพเสมือนของอากาศยาน

ภาพของส่วนประกอบของอากาศยาน	ภาพแสดงการสร้างภาพเสมือนอากาศยาน
1. ลำตัวและปีกของอากาศยาน 	
2. เครื่องยนต์อากาศยาน 	
3. ห้องเก็บสินค้าภายในอากาศยาน 	

ตารางที่ 5 (ต่อ)

ภาพของส่วนประกอบของอากาศยาน	ภาพแสดงการสร้างภาพเสมือนอากาศยาน
4. ล้อ 	
5. ห้องโดยสาร 	

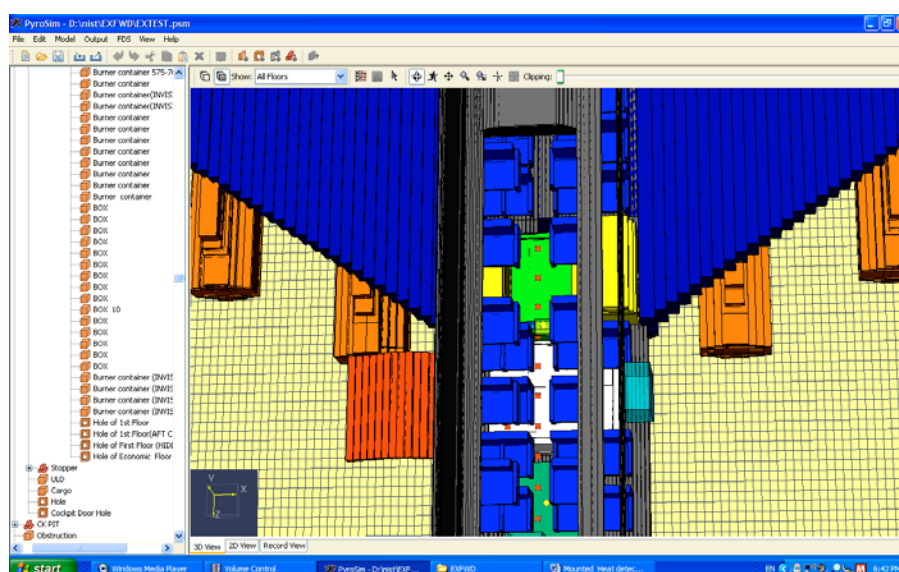
ผลการออกแบบและประยุกต์ใช้โปรแกรมในการสร้างภาพเสมือนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้ทำการออกแบบทั้งอุปกรณ์ตกแต่งภายในและภายนอกลำตัวของอากาศยานได้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงที่สุดเท่าที่ความละเอียดของเซลล์ Grid ที่กำหนดขึ้นจะสามารถทำได้ จึงทำให้ผลการทดลองมีความใกล้เคียงกับความจริงมากที่สุด นอกจากการกำหนดเซลล์ให้มีความละเอียดมาก เพื่อให้แสดงผลออกมาให้สมจริงแล้ว สิ่งที่ต้องคำนึงถึง คือ การกำหนดจำนวนเซลล์ของ Grid ที่เรากำหนดขึ้น มีความละเอียดมากขึ้นเท่าใด จะทำให้การคำนวณโดยคอมพิวเตอร์มีระยะเวลานานมากขึ้นตามจำนวนความละเอียดของเซลล์ Grid

4. การประยุกต์ใช้อุปกรณ์ตรวจจับความร้อนและเทอร์โมคัปเปิล

อุปกรณ์ตรวจจับความร้อนและเทอร์โมคัปเปิลเป็นส่วนประกอบที่สำคัญที่จะทำให้ผลของการประมวลผลในโปรแกรมสามารถบันทึกค่าผลการทดลองเพื่อวัดค่าต่างๆ ออกมาแสดงผลได้ ดังนั้นในวิทยานพนธ์ฉบับนี้จึงได้ทำการติดตั้งให้ครอบคลุมพื้นที่ภายในอากาศยาน และพื้นที่ทั้งหมดของพื้นที่ที่นำมาคำนวณโดยได้ทำการติดตั้งและแสดงผลของการติดตั้งเป็นข้อมูลในโปรแกรม Notepad ดังนี้

4.1 ข้อมูลการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับความร้อน โดยในโปรแกรม PyroSim จะใช้จุดสี่เหลี่ยมสีแดงแทนจุดที่ทำการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับความร้อน ดังแสดงในภาพที่ 39 เพื่อเป็นการชี้บ่งให้ทราบถึงจุดที่ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับความร้อน ซึ่งในการประมวลผลในโปรแกรม FDS จะแสดงรายละเอียดในรูปแบบของไฟล์โปรแกรม Notepad ที่ใช้เพื่อการระบุตำแหน่งของ Heat Detector เช่น คำสั่ง XYZ=64,33,83 เป็นการแสดงว่ามีการติดตั้ง Heat Detector ที่ตำแหน่ง X=64 , Y=33 , Z=83

&HEAT XYZ=164.00, 133.00, 830.00 RTI=132.00 ACTIVATION_TEMPERATURE=70.00
LABEL='Row 4-7/'



ภาพที่ 39 แสดงตำแหน่งจุดที่มีการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับความร้อนซึ่งแทนด้วยจุดสี่เหลี่ยม

สีแดงสำหรับความหมายของรายละเอียดข้อมูลจากไฟล์ในโปรแกรม Notepad มีดังนี้

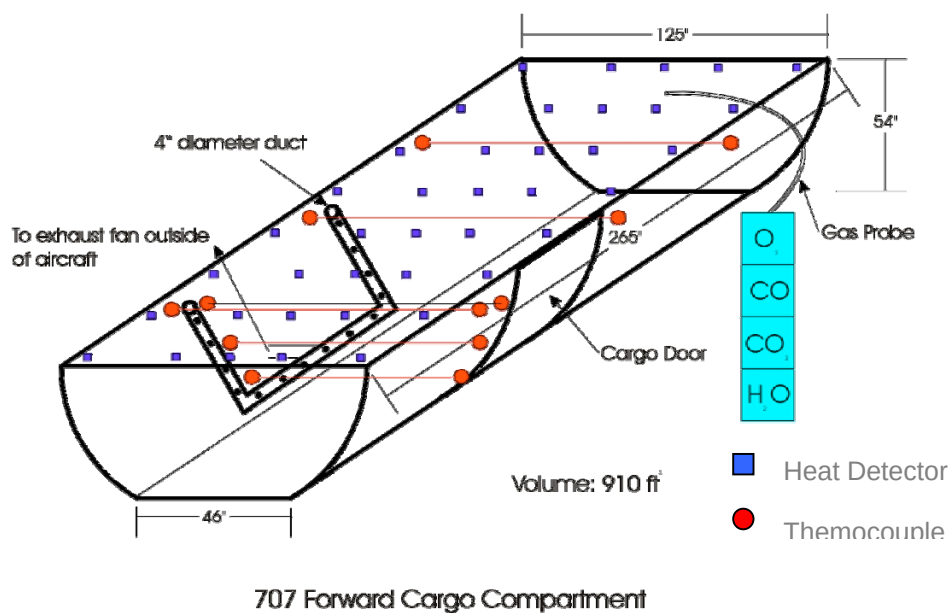
4.1.1 HEAT XYZ=164.00, 133.00, 830.00 คือ ตำแหน่งที่ทำการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับความร้อน ได้แก่ จุดที่แกน X เท่ากับ 164 เมตร, แกน Y เท่ากับ 133 เมตร และแกน Z เท่ากับ 830 เมตร

4.1.2 RTI=132.00 คือ Respose Time Index in Unit

4.1.3 ACTIVATION_TEMPERATURE=70.00 อุณหภูมิที่ให้อุปกรณ์ตรวจจับความร้อนเริ่มทำงานเพื่อส่งสัญญาณไปยังอุปกรณ์แจ้งเหตุและระบบดับเพลิง

4.1.4 LABEL='Row 4-7/' ฉลากชื่อของอุปกรณ์ตรวจจับความร้อน

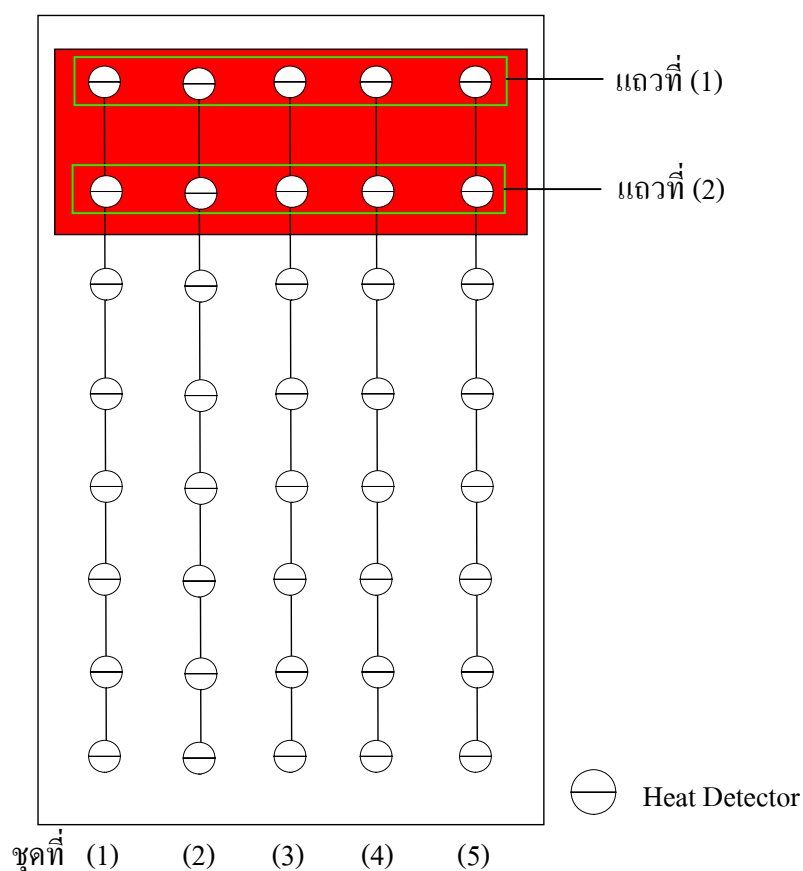
ในภาพที่ 40 เป็นการแสดงถึงจุดที่มีการติดตั้งอุปกรณ์ Heat Detector บนเครื่องบินแบบ Boeing 707 หรือ B707 ซึ่งจากการเทียบเคียงกับงานวิจัยที่มีการติดตั้ง Heat Detector ในลักษณะดังกล่าว เพื่อทดสอบว่าความไวในการตรวจจับความร้อนในห้องเก็บสินค้าบนอากาศยานส่วนหน้าจะสามารถจับได้ในระยะเวลาที่เท่าใด



ภาพที่ 40 จุดที่มีการติดตั้ง Heat Detector บนเครื่องบินแบบ B707

ที่มา: FAA (2005)

จากการแสดงในภาพที่ 41 จุดที่มีการติดตั้ง Heat Detector โดยมีรายละเอียดในการติดตั้ง ดังนี้ คือ ระยะห่างระหว่าง Detector กับผนังหรือลำตัวของอากาศยาน คือ 18 นิ้ว ดังนั้นจากการออกแบบที่อ้างอิงมีการติดตั้งทั้งสิ้น 40 ชุด ดังแสดงในภาพที่ 41 แสดงตำแหน่งการติดตั้ง Heat Detector โดยมีสีเหลี่ยมสีแดงเป็นสัญลักษณ์บนแผนที่เป็นแหล่งกำเนิดอัคคีภัย และให้มีอุปกรณ์ตรวจจับที่วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ใช้แนวทางที่มีการติดตั้ง Heat Detector มาเป็นแบบอยู่ด้านบน และจำลองเหตุการณ์ให้มีการเกิดอัคคีภัยในบริเวณดังกล่าวที่เกิดขึ้น ซึ่งจะให้ Heat Detector ที่อยู่ในตำแหน่งแนวนอนเป็นแถวที่ (1) และแถวที่ (2) และในแนวดิ่งแทนตำแหน่งชุดที่ (1) ถึง ชุดที่ (5) เป็นอุปกรณ์ตรวจจับและแสดงผล



ภาพที่ 41 แผนผังการจัดวางตำแหน่ง Heat Detector และอุปกรณ์ตรวจจับที่นำมาใช้แสดงผล

จากการติดตั้งอุปกรณ์ในตำแหน่งอ้างอิงจากการทดลองสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 42 และภาพที่ 43 ซึ่งพบว่ามี Heat Detector ในแถวที่ 1 ชุดที่ 4 และในแถวที่ 2 ชุดที่ 5 มีการตรวจจับได้เป็นเวลาที่ช้าที่สุดเมื่อเทียบกับอุปกรณ์ชุดอื่นๆ ในแถวเดียวกัน คือ ในแถวที่ 1 ชุดที่ 4 ตรวจจับได้ที่เวลาประมาณ 140 วินาที ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส (เส้นสีม่วง) ส่วนในแถวที่ 2 ชุดที่ 5 ตรวจจับได้ที่เวลาประมาณ 140 วินาที ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ซึ่งไม่เป็นไปตามกฎเกี่ยวกับการบินพลเรือนที่กำหนดให้อุปกรณ์ตรวจจับต้องควั่นและความร้อนภายใน 1 นาที

โดยใช้คำสั่งที่ใช้ทดสอบสำหรับการติด Heat Detector ที่ติดอยู่บนตู้คอนเทนเนอร์
ในส่วนที่แรงงาที่สร้างในโปรแกรม PyroSim ดังนี้

1. คำสั่งสำหรับการติดตั้ง Heat Detector แถวที่ 1 ชุดที่ 1

```
&HEAT XYZ=44.00, 133.00, 590.00 RTI=132.00 ACTIVATION_TEMPERATURE=70.00  
LABEL='Row 1-1'/
```

2. คำสั่งสำหรับการติดตั้ง Heat Detector แถวที่ 1 ชุดที่ 2

```
&HEAT XYZ=84.00, 133.00, 590.00 RTI=132.00 ACTIVATION_TEMPERATURE=70.00  
LABEL='Row 1-2'/
```

3. คำสั่งสำหรับการติดตั้ง Heat Detector แถวที่ 1 ชุดที่ 3

```
&HEAT XYZ=124.00, 133.00, 590.00 RTI=132.00 ACTIVATION_TEMPERATURE=70.00  
LABEL='Row 1-3'/
```

4. คำสั่งสำหรับการติดตั้ง Heat Detector แถวที่ 1 ชุดที่ 4

```
&HEAT XYZ=164.00, 133.00, 590.00 RTI=132.00 ACTIVATION_TEMPERATURE=70.00  
LABEL='Row 1-4'/
```

5. คำสั่งสำหรับการติดตั้ง Heat Detector แถวที่ 1 ชุดที่ 5

```
&HEAT XYZ=204.00, 133.00, 590.00 RTI=132.00 ACTIVATION_TEMPERATURE=70.00  
LABEL='Row1-5'/
```

6. คำสั่งสำหรับการติดตั้ง Heat Detector แถวที่ 2 ชุดที่ 1

&HEAT XYZ=44.00, 133.00, 630.00 RTI=132.00 ACTIVATION_TEMPERATURE=70.00
LABEL='Row 2-1'/

7. คำสั่งสำหรับการติดตั้ง Heat Detector แถวที่ 2 ชุดที่ 2

&HEAT XYZ=84.00, 133.00, 630.00 RTI=132.00 ACTIVATION_TEMPERATURE=70.00
LABEL='Row 2-2'/

8. คำสั่งสำหรับการติดตั้ง Heat Detector แถวที่ 2 ชุดที่ 3

&HEAT XYZ=124.00, 133.00, 630.00 RTI=132.00 ACTIVATION_TEMPERATURE=70.00
LABEL='Row 2-3'/

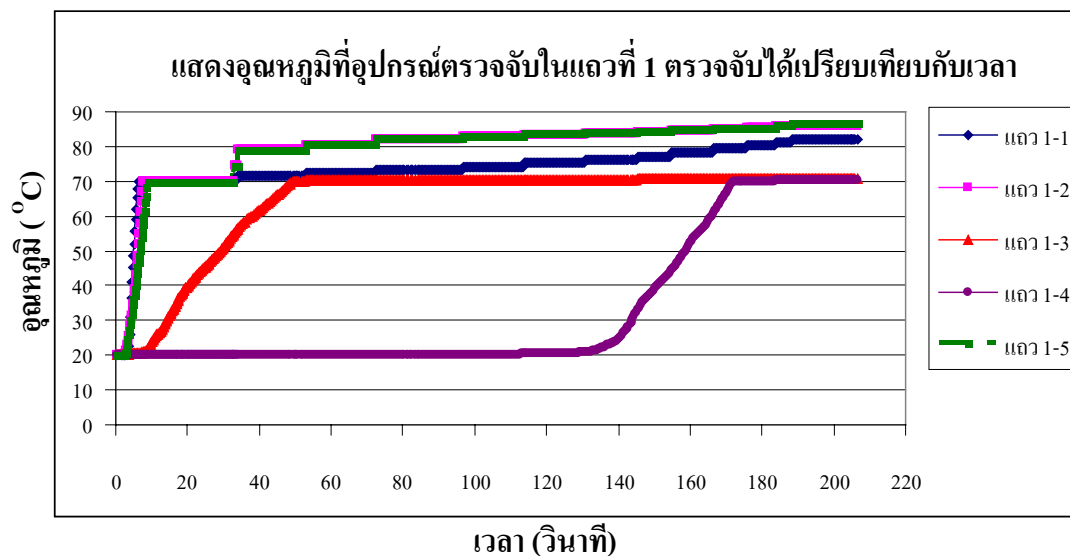
9. คำสั่งสำหรับการติดตั้ง Heat Detector แถวที่ 2 ชุดที่ 4

&HEAT XYZ=164.00, 133.00, 630.00 RTI=132.00 ACTIVATION_TEMPERATURE=70.00
LABEL='Row 2-4'/

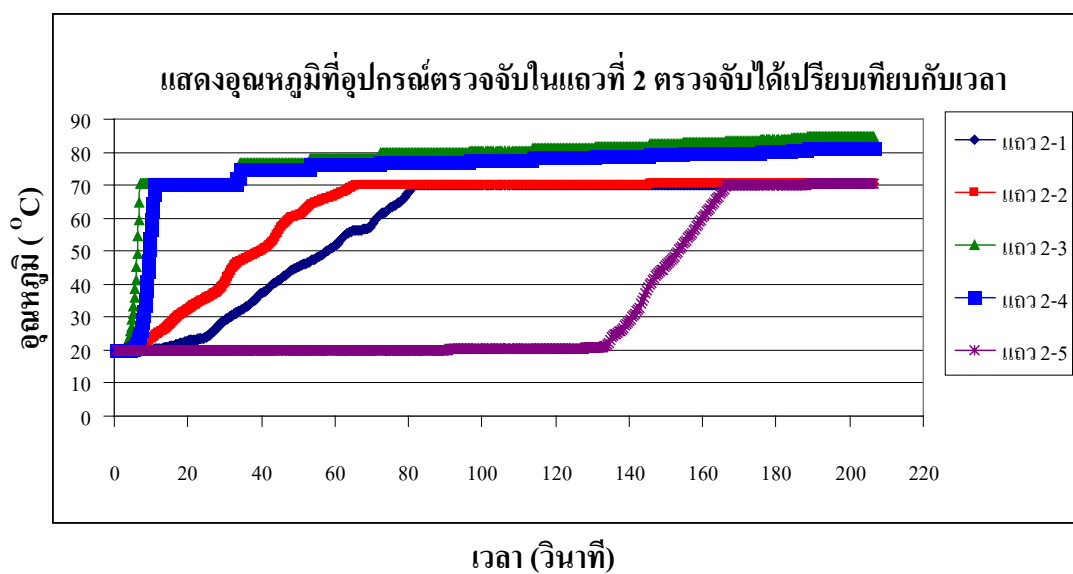
10. คำสั่งสำหรับการติดตั้ง Heat Detector แถวที่ 2 ชุดที่ 4

&HEAT XYZ=204.00, 133.00, 630.00 RTI=132.00 ACTIVATION_TEMPERATURE=70.00
LABEL='Row1-5'/

ผลของกราฟที่แสดงอุณหภูมิในภาพที่ 42 และภาพที่ 43 แสดงให้เห็นถึงการเปรียบเทียบของอุณหภูมิที่ Heat Detector สามารถจับได้ ซึ่งในกรณีนี้จะเห็นได้ว่า Heat Detector ชื่อ แถว 1-4 และ แถว 2-5 เป็น Detector ที่จับความร้อนได้เกินกว่า 1 นาที ซึ่งทำให้การตรวจจับควันไม่เป็นไปตามข้อกำหนดขององค์การการบินพลเรือนระหว่างประเทศ

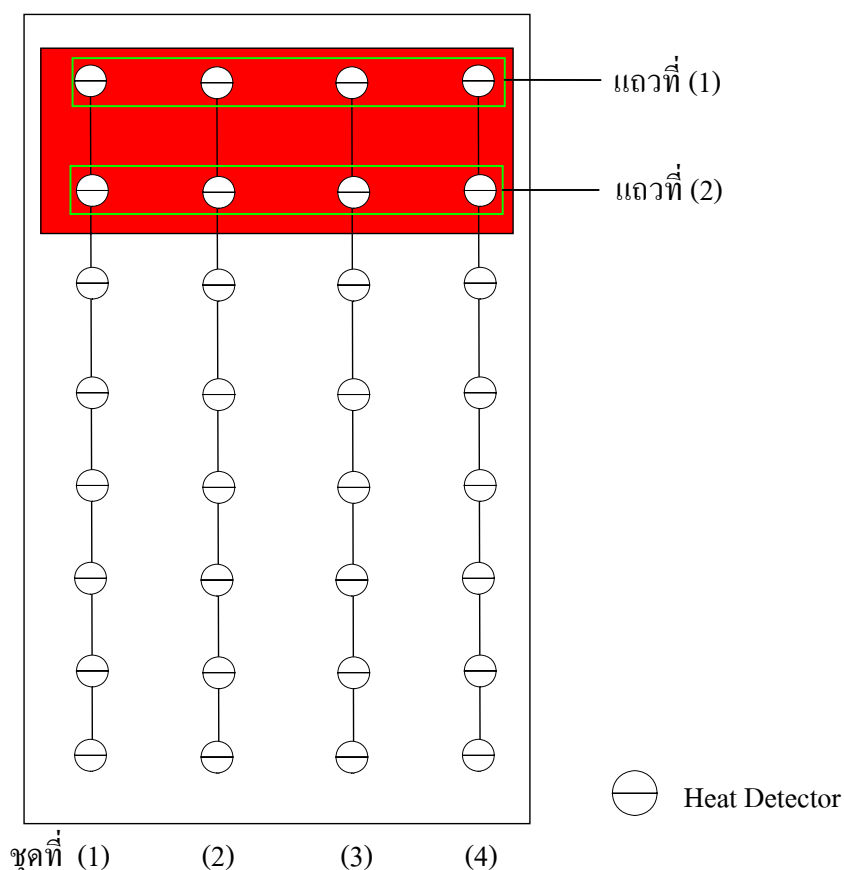


ภาพที่ 42 แสดงผลของอุปกรณ์ตรวจจับในแถวที่ 1 ชุดที่ 4 (แถว 1-4) ที่มีการตรวจจับได้ที่เวลา 140 วินาที



ภาพที่ 43 แสดงผลของอุปกรณ์ตรวจจับในแถวที่ 2 ชุดที่ 5 (แถว 2-5) ที่มีการตรวจจับได้ที่เวลา 140 วินาที

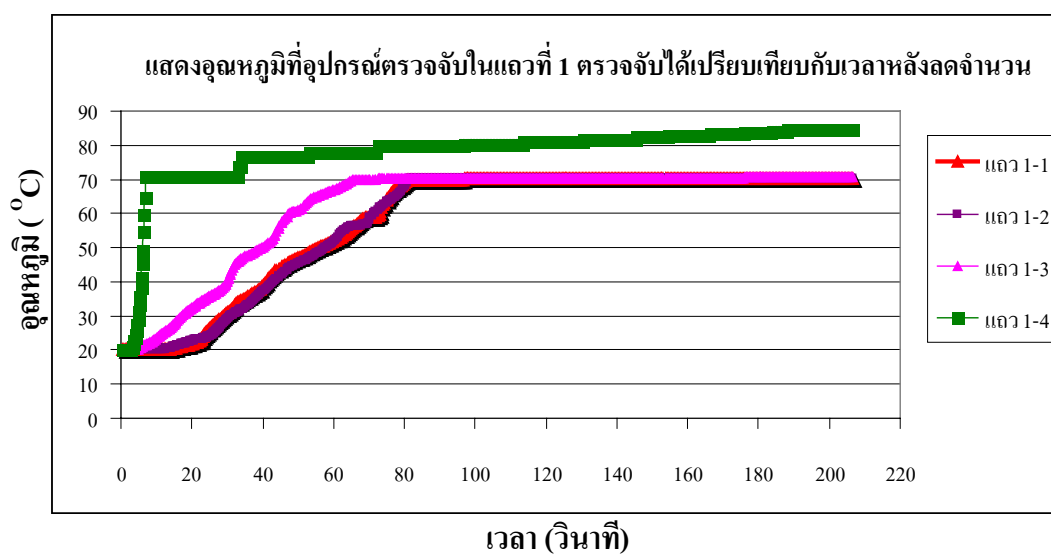
ดังนั้น จึงได้ทำการวิจัยเพิ่มเติมโดยกำหนดให้มีการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับจากเดิมที่มีการติดตั้งอยู่ในแนวตั้งจำนวน 5 ชุด และลดจำนวนการติดตั้งในการออกแบบและติดตั้งเป็นจำนวน 4 ชุด ซึ่งสามารถแสดงผลได้ดังภาพที่ 44



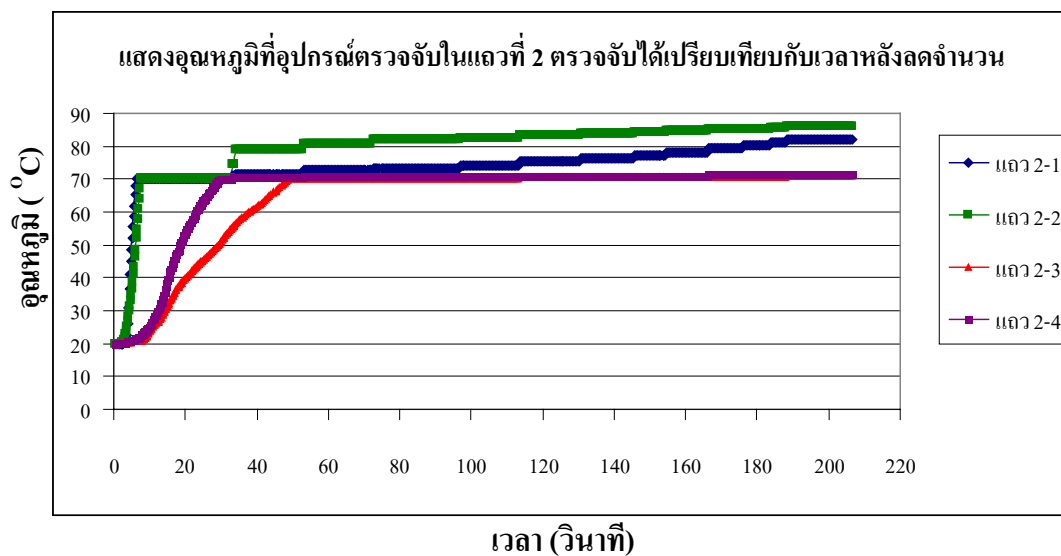
ภาพที่ 44 แสดงผลการปรับปรุงและลดตำแหน่งสำหรับการติดตั้งที่นำมาใช้เทียบเคียงกับงานวิจัย

โดยที่หลังจากที่ได้ดำเนินการปรับปรุงและลดจำนวนของ Heat Detector ลงจากเดิมในแนวตั้งจำนวน 5 ชุด เป็น 4 ชุด ผลการทดลองปรากฏว่า การตรวจจับของอุปกรณ์สามารถทำได้อย่างรวดเร็วยิ่งขึ้น โดยจากภาพที่ 45 พบว่าประสิทธิภาพของการตรวจจับของอุปกรณ์ในแถวที่ 1 สามารถตรวจจับความร้อนได้เร็วที่สุดที่เวลาประมาณ 10 วินาทีแรก (เส้นสีเขียว) นับตั้งแต่ที่เริ่มต้นเกิดเหตุ และสามารถจับความร้อนได้ช้าสุดที่เวลาประมาณ 20 วินาที (เส้นสีม่วงและเส้นสีแดง) ส่วนประสิทธิภาพของการตรวจจับของอุปกรณ์ในแถวที่ 2 ดังแสดงในภาพที่ 46 พบว่าสามารถตรวจจับความร้อนได้เร็วที่สุดที่เวลาประมาณ 5 วินาทีแรก (เส้นสีเขียวและเส้นสีน้ำเงิน) และสามารถตรวจจับความร้อนได้ช้าที่สุดประมาณ 10 วินาทีแรก (เส้นสีแดงและสีม่วง)

ซึ่งจากผลการปรับปรุง พบว่าหลังจากที่ได้ทำการปรับปรุง เคลื่อนย้ายจุดที่ทำการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับความร้อน พบว่าการตรวจจับสามารถทำได้อย่างรวดเร็วมากขึ้น ดังนั้นในกรณีที่เกิดเหตุ จะทำให้มีประสิทธิภาพในการตรวจจับได้ดียิ่งขึ้น และเป็นไปตามกฎของการบินพลเรือนที่กำหนดให้อุปกรณ์ตรวจจับความร้อนและควันต้องจับควันหรือความร้อนให้ได้ภายใน 1 นาที นับตั้งแต่เกิดเหตุ



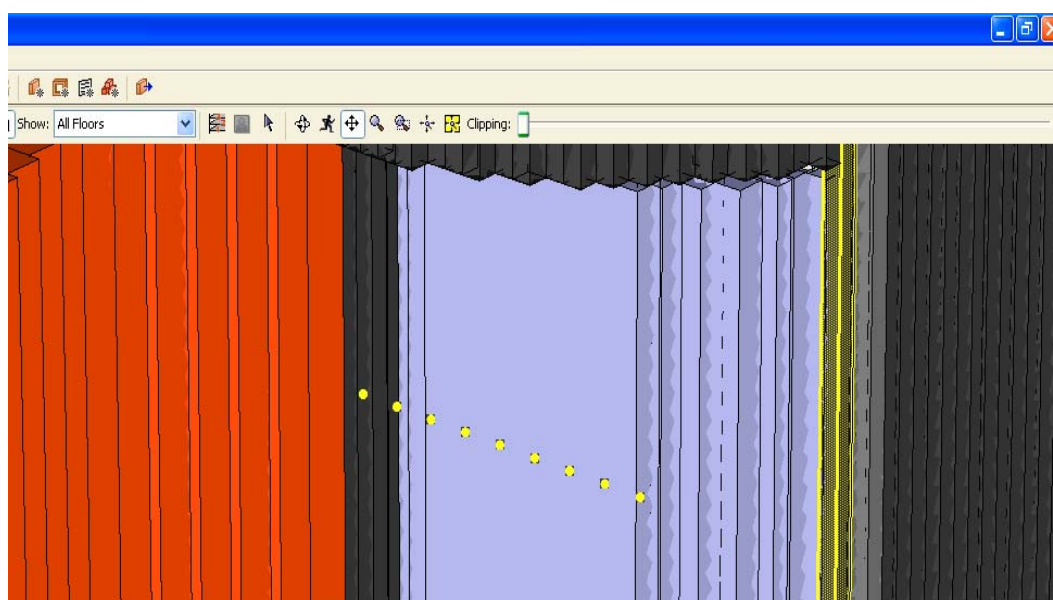
ภาพที่ 45 แสดงผลของอุปกรณ์ตรวจจับในแถวที่ 1 ที่สามารถตรวจจับได้รวดเร็วยิ่งขึ้น



ภาพที่ 46 แสดงผลของอุปกรณ์ตรวจจับในแถวที่ 2 ที่สามารถตรวจจับได้รวดเร็วยิ่งขึ้น

4.2 ข้อมูลการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิ้ล ข้อมูลการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิ้ลโดยในโปรแกรม PyroSim จะใช้จุดสี่เหลี่ยมสีเหลืองแทนจุดที่ทำการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิ้ล ดังแสดงในภาพที่ 47 เพื่อเป็นการชี้บ่งให้ผู้จัดทำทราบถึงจุดที่ติดตั้งอุปกรณ์เทอร์โมคัปเปิ้ล ซึ่งในการประมวลผลในโปรแกรม FDS จะแสดงรายละเอียดในรูปแบบของไฟล์โปรแกรม Notepad ดังนี้

```
&THCP XYZ=85.00, 130.00, 695.00 QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL='T1 Container  
Burner'/
```



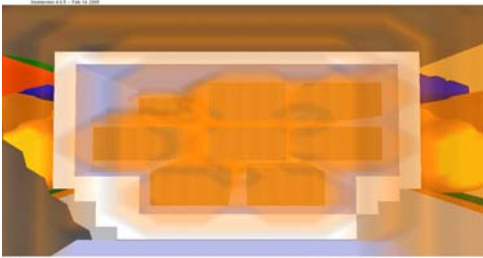
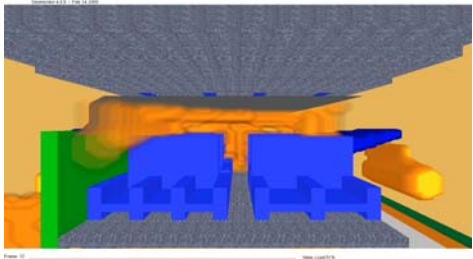
ภาพที่ 47 แสดงตำแหน่งจุดที่มีการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิ้ลซึ่งแทนด้วยจุดสี่เหลี่ยมสีเหลือง

นอกจากการแสดงผลในเรื่องของอุณหภูมิ เทอร์โมคัปเปิ้ลยังสามารถวัดปริมาณการไหลของของไหล และปริมาตรของออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ ได้อีกด้วย ทั้งนี้ผู้จัดทำได้อธิบายการใช้โปรแกรม PyroSim ในภาคผนวกที่ ก

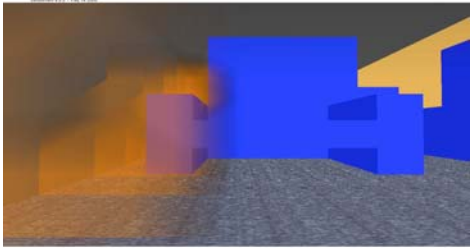
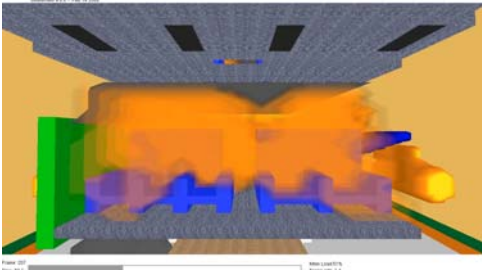
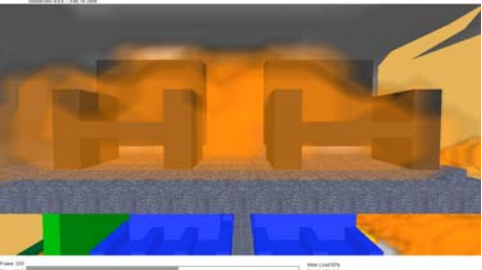
โดยสรุปผลการจำลองเหตุการณ์เกิดเหตุเพลิงไหม้ที่เริ่มตั้งแต่ห้องเก็บสินค้าบนอากาศยาน แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิที่อยู่ภายในอากาศยานในภาพรวมมีแนวโน้มที่จะสะสมและเพิ่มขึ้นตลอดเวลา แต่เมื่อเพิ่มถึงจุดจุดหนึ่งการเพิ่มของอุณหภูมิก็จะหยุดนิ่งซึ่งเป็นผลมาจากเชื้อเพลิงที่เกิดจากการเผาไหม้ได้ถูกใช้หมดไป ซึ่งหากพิจารณาจะเห็นได้ว่าการเผาไหม้ของอากาศยาน

ในช่วงประมาณ 1-2 นาทีแรก เป็นไปด้วยความรุนแรงและรวดเร็ว ดังนั้นหากมีผู้โดยสารที่ยังไม่สามารถเคลื่อนย้ายหรืออพยพออกได้ทัน อาจทำให้เสียชีวิตได้ทันที ซึ่งได้แสดงผลของการพัฒนาของเพลิงไหม้เรียงตามลำดับนับตั้งแต่การเกิดจนกระทั่งไฟสิ้นสุดดังตารางที่ 6

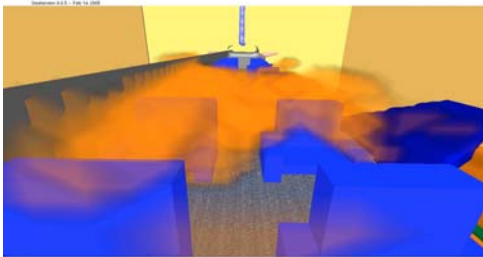
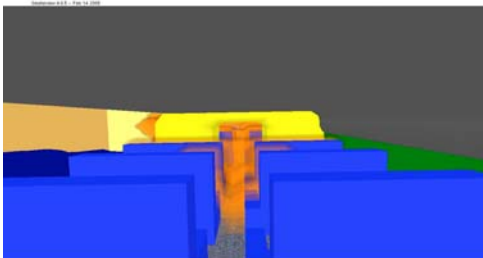
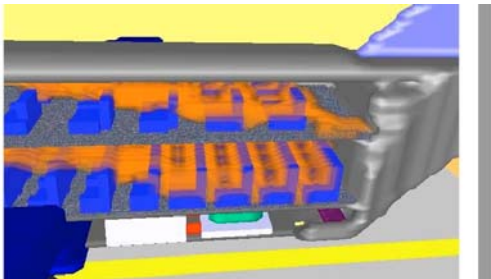
ตารางที่ 6 แสดงผลการเกิดเหตุเพลิงไหม้บนอากาศยานเรียงตามลำดับ

ภาพแสดงการเกิดเหตุตามลำดับ	เวลา (วินาที)	คำอธิบาย
	0.00	เริ่มเกิดเหตุเพลิงไหม้ขึ้นที่ กล่องกระดานจำนวน 24 กล่อง/ ตู้คอนเทนเนอร์ ที่อยู่ใน ตู้คอนเทนเนอร์
	10.00	เพลิงไหม้ได้ลุกลามไปทั่ว ทั้งอากาศยานโดยมีอุณหภูมิ อยู่ที่ประมาณ 600-1050 องศาเซลเซียสตามรูปภาพที่ 48
	15.00	เปลวไฟเริ่มที่จะลุกลามขึ้นมา ที่ห้องผู้โดยสารชั้นล่าง

ตารางที่ 6 (ต่อ)

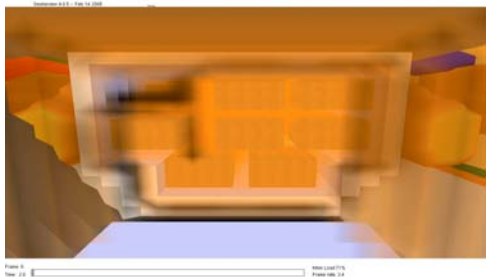
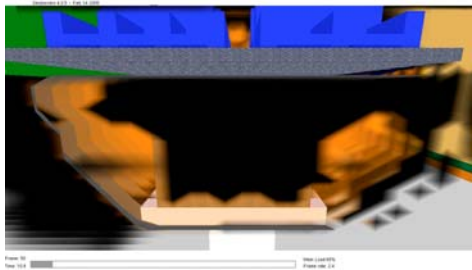
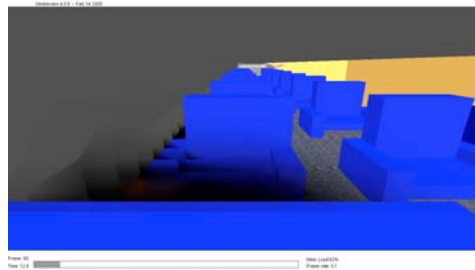
ภาพแสดงการเกิดเหตุตามลำดับ	เวลา (วินาที)	คำอธิบาย
	20.00	เปลวไฟเริ่มที่จะลุกลามขึ้นมาตามพื้นที่โซนร้อน ที่บริเวณห้องผู้โดยสารชั้นบน
	50.00	เกิด Flash over ขึ้นที่บริเวณด้านหน้าของห้องผู้โดยสารชั้นล่างจนทำให้เกิดการลุกติดไฟขึ้นทั้งหมด
	80.00	เปลวไฟได้ลุกลามโดยมีทิศทางเคลื่อนที่ไปด้านหน้าของอากาศยานที่ห้องผู้โดยสารชั้นบน มีความเร็วของการเคลื่อนที่อยู่ที่ 13 m/s และมีอุณหภูมิอยู่ที่ประมาณ 1,000 – 1,500 องศาเซลเซียส ตามภาพที่ 49
	100.00	ไฟได้ลุกลามเข้าไปในบริเวณพื้นที่ที่เป็นห้องสำหรับนักบิน

ตารางที่ 6 (ต่อ)

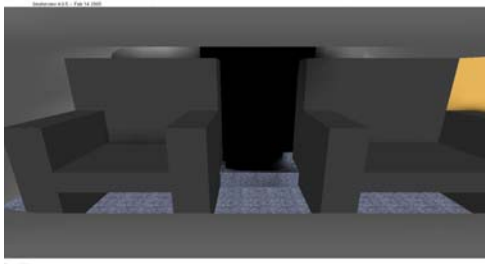
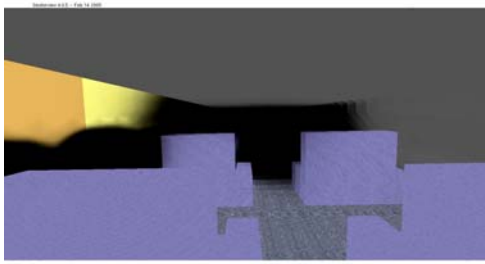
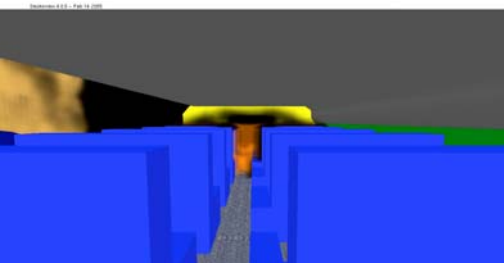
ภาพแสดงการเกิดเหตุตามลำดับ	เวลา (วินาที)	คำอธิบาย
	100.00	ไฟได้เริ่มขยายและลุกลามไปทางด้านหลังโดยมีความเร็วของการเคลื่อนที่ไปประมาณตามภาพที่
	100.00	ไฟได้เริ่มเคลื่อนที่ผ่านออกนอกห้องครัว (สีเหลือง) และลุกลามเข้ามาที่ห้องผู้โดยสารส่วนหลัง
	206.00	ไฟได้เคลื่อนที่และลุกลามตลอดไปทั่วทั้งอากาศยาน

สรุปผลลำดับของการเกิดควันและการลุกลามของควันไฟที่มีการกระจายเข้าไปในส่วนต่างๆ ของอากาศยาน สามารถสรุปได้ ดังตารางที่ 7 ดังนี้

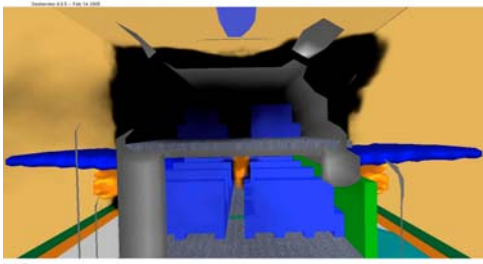
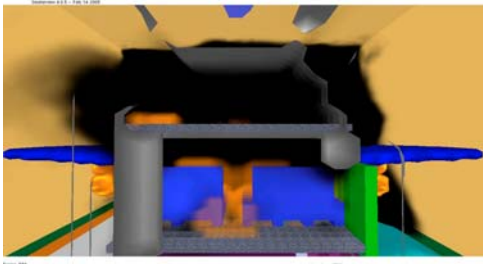
ตารางที่ 7 แสดงผลการกระจายตัวของควันไฟบนอากาศยานเรียงตามลำดับ

ภาพแสดงการเกิดเหตุตามลำดับ	เวลา (วินาที)	คำอธิบาย
	2.00	เกิดเหตุเพลิงไหม้ขึ้น ที่ตู้เก็บคอนเทนเนอร์และเริ่มเกิดไฟและกลุ่มควันขึ้น
	10.00	เพลิงและควันไฟเริ่มปกคลุมทั่วทั้งห้องเก็บสินค้าบนอากาศยาน
	12.00	ควันไฟเริ่มที่จะแพร่กระจายผ่านพื้นที่ซ่อนเร้นและไปตามช่องเปิดจนทำให้เคลื่อนที่ขึ้นไปบนห้องผู้โดยสารส่วนบน
	22.00	ควันไฟเริ่มมีความหนาแน่นจนปกคลุมห้องผู้โดยสารส่วนหน้าทั้งหมด

ตารางที่ 7 (ต่อ)

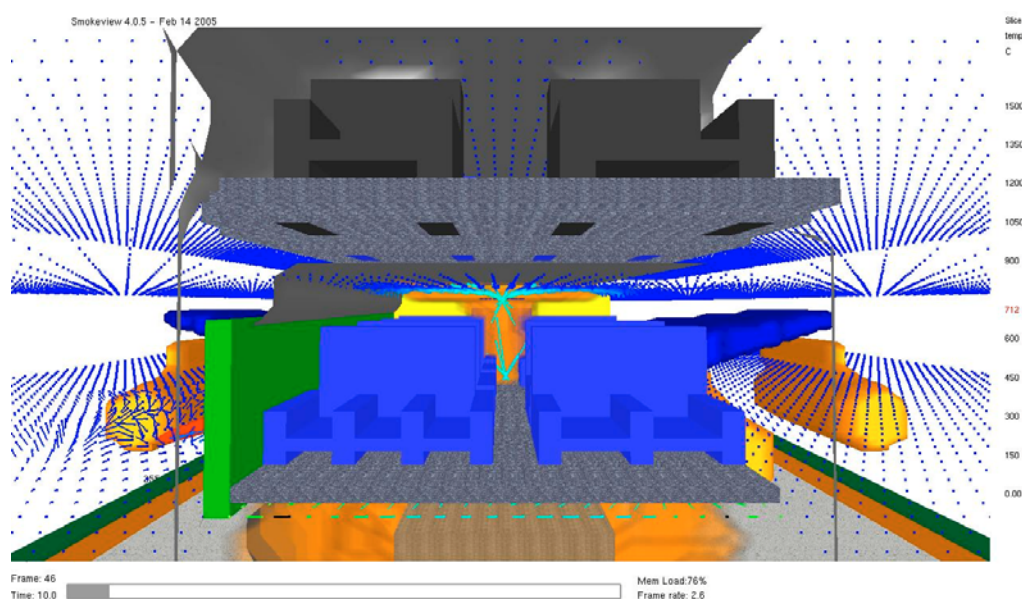
ภาพแสดงการเกิดเหตุตามลำดับ	เวลา (วินาที)	คำอธิบาย
 Frame: 114 Time: 23.00 View: LookRight Frame rate: 30	23.00	ควันไฟเริ่มที่จะลุกลามเข้าไปในพื้นที่ห้องของนักบิน
 Frame: 152 Time: 31.2 View: LookRight Frame rate: 30	31.2	ควันที่อยู่ที่ชั้นผู้โดยสารชั้นบนเริ่มเคลื่อนที่โดยมีทิศทางไปทางด้านหลังของห้องผู้โดยสารด้านบน
 Frame: 180 Time: 55.00 View: LookRight Frame rate: 30	55.00	ควันไฟปกคลุมห้องของนักบินทั้งหมด
 Frame: 321 Time: 95.00 View: LookRight Frame rate: 30	95.00	ควันไฟเริ่มที่จะเคลื่อนที่ผ่านห้องครัวของห้องผู้โดยสารชั้นล่าง โดยมีทิศทางมาทางด้านหลังห้องผู้โดยสารส่วนล่าง

ตารางที่ 7 (ต่อ)

ภาพแสดงการเกิดเหตุตามลำดับ	เวลา (วินาที)	คำอธิบาย
	150.00	ควันไฟได้ปกคลุมไปทั่วห้องผู้โดยสารส่วนบนทั้งหมด
	200.0	ควันไฟได้แผ่ขยายมาปกคลุมห้องผู้โดยสารส่วนล่าง
	206.00	ควันไฟได้ลุกลามและปกคลุมไปทั่วทั้งอากาศยานและเคลื่อนที่ออกมาด้านนอกของอากาศยาน

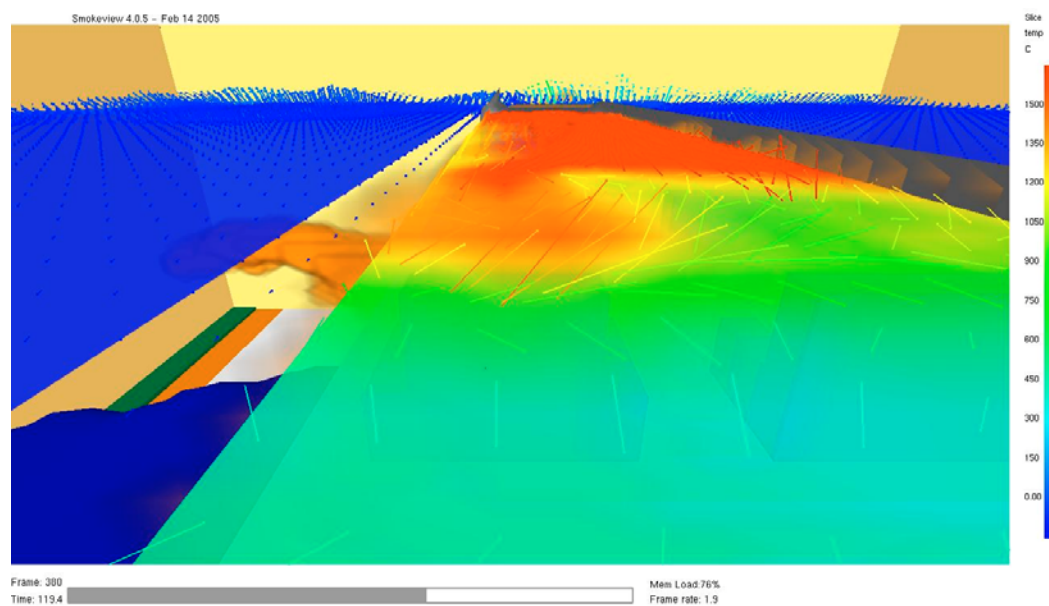
โดยสรุปควันไฟสามารถลุกลามมาตามช่องทางเปิดของอากาศยาน ซึ่งควันไฟเป็นสาเหตุที่ทำให้คนเสียชีวิตมากที่สุดในกรณีที่เกิดเหตุเพลิงไหม้ ดังนั้นจากผลการจำลองสร้างภาพเสมือนให้มีเปลวเพลิงและควันไฟลุกลามในอากาศยาน ผลการทดลองปรากฏว่าในกรณีที่มีผู้โดยสารอยู่บนชั้นโดยสารชั้นบน ต้องทำการเคลื่อนย้ายออกก่อนที่ควันจะลุกลามไปถึงภายใน 150 วินาที หรือประมาณ 2 นาทีครึ่ง ส่วนในกรณีที่มีผู้โดยสารที่อยู่บนห้องโดยสารชั้นล่างต้องทำการเคลื่อนย้ายออกจากอากาศยานภายในเวลา 200 วินาที หรือ ประมาณ 3 นาที

ผลจากการจำลองเหตุการณ์ศาสตร์อัคคีภัยทำให้แสดงผลออกมาได้ดังภาพที่ 48 ซึ่งเป็นภาพที่มีการใช้เวกเตอร์หรือเส้นปะแสดงอุณหภูมิของชั้นต่างๆ ที่เวลา 10 วินาที ที่มีอุณหภูมิภายในของห้องเก็บสินค้าบนอากาศยานส่วนหน้าที่ ประมาณ 600 องศาเซลเซียส มีอุณหภูมิที่ห้องผู้โดยสารชั้นล่างที่ประมาณ 712 – 1,050 องศาเซลเซียส แต่อุณหภูมิที่ห้องผู้โดยสารชั้นบนยังไม่มีเปลี่ยนแปลง เนื่องจากไฟยังไม่ลามไปถึงบนชั้นดังกล่าว



ภาพที่ 48 แสดงอุณหภูมิของขณะเกิดเหตุที่เวลา 10 วินาที ที่มีอุณหภูมิอยู่ที่ประมาณ 600 -1,050 องศาเซลเซียส

ผลการจำลองอีกชนิดหนึ่งที่สามารถนำมาเพื่อศึกษาและพิจารณาเกี่ยวกับทิศทางการเคลื่อนที่ของเปลวไฟ ซึ่งสามารถพิจารณาได้ดังภาพที่ 49 เมื่อใช้เวกเตอร์หรือเส้นปะร่วมกับการแสดง Multi-slide ในโปรแกรม Smokeview คือ ในกรณีที่เวกเตอร์ด้านแหลมมีทิศทางหันไปทางด้านใด แสดงว่าการเคลื่อนที่ของเปลวเพลิงและความร้อนจะเคลื่อนที่ไปในทิศทางดังกล่าว ส่วนแถบสีของ Multi-slide จะบอกถึงความเร็วของการเคลื่อนที่ของเปลวไฟ ซึ่งจากผลการทดลองปรากฏว่า ในแถบสีแดงเป็นการแสดงการเคลื่อนที่ของไฟด้วยความเร็วที่ประมาณ 13 เมตรต่อวินาที



ภาพที่ 49 แสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของไฟโดยมีความเร็วตามเส้นเวกเตอร์และ
ไฟมีการเคลื่อนที่ไปตามแถบแสดงสีด้วยความเร็วที่ 13 เมตรต่อวินาที

วิจารณ์

จากผลการทดลองพบว่าการสร้างภาพเสมือนห้องเก็บสินค้าในอากาศยานนั้น มีอัตราเสี่ยงต่อการเกิดอัคคีภัยสูง เนื่องสินค้าและวัสดุที่ใช้ในการตกแต่งอากาศยานนั้นเป็นเชื้อเพลิงประเภท A ซึ่งง่ายต่อการลุกติดไฟ เพราะฉะนั้นจากทฤษฎีของการเกิดอัคคีภัยสามารถแบ่งระยะเวลาของไฟไหม้และการพัฒนาของไฟออกเป็น 3 ระยะ คือ

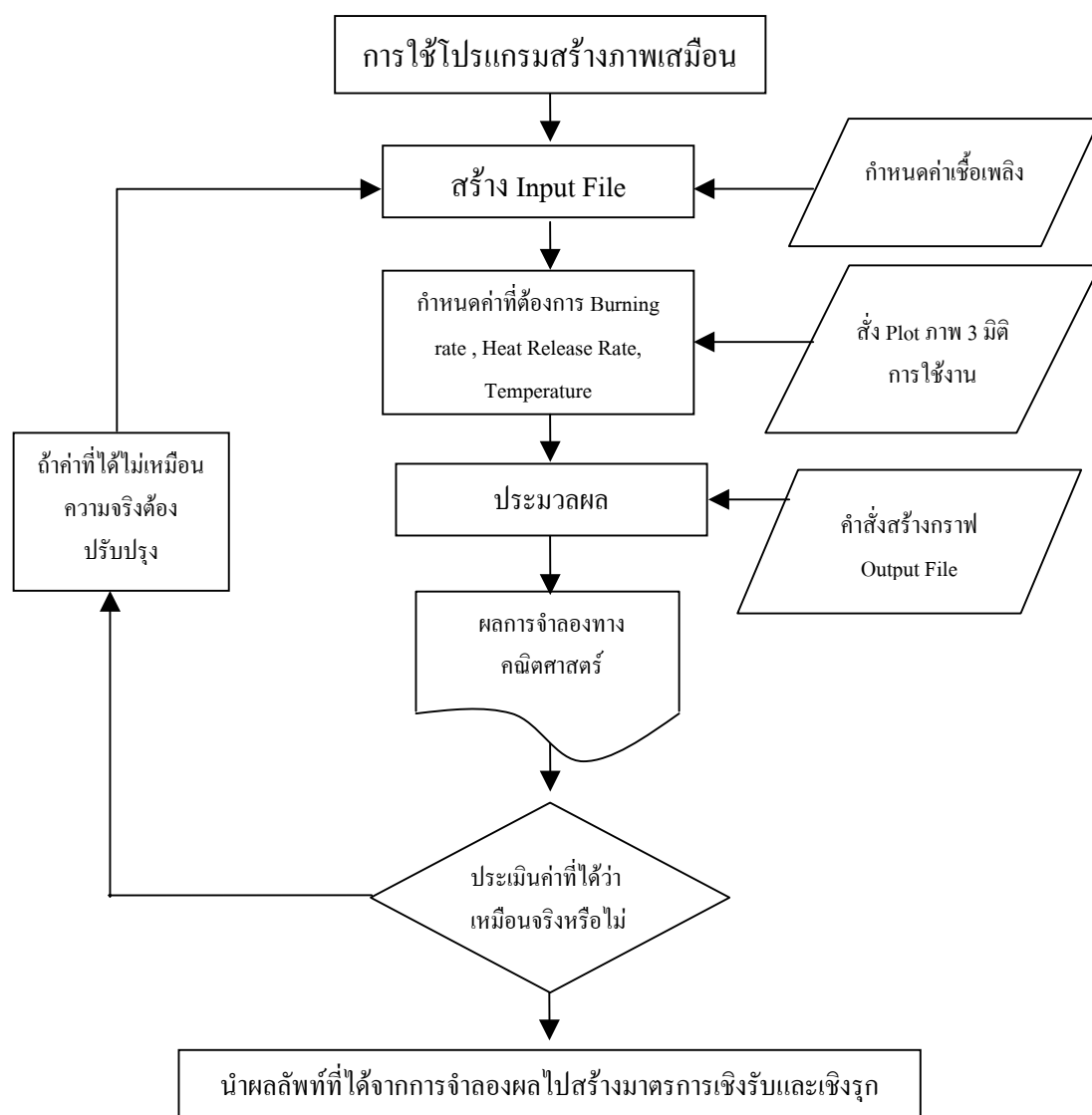
1. ระยะไฟเริ่มต้น (Incipient or Outbreak)
2. ระยะไฟกำลังเผาไหม้อยู่ตัว (Fully developed or Spread)
3. ระยะไฟกำลังจะมอด (Decay or Extinction)

โดยที่ระยะเวลาที่เพลิงเริ่มลุกไหม้จนถึงเพลิงมอดลง ซึ่งการเผาไหม้ในแต่ละระยะเวลานั้น ขึ้นอยู่กับปริมาณเชื้อเพลิงและขนาดพื้นที่ของเพลิงที่จะลุกลามไปในระยะทางที่ไฟ สามารถเคลื่อนที่ไปตราบเท่าที่มีแหล่งเชื้อเพลิง อากาศหรือออกซิเจน และความร้อน สามารถอธิบายการพัฒนาของไฟได้ระยะที่ 1 คือ ระยะไฟเริ่มต้น มักเกิดจากอุบัติเหตุหรือเกิดจากการลุกของเชื้อเพลิง ซึ่งหากเทียบกับการสร้างภาพเสมือนในห้องเก็บสินค้าในอากาศยานแล้ว จะเห็นได้ว่าเป็นระยะที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและรุนแรง ดังนั้นอุปกรณ์ตรวจจับควันต้องมีประสิทธิภาพและสามารถจับควันได้ตั้งแต่ระยะเริ่มต้น เพื่อให้เกิดความเสียหายน้อยที่สุด ระยะที่ 2 คือ ระยะไฟกำลังเผาไหม้อยู่ ดังนั้น จะต้องมียระบบระบายอากาศที่มีประสิทธิภาพ ถ้ากรณีที่ควันเข้าไปในห้องโดยสารที่มีผู้โดยสารอยู่อาจทำให้ผู้โดยสารเสียชีวิตจากการสำลักควันได้ แต่เพื่อให้เกิดความปลอดภัยสูงสุดต้องมีแผนการอพยพผู้โดยสารลงจากอากาศยานหมดก่อนตั้งแต่ระยะเริ่มต้น ระยะที่ 3 คือ ไฟกำลังจะมอด เมื่อเชื้อเพลิงเริ่มน้อยลงก็จะเป็นระยะมอดของไฟ การลุกของไฟโดยปกติการลุกของไฟต้องประกอบแหล่งความร้อนอากาศและวัสดุที่ติดไฟได้ ซึ่งในกรณีที่มีการลุกลามของไฟถึงระยะที่ 3 แล้ว ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับอากาศยานนั้น จะไม่อาจสามารถนำไปซ่อมแซมได้หรือกล่าวได้ว่าอากาศยานลำที่เกิดเหตุจะเกิดความเสียหายจนไม่อาจประเมินค่าได้ทั้งทางด้านทรัพย์สินและชีวิต

จากผลการทดลองที่ได้ทั้งหมด 4 ข้อ นั้น แสดงให้เห็นแล้วการเกิดเหตุเพลิงไหม้ขึ้นที่บริเวณห้องเก็บสินค้าบนอากาศยานนั้นสามารถส่งผลกระทบอย่างรุนแรงเพราะในบริเวณพื้นที่

ดังกล่าวไม่มีผู้โดยสารโดยสารอยู่ในพื้นที่ดังกล่าว ดังนั้น จึงควรที่จะจัดทำระบบแจ้งเหตุไฟไหม้ที่มีประสิทธิภาพและมีความผิดพลาดติดตั้งในพื้นที่ห้องเก็บสินค้าบนอากาศยาน

ในงานวิทยานิพนธ์นี้เป็นการประยุกต์ใช้การจำลองสภาวะการเผาไหม้โดยใช้โปรแกรม FDS โปรแกรม Smokeview และ โปรแกรม PyroSim วิเคราะห์และประเมินผลกระทบและสร้างแนวทางเชิงรับและเชิงรุก สรุปได้ดังภาพที่ 50



ภาพที่ 50 ขั้นตอนการใช้โปรแกรมในการวิเคราะห์และประเมินผลกระทบ

โดยที่ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองจะต้องนำมากำหนดมาตรการในการป้องกันอัคคีภัยบนอากาศยานทั้งในเชิงรุกและเชิงรับ ได้แก่ การกำหนดจุดติดตั้งสำหรับอุปกรณ์ตรวจจับความร้อนและการจัดเรียงสินค้าบนอากาศยาน ซึ่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอแนวทางสำหรับการจัดการไว้ในส่วนของข้อเสนอแนะ

สรุปผล

การทดลองผลจากการศึกษาและประยุกต์โปรแกรมสร้างภาพเสมือนโดยการประยุกต์ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป 3 ส่วน คือ โปรแกรม Fire Dynamics Simulation โปรแกรม Smokeview และโปรแกรม PyroSim โดยการจำลองอากาศยานแบบโดยสารแบบ A380 นั้น ซึ่งจากการจำลองและวิเคราะห์ผลสามารถสรุปได้ ดังต่อไปนี้

1. เปรียบเทียบอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในส่วนต่างๆ ของอากาศยาน โดยใช้เทอร์โมคัปเปิ้ล ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 แสดงอุณหภูมิที่เทอร์โมคัปเปิ้ลบันทึกอุณหภูมิได้ในส่วนต่างๆ ของอากาศยาน

พื้นที่	ชื่อเทอร์โมคัปเปิ้ล	อุณหภูมิสูงสุดที่บันทึกค่าได้ (°C)
ภายในตู้คอนเทนเนอร์ ที่บรรจุกล่องกระดาศ	T4 IN Burner Container Temp	790
ห้องเก็บสินค้า บนอากาศยานส่วนหน้า	T19 FWD Com Temp	879
ห้องผู้โดยสารชั้น 1	T29 Ceiling Eco Temp	1,190
ห้องผู้โดยสารชั้น 2	T36 Ceiling First Temp	1,920

โดยที่จากผลการทดลองพบว่า อุณหภูมิที่อยู่ในตู้คอนเทนเนอร์ที่เป็นต้นเหตุในการเกิดเพลิงไหม้มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิที่อยู่ภายในห้องเก็บสินค้าบนอากาศยานส่วนหน้าตามเทอร์โมคัปเปิ้ลชื่อ **T19 FWD Com Temp** กับ **T4 IN Burner Container Temp** ส่วนอุณหภูมิที่อยู่ภายในห้องเก็บสินค้าส่วนหน้าเปรียบเทียบกับชื่อเทอร์โมคัปเปิ้ลระหว่าง **T19 FWD Com Temp** กับ **T29 Ceiling Eco Temp** ของห้องผู้โดยสารชั้นล่าง พบว่าเมื่อเกิดเหตุห้องผู้โดยสารชั้นล่างมีอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิที่อยู่ภายในห้องเก็บสินค้าบนอากาศยานส่วนหน้า รวมทั้งอุณหภูมิของห้องโดยสารชั้นบนที่มีชื่อเทอร์โมคัปเปิ้ล คือ **T36 Ceiling First Temp** มีอุณหภูมิที่สูงกว่าห้องโดยสารที่อยู่ชั้นล่าง ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีการเคลื่อนที่ของไฟเมื่อเกิดเหตุแล้วไฟและควันจะลุกลามขึ้นไปในแนวตั้งก่อนที่จะลุกลามไปในแนวราบ โดยที่การ

ลูกกลมของเปลวไฟจะลูกกลม และส่งผ่านความร้อนไปตามช่องเปิดเพื่อตรวจเช็คสินค้าจากห้องเก็บสินค้าไปสู่ห้องโดยสารชั้นล่าง และเคลื่อนที่ส่งถ่ายความร้อนไปตามพื้นที่โซนร้อนจนทำให้ด้านบนเกิดการลุกติดไฟขึ้น ดังนั้น จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าผู้โดยสารที่โดยสารอยู่ที่ชั้นบนจะได้รับอันตรายมากกว่าผู้โดยสารที่อยู่ด้านล่าง

2. ผลจากการทดลองพบว่าเมื่อเกิดเหตุอัคคีภัยขึ้น จะทำให้มีค่าของการแผ่รังสีความร้อนไปรอบด้านของอากาศยานโดยมีค่าที่อยู่ระหว่าง $1.50 - 26.5 \text{ kW/m}^2$ ซึ่งค่าฟลักซ์ความร้อนที่อยู่ในระดับนี้มีผลที่ทำให้วัสดุตกแต่งที่มีความหนาเกิดเหตุลุกไหม้ขึ้น ซึ่งหากพิจารณาถึงในกรณีที่เกิดเหตุเพลิงไหม้ขึ้น อาจทำให้อุปกรณ์ที่ให้บริการภาคพื้นที่ยังคงอยู่รอบด้านอากาศยานทำให้วัสดุตกแต่งภายในอุปกรณ์ที่ให้บริการภาคพื้น เช่น เก้าอี้ คอนโซล ที่ใช้เกิดการเสียรูปทรงและเกิดการลุกไหม้ขึ้นได้ รวมทั้งการแผ่รังสีความร้อนในระดับดังกล่าวจะทำให้ให้น้ำมันที่เก็บอยู่ที่ปลายปีกของอากาศยานเกิดการลุกไหม้และเกิดการระเบิดได้ เพราะน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้กับอากาศยานมีชื่อเรียกว่า Jet-A1 ซึ่งมีจุดวาบไฟ (Flash point) อยู่ที่ $38 - 41^\circ \text{C}$ ดังนั้นเมื่อค่าฟลักซ์ความร้อนในระดับดังกล่าว จะทำให้เกิดอุณหภูมิที่สูงกว่าจุดวาบไฟของน้ำมันเชื้อเพลิงจึงนำไปสู่การระเบิดได้

ข้อเสนอแนะ

ผลของการทดลองสร้างภาพเสมือนจริงและจำลองเหตุการณ์ศาสตร์อัคคีภัยขึ้นภายในห้องเก็บสินค้าบนอากาศยานของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้แสดงให้เห็นถึงปัญหา ความเสี่ยงของโอกาสในการเกิดเหตุและความรุนแรงที่เกิดขึ้น ซึ่งมีผลกระทบที่รุนแรงที่ตามมาค่อนข้างรุนแรงต่อทรัพย์สินและชีวิต ดังนั้นเพื่อความสำเร็จของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จึงขอเสนอข้อเสนอแนะดังนี้

1. ข้อเสนอแนะสำหรับการออกแบบระบบป้องกันอัคคีภัยบนห้องเก็บสินค้าบนอากาศยาน

โดยอุปกรณ์ตรวจจับความร้อนและระบบดับเพลิงต้องมีประสิทธิภาพและความถูกต้องสูง โดยมีความต้องการของข้อกำหนดขั้นต่ำ ดังนี้

1.1 ระบบการแจ้งเตือนเหตุเพลิงไหม้จะต้องแจ้งเตือนทันทีทันใด เมื่อมีอัตราของความร้อนที่เพิ่มขึ้นเกินกว่าค่าที่กำหนด ซึ่งระบบการแจ้งเหตุและเตือนภัยจะต้องมีทั้งแสงสว่าง (Strobe) และเสียงสัญญาณ (Audible) ในห้องของลูกเรือ (Cockpit) และห้องเก็บสินค้าบนอากาศยาน

1.2 ระบบต้องมีความถูกต้องแม่นยำในการแจ้งสถานะของการเกิดเหตุ และต้องมีความสามารถในการดับเพลิงที่เพียงพอต่อเชื้อเพลิงที่จะต้องบรรทุกไปบนอากาศยาน รวมทั้งต้องมีการป้องกันการลุกติดไฟขึ้นได้อีกครั้งหนึ่ง (Re-ignition)

1.3 ระบบต้องมีความสามารถในการป้องกัน เพื่อลดความเสียหายที่อาจจะเกิดจากการกระแทกของสินค้าหรือพนักงานที่ยกสินค้า เช่น การใส่ตะแกรงครอบตัวอุปกรณ์ตรวจจับ รวมทั้งอุปกรณ์ที่นำมาใช้จะต้องมีอัตราในการทนไฟได้ในช่วงระยะเวลาตั้งแต่เริ่มต้นเกิดไฟจนไฟดับลง

1.4 ระบบต้องมีวิธีการทดสอบที่เป็นมาตรฐาน และวิธีการทดสอบต้องมีประสิทธิภาพสามารถทำการตรวจสอบระบบได้ครอบคลุมทั้งระบบ และต้องจัดให้มีระยะเวลาในการทดสอบเป็นประจำอย่างต่อเนื่อง

1.5 ระบบต้องใช้วิธีการตรวจสอบที่สามารถเข้าใจได้โดยง่าย สามารถทำการเคลื่อนย้ายและติดตั้งใหม่ได้ เพื่อความเหมาะสมต่อการป้องกันในการกำหนดพื้นที่ป้องกันอวกาศสูงสุด

1.6 ระบบต้องมีความน่าเชื่อถือและมีมาตรฐานในการรองรับ และมีความถูกต้องสำหรับการแจ้งเหตุและต้องมีระบบในการป้องกันการแจ้งสัญญาณที่ผิดพลาด (Fault Alarm)

1.7 ระบบต้องมีแหล่งสำรองสำหรับจ่ายกระแสไฟฟ้าภายในที่มาจากอากาศยาน โดยเฉพาะ ห้ามใช้แหล่งจ่ายระบบไฟฟ้าจากแหล่งอื่นที่ไม่ใช่มาจากการจ่ายไฟจากอากาศยานเอง

2. ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการจัดเรียงสินค้าบนอากาศยานและการจัดเรียงสินค้าอันตราย

การดำเนินการที่เกี่ยวข้องกับการจัดเรียงสินค้าบนห้องเก็บสินค้าบนอากาศยานและสินค้าอันตราย ในทุกขั้นตอนอาศัยหลักการและข้อกำหนดของ IATA (2004) ซึ่งการปฏิบัติตามข้อกำหนดดังกล่าวถือได้ว่าเป็นข้อกำหนดทางเทคนิคเกี่ยวกับการขนส่งทางอากาศ

การดำเนินการกับการจัดเรียงสินค้าและสินค้าอันตรายเริ่มตั้งแต่การรับสินค้า (Acceptance) จนถึงการนำสินค้าขึ้นบรรจุบนเครื่องบิน (Aircraft Loading) โดยสามารถแยกเป็นหัวข้อต่างๆ ได้ดังขั้นตอนด้านล่างนี้

2.1 ขั้นตอนการรับสินค้า (Acceptance) สินค้าและสินค้าอันตรายที่จะรับไว้เพื่อขนส่งจะต้องเป็นสินค้าที่ทราบผู้นำส่งเสมอ ทั้งนี้เพื่อความรับผิดชอบของแต่ละสายการบินที่จะรับขนส่งสินค้าจากผู้ผู้นำส่งเสมอหรือตัวแทนควบคุม ซึ่งมีขั้นตอนในการดำเนินการ ดังนี้

2.1.1 ตรวจสอบความถูกต้องของเอกสาร โดยเฉพาะในกรณีที่เป็นสินค้าอันตราย

2.1.2 ตรวจสอบสภาพหีบห่อและชั่งน้ำหนัก

2.1.3 ตรวจสอบการทำเครื่องหมายและปิดฉลาก (Labeling and Marking)

2.2 การจัดเก็บสินค้า (Storage) หลังจากการตรวจสอบพบว่าการบรรจุหีบห่อ และเอกสารถูกต้องครบถ้วนตามข้อกำหนดของ IATA และการนำสินค้าอันตรายขนส่งทางอากาศ จึงจะสามารถนำสินค้าไปเก็บในบริเวณที่ใช้ในการจัดเก็บสินค้าหรือในคลังสินค้า โดยเฉพาะสินค้าอันตรายจะต้องคำนึงถึงหลักการจัดเก็บสินค้าที่เก็บไว้ด้วยกันไม่ได้ต้องจัดเก็บแยกออกจากกัน เช่น การเก็บกรดเข้มข้นปะปนกับด่างเข้มข้น

2.3 การบรรจุ (Loading) พิจารณาถึงสิ่งต่อไปนี้

2.3.1 การจัดระวางบรรจุสินค้าและสินค้าอันตรายลงในตู้คอนเทนเนอร์หรือ ULD และการบรรจุบนเครื่องบินต้องพิจารณาถึงหลักของความสมดุลในการนำสิ่งของไปจัดระวางบนเครื่องบิน (Weight and Balance) รวมทั้งในกรณีที่เป็นสินค้าอันตรายต้องพิจารณาถึงการแยกเก็บสินค้าอันตรายที่เก็บไว้ด้วยกันไม่ได้ (Incompatible Dangerous Goods)

2.3.2 ไม่บรรจุสินค้าอันตรายในห้องผู้โดยสาร (Passenger Cabin) หรือห้องนักบิน

2.3.3 สินค้าอันตรายที่เป็นของเหลวต้องเคลื่อนย้าย บรรจุและจัดเก็บให้หีบห่ออยู่ในตำแหน่งตั้งตรง (Upright) ตลอดเวลา

2.3.4 ในระหว่างการบรรจุสินค้า หรือสินค้าอันตรายต้องระวังไม่ให้เกิดความเสียหายต่อหีบห่อและต้องมีการป้องกันไม่ให้เกิดการเคลื่อนไหวหรือล้มคว่ำของหีบห่อ

2.3.5 การบรรจุหีบห่อที่เป็นสารกัมมันตภาพรังสี (Radioactive Material) ต้องคำนึงถึงระยะห่างจากผู้โดยสารและลูกเรือ (Separation Distance)

2.4 การตรวจสอบสภาพหีบห่อ (Inspection) ผู้ปฏิบัติต้องดำเนินการดังต่อไปนี้

2.4.1 ต้องมีการตรวจสอบสภาพของหีบห่อสินค้าอันตรายว่าไม่มีความเสียหายหรือการรั่วไหลขณะก่อนทำการบรรจุลงในตู้คอนเทนเนอร์หรือ ULD หรือจัดวางบนอากาศยาน

2.4.2 หีบห่อที่มีการชำรุดเสียหายต้องไม่นำขึ้นบรรทุกบนเครื่องบิน และนำไปกำจัดด้วยวิธีการที่เหมาะสม ในกรณีที่มีการรั่วไหลของหีบห่อต้องมีการกำจัดกาปนเปื้อน (Decontamination) และทำความสะอาดที่เหมาะสม

2.5 การแจ้งข้อมูลให้ผู้เกี่ยวข้องทราบ (Provision of Information) มีวิธีการแจ้งข้อมูลเกี่ยวกับสินค้าอันตรายดังต่อไปนี้

2.5.1 มีป้ายประกาศติดไว้ให้เห็นชัดเจนบริเวณที่มีการรับสินค้าเพื่อแจ้งให้ทราบถึงข้อมูลให้ผู้ส่งสินค้าต้องดำเนินการในกรณีที่สินค้าที่ต้องการเป็นสินค้าอันตราย

2.5.2 มีการกำหนดขั้นตอนการทำงานเกี่ยวกับสินค้าทั่วไปและสินค้าอันตรายไว้เพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานได้ใช้ปฏิบัติอย่างถูกต้อง

2.5.3 มีการแจ้งให้ผู้ปฏิบัติงานทราบวิธีการปฏิบัติเมื่อเกิดเหตุฉุกเฉินเมื่อสินค้าอันตรายหกรั่วไหล หรือเมื่อเกิดเหตุฉุกเฉินขึ้นที่บริเวณข้างอากาศยาน

2.5.4 จัดทำเอกสารแจ้งข้อมูลเกี่ยวกับสินค้าอันตรายที่บรรทุกบนเครื่องบินให้นักบินผู้ควบคุมอากาศยาน (Pilot-in-Command) ทราบ

2.6 การรายงานอุบัติเหตุ (Accident Report) มีขั้นตอนกำหนดให้มีการรายงานให้เจ้าหน้าที่ของท่าอากาศยานทราบในกรณีที่เกิดเหตุฉุกเฉินขึ้น หรือในกรณีที่สินค้าอันตรายหกรั่วไหลหรือในกรณีที่มีการลักลอบขนส่งสินค้าอันตราย โดยไม่มีการแจ้งตลอดจนการแจ้งไม่ถูกต้อง (Undeclared or Misdeclared Dangerous Goods)

2.7 การฝึกอบรม (Training) มีการจัดฝึกอบรมให้ผู้ที่ต้องปฏิบัติงานเกี่ยวกับการจัดเรียงสินค้าและสินค้าอันตราย และจัดให้มีการฝึกอบรมเป็นประจำทุก 2 ปี และจัดเก็บประวัติการฝึกอบรมไว้เพื่อการตรวจสอบ

แนวทางการวิจัยต่อเนื่อง

แนวทางที่สำหรับการวิจัยต่อเนื่องที่ควรดำเนินการสำหรับการประยุกต์ใช้โปรแกรม พลศาสตร์อัคคีภัย ดังนั้นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงขอเสนอแนะแนวทางสำหรับการวิจัยต่อเนื่อง ดังนี้

1. การสร้างสถานที่สำหรับการจำลองเหตุการณ์ เพื่อหาจุดติดตั้งของระบบดับเพลิง ที่ถูกต้องและเหมาะสมกับห้องเก็บสินค้าบนอากาศยาน ซึ่งต้องใช้งบประมาณในการดำเนินการ หรือการสร้างโปรแกรมในการจำลองสร้างภาพเสมือนที่มีความใกล้เคียงกับความจริงให้มากที่สุด หรือการจำลองโดยหาจุดที่ควรวางกล่องกระดาษา เพื่อป้องกันความร้อนจากเครื่องยนต์และ ถูกสะเก็ดไฟจากการอาร์ค ทำให้เกิดอัคคีภัยขึ้น เพื่อให้การป้องกันทางด้านอัคคีภัยที่เกิด บนห้องเก็บสินค้าบนอากาศยานมีโอกาสเกิดขึ้นได้น้อยที่สุด
2. การส่งเสริมในเรื่องกฎหมายสำหรับการฝึกซ้อมการดับเพลิงที่เกิดขึ้นจากอากาศยาน ซึ่งในปัจจุบันยังไม่มีกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการฝึกซ้อม เพื่อรับเหตุการณ์ที่มีอัคคีภัยขึ้น บนอากาศยาน ซึ่งจากประสบการณ์ที่ผู้จัดทำได้ทำงานเกี่ยวข้องกับท่าอากาศยาน พบว่าการฝึกซ้อม ในปัจจุบันจะเน้นในส่วนที่ฝึกซ้อมในส่วนที่เป็นภาคพื้นที่เกี่ยวข้องกับอาคารในท่าอากาศยาน เท่านั้น แต่ไม่มีการฝึกซ้อมเกี่ยวกับอัคคีภัยที่เกิดจากอากาศยานโดยตรง ซึ่งจะต้องทำการวิจัย ถึงผลกระทบในการฝึกซ้อม รวมทั้งข้อดีและข้อเสียเมื่อทำการฝึกซ้อม เพื่อเป็นการเตรียม ความพร้อมในภาวะฉุกเฉินขึ้น
3. การเก็บสถิติของอากาศยานที่เกิดเหตุเพลิงไหม้ในห้องเก็บสินค้าบนอากาศยานขึ้น เพื่อดำเนินการจัดเก็บเป็นข้อมูลและนำมาดำเนินการวิเคราะห์ วิจัยเป็นฐานข้อมูลทางด้านหลักสถิติ เพื่อรวบรวมสาเหตุที่มีความถี่ในการเกิดเหตุอัคคีภัยมากที่สุด รวมทั้งการวิจัยถึงการแจ้งสัญญาณ ที่ผิดพลาดของระบบตรวจจับความร้อนและควัน เนื่องจากทั้งข้อมูลเกี่ยวกับการเกิดเหตุและข้อมูล เกี่ยวกับการแจ้งสัญญาณที่ผิดพลาดจะนำไปสู่การแก้ไขปัญหาที่ถูกต้อง และนำไปสู่การบริหาร จัดการเกี่ยวกับไฟ (Manage Fire) ทั้งทางด้านการป้องกันอัคคีภัย (Fire Prevention) และการระงับไฟ (Fire Suppression) รวมถึงนำไปสู่การออกแบบระบบที่มีความเหมาะสมกับห้องเก็บสินค้า บนอากาศยานต่อไป

4. การศึกษาเพิ่มเติมทางด้านวิศวกรรม คือ ควรศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการแบ่งเซลล์ของ Grid การคำนวณเกี่ยวกับการระเบิดจากถังน้ำมัน การจำลองเหตุในกรณีที่เครื่องอยู่บนอากาศ โดยอาจจะต้องใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ระดับเมนเฟรมหรือซูเปอร์คอมพิวเตอร์ขึ้นไป ในการจำลองเหตุการณ์พลศาสตร์อวกาศ เพื่อให้การจำลองแบบเป็น ไปให้ใกล้เคียงกับความจริงมากที่สุด

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- กระทรวงคมนาคม. 2528. กฎกระทรวงฉบับที่ 2 ออกตามความในมาตรา 4 (2) แห่งพระราชบัญญัติการทำอากาศยานแห่งประเทศไทย พ.ศ. 2522 ลงวันที่ 26 มิถุนายน 2528.
- กระทรวงมหาดไทย. 2539. ประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่อง การป้องกันและระงับอัคคีภัยในสถานประกอบการเพื่อความปลอดภัยในการทำงานของลูกจ้าง ออกตามประกาศแห่งคณะปฏิวัติ ฉบับที่ 33 ลงวันที่ 16 มีนาคม 2515
- บริษัท ไทย แอร์พอร์ตส์ กราวด์ เซอร์วิสเชส จำกัด. 2547. แผนการควบคุมการรักษาความปลอดภัยสินค้าทางอากาศและการขนส่งสินค้าอันตราย. บริษัทไทยแอร์พอร์ตส์ กราวด์เซอร์วิสเชส, กรุงเทพฯ.
- พิชญะ จันทรานูวัฒน์. 2547. คอมพิวเตอร์โมเดลสำหรับไฟและควัน. เอกสารประกอบการประชุมวิชาการ วิศวกรรมป้องกันอัคคีภัยแห่งชาติ ครั้งที่ 1.
- เวที หัตถา. 2548. **General Course 1**. เอกสารประกอบการบรรยายหลักสูตร ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการบิน. Thai Airport Ground Services Co., Ltd., กรุงเทพฯ.
- อรุณทัย ทองอิม. 2548. **Cargo Skills and Procedure**. เอกสารประกอบการบรรยายหลักสูตรความรู้เกี่ยวกับการจัดเรียงสินค้าบนเครื่องบิน และการควบคุมการจัดเรียงสินค้าที่ขนส่งทางอากาศ. Thai Airport Ground Services Co., Ltd., กรุงเทพฯ.
- Anttila, S.J., C. Gallegos, W. Gill and J. Nelson. 2003. **Computation Fluid Dynamic Code for Smoke Transportation During an Aircraft Cargo Compartment Fire**. U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration PTR, Washington.

- Babrauskas, V. 1979. **COMPF2 – A Program for Calculating Post- Flashover Fire Temperatures (Tech Note 991)**. Available Source: <http://www.bfrl.nist.gov>, Nov. 19, 2004.
- Blake, D. 2001. **Fire Detection in Aircraft Compartment**. National Institute of Standard and Technology PTR, United State.
- Delp, F. and M.J. Krose. 1993. **Aircraft Maintenance and Repair**. McGraw-Hill Publishing Company PTR. Singapore
- Freiling, A. 2001. **New Approaches To Aircraft Fire Protection**. National Institute of Standard and Technology PTR, United State.
- Holt, M.J. 2002. **Air Carrier Operation**. A Blackwell Publishing Company PTR, Iowa.
- International Air Transport Association. 2004a. **Airport Handling Manual, 24th Edition** Montreal, Quebec, Canada.
- _____. 2004b. **Dangerous Goods Regulation, 45th Edition**. Montreal, Quebec, Canada.
- Karlsson, B. and J.G. Quintiere. 1999. **Encloser Fire Dynamics**. CRC Press PTR, United State.
- Lett, T.J. 2003. **Fire Protection Handbook**. Section 14.5 Aviation. National Fire Protection Association, Quincy, Massachusetts.
- National Fire Protection Association. 2000. **NFPA 750 Standard on Water Mist System Fire Protection Systems**. National Fire Protection Association, Quincy, Massachusetts.

_____. 2002a. **NFPA 402 Guide for Aircraft Rescue and Fire-Fighting Operations 2002 Edition.** National Fire Protection Association, Quincy, Massachusetts.

_____. 2002b. **NFPA 422 Guide for Aircraft Accident Response 1999 Edition.** National Fire Protection Association, Quincy, Massachusetts.

National Institute of Standards and Technology. 2004. **Fire Dynamics Simulator (FDS) and Smokeview.** (Computational Fluid Dynamics Model).

Reinhardt, J. 2002. **The Evaluation of Water Mist With and Without Nitrogen as an Aircraft Cargo Compartment Fire Suppression System.** Federal Aviation Administration. U.S. Department of Transportation PTR, Washington.

Reinhardt, J. 2005. **Minimum Performance Standard for Aircraft Cargo Compartment Halon Replacement Fire Suppression Systems.** Federal Aviation Administration. U.S. Department of Transportation PTR, Washington.

Richard, E.L. 2005. **Heat Release Rate of Objects Burning in Cargo Compartment.** Federal Aviation Administration. U.S. Department of Transportation.

Robert, E. and C. Louise. 2002. **Option to the Use of Halons for Aircraft Fire Suppression System.** Federal Aviation Administration. U.S. Department of Transportation PTR., Washington.

Robert, M.G. 1997. **Design of Water-base Fire Protection Systems.** Delmar Publisher PTR, New York.

Thunderhead Engineer Consultant. 2005. **PyroSim , A model Construction Tool For Fire Dynamic Simulator (FDS).** The RJA group, Inc.

ภาคผนวก

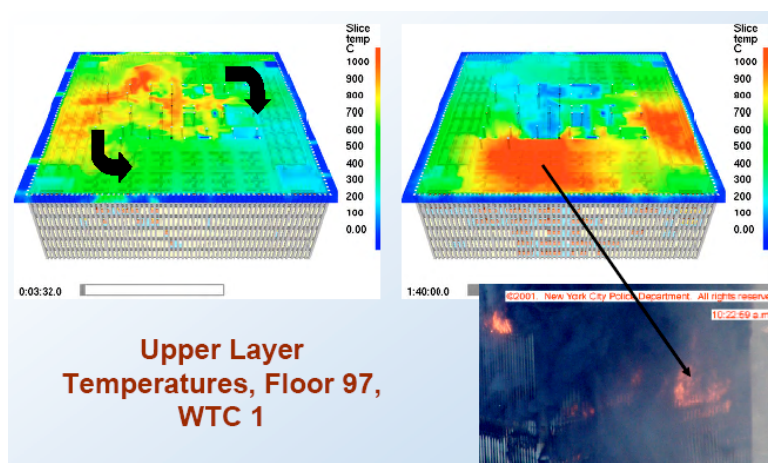
ภาคผนวก ก

การใช้โปรแกรม PyroSim

การใช้โปรแกรม PyroSim

การประยุกต์เริ่มการใช้งานโปรแกรม PyroSim นั้นไม่มีความยุ่งยากมากนัก ซึ่งโปรแกรมดังกล่าวเป็นโปรแกรมที่วิศวกรรมป้องกันอัคคีภัยและวิศวกรรมความปลอดภัย สามารถเลือกใช้สำหรับในการสร้างแบบจำลองภาพเสมือน (Fire Simulation Computer Model) ได้อย่างรวดเร็วเพื่อนำไปใช้ในการพยากรณ์การเคลื่อนที่ของควัน อุณหภูมิ และสารเคมีที่เกิดจากการเผาไหม้ รวมทั้งผลจากการออกแบบยังสามารถนำมาใช้เป็นส่วนหนึ่งสำหรับการสอบสวนอุบัติเหตุ (Post-accident Investigate) ได้อีกด้วย

กล่าวได้ว่าโปรแกรม PyroSim เป็นโปรแกรมที่มีการสร้างขึ้นมาเพื่อเป็นโปรแกรมที่ช่วยในการสร้างรูปแบบของแบบจำลองของโปรแกรม Fire Dynamics Simulator (FDS) ซึ่งคิดค้นโดยสถาบัน National Institute of Standard and Technology [NIST] (2005) โดย Grattan and Forney และนับตั้งแต่ที่มีการใช้โปรแกรม FDS ขึ้นอย่างแพร่หลายนั้นก็เริ่มมีการจำลองแบบจำลองขึ้นมามากขึ้น เช่น การจำลองเหตุอากาศยานชนตึกเวิร์ลเทรด มาจำลองเหตุการณ์ดังกล่าวจนเป็นที่ 1 จนแบบจำลองแบบแรกที่สร้างโดยโปรแกรม PyroSim ก็คือแบบจำลองการเกิดเหตุขึ้นที่บริเวณแทงก์เก็บน้ำมัน ซึ่งเป็นการจำลองเหตุเพลิงไหม้ขึ้นที่แทงก์ดังกล่าว ทั้งนี้นอกเหนือจากที่โปรแกรม PyroSim และ FDS สามารถสร้างแบบจำลองที่อยู่ในเหตุการณ์สมมติที่เกิดอัคคีภัยขึ้นแล้ว ยังสามารถจำลองเหตุการณ์เกี่ยวกับการไหลผ่านของของไหลและการระบายอากาศในอาคารต่างๆ ได้อีกด้วย



ภาพผนวกที่ ก1 การสอบสวนอุบัติเหตุเหตุการณ์ที่อากาศยานชนตึกเวิลด์เทรด
โดยใช้แบบจำลองของโปรแกรม FDS

ที่มา: NIST (2001)

โปรแกรม PyroSim สามารถสร้างแบบจำลองทั้งแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ ซึ่งในระหว่าง
ที่ทำงานจะมีเครื่องมือที่เป็นรูปภาพไอคอนแสดงให้ผู้ใช้งานได้โดยง่าย และผู้ใช้งานสามารถส่งออก
(Export) ข้อมูลพื้นฐานออกจากโปรแกรม PyroSim ส่งไปเป็นข้อมูลที่เก็บในรูปแบบของไฟล์ใน
โปรแกรม Notepad และมีนามสกุลเป็น **.data** ได้ รวมทั้งยังสามารถส่งไฟล์ที่มีนามสกุล **.psm**
เข้ามาเพื่อแสดงผลในโปรแกรม PyroSim ได้อีกด้วย

การติดตั้งโปรแกรม (Installation)

หลังจากที่ทาง Thunderhead Engineer Consultant Incorporate ได้ส่งไฟล์ PyroSim-2005_
1_1101-setup มาแล้วจะต้องทำการติดตั้งโปรแกรมให้เรียบร้อยก่อน จึงจะสามารถใช้งานได้
ซึ่งความต้องการของระบบปฏิบัติการที่ต้องการก็คือ Window NT,2000 หรือ XP ส่วนความต้องการ
ทางด้านของ Hardware คือ Processor 1 GHz Pentium III , 512 random-access memory (RAM)
และต้องมีความละเอียดของหน้าจอเท่ากับ 64 MB และการติดตั้งมีขั้นตอนดังนี้

1. เมื่อ Double Click เข้าไปจะมีหน้าต่าง InstallShield Wizard ขึ้นมาให้เลือกที่ Next ดังภาพผนวกที่ ก2

2. ส่วนถัดไปจะเป็นหน้าต่างเกี่ยวกับวิธีการติดตั้ง ซึ่งหากเป็นการติดตั้งโปรแกรมครั้งแรกให้เลือกที่ Modify ดังภาพผนวกที่ ก3

3. และขั้นตอนต่อไปให้เลือก Next และเลือก Install จนโปรแกรมติดตั้งเรียบร้อยแล้ว ดังภาพผนวกที่ ก4 และ ก5

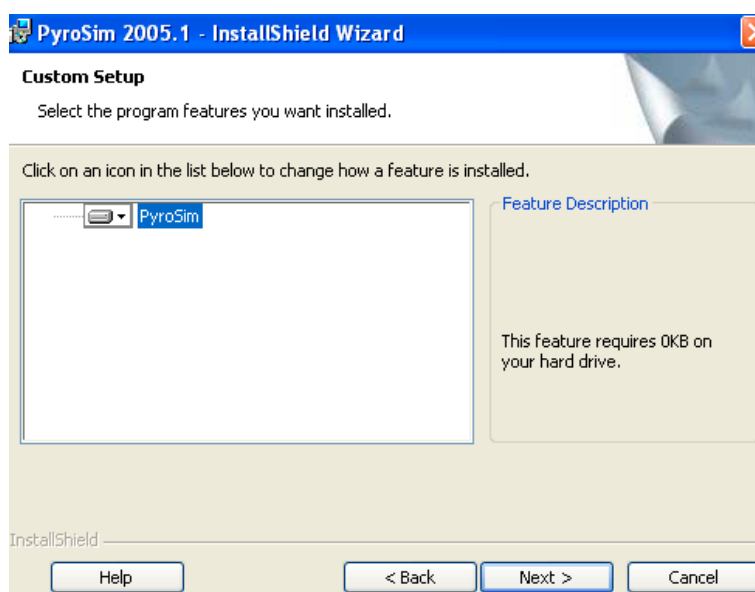
ทั้งนี้ ภายหลังจากที่มีการติดตั้งแล้วจะสามารถใช้งานโปรแกรมได้ประมาณ 30 วัน ซึ่งหากต้องการใช้งานต่อจะต้องเสียค่าใช้จ่ายสำหรับการต่อ License ต่อการใช้งานตามระยะเวลาที่ต้องการ



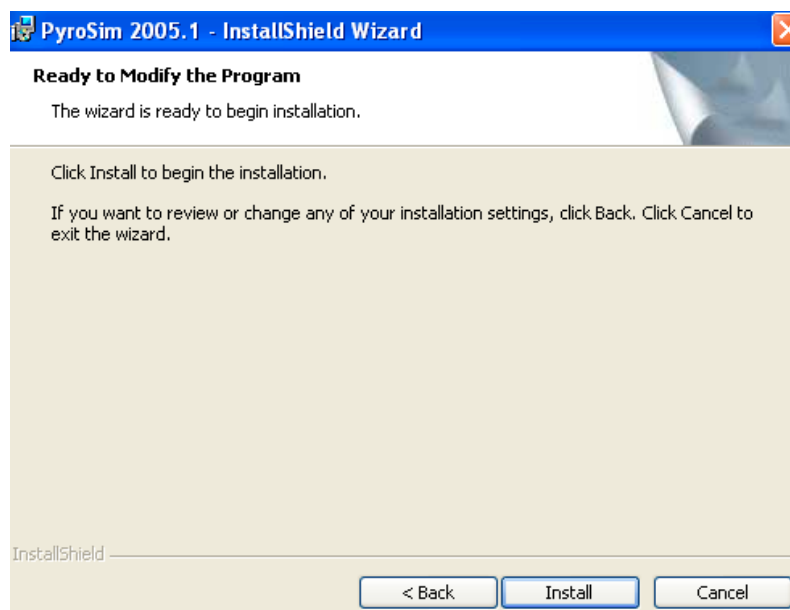
ภาพผนวกที่ ก2 หน้าต่างสำหรับการเริ่มที่จะติดตั้งโปรแกรม PyroSim



ภาพผนวกที่ ก3 การติดตั้งครั้งแรกให้เลือกแบบ Modify



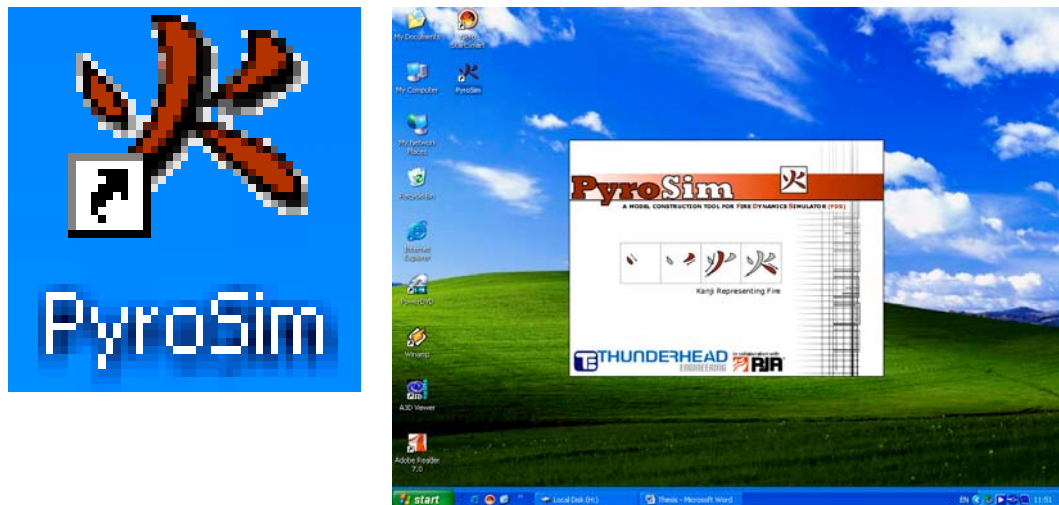
ภาพผนวกที่ ก4 แสดงขั้นตอนในการเลือกที่อยู่สำหรับการติดตั้งโปรแกรม



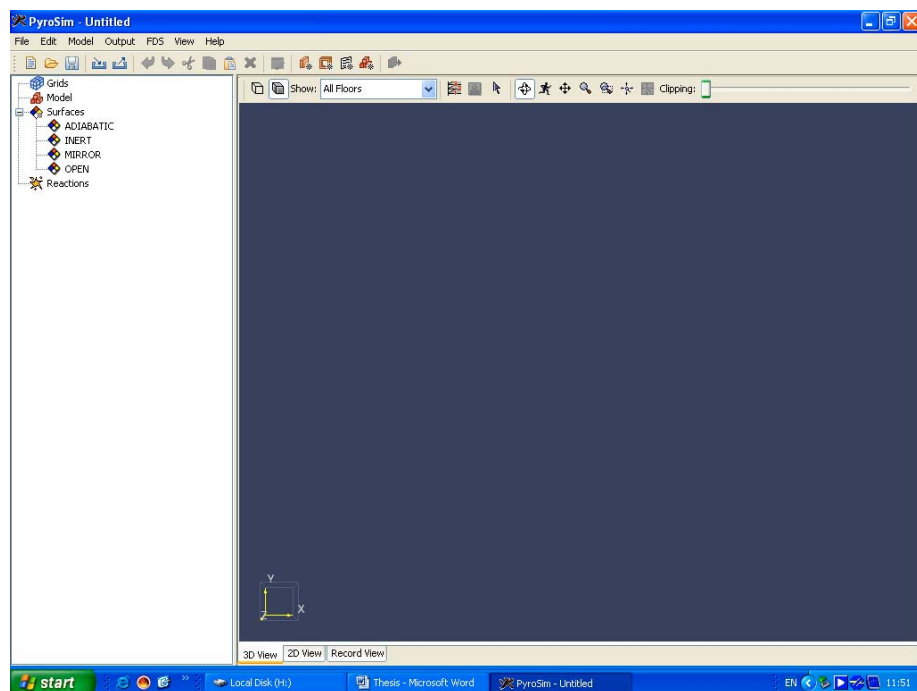
ภาพผนวกที่ ก5 แสดงขั้นตอนในการเลือกเพื่อเสร็จสิ้นการติดตั้งโปรแกรม

การเริ่มใช้งานโปรแกรม

หลังจากที่ได้ทำการติดตั้งโปรแกรมเรียบร้อยแล้วให้เราทำการนำรูปไอคอนของโปรแกรมมาวางไว้ที่หน้าจอ (Desktop) เพื่อความสะดวกในการใช้งาน ซึ่งลักษณะของไอคอนที่จะเข้าสู่การใช้งานจะมีลักษณะรูปดังภาพผนวกที่ ก6 ซึ่งหลังจากที่เปิดเข้าไปแล้วจะมีหน้าต่างเริ่มต้น (Interface) เป็นพื้นที่ว่างสำหรับเริ่มการใช้งานตามภาพผนวกที่ ก7



ภาพผนวกที่ 6 แสดงไอคอนสำหรับการเข้าไปใช้งานโปรแกรมและหน้าต่างเริ่มการใช้งาน



ภาพผนวกที่ 7 หน้าต่างเริ่มต้นสำหรับการใช้งานโปรแกรม PyroSim

แถบคำสั่งในโปรแกรม

สำหรับการใช้งานพื้นฐานมักจะเป็นคำสั่งโดยเฉพาะ ซึ่งเมื่อทำการติดตั้งไปแล้วจะมีการคู่มือในการใช้งานแนบให้ทันที ซึ่งเมนูเกี่ยวกับการใช้งานสร้างภาพเสมือนประกอบไปด้วยเมนูคำสั่งหลักๆ ดังต่อไปนี้

1. แถบคำสั่ง (Menu Bar) เป็นแถบที่รวมคำสั่งหลักของการใช้งานโปรแกรม PyroSim ตั้งแต่การเปิด-ปิดไฟล์ การบันทึกไฟล์ ดังภาพผนวกที่ ก8 รวมถึงการปรับแต่งคำสั่งต่างๆ ประกอบไปด้วย

1.1 File เป็นกลุ่มคำสั่งต่างๆที่เกี่ยวกับการจัดการไฟล์ เช่น การเปิด-ปิดไฟล์ การบันทึก และการนำเข้ายังโปรแกรม PyroSim และส่งออกไฟล์ไปยังโปรแกรม FDS

1.2 Edit กลุ่มคำสั่งเกี่ยวกับการปรับแต่งต่างๆ เช่น การคัดลอกพื้นผิวที่มีลักษณะเหมือนกัน

1.3 Model กลุ่มคำสั่งเกี่ยวกับการแสดงแบบจำลองในลักษณะที่เป็นการสร้างแบบจำลองการกำหนดคุณสมบัติของวัสดุพื้นผิว การติดตั้งเทอร์โมคัปเปิ้ล การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับความร้อน การติดตั้งสปริงเกอร์ การกำหนดค่าปฏิกิริยาการเผาไหม้ต่างๆ เป็นต้น

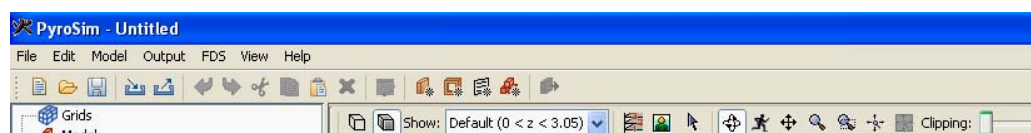
1.4 Output กลุ่มคำสั่งที่ใช้สำหรับการกำหนดค่า Output ที่ต้องการจะแสดงออกมาให้เห็นเมื่อทำการประมวลผลจาก FDS ไฟล์ เช่น อุณหภูมิ การพัฒนาของอัคคีภัย การนำความร้อน การให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นต้น

1.5 FDS กลุ่มคำสั่งที่ใช้สำหรับการแสดงผลออกมาในรูปแบบโปรแกรม FDS ไฟล์ เช่น การกำหนดค่าพารามิเตอร์สำหรับการจำลองเหตุการณ์ การพิจารณาแบบจำลองที่สร้างขึ้นว่าถูกต้องกับที่กำหนดและสามารถประมวลผลบนโปรแกรม FDS หรือไม่

1.6 View กลุ่มคำสั่งที่ใช้สำหรับค่า Default ต่างที่จะใช้แสดงผลที่ออกมาทางหน้าต่างของโปรแกรม PyroSim เช่น การกำหนดสีของพื้นหลังของหน้าต่าง การกำหนดให้มุมมองของหน้าต่างเป็นค่าเริ่มต้น เป็นต้น

1.7 Help กลุ่มคำสั่งที่ใช้รวบรวมคำแนะนำต่างๆในการใช้งานโปรแกรม รวมทั้งสำหรับการแจ้งกำหนดเวลาที่เหลืออยู่สำหรับการใช้งาน

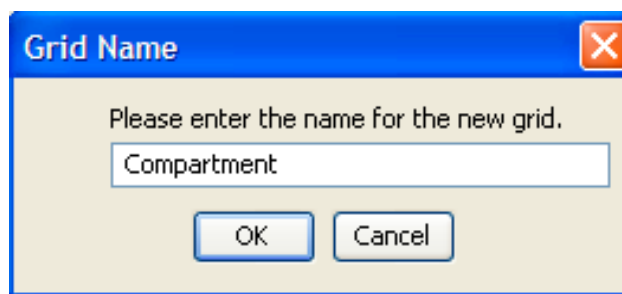
2. แถบเครื่องมือ (Tool Box) เป็นกล่องที่เก็บเครื่องมือที่เป็นเครื่องมือหลักและต้องใช้งานบ่อยๆ จากแถบคำสั่ง (Menu Bar) ดังภาพผนวก ก8 เพื่อให้ผู้ใช้งานมีความสะดวกในการใช้งานมากขึ้น โดยจะอยู่ในลักษณะไอคอนคำสั่งที่สามารถโต้ตอบกับผู้ใช้ได้โดยง่าย



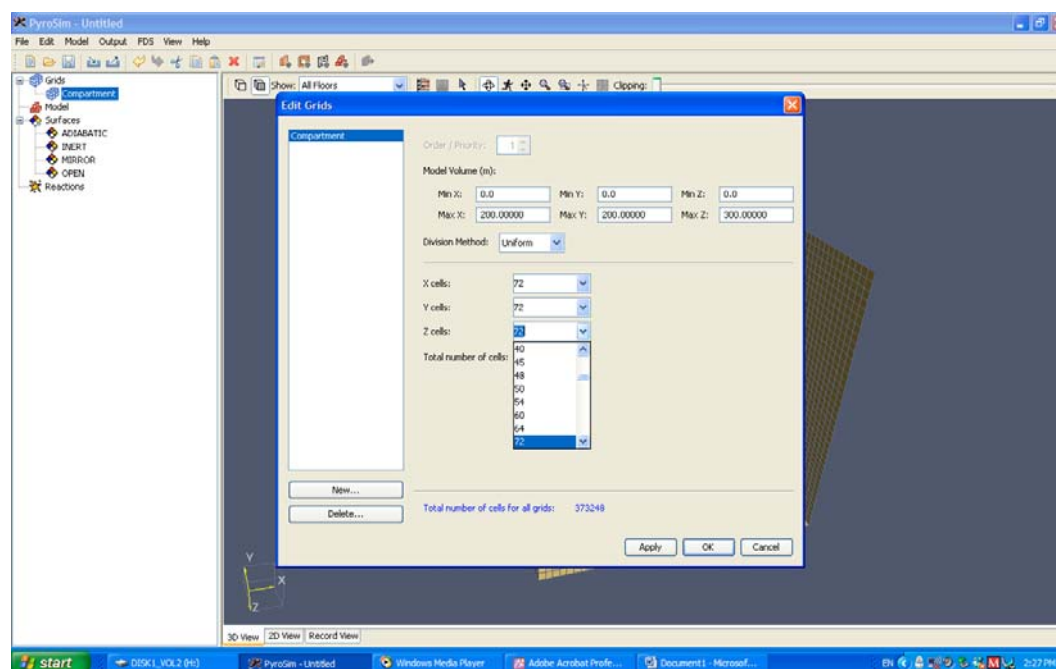
ภาพผนวกที่ ก8 แสดงแถบคำสั่ง(ด้านบน) และแถบเครื่องมือ(ด้านล่าง)

ขั้นตอนการสร้างแบบจำลอง

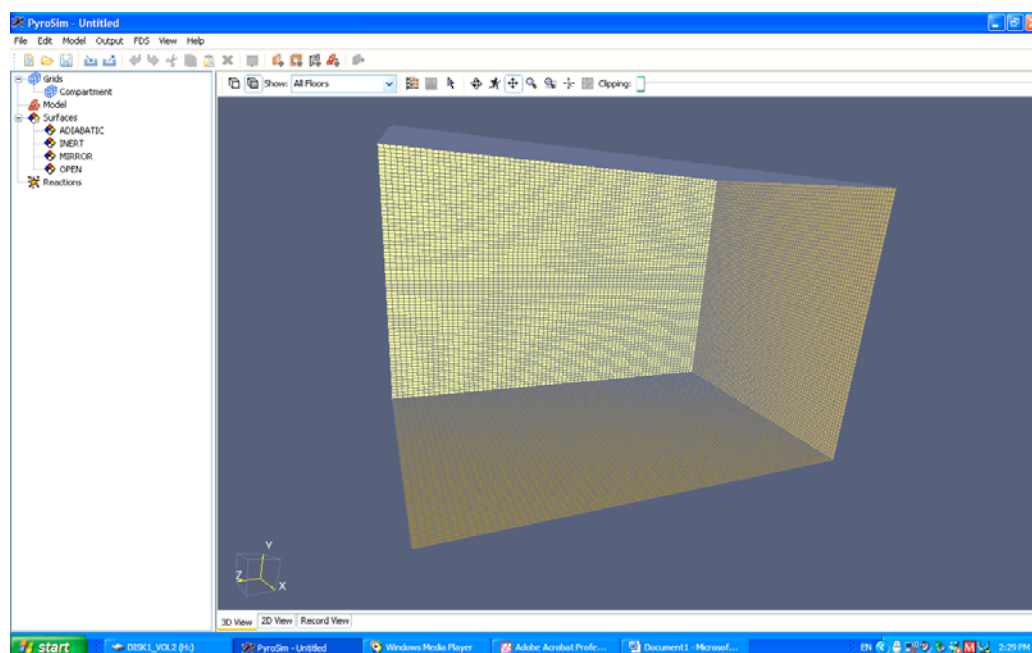
1. กำหนดเซลล์ Grid เป็นการกำหนดค่าความสัมพันธ์ (Coordinate) ต่างๆ ระหว่างแกน X, Y และแกน Z ที่โปรแกรม FDS จะใช้คำนวณในการสร้างแบบจำลองที่ต้องการ โดยให้คลิกไปที่คำสั่ง Model และไปที่ Edit Grid และเลือก New จะมีหน้าต่างเล็กๆ เหมือนภาพผนวกที่ ก9 ขึ้นมาให้ใส่ชื่อ Grid ที่ต้องการและเมื่อตั้งชื่อเสร็จเรียบร้อยแล้วให้เลือก OK จะปรากฏหน้าต่างใหม่ขึ้นมา ให้กำหนดค่าขนาดของห้องหรือพื้นที่ที่ต้องการ จะให้จำลองเหตุการณ์ทั้งแกน X, Y และแกน Z โดยมีหน่วยเป็นเมตร (M) ดังภาพผนวกที่ ก10 รวมทั้งต้องทำการเลือกความละเอียดของ Grid ที่ต้องการ ทั้งนี้ Grid ที่เลือกมาจะเป็นจำนวนที่สามารถใช้งานได้โดยที่ไม่ต้องนำไปคำนวณหาความเหมาะสมอีก และจะแสดงผลของขอบเขตออกมาบนหน้าต่างเริ่มต้นดังภาพที่ ก11



ภาพผนวกที่ ก9 แสดงการตั้งชื่อ Grid ที่ต้องการ



ภาพผนวกที่ ก10 แสดงการตั้งค่า Grid ที่จะใช้ในการสร้างแบบจำลอง

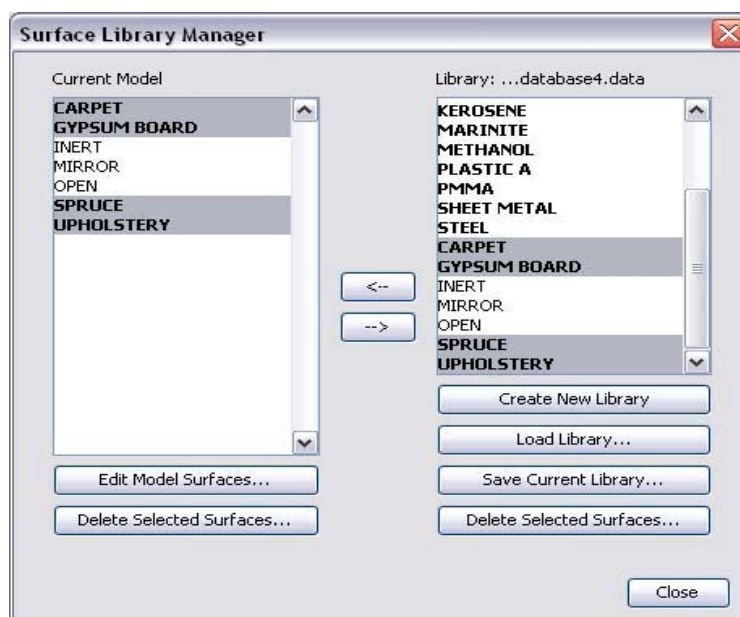


ภาพผนวกที่ ก11 แสดงขอบเขตและ Grid ที่กำหนดและแสดงผลที่หน้าต่างของโปรแกรม PyroSim

การกำหนดคุณสมบัติของพื้นผิววัสดุ

สำหรับการกำหนดพื้นผิวในโปรแกรม FDS (หรือคำสั่งที่เขียนว่า SURF) เป็นคำสั่งที่เชื่อมโยงสภาพแวดล้อม และกำหนดคุณสมบัติของวัสดุที่เป็นของแข็งหรือช่องเปิดหรือการเชื่อมโยงของการไหลแบบต่างๆ ซึ่งผลที่ได้โปรแกรม PyroSim สามารถทำได้หลายอย่างตามแต่ที่ผู้ต้องการ

การกำหนดพื้นผิวให้เลือกไปที่ Model และไปยัง Edit Surface Properties และนำคุณสมบัติของพื้นผิวที่มีให้เลือกอยู่ในโปรแกรมโดยเลือก Add From Library โดยที่ในกรณีที่ใน Library ยังไม่มีการนำข้อมูลมาเก็บเอาไว้ให้เลือกที่ Load Library ซึ่งโปรแกรมจะไปค้นหาในไฟล์ database4.data จะทำให้ข้อมูลถูกดึงมาเก็บไว้ในโปรแกรม PyroSim ซึ่งหลังจากเลือกแล้วจะมีหน้าต่างขึ้นมาและให้เราใช้ปุ่ม --> และ <-- ในการเลือกคุณสมบัติที่ต้องการ เช่น CARPET SPRUCE UPHOLSTERY หรือ GYPSUM BOARD ดังแสดงในภาพผนวกที่ ก12



ภาพผนวกที่ ก12 แสดงการเลือกใช้ข้อมูลของคุณสมบัติพื้นผิววัสดุทั้งหมด

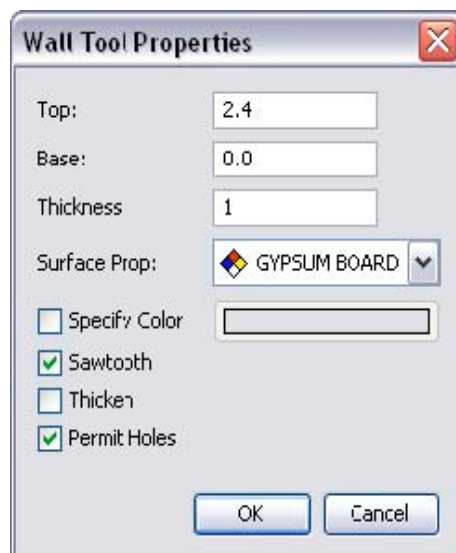
การสร้างแบบจำลอง (Create Obstruction)

การสร้างแบบจำลองเป็นความสามารถทั่วไปที่ผู้ใช้จะต้องสามารถทำได้ การสร้างแบบจำลองในโปรแกรม PyroSim นั้น จะทำการสร้างได้ทั้ง 3 มิติ และ 2 มิติ ซึ่งในการสร้างหากต้องการสร้างแบบจำลองขึ้นใหม่ให้เลือกเมนู Model ไปที่ New Obstruction dialog

ในการกำหนดค่าของความหนาของผนังหรือพื้นผิวนั้นเมื่อเราเลือกไปที่ New Obstruction จะมีหน้าต่าง Wall Tool Properties เข้ามาตอบโต้ดังภาพผนวกที่ ก13 และให้ผู้ใช้งานใส่ความหนา ความยาว รวมทั้งชนิดของพื้นผิวที่ต้องการเมื่อเลือกเสร็จแล้วให้เลือกที่ OK โดยมีความหมายเพิ่มเติมของช่องที่ต้องการให้ทำการเลือก (✓) เพิ่มเติมดังนี้

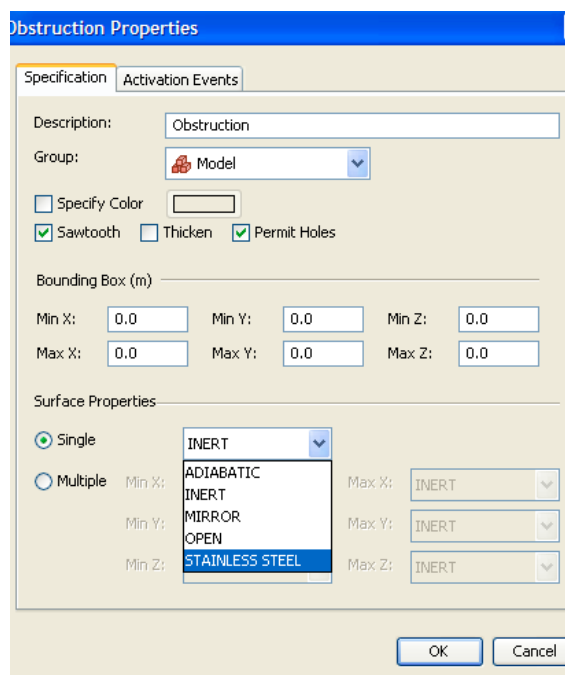
1. Specify Color ใช้เลือกพื้นผิวของวัสดุให้เป็นสีตามที่ต้องการ
2. Sawtooth ให้แสดงผลของพื้นผิวของวัสดุไม่เป็นเหลี่ยมหรือมีลักษณะกลม มน
3. Thicken ให้แสดงผลพื้นผิวออกมามีความหนา

4. Permit Holes สามารถกำหนดพื้นผิวนั้นมีช่อง หรือรูได้



ภาพผนวกที่ ก13 แสดงการเลือกกำหนดคุณสมบัติของผนังที่ต้องการ

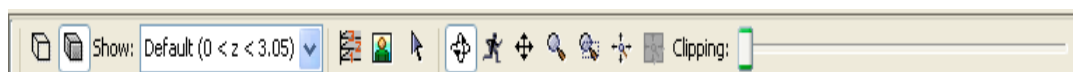
โดยที่การเชื่อมโยงของพื้นผิวที่สร้างนั้นจะอยู่ในรูปความสัมพันธ์ของแกน X , Y และ แกน Z โดยเมื่อทำการสร้างแบบจำลองใหม่จะมีหน้าต่าง Obstruction Properties ขึ้นมาให้ทำการ ตั้งชื่อและใส่กำหนดความกว้าง ขาว สูงลงไปในช่วง Min X , Y , Z และ Max X , Y , Z และเลือก ที่ Surface Properties ให้เลือกที่ Single และเลือก  พื้นผิวที่ต้องการที่เรากำหนดเอาไว้ตั้งแต่ต้น ดังที่แสดงในภาพผนวกที่ ก14



ภาพผนวกที่ ก14 แสดงการเลือกกำหนดคุณสมบัติของผนังที่ต้องการ

การใส่รูปลงไปและการทำให้พื้นผิวมีลักษณะโค้ง (Insert Picture and Create Curved Wall Geometry)

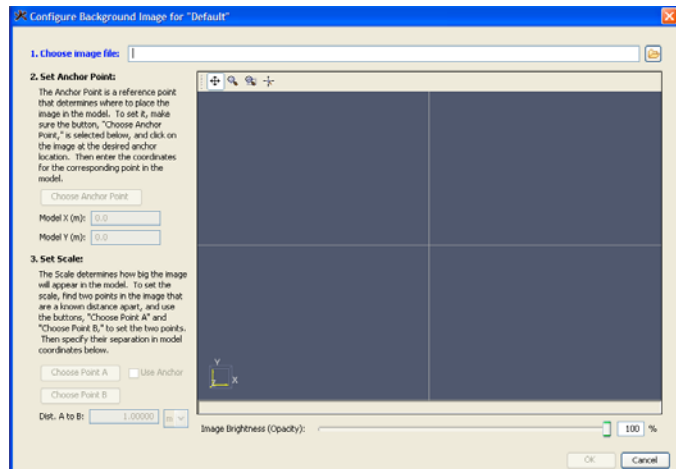
ในโปรแกรม PyroSim สามารถใส่รูปลงไปได้เพื่อให้การสร้างรูปแบบจำลองไม่เป็นรูปเหลี่ยม (Non-rectangular) ได้ ซึ่งนอกจากจะทำให้แบบจำลองไม่เป็นเหลี่ยมแล้ว ยังสามารถทำให้รูปแบบจำลองมีลักษณะโค้งมนและมีความสมจริงสวยงามมากยิ่งขึ้น โดยที่เราสามารถเลือกที่เมนูคำสั่งบล็อกบาร์ (Block Bar) ดังภาพผนวกที่ ก15 ที่เป็นวิธีที่สร้างรูปที่มีความโค้งได้ง่ายที่สุด



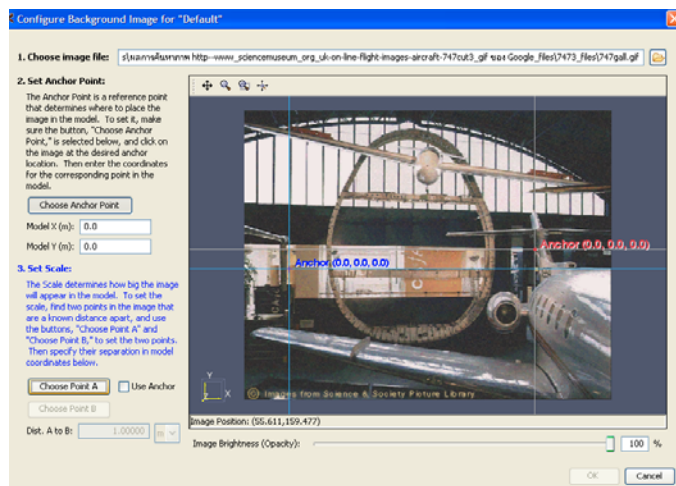
ภาพผนวกที่ ก15 กล้องสำหรับคำสั่งบล็อกบาร์ (Block Bar)

การใส่รูปภาพให้เลือกที่ไอคอน  เพื่อให้หน้าต่าง Configure Background Image for “Default” ดังภาพผนวกที่ ก16 เปิดขึ้นมาโดยมีขั้นตอนในการใส่รูปดังนี้

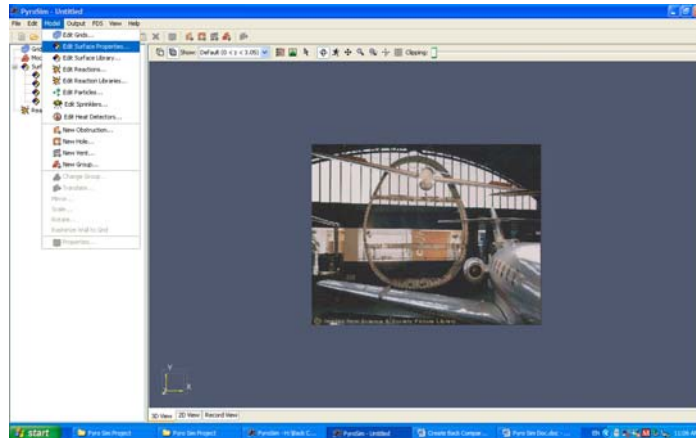
1. เลือกรูปที่ต้องการจะใส่ลงไปในพื้นที่ โดยใช้คำสั่ง Choose image file ตามที่ผู้ใช้งานต้องการจะออกแบบแบบจำลองจะทำให้รูปที่ใส่ลงไปแสดงเหมือนในภาพผนวกที่ ก17
2. เลือกจุดที่อ้างอิงตำแหน่งของการใส่รูปลงไปในพื้นที่ (Set Anchor Point) ในการเลือกโดยกำหนดให้มีขนาดของความยาวของรูปที่ต้องการจะใส่ลงไประหว่างจุด X และจุด Y โดยมีหน่วยเป็นเมตร (m)
3. เลือกจุดที่จะวางระหว่างจุด A และ จุด B (Set Scale) เพื่อเป็นการกำหนดตำแหน่งของรูปที่จะวางในพื้นที่ที่เรากำหนดเอาเส้น Grid ไว้ รวมทั้งต้องกำหนดให้ระยะห่างระหว่างจุด A และ B โดยให้ทำการใส่ค่าตัวเลขลงไปในช่วง Dist. A to B มีหน่วยเป็นเมตร(m) หรือเซนติเมตร (cm)
4. การปรับความคมชัดของภาพ (Image Brightness) เป็นเมนูคำสั่งเสริมที่เราสามารถปรับความคมชัดให้สามารถแสดงในหน้าต่างของพื้นหลัง โดยสามารถใช้ประโยชน์ได้ในกรณีที่ผู้ใช้งานต้องการที่จะแก้ไขหรือไม่ต้องการให้รูปแสดงที่พื้นหลังต่อไป เพราะเนื่องจากเมื่อใส่รูปลงไปแล้วจะไม่สามารถนำรูปออกจากพื้นหลังได้ โดยวิธีการปรับความคมชัดให้ใช้เมาส์แดรกส์ลากไปตั้งแต่ค่าเริ่มต้นที่ 0% จนถึง 100% ต่อไปให้เลือกที่ OK จะได้ผลลัพธ์ออกมาดังภาพผนวกที่ ก18 และหากผู้ใช้ต้องการสร้างจากรูปภาพที่ใส่ลงไปจะได้ผลลัพธ์ที่เป็นรูปโค้งตามที่ต้องการดังภาพผนวกที่ ก19



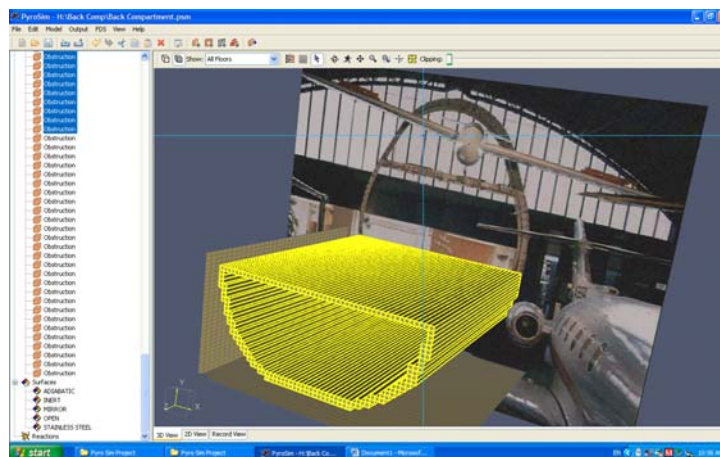
ภาพผนวกที่ ๑๖ หน้าต่าง Configure Background Image for “Default”



ภาพผนวกที่ ๑๗ การใส่รูปภาพลงในพื้นหลังเพื่อช่วยในการออกแบบส่วนโค้ง



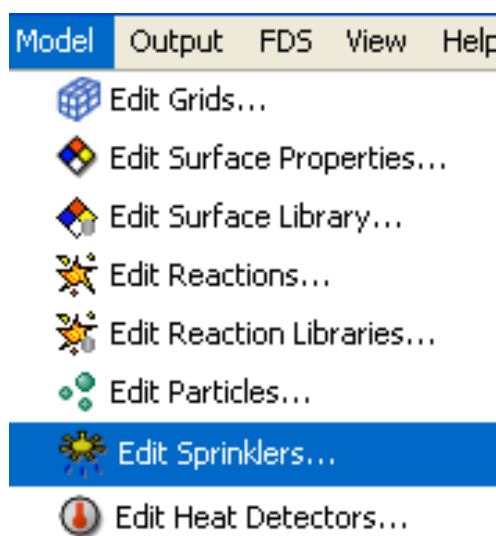
ภาพผนวกที่ ก18 แสดงผลลัพธ์ที่ภายหลังจากที่ได้ใส่รูปภาพลงไปในพื้นหลังเรียบร้อยแล้ว



ภาพผนวกที่ ก19 แสดงการสร้างภาพให้มีส่วนโค้งมนหลังจากที่ได้ใส่รูปภาพลงไปที่พื้นหลังให้เป็นเขตสำหรับการสร้างภาพเหมือน

การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับความร้อน และสปริงเกอร์ (Installation Heat Detector and Sprinkler)

เป็นกลุ่มคำสั่งที่ใช้สำหรับต้องการใส่อุปกรณ์เกี่ยวกับการตรวจจับความร้อน และสปริงเกอร์ รวมทั้งการกำหนดค่า Reaction, Particle อื่นๆ ลงไปเพื่อให้เกิดการประมวลผลที่เกี่ยวกับการนำความร้อน (Heat Transfer) และการดับเพลิง โดยให้ใช้เลือกใช้คำสั่ง Model และไปที่, Heat Detector หรือ Sprinkler ตามแต่ผู้ใช้ต้องการดังภาพผนวกที่ ก20 และทำการใส่ค่าพิกัดลงในช่องสำหรับการติดตั้งดังภาพผนวกที่ ก21 และในภาพผนวกที่ ก22 จะแสดงจำนวนอุปกรณ์ที่เราใส่ และชื่อที่ผู้ใช้กำหนดขึ้น ทั้งนี้มีข้อควรระวังในการใส่ค่าจุดอ้างอิงในการติดตั้งอุปกรณ์ทั้งหมด ต้องคำนึงถึงพื้นที่ที่ผู้ใช้งานออกแบบแบบจำลองเอาไว้ เพราะหากไม่ได้ทำการบันทึกเอาไว้ อาจทำให้การติดตั้งออกไปนอกพื้นที่ที่ผู้ใช้งานออกแบบ



ภาพผนวกที่ ก20 แสดงคำสั่งสำหรับการติดตั้งสปริงเกอร์และอุปกรณ์ตรวจจับความร้อน

Sprinklers

Sprinkler Make: K-11

Associated Particle: PART #1 Edit Particles...

Location (m):
 X: 50.0000 Y: 134.0000 Z: 580.0000

Rotation Angle (default 0): 0.0

☐ Custom Orientation (FDS default is 0,0,-1):
 X: 0.0 Y: 0.0 Z: -1.00000

Time Events:

	Time (s)	Event
1	60.0000	ACTIVATE
2	600.0000	DEACTIVATE
*		

New... Delete... Specify Pipe Parameters... Insert Row Remove Row Apply OK Cancel

ภาพผนวกที่ ก21 แสดงการใส่ชื่อของสปริงเกอร์และจุดอ้างอิงพิคต์ในการติดตั้งสำหรับการออกแบบ

Heat Detectors

	X (m)	Y (m)	Z (m)	Response Time Index ($\sqrt{m/s}$)	Activation Temperature (°C)	Name
1	44.0000	133.0...	590.0...	40.0000	70.0000	Row 1-1
2	44.0000	133.0...	630.0...	40.0000	70.0000	Row 1-2
3	44.0000	133.0...	670.0...	40.0000	70.0000	Row 1-3
4	44.0000	133.0...	710.0...	40.0000	70.0000	Row 1-4
5	44.0000	133.0...	750.0...	40.0000	70.0000	Row 1-5
6	44.0000	133.0...	790.0...	40.0000	70.0000	Row 1-6
7	44.0000	133.0...	830.0...	40.0000	70.0000	Row 1-7
8	44.0000	133.0...	870.0...	40.0000	70.0000	Row 1-8
9	44.0000	133.0...	910.0...	40.0000	70.0000	Row 1-9
10	44.0000	133.0...	950.0...	40.0000	70.0000	Row 1...
11	44.0000	133.0...	990.0...	40.0000	70.0000	Row 1...
12	84.0000	133.0...	590.0...	40.0000	70.0000	Row 2-1
13	84.0000	133.0...	630.0...	40.0000	70.0000	Row 2-2
14	84.0000	133.0...	670.0...	40.0000	70.0000	Row 2-3
15	84.0000	133.0...	710.0...	40.0000	70.0000	Row 2-4
16	84.0000	133.0...	750.0...	40.0000	70.0000	Row 2-5
17	84.0000	133.0...	790.0...	40.0000	70.0000	Row 2-6
18	84.0000	133.0...	830.0...	40.0000	70.0000	Row 2-7
19	84.0000	133.0...	870.0...	40.0000	70.0000	Row 2-8

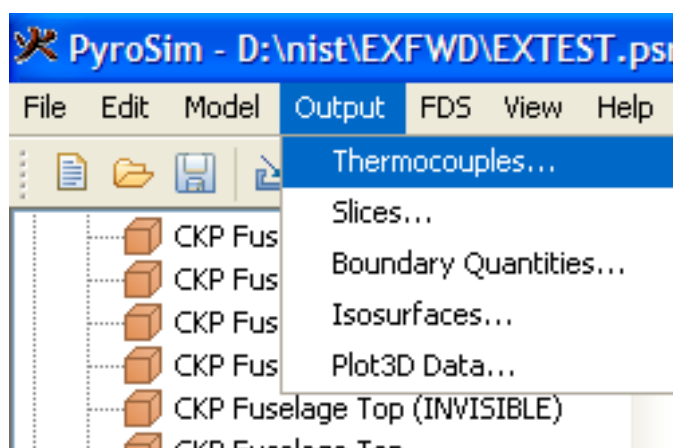
Insert Row Remove Row Move Up Move Down Copy Paste Cut OK Cancel

ภาพผนวกที่ ก22 แสดงการใส่ชื่อของอุปกรณ์ตรวจจับความร้อนและจุดอ้างอิงพิคต์ในการติดตั้งสำหรับการออกแบบ

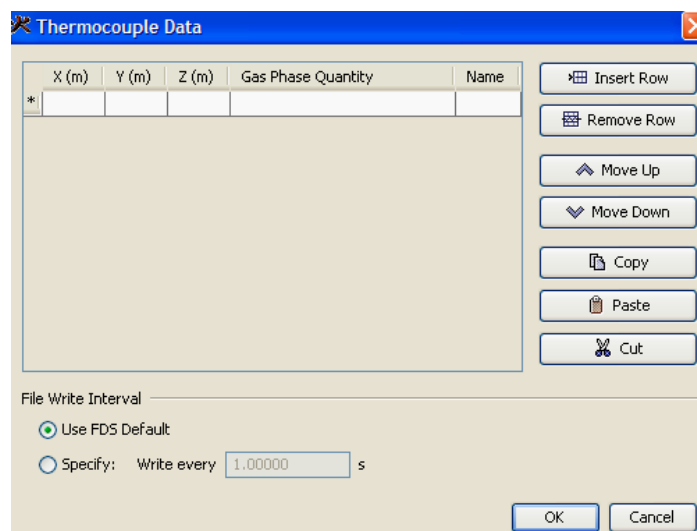
การติดตั้งเทอร์โมคัปเปิ้ล (Installation Thermocouple)

เป็นอุปกรณ์อีกชนิดหนึ่งที่ใช้สำหรับแสดงผลลัพธ์ รวมทั้งยังเป็นการใช้สำหรับบันทึกข้อมูลต่างในช่วงระยะเวลาที่ต่างกันของการสร้างภาพเสมือน ซึ่งในโปรแกรม PyroSim และ FDS นอกจากที่จะแสดงอุณหภูมิ(Temperature) แล้ว คุณสมบัติอีกอย่างหนึ่งของเทอร์โมคัปเปิ้ล ก็คือ แสดงความหนาแน่น (Density) การวัดความกดดันบรรยากาศ (Atmosphere Pressure) การวัดมวลออกซิเจนในอากาศ (Mass of Oxygen) รวมทั้งยังสามารถใช้สำหรับการวัดปริมาณการไหล (Flow) ได้ด้วย

การติดตั้งเทอร์โมคัปเปิ้ลสามารถติดตั้งโดยเลือกที่คำสั่ง Output และไปที่เมนู Thermocouple ดังภาพผนวกที่ ก23 และ โดยจะมีหน้าต่างขึ้นมาดังภาพผนวกที่ ก24 ให้ใส่ชื่อและทำการติดตั้ง โดยบอกพิกัดการติดตั้งให้ถูกต้องตามที่ต้องการ



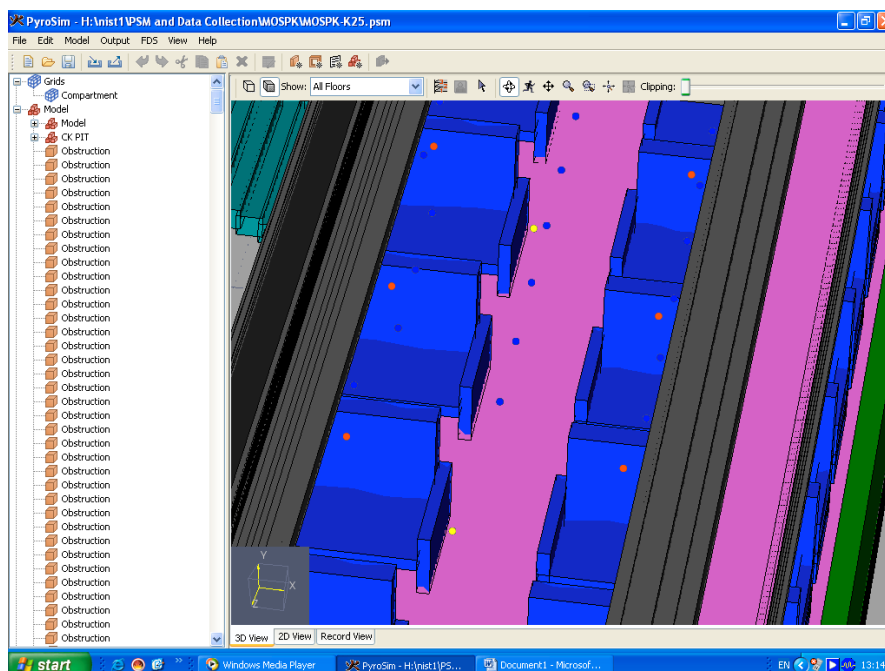
ภาพผนวกที่ ก23 แสดงคำสั่งของการเลือกติดตั้งเทอร์โมคัปเปิ้ล



ภาพผนวกที่ ก24 แสดงการใส่ชื่อของเทอร์โมคัปเปิ้ลและจุดอ้างอิงพิกัดในการติดตั้ง

สำหรับการแสดงผลปรากฏการติดตั้งของอุปกรณ์ตรวจจับความร้อน สปริงเกอร์ และเทอร์โมคัปเปิ้ล ในโปรแกรม PyroSim จะแสดงผลในรูปของจุดสีเหลี่ยมดังภาพผนวกที่ ก25 และแยกออกเป็นสีทั้งหมด 3 สี ดังนี้

1. สีแดง ใช้แทนสำหรับจุดอ้างอิงในการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับความร้อน
2. สีน้ำเงิน ใช้แทนสำหรับจุดอ้างอิงในการติดตั้งสปริงเกอร์
3. สีเหลือง ใช้แทนสำหรับจุดอ้างอิงในการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิ้ล

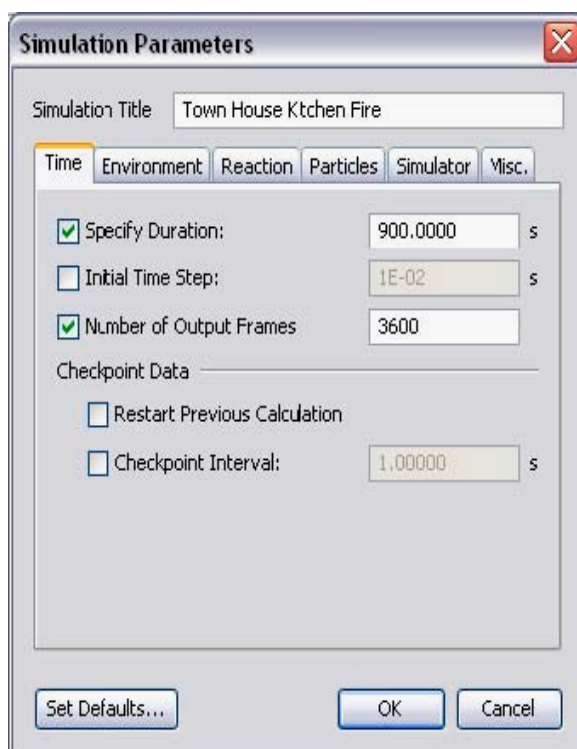


ภาพผนวกที่ ก25 แสดงจุดสีเหลี่ยมที่ใช้แสดงให้กับผู้ใช้งานทราบถึงจุดที่แยกโดยสี 3 สี ได้แก่ จุดสีแดงแสดงการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับความร้อน จุดสีน้ำเงินแสดงการติดตั้งสปริงเกอร์ และจุดสีเหลืองแสดงการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิล

การประมวลผลผลลัพธ์และการกำหนดคุณสมบัติในการจำลองเหตุการณ์ (Specify Simulation Properties)

ดังที่กล่าวในเบื้องต้นเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้โปรแกรม PyroSim ที่ผ่านมา เป็นสิ่งจำเป็นพื้นฐานที่ผู้ใช้งานจำเป็นต้องทำให้ได้ ดังนั้น ขั้นตอนสุดท้ายที่จำเป็นมากที่สุดก็คือ การจำลองเหตุการณ์และการประมวลผลผลลัพธ์ สำหรับการกำหนดระยะเวลาในการจำลองเหตุการณ์หลัก จากที่ผู้ใช้งานได้สร้างภาพเสมือนเสร็จแล้ว ให้เลือกที่เมนูคำสั่ง FDS และไปเลือกที่เมนู Simulation Parameter และในช่องของ Ending simulation time ให้เลือกที่ช่อง Specify และใส่ระยะเวลาในการจำลองเหตุการณ์ตามที่ต้องการดังแสดงรูปแบบตามภาพผนวกที่ ก25

คุณสมบัติอีกข้อที่พิเศษสำหรับโปรแกรม PyroSim ก็คือ การพิจารณาตัวอย่างก่อนที่จะนำไปประมวลผลลัพธ์ โดยที่ในโปรแกรมของ PyroSim สามารถทำได้โดยไปที่เมนูคำสั่ง FDS และไปเลือกที่ Preview Model in Smokeview โดยโปรแกรมจะทำการทดลองแสดงผลลัพธ์หลังจากที่ได้สร้างแบบเสร็จเรียบร้อยแล้ว



ภาพผนวกที่ ก26 แสดงหน้าต่าง Simulation Parameters สำหรับใช้ในการประมวลผลลัพธ์ และระยะเวลาในการวิจัยผลทดลอง

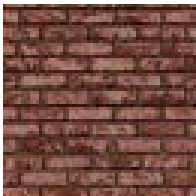
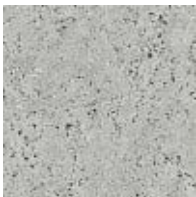
ภาคผนวก ข

การกำหนดพื้นผิวของวัสดุที่มีอยู่ในข้อมูลพื้นฐาน (Texture)

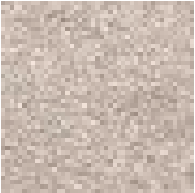
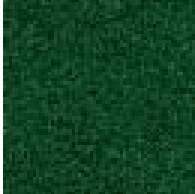
การกำหนดพื้นผิวของวัตถุที่มีอยู่ในข้อมูลพื้นฐาน (Texture)

ในโปรแกรม PyroSim เราสามารถกำหนดพื้นผิวตามที่ได้กล่าวเอาไว้ในภาคผนวก ก ส่วนภาคผนวก ข จะกล่าวถึงพื้นผิวของวัตถุที่มีอยู่ใน Database4.data ที่มีอยู่ 14 พื้นผิวสำหรับใส่รูปภาพลงไปบนวัตถุที่ต้องการให้มีความสมจริงยิ่งขึ้น โดยแสดงอยู่ในตารางผนวกที่ ข1 ด้านล่าง

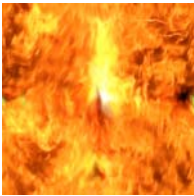
ตารางผนวกที่ ข1 แสดงภาพของพื้นผิวในข้อมูลพื้นฐาน

ลำดับ	ภาพของพื้นผิว (Texture)	ชื่อในโปรแกรม PyroSim	ชื่อภาษาไทย
1.		Brick	ผนังอิฐ
2.		Concrete	พื้นปูน
3.		Upholstery	พื้นผิวนุ่มผิววัสดุ
4.		Brown	กล่องกระดาษ
5.		Sheet Metal	พื้นเหล็ก, สังกะสี

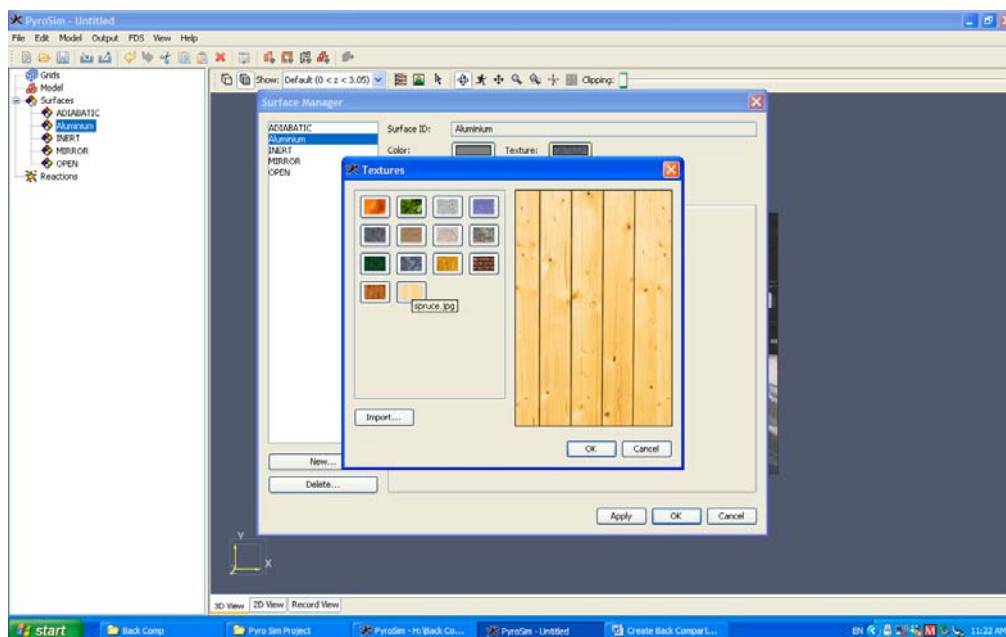
ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ)

ลำดับ	ภาพของพื้นผิว (Texture)	ชื่อในโปรแกรม PyroSim	ชื่อภาษาไทย
6.		Carpet	พรม
7.		Carpet_blue	พรมสีน้ำเงิน
8.		Carpet_grey	พรมสีเทา
9.		Spruce	วัสดุตกแต่งเพื่อความสวยงาม
10.		Glass	สนามหญ้า
11.		Green	พื้นวัสดุสีเขียว

ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ)

ลำดับ	ภาพของพื้นผิว (Texture)	ชื่อในโปรแกรม PyroSim	ชื่อภาษาไทย
12.		Woodgrain	พื้นไม้
13.		Wood58	พื้นไม้
14.		Fire	พื้นผิววัสดุที่เป็น แหล่งกำเนิด เพลิงไหม้

สำหรับการใส่พื้นผิวเข้าไปในโปรแกรม PyroSim สามารถทำได้โดยไปที่เมนูคำสั่ง Edit และไปที่ Edit Surface และให้เลือกที่ช่อง Texture จะมีหน้าต่าง Texture ขึ้นมาดังภาพผนวกที่ ข1 ซึ่งผู้ใช้งานสามารถเลือกพื้นผิวที่ต้องการไปแสดงในโปรแกรม FDS และยังสามารถสร้าง Texture เอง โดยการไปเลือกที่ Import และนำภาพที่ต้องการมาเก็บไว้ในฐานข้อมูล



ภาพผนวกที่ ข1 แสดงการใส่พื้นผิว(Texture) ของโปรแกรม PyroSim

ภาคผนวก ก

คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในโปรแกรม FDS และ PyroSim

ตารางผนวกที่ ๑1 แสดงคุณสมบัติที่เกี่ยวกับการเกิดเหตุเพลิงไหม้ของวัสดุที่เป็นข้อมูลพื้นฐานของโปรแกรม PyroSim

Properties									
Surface	Surface Type	Heat of Vaporization (kJ/kg)	Override Heat of Combustion (kJ/kg)	Maximum Burning Rate (kg/m ² -s)	Fuel Fraction	Emissivity	Backing	Extinguishing Coefficient (1/s)	Porosity Fraction
1. ADIABATIC	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
2. BRICK	Non-flammable Solid	N/A	N/A	N/A	N/A	0.90	Air Gap	N/A	N/A
3. CARPET	Non-flammable Solid	2,000	2.23E04	5E-02	0.62	0.90	Inaulate	N/A	N/A
4. CEILING TILE	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0.90	Air Gap	N/A	N/A
5. CONCRETE	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0.90	Air Gap	N/A	N/A
6. ETHANOL	Liquid Fuel	837	2.68E04	1.5E-02	1.00	0.90	Air Gap	N/A	N/A
7. GLASS	Non-flammable Solid	N/A	N/A	N/A	N/A	0.90	Expose	N/A	N/A
8. GYPSUM BOARD	Non-flammable Solid (Constant Heat Release Rate)	100	N/A	N/A	1.00	N/A	N/A	0.0	0.0

ตารางผนวกที่ ค1 (ต่อ)

Properties									
Surface	Surface Type	Heat of Vaporization (kJ/kg)	Override Heat of Combustion (kJ/kg)	Maximum Burning Rate (kg/m ² -s)	Fuel Fraction	Emissivity	Backing	Extinguishing Coefficient (1/s)	Porosity Fraction
9. HEPTANE	Liquid Fue	316	4.6112E04	6.5E-02	1.00	0.90	Air Gap	N/A	N/A
10. INERT	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
11. KEROSENE	Liquid Fuel	256	4.28E-04	0.10	1.00	0.90	Air Gap	N/A	N/A
12. MARINITE	Non-flammable Solid	N/A	N/A	N/A	N/A	0.80	Expose	N/A	N/A
13. METHANOL	Liquid Fuel	1,101	1.98E-04	2E-02	1.00	0.90	Air Gap	N/A	N/A
14. MIRROR	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
15. OPEN	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
16. PAPER	Burner Fire	3,000	3E04	N/A	1.00	N/A	N/A	0.00	0.00
17. PLASTIC A	Flammable Solid (Constant Heat Release Rate)	5,000	4E04	N/A	1.00	N/A	N/A	0.50	0.50

ตารางผนวกที่ ๑๑ (ต่อ)

Properties									
Surface	Surface Type	Heat of Vaporization (kJ/kg)	Override Heat of Combustion (kJ/kg)	Maximum Burning Rate (kg/m ² -s)	Fuel Fraction	Emissivity	Backing	Extinguishing Coefficient (1/s)	Porosity Fraction
18. PMPA	Flammable Solid	1,620	2.52E04	2.8E-02	1.00	0.90	Air Gap	N/A	N/A
19. SHEET METAL	Non-flammable Solid	N/A	N/A	N/A	N/A	0.90	Air Gap	N/A	N/A
20. SPRUCE	Charring Fuel	500	0.0	0.10	1.00	0.90	Expose	N/A	N/A
21. STEEL	Non-flammable Solid	N/A	N/A	N/A	N/A	0.90	Air Gap	N/A	N/A
22. UPHOLTERY	Flammable Solid	1,500	3E04	3E-02	1.00	0.90	Air Gap	N/A	N/A

N/A = Not Available

ข้อมูลพื้นฐานในไฟล์ database4.data ของโปรแกรม FDS

Database file for FDS 4 (Version 4.0, July, 2004)

Note the entries in this file are meant to serve as examples of gas and solid phase properties used in FDS. The user of FDS is solely responsible for verifying whether or not these parameters are appropriate for the problem at hand. Each number should be independently verified.

&REAC ID='PROPANE'

FYI='Propane, C₃ H₈'

MW_FUEL=44

NU_O2=5.

NU_CO2=3.

NU_H2O=4.

SOOT_YIELD=0.01 /

&REAC ID='METHANE'

FYI='Methane, C H₄'

MW_FUEL=16

NU_O2=2.

NU_CO2=1.

NU_H2O=2.

RADIATIVE_FRACTION=0.15

SOOT_YIELD=0.01 /

&REAC ID='ETHANOL'

FYI='Ethanol, C₂ H₆ O'

EPUMO2=12842.

MW_FUEL=46.

NU_O2=3.

NU_H2O=3.

NU_CO2=2.

SOOT_YIELD=0.008

RADIATIVE_FRACTION=0.20 /

&REAC ID='ETHYLENE'

FYI='Ethylene, C₂ H₄'

NU_O2=3.

NU_CO2=2.

NU_H2O=2.

MW_FUEL=28.

SOOT_YIELD=0.010

RADIATIVE_FRACTION=0.20 /

&REAC ID='METHANOL'

FYI='Methyl Alcohol, C H₄ O'

MW_FUEL=32.

NU_O2=1.5

NU_H2O=2.

NU_CO2=1.

EPUMO2=13290.

SOOT_YIELD=0.0,

RADIATIVE_FRACTION=0.0 / Radiation will be based on CO2, H2O and Temperature

&REAC ID='HEPTANE'

FYI='Heptane, C₇ H₁₆'

MW_FUEL=100.

NU_O2=11.

NU_CO2=7.

NU_H2O=8.

CO_YIELD=0.006

SOOT_YIELD=0.015 /

&REAC ID='KEROSENE'

FYI='Kerosene, C₁₄ H₃₀, Tewarson, SFPE Handbook'

MW_FUEL=198.0

NU_O2=21.5

NU_CO2=14.0

NU_H2O=15.0

EPUMO2=12700.

CO_YIELD=0.012

SOOT_YIELD=0.042 /

&REAC ID='WOOD'

FYI='Ritchie, et al., 5th IAFSS, C_{3.4} H_{6.2} O_{2.5}'

SOOT_YIELD = 0.01

NU_O2 = 3.7

NU_CO2 = 3.4

NU_H2O = 3.1

MW_FUEL = 87.

EPUMO2 = 11020. /

&REAC ID='POLYURETHANE'

FYI='C_6.3 H_7.1 N O_2.1, NFPA Handbook, Babrauskas'

SOOT_YIELD = 0.10

MW_FUEL = 130.3

FUEL_N2 = 0.5

NU_CO2 = 6.3

NU_H2O = 3.55

NU_O2 = 7.025 /

&REAC ID='MMA'

FYI='MMA monomer, C_5 H_8 O_2'

EPUMO2=13125.

MW_FUEL=100.

NU_O2=6.

NU_H2O=4.

NU_CO2=5.

SOOT_YIELD=0.022 /

&REAC ID='POLYSTYRENE'

FYI='Styrene, C_8 H_8'

MW_FUEL=104.

NU_O2=10.

NU_H2O=4.

NU_CO2=8.

SOOT_YIELD=0.164

CO_YIELD=0.06

RADIATIVE_FRACTION=0.45 /

&SURF ID = 'UPHOLSTERY'

FYI= 'Fleischmann and Chen, 100% acrylic'

C_DELTA_RHO = 1.29

TMPIGN= 280.

DENSITY= 40.0

RGB = 0.53,0.38,0.35

BURN_AWAY = .TRUE.

TEXTURE_MAP = 'brown.jpg'

BURNING_RATE_MAX = 0.03

HEAT_OF_VAPORIZATION = 1500.

HEAT_OF_COMBUSTION = 30000. /

&SURF ID= 'CONCRETE'

FYI= 'Quintiere, Fire Behavior'

RGB = 0.66,0.66,0.66

C_P= 0.88

DENSITY=2100.

KS= 1.0

TEXTURE_MAP = 'concrete.jpg'

DELTA = 0.1 /

&SURF ID= 'GYPSUM BOARD'

FYI = 'Quintiere, Fire Behavior'

RGB= 0.80,0.80,0.70

HRRPUA = 100.

RAMP_Q = 'GB'

KS= 0.48

C_P= 0.84

DENSITY= 1440.

DELTA= 0.013

```

    TMPIGN = 400. /

&RAMP ID='GB',T= 0.0,F=0.0 /
&RAMP ID='GB',T= 1.0,F=0.5 /
&RAMP ID='GB',T= 2.0,F=1.0 /
&RAMP ID='GB',T=10.0,F=1.0 /
&RAMP ID='GB',T=20.0,F=0.0 /
&RAMP ID='GB',T=30.0,F=0.0 /

&SURF ID= 'CARPET'

    FYI= 'Ohlemiller cone data'

    RGB= 0.60,0.80,1.00

    BACKING= 'INSULATED'

    TMPIGN= 290.

    KS= 0.16

    C_P= 9.0

    DENSITY= 750.

    DELTA= 0.006

    FUEL_FRACTION= 0.62

    TEXTURE_MAP= 'carpet_blue.jpg'

    BURNING_RATE_MAX= 0.05

    HEAT_OF_COMBUSTION = 22300.

    HEAT_OF_VAPORIZATION= 2000. /

&SURF ID = 'SPRUCE'

    FYI= 'Charring material'

    RGB= 0.5,0.2,0.1

    PHASE= 'CHAR'

    MOISTURE_FRACTION= 0.01

    DELTA= 0.028

    TMPIGN= 360.0

```

```

HEAT_OF_VAPORIZATION = 500.
DENSITY= 450.
RAMP_KS= 'KS'
RAMP_C_P= 'CPV'
RAMP_C_P_CHAR= 'CPC'
RAMP_KS_CHAR= 'KSC'
CHAR_DENSITY= 120.
WALL_POINTS= 30
TEXTURE_MAP= 'spruce.jpg'
BACKING= 'EXPOSED'/

&RAMP ID = 'KS', T = 20., F = 0.13 /
&RAMP ID = 'KS', T = 500., F = 0.29 /
&RAMP ID = 'KSC', T = 20., F = 0.077 /
&RAMP ID = 'KSC', T = 900., F = 0.16 /
&RAMP ID = 'CPV', T = 20., F = 1.2 /
&RAMP ID = 'CPV', T = 500., F = 3.0 /
&RAMP ID = 'CPC', T = 20., F = 0.68 /
&RAMP ID = 'CPC', T = 400., F = 1.5 /
&RAMP ID = 'CPC', T = 900., F = 1.8 /

&SURF ID= 'ETHANOL'
PHASE= 'LIQUID'
RGB= 0.40,0.40,0.40
HEAT_OF_VAPORIZATION = 837.
HEAT_OF_COMBUSTION = 26800.
BURNING_RATE_MAX= 0.015
DELTA= 0.05
KS= 0.16
C_P= 2.4

```

DENSITY= 780.

TMPIGN= 78.

SURFACE_DENSITY= 5.0 /

&SURF ID= 'METHANOL'

RGB= 0.40,0.40,0.40

HEAT_OF_VAPORIZATION = 1101.

HEAT_OF_COMBUSTION= 19800.

BURNING_RATE_MAX= 0.020

PHASE= 'LIQUID'

DELTA= 0.1

KS= 0.20

DENSITY= 790.

C_P= 2.5

TMPIGN = 65. /

&SURF ID= 'HEPTANE'

RGB= 0.40,0.40,0.40

HEAT_OF_VAPORIZATION = 316.

HEAT_OF_COMBUSTION= 46112.

BURNING_RATE_MAX= 0.065

PHASE = 'LIQUID'

DELTA= 0.10

KS = 0.16

C_P= 2.24

DENSITY= 800.

TMPIGN= 98. /

&SURF ID= 'KEROSENE'

FYI= 'NIST Database, n-dodecane, C₁₂ H₂₆'

RGB= 0.40,0.40,0.40

TMPIGN= 216.0

HEAT_OF_VAPORIZATION = 256.0

HEAT_OF_COMBUSTION= 42800.

DELTA= 0.10

KS= 0.109

DENSITY= 810.

C_P= 2.4

PHASE= 'LIQUID' /

&SURF ID= 'PMMA'

FYI= 'Quintiere, Fire Behavior'

RGB= 0.90,0.90,0.90

HEAT_OF_VAPORIZATION = 1620.

HEAT_OF_COMBUSTION= 25200.

BURNING_RATE_MAX= 0.028

DELTA= 0.012

KS= 0.19

C_P= 1.42

DENSITY= 1190.

BACKING= 'INSULATED'

TMPIGN= 380. /

&SURF ID= 'MARINITE'

FYI= 'BNZ Materials, Marinite I'

RGB= 0.70,0.70,0.70

BACKING= 'EXPOSED'

EMISSION= 0.8

DENSITY = 737.

RAMP_C_P= 'rampcp'

RAMP_KS= 'rampks'

DELTA= 0.0254 /

&RAMP ID='rampks',T= 24.,F=0.13 /

&RAMP ID='rampks',T=149.,F=0.12 /

&RAMP ID='rampks',T=538.,F=0.12 /

&RAMP ID='rampcp',T= 93.,F=1.172 /

&RAMP ID='rampcp',T=205.,F=1.255 /

&RAMP ID='rampcp',T=316.,F=1.339 /

&RAMP ID='rampcp',T=425.,F=1.423 /

&SURF ID = 'CEILING TILE'

RGB = 0.95,0.95,0.95

FYI= 'Armstrong Ceramaguard (Item 602B)'

ALPHA= 2.6E-7

KS = 0.0611

DELTA = 0.016 /

&SURF ID= 'SHEET METAL'

FYI= '18 guage sheet metal'

RGB= 0.20,0.20,0.20

C_DELTA_RHO= 4.7

DELTA= 0.0013 /

&SURF ID= 'PLASTIC A'

FYI = 'FMRC Standard Plastic Commodity'

HRRPUA= 500.

RAMP_Q= 'GAP'

C_DELTA_RHO= 1.0

```

TMPIGN = 370.
E_COEFFICIENT= 0.5
DENSITY= 12.5
BURN_AWAY= .TRUE.
HEAT_OF_COMBUSTION = 40000.
POROSITY= 0.50 /

&RAMP ID='GAP',T= 0.0,F=0.0 /
&RAMP ID='GAP',T= 1.0,F=0.6 /
&RAMP ID='GAP',T= 30.0,F=0.2 /
&RAMP ID='GAP',T= 80.0,F=1.6 /
&RAMP ID='GAP',T= 100.0,F=1.0 /

&SURF ID= 'STEEL'

  RGB= 0.20,0.20,0.20
  C_DELTA_RHO= 20.
  DELTA= 0.005 /

&SURF ID= 'BRICK'

  FYI= 'Quintiere, Fire Behavior'
  RGB= 0.65,0.16,0.16
  KS= 0.69
  C_P= 0.84
  DENSITY= 1600.
  TEXTURE_MAP= 'brick.jpg'
  TEXTURE_WIDTH = 0.5
  TEXTURE_HEIGHT = 0.5
  DELTA= 0.10 /

&SURF ID= 'GLASS'

  FYI= 'Quintiere, Fire Behavior'

```

RGB= 1.0,1.0,0.75

DELTA = 0.005

KS= 0.76

C_P = 0.84

DENSITY= 2700.

BACKING= 'EXPOSED' /