ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย)
ปริญญา

วิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย — **สาขา**

โครงการสหวิทยาการระดับบัณฑิตศึกษา — **ภาควิชา**

เรื่อง การเปรียบเทียบอุณหภูมิของควันและความสูงของท้องควันไฟในการจำลองเพลิงไหม้ของอาคารประเภทอันตรายพิเศษด้วยโปรแกรม CFAST กับ FDS

A Comparison of Smoke Temperature and Smoke Layer Height on a Simulated Fire in an Extra Hazard Building by CFAST and FDS

นามผู้วิจัย นางสาวเกษมศานต์ ปทุมารักษ์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ....

(รองศาสตราจารย์ มนตรี ธำรงพิรุณ, D.Eng.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ณัฐศักดิ์ บุญมี , Ph.D.)

ประธานสาขาวิชา ....

(รองศาสตราจารย์สุรชัย รดาการ, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

....

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

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

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การเปรียบเทียบอุณหภูมิของควันและความสูงของท้องควันไฟในการจำลองเพลิงไหม้ของอาคารประเภทอันตรายพิเศษด้วยโปรแกรม CFAST กับ FDS

A Comparison of Smoke Temperature and Smoke Layer Height on a Simulated Fire in an Extra Hazard Building by CFAST and FDS

โดย

นางสาวเกษมศานต์ ปทุมารักษ์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย)
พ.ศ. 2553

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เกษมศานต์ ปทุมารักษ์ 2553: การเปรียบเทียบอุณหภูมิของควันและความสูงของท้องควันไฟในการจำลองเพลิงไหม้ของอาคารประเภทอันตรายพิเศษ ด้วยโปรแกรม CFAST กับ FDS ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย) สาขาวิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย โครงการสหวิทยาการระดับบัณฑิตศึกษา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์มนตรี ธำรงพิรุณ, วศ.ด. 159 หน้า

การจำลองเพลิงไหม้โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อคาดการณ์สภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนไปในเวลาต่างๆ เมื่อเกิดเหตุเพลิงไหม้เป็นวิธีการที่ได้รับการยอมรับในสถาบันที่เกี่ยวข้องกับการป้องกันและระงับอัคคีภัยในนานาประเทศ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่นำมาจำลองเหตุเพลิงไหม้ได้นั้น มีหลายโปรแกรมด้วยกัน การศึกษาวิจัยนี้เน้นศึกษาเปรียบเทียบอุณหภูมิของควันไฟส่วนบน และระดับความสูงของท้องควันไฟภายในอาคารที่มีการใช้ของเหลวไวไฟของโรงงานอุตสาหกรรมแห่งหนึ่ง อาคารแห่งนี้ประกอบไปด้วยห้องต่างๆ รวม 13 ห้องโดยเน้นสนใจไปที่ 3 ห้อง ได้แก่ ห้องที่มีการกวนและผสมของเหลวไวไฟโดยตรง (ห้องที่ 12 และห้องที่ 13 ตามลำดับ) และห้องที่มีกระบวนการผลิตที่มีการใช้สารปรอทที่อาจเกิดผลกระทบทำให้เกิดอันตรายต่อเจ้าหน้าที่ผจญเพลิงและบุคคลทั่วไปเมื่อเกิดเหตุอัคคีภัยขึ้น (ห้องที่ 3) การเปรียบเทียบนี้เป็นการเปรียบเทียบผลที่ได้จากโปรแกรม FDS: Fire Dynamics Simulator (Version 5) และโปรแกรม CFAST: Consolidated Model of Fire Growth and Smoke Transport (Version 6) เพื่อแนะนำโปรแกรมที่ควรเลือกใช้ต่อไป

จากผลการวิจัยพบว่า ผลที่ได้จากโปรแกรม FDS และ CFAST มีค่าใกล้เคียงกัน โดยร้อยละความแตกต่างเฉลี่ยของอุณหภูมิควันไฟส่วนบน (Upper Layer Temperature) ของห้องที่ 3, 12 และ 13 ที่ได้จากโปรแกรม FDS และโปรแกรม CFAST มีค่าเท่ากับ 0%, 18.13% และ 34.45% ตามลำดับ และร้อยละความแตกต่างเฉลี่ยของความสูงของท้องควันไฟ (Smoke Layer Height) สำหรับห้องที่ 3, 12 และ 13 ที่ได้จากโปรแกรม FDS และโปรแกรม CFAST มีค่าเท่ากับ 0%, 40.79% และ 44.39% ตามลำดับ

_______________________ _______________________ ___ / ___ / ___

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Kasemsan Pathumarak 2010: A Comparison of Smoke Temperature and Smoke Layer Height on a Simulated Fire in an Extra Hazard Building by CFAST and FDS. Master of Engineering (Fire Protection Engineering), Major Field: Fire Protection Engineering, Interdisciplinary Graduate Program. Thesis Advisor: Associate Professor Montri Thamrongpirun, D.Eng. 159 pages.

A fire simulation by using a computer program to expect the environments to be changed in different periods of time during a fire is a method widely accepted by international institutes that are involved with fire prevention and suppression. There are a number of computer programs that can be used for simulating a fire. This research focuses on comparing the upper layer temperature and the smoke layer temperature inside a building of an industrial factory using the flammable liquid. This building consists of thirteen rooms. This research pays special attention at three rooms, i.e. rooms with direct mixing and stirring of flammable liquid (12^{th} and 13^{th} room, respectively), and room with production process using the mercury which may create danger against the firefighters and general individuals in case of fire (3^{rd} room). The comparison was conducted by comparing the results obtained from CFAST: Consolidated Model of Fire Growth and Smoke Transport (Version 6) and to those obtained from FDS: Fire Dynamics Simulator (Version 5) in order to suggest a better model.

According to the research results, it was found that the results obtained from FDS and from CFAST were almost similar. The percentage of average difference for the results obtained from CFAST and from FDS in case of the upper layer temperature for the 3^{rd}, 12^{th} and 13^{th} room were 0%, 18.13% and 34.45%, respectively, and of the smoke layer height for the 3^{rd}, 12^{th} and 13^{th} room were 0%, 40.79% and 44.39%, respectively

________________________ ________________________ ___ / ___ / ___

Student's signature Thesis Advisor's signature

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.มนตรี ธำรงพิรุณ และ ผศ.ดร.ณัฐศักดิ์ บุญมี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลักและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ให้คำปรึกษาในการค้นคว้าวิจัยตลอดจนการแก้ไขวิทยานิพนธ์จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์ และขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร. สุรชัย รดาการ ประธานสาขาวิชาที่ได้ให้ความรู้และความช่วยเหลือต่างๆ

ขอขอบคุณคุณเอกชัย แก้วกาญจนดิษฐ ที่ได้แนะนำให้รู้จักกับโปรแกรม PyroSim ที่มีประโยชน์ยิ่งยวด ขอขอบคุณคุณวรรณรัตน์ ข้าวขาวแขก คุณศึกษา คุณบันลือยศ และคุณเมฆินทร์ นวลสนิท สำหรับความช่วยเหลือจนวิทยานิพนธ์สำเร็จลงได้ด้วยดี และขอขอบคุณคุณภาวิณี อัมพันธ์ และคุณเครือมาส แสงจันทร์ เจ้าหน้าที่ประสานงานโครงการวิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำต่างๆ

ด้วยความดีหรือประโยชน์อันใดเนื่องจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอมอบแด่คุณพ่อ คุณแม่ ที่ได้อบรมและให้กำลังใจผู้วิจัยมาโดยตลอด

เกษมศานต์ ปทุมารักษ์

เมษายน 2553

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำอธิบายสัญลักษณ์และอักษรย่อ	(9)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	56
อุปกรณ์	56
วิธีการ	56
ผลและวิจารณ์	92
ผล	92
วิจารณ์	118
สรุปและข้อเสนอแนะ	120
สรุป	120
ข้อเสนอแนะ	120
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	122
ภาคผนวก	124
ภาคผนวก ก คำสั่งข้อมูลสำหรับโปรแกรม FDS	125
ภาคผนวก ข คำสั่งข้อมูลสำหรับโปรแกรม CFAST	155
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	159

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	สมการอนุรักษ์ของแบบจำลองพื้นที่	24
2	ค่าสูงสุดที่แนะนำสำหรับขนาดของห้อง	27
3	แสดงการแบ่งพื้นที่ใช้สอยภายในอาคารหลายวัตถุประสงค์	58
4	ตารางแสดงคุณสมบัติอันตรายของ Mercury และอุณหภูมิควบคุมของ Mercury	62
5	การกำหนดชนิดของวัสดุในโปรแกรม FDS	67
6	รายละเอียดการจำลองเพื่อศึกษาผลกระทบของขนาดของกริดต่อผลการจำลอง	69
7	รายละเอียดการจำลอง FDS และเวลาที่ใช้ในการประมวลผล (CPU Time)	74
8	วัสดุต่างๆ (Material) ที่ฐานข้อมูลของโปรแกรม Pyrosim มีกำหนดข้อมูลไว้แล้ว	77
9	คุณสมบัติทางด้านอุณหภูมิที่ต้องมี เมื่อต้องการเพิ่มรายการวัสดุในการจำลองใน FDS	78
10	แสดงข้อมูลคุณสมบัติด้านการย่อยสลายด้วยความร้อน (Pyrolysis) เมื่อต้องการเพิ่มรายการวัสดุเพื่อใช้ในการจำลองสถานการณ์เพลิงไหม้ใน FDS	78
11	ตารางแสดงคุณสมบัติเปรียบเทียบระหว่าง Butyl Acetate และ Ethanol	79
12	คุณสมบัติทางด้านอุณหภูมิและคุณสมบัติด้านการย่อยสลายด้วยความร้อน (Pyrolysis) ที่กำหนดสำหรับของเหลวไวไฟ Butyl Acetate เพื่อการจำลองเพลิงไหม้ด้วยโปรแกรม FDS	80
13	วัสดุต่างๆ (Material) ที่ฐานข้อมูลของโปรแกรม CFAST มีกำหนดข้อมูลไว้แล้ว	83
14	แสดงวัตถุหรือสิ่งของต่างๆ ที่มีให้เลือกในโปรแกรม CFAST	85
15	คุณสมบัติทางด้านอุณหภูมิที่ต้องมี เมื่อต้องการเพิ่มรายการวัตถุ ใน CFAST	86
16	ค่าสำหรับการกำหนด T^2 Fire เพื่อการจำลองเหตุเพลิงไหม้ในโปรแกรม CFAST	91

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

17	เปรียบเทียบอุณหภูมิของควันไฟส่วนบนในสภาวะคงตัว ของแต่ละห้อง ที่ได้จากโปรแกรม FDS และ CFAST	113
18	เปรียบเทียบความสูงของห้องควันไฟในสภาวะคงตัว ของแต่ละห้อง ที่ได้จากโปรแกรม FDS และ CFAST	114
19	เปรียบเทียบความแตกต่างเฉลี่ยและร้อยละความแตกต่างเฉลี่ยของควันไฟส่วนบน (°C)ของแต่ละห้อง ที่ได้จากโปรแกรม FDS และ CFAST	115
20	เปรียบเทียบความแตกต่างเฉลี่ยและร้อยละความแตกต่างเฉลี่ยของความสูงของห้องควันไฟ (m) ของแต่ละห้อง ที่ได้จากโปรแกรม FDS และ CFAST	116

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	คำเรียกสภาพต่างๆ ในแบบจำลองพื้นที่	4
2	แผนผังการควบคุมปริมาตรในแบบจำลองแบบสองชั้น (Two layers)	21
3	การไหลรวม (Entrainment) และการเผาไหม้ (Burning) ในแบบจำลองแบบหลายห้อง (Multi-compartment) สองชั้น (Two layers)	31
4	ภาพ 3 มิติ ของอาคารหลายวัตถุประสงค์ (Auxilary Building) ที่ใช้ในการศึกษาวิจัย	57
5	แบบแปลนแสดงห้องต่างๆ (13 ห้อง) ภายในอาคารหลายวัตถุประสงค์ (Auxilary Building)	57
6	แบบแปลนแสดงด้านหน้า (ทิศเหนือ) ของอาคารหลายวัตถุประสงค์ (Auxilary Building)	58
7	แบบแปลนแสดงด้านขวา (ทิศตะวันออก) ของอาคารหลายวัตถุประสงค์ (Auxilary Building)	59
8	แบบแปลนแสดงด้านหลัง (ทิศใต้) ของอาคารหลายวัตถุประสงค์ (Auxilary Building)	59
9	แบบแปลนแสดงด้านซ้าย (ทิศตะวันตก) ของอาคารหลายวัตถุประสงค์ (Auxilary Building)	60
10	แสดงลำดับของกระบวนการการศึกษาวิจัย	66
11	แสดงแบบจำลองอาคารหลายวัตถุประสงค์ เมื่อใช้โปรแกรม PyroSim	68
12	อุณหภูมิของควันในสภาวะคงตัว ที่ตำแหน่ง X = 39.25 m, Y = 6.25 m, Z = 1.0 m ในแต่ละขนาดของกริด	70
13	อุณหภูมิของควันในสภาวะคงตัว ที่ตำแหน่ง X = 39.25 m, Y = 6.25 m, Z = 2.0 m ในแต่ละขนาดของกริด	70
14	อุณหภูมิของควันในสภาวะคงตัว ที่ตำแหน่ง X = 39.25 m, Y = 6.25 m, Z = 3.0 m ในแต่ละขนาดของกริด	71

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
15	อุณหภูมิของควันในสภาวะคงตัว ที่ตำแหน่ง X = 39.25 m, Y = 6.25 m, Z = 4.0 m ในแต่ละขนาดของกริด	71
16	อุณหภูมิของควันในสภาวะคงตัว ที่ตำแหน่ง X = 39.25 m, Y = 6.25 m, Z = 5.0 m ในแต่ละขนาดของกริด	72
17	อุณหภูมิเฉลี่ยของควันในสภาวะคงตัวที่ความสูงต่างๆ จากพื้น ที่ตำแหน่ง X = 39.25 m, Y = 6.25 m ในแต่ละขนาดของกริด	72
18	ความสูงเฉลี่ยของท้องควันในสภาวะคงตัว ที่ตำแหน่งที่ 1 X = 39.25 m, Y = 6.25 m และตำแหน่งที่ 2 X = 39.25 m, Y = 15 m ในแต่ละขนาดของกริด	73
19	ร้อยละความแตกต่างของอุณหภูมิเฉลี่ยของควัน เมื่อทำการลดขนาดของกริด	74
20	ร้อยละความแตกต่างของความสูงเฉลี่ยของท้องควันของตำแหน่งที่ 1 และ 2 เมื่อทำการลดขนาดของกริด	75
21	หน้าจอ โปรแกรม PyroSim ที่แสดงรายละเอียดฐานข้อมูลคุณสมบัติทางด้านอุณหภูมิ ของ Ethanol Liquid	81
22	หน้าจอ โปรแกรม PyroSim ที่แสดงรายละเอียดฐานข้อมูลคุณสมบัติทางด้านการย่อยสลายด้วยความร้อน (Pyrolysis) ของ Ethanol Liquid	81
23	หน้าจอ โปรแกรม PyroSim ที่แสดงรายละเอียดฐานข้อมูลคุณสมบัติทางด้านอุณหภูมิ ของ Butyl Acetate	82
24	หน้าจอ โปรแกรม PyroSim ที่แสดงรายละเอียดฐานข้อมูลคุณสมบัติทางด้านการย่อยสลายด้วยความร้อน (Pyrolysis) ของ Butyl Acetate	82
25	การกำหนดคุณลักษณะของวัสดุเพิ่ม ในโปรแกรม CFAST	87
26	การกำหนด T-Squared Fire	87
27	แสดงอัตราการปล่อยความร้อน (Heat Release Rate) ที่ได้จากโปรแกรม FDS	90

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
28	แสดงอัตราการปล่อยความร้อน (Heat Release Rate) ที่กำหนดในโปรแกรม CFAST เมื่อเทียบกับโปรแกรม FDS	90
29	แสดงพฤติกรรมการแพร่กระจายของความร้อนและควัน เมื่อจำลองด้วยโปรแกรม FDS ช่วงก่อน 9.2 วินาที	93
30	แสดงพฤติกรรมการแพร่กระจายของความร้อนและควัน เมื่อจำลองด้วยโปรแกรม FDS ช่วง 12.8 – 70.4 วินาที	94
31	แสดงพฤติกรรมการแพร่กระจายของความร้อนและควัน เมื่อจำลองด้วยโปรแกรม FDS ช่วง 74.0 – 135.2 วินาที	95
32	แสดงพฤติกรรมการแพร่กระจายของความร้อนและควัน เมื่อจำลองด้วยโปรแกรม FDS ช่วงหลังจาก 153.2 วินาที	96
33	อุณหภูมิของควันไฟส่วนบน (Upper Layer Temperature) ของห้องที่ 3 , 12 และ 13 จากโปรแกรม FDS	97
34	แสดงความสูงของท้องควันไฟ (Smoke Layer Height) ของห้องที่ 3 , 12 และ 13 จากโปรแกรม FDS	98
35	แสดงพฤติกรรมการแพร่กระจายของความร้อนและควัน เมื่อจำลองด้วยโปรแกรม CFAST ช่วงเวลา 0 – 26.0 วินาที	99
36	แสดงพฤติกรรมการแพร่กระจายของความร้อนและควัน เมื่อจำลองด้วยโปรแกรม CFAST ช่วงเวลา 29.0 – 50.0 วินาที	100
37	แสดงพฤติกรรมการแพร่กระจายของความร้อนและควัน เมื่อจำลองด้วยโปรแกรม CFAST ช่วงเวลา 51.0 – 57.0 วินาที	101
38	แสดงพฤติกรรมการแพร่กระจายของความร้อนและควัน เมื่อจำลองด้วยโปรแกรม CFAST ช่วงเวลา 59.0 – 176.0 วินาที	102
39	อุณหภูมิของควันไฟส่วนบน (Upper Layer Temperature) จากโปรแกรม CFAST	103
40	แสดงความสูงของท้องควันไฟ (Smoke Layer Height) จากโปรแกรม CFAST	103

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า

ภาพที่		หน้า
41	การเปรียบเทียบอุณหภูมิของควันไฟส่วนบน (Upper Layer Temperature) ของห้องที่ 3	104
42	การเปรียบเทียบอุณหภูมิของควันไฟส่วนบน (Upper Layer Temperature) ของห้องที่ 12	104
43	การเปรียบเทียบอุณหภูมิของควันไฟส่วนบน (Upper Layer Temperature) ของห้องที่ 13	105
44	การเปรียบเทียบความสูงของท้องควันไฟ (Smoke Layer Height) ของห้องที่ 3	105
45	การเปรียบเทียบความสูงของท้องควันไฟ (Smoke Layer Height) ของห้องที่ 12	106
46	การเปรียบเทียบความสูงของท้องควันไฟ (Smoke Layer Height) ของห้องที่ 13	106
47	ความแตกต่างของอุณหภูมิของควันไฟส่วนบน (Upper Layer Temperature) ของห้องที่ 3	107
48	ความแตกต่างของอุณหภูมิของควันไฟส่วนบน (Upper Layer Temperature) ของห้องที่ 12	107
49	ความแตกต่างของอุณหภูมิของควันไฟส่วนบน (Upper Layer Temperature) ของห้องที่ 13	108
50	ความแตกต่างของความสูงของท้องควันไฟ (Smoke Layer Height) ของห้องที่ 3	108
51	ความแตกต่างของความสูงของท้องควันไฟ (Smoke Layer Height) ของห้องที่ 12	109
52	ความแตกต่างของความสูงของท้องควันไฟ (Smoke Layer Height) ของห้องที่ 13	109
53	ร้อยละความแตกต่างของอุณหภูมิของควันไฟส่วนบน (Upper Layer Temperature) ของห้องที่ 3	110

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
54	ร้อยละความแตกต่างของอุณหภูมิของควันไฟส่วนบน (Upper Layer Temperature) ของห้องที่ 12	111
55	ร้อยละความแตกต่างของอุณหภูมิของควันไฟส่วนบน (Upper Layer Temperature) ของห้องที่ 13	111
56	ร้อยละความแตกต่างของความสูงของท้องควันไฟ (Smoke Layer Height) ของห้องที่ 3	112
57	ร้อยละความแตกต่างของความสูงของท้องควันไฟ (Smoke Layer Height) ของห้องที่ 12	112
58	ร้อยละความแตกต่างของความสูงของท้องควันไฟ (Smoke Layer Height) ของห้องที่ 13	113
59	เปรียบเทียบอุณหภูมิของควันไฟส่วนบนในสภาวะคงตัว ของแต่ละห้อง ที่ได้จากโปรแกรม FDS และ CFAST	114
60	เปรียบเทียบความสูงของท้องควันไฟในสภาวะคงตัว ของแต่ละห้อง ที่ได้จากโปรแกรม FDS และ CFAST	115
61	ความแตกต่างเฉลี่ยของอุณหภูมิของควันไฟส่วนบน (°C) ของแต่ละห้อง ที่ได้จากโปรแกรม FDS และ CFAST	116
62	ความแตกต่างเฉลี่ยของความสูงของท้องควันไฟ (m) ของแต่ละห้อง ที่ได้จากโปรแกรม FDS และ CFAST	117
63	ร้อยละความแตกต่างเฉลี่ยของอุณหภูมิของควันไฟส่วนบน (%) ของแต่ละห้อง ที่ได้จากโปรแกรม FDS และ CFAST	117
64	ร้อยละเฉลี่ยความแตกต่างของความสูงของท้องควันไฟ (%) ของแต่ละห้อง ที่ได้จากโปรแกรม FDS และ CFAST	118

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

คำอธิบายสัญลักษณ์

C_{LOL}	ค่าสัมประสิทธิ์ขีดจำกัดต่ำสุดของออกซิเจน สัดส่วนของเชื้อเพลิงที่มีอยู่ ซึ่งสามารถเผาไหม้ได้ร่วมกับออกซิเจนที่มีอยู่
C_T	ค่าคงที่จากการคำนวณอุณหภูมิที่เส้นกลางแบ่งพลูม มีค่าเท่ากับ 9.115
c_S	ความร้อนจำเพาะของวัสดุแข็ง
c_p	ค่าความจุความร้อนของอากาศที่ความดันคงที่
c_v	ค่าความจุความร้อนของอากาศที่ปริมาตรคงที่
E_O	การปลดปล่อยพลังงานต่อหน่วยมวลของออกซิเจนที่ใช้ไป
E_i	พลังงานภายในชั้น i
$\mathbf{f}_b$	เวคเตอร์แรงภายนอก (ไม่รวมแรงโน้มถ่วง)
g	ความเร่งของแรงโน้มถ่วง
h	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนแบบการพา
$\dot{h}_i$	อัตราการเพิ่มพลังงานเข้าไปในชั้น i
$\dot{h}_L$	อัตราการเพิ่มพลังงานเข้าไปในส่วนล่างในห้อง
$\dot{h}_U$	อัตราการเพิ่มพลังงานเข้าไปในส่วนบนในห้อง
h_α	พลังงานของสาร α
h_α^0	ความร้อนจากการเกิดสาร α
H	ความดันรวมหารด้วยความหนาแน่น
H_c	ความร้อนจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง
$H_{r,\alpha\beta}$	ความร้อนของการเกิดปฏิกิริยาสำหรับการเกิดปฏิกิริยาในสถานะของแข็ง
ΔH	ความร้อนของการเผาไหม้
k	ค่าการนำความร้อน
m	มวล
$\dot{m}_{b,\alpha}'''$	อัตราการสร้างมวลของสาร α โดยการกลายเป็นไอของหยดน้ำ/อนุภาค

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

m_i	มวลรวมในชั้นก๊าซ i
m_L	มวลรวมในชั้นก๊าซส่วนล่างในห้อง
$\dot{m}_O$	ออกซิเจนที่จำเป็นสำหรับการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่มีอยู่อย่างสมบูรณ์
m_U	มวลรวมในชั้นก๊าซส่วนบนในห้อง
P	ความดันที่ระดับพื้นของห้อง
$\bar{p}_m$	ความดันโดยรอบของพื้นที่ความดันที่ m
Q_f	อัตราการปลดปล่อยความร้อนรวมของไฟ
$Q_{f,C}$	อัตราการปลดปล่อยความร้อนของไฟที่ปลดปล่อยออกมาในรูปของพลังงานแบบการพา
$Q_{f,R}$	อัตราการปลดปล่อยความร้อนของไฟที่ปลดปล่อยออกมาในรูปของการแผ่รังสี
$\Delta\hat{q}''_k$	ปริมาณการถ่ายเทความร้อนแบบแผ่รังสี (Radiative Flux) สุทธิที่ส่วนผนัง k
$\dot{q}''_r$	ปริมาณการถ่ายเทความร้อนจากการแผ่รังสี (Radiative Flux) ไปยังพื้นผิวของของแข็ง
R	ค่าคงที่ของก๊าซที่ใช้ได้ทั่วไป
r	ระยะรัศมีจากไฟ
s	หน่วยเวคเตอร์ในทิศทางของความเข้มในการแผ่รังสีความร้อน
T_i	อุณหภูมิก๊าซของชั้น i
T_L	อุณหภูมิก๊าซของส่วนล่างในห้อง
T_U	อุณหภูมิก๊าซของส่วนบนในห้อง
t	เวลา
$\mathbf{u} = (u,v,w)$	เวคเตอร์ความเร็ว
v	สัมประสิทธิ์ปริมาณสารสัมพันธ์ (Stoichiometric Coefficient) สำหรับการเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้
V	ปริมาตรรวมของห้อง
V_L	ปริมาตรรวมของส่วนล่างในห้อง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

V_U	ปริมาตรรวมของส่วนบนในห้อง
V_i	ปริมาตรของชั้นก๊าซ i
v	ความเร็ว
W	ความกว้างของห้อง
W_f	มวลต่อโมล (Molar Mass) ของเชื้อเพลิง
W_s	มวลต่อโมล (Molar Mass) ของเขม่า
W_α	น้ำหนักโมเลกุลของก๊าซ α
$\overline{W}$	น้ำหนักโมเลกุลของส่วนผสมก๊าซ
V_U	ปริมาตรรวมของส่วนบนในห้อง
χ_R	สัดส่วนของอัตราการปลดปล่อยความร้อนของไฟที่มีการปลดปล่อยออกไปในรูปของการแผ่รังสี
Y_{LOL}	สัดส่วนมวลของออกซิเจนต่ำกว่าจุดที่การเผาไหม้จะไม่เกิดขึ้นอีกต่อไป
Y_{O_2}	สัดส่วนมวลของออกซิเจนในชั้นก๊าซ
Y_α	สัดส่วนมวลของน้ำหนักโมเลกุลของสาร α
y_s	เขม่าที่เกิดขึ้น มวลของเขม่าที่เกิดขึ้นจากไฟต่อหน่วยมวลของเชื้อเพลิง
γ	สัดส่วนระหว่าง c_p / c_v
δ	ความหนาของผนัง
μ	ความหนืดพลวัติ
ρ	ความหนาแน่น
ρ_i	ความหนาแน่นของชั้นก๊าซ i
τ_{ij}	ความเค้นเนื่องจากความหนืด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

คำอธิบายคำย่อ

CFAST	=	Consolidated Model of Fire Growth and Smoke Transport
FDS	=	Fire Dynamics Simulator
NIST	=	National Institute of Standards and Technology

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การเปรียบเทียบอุณหภูมิของควันและความสูงของท้องควันไฟในการจำลองเพลิงไหม้ของอาคารประเภทอันตรายพิเศษ ด้วยโปรแกรม CFAST กับ FDS

A Comparision of Smoke Temperature and Smoke Layer Height on a Simulated Fire in an Extra Hazard Building by CFAST and FDS

คำนำ

เพื่อให้ทราบสภาพแวดล้อมขณะเกิดเพลิงไหม้จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพราะแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เป็นวิธีที่ยอมรับกันในสถาบันต่างประเทศที่มีการศึกษาค้นคว้าวิจัยเรื่องการประเมินความเสี่ยงด้านอัคคีภัยว่าสามารถประเมินความเสี่ยงด้านอัคคีภัยออกมาเป็นตัวเลขได้ ซึ่งแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ดีย่อมต้องสร้างและกำหนดมาบนพื้นฐานทฤษฎีที่เป็นที่รู้จักกันอยู่ก่อนแล้ว

เพื่อให้เกิดความแพร่หลายของการนำแบบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เหล่านี้มาใช้ในประเทศไทย พร้อมทั้งเพื่อเป็นข้อแนะนำในการเลือกใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในฐานะเป็นเครื่องมือประเมินสภาพแวดล้อมเมื่อเกิดเพลิงไหม้ การศึกษาวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบผลที่ได้จากแบบจำลองคณิตศาสตร์ ที่ชื่อว่า CFAST : Consolidated Model of Fire Growth and Smoke Transport (Version 6) เปรียบเทียบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ FDS : Fire Dynamics Simulator (Version 5) และเสนอข้อควรพิจารณาในการเลือกใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วัตถุประสงค์

เพื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิของควัน ได้แก่ ควันชั้นบน (Upper Layer Temperature) และความสูงของท้องควันไฟ (Smoke Layer Height) ที่ได้จากการจำลองเพลิงไหม้ของอาคารประเภทอันตรายพิเศษ ด้วยโปรแกรม CFAST กับผลที่ได้จากโปรแกรม FDS

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การตรวจเอกสาร

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ CFAST - Consolidated Fire and Smoke Transport Model (Version 6)

ประวัติความเป็นมาของโปรแกรม CFAST

แบบจำลองเชิงวิเคราะห์สำหรับการทำนายคุณสมบัติของไฟนั้นได้เริ่มต้นมาตั้งแต่ปีทศวรรษที่ 1960 ตลอดช่วงหลายสิบปีที่ผ่านมานี้ ได้มีการพัฒนาความสมบูรณ์ของแบบจำลองขึ้นมาอย่างเห็นได้ชัด โดยในช่วงแรกได้มุ่งเน้นเป็นพิเศษไปที่การพัฒนาความสมบูรณ์ของแบบจำลองเป็นอย่างมากด้วยการอธิบายในภาษาทางคณิตศาสตร์ของปรากฏการณ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นในการขยายตัวและลุกลามของไฟ โดยปกติแล้ว การอธิบายปรากฏการณ์เหล่านี้นั้นจะกล่าวถึงเฉพาะในส่วนเล็กๆ ใดๆ ในไฟไหม้ครั้งหนึ่งๆ เท่านั้น อย่างไรก็ดี เมื่อนำเอาคำอธิบายในแต่ละส่วนเล็กๆ มารวมกันแล้ว ก็ทำให้ได้ออกมาเป็นแบบจำลองด้านการคำนวณที่ซับซ้อนที่สามารถทำการทำนายปรากฏการณ์ไฟไหม้ในช่วงเวลาที่ต้องการได้

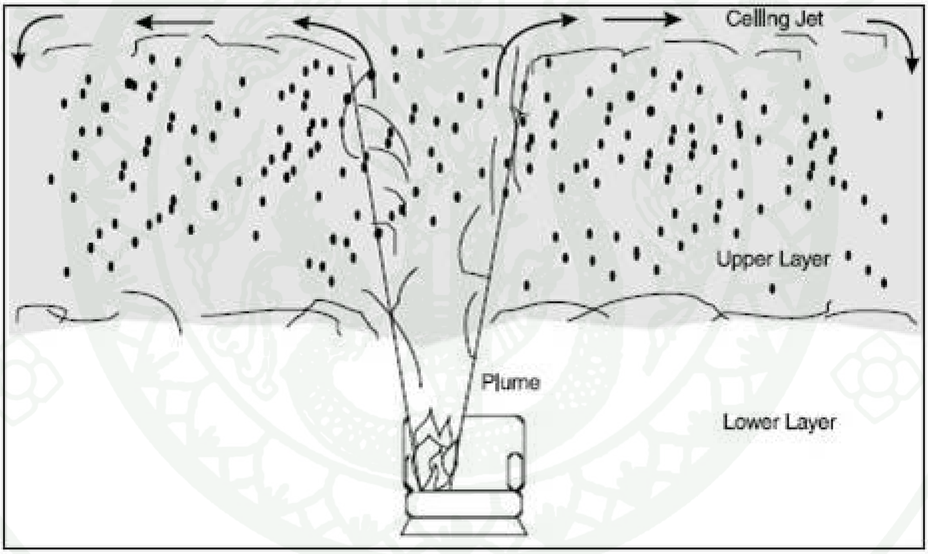
เมื่อสามารถอธิบายหลักการทางกายภาพในเชิงคณิตศาสตร์ได้แล้ว ก็สามารถรวมเอาสมการการอนุรักษ์ที่มีทั้งหมดให้เปลี่ยนสภาพกลายเป็นสมการการทำนายผลอุณหภูมิ ความเข้มข้นของควันและก๊าซ รวมทั้งตัวแปรอื่นๆ ที่ต้องการนำมาพิจารณา และผู้ใช้สามารถแก้สมการการทำนายผลเหล่านี้ในทางจำนวนได้

โดยปกติแล้ว สมการจะอยู่ในรูปของสมการเชิงอนุพันธ์ (Differential Equations) ชุดสมการที่สมบูรณ์ชุดหนึ่งๆ จะสามารถอธิบายสภาพต่างๆ ที่เป็นจากไฟไหม้ในช่วงเวลาหนึ่งๆ และมีปริมาณอากาศตามที่ระบุไว้ โดยในบริเวณที่ทำการพิจารณานี้ จะเรียกว่า ส่วนควบคุม (Control Volume) ซึ่งแบบจำลองจะถือว่า สภาพต่างๆ ที่คาดการณ์ไว้ภายในส่วนควบคุมนี้จะมีลักษณะเหมือนกัน ณ เวลาใดๆ ดังนั้น ในพื้นที่ส่วนควบคุมก็จะมีค่าอุณหภูมิ ค่าความหนาแน่นของควัน ค่าความเข้มข้นของก๊าซ และอื่นๆ เป็นค่าเดียว ในส่วนของแบบจำลองอื่นๆ นั้น จะมีการแบ่งอาคารออกเป็นส่วนควบคุมในจำนวนที่แตกต่างกันออกไปตามระดับรายละเอียดที่ต้องการพิจารณาโดยทั่วไป แบบจำลองไฟไหม้ที่เป็นที่รู้จักกันอย่างกว้างขวางมากที่สุด ที่เรียกว่า แบบจำลองพื้นที่ (Zone Model) จะใช้ส่วนควบคุม 2 ส่วนในการอธิบายห้องหนึ่งๆ ซึ่งได้แก่ ชั้นบน และ ชั้นล่าง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ในห้องที่มีไฟอยู่ภายใน ก็อาจมีการพิจารณาส่วนควบคุมเพิ่มเติมสำหรับพลูมของไฟหรือควัน Ceiling Jet ได้เพื่อให้ได้ผลการทำนายสภาพที่ถูกต้องแม่นยำยิ่งขึ้น (ภาพที่ 1)

การทำนายแบบที่ใช้ส่วนควบคุม 2 ส่วนหรือพิจารณาแบบ 2 ชั้นนี้ (ชั้นบนและชั้นล่าง) ได้พัฒนาขึ้นมาจากผลการสังเกตการณ์การเกิดชั้นเหล่านี้ในการทดลองไฟไหม้ขนาดจริง ก๊าซร้อนเกิดขึ้นที่บริเวณเพดานและเกิดขึ้นทั่วทั้งห้องโดยเริ่มต้นจากบริเวณส่วนบน อนึ่ง จากการทดลองเหล่านี้ได้แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างบางอย่างของสภาพที่เกิดขึ้นภายในชั้นหนึ่งๆ แต่ความแตกต่างในชั้นเหล่านี้ถือว่าเป็นความแตกต่างของสภาพเพียงเล็กน้อยเท่านั้นเมื่อเปรียบเทียบกับความแตกต่างของสภาพระหว่างชั้นบนและชั้นล่าง ด้วยเหตุนี้ แบบจำลองพื้นที่จึงสามารถสร้างสถานการณ์สมมติที่เหมือนจริงขึ้นมาได้ภายใต้สภาพทั่วไปและสภาพสำคัญมากมายหลายสภาพได้



ภาพที่ 1 คำเรียกสภาพต่างๆ ในแบบจำลองพื้นที่

ที่มา: Technical Reference Guide for CFAST (n.d.)

นอกจากนี้ ยังมีแบบจำลองประเภทอื่นๆ อีก ได้แก่ แบบจำลองเครือข่าย (Network Model) และแบบจำลองขอบเขต (Field Model) โดยแบบจำลองเครือข่ายนั้นจะใช้ส่วนควบคุม 1 ส่วนต่อหนึ่งห้อง แบบจำลองนี้ใช้ในการทำนายสภาพในพื้นที่ที่อยู่ห่างออกมาจากห้องที่เกิดไฟไหม้ซึ่งมีอุณหภูมิใกล้กับอุณหภูมิในบรรยากาศรอบบริเวณและไม่เกิดชั้นขึ้น ส่วนแบบจำลองขอบเขต (Field Model) จะตรงกันข้ามกับแบบจำลองเครือข่าย คือจะแบ่งห้องออกเป็นส่วนควบคุมหลาย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

หมื่น หลายแสนหรือหลายล้านส่วน ทั้งนี้ แบบจำลองเหล่านี้สามารถทำนายการเปลี่ยนแปลงหรือความแตกต่างในสภาพต่างๆ ที่เกิดขึ้นในชั้นได้ แต่โดยปกติจำเป็นต้องใช้เวลาในการพิจารณาที่นานกว่าแบบจำลองแบบพื้นที่ (Zone Model) โดยแบบจำลองขอบเขตนี้จะใช้เมื่อต้องการการทำนายผลการเคลื่อนที่ที่มีรายละเอียดสูง

การประเมินแบบจำลอง (CFAST)

กระบวนการการประเมินแบบจำลองนั้นเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งในการกำหนดการใช้งานและข้อจำกัดต่างๆ ที่ยอมรับได้ของแบบจำลองไฟไหม้ ทั้งนี้ เราจะไม่สามารถทำการประเมินแบบจำลองหนึ่งๆ ในการใช้งานทั้งหมดได้ ข้อแนะนำต่างๆ มากมายที่มี เช่น ASTM E1355 เป็นการแสดงวิธีการประเมินความสามารถในการทำนายผลสำหรับการใช้งานเฉพาะหนึ่งๆ เท่านั้น กล่าวคือ การใช้ได้ (Validation) กับความสามารถในการประยุกต์ใช้หรือสถานการณ์สมมติหนึ่งๆ มิได้หมายความว่าจะใช้ได้กับสถานการณ์อื่นๆ แต่อย่างใด ในกระบวนการประเมินแบบจำลองนั้นมีวิธีการทางเลือกมากมาย เช่น การเปรียบเทียบผลการทำนายกับผลการทดสอบไฟไหม้มาตรฐาน ผลการทดลองไฟไหม้ขนาดจริง ผลการทดลองภาคสนาม ข้อมูลงานศึกษาที่มีการเผยแพร่ หรืออาจจะเป็นการเปรียบเทียบกับแบบจำลองที่ผ่านการประเมินมาแล้วในอดีตก็ได้

ในปัจจุบัน การใช้แบบจำลองไฟไหม้นั้นได้ขยายขอบเขตการใช้งานนอกเหนือไปจากการใช้ในห้องทดลองเพื่อการศึกษาวิจัยด้านไฟไหม้แล้ว โดยได้มีการใช้งานที่มากขึ้นในวงการวิศวกรรม วงการการดับเพลิง และวงการกฎหมาย สิ่งสำคัญที่จะต้องดำเนินการก็คือการประเมินแบบจำลองไฟไหม้อย่างเพียงพอเพื่อให้มั่นใจได้ว่าผู้ที่จะนำแบบจำลองเหล่านั้นไปใช้งานนั้นจะสามารถพิจารณาได้ว่าหลักเกณฑ์ทางวิทยาศาสตร์และทางเทคนิคสำหรับแบบจำลองต่างๆ นั้นมีอย่างเพียงพอหรือไม่ สามารถเลือกแบบจำลองที่เหมาะสมกับการใช้งานที่ต้องการได้ และมีความเข้าใจในระดับความน่าไว้วางใจของผลลัพธ์ที่แบบจำลองคาดการณ์ได้ การประเมินแบบจำลองที่เพียงพอนี้จะช่วยเป็นการป้องกันไม่ให้เกิดการใช้งานแบบจำลองอย่างผิดๆ โดยไม่ตั้งใจได้ การทวนสอบ (Verification) เป็นกระบวนการการตรวจสอบความถูกต้องของการแก้ปัญหาของสมการที่นำมาใช้ ซึ่งกระบวนการการทวนสอบนี้มิได้หมายความว่าเป็นการตรวจสอบว่าสมการที่นำมาใช้มีความเหมาะสมหรือไม่ หากแต่เป็นพียงการตรวจสอบว่าได้มีการใช้สมการนั้นและมีการแก้สมการนั้นอย่างถูกต้องหรือไม่เท่านั้น การหาความใช้ได้ (Validation) เป็นกระบวนการหา

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ความเหมาะสมของสมการที่นำมาใช้ในฐานะที่เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปรากฏการณ์ทางกายภาพที่พิจารณา

โดยปกติ กระบวนการการหาความใช้ได้นี้จะเป็นเรื่องของการเปรียบเทียบผลลัพธ์ของแบบจำลองกับผลที่ได้จากการวัดในการทดลอง ความแตกต่างที่ได้มิได้เกิดขึ้นมาจากความผิดพลาดทางตัวเลขในแบบจำลองหรือเกิดจากความไม่แน่นอนในการทดลองทำให้เกิด สมมติฐาน (Assumption) และความง่าย (Simplification) ของแบบจำลองทางกายภาพ คำต่างๆ เหล่านี้ (การทวนสอบและการหาความใช้ได้) จะใช้ร่วมกันในการประเมินแบบจำลอง ซึ่งคำว่า การประเมินแบบจำลอง นี้นั่นเองที่ครอบคลุมทั้งในส่วนของ การทวนสอบ และ การหาความใช้ได้ของแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์

อนึ่ง แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ CFAST ซึ่งเป็นแบบจำลองไฟไหม้แบบพื้นที่ (Zone Model) นี้ มีการจัดทำคู่มืออ้างอิงทางเทคนิคไว้ด้วย ซึ่งความจำเป็นที่แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์หนึ่งๆ มีการจัดทำคู่มืออ้างอิงทางเทคนิคขึ้นก็เพื่อเป็นกาจัดทำตามข้อแนะนำ ASTM E1355 เรื่อง การประเมินแบบจำลอง โดยคู่มืออ้างอิงทางเทคนิคดังกล่าวได้กล่าวถึงการประเมินแบบจำลองไฟไหม้เชิงทำนายไว้ 4 เรื่องด้วยกัน ได้แก่

- การกำหนดแบบจำลองและสถานการณ์สมมติสำหรับว่าจะดำเนินการประเมินแบบใด

- การประเมินความเหมาะสมของหลักเกณฑ์และสมมติฐานตามทฤษฎีที่ใช้ในแบบจำลอง

- การประเมินความน่าเชื่อถือได้ทางคณิตศาสตร์และทางจำนวนของแบบจำลอง และ

- การกำหนดความไม่แน่นอนและความถูกต้องแม่นยำของผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองในการทำนายเหตุการณ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นในสถานการณ์สมมติไฟไหม้ที่ใกล้เคียงกัน

รายละเอียดของแบบจำลอง CFAST และสถานการณ์สมมติ

การมีเอกสารด้านการคำนวณเกี่ยวกับแบบจำลองอย่างเพียงพอนั้นถือเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งในการประเมินความเพียงพอของหลักเกณฑ์ทางวิทยาศาสตร์และทางเทคนิคของแบบจำลอง และ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ความถูกต้องแม่นยำของโปรแกรมย่อยที่ใช้ในการคำนวณสำหรับสถานการณ์สมมติที่นำมาพิจารณา นอกจากนี้ เอกสารที่มีอยู่อย่างเพียงพอนั้นยังจะช่วยป้องกันไม่ให้เกิดการใช้งานแบบจำลองอย่างผิดๆ โดยไม่ตั้งใจได้อีกด้วย ทั้งนี้คู่มืออ้างอิงทางเทคนิคที่มีการจัดทำขึ้นนั้นมีเนื้อหาตามข้อแนะนำใน ASTM E1355-04

ข้อมูลด้านเอกสารของแบบจำลอง CFAST

ชื่อและเวอร์ชันของแบบจำลอง CFAST

ชื่อของแบบจำลองนี้คือ แบบจำลอง Consolidated Fire Growth and Smoke Transport Model หรือ CFAST โดยแบบจำลองนี้ที่ออกเผยแพร่สู่สาธารณะเป็นเวอร์ชันแรกคือ เวอร์ชัน 1.0 ในเดือนมิถุนายนปี 1990 ซึ่งเวอร์ชัน 1.0 นี้เป็นการแก้ไขเปลี่ยนแปลงจากแบบจำลอง FAST เพื่อร่วมกับ “บทเรียนที่ได้เรียนรู้” จากแบบจำลอง CCFM แบบพื้นที่ที่พัฒนาขึ้นโดย Cooper และ Forney กล่าวคือ การแก้ไขเปลี่ยนแปลงจะกระทำได้ง่ายขึ้นและมีความน่าเชื่อถือมากขึ้นถ้าหากว่าองค์ประกอบต่างๆ เช่น โปรแกรมย่อยทางกายภาพ (Physical Routines) อยู่แยกออกมาจากตัวแก้ไข (Solver) โดยในเนื้อหาเรื่อง ความน่าเชื่อถือได้ทางคณิตศาสตร์และทางจำนวนของคู่มือทางเทคนิคของแบบจำลอง CFAST นี้ มีการกล่าวถึงรายละเอียดของประเด็นนี้ไว้

ต่อมา เวอร์ชัน 2 ได้มีการเผยแพร่ในปี 1994 โดยเป็นส่วนประกอบหนึ่งของแบบจำลอง Hazard 1.2 จากนั้นในปี 1995 ได้มีแบบจำลองเวอร์ชันแรกในชุด 3.x series ออกมา ซึ่งในเวอร์ชันนี้มีขั้นตอนวิธี (Algorithm) การแพร่กระจายของเปลวไฟในแนวดิ่ง ควัน Ceiling Jet และการสูญเสียความร้อนไปที่เพดานแบบไม่เหมือนกัน เป้าหมายจุด และการปล่อยความร้อนและการเผาไหม้ของวัตถุผสมของวัตถุหลากหลายชนิด (การติดไฟอันเนื่องมาจากความเข้มข้นของความร้อน อุณหภูมิ หรือเวลา) นอกเหนือไปจากไฟไหม้ที่กำหนดไว้ที่หลากหลาย ต่อมาได้เกิดเวอร์ชัน 3 ขึ้น ซึ่งจากการที่เวอร์ชัน 3 นี้ ได้มีการพัฒนาขึ้นโดยใช้เวลาในช่วง 5 ปีต่อมา ดังนั้น เวอร์ชัน 3 จึงมีในส่วนของอุปกรณ์ตรวจจับควันและความร้อน การดับไฟเพิ่มเข้ามาโดยแบบจำลองพิจารณาจากการที่อัตราการปล่อยความร้อนมีการลดลง การกำหนดลักษณะการเคลื่อนที่ผ่านประตูและหน้าต่างที่ดีขึ้น การนำความร้อนแนวดิ่งผ่านขอบเขตเพดาน/พื้น และห้องที่ไม่เป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ในปี 2000 ได้มีเวอร์ชัน 4 ออกมาซึ่งมีการนำความร้อนแนวขวางผ่านผนัง และการเคลื่อนที่ของควันในแนวขวางบริเวณโถงทางเดิน ต่อมา ก็คือ เวอร์ชัน 5 ซึ่งมีการพัฒนาในส่วนของสารเคมีที่เกิดจากการเผาไหม้ และเวอร์ชัน 6 ซึ่งออกมาในเดือนกรกฎาคมปี 2005 ได้มีส่วนของช่องระบายอากาศ การดำเนินไปของวัตถุที่ไหม้ไฟและเหตุการณ์ รวมทั้งหน้าจอเพื่อการติดต่อกับผู้ใช้งาน ซึ่งทำให้สามารถใช้งานโปรแกรมได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นอย่างมาก

โดยรหัส (Code) ที่เขียนขึ้นนั้น เขียนขึ้นในรูปแบบ FORTRAN 90

ประเภทของแบบจำลอง CFAST

CFAST เป็นแบบจำลองที่ทำนายสภาพแวดล้อมภายในโครงสร้างห้องที่เป็นผลมาจากเหตุไฟไหม้หนึ่งๆ ที่กำหนดขึ้นโดยผู้ใช้งาน แบบจำลองนี้คือแบบจำลองหนึ่งในประเภทของแบบจำลองที่เรียกว่า ส่วนที่มีขอบเขต (Finite Element) ซึ่งการนำแบบจำลองนี้ไปใช้ในลักษณะนี้จะเรียกว่า แบบจำลองแบบพื้นที่ ซึ่งพื้นที่ที่นำมาพิจารณาในแบบจำลองนั้นจะถูกแบ่งออกเป็นส่วนเล็กๆ ลักษณะต่างๆ ทางภายภาพของปรากฏการณ์ไฟไหม้ในห้องนั้นจะเกิดขึ้นภายใต้อำนาจของการเคลื่อนที่ของของเหลวและการเคลื่อนที่แบบลอยตัวเบื้องต้น การแบ่งส่วนหรือพื้นที่โดยปกตินั้นจะได้แก่ ชั้นก๊าซบนและชั้นก๊าซล่าง การกั้นของผนัง/เพดาน/พื้นแยกส่วนต่างๆ ออกเป็นแต่ละส่วน พลูมหรือวัตถุต่างๆ เช่น ไฟ เป้าหมาย หรืออุปกรณ์ตรวจจับ เป็นต้น ทั้งนี้ คุณลักษณะอย่างหนึ่งของการใช้แบบจำลองแบบส่วนที่มีขอบเขตนี้ก็คือ หน้าจอ Interface ที่แสดงระหว่างแต่ละส่วนนั้น (ในกรณีนี้ หมายถึง ชั้นก๊าซบนและชั้นก๊าซล่าง) จะสามารถเคลื่อนที่ได้ โดยที่ตำแหน่งของ Interface นี้จะกำหนดขึ้นมาโดยสมการที่ใช้ในแบบจำลอง

ผู้พัฒนาแบบจำลอง

แบบจำลอง CFAST พัฒนาขึ้นและได้รับการดูแลโดยแผนกวิจัยอัคคีภัย (Fire Research Division) ของสถาบันมาตรฐานและเทคโนโลยีแห่งชาติ (National Institute of Standards and Technology หรือ NIST) ของประเทศสหรัฐอเมริกา โดยผู้พัฒนาแบบจำลองนี้ขึ้นมา ก็คือ Walter Jones, Richard Peacock, Glenn Forney, Rebecca Portier, Paul Reneke และ John Hoover

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

นอกจากนี้ ยังได้มีการสนับสนุนเพิ่มเติมโดยการศึกษาวิจัยและรายงานข้อมูลที่ได้มีการเผยแพร่จากทางสถาบัน Worcester Polytechnic Institute, มหาวิทยาลัยแคลิฟอร์เนียที่ Berkley, สถาบันวิจัยด้านเทคโนโลยี VTT ของประเทศฟินแลนด์ และสถาบัน CITCM ของประเทศฝรั่งเศส และคำแนะนำสำคัญในการพัฒนาแบบจำลองนี้ขึ้นมานั้นได้มาจากผู้คนจำนวนมากทั่วโลกที่ได้มีการนำเสนอแนวความคิด ข้อเสนอแนะ คำติชม ข้อซักถามรายละเอียด และความคิดเห็นเกี่ยวกับสิ่งที่ควรจะเกิดขึ้นในสถานการณ์สมมติต่างๆ เกี่ยวกับลักษณะทางกายภาพและทางเคมีที่จำเป็นประเภทของปัญหาที่จะต้องได้รับการพิจารณาโดยแบบจำลองนี้ ซึ่งการสนับสนุนทั้งหมดนี้ ก็เพื่อประโยชน์ต่อการนำไปใช้ประโยชน์ในโลกแห่งความเป็นจริงได้นั่นเอง

เอกสารเผยแพร่ที่เกี่ยวข้อง

แบบจำลอง CFAST นี้มีการจัดทำเป็นเอกสารเผยแพร่ 2 รูปแบบ ได้แก่ คู่มืออ้างอิงด้านเทคนิค (Technical Reference Manual) และคำแนะนำสำหรับผู้ใช้งาน (User’s Guide) โดยคำแนะนำสำหรับผู้ใช้งานจะเป็นการอธิบายหลักการพื้นฐานทางกายภาพ แสดงข้อมูลเปรียบเทียบกับแบบจำลองอื่น และมีรายละเอียดข้อจำกัดต่างๆ ของแบบจำลองพื้นที่นี้

สมการและสมมติฐานที่ใช้ในแบบจำลอง

สำหรับแบบจำลอง CFAST นี้ (และสำหรับแบบจำลองไฟไหม้แบบพื้นที่ส่วนใหญ่) สมการที่ถูกแก้นั้นจะเป็นสมการเกี่ยวกับการอนุรักษ์มวลและการอนุรักษ์พลังงาน ส่วนสมการโมเมนตัมนั้นไม่ได้มีการแก้สมการอย่างชัดเจน โดยมีการใช้สมการ Bernoulli เพื่อหาความเร็วในการเคลื่อนที่ที่ช่องระบายอากาศเท่านั้น และจากที่มีการรวมปริมาตรของส่วนพื้นที่หนึ่งๆ ดังนั้นจึงมีการแก้สมการเหล่านี้ในลักษณะสมการเชิงอนุพันธ์สามัญ

มีสมมติฐานอยู่ 2 ประการซึ่งสามารถลดระยะเวลาการคำนวณไปได้มาก ประการแรก ได้แก่ พื้นที่ หรือ ส่วน ต่อห้องๆ หนึ่งเพียงเล็กน้อยเท่านั้นก็เพียงพอในการกำหนดสถานการณ์ทางกายภาพ และประการที่สอง ได้แก่ การแก้ชุดสมการ โดยที่ไม่ต้องใช้สมการโมเมนตัมในพื้นที่ภายในของห้อง ซึ่งการคำนวณอย่างง่ายนี้เป็นการขจัดคลื่นเสียงสะท้อน (acoustic waves) ได้ อย่างไรก็ดี แม้ว่าสมมติฐานนี้จะเป็นการป้องกันไม่ให้มีการคำนวณคลื่นแรงโน้มถ่วงในห้องต่างๆ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ก็ตาม (หรือระหว่างห้องต่างๆ) แต่การรวมคู่เข้ากับส่วนเพียงเล็กน้อยต่อห้องหนึ่งๆ เท่านั้นก็ทำให้สามารถคาดการณ์พื้นที่ขนาดใหญ่และซับซ้อนได้อย่างรวดเร็วได้

ข้อมูลป้อนเข้า (Input) ที่ใช้ในการทำงานของแบบจำลอง CFAST

ข้อมูลทั้งหมดที่ใช้ในการดำเนินแบบจำลองนั้นอยู่ในไฟล์ข้อมูลขั้นต้น พร้อมกับฐานข้อมูลเกี่ยวกับวัตถุ คุณสมบัติทางอุณหพลศาสตร์ของขอบเขต และตัวอย่างรายละเอียดไฟที่กำหนดไว้ ไฟล์ข้อมูลเหล่านี้จะมีข้อมูลเกี่ยวกับรูปทรงเรขาคณิตของอาคาร (ขนาดของห้อง วัสดุก่อสร้าง และคุณสมบัติของวัสดุต่างๆ) ส่วนเชื่อมต่อระหว่างห้อง (ช่องระบายอากาศที่มีการเคลื่อนที่แนวขวาง เช่น ประตู หน้าต่าง และช่องระบายอากาศที่มีการเคลื่อนที่แนวดิ่งในพื้นและเพดาน และส่วนเชื่อมต่อของระบบการระบายอากาศเชิงกล) คุณสมบัติของไฟ (ขนาดของไฟ และอัตราการสร้าง Species ประเภทของสารที่เกิดจากการเผาไหม้ในแต่ละช่วงเวลา) และคุณสมบัติอุปกรณ์ตรวจจับ ระบบฉีดพ่นน้ำอัตโนมัติและเป้าหมาย (Target) (ตำแหน่ง ขนาด คุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนและคุณสมบัติการเคลื่อนที่สำหรับระบบฉีดพ่นน้ำอัตโนมัติ) วัสดุต่างๆ นั้นจะมีคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องระบุไว้ก่อนแล้ว เช่น การนำความร้อน ความร้อนจำเพาะ ความหนาแน่น ความหนา และคุณสมบัติในการเผาไหม้

ในส่วนของไฟล์ข้อมูลตัวอย่างนั้น จะครอบคลุมข้อมูลเกี่ยวกับการหาความใช้ได้ ตัวอย่างไฟล์ข้อมูลเหล่านี้นั้นเริ่มตั้งแต่สถานการณ์สมมติแบบห้องเดี่ยวแบบง่ายไปจนถึงสถานการณ์สมมติในโรงแรมขนาดหลายชั้นขนาดใหญ่ซึ่งมีแรงดันเข้ามาเกี่ยวข้องทั้งในส่วนปล่องลิฟต์และปล่องบันได

ข้อมูลคุณสมบัติของ CFAST

การสร้างสถานการณ์จำลองสำหรับสถานการณ์ไฟไหม้จริงนั้น จะเป็นเรื่องของการกำหนดคุณสมบัติของวัตถุที่ใช้ทำผนัง พื้น เพดานและอุปกรณ์ตกแต่งต่างๆ แบบจำลอง CFAST นี้จะพิจารณาวัตถุทั้งหมดเหล่านี้ว่าเป็นของแข็งที่มีเนื้อเดียวกัน (Homogeneous Solid) ดังนั้น จะสามารถมองข้อมูลตัวแปรทางกายภาพสำหรับวัตถุจริงต่างๆ ว่าเป็นค่าโดยประมาณของคุณสมบัติจริงได้ การอธิบายรายละเอียดของวัตถุเหล่านี้ในไฟล์ข้อมูลป้อนเข้า (Input) นั้นเป็นสิ่งที่ท้าทายอย่างมากสำหรับผู้ใช้งานแบบจำลองนี้ คุณสมบัติทางความร้อนสำหรับวัตถุสิ่งกีดขวางทั่วไป

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ส่วนใหญ่ที่ใช้ในงานก่อสร้าง เช่น บอร์ดผนังยิปซัม จะรวบรวมอยู่ในฐานข้อมูล thermal.df ที่อยู่ในแบบจำลองนี้ ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้นำมาจากค่าของวัตถุทั่วไปต่างๆ ที่ระบุไว้ในคู่มือ

ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลอง

ข้อมูลออก (Output) ที่ได้จากแบบจำลอง CFAST นี้ เป็นตัวแปรที่อ่อนไหว ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญในการนำไปประเมินสภาพแวดล้อมในอาคารหนึ่งๆ ที่เกิดเหตุไฟไหม้ขึ้น ตัวแปรเหล่านี้ได้แก่ อุณหภูมิของชั้นก๊าซบนและล่างภายในแต่ละห้อง อุณหภูมิของเพดาน/ผนัง/พื้นภายในแต่ละห้อง ความเข้มข้นของควันและก๊าซที่มองเห็นได้ภายในแต่ละชั้น อุณหภูมิของเป้าหมายที่สนใจและเวลาการเริ่มทำงานของระบบน้ำดับเพลิงอัตโนมัติ

การใช้และข้อจำกัดของแบบจำลอง

แบบจำลอง CFAST นี้ ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อแก้ปัญหาเกี่ยวกับไฟไหม้ในวงการวิศวกรรมการป้องกันอัคคีภัย และพร้อมกันนี้ แบบจำลองนี้ทำหน้าที่เป็นเครื่องมือเพื่อศึกษาหลักพลศาสตร์ (การเคลื่อนที่) ของไฟและการกระจายตัวของควันเบื้องต้น แบบจำลองนี้ได้ถูกออกขึ้นมาเป็นแบบจำลองของการออกแบบอาคารและส่วนประกอบต่างๆ ของอาคาร แบบจำลองนี้มิได้มีขึ้นเพื่อการศึกษาในรายละเอียดของการไหลภายในห้องๆ หนึ่ง อย่างเช่นแบบจำลองที่ใช้ในการหาที่ตั้งสำหรับติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับควันแต่อย่างใด และแบบจำลองนี้ได้กล่าวถึงการเริ่มทำงานของระบบน้ำดับเพลิงอัตโนมัติและการดับไฟโดยใช้หยดน้ำไว้ด้วย

ในการใช้งานแบบจำลอง CFAST นี้นั้น พบว่าการใช้งานแบบจำลองนี้มากที่สุด คือการใช้งานเพื่อพิจารณาการกระจาย (ลุกลาม) ของไฟและควันในอาคารที่มีความซับซ้อน ในการใช้แบบจำลองแบบพื้นที่หนึ่งๆ นั้นประสิทธิภาพและความเร็วในการคำนวณนั้นจะอาศัยเซลล์ที่ทำหน้าที่คำนวณเพียงไม่กี่เซลล์เท่านั้น การใช้งานแบบจำลองส่วนใหญ่นั้นจะใช้สำหรับการกำหนดเส้นเวลา (Time-line) ในการกระจายตัวของไฟและควันในอาคารที่พักอาศัย อาคารเชิงพาณิชย์และอาคารอุตสาหกรรมที่เกิดเหตุไฟไหม้ขึ้น และการใช้งานแบบจำลองบางการใช้งานก็เพื่อการออกแบบระบบควบคุมควัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

- ห้อง (Compartment) : โดยทั่วไป แบบจำลอง CFAST นี้ จะจำกัดอยู่ที่สถานการณ์ต่างๆ ที่ปริมาตรของห้องมีการแบ่งออกจากกันอย่างชัดเจน อย่างไรก็ดี เพื่อให้สามารถใช้แบบจำลองในการประมาณการเบื้องต้นว่าเมื่อใดจำเป็นต้องมีการคำนวณที่มีความซับซ้อนมากขึ้นได้โดยสะดวก ดังนั้นจึงได้มีการสร้างขั้นตอนวิธีการคำนวณ (Algorithm) การเคลื่อนที่ผ่านโถงทางเดิน การเริ่มทำงานของอุปกรณ์ตรวจจับควัน และการนำความร้อนผ่านขอบเขตที่เป็นของแข็ง แบบจำลองนี้สามารถใช้กับห้องที่ไม่ได้เป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าได้แม้ว่าการใช้งานนั้นจะจำกัดอยู่ที่พื้นที่ที่ไม่มีความซับซ้อน เช่น ห้องเพดาน และโถงทางเดิน (Ship Corridor) เป็นต้น ก็ตาม แบบจำลองนี้มิได้ออกแบบขึ้นมาเพื่อใช้กับรูปทรงเรขาคณิตที่มีความซับซ้อนที่มีสนามแม่เหล็ก การเคลื่อนที่ที่ซับซ้อนเป็นแรงขับเคลื่อน ซึ่งถ้าหากว่าต้องการใช้เพื่อจุดประสงค์นี้นั้น แบบจำลองที่เหมาะสมมากกว่าก็คือ แบบจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamics หรือ CFD)

- แบบจำลอง CFAST นี้มีข้อจำกัดสำหรับสมมติฐานการแบ่งเป็นชั้นของชั้นก๊าซด้วยแนวคิดแบบจำลองพื้นที่ โดยคำจำกัดความแล้วนั้น จะหมายถึง เขตติดต่อที่ชัดเจนระหว่างชั้นบนและชั้นล่าง แต่ถ้าหากในแง่ของความเป็นจริงแล้วนั้น โดยปกติ จุดเชื่อมต่อดังกล่าวจะอยู่ที่ความสูงประมาณ 10% ของความสูงห้องและอาจจะสูงมากขึ้นในการเคลื่อนที่ที่มีความเป็นชั้นไม่ชัดเจนนัก ยกตัวอย่างเช่น บุหรี่ที่กำลังเผาไหม้ในห้องปกติจะไม่อยู่ภายในขอบเขตของแบบจำลองพื้นที่ใดๆ แม้การทำนายสามารถทำได้ภายใน 5% ของอุณหภูมิจริงของชั้นก๊าซ แต่แบบจำลองนี้ไม่ได้มีความเหมาะสมที่จะใช้งานในลักษณะการเผาไหม้ดังกล่าว การใช้งานแบบจำลองนี้ที่มีความเหมาะสมก็คือ การใช้ในการประมาณการกระจายตัวของไฟ (มิใช่ การกระจายตัวของเปลวไฟ) การตรวจจับและการปนเปื้อนของควัน รวมทั้งการคำนวณเพื่อความปลอดภัยในชีวิต

- อัตราการปล่อยความร้อน (Heat Release Rate): ในสมมติฐานที่ใช้ในแบบจำลองที่ได้มาจากการทดลอง (Empirical Models) นั้น มีข้อจำกัดอยู่หลายประการด้วยกัน สำหรับคำแนะนำทั่วไปนั้น การปล่อยความร้อนไม่ควรเกิน $1 MW/m^3$ ซึ่งการปล่อยความร้อนที่ไม่เกินปริมาณนี้นั้นถือเป็นข้อจำกัดอย่างหนึ่งในโปรแกรมย่อยเชิงจำนวนอันเนื่องมาจากการจับคู่กันระหว่างการเคลื่อนที่ของก๊าซและการถ่ายเทความร้อนผ่านขอบเขต (การนำ การพาและการแผ่รังสี) กล่าวคือ สมมติฐานเกี่ยวกับก๊าซสองชั้นที่มีอยู่นั้นมีความเป็นไปได้ที่จะล้มเหลวก่อนที่จะไปถึงค่าขีดจำกัดนั้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

- การแผ่รังสี (Radiation): เนื่องจากแบบจำลองนี้ประกอบด้วยแบบจำลองการแผ่รังสีแบบซับซ้อนและขั้นตอนวิธีการคำนวณการระบายอากาศ ดังนั้น จึงสามารถนำแบบจำลองนี้ไปใช้ในการศึกษาการปนเปื้อนของอาคารผ่านทางระบบการระบายอากาศ ตลอดจนผลกระทบจากปล่อง (Stack Effect) และลมที่มีต่อการหมุนเวียนของอากาศในอาคารได้

- การระบายอากาศและการรั่วไหล (Ventilation and Leakage): ในห้องเดี่ยวหนึ่งๆ สัดส่วนของพื้นที่ช่องระบายอากาศที่เชื่อมต่อห้องหนึ่งๆ กับอีกห้องหนึ่ง กับ ปริมาตรของห้องไม่ควรเกิน 2 m^{-1} ซึ่งค่านี้ เป็นข้อจำกัดหนึ่งในสมมติฐานการเคลื่อนที่ของช่องระบายอากาศ ข้อจำกัดสำคัญหนึ่งเกิดขึ้นมาจากความไม่แน่นอนในคุณสมบัติของสถานการณ์สมมติ ยกตัวอย่างเช่น การรั่วไหลในอาคารเป็นสิ่งที่สำคัญ และมีผลต่อการคำนวณการเคลื่อนที่ โดยเฉพาะเมื่อมีลมและเกิดขึ้นในอาคารสูง ซึ่งผลกระทบเหล่านี้สามารถเอาชนะข้อจำกัดในเรื่องของความถูกต้องแม่นยำของการใช้แบบจำลองได้ อนึ่ง ความถูกต้องแม่นยำโดยรวมของแบบจำลองนั้นจะเกี่ยวข้องอย่างมากกับความจำเพาะ ความละเอียด และความสมบูรณ์ของข้อมูลที่มี

- คุณสมบัติทางความร้อน (Thermal Properties): ความถูกต้องแม่นยำของผลการคาดการณ์ของแบบจำลองนั้นถูกจำกัดอยู่ที่ว่าผู้ใช้จะสามารถระบุคุณสมบัติทางความร้อนได้ดีเพียงใด ยกตัวอย่างเช่น ค่า Fraction ของเชื้อเพลิงเมื่อสิ้นสุดกลายไปเป็นเขม่านั้นมีผลกระทบสำคัญต่อการดูดซับรังสีของชั้นก๊าซ ดังนั้น การเกิดความร้อนของชั้นและผนังแบบการพาและแบบการแผ่รังสีจะส่งผลกระทบต่อการลอยตัวและการเคลื่อนที่ได้ ในการทำนายผลนั้นสามารถมีระดับความไม่แน่นอนสูงเกิดขึ้นได้ถ้าหากว่าผู้ใช้ไม่ทราบคุณสมบัติของวัตถุจริงและเชื้อเพลิงจริง หรือยากในการหาข้อมูลเหล่านั้นมา หรือกระบวนการทางกายภาพในเรื่องการเผาไหม้ การแผ่รังสีและการถ่ายเทความร้อน มีความซับซ้อนมากกว่าค่าเชิงคณิตศาสตร์ที่แสดงไว้ในแบบจำลอง CFAST นี้

จากความคิดเห็นที่แจ้งกลับมาของผู้ใช้งานได้แสดงให้เห็นว่าการใช้แบบจำลอง CFAST ในการทำนายเรื่องการขนส่งความร้อนและผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเผาไหม้ของไฟที่กำหนดไว้นั้นเป็นกระบวนการตรงไปตรงมา ใช้งานง่ายและรวดเร็ว และผลลัพธ์ที่ได้ออกมานั้นก็อยู่ภายในขอบเขตที่คาดหวังไว้ด้วย ผู้ใช้งานแบบจำลอง (เชิงจำนวน) ทางคอมพิวเตอร์ใดๆ จะต้องทราบสมมติฐานและค่าประมาณการต่างๆ ที่จะนำมาใช้ในแบบจำลองนั้นๆ นอกจากวัตถุไม่กี่อย่างที่อยู่ในฐานข้อมูลคุณสมบัติแล้ว ผู้ใช้แบบจำลองนี้จะต้องระบุคุณสมบัติทางความร้อนของวัตถุที่ต้องการ จากนั้นก็ทำการประเมินการทำงานของแบบจำลองเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่มี

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อให้แน่ใจว่าแบบจำลองนี้ถูกต้องใช้ได้สำหรับการใช้งานเฉพาะใดๆ เพียงเท่านี้ แบบจำลองก็สามารถทำการทำนายผลลัพธ์ของสถานการณ์สมมติไฟไหม้ที่ใกล้เคียงกับสถานการณ์ที่ผ่านการทดสอบจริงๆ มาแล้วได้ทันที

นอกจากนั้น ยังมีข้อจำกัดและสมมติฐานเฉพาะที่ได้ในกระบวนการสร้างขั้นตอนวิธีการคำนวณอีกด้วย โดยข้อจำกัดและสมมติฐานจะกล่าวอีกครั้งเมื่อจะมีการกล่าวถึงในรายละเอียดของแต่ละแบบจำลองย่อย ดังนี้

- สมมติฐานแบบจำลองพื้นที่
- ไฟที่กำหนดไว้ล่วงหน้า
- ความสัมพันธ์ระหว่างไฟและสมดุลมวล
- แบบจำลองการดึงดูดพลูม
- การเคลื่อนที่ผ่านประตูทางเข้าและการดึงดูดที่ช่องระบายอากาศ
- สมมติฐานสำหรับสหสัมพันธ์การเคลื่อนที่ผ่านโถงทางเดิน
- สมมติฐานสำหรับการถ่ายเทความร้อนแบบแผ่รังสี
- แบบจำลองการระงับดับไฟ และ
- การเกิดตะกอนของ HCl

สถานการณ์สมมติสำหรับการประเมินแบบจำลอง

แบบจำลอง CFAST นี้สามารถใช้ได้กับอาคารต่างๆ ได้อย่างกว้างขวาง เริ่มตั้งแต่ห้องที่มีขนาดเล็ก (Glove Box) ไปจนถึงโรงแรมขนาดใหญ่ที่มีความซับซ้อน รวมถึงอาคารประกอบรถยนต์ที่แหลม Canaveral ทั้งนี้ ได้มีการใช้เอกสาร ASTM E1355 มาประกอบเพื่อหาความใช้ได้ของสถานการณ์สมมติที่นำมาพิจารณา เพื่อให้สามารถใช้แบบจำลองนี้กับสถานการณ์สมมติต่างๆ ที่ใกล้เคียงกับสถานการณ์ที่เลือกมาใช้ได้ อย่างไรก็ดี คู่มืออ้างอิงทางเทคนิคมีวัตถุประสงค์เพื่อกล่าวถึงสถานการณ์สมมติต่างๆ ให้ทราบกันโดยกว้างขวางมากขึ้นซึ่งจะครอบคลุมในส่วนของการใช้งานแบบจำลองนี้ที่ยอมรับได้ทั้งหมด ด้วยเหตุนี้ ในส่วนนี้จึงเป็นการกล่าวถึงรายละเอียดของสถานการณ์สมมติอย่างกว้างขวางดังกล่าวที่ได้กล่าวไว้ในข้อแนะนำอ้างอิงด้านเทคนิคนี้มากกว่ากล่าวถึงรายละเอียดการหาความใช้ได้ของสถานการณ์สมมติเพียงสถานการณ์ใดสถานการณ์หนึ่งเป็นการเฉพาะเจาะจงเท่านั้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

รายละเอียดสถานการณ์สมมติที่จะนำมาพิจารณา

ในเบื้องต้นนั้น แบบจำลอง CFAST นี้ออกแบบขึ้นมาเพื่อใช้ในการทำนายสภาพแวดล้อมในโครงสร้างห้องที่เป็นผลมาจากเหตุไฟไหม้ที่ไม่พึงประสงค์ โดยนับตั้งแต่ไฟไหม้จากภาชนะบรรจุภัณฑ์ขนาดเล็กมากที่มีขนาดประมาณ 1 m^3 ไปจนถึงไฟไหม้ในพื้นที่ขนาดใหญ่ที่มีขนาดประมาณ 1000 m^3 ทั้งนี้ จากที่ได้กล่าวไว้ในส่วนเนื้อหาข้อจำกัดและการใช้งาน ขนาดของไฟที่เหมาะสมนั้นจะขึ้นอยู่กับขนาดของห้องที่นำมาพิจารณาในแบบจำลองเป็นสำคัญ

ค่าปริมาณต่างๆ ที่ทำนายได้โดยแบบจำลอง

แบบจำลอง CFAST นี้ เป็นการทำนายชั้นก๊าซและอุณหภูมิของขอบเขต (ระหว่างชั้น) อุณหภูมิเป้าหมาย ความเข้มข้นของก๊าซต่างๆ (รวมทั้งค่า Fraction ปริมาตรเขม่า) ความสูงของชั้น ขนาดของไฟและความยาวของเปลวไฟ แรงดันที่พื้น อัตราการไฟลและขนาดของไฟที่ช่องระบายอากาศ และปริมาณความร้อน (ทั้งแบบแผ่รังสีและแบบพา)

ระดับความถูกต้องแม่นยำสำหรับค่าปริมาณของข้อมูลออกแต่ละค่า จาก CFAST

ความถูกต้องแม่นยำที่ต้องมีนั้นจะขึ้นอยู่กับความถูกต้องแม่นยำที่จำเป็นสำหรับการใช้งาน นอกจากนี้ ยังขึ้นอยู่กับความละเอียดและความสมบูรณ์ในการระบุข้อมูลป้อนเข้า (Input) อีกด้วย ซึ่งเป็นสิ่งที่มีความไวต่ออัตราการปล่อยความร้อนมากที่สุด ยิ่งไปกว่านั้น ผลลัพธ์ข้อมูลออก (Output) ที่ได้นั้นยังขึ้นอยู่กับความถูกต้องแม่นยำของข้อมูลที่ใช้ในเหตุไฟไหม้ และคุณสมบัติทางความร้อนกายภาพ (Thermophysical Properties) ของขอบเขตและเป้าหมายด้วย อย่างไรก็ดี การหาค่าความถูกต้องแม่นยำที่ต้องมีโดยทั่วไปโดยที่ไม่คำนึงถึงความเฉพาะเจาะจงของสถานการณ์สมมติหรือการวิเคราะห์เฉพาะใดๆ เป็นสิ่งที่ไม่สามารถปฏิบัติได้จริงและจะเป็นการไปจำกัดประโยชน์ที่จะเกิดขึ้นของการใช้แบบจำลองได้

จากผลการศึกษาวิจัยได้แสดงให้เห็นว่าผลการทำนายมีความถูกต้องแม่นยำภายใน 10-25% ของการวัดผลในสถานการณ์สมมติต่างๆ โดยทั่วไปแล้ว ค่าปริมาณความถูกต้องแม่นยำเท่านี้ก็คือว่าเพียงพอแล้วสำหรับการใช้ประโยชน์เพื่อการคำนวณด้านความปลอดภัยในชีวิตและการประมาณการณ์สภาพแวดล้อมที่ส่วนของอาคารอยู่ในบริเวณที่เกิดเหตุไฟไหม้ขึ้น ทั้งนี้ โดยปกติแล้ว

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การนำไปใช้งานเพื่อออกแบบอาคารจะมีค่าความถูกต้องแม่นยำมากกว่าค่าความถูกต้องแม่นยำระดับดังกล่าวและเป็นค่าความถูกต้องแม่นยำที่เพียงพอสำหรับปัจจัยเพื่อความปลอดภัย

และจากการศึกษาผลการประเมินความใช้ได้ของแบบจำลอง CFAST ในคู่มืออ้างอิงทางเทคนิค พบรายละเอียดการประเมินความใช้ได้ของแบบจำลองที่เป็น "ผลการเปรียบเทียบกับผลการทดลองเต็มรูปแบบที่ได้ดำเนินการเป็นพิเศษสำหรับการประเมินผลเฉพาะที่เลือกไว้" และ "ผลการเปรียบเทียบกับข้อมูลการทดลองที่มีการเผยแพร่ในอดีตที่ผ่านมา" ดังนี้

ความใช้ได้ของแบบจำลอง CFAST

ในการเปรียบเทียบความสามารถในการทำนายกับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจริงนั้น มีอยู่ 2 วิธีการด้วยกัน วิธีที่หนึ่ง ได้แก่ การเขียนเส้นกราฟแสดงระยะเวลาผลลัพธ์ของแบบจำลองกับเส้นแสดงค่าตัวแปรต่างๆ ที่เปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนที่วัดได้ เช่น อุณหภูมิ เป็นต้น และวิธีการที่สอง ได้แก่ การพิจารณาระยะเวลาที่เกิดสภาวะสำคัญๆ ขึ้น เช่น การเกิดx ในการพิจารณาว่าผลการทำนายที่ได้มานั้นมีเหตุผลเหมาะสมหรือไม่นั้น ทำได้โดยการเปรียบเทียบ โดยตรงระหว่างค่าทางทฤษฎีกับค่าที่ได้จากการทดลอง ซึ่งข้อมูลการตรวจสอบความใช้ได้ของแบบจำลอง CFAST ที่กล่าวขึ้นนี้ดำเนินการ โดยสถาบันมาตรฐานมาตรฐานและเทคโนโลยีแห่งชาติ สหรัฐอเมริกา (NIST) และสถาบันอื่นๆ ทั้งนี้เพื่อให้เกิดความเข้าใจในคุณภาพของผลการทำนายที่ได้จากแบบจำลองนี้มากขึ้น

ผลการเปรียบเทียบกับผลการทดลองเต็มรูปแบบที่ได้ดำเนินการเป็นพิเศษสำหรับการประเมินผลเฉพาะที่เลือกไว้

มีการศึกษาวิจัยหลายครั้งที่ได้ดำเนินการศึกษาเพื่อหาความถูกต้องใช้ได้ของการใช้แบบจำลอง CFAST นี้ในการออกแบบอาคารในรูปแบบที่คำนึงถึงประสิทธิภาพการป้องกันและระงับอัคคีภัย (performance design) เช่น Dembesy ได้ใช้แบบจำลองนี้ในการทำนายอุณหภูมิของควัน Ceiling Jet, ค่าปริมาณความร้อนที่พื้นผิวสัมผัส และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนในการทดลองเหตุไฟไหม้แบบห้องจำนวน 20 ครั้งโดยได้ดำเนินการทดลองในห้องที่มีขนาดมีรูปทรงเราขาคณิตและมีการก่อสร้างเป็นไปตามลักษณะของห้องสำหรับการทดสอบไฟมาตรฐานที่ระบุไว้ในหลักเกณฑ์อาคารมาตรฐาน (Uniform Building Code) ในการทดลองเหล่านี้ ได้มีการใช้ผลลัพธ์จากไฟที่ขนาด 330, 630 และ 980 kW โดยทั่วไปแล้ว ผลการทำนายของแบบจำลอง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

CFAST นี้จะสูงกว่าผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลอง เช่น โดยปกติ ผลการทำนายอุณหภูมิจะสูงกว่าค่าที่วัดได้จริงประมาณ 20-30% เป็นต้น สาเหตุที่ผลการทำนายของแบบจำลองสูงกว่าผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองนั้นอาจเกิดจากการที่ไม่ทราบถึงผลิตภัณฑ์บางอย่างที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ (เขม่า) และการดูดซับรังสีโดยชั้นก๊าซซึ่งเป็นการเน้นให้เห็นถึงความสำคัญของการระบุคุณสมบัติรายละเอียดต่างๆ ในสถานการณ์มากขึ้น ซึ่งสาเหตุนี้ถือเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้แบบจำลอง CFAST นี้มีผลการทำนายในส่วนของอุณหภูมิดังกล่าวที่ "สูงเกินความเป็นจริง" และอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ผลการทำนายและผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจริงไม่ตรงกันก็คือ การแก้ไขเปลี่ยนแปลงเกี่ยวกับการแผ่รังสีจากอุปกรณ์วัดความร้อน (Thermocouple Beads) แต่พบว่าการแก้ไขเปลี่ยนแปลงดังกล่าวไม่ได้มีการกล่าวถึงในผลการทดลองไฟไหม้ที่ใกล้เคียงกันอื่นๆ มากนัก

Dembesy *et al.* (n.d.) ได้กล่าวถึงการทดลองไฟไหม้แบบเต็มรูปแบบที่ได้ออกแบบขึ้นมาเพื่อตรวจสอบในความถูกต้องใช้ได้ของแบบจำลองแบบสองพื้นที่ ซึ่งรวมถึงแบบจำลอง CFAST ด้วย โดยได้ดำเนินการทดลองเหล่านี้ (มีอัตราการเผาไหม้สภาพคงที่และมีสภาพการระบายอากาศรูปแบบต่างๆ) ในอาคารขนาด 4 ชั้น มีการวัดค่าอุณหภูมิ ความดัน ความเร็วในการเคลื่อนที่ ควันความหนาแน่น และความเข้มข้นของก๊าซต่างๆ ในส่วนต่างๆ ของอาคารนี้ มีการสังเกตการณ์ Stack Effect และผลกระทบที่มีต่อการกระจายของอุณหภูมิในปล่องบันได จากนั้น ก็ทำการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองกับผลการทำนายที่ได้จากแบบจำลอง พบว่า ในช่วงแรกของเหตุไฟไหม้นี้ ผลลัพธ์ที่นำมาเปรียบเทียบนี้มีค่าที่ตรงกันอย่างมาก (มีความแตกต่างเพียงไม่กี่เปอร์เซ็นต์เท่านั้น) แต่เมื่อผ่านไป 10 นาที ก็มีความแตกต่างอย่างชัดเจนเกิดขึ้น ทั้งการทดลองและแบบจำลองมีสิ่งที่ตรงกันอยู่ คือ อัตราการไหลที่เพิ่มขึ้นทำให้ความสูงของพื้นผิวสัมผัส (interface height) ที่สูงมากขึ้นตามไปด้วย และเช่นเคย ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นได้ส่วนนี้ก็มีความแตกต่างกันที่ 25% Dembesy ได้กล่าวถึงผลส่วนประกอบของเชื้อเพลิงและการแก้ไขเปลี่ยนแปลงรังสีจากอุปกรณ์วัดความร้อนแต่เขาก็ไม่สามารถสรุปผลได้อย่างชัดเจนตามผลการวัดผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงที่ได้

Luo *et al.* (n.d.) ได้ดำเนินการทดลองเพื่อหาผลลัพธ์เกี่ยวกับการเกิดขึ้นของไฟ โดยใช้เหตุการณ์ไฟไหม้จริงในอาคารอพาร์ทเมนต์แบบเก่า โดยสิ่งที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงของการเกิดไฟในการทดลองไฟไหม้นี้ได้แก่ แผ่นโพลียูรีเทนวางราบ เก้าอี้จำลอง (แผ่นโพลียูรีเทนหุ้มด้วยผ้าฝ้าย) และเก้าอี้สำนักงาน โดยปกติ แบบจำลอง CFAST จะทำนายค่าอุณหภูมิชั้นบน (upper) เกินกว่าความเป็นจริงประมาณ 10-50% ขึ้นอยู่กับสภาพต่างๆ ในการทดลองและตำแหน่งในการวัดค่าในการทดลองนั้นๆ ค่าอุณหภูมิชั้นบนที่ทำนายไว้และค่าอุณหภูมิชั้นบนในการทดลอง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ที่เปลี่ยนแปลงตามเวลานั้นมีค่าที่ใกล้เคียงกัน โดยปกติ ระยะเวลาที่จะทำให้เกิดอุณหภูมิชั้นบนสูงสุดที่ทำนายไว้นั้นจะเท่ากับภายใน 15% ของค่าที่วัดได้จากการทดลอง Luo และคณะ ได้สรุปไว้ว่า แบบจำลอง CFAST นี้มีการทำนายผลที่ต่ำในแง่ของการคำนวณเพื่อความปลอดภัยในชีวิต และในการทดลองเหล่านี้พบว่าไม่เกิดการแยกชั้น

ในการที่หน่วยงานต่างๆ ด้านการฝึกอบรมเกี่ยวกับไฟไหม้จะทำหน้าที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดนั้น สิ่งที่นับว่ามีความสำคัญเป็นอย่างมาก ก็คือ การใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างคุ้มค่านั่นเอง Poole และคณะได้รายงานงานศึกษาหนึ่งเกี่ยวกับโครงการความร่วมมือระหว่างหน่วยงาน Kitchener Fire Department (แคนาดา) และมหาวิทยาลัย University of Waterloo ที่มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างหลักเกณฑ์การออกแบบโครงสร้างหน่วยงานการฝึกอบรมเจ้าหน้าที่ดับเพลิง หลักเกณฑ์สำคัญประการหนึ่งก็คือ การฝึกอบรมเหมือนจริง ทั้งในส่วนของอุณหภูมิ การปล่อยความร้อน และการแบ่งออกเป็นชั้นต่างๆ ที่เกิดขึ้นในอาคารหน่วยงานนั้นๆ วัตถุประสงค์ของรายงานงานศึกษาดังกล่าว ก็เพื่อเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ข้อมูลการปล่อยความร้อนที่มีและค่าสหสัมพันธ์การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของก๊าซในชั้นสูงและชั้นต่ำและแบบจำลอง กับ ข้อมูลจากโครงสร้างอาคารจริงที่เกิดเหตุไฟไหม้จริง โดยเป็นข้อมูลที่ได้รับการสนับสนุนร่วมมือจากทาง Kitchener Fire Department ทั้งนี้ พบว่า แบบจำลอง CFAST นี้ประสบความสำเร็จในการทำนายสภาพดังกล่าว และในอนาคตก็จะมีการนำแบบจำลองนี้ไปใช้ในการออกแบบอาคารหน่วยงานเหล่านี้ต่อไป

Bailey *et al.* (n.d.) ได้รายงานผลการเปรียบเทียบระหว่างผลการทำนายของแบบจำลอง CFAST กับข้อมูลจากการทดลองไฟไหม้ขนาดจริงที่ดำเนินการบนเรือปลดประจำการ USS SHADWELL ซึ่งในปัจจุบันใช้เป็นฐานการวิจัยและพัฒนาเพื่อควบคุมความเสียหายของกองทัพเรือสหรัฐอเมริกา เหตุการณ์สำคัญที่เกิดขึ้นในการทดสอบความถูกต้องใช้ได้ของแบบจำลองครั้งนี้ก็คือ การนำความร้อนที่มีทิศทางแนวดิ่งผ่านเพดานและพื้นห้อง ในงานศึกษาครั้งนี้ Bailey และคณะได้ทำการเปรียบเทียบค่าผลการทำนายอุณหภูมิของแบบจำลอง CFAST ที่ผนังด้านที่ไม่ได้รับไฟของกล่องโลหะขนาดใหญ่ที่อยู่ในไฟที่มีสภาพคงที่ ซึ่งเป็นการทดสอบผลการทำนายการเคลื่อนที่ของความร้อนทั้งแบบการแผ่รังสีและแบบการนำความร้อนที่เกิดขึ้นทั้งแนวดิ่งและแนวขวางของแบบจำลอง สิ่งที่ได้รับทราบขึ้นมาโดยอ้อมจากการทดลองนี้ ก็คือ ทำให้ทราบถึงคุณภาพของแบบจำลองที่มีการเคลื่อนที่ของความร้อนแบบการนำ การพา และการแผ่รังสี การเปรียบเทียบแบบจำลองและการทดลองนั้นได้ดำเนินการอย่างดีภายในขอบเขตความผิดพลาดของการวัดผลที่

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กำหนดไว้ โดยเฉพาะการเปรียบเทียบในส่วนของการวัดผลในห้องไฟ และห้องและดาดฟ้าที่อยู่เหนือห้องนั้นโดยตรง โดยมีค่าผลการทำนายที่ตรงกับผลการทดลองภายในขอบเขตความไม่แน่นอนของการวัด ในช่วงแรกของการทดลอง แบบจำลองได้คาดการณ์อุณหภูมิของห้องและดาดฟ้าที่มิได้อยู่ติดกับห้องไฟโดยตรงต่ำกว่าความเป็นจริง ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่นั้นเกิดขึ้นจากความไม่แน่นอนในการกำหนดคุณสมบัติและรายละเอียดของการทดลองนั่นเอง ขนาดของช่องเปิดระบายอากาศระหว่างดาดฟ้าแต่ละจุดและช่องเปิดที่เปิดออกสู่ภายนอกเป็นสิ่งที่จะต้องมีการกำหนดไว้ด้วย แต่ก็มักจะไม่ได้มีการกำหนดไว้ นอกจากนี้ มีรอยแตกเกิดขึ้นที่บริเวณดาดฟ้าระหว่างห้องไฟและห้องด้านบนอันเนื่องมาจากไฟรุนแรงที่เกิดขึ้นในห้องต้นกำเนิด แต่ก็มิได้มีการเก็บบันทึกข้อมูลตามระยะเวลาในส่วนนี้ ขนาดรวมของช่องเปิดที่เปิดออกสู่ภายนอกของประตูที่บิดเบี้ยวในห้องทั้งสอง (ห้องไฟและห้องด้านบน) ก็มิได้มีการบันทึกไว้ ผลการทำนายไฟสภาพคงที่นั้นเหมือนกัน (อยู่ภายในขอบเขตความผิดพลาดของการทดลองและการทำนาย) ความผิดพลาดครั้งใหญ่นั้นเกิดขึ้นหลังจากที่มีการจุดติด (ความไม่แน่นอนในไฟช่วงแรก) และในช่วงการเกิดขึ้นของรอยแตกระหว่างห้อง ซึ่งการที่เป็นเช่นนี้มิได้ส่งผลกระทบต่อความสอดคล้องของค่าที่วัดได้ในห้องต้นกำเนิดไฟ แต่นำไปสู่ความผิดพลาดที่ประมาณ 30% ในห้องข้างเคียง

ทฤษฎีพื้นฐาน (Theoretical Basis) ของแบบจำลอง CFAST

สมการที่ใช้ในแบบจำลอง CFAST นั้นเป็นสมการเชิงคณิตศาสตร์ที่ใช้ปัญหาค่าเริ่มต้น (Initial Value Problem) สำหรับระบบสมการเชิงอนุพันธ์สามัญ (Ordinary Differential Equations) สมการเหล่านี้ได้มาจากการใช้หลักการอนุรักษ์มวล การอนุรักษ์พลังงาน (เทียบเท่ากับกฎข้อแรกของอุณหพลศาสตร์ หรือ Thermodynamics) และกฎก๊าซในอุดมคติ สมการเหล่านี้จะทำนายค่าต่างๆ ที่แปรผันตามเวลา เช่น ความดัน ความสูงของชั้นก๊าซ และอุณหภูมิที่ส่งผลทำให้เกิดการสะสมของมวลและพลังงานในทั้งสองชั้น สมมติฐานของแบบจำลองแบบพื้นที่นี้ ก็คือ คุณสมบัติต่างๆ เช่น อุณหภูมิ เป็นสิ่งที่สามารถประมาณการได้ทั่วทั้งพื้นที่หรือปริมาตรควบคุม (Control Volume) โดยใช้ค่าเฉลี่ยในการประมาณการ

จากนั้น เมื่อมีสมมติฐานเหล่านี้แล้วก็ทำให้ได้สูตรสมการต่างๆ ขึ้นมาหลายสูตรด้วยกัน สูตรสมการหนึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงเป็นอีกสูตรสมการหนึ่งได้โดยใช้คำจำกัดความ (Definition) ของความหนาแน่น พลังงานภายใน และกฎก๊าซในอุดมคติ ทั้งนี้ แม้ว่าจะมีการวิเคราะห์สมการเหล่านี้ด้วยวิธีการวิเคราะห์สมมูล (Equivalent Analytically) ก็ตาม แต่สมการเหล่านี้ก็มี

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ความแตกต่างกันออกไปในส่วนของคุณสมบัติเชิงจำนวน (Numerical Properties) สูตรสมการแต่ละสูตรนั้นจะแสดงออกมาในรูปของมวล (Mass) และการเคลื่อนที่ของพลังงาน (Enthalpy Flow) ซึ่งการแสดงออกในค่าดังกล่าวนี้เป็นการแสดงให้เห็นถึงการแลกเปลี่ยนของมวลและพลังงานระหว่างพื้นที่ต่างๆ อันเกิดจากปรากฏการณ์ทางกายภาพ เช่น Plume การระบายอากาศโดยธรรมชาติและการระบายอากาศด้วยเครื่องกล การถ่ายเทความร้อนแบบการพาและการแผ่รังสีและอื่นๆ ยกตัวอย่างเช่น ช่องระบายหนึ่ง (Vent) จะทำการแลกเปลี่ยนมวลและพลังงานระหว่างพื้นที่ต่างๆ ในห้องที่เชื่อมต่อกัน Fire Plume จะเพิ่มความร้อนให้แก่ชั้นบนและถ่ายเทมวลและพลังงานที่ถูกดึงไว้ (Entrained Mass and Enthalpy) จากชั้นล่างไปยังชั้นบน และการพา (Convection) จะถ่ายเท Enthalpy จากชั้นก๊าซไปยังผนังรอบบริเวณ เป็นต้น

สมการเชิงอนุพันธ์สามัญ (Ordinary Differential Equations) ที่ใช้ในแบบจำลองอัคคีภัยแบบพื้นที่นี้เป็นสมการที่ใช้ยาก (Stiff) คำว่า ยาก ในที่นี้หมายความว่าในการแก้สมการเชิงอนุพันธ์สามัญนั้นจะมีความกว้างหรือแตกต่างกันอย่างมากของกรอบเวลาที่จะพิจารณา สำหรับในปัญหาของเรานั้น ความดัน (Pressure) จะทำให้สภาพต่างๆ มีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็วมากกว่าสิ่งอื่นใดที่เกี่ยวข้องกับการแก้สมการเชิงอนุพันธ์สามัญในแบบจำลองอัคคีภัยแบบพื้นที่อันเนื่องมาจากความยาก (Stiffness) ดังกล่าวนี้ วิธีการ Runge-Kutta หรือวิธีการ Predictor-Corrector เช่น Adams-Bashforth จำเป็นต้องใช้ขั้นเวลา (Time Steps) ที่ถี่มากเพื่อติดตามข้อมูลของปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในกรอบเวลาสั้นๆ (สำหรับในกรณีของเรา ได้แก่ ความดัน) วิธีการต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณค่า Jacobian (หรืออย่างน้อยที่สุด ที่ใช้ในการประมาณการ) จะมีความเสถียรภาพสำหรับปัญหายากต่างๆ ที่มากกว่าและประสบผลสำเร็จในการแก้สมการได้มากกว่าด้วย

การวิเคราะห์สมการต่างๆ ในแบบจำลองแบบสองชั้น

ห้อง (Compartment) จะถูกแบ่งออกเป็นปริมาตรควบคุม (Control Volume) สองปริมาตร ได้แก่ ปริมาตรชั้นบนที่ร้อน และปริมาตรชั้นล่างที่เย็น ดังแสดงไว้ที่รูป 2 ก๊าซที่อยู่ในแต่ละชั้นนี้จะมีคุณสมบัติประจำตัว ได้แก่ มวล พลังงานภายใน ความหนาแน่น อุณหภูมิ และปริมาตร ซึ่งแทนด้วย $m_i, E_i, \rho_i, T_i,$ และ V_i โดยที่ $i = L$ สำหรับชั้นล่าง และ $i = \mathrm{U}$ สำหรับชั้นบน ส่วนห้อง (Compartment) โดยรวมนั้นจะมีคุณสมบัติประจำตัว ได้แก่ ความดัน (P) ซึ่งตัวแปรทั้ง 11 ตัวนี้จะมีความสัมพันธ์กันตามสมการขอบข่าย (Constraint) 7 สมการดังนี้ (นับความหนาแน่น พลังงานภายใน และกฎก๊าซในอุดมคติสองครั้งสำหรับแต่ละชั้น)

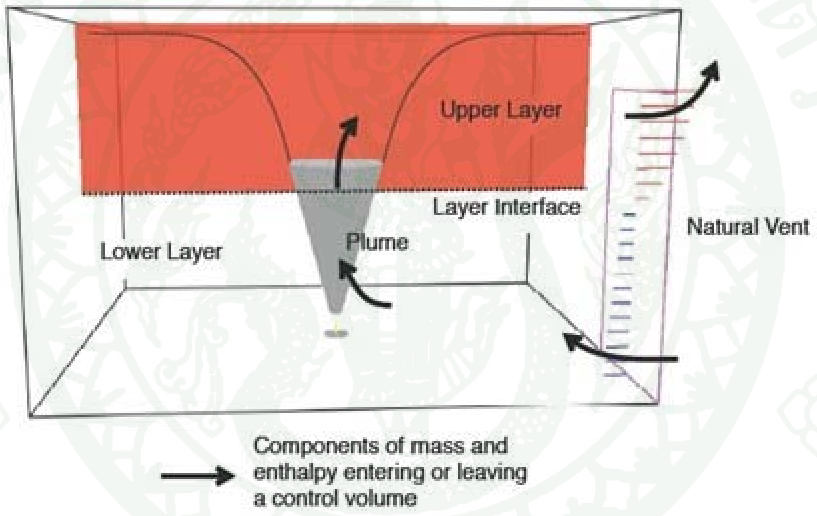
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

$$\rho_i = \frac{m_i}{Vi} \qquad \text{(ความหนาแน่น)} \qquad (1)$$

$$E_i = c_v m_i T_i \qquad \text{(พลังงานภายใน)} \qquad (2)$$

$$P = R \rho_i T_i \qquad \text{(กฎก๊าซในอุดมคติ)} \qquad (3)$$

$$V = V_L + V_U \qquad \text{(ปริมาตรทั้งหมด)} \qquad (4)$$



ภาพที่ 2 แผนผังการควบคุมปริมาตรในแบบจำลองแบบสองชั้น (Two layers)

ที่มา: Technical Reference Guide for CFAST (n.d.)

ความร้อนจำเพาะ (Specific Heat) ที่ปริมาตรคงที่ (c_v) และความดันคงที่ (c_p) ค่าคงที่ของก๊าซ (R) และอัตราส่วนความร้อนจำเพาะ (γ) จะมีความสัมพันธ์กันดังนี้ $\gamma = c_p / c_v$ และ $R = c_p - c_v$ สำหรับอากาศในบรรยากาศ (Ambient Air) นั้น ค่า $c_p \approx 1kJ/kg\ \ K$ และ $\gamma = 1.4$ นอกจากนี้ ยังจำเป็นต้องใช้สมการเพิ่มเติมอีก 4 สมการจากการอนุรักษ์มวลและการอนุรักษ์พลังงานสำหรับแต่ละชั้นเพื่อให้ชุดสมการสมบูรณ์ ทั้งนี้ สมการเชิงอนุพันธ์ (Differential Equation) สำหรับมวลในแต่ละชั้น เป็นดังนี้

$$\frac{dm_L}{dt} = \dot{m}_L \qquad (5)$$

$$\frac{dm_U}{dt} = \dot{m}_U \qquad (6)$$

กฎข้อแรกของอุณหพลศาสตร์ (Thermodynamics) กล่าวไว้ว่า ปริมาณการเพิ่มขึ้นของพลังงานภายในบวกกับปริมาณพลังงานที่จะทำให้ชั้นมีการขยายตัวนั้นเท่ากับปริมาณพลังงานความร้อนเข้าสู่ก๊าซ โดยรูปสมการเป็นดังนี้

$$\overbrace{\frac{dE_i}{dt}}^{\text{int}\,ernal\ \ energy} + \overbrace{P\frac{dV_i}{dt}}^{work} = \overbrace{\dot{h}_i}^{enthalpy} \qquad (7)$$

โดยที่ c_p คือ ค่าคงที่ในรูปของเอนทัลปี (Enthalpy)

$$\dot{h} = c_p\dot{m}_U T_U + \dot{E}_U + c_p\dot{m}_L T_L + \dot{E}_L \qquad (8)$$

สมการเชิงอนุพันธ์ (Differential Equation) สำหรับแรงดันสามารถสร้างขึ้นได้โดยการนำสมการที่ (7) สำหรับชั้นบนและชั้นล่างมาใส่เพิ่มเติม ทำให้ได้สมการ $\frac{dV_U}{dt} = -\frac{dV_L}{dt}$ และสมการ

$$\frac{dE_i}{dt} = \frac{d(c_v\dot{m}_i Ti)}{dt} = \frac{c_v}{R}\frac{d(PV_i)}{dt} \qquad (9)$$

ดังนั้น จึงได้สมการดังนี้

$$\frac{dP}{dt} = \frac{\gamma - 1}{V}(\dot{h}_L + \dot{h}_U) \qquad (10)$$

สมการเชิงอนุพันธ์ (Differential Equation) สำหรับปริมาตรชั้น (Layer Volumes) สามารถสร้างขึ้นได้โดยการแทนสมการที่ (9) เข้าไปในสมการที่ (7) ได้ดังนี้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

$$\frac{dV_i}{dt} = \frac{1}{P\gamma}\left((\gamma - 1)\dot{h}_i - V_i \frac{dP}{dT} \right) \qquad (11)$$

จากนั้น สามารถเขียนสมการที่ (2) ใหม่ได้โดยใช้สมการที่ (11) เพื่อตัด dV / dt ออกไป ได้สมการดังนี้

$$\frac{dE_i}{dt} = \frac{1}{\gamma}\left(\dot{h}_i + V \frac{dP}{dT} \right) \qquad (12)$$

สมการเชิงอนุพันธ์ (Differential Equation) สำหรับความหนาแน่น (Density) สามารถสร้างขึ้นได้โดยนำผลหาร (Quotient Rule) ใส่เข้าไปในสมการ $\frac{d\rho_i}{dt} = \frac{d}{dt}\left(\frac{m_i}{V_i} \right)$ และใช้สมการที่๖(11) เพื่อตัด $\frac{dV_i}{dt}$ ออกไป ทำให้ได้สมการดังนี้

$$\frac{d\rho_i}{dt} = \frac{-1}{c_p T_i V_i}\left((\dot{h}_i - c_p \dot{m}_i T_i) - \frac{V_i}{\gamma - 1}\frac{dP}{dt} \right) \qquad (13)$$

สมการเชิงอนุพันธ์ (Differential Equation) สำหรับอุณหภูมิสามารถสร้างขึ้นได้จากสมการสถานะ (Equation of State) โดยการนำผลหาร (Quotient Rule) ใส่เข้าไปในสมการ $\frac{dT_i}{dt} = \frac{d}{dt}\left(\frac{P}{R\rho_i} \right)$ และใช้สมการที่ (13) ในการตัด $\frac{d\rho_i}{dt}$ ออกไป ทำให้ได้สมการดังนี้

$$\frac{dT_i}{dt} = \frac{1}{c_p \rho_i V_i}\left((\dot{h}_i - c_p \dot{m}_i T_i) + V_i \frac{dP}{dt} \right) \qquad (14)$$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 1 สมการอนุรักษ์ของแบบจำลองพื้นที่

Equation Type	Differential Equation
i'th layer mass	$\frac{dm_i}{dt} = \dot{m}_i$
pressure	$\frac{dP}{dt} = \frac{\gamma - 1}{V}(\dot{h}_L + \dot{h}_U)$
i'th layer energy	$\frac{dE_i}{dt} = \frac{1}{\gamma}(\dot{h}_i + V\frac{dP}{dt})$
i'th layer volume	$\frac{dV_i}{dt} = \frac{1}{P\gamma}\left((\gamma-1)\dot{h}_i - V_i\frac{dP}{dt}\right)$
i'th layer density	$\frac{d\rho_i}{dt} = \frac{-1}{c_p T_i V_i}\left((\dot{h}_i - c_p \dot{m}_i T_i) - \frac{V_i}{\gamma-1}\frac{dP}{dt}\right)$
i'th layer temperature	$\frac{dT_i}{dt} = \frac{1}{c_p rho_i V_i}\left((\dot{h}_i - c_p \dot{m}_i T_i) + V_i\frac{dP}{dt}\right)$

ในตารางที่ 1 ได้สรุปรายละเอียดของสมการเหล่านี้สำหรับตัวแปรทั้ง 11 ตัว โดยสามารถทำการคำนวณระยะเวลาในการเปลี่ยนสถานะ (Time Evolution) ของตัวแปรสำหรับการแก้ไขปัญหา (Solution Variable) เหล่านี้ได้โดยทำการแก้สมการเชิงอนุพันธ์ (Differential Equation) ที่เกี่ยวข้องทีละสมการพร้อมกับเงื่อนไขเริ่มแรก (Initial Conditions) ที่เกี่ยวข้อง ส่วนตัวแปร 7 ตัวที่เหลือนั้นสามารถหาได้จากการใช้ตัวแปรสำหรับการแก้ไขปัญหา (Solution Variable) 4 ตัวโดยใช้สมการที่ (1) ถึง (4)

อย่างไรก็ตาม ยังมีสูตรการสร้างสมการเชิงอนุพันธ์ (Differential Equation) ที่เป็นไปได้อีกหลายรูปแบบด้วยกัน ซึ่งในการเลือกใช้ตัวแปร 4 ตัวจากทั้งหมด 7 ตัวนั้นจะมีทางเลือกในการเลือกรูปแบบสมการได้สูงถึง 330 รูปแบบด้วยกัน ระบบสมการเหล่านี้หลายระบบนั้นเป็นระบบ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ที่ไม่สมบูรณ์อันเนื่องมาจากความสัมพันธ์ที่มีอยู่ระหว่างตัวแปรต่างๆ ที่อยู่ในสมการที่ (1) ถึง (4) ยกตัวอย่างเช่น ตัวแปร ρ_U, V_U, m_U และ P ทำให้เกิด Dependent Set เนื่องจาก $\rho_U = m_U / V_U$

จำนวนสูตรการสร้างสมการเชิงอนุพันธ์ (Differential Equation) นั้นสามารถลดน้อยลงได้ โดยการไม่นำประเภทของตัวแปรระหว่างชั้นมาผสมรวมกัน กล่าวคือ ถ้าหากว่าเลือกมวลของชั้นบนเป็นตัวแปรสำหรับการแก้ไขปัญหา (Solution Variable) ตัวหนึ่งนั้น ก็จะต้องเลือกมวลของชั้นล่างมาใช้ด้วย ยกตัวอย่างเช่น สำหรับการเลือกตัวแปรสำหรับการแก้ไขปัญหา (Solution Variable) 2 ตัวคู่ใดๆ นั้น จะต้องเลือก m_L กับ m_U หรือ เลือก ρ_L กับ ρ_U หรือ เลือก T_L กับ T_U สำหรับตัวแปรสำหรับการแก้ไขปัญหา (Solution Variable) อีก 2 ตัว ให้เลือก E_L กับ E_U หรือ เลือก P กับ V_L หรือ เลือก P กับ V_U การทำเช่นนี้จะเป็นการลดจำนวนสูตรสมการที่มีความแตกต่างกันออกไปได้ถึง 9 สูตรด้วยกัน ทั้งนี้ จากการที่คุณสมบัติที่เป็นตัวเลขของสมการปริมาตร (Volume Equation) ของชั้นบนนั้นเหมือนกันกับคุณสมบัติของสมการปริมาตร (Volume Equation) ของชั้นล่าง ดังนั้น จึงสามารถลดจำนวนสูตรสมการที่มีความแตกต่างกันออกไปได้ 6 สูตร

ชุดสมการ (Equation Set) ที่ใช้ในแบบจำลอง CFAST

แบบจำลอง CFAST เวอร์ชันปัจจุบันนั้นจะเป็นการใช้ชุดสมการ (Equation Set) ซึ่งประกอบด้วยสมการสำหรับอุณหภูมิของชั้น ปริมาตรของชั้น และความดัน ดังแสดงด้านล่างนี้

$$\frac{dP}{dt} = \frac{\gamma - 1}{V}\left(\dot{h}_L + \dot{h}_U\right) \tag{15}$$

$$\frac{dV_U}{dt} = \frac{1}{P\gamma}\left((\gamma - 1)\dot{h}_i - V_U \frac{dP}{dt}\right) \tag{16}$$

$$\frac{dT_U}{dt} = \frac{1}{c_p rho_i V_U}\left((\dot{h}_U - c_p \dot{m}_U T_U) + V_U \frac{dP}{dt}\right) \tag{17}$$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

$$\frac{dT_L}{dt} = \frac{1}{c_p rho_i V_L}\left((\dot{h}_L - c_p \dot{m}_L T_L) + V_L \frac{dP}{dt} \right) \qquad (18)$$

ในสมการเหล่านี้ ค่าความดันจะหมายถึงค่าความแตกต่างของความดันเปรียบเทียบกับความดันอ้างอิงของบรรยากาศเพื่อลดความไม่เสถียรเชิงตัวเลข (Numerical Instability) ให้น้อยลง

ข้อจำกัดของสมมติฐานของแบบจำลองแบบพื้นที่

สมมติฐานเบื้องต้นของแบบจำลองอัคคีภัยแบบพื้นที่ทั้งหมดนั้นก็คือ แต่ละห้อง (Compartment) จะสามารถแบ่งออกได้เป็นปริมาตรควบคุม (Control Volume) ได้ในจำนวนหนึ่ง ซึ่งแต่ละปริมาตรนั้นจะมีอุณหภูมิและโครงสร้างส่วนประกอบที่เหมือนกัน ในแบบจำลอง CFAST นั้น ห้องทั้งหมดจะมีสองพื้นที่ ยกเว้นห้องที่เกิดไฟจะมีพื้นที่เพิ่มเติมอีกหนึ่งพื้นที่สำหรับ Plume ทั้งนี้ จากการที่ส่วนประสาน หรือ Interface จริงของชั้นบน/ชั้นล่างมิได้สามารถเห็นได้อย่างชัดเจนสมบูรณ์ ดังนั้นในการหาความสูงของชั้นก็จะมีความผิดพลาดเชิงพื้นที่ (Spatial Error) ที่ประมาณ 10%

แนวคิดแบบจำลองแบบพื้นที่นั้นจะสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ดีที่สุดกับส่วนปิดล้อม (Enclosure) ใดๆ ที่ความกว้างและความยาวของส่วนปิดล้อมนั้นไม่แตกต่างกันมากนัก ซึ่งในกรณีที่มิติหรือขนาดในแนวราบ (Horizontal Dimensions) ของห้องมีความแตกต่างกันมาก (ได้แก่ลักษณะของห้องดูเหมือนกันกับทางเดิน) รูปแบบการเคลื่อนที่ (Flow Pattern) ในห้องนั้นก็อาจจะมีลักษณะเป็น “อสมมาตร” (Asymmetrical) ในกรณีที่ส่วนปิดล้อม (Enclosure) มีความตื้นมากนั้น อุณหภูมิก็อาจจะมีความแตกต่างเชิงรัศมี (Radial Difference) อย่างมากได้ และ ณ ความสูงหนึ่งๆ ความกว้างของ Plume ก็อาจจะมีค่าเท่ากับความกว้างของห้องและสมมติฐานของแบบจำลองก็อาจใช้ไม่ได้กับส่วนปิดล้อมใดๆ ที่ยาวและแคบ ด้วยเหตุนี้ ผู้ใช้ควรคำนึงถึงค่าขีดจำกัดสูงสุดโดยประมาณของอัตราส่วนระหว่างความยาว (L) ความกว้าง (W) และความสูง (H) ของห้องด้วย

ในกรณีที่อัตราส่วนของความยาวต่อความกว้าง (Aspect Ratio) มีค่ามากเกินกว่า 10 ก็ควรนำ Corridor Flow Algorithm มาใช้ ซึ่งจะทำให้ผู้ใช้ได้ค่าเวลาการ Filling ที่เหมาะสม ในทำนองเดียวกันนี้ สำหรับปล่องที่มีความสูง (เช่น ลิฟต์ และบันได) การวิธีประมาณการแบบพื้นที่เดียวจะมีความเหมาะสมมากกว่า ทั้งนี้ จากการทดลองพบว่าการผสมเข้ากันของ Plume กับชั้นล่างอันเนื่องมาจากการมีปฏิสัมพันธ์กับผนังของปล่องนั้น ทำให้การผสมเข้ากันนั้นเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

แบบ ซึ่งเป็นประเด็นหนึ่งของปัญหาของทางเดิน (Corridor) และจะเกิดขึ้นที่อัตราส่วนของความสูงต่อความยาวของพื้นมีค่าเท่ากับประมาณ 10 ทั้งนี้ ขอแนะนำให้ใช้ค่าขีดจำกัดเชิงปริมาณ (Quantitative Limits) ดังตารางนี้

ตารางที่ 2 ค่าสูงสุดที่แนะนำสำหรับขนาดของห้อง

Group	Acceptable	Special consideration required	Corridor flow algorithm
$(L/W)_{max}$	$L/W < 3$	$3 < L/W < 5$	$L/W > 5$
$(L/H)_{max}$	$L/H < 3$	$3 < L/H < 6$	$L/H > 6$
$(W/H)_{max}$	$W/H > 0.4$	$0.2 < L/W < 0.4$	$L/W < 0.2$

สมการทางคณิตศาสตร์ (Source Terms) ของแบบจำลอง CFAST

แบบจำลองย่อย (Sub-model) แต่ละอันในแบบจำลอง CFAST ซึ่งโดยทั่วไป แบบจำลองย่อยแต่ละส่วนนั้นจะมีความคล้ายคลึงกันในแง่ของการเป็นโครงสร้างส่วนประกอบของแบบจำลองรวม เนื้อหาส่วนย่อยที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้จะเป็นการกล่าวถึงวิธีการในการนำไปใช้กับสถานการณ์จริงในเชิงจำนวน สำหรับในแต่ละสถานการณ์ที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้นั้น จะเป็นการกล่าวถึงโครงสร้างทางกายภาพ (Physical Basis) ของแบบจำลองก่อน จากนั้นจะตามมาด้วยรายละเอียดอย่างย่อของการนำไปใช้งานภายในแบบจำลอง CFAST ทั้งนี้ สำหรับสถานการณ์ทั้งหมด การนำไปใช้นั้น (Implementation) จะประกอบด้วยสองส่วนประกอบพื้นฐาน ได้แก่ โปรแกรมย่อยส่วนประสานทางกายภาพ (Physical Interface Routine) (หมายถึงส่วนประสานหรือ Interface ระหว่างแบบจำลอง CFAST และขั้นตอนวิธี หรือ Algorithm) และโปรแกรมย่อยทางกายภาพจริง (Actual Physical Routine) ซึ่งเป็นการนำหลักฟิสิกส์มาใช้ การนำไปใช้นี้จะทำให้คุณสมบัติทางฟิสิกส์ยังคงมีอิสระจากโครงสร้างของแบบจำลอง CFAST และช่วยให้สามารถนำสถานการณ์ใหม่เพิ่มเข้ามาได้อย่างสะดวกอีกด้วย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ไฟ (Fire)

ไฟ (Fire) ในแบบจำลอง CFAST นั้น จะหมายถึง แหล่งกำเนิดมวลเชื้อเพลิง (Source of Fuel Mass) ที่จะมีการปลดปล่อยออกมาในอัตราที่กำหนดไว้ (อัตราการย่อยสลายโมเลกุลด้วยความร้อน หรือ Pyrolysis Rate) พลังงานจะถูกปลดปล่อยออกมาโดยเชื้อเพลิงและก็จะเกิดผลผลิตจากการเผาไหม้ออกมาเพื่อมีการเผาไหม้เกิดขึ้น

แบบจำลอง CFAST นี้สามารถจำลองสถานการณ์สมมติไฟไหม้ได้หลายสถานการณ์ทั้งที่เกิดขึ้นในห้อง (Compartment) ของอาคารเพียงห้องเดียวหรือหลายห้องพร้อมกัน ไฟที่เกิดขึ้นเหล่านี้จะได้รับการพิจารณาแยกจากกันอย่างสมบูรณ์และไม่มีความเกี่ยวข้องใดๆ กับ Plume โดยทั่วไปแล้ว จะมีการกล่าวถึงไฟเหล่านี้ว่าเป็น “วัตถุ” (Objects) และสามารถเกิดการจุดติดไฟได้ ณ ช่วงเวลา อุณหภูมิ หรือค่าการถ่ายเทความร้อน (Heat Flux) ที่กำหนดไว้

ทั้งนี้แบบจำลอง CFAST นี้ไม่มีแบบจำลองการย่อยสลายโมเลกุลด้วยความร้อน (Pyrolysis Model) สำหรับใช้ในการทำนายการขยายตัวของไฟ แต่ผู้ใช้สามารถทำการกำหนดอัตราการย่อยสลายโมเลกุลด้วยความร้อน (Pyrolysis Rate) สำหรับไฟที่จะเกิดขึ้นแต่ละแห่งได้ ในขณะที่วิธีการนี้มิได้มีการพิจารณาโดยตรงไปที่การย่อยสลายโมเลกุลด้วยความร้อน (Pyrolysis) ที่เพิ่มขึ้นอันเนื่องมาจาก Radiative Feedback จากเปลวไฟ (Flame) หรือจากห้อง (Compartment) ดังนั้นตามทฤษฎีแล้ว ผู้ใช้จะสามารถกำหนดผลกระทบ (Effect) เหล่านี้ได้ ในสถานการณ์ที่เป็นอัคคีภัยจริงนั้น เรื่องนี้เป็นข้อพิจารณาที่สำคัญประการหนึ่ง และคุณสมบัติ (Specification) ที่ใช้นั้นก็ควรพิจารณาถึงสภาวะต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองให้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้

ไฟที่ถูกจำกัด (Constrained Fire)

ไฟจะมีการปลดปล่อยพลังงานออกมาตาม Pyrolysis ของเชื้อเพลิง แต่อาจถูกจำกัดด้วยออกซิเจนที่มีอยู่สำหรับการเผาไหม้โดยจะขึ้นอยู่กับสภาพของห้องเป็นสำคัญ การเผาไหม้ที่สมบูรณ์จะจะเกิดขึ้นได้เฉพาะเมื่อมีออกซิเจนในปริมาณที่มากพอ เมื่อออกซิเจนถูกดึงเข้าไปยัง Fire Plume ในปริมาณที่ไม่เพียงพอนั้น เชื้อเพลิงที่ไม่ได้เผาไหม้ก็จะถูกเคลื่อนย้ายจากพื้นที่หนึ่งไปยังอีกพื้นที่หนึ่งจนกว่าจะมีออกซิเจนอย่างเพียงพอและมีอุณหภูมิที่สูงพอต่อการเผาไหม้ได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

โดยทั่วไปแล้ว แบบจำลอง CFAST นี้จะใช้คำจำกัดความอย่างง่าย (Simple Definition) ของการเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ซึ่งหมายถึงผลผลิตหลักที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอน

$$C_xH_yO_zN_aCl_b + v_{o_2}O_2 \rightarrow v_{CO_2}CO_2 + v_{H_2O}H_2O + v_{CO}CO + v_sSoot + v_{N_2}N_2 + V_{HCl}HCl + v_{HCN}HCN \tag{19}$$

โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์ปริมาณสารสัมพันธ์ (stoichiometric coefficient) เช่น v_{O_2}, v_{CO_2} จะหมายถึงสัดส่วนโดยโมล (Molar Ratio) ที่เกี่ยวข้องกับสมดุลประมาณสารสัมพันธ์ (stoichiometric balance) สมดุลหนึ่งๆ ของสมการ ยกตัวอย่างเช่น สำหรับเขม่า จะมีความเกี่ยวข้องกับ $soot\ yield,\ y_S$ (เขม่า) โดยมีความสัมพันธ์ดังนี้ :

$$v_S = \frac{W_F}{W_S} y_S \tag{20}$$

สำหรับการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ของเชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอนที่มีโครงสร้างที่เรียบง่ายมากที่สุดซึ่งได้แก่ มีเทน (Methane) นั้น มีเทนจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนทำให้เกิดคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำออกมา ข้อมูลเข้า (Input) เดียวที่ต้องใช้ก็คืออัตรา Pyrolysis และความร้อนของการเผาไหม้ สำหรับเชื้อเพลิงอื่นที่มีส่วนประกอบของออกซิเจน ไนโตรเจน หรือคลอรีน การทำปฏิกิริยาดังกล่าวจะมีความซับซ้อนมากขึ้น ซึ่งในส่วนนี้ ผู้ใช้จะเป็นผู้กำหนดผลลัพธ์ที่จะเกิดขึ้นจากการทำปฏิกิริยาของสสารต่างๆ (Species) เอง แบบจำลองนี้จะมีการใช้หลักปริมาณสัมพันธ์ (Stoichiometry) เพื่อทำให้แน่ใจว่าจะมีการอนุรักษ์มวลและธาตุต่างๆ (Elements) ในปฏิกิริยาสสาร (Species) ที่นำมาคำนวณประกอบด้วยออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนออกไซด์ น้ำ และเขม่า นอกจากนี้ ยังหมายรวมถึงไนโตรเจนในรูปของก๊าซด้วย แต่จะทำหน้าที่เป็นเพียงสารทำให้เจือจาง (Diluent) เท่านั้น สำหรับการเกิดขึ้นของไฮโดรเจนไซยาไนด์และไฮโดรเจนคลอไรด์นั้นจะเป็นไปตามค่าที่ผู้ใช้กำหนดขึ้นเท่านั้น ในแบบจำลองนี้จะมีการคำนวณแยกในส่วนของ Concentration-Time Product (CT) และประการสุดท้าย ผู้ใช้สามารถระบุเศษซากของสสาร (Trace Species) เพื่อติดตามถึงการเคลื่อนที่อันเป็นผลมาจากการเคลื่อนที่ที่เกิดจากไฟ (Fire-induced Flow) ของสสารใดๆ (Arbitrary Species) ประเด็นนี้อาจมีความน่าสนใจเป็นพิเศษสำหรับการปลดปล่อยหรือรั่วไหลทางรังสีวิทยา (Radiological Release) แต่ก็อาจจะเป็นประโยชน์ต่อปริมาณเศษซากใดๆ ที่เกิดขึ้นมาจากอัคคีภัยในครั้งหนึ่งๆ ด้วย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อัตราการปล่อยความร้อนสำหรับไฟที่ถูกจำกัด (Constrained Fire) หนึ่งๆ นั้นอาจลดน้อยลงต่ำกว่าค่าที่กำหนดไว้ซึ่งจะขึ้นอยู่กับปริมาณออกซิเจนที่มีอยู่สำหรับการเผาไหม้เป็นสำคัญ เมื่อมีออกซิเจนไม่เพียงพอที่จะทำให้เกิดการเผาไหม้ได้อย่างสมบูรณ์นั้น เชื้อเพลิงบางส่วนก็จะถูกเคลื่อนย้ายไปยังชั้นก๊าซและเคลื่อนที่ผ่านช่องระบาย (Vent) ในรูปของไฮโดรคาร์บอนที่ยังไม่ได้เผาไหม้

$$Q_{f,R} = \chi_R Q_f \qquad (21)$$

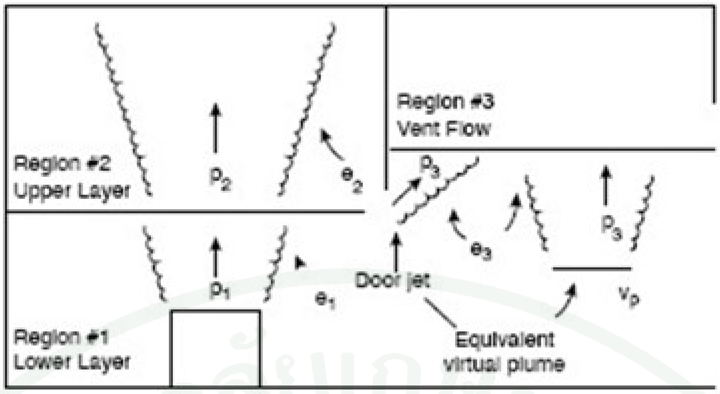
$$Q_{f,C} = (1-\chi_R) Q_f \qquad (22)$$

โดย χ_R คือ เศษส่วน (Fraction) ของอัตราการปลดปล่อยความร้อนของไฟที่ปลดปล่อยออกมาในรูปของการแผ่รังสี (Radiation) จากนั้นพลังงานแบบการพา (Convective) ซึ่งแทนค่าด้วย $Q_{f,C}$ จะกลายเป็นค่าสำคัญ (Driving Term) ใน Plume Flow สำหรับไฟที่จำกัดหนึ่งๆ นั้น จะมีการแผ่รังสีไปยังทั้งชั้นบนและชั้นล่าง ส่วนการพา (Convection) นั้นจะเกิดขึ้นเฉพาะชั้นบนเท่านั้น

การจำกัดการเผาไหม้โดยออกซิเจนที่มีอยู่

สำหรับไฟที่เกิดขึ้นในแต่ละครั้งนั้น อัตราการปลดปล่อยความร้อนจะถูกจำกัดโดยออกซิเจนที่มีอยู่ในชั้นที่เกิดไฟขึ้น ซึ่งการจำกัดอัตราการปลดปล่อยความร้อนเช่นนี้จะนำไปใช้ใน 3 ส่วนด้วยกัน ดังแสดงในภาพที่ 3 ประกอบด้วย ส่วนที่ 1 การเผาไหม้ในส่วนของ Plume ซึ่งโดยปกติแล้วจะเกิดขึ้นในชั้นล่าง (อย่างน้อยที่สุดก็ในช่วงแรกที่เกิดการเผาไหม้ขึ้น) ของห้องต้นกำเนิดไฟ (Region # 1) ส่วนที่ 2 การเผาไหม้ในส่วนของ Plume ในชั้นบนของห้องต้นกำเนิดไฟเช่นกัน (Region #2) และส่วนที่ 3 จะใช้ในการเคลื่อนที่ที่ช่องระบาย (Vent Flow) ซึ่งจะมีการดึง (Entrain) อากาศจากชั้นล่างไปยังชั้นบนในห้องข้างเคียง (Region #3) นอกจากนี้ ในแบบจำลอง CFAST นี้จะมีการเก็บข้อมูลในส่วนของไฮโดรคาร์บอนที่ไม่ได้เผาไหม้ด้วย แต่ในแบบจำลองนี้จะไม่มีการพิจารณาในส่วนของการเผาไหม้ CO และ CO_2 ต่อเนื่อง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 3 การไหลรวม (Entrainment) และการเผาไหม้ (Burning) ในแบบจำลองแบบหลายห้อง (Multi-compartment) สองชั้น (Two layers)

โดยเริ่มแรกนั้น ค่า $\dot{m}_f$ จะหมายถึงอัตรา Pyrolysis ของไฟต้นกำเนิดในหน่วย kg/s (Region #1) แต่สำหรับใน Region ต่อมา ค่า $\dot{m}_f$ ซึ่งหมายถึงอัตราการเผาไหม้นี้จะหมายถึงเชื้อเพลิงที่ไม่ได้เผาไหม้จาก Region ที่ผ่านมา ดังสมการ $\dot{m}_{tuhc} = \dot{m}_f - \dot{m}_b$ โดยตัวห้อย *tuhc* นี้จะหมายถึงไฮโดรคาร์บอนที่ยังไม่ได้เผาไหม้ทั้งหมด ตัวห้อย f หมายถึงต้นกำเนิดไฟ และตัวห้อย b หมายถึงจำนวนเชื้อเพลิงที่มีการเผาไหม้ไป

ขั้นตอนแรกได้แก่การจำกัดการเผาไหม้จริงซึ่งเกิดขึ้นในพื้นที่ที่มีการเผาไหม้ โดยในพื้นที่ที่มีการเผาไหม้ในแต่ละพื้นที่นั้น จะมีเชื้อเพลิงอยู่ในจำนวนหนึ่ง ซึ่ง ณ บริเวณต้นกำเนิด การมีอยู่ของเชื้อเพลิงนี้เกิดขึ้นเป็นผลมาจาก Pyrolysis ของวัตถุ ($\dot{m}_f$)ในแต่ละกรณี เชื้อเพลิงที่มีอยู่แต่ไม่ได้เผาไหม้จะไปอยู่ในประเภทเชื้อเพลิง $\dot{m}_{tuch}$ (ไฮโดรคาร์บอนที่ยังไม่ได้เผาไหม้) ซึ่งจะทำให้สามารถพิจารณาข้อมูลได้ตรงกัน ในเนื้อหาสมการด้านล่างนี้ ค่า $\dot{m}_f$ จะหมายถึงจำนวนเชื้อเพลิงที่มีการเผาไหม้ไป โดยเริ่มแรก จะมีการระบุค่านี้เป็นเชื้อเพลิงที่มีอยู่ และจากนั้นจะลดน้อยลงถ้าหากว่ามีออกซิเจนในปริมาณที่ไม่เพียงพอที่จะทำให้เกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ได้ จากนั้น เชื้อเพลิงที่มีอยู่ ซึ่งแทนด้วย $\dot{m}_f$ จะถูกทำให้ลดน้อยลงโดยค่าสุดท้าย $\dot{m}_f$ ที่มีการเผาไหม้ไปหรือค่า $\dot{m}_b$ ดังนั้น เราจึงมีรายละเอียดที่ถูกต้องตรงกันในแต่ละ Region ของการเผาไหม้ พร้อมกับมี Algorithm ที่สามารถนำมาใช้ได้อย่างมีอิสระจาก Region ที่นำมาวิเคราะห์

$$Q_f = \dot{m}_f H_c \qquad (23)$$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พร้อมกับมวลของออกซิเจนที่จำเป็นในการทำให้เกิดอัตราการปลดปล่อยพลังงานนี้

$$\dot{m}_O = \frac{Q_f}{E_O} = \dot{m}_f \frac{H_c}{E} \quad (24)$$

โดยที่ E_O หมายถึง การปลดปล่อยความร้อนต่อหน่วยมวลออกซิเจนที่หมดไป ซึ่งมีค่าเท่ากับ $1.31 \times 10^7 J/kg^1$ (พิจารณาจากเครื่องวัดความร้อนที่วัดการหมดไปของออกซิเจนสำหรับเชื้อเพลิงทั่วไป ในกรณีที่เชื้อเพลิงมีส่วนประกอบของออกซิเจน (ออกซิเจนที่มีอยู่สำหรับการเผาไหม้) ปริมาณออกซิเจนที่จำเป็นต่อการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์นั้นจะต่ำ

$$\dot{m}_{O,needed} = \dot{m}_O - \dot{m}_{O,\text{int}hefuel} \quad (25)$$

ในกรณีที่มีออกซิเจนอยู่อย่างเพียงพอ ก็จะสามารถเกิดการเผาไหม้ได้อย่างสมบูรณ์ อย่างไรก็ตาม ในกรณีที่ความเข้มข้นของออกซิเจนต่ำมากพอ ก็จะเป็นการจำกัดการเผาไหม้และเป็นการจำกัดปริมาณเชื้อเพลิงที่จะเผาไหม้จริงด้วย ซึ่งตรงข้ามกับจำนวนเชื้อเพลิงที่มีการ Pyrolysis ไป ทั้งนี้ การจำกัดที่เกิดขึ้นจริงเป็นดังสมการนี้

$$\dot{m}_{O.actual} = \min(\dot{m}_{O,available}, \dot{m}_{O,needed}) \quad (26)$$

$$\dot{m}_{f.actual} = \dot{m}_{O,actual} \frac{E_O}{H_c} \quad (27)$$

ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของออกซิเจนและเชื้อเพลิงนั้นจะเป็นตัวกำหนดขอบเขตที่การเผาไหม้จะเกิดขึ้น ในแบบจำลอง CFAST นั้น การจำกัดหมายถึงการจำกัดอัตราการเผาไหม้เมื่อระดับออกซิเจนลดน้อยลงจนกระทั่งถึงระดับที่เรียกว่า “ขีดจำกัดออกซิเจนต่ำสุด” (Lower Oxygen Limit: LOL) ค่าขีดจำกัดออกซิเจนต่ำสุดนี้จะเกิดขึ้นเมื่ออัตราการเผาไหม้ค่อยๆ ลดน้อยลงใกล้กับขีดจำกัด (Limit) ดังสมการนี้

$$\dot{m}_{O,available} = \dot{m}_e Y_{O_2} C_{LOL} \quad (28)$$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

โดยที่ค่า $\dot{m}_e$ หมายถึงอัตราการเคลื่อนที่ของการดึงมวล (Mass Entrainment Flow Rate) ค่า Y_{O_2} หมายถึงเศษส่วนมวลของออกซิเจน และค่าสัมประสิทธิ์ขีดจำกัดออกซิเจนต่ำสุด ซึ่งแทนด้วย C_{LOL} จะหมายถึงเศษส่วนของเชื้อเพลิงที่มีอยู่ซึ่งสามารถเผาไหม้ได้ด้วยออกซิเจนที่มีอยู่และจะมีความแตกต่างกันไปโดยเริ่มจาก 0 ณ ขีดจำกัด ไปจนถึง 1 ณ จุดที่มากกว่าขีดจำกัด รูปแบบฟังก์ชัน (Functional Form) ที่มีการใช้ค่า Hyperbolic Tangent นั้นถูกกำหนดขึ้นโดยการสังเกต (Empirically) เพื่อให้ได้มาซึ่งวิธีลัด (Cutoff) ของการเผาไหม้ในช่วงแคบๆ ที่มากกว่าค่าขีดจำกัด (Limit)

$$C_{LOL} = \frac{\tanh\left(800\left(Y_{O_2} - Y_{LOL}\right) - 400\right) + 1}{2} \qquad (29)$$

นอกจากนี้ ยังมีการกำหนดถึงหลักเกณฑ์ของอุณหภูมิด้วยเพื่อที่ว่าจะไม่มีการเผาไหม้เกิดขึ้นได้เมื่ออุณหภูมิมีค่าต่ำกว่าค่าอุณหภูมิที่ผู้ใช้กำหนดไว้

จากการตรวจสอบเอกสารทำให้ได้ทราบถึงความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง CFAST และผลการประเมินสภาพแวดล้อมจากอัคคีภัยจากแบบจำลอง อย่างไรก็ตาม เพื่อศึกษาว่าแบบจำลอง CFAST ประเมินอุณหภูมิของชั้นก๊าซบนและความสูงของท้องควันไฟแม่นยำเพียงใดจำเป็นต้องมีการเปรียบเทียบกับวิธีการหรือแบบจำลองอื่นที่มีความน่าเชื่อถือและได้รับการยอมรับสูง เช่น แบบจำลองพลศาสตร์อัคคีภัย (Fire Dynamics Simulator, FDS) ซึ่งการศึกษาวิจัยนี้เลือกที่จะนำอาคารตัวอย่างมาประมวลผลโดยใช้แบบจำลอง CFAST และด้วยอาคารเดียวกัน ก็จะประเมินระดับความเสี่ยงจากแบบจำลอง FDS ด้วย เพื่อประเมินว่าผลที่ได้จากแบบจำลอง CFAST มีค่าใกล้เคียงหรือเท่ากับผลที่ได้จากแบบจำลอง FDS หรือไม่ และแนะนำว่าแบบจำลองทั้งสองเหมาะที่จะเป็นวิธีการในการประเมินสภาพแวดล้อมเมื่อเกิดอัคคีภัยหรือไม่

โปรแกรมแบบจำลองพลศาสตร์อัคคีภัย (Fire Dynamics Simulator, FDS)

โปรแกรมแบบจำลองพลศาสตร์อัคคีภัย (Fire Dynamics Simulator, FDS) เป็นโปรแกรมที่ถูกพัฒนาจากสถาบัน National Institute of Standards and Technology (NIST) ประเทศสหรัฐอเมริกา เพื่อใช้สำหรับการจำลองการเคลื่อนที่ของไฟโดยใช้ระเบียบวิธีปริมาตรจำกัด (finite volume method) ในการแก้สมการการเคลื่อนที่ของของไหลซึ่งเป็นการไหลที่ความเร็วต่ำ (low speed)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การทำงานของโปรแกรมแบบจำลองพลศาสตร์อัคคีภัย (Fire Dynamics Simulator, FDS) ได้ใช้หลักการของการแบ่งห้องหรืออาคารออกเป็นส่วนเล็กๆ ในลักษณะที่เรียกว่า “computational cell” หรือ “grid” เพื่อใช้คำนวณความหนาแน่น, ความเร็ว, อุณหภูมิ, ความดัน และความเข้มข้นของแก๊สในแต่ละส่วนเล็กๆ โดยใช้กฎการอนุรักษ์มวลและพลังงานช่วยในการคำนวณ นอกเหนือจากนั้นโปรแกรม FDS ยังอนุญาตให้ผู้ใช้งานสามารถกำหนดรูปแบบ, ขนาดของอาคารหรือห้องที่เป็นต้นเหตุของเพลิงไหม้ รวมถึงคุณสมบัติของวัสดุต่างๆ เช่น วัสดุตกแต่ง ผนังห้อง พื้นห้อง และเพดานในการจำลองเหตุการณ์การเกิดเพลิงไหม้

ความแม่นยำและความถูกต้อง (verification and validation) ในการคำนวณและแสดงผลของแบบจำลองนี้ขึ้นอยู่กับการออกแบบจำนวนกริด (grid refine) ดังนั้นผู้ใช้งานต้องตัดสินใจว่าต้องการผลลัพธ์ที่มีความละเอียดมากน้อยเพียงใด แต่ในทางกลับกันจำนวนกริดเป็นส่วนสำคัญในการกำหนดระยะเวลาในการทดลอง โดยระยะเวลาในการทดลองอาจอยู่ในช่วงของนาทีถึงสัปดาห์ขึ้นอยู่กับจำนวนของกริดและระยะเวลาของการคำนวณ (simulation time)

โปรแกรม FDS สามารถแสดงผลลัพธ์ได้หลายอย่าง เช่น อุณหภูมิของควันไฟ ณ ตำแหน่งต่างๆ, การเคลื่อนที่ของควันไฟ, เวกเตอร์ความเร็ว, อัตราการไหลเชิงมวลของควันไฟผ่านช่องเปิด อัตราการไหลเชิงปริมาตรของควันไฟผ่านช่องเปิด, การมองเห็น, ความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์, การทำงานของอุปกรณ์ตรวจจับควันและการทำงานของอุปกรณ์ตรวจจับความร้อน เป็นต้น

ผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองโดยใช้โปรแกรมแบบจำลองพลศาสตร์อัคคีภัย (Fire Dynamics Simulator, FDS) สามารถแสดงให้เห็นผ่านทางภาพเคลื่อนไหว (animation) ผ่านทางโปรแกรม Smokeview ซึ่งเป็นโปรแกรมประกอบของโปรแกรม FDS

รายละเอียดพื้นฐานของ แบบจำลอง FDS

ประเภทของแบบจำลอง ของ FDS

FDS คือ แบบจำลองทางกลศาสตร์ของไหลด้วยคอมพิวเตอร์ (Computational Fluid Dynamics: CFD) ที่พิจารณาการไหล (Flow) ของของไหลที่เกิดขึ้นจากไฟ แบบจำลองนี้จะทำการ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

แก้ไขสมการ Navier-Stokes ในเชิงตัวเลขที่เกี่ยวข้องกับการไหล (Flow) ความเร็วต่ำที่ขับเคลื่อนด้วยความร้อนโดยที่เน้นไปที่การเคลื่อนที่ของควันและความร้อนจากไฟ โดยมีการประมาณการค่าอนุพันธ์ย่อย (Partial Derivatives) ของสมการอนุรักษ์ของมวล โมเมนตัม และพลังงานไว้ในรูปของผลต่างสืบเนื่อง (Finite Differences) และมีการปรับปรุงวิธีการแก้ไขสมการ (Solution) บน Grid เส้นตรงแบบสามมิติ การแผ่รังสีความร้อนจะคำนวณโดยใช้วิธีเชิงปริมาตรจำกัด (Finite Volume Technique) บน Grid เดียวกันเป็น Flow Solver และมีการใช้ Lagrangian Particles ในการจำลองการเคลื่อนที่ของควัน การปล่อยน้ำของ Sprinkler และละอองเชื้อเพลิง

Smokeview เป็นโปรแกรมที่ใช้งานคู่กับ FDS ซึ่งจะทำหน้าที่สร้างภาพนิ่งและภาพเคลื่อนไหวของผลลัพธ์ที่เกิดขึ้น โดยเมื่อไม่กี่ปีที่ผ่านมานี้ Glenn Forney ซึ่งเป็นผู้พัฒนาโปรแกรมนี้ได้กำหนดให้ Smokeview มีความสามารถในการสร้างภาพของไฟและควันในลักษณะที่สมจริงพอสมควร ในปัจจุบัน จากการที่มีการแสดงภาพแสงและเงาแบบสามมิติโปรแกรม Smokeview นี้จึงนับเป็นโปรแกรมสำคัญหนึ่งของแบบจำลองทางกายภายเนื่องจากช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถประเมินระดับการมองเห็นภายในห้อง (Compartment) ที่เกิดไฟได้ในลักษณะที่โปรแกรมการสร้างภาพเชิงวิทยาศาสตร์ทั่วไปไม่สามารถกระทำได้

ทั้งนี้ แม้ว่าที่สถาบัน NIST จะไม่มีอุปกรณ์เสริมที่เป็นส่วนหนึ่งของชุด FDS/Smokeview นี้ก็ตาม แต่ก็ยังมีอุปกรณ์เสริมของหน่วยงานอื่นและอุปกรณ์เสริมเฉพาะของแบบจำลอง FDS ที่มีจำหน่ายทั่วไปหรือที่ผู้ใช้งานบุคคลทั่วไปถือครองไว้ส่วนตัว ประเด็นสำคัญก็คือ จะมี Graphical User Interfaces (GUIs) จำนวนมากที่สามารถนำมาใช้ในการสร้างไฟล์ Input ขึ้นมาซึ่งประกอบด้วยข้อมูลที่จำเป็นทั้งหมดที่ต้องใช้ในการสร้างสถานการณ์จำลองหนึ่งๆ ขึ้น โปรแกรม PyroSim ที่ได้นำมาใช้ในการศึกษาวิจัยนี้เป็นหนึ่งในโปรแกรมเหล่านั้น

ประวัติความเป็นมาของแบบจำลอง FDS เวอร์ชันต่างๆ

แบบจำลอง FDS เวอร์ชัน 1 นั้นมีการเผยแพร่ออกสู่สาธารณะในเดือนกุมภาพันธ์ 2000 เวอร์ชัน 2 ในเดือนธันวาคม 2001 เวอร์ชัน 3 ในเดือนพฤศจิกายน 2002 และเวอร์ชัน 4 ในเดือนกรกฎาคม 2004 และแบบจำลองเวอร์ชันล่าสุดในปัจจุบันนั้นเป็นเวอร์ชันที่ 5 ซึ่งมีการเผยแพร่ครั้งแรกในเดือนตุลาคม 2007 ที่ผ่านมา

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ใน FDS เวอร์ชัน 5 นี้ได้เริ่มมีการนำระบบการจัดการปรับปรุงอย่างเป็นทางการ (Formal Revision Management System) มาใช้เพื่อติดตามตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ที่เกิดขึ้นกับ Source Code ของแบบจำลอง FDS ทั้งนี้ เครื่องมือที่เกี่ยวข้องในการพัฒนาโปรแกรมแบบ Open-source นั้นนำมาจากองค์กรด้านเครือข่ายอินเตอร์เน็ทที่มีชื่อว่า Google Code (code.google.com)

ตัวเลขแสดงเวอร์ชันของแบบจำลอง FDS นี้จะประกอบด้วยตัวเลข 3 ส่วนด้วยกัน เช่น FDS 5.2.12 หมายความว่า แบบจำลองนี้เป็นเวอร์ชัน 5 เป็นการเผยแพร่อย่างเป็นทางการครั้งที่ 5 ส่วนเลข 2 หมายถึงมีการอัพเกรดครั้งสำคัญแต่ยังคงอยู่ภายในโครงร่าง (Framework) ของแบบจำลอง FDS เวอร์ชัน 5 อยู่ และเลข 12 หมายถึงการอัพเกรดจากเวอร์ชัน 5.2 เล็กน้อยเป็นครั้งที่ 12 ซึ่งโดยส่วนใหญ่แล้วจะเป็นการซ่อมแซมแก้ไข Bug และข้อเรียกร้องเล็กๆ น้อยๆ จากผู้ใช้งาน

ผู้พัฒนาแบบจำลอง (FDS)

ในปัจจุบัน แบบจำลอง FDS อยู่ภายใต้การดูแลของหน่วยงาน Building and Fire Research Laboratory (BFRL) แห่งสถาบัน NIST

วัตถุประสงค์การใช้งาน

ตลอดช่วงระยะเวลาการพัฒนาแบบจำลอง FDS ขึ้นมานั้น แบบจำลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ในการแก้ไขปัญหาด้านไฟไหม้เชิงปฏิบัติในวงการวิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย พร้อมกันนี้ยังทำหน้าที่เป็นเครื่องมืออย่างหนึ่งในการศึกษาถึงกลศาสตร์และการเผาไหม้ของไฟขั้นพื้นฐานด้วย ทั้งนี้ แบบจำลอง FDS สามารถใช้ในการศึกษาปรากฏการณ์ได้ดังต่อไปนี้

- การเคลื่อนที่ด้วยความเร็วต่ำของความร้อนและผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเผาไหม้ของไฟ

- การถ่ายเทความร้อนแบบแผ่รังสีและแบบการพาระหว่างพื้นผิวของก๊าซและพื้นผิวของของแข็ง

- การย่อยสลายด้วยความร้อน (Pyrolysis)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

- การลุกลามของเปลวไฟและการขยายตัวของไฟ

- การทำงานของระบบน้ำดับเพลิงอัตโนมัติ อุปกรณ์ตรวจจับความร้อน และอุปกรณ์ตรวจจับควัน

- ละอองน้ำของระบบน้ำดับเพลิงอัตโนมัติ และการดับเพลิงด้วยน้ำ

ทั้งนี้ แม้ว่าแบบจำลอง FDS จะได้รับการออกแบบขึ้นมาเป็นพิเศษสำหรับการสร้างสถานการณ์จำลองเหตุไฟไหม้ก็ตาม แต่ก็สามารถนำไปใช้กับสถานการณ์จำลองที่มีการไหลของของไหลความเร็วต่ำสถานการณ์อื่นๆ ได้ซึ่งไม่จำเป็นต้องมีไฟหรือผลกระทบของความร้อนใดๆ เกิดขึ้นก็ได้ ในปัจจุบัน กว่าครึ่งหนึ่งของการนำแบบจำลองนี้ไปใช้ประโยชน์นั้นจะเป็นเรื่องของการออกแบบระบบควบคุมควันและเพื่อการศึกษาเกี่ยวกับการทำงานของระบบน้ำดับเพลิงอัตโนมัติ และอุปกรณ์ตรวจจับแทบทั้งสิ้น ส่วนอีกครึ่งหนึ่งที่เหลือนั้นจะเป็นการนำแบบจำลองไปใช้เพื่อการสร้างระบบป้องกันไฟในที่อยู่อาศัยและในโรงงานอุตสาหกรรม

ตัวแปรป้อนเข้า (Input Parameters)

ตัวแปรป้อนเข้าทั้งหมดที่แบบจำลอง FDS จำเป็นต้องใช้เพื่อการอธิบายถึงสถานการณ์จำลองหนึ่งๆ นั้นจะมาจากไฟล์ข้อความ (Text File) หนึ่งไฟล์ที่ผู้ใช้เป็นผู้สร้างขึ้น ในไฟล์นี้จะประกอบด้วยข้อมูลต่างๆ เกี่ยวกับ Grid เชิงตัวเลข (Numerical Grid) สภาพแวดล้อมโดยรอบ ลักษณะรูปทรงทางเรขาคณิตของอาคาร คุณสมบัติของวัตถุ จลนศาสตร์ของการเผาไหม้ และปริมาณผลลัพธ์ (Output) ที่ต้องการ สำหรับ Grid เชิงตัวเลข (Numerical Grid) นั้นจะประกอบด้วยตาข่ายเส้นตรง (Rectilinear Mesh) ตั้งแต่ 1 ชุดขึ้นไปโดยที่ (โดยทั่วไป) จะมี Cell ที่เหมือนกัน และคุณสมบัติทางเรขาคณิตทั้งหมดของสถานการณ์จำลองจะต้องสอดคล้องตาม Grid เชิงตัวเลข (Numerical Grid) ดังกล่าวนี้ วัตถุใดๆ ที่มีขนาดเล็กมากกว่า Cell ใน Grid แต่ละเซลล์นั้นจะถูกประมาณการถือว่าเป็น Cell หนึ่งๆ หรือไม่นำมาพิจารณา สำหรับลักษณะรูปทรงทางเรขาคณิตของอาคารนั้นจะพิจารณาในลักษณะที่เป็นกล่อง (Block) ที่มีรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า นอกจากนี้จะมีการนำเงื่อนไขขอบเขต (Boundary Conditions) มาใช้กับพื้นผิวของแข็งโดยที่จะเป็นแพตช์สี่เหลี่ยม (Rectangular Patch) สำหรับคุณสมบัติของวัตถุนั้นจะพิจารณาจากคุณสมบัติในการนำความร้อน ความร้อนจำเพาะ ความหนาแน่น ความหนา และคุณลักษณะในการเผาไหม้ ทั้งนี้การได้มา

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ซึ่งข้อมูลเหล่านี้นั้นสามารถกระทำได้หลายวิธีการด้วยกันขึ้นอยู่กับระดับของรายละเอียดของข้อมูลที่ต้องการเป็นสำคัญ

การสร้างสถานการณ์จำลองเหตุไฟไหม้จริงใดๆ ขึ้นมานั้นจะต้องมีการระบุถึงคุณสมบัติของวัสดุต่างๆ ของผนัง พื้น เพดาน และอุปกรณ์ตกแต่งต่างๆ โดยแบบจำลอง FDS นั้นจะถือว่าวัตถุต่างๆ เหล่านี้ทั้งหมดเป็นของแข็งที่มีหลายชั้น ด้วยเหตุนี้ จึงสามารถพิจารณาค่าตัวแปรทางกายภาพ (Physical Parameters) สำหรับวัตถุจริงหลายชนิดได้ในลักษณะของค่าประมาณการของคุณสมบัติจริงเท่านั้น การระบุรายละเอียดของวัตถุเหล่านี้ในไฟล์ข้อมูลป้อนเข้าจึงนับว่าเป็นสิ่งที่มีความท้าทายอย่างยิ่งสำหรับผู้ใช้งานแบบจำลอง คุณสมบัติทางความร้อน เช่น ค่าการนำความร้อน ความร้อนจำเพาะ ความหนาแน่น และความหนานั้น สามารถหาได้จากหนังสือคู่มือทั่วไป หรือในเอกสารของผู้ผลิตหรือจากค่าที่วัดได้ในห้องปฏิบัติการ สำหรับคุณลักษณะการเผาไหม้ของวัตถุที่มีค่าการถ่ายเทความร้อน (Heat Flux) ค่าต่างๆ นั้นเป็นสิ่งที่อธิบายได้ยาก และคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องก็เป็นข้อมูลที่สามารถได้มาอย่างยากลำบากอีกด้วย ทั้งนี้ แม้ว่าหนังสือเอกสารทั้งหมดจะได้กล่าวถึงเรื่องเหล่านี้ไว้ก็ตาม แต่ก็ยังคงเป็นการยากที่จะสามารถค้นหาข้อมูลที่อธิบายถึงในเรื่องใดเรื่องหนึ่งได้อย่างละเอียด

ส่วนประกอบสำคัญหนึ่งของไฟล์ข้อมูลนำเข้าของแบบจำลอง FDS นั้นคือการนำรหัส (Code) ใส่เข้าไปในค่าผลลัพธ์ (Output) ต่างๆ ด้วยวิธีการที่หลากหลาย และก็เป็นเช่นเดียวกับการทดลองจริงทั่วไป ผู้ใช้จะต้องทำการตัดสินใจก่อนที่การคำนวณจะเริ่มต้นขึ้นว่าต้องการจะจัดเก็บหรือบันทึกข้อมูลใดบ้าง และผู้ใช้จะไม่สามารถทำการเรียกคืนข้อมูลใดๆ ได้หลังจากที่การคำนวณสิ้นสุดลงถ้าหากว่ามิได้มีการขอเรียกคืนข้อมูลตั้งแต่เริ่มต้นกระบวนการ

ทั้งนี้ ข้อมูลรายละเอียดของตัวแปรป้อนเข้า (Input Parameters) ที่แบบจำลอง FDS ต้องใช้นั้นหาดูได้จากคู่มือผู้ใช้ FDS

ค่าผลลัพธ์ (Output Quantities)

แบบจำลอง FDS จะทำการคำนวณอุณหภูมิ ความหนาแน่น ความดัน ความเร็ว และองค์ประกอบทางเคมีภายใน Grid Cell เชิงตัวเลขแต่ละ Cell ในแต่ละช่วงเวลา (Time Step) ที่ไม่ต่อเนื่องกัน ซึ่งโดยปกติแล้ว Grid Cell จะมีจำนวนมากมายมหาศาลอย่างมากและก็จะมีช่วงเวลา

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

(Time Step) ที่มากมายหลายช่วงเช่นเดียวกัน นอกจากนี้ แบบจำลอง FDS ยังมีการคำนวณอุณหภูมิ, ค่าการถ่ายเทความร้อน (Heat Flux), อัตราการสูญเสียมวล และค่าอื่นๆ อีกมากมาย ณ ตำแหน่งพื้นผิวของแข็งอีกด้วย ผู้ใช้จะต้องทำการเลือกอย่างระมัดระวังว่าต้องการที่จะบันทึกข้อมูลใดบ้าง ซึ่งจะต้องใช้ความระมัดระวังเช่นเดียวกับการออกแบบการทดลองจริงนั่นเอง ทั้งนี้ แม้ว่าจะสามารถบันทึกข้อมูลที่คำนวณได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้นก็ตาม แต่โดยทั่วไปแล้ว ผลลัพธ์ที่ได้ (Output) ก็จะประกอบด้วยไฟล์ข้อมูลขนาดใหญ่พอสมควร อนึ่ง ค่าผลลัพธ์โดยทั่วไปสำหรับในสถานะก๊าซ (Gas Phase) ประกอบด้วย

- อุณหภูมิของก๊าซ

- ความเร็วของก๊าซ

- ความเข้มข้นของก๊าซประเภทต่างๆ (ไอระเหยน้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนออกไซด์ และไนโตรเจน)

- ความเข้มข้นของควันและค่าประมาณการความสามารถในการมองเห็น

- ความดัน

- อัตราการปล่อยความร้อนต่อหน่วยปริมาตร

- สัดส่วนการผสม (หรืออัตราส่วนระหว่างอากาศ/เชื้อเพลิง)

- ความหนาแน่นของก๊าซ

- มวลหยดน้ำต่อหน่วยปริมาตร

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ที่พื้นผิวของแข็งนั้น แบบจำลอง FDS จะทำนายค่าอื่นๆ เพิ่มเติมที่เกี่ยวข้องกับสมดุลพลังงาน (Energy Balance) ระหว่างสถานะก๊าซและสถานะของแข็ง ซึ่งประกอบด้วย

- อุณหภูมิที่พื้นผิวและอุณหภูมิภายใน
- ค่าการถ่ายเทความร้อน (Heat Flux) ทั้งแบบการแผ่รังสีและการพา
- อัตราการเผาไหม้
- มวลหยดน้ำต่อหน่วยพื้นที่

ส่วนค่าโดยรวมที่โปรแกรมนี้จะทำการบันทึก ได้แก่

- อัตราการปล่อยความร้อนรวม (Total Heat Release Rate: HRR)
- ระยะเวลาการทำงานของระบบน้ำดับเพลิงอัตโนมัติ และอุปกรณ์ตรวจจับ
- ค่าปริมาณของมวลและพลังงานที่ผ่านช่องเปิดหรือของแข็ง

ข้อมูลบันทึกเกี่ยวกับเวลาของค่าผลลัพธ์ต่างๆ ณ จุดหนึ่งๆ ในพื้นที่นั้นหรือค่าโดยรวม เช่น อัตราการปลดปล่อยความร้อนรวมของไฟ จะถูกบันทึกไว้ในไฟล์ข้อความอย่างง่ายและคั่นระหว่างค่าด้วยเครื่องหมาย Comma ซึ่งผู้ใช้สามารถทำการ Plot ข้อมูลลงไปได้โดยใช้โปรแกรม Spreadsheet อย่างไรก็ตาม ข้อมูลโดยรวมหรือข้อมูลเกี่ยวกับพื้นผิวส่วนใหญ่จะสามารถมองเห็นได้เป็นภาพโดยใช้โปรแกรมที่เรียกว่า Smokeview ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ได้รับการออกแบบมาเป็นพิเศษสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้มาจากแบบจำลอง FDS นี้ แบบจำลอง FDS และโปรแกรม Smokeview จะใช้ร่วมกันในการสร้างสถานการณ์จำลองและทำให้สามารถมองเห็นถึงสถานการณ์ไฟไหม้ออกเป็นภาพได้ โดยโปรแกรม Smokeview จะทำการแสดงการไหลของ Tracer Particle แบบเคลื่อนไหว ภาพตัดของตัวแปรก๊าซที่ผ่านการคำนวณแบบเคลื่อนไหว และข้อมูลพื้นผิวแบบเคลื่อนไหว นอกจากนี้ โปรแกรม Smokeview นี้ยังได้มีการแสดงให้เห็นถึงความสูงต่ำ (Contour) และจุดเวกเตอร์ (Vector Plot) ของข้อมูลสถิติ ณ ที่ใดๆ ภายในฉากหนึ่งๆ ในช่วงเวลาที่กำหนดไว้ใดๆ อีกด้วย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สมการควบคุม (Governing Equations) สมมติฐาน และตัวเลข

รายละเอียดอย่างย่อของส่วนประกอบหลักของแบบจำลอง FDS เป็นดังนี้

แบบจำลองการเคลื่อนที่ของของไหล (Hydrodynamic Model)

แบบจำลอง FDS นี้จะทำการแก้ไขสมการ Navier-Stokes ในเชิงตัวเลขที่เกี่ยวข้องกับการไหล (Flow) ความเร็วต่ำที่ขับเคลื่อนด้วยความร้อนโดยที่เน้นไปที่การเคลื่อนที่ของควันและความร้อนจากไฟ Algorithm หลักจะอยู่ในรูปแบบ Predictor-Corrector อย่างชัดเจนซึ่งจะมีความแม่นยำเป็นลำดับที่สองในด้านพื้นที่ (Space) และเวลา (Time) สำหรับ Turbulence จะพิจารณาโดยใช้รูปแบบ Smagorinsky ของ Large Eddy Simulation (LES) ทั้งนี้ แบบจำลองนี้จะสามารถทำการสร้างสถานการณ์จำลองแบบ Direct Numeric Simulation (DNS) ได้ถ้าหากว่า Numerical Grid ที่ใช้มีความสมบูรณ์เพียงพอ ทั้งนี้ Large Eddy Simulation (LES) นี้จะเป็นโหมดการทำงานค่าแรกที่กำหนดไว้ (Default Mode)

แบบจำลองการเผาไหม้ (Combustion Model)

สำหรับการนำไปใช้ประโยชน์ส่วนใหญ่นั้น แบบจำลอง FDS นี้จะนำแบบจำลองการเผาไหม้มาใช้โดยอยู่บนพื้นฐานของแนวคิดสัดส่วนการผสม สัดส่วนการผสมนี้ คือ ค่าสเกลาร์ (Conserved Scalar Quantity) ซึ่งจะกำหนดไว้เป็นสัดส่วนของก๊าซ ณ จุดหนึ่งๆ ในขอบเขตการไหลที่เริ่มต้นขึ้นในลักษณะที่เป็นเชื้อเพลิง FDS เวอร์ชัน 5 นี้จะไม่เหมือนกับเวอร์ชันก่อนหน้านี้ กล่าวคือ การทำปฏิกิริยาของเชื้อเพลิงและออกซิเจนนั้นไม่จำเป็นต้องเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและสมบูรณ์แต่อย่างใด และยังมีรูปแบบทางเลือกอีกหลายรูปแบบที่ได้รับการออกแบบขึ้นมาเพื่อทำนายขอบเขตปริมาณการเผาไหม้ในพื้นที่ต่างๆ ที่มิได้มีการระบาย (Under-ventilated Spaces) อีกด้วย สัดส่วนมวลของตัวทำปฏิกิริยา (Reactants) และผลิตภัณฑ์หลักทั้งหมดนั้นสามารถหาได้จากสัดส่วนการผสมโดยใช้ “State Relations” ซึ่งเป็นการกล่าวถึงรายละเอียดโดยการนำผลการวิเคราะห์และการวัดผลอย่างง่ายมาประกอบ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การถ่ายเทแบบแผ่รังสีความร้อน (Radiation Transport)

ในแบบจำลอง FDS นี้จะมีการถ่ายเทความร้อนแบบแผ่รังสีโดยการแก้สมการการถ่ายเทความร้อนแบบแผ่รังสีสำหรับก๊าซเทา (Gray Gas) โดยในไม่กี่กรณีนั้น สามารถนำแบบจำลองแถบกว้าง (Wide Band Model) มาใช้แทนแบบจำลองก๊าซเทา (Gray Gas Model) ได้เพื่อให้มีความแม่นยำในการแยกเงาสีของวัตถุ (Spectral Accuracy) ที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น การแก้สมการการแผ่รังสีความร้อนนั้นจะใช้วิธีการที่เหมือนกันกับวิธีเชิงปริมาตรจำกัด (Finite Volume Method: FVM) ซึ่งตัวแก้ (Solver) ปริมาตรจำกัดนี้ จะใช้มุมที่ไม่ต่อเนื่องกันประมาณ 100 มุมและจะต้องใช้ระยะเวลาประมาณ 20% ของระยะเวลา CPU ทั้งหมดของการคำนวณในครั้งหนึ่งๆ ซึ่งจะทำให้มีการสูญเสียไม่มากนักจากการที่การถ่ายเทความร้อนแบบแผ่รังสีมีความซับซ้อน หยดน้ำ (Water Droplet) สามารถดูดซึมและไล่รังสีความร้อนที่แผ่มาได้ เรื่องนี้เป็นเรื่องสำคัญอย่างหนึ่งในสถานการณ์ต่างๆ ที่จะต้องมีการใช้ Mist Sprinkler และรวมทั้งยังเป็นเรื่องสำคัญสำหรับสถานการณ์ต่างๆ ที่จะต้องมีการใช้ Sprinkler เช่นกัน ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซึมและการไล่รังสีความร้อนนี้จะเป็นไปตามทฤษฎีของ Mie ทั้งนี้การไล่รังสีความร้อนออกจากก๊าซต่างๆ และเขม่านั้นมิได้อยู่ในแบบจำลอง FDS นี้

เรขาคณิต (Geometry)

แบบจำลอง FDS นี้จะทำการประมาณการสมการควบคุม (Governing Equations) บน Grid เส้นตรงตั้งแต่ 1 Grid ขึ้นไป ผู้ใช้จะต้องทำการกำหนดสิ่งกีดขวางที่มีรูปทรงสี่เหลี่ยมซึ่งจะต้องสอดคล้องกับ Grid นั้นๆ

เงื่อนไขขอบเขต (Boundary Conditions)

พื้นผิวแข็งทั้งหมดจะเป็นเงื่อนไขขอบเขตทางความร้อนที่กำหนดขึ้นมา รวมทั้งจะมีข้อมูลเกี่ยวกับคุณลักษณะการเผาไหม้ของวัตถุด้วย โดยทั่วไป การพิจารณาการถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลไปสู่และออกจากพื้นผิวแข็งนั้นจะใช้ค่าสหสัมพันธ์ (Empirical Correlations) แม้ว่าจะสามารถทำการคำนวณการถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลได้โดยตรงเมื่อทำการสร้างสถานการณ์จำลองแบบ Direct Numerical Simulation (DNS) ก็ตาม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ระบบฉีดน้ำอัตโนมัติและอุปกรณ์ตรวจจับ (Sprinklers and Detectors)

แบบจำลองนี้จะมีการพิจารณาในส่วนของการทำงานของอุปกรณ์ฉีดน้ำอัตโนมัติและอุปกรณ์ตรวจจับความร้อนและควันโดยใช้ความสัมพันธ์อย่างง่ายของแรงเฉื่อยของความร้อน (Thermal Inertia) สำหรับอุปกรณ์ฉีดน้ำอัตโนมัติและอุปกรณ์ตรวจจับควัน และใช้ความช้าในการเคลื่อนที่ (Transport Lag) สำหรับอุปกรณ์ตรวจจับความร้อน ในส่วนของละอองน้ำของอุปกรณ์ฉีดน้ำอัตโนมัตินั้นจะพิจารณาโดยใช้ Particle ของ Lagrangian ซึ่งเป็นตัวแทนของกลุ่มตัวอย่างหยดน้ำที่ถูกพ่นออกมาจากอุปกรณ์ฉีดน้ำอัตโนมัติ

ข้อจำกัดของโปรแกรม FDS

แม้ว่าแบบจำลอง FDS นี้จะสามารถใช้กับสถานการณ์จำลองเหตุไฟไหม้ส่วนใหญ่ได้ก็ตาม แต่ก็ยังมีข้อจำกัดต่างๆ ใน Algorithm ทั้งหมดของแบบจำลองนี้ ซึ่งในเนื้อหาส่วนนี้จะแสดงรายละเอียดของข้อจำกัดที่ชัดเจนต่างๆ ของแบบจำลองนี้ไว้ ทั้งนี้ รายละเอียดเฉพาะเพิ่มเติมของข้อจำกัดต่างๆ ได้กล่าวไว้ในส่วนของสมการควบคุม (Governing Equations) ที่จะกล่าวถึงต่อไป

สมมติฐานการไหลความเร็วต่ำ (Low Speed Flow Assumption)

การใช้แบบจำลอง FDS นั้นจะมีข้อจำกัดการใช้อยู่ที่การไหลแบบความเร็วต่ำโดยที่เน้นไปที่การเคลื่อนที่ของควันและความร้อนจากไฟ สมมติฐานเช่นนี้จึงเป็นการตัดโอกาสมิให้สามารถนำแบบจำลองนี้ไปใช้ในสถานการณ์จำลองใดๆ ที่มีความเร็วในการไหลใกล้กับความเร็วเสียงได้ เช่น สถานการณ์การระเบิด (Explosion และ Detonation) และการไหลโช๊ค (Choke Flow) ที่ Nozzle

เรขาคณิตเส้นตรง (Rectilinear Geometry)

ประสิทธิภาพของแบบจำลอง FDS นี้จะขึ้นอยู่กับความเรียบง่ายของ Numerical Grid ของแบบจำลองและการใช้ Solver ที่รวดเร็วและตรงสำหรับสนามความดัน (Pressure Field) สมมติฐานประการนี้เป็นข้อจำกัดประการหนึ่งในบางสถานการณ์เมื่อคุณสมบัติทางเรขาคณิตบางประการไม่สอดคล้องกับ Grid สี่เหลี่ยม (Rectangular Grid) แม้ว่าส่วนประกอบของอาคารส่วนใหญ่จะมีความสอดคล้องกับ Grid สี่เหลี่ยมก็ตาม ในแบบจำลอง FDS นี้จะมีวิธีการต่างๆ สำหรับการลด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลกระทบที่เกิดขึ้นจากสิ่งกีดขวาง "ฟันเลื่อย" (Sawtooth) ที่ใช้เป็นตัวแทนของวัตถุที่ไม่มีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยม แต่วิธีการเหล่านี้อาจจะไม่สามารถทำให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีได้ เช่น ถ้าหากว่าวัตถุประสงค์ของการคำนวณคือการศึกษาถึงผลกระทบของชั้นขอบเขต (Boundary Layer Effects) เป็นต้น สำหรับการสร้างสถานการณ์จำลองขนาดใหญ่ที่มีความสมจริงในทางปฏิบัติมากที่สุดนั้น ค่าความละเอียด (Resolution) ของ Grid ที่เพิ่มมากขึ้นที่เกิดขึ้นจาก Solver ความดันรวดเร็วทำให้ได้มาซึ่งค่าประมาณการของขอบเขตเส้นโค้ง (Curved Boundary) จาก Grid Cell สี่เหลี่ยมขนาดเล็ก

การขยายตัวและการลุกลามของไฟ (Fire Growth and Spread)

จากการที่เริ่มแรกแบบจำลอง FDS นี้ได้รับการออกแบบมาเพื่อการวิเคราะห์ไฟไหม้ในระดับโรงงานอุตสาหกรรมเป็นหลัก แบบจำลองนี้จึงสามารถนำไปใช้ได้อย่างน่าไว้วางใจเมื่อได้มีการระบุอัตราการปลดปล่อยความร้อน (HRR) ของไฟไว้และมีเรื่องของการถ่ายเทของความร้อนและผลิตภัณฑ์ที่เป็นไปเสีย (Exhaust Products) เป็นเป้าหมายหลักในการสร้างสถานการณ์จำลองขึ้นมาพิจารณา ในกรณีเหล่านี้ แบบจำลองจะทำการทำนายความเร็วของการไหลและอุณหภูมิโดยที่จะมีความถูกต้องแม่นยำที่มีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 10-20% ของค่าที่วัดได้จากการทดลองซึ่งจะขึ้นอยู่กับค่าความละเอียด (Resolution) ของ Numerical Grid เป็นสำคัญ อย่างไรก็ตาม สำหรับสถานการณ์เหตุไฟไหม้ที่มีการ "ทำนาย" อัตราการปลดปล่อยความร้อน มิใช่ "ระบุ" ความไม่แน่นอนของแบบจำลองก็จะมีเพิ่มมากขึ้น ซึ่งเกิดขึ้นจากหลายสาเหตุด้วยกัน ได้แก่ (1) โดยทั่วไปจะไม่ทราบถึงคุณสมบัติของวัตถุจริงและเชื้อเพลิงจริงหรือยากที่จะหาข้อมูลคุณสมบัติดังกล่าวได้ (2) กระบวนการทางกายภาพของการเผาไหม้ การแผ่รังสีความร้อง และการถ่ายเทความร้อนในสถานะของแข็งจะมีความซับซ้อนที่มากกว่าค่าแทนทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Representations) ที่ใช้ในแบบจำลอง FDS และ (3) ผลลัพธ์จากการคำนวณนั้นมีความอ่อนไหวทั้งต่อค่าตัวแปรที่เป็นตัวเลข (Numerical Parameters) และค่าตัวแปรทางกายภาพ (Physical Parameters) ทั้งนี้ ในงานศึกษาปัจจุบันนี้มีเป้าหมายเพื่อการพัฒนาปรับปรุงสถานการณ์ดังกล่าวนี้ แต่ถ้าจะกล่าวให้ถูกต้องมากขึ้น ก็คือ การใช้แบบจำลองเพื่อพิจารณาการขยายตัวและการลุกลามของไฟนั้นมีความจำเป็นที่ผู้ใช้จะต้องมีทักษะและมีวิจารณญาณที่สูงมากกว่าการใช้แบบจำลองในการพิจารณาเรื่องของการเคลื่อนที่ของความร้อนและควันจากไฟที่มีการระบุไว้ชัดเจนแล้ว

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การเผาไหม้ (Combustion)

สำหรับการนำไปใช้ประโยชน์ส่วนใหญ่นั้น แบบจำลอง FDS นี้จะใช้แบบจำลองการเผาไหม้โดยพิจารณาจากสัดส่วนการผสม สัดส่วนการผสมนี้ คือ ค่าสเกลาร์ (Conserved Scalar Quantity) ซึ่งจะกำหนดไว้เป็นสัดส่วนของก๊าซ ณ จุดหนึ่งๆ ในขอบเขตการไหลที่เริ่มต้นขึ้นในลักษณะที่เป็นเชื้อเพลิง ในแบบจำลองนี้จะถือว่าการเผาไหม้จะมีการควบคุมการผสม และถือว่าการทำปฏิกิริยาของเชื้อเพลิงและออกซิเจนนั้นเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วมากโดยที่จะไม่มีการคำนึงถึงอุณหภูมิแต่อย่างใด สำหรับสถานการณ์ไฟไหม้ขนาดใหญ่และมีการระบายอากาศที่ดีนั้นสมมติฐานดังกล่าวนี้จะเป็นสมมติฐานที่ดีหนึ่ง อย่างไรก็ตาม ในกรณีที่ไฟเกิดขึ้นอยู่ในห้องที่ไม่มีการระบายอากาศที่ดี (Under-ventilated Compartment) หรือในกรณีที่มีการนำสารระงับไฟ เช่น หมอกน้ำ หรือ คาร์บอนไดออกไซด์ มาใช้ เชื้อเพลิงและออกซิเจนก็จะสามารถเกิดการผสมกันและไม่เกิดการเผาไหม้ขึ้นซึ่งเป็นไปตามหลักเกณฑ์ที่ได้จากการสังเกตการณ์ (Empirically-based Criteria) กลไกทางกายภาพของปรากฏการณ์เหล่านี้นั้นมีความซับซ้อน และมักจะมีความเกี่ยวข้องใกล้ชิดอย่างมากกับอุณหภูมิของเปลวไฟและอัตราการเปลี่ยนแปลงของความเครียด (Local Strain Rate) ซึ่งทั้งสองตัวแปรนี้ (อุณหภูมิของเปลวไฟและอัตราการเปลี่ยนแปลงของความเครียด) จะไม่ปรากฏอย่างชัดเจนในการสร้างสถานการณ์จำลองเหตุไฟไหม้ขนาดใหญ่ สำหรับการพิจารณาถึงการระงับและดับไฟในสถานะก๊าซ (Gas Phase) ในระดับ Grid ย่อย (Subgrid-scale) นั้น ยังคงเป็นอีกเรื่องหนึ่งที่จะต้องมีการศึกษาวิจัยอย่างจริงจังในวงการนักวิจัยที่ต้องการศึกษาเกี่ยวกับการเผาไหม้ อนึ่ง ตราบใดที่ยังไม่สามารถพัฒนาแบบจำลองที่มีความน่าเชื่อถือขึ้นมาใช้สำหรับการสร้างสถานการณ์จำลองเหตุไฟไหม้ในระดับอาคารได้นั้น ก็สามารถนำกฎที่ได้จากการสังเกต (Empirical Rules) อย่างง่ายมาใช้เพื่อป้องกันมิให้เกิดการเผาไหม้เกิดขึ้นได้เมื่อบรรยากาศที่อยู่ติดกับไฟที่เกิดขึ้นนั้นไม่สามารถทำให้เกิดการเผาไหม้ได้อย่างต่อเนื่องเรื่อยไป

การแผ่รังสีความร้อน (Radiation)

ในแบบจำลอง FDS นี้จะมีการพิจารณาในส่วนของการถ่ายเทความร้อนแบบการแผ่รังสีด้วยโดยใช้การแก้สมการการเคลื่อนที่ของความร้อนแบบแผ่รังสี (Radiation Transport Equations: RTE) สำหรับก๊าซเทา (Gray Gas) และในบางกรณี จะมีการนำแบบจำลองแถบกว้าง (Wide Band Model) มาใช้ได้ สมการการเคลื่อนที่ของความร้อนแบบแผ่รังสี (Radiation Transport Equations: RTE) นี้จะแก้โดยใช้วิธีการที่เหมือนกันกับวิธีเชิงปริมาตรจำกัด (Finite Volume Method) ที่ใช้กับ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การถ่ายเทความร้อนแบบการพา ดังนั้น ชื่อเรียกวิธีการดังกล่าวนี้จึงได้แก่ "วิธีเชิงปริมาตรจำกัด" (Finite Volume Method: FVM) อนึ่ง แบบจำลองนี้จะมีข้อจำกัดอยู่หลายประการด้วยกัน ได้แก่ ประการแรก ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับสำหรับก๊าซที่เต็มไปด้วยควันนั้นจะมีการแปรผันตามกับองค์ประกอบ (Composition) และอุณหภูมิของก๊าซนั้นอย่างซับซ้อน และจากการที่แบบจำลองนี้เป็นแบบจำลองการเผาไหม้อย่างง่ายนั้น องค์ประกอบทางเคมีของก๊าซที่เต็มไปด้วยควันดังกล่าว โดยเฉพาะในส่วนของเขม่านั้น ก็สามารถส่งผลกระทบต่อทั้งการดูดซับ (Absorption) และการแพร่ (Emission) ของรังสีความร้อนได้ ประการที่สอง การเคลื่อนที่ของความร้อนแบบแผ่รังสีนั้นจะไม่ต่อเนื่องกันโดยจะมีมุมของแข็งอยู่ประมาณ 100 มุมแม้ว่าผู้ใช้อาจเลือกที่จะใช้จำนวนมุมที่มากกว่านี้ก็ตาม สำหรับวัตถุเป้าหมาย (Targets) ที่อยู่ห่างจากแหล่งกำเนิดการแผ่รังสีความร้อนในบริเวณนั้น เช่น ไฟที่กำลังขยายตัว ความไม่ต่อเนื่องของการเคลื่อนที่ของความร้อนแบบแผ่รังสีดังกล่าวก็สามารถทำให้พลังงานที่แผ่รังสีออกมามีรูปแบบการกระจายตัวที่ไม่เหมือนกันได้ ความผิดพลาด (Error) นี้เรียกว่า "Ray Effect" และสามารถเห็นได้ในโปรแกรมการสร้างภาพอุณหภูมิพื้นผิว ซึ่ง "จุดร้อน" (Hot Spots) จะแสดงให้เห็นถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการที่มีจำนวนมุมของแข็งในจำนวนที่จำกัด ด้วยเหตุนี้ ปัญหานี้จะสามารถบรรเทาลงได้โดยการกำหนดให้มีมุมของแข็งในจำนวนที่มากขึ้น แต่การที่มีมุมของแข็งเพิ่มมากขึ้นก็จะทำให้ระยะเวลาในการคำนวณยาวนานมากขึ้น โดยส่วนใหญ่แล้ว ค่า Radiative Flux ไปยังเป้าหมายที่อยู่ไกลนั้นจะไม่มีความสำคัญมากเท่ากับค่า Radiative Flux ที่เคลื่อนที่ไปยังเป้าหมายที่อยู่ใกล้ ซึ่งเป้าหมายที่อยู่ใกล้ เช่นนี้จะสามารถครอบคลุมด้วยจำนวนมุมของแข็งตามที่กำหนดไว้เดิม (โดยไม่ต้องเพิ่ม) ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่า

สมการควบคุม (Governing Equations) และวิธีการแก้สมการ (Solution Procedure) ในโปรแกรม FDS

ต่อไปนี้จะกล่าวถึงสมการควบคุม (Governing Equations) ของแบบจำลอง FDS และรายละเอียดโดยสรุปของวิธีการแก้สมการทั่วไป (General Solution Procedure)

สมการควบคุม (Governing Equations) นี้จะแสดงไว้ในรูปของสมการเชิงอนุพันธ์ย่อย (Partial Differential Equations) โดยจะมีการระบุถึงวิธีการทำให้สมการง่ายขึ้น (Simplification) และค่าประมาณการ (Approximation) ที่เกี่ยวข้องไว้ ทั้งนี้ โดยปกติแล้ว วิธีการเชิงจำนวนนั้นจะประกอบด้วยการประมาณค่าผลต่างจำกัด (Finite Difference Approximation) ของสมการควบคุม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

(Governing Equations) และระเบียบขั้นตอน (Procedure) ในการปรับปรุง (Update) สมการเหล่านี้ให้เหมาะสม

สมการควบคุม (Governing Equations)

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงสมการเชิงอนุรักษ์พื้นฐานของมวล โมเมนตัม และพลังงานของของไหลแบบนิวตัน (Newtonian Fluid) สมการเหล่านี้คือสมการเดียวกับที่พบในเอกสารอื่นๆ ที่กล่าวถึงกลศาสตร์ของไหล หรือ CFD สำหรับข้อมูลอ้างอิงในรายละเอียดของแต่ละสมการ เครื่องหมายและค่าประมาณการต่างๆ ที่ใช้นั้นนำมาจากงานศึกษาของ Anderson และคณะ ทั้งนี้สมการเหล่านี้คือชุดสมการเชิงอนุพันธ์ย่อย (Partial Differential Equations) ที่ประกอบด้วย 6 สมการ โดยมีค่าที่ไม่ทราบทั้งสิ้น 6 ค่า และฟังก์ชั่นของมิติด้านพื้นที่ (Spatial Dimension) และเวลาทั้งหมดมีดังนี้: ความหนาแน่น ρ, สามส่วนประกอบของความเร็ว $\mathbf{u} = [u, v, w]^T$, อุณหภูมิ T และความดัน p

การเคลื่อนที่ของมวลและสารต่างๆ (Species)

การอนุรักษ์มวลสามารถแสดงออกในรูปของค่าความหนาแน่น ρ ได้ดังนี้

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = \nabla \cdot \rho\,\mathbf{u} = \dot{m}_b''' \qquad (30)$$

หรือในรูปของก๊าซต่างๆ แต่ละชนิด ดังนี้ Y_α :

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho Y_\alpha) + \nabla \cdot \rho Y_\alpha \mathbf{u} = \nabla \cdot \rho D_\alpha \nabla Y_\alpha + \dot{m}_\alpha''' + \dot{m}_{b,\alpha}''' \qquad (31)$$

โดยที่ $\dot{m}_b''' = \sum_\alpha \dot{m}_{b,\alpha}'''$ หมายถึง อัตราการเกิดขึ้นของสารต่างๆ (Species) จากหยดน้ำขนาดเล็กที่ระเหย (Evaporating Droplet) หรืออนุภาค (Particle) เมื่อนำสมการเหล่านี้ของสารต่างๆ (Species) ทั้งหมดมารวมกันก็จะได้สมการการอนุรักษ์มวลดั้งเดิมเนื่องจาก $\sum Y_\alpha = 1$ และ $\sum \dot{m}_\alpha''' = 0$ และ $\sum \dot{m}_{b,\alpha}''' = \dot{m}_b'''$ (โดยคำจำกัดความ) และเนื่องจากได้มีการกำหนดว่า $\sum \rho D_\alpha \nabla Y_\alpha = 0$ ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว สมการสุดท้ายนี้จะไม่เป็นจริง อย่างไรก็ตาม สมการเกี่ยวกับ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การเคลื่อนที่นั้นจะแก้สำหรับมวลทั้งหมดและสารต่างๆ (Species) แต่ละชนิดซึ่งในที่นี้หมายความว่าได้มีการเลือกหรือกำหนดค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ (Diffusion Coefficient) ของสาร (Species) ที่ปรากฏอยู่ไว้แล้วเพื่อที่ว่าผลรวมของ Diffusive Flux จะได้มีค่าเท่ากับศูนย์

การเคลื่อนที่ของโมเมนตัม

สมการโมเมนตัมในรูปของสมการอนุรักษ์สามารถเขียนได้ดังนี้

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\,\mathbf{u}) + \nabla\cdot\rho\,\mathbf{uu} + \nabla\rho = \rho g + \mathbf{f}_b + \nabla\cdot\tau_{ij} \tag{32}$$

โดยค่า **uu** คือ Diatic Tensor สำหรับการใช้เครื่องหมายในระบบ Matrix นั้น $\mathbf{u} = [u, v, w]^T$ Diatic นี้จะเป็นค่า Tensor ที่ได้จากการคูณ Vector $\mathbf{u}$ กับ Vector $\mathbf{u}^T$ ดังนั้น ค่า $\nabla\cdot\rho\mathbf{uu}$ จึงเป็น Vector หนึ่งที่เกิดขึ้นจากการนำ Vector Operator $\nabla = \left(\frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y}, \frac{\partial}{\partial z}\right)$ ใส่เข้าไปใน Tensor สำหรับค่าแรง $\mathbf{f}_b$ ในสมการโมเมนตัมหมายถึงแรงจากภายนอก เช่น แรงลาก (Drag) ที่เกิดจากหยดของของเหลวขนาดเล็ก ทั้งนี้ ค่า Stress Tensor หาได้จาก: τ_{ij} ซึ่งกำหนด ดังนี้

$$\tau_{ij} = \mu\left(2\mathbf{S}_{ij} - \frac{2}{3}\delta_{ij}\left(\nabla\cdot\mathbf{u}\right)\right)\ ;\ \delta_{ij} = \begin{cases}1 & i = j\\ 0 & i \neq j\end{cases}\ ;\ \mathbf{S}_{ij} = \frac{1}{2}\left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i}\right)\quad i, j = 1, 2, 3 \tag{33}$$

ค่า $\mathbf{S}_{ij}$ คือ Systematic Rate-of-strain Tensor ซึ่งเขียนขึ้นมาโดยใช้เครื่องหมาย Tensor แบบดั้งเดิม และสัญลักษณ์ μ คือ ค่าความหนืดพลวัต (Dynamic Viscosity)

สำหรับการคำนวณโดยรวมนั้นอาจสามารถดำเนินการในลักษณะที่เป็น Direct Numerical Simulation (DNS) ซึ่งค่าต่างๆ ที่เป็น Dissipative Terms นั้นจะถูกคำนวณโดยตรง หรือดำเนินการในลักษณะที่เป็น Large Eddy Simulation (LES) ซึ่งจะมีการคำนวณสิ่งที่ไหลวน ขนาดใหญ่โดยตรงและจะมีการพิจารณากระบวนการ Dissipative Processes ในระดับ Subgrid ด้วย นอกจากนี้จะมีการออกแบบ Numerical Algorithm ขึ้นมาเพื่อที่ว่าวิธีการ Large Eddy Simulation (LES) จะกลายเป็น Direct Numerical Simulation (DNS) ได้เมื่อมีการแก้ไข Grid ทั้งนี้ การใช้งาน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

(Applications) ส่วนใหญ่ของแบบจำลอง FDS นั้นจะเป็นแบบ Large Eddy Simulation (LES) เช่น ในการสร้างสถานการณ์จำลองการไหล (Flow) ของควันผ่านส่วนปิดล้อมขนาดใหญ่แบบหลายห้องนั้น เราจะไม่สามารถทำการแก้ไขกระบวนการการเผาไหม้ (Combustion) และกระบวนการการเคลื่อนที่ (Transport) ได้โดยตรง อย่างไรก็ตาม สำหรับการทดลองการเผาไหม้ที่มีขนาดเล็กน้อย จะสามารถทำการคำนวณกระบวนการการเผาไหม้ (Combustion) และกระบวนการการเคลื่อนที่ (Transport) ได้โดยตรง

ในการแสดงรายละเอียดวิธีการแก้สมการ (Solution Procedure) ด้านล่างนี้นั้น ให้พิจารณาที่สมการโมเมนตัมต่อไปนี้

$$\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + \mathbf{F} + \nabla \mathrm{H} = 0 \qquad (34)$$

$$\nabla^2 \mathrm{H} = -\frac{\partial}{\partial t}(\nabla \cdot \mathbf{u}) - \nabla \cdot \mathbf{F} \qquad (35)$$

การเคลื่อนที่ของพลังงาน

สมการการอนุรักษ์พลังงานจะเขียนออกมาในรูปของ Sensible Enthalpy h_s ดังนี้

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho h_s) + \nabla \cdot \rho h_s \mathbf{u} = \frac{\mathrm{D}p}{\mathrm{D}t} + \dot{q}''' - \dot{q}_b''' - \nabla \cdot \dot{\mathbf{q}}'' + \varepsilon \qquad (36)$$

โดย Sensible Enthalpy นี้จะแปรผันตามอุณหภูมิ

$$h_s = \sum_\alpha Y_\alpha h_{s,\alpha} \; ; \; h_{s,\alpha}(T) = \int_{T_0}^{T} c_{p,\alpha}(T')dT' \qquad (37)$$

ทั้งนี้ จะมีการใช้อนุพันธ์ Material Derivative $D(\;)/Dt = \partial(\;)/\partial t + \mathbf{u} \cdot \nabla(\;)$ ซึ่งค่า $\dot{q}'''$ หมายถึง อัตราการปลดปล่อยความร้อนต่อหน่วยปริมาตรจากการปฏิกิริยาทางเคมีหนึ่งๆ ค่า $\dot{q}_b'''$ คือ พลังงานที่ถ่ายเทไปยังหยดน้ำที่กำลังมีการระเหย (Evaporating Droplet) ส่วนค่า $\dot{\mathbf{q}}''$ จะหมายถึง Heat Flux ทั้งแบบนำความร้อนและแบบแผ่รังสีความร้อน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

$$\dot{\mathbf{q}}'' = -k\nabla T - \sum_{\alpha} h_{s,\alpha}\rho D_{\alpha}\nabla Y_{\alpha} + \dot{\mathbf{q}}_r'' \tag{38}$$

สมการสถานะ (Equation of State)

$$p = \frac{\rho RT}{\overline{W}} \tag{39}$$

ในแบบจำลองนี้จะมีการใช้สมการ Navier-Stokes ที่เหมาะสำหรับ Applications ที่มีหน่วยความเร็วมัค (Mach number) ที่ต่ำในรูปแบบค่าประมาณการ ซึ่งค่าประมาณการนี้จะเกี่ยวข้องกับเรื่องของการกรองคลื่นเสียง (Acoustic Wave) ในขณะเดียวกันก็จะยอมให้อุณหภูมิและความหนาแน่นสามารถมีการเปลี่ยนแปลงได้อย่างมาก ซึ่งทำให้สมการเหล่านี้มีลักษณะเป็นรูปไข่ (Elliptic Character) ซึ่งมีความสอดคล้องกับกระบวนการการพาความร้อนความเร็วต่ำ โดยในทางปฏิบัตินั้น หมายความว่าความดันแบบพื้นที่ หรือ Spatially Resolved Pressure $p(x,y,z)$ จะถูกแทนที่ด้วยความดันเฉลี่ย (Average Pressure) หรือความดันพื้นฐาน (Background Pressure) $\overline{p}_m(z,t)$ ซึ่งจะมีการแปรผันตามเวลาและความสูงที่เหนือพื้นเท่านั้น

$$\overline{p}_m(z,t) = \rho TR \sum_{\alpha} Y_{\alpha} / W_{\alpha} \tag{40}$$

การนำอนุพันธ์ Material Derivative ของความดันพื้นฐาน (Background Pressure) และการนำผลลัพธ์มาใช้ในสมการการอนุรักษ์พลังงานนั้นจะทำให้ได้มาซึ่งค่าแสดงความแตกต่างของความเร็ว (Velocity Divergence) แทนด้วย $\nabla\mathbf{u}$ ซึ่งเป็นค่าที่มีความสำคัญหนึ่งใน Numerical Algorithm เนื่องจากค่าดังกล่าวนี้จะกำจัดความจำเป็นในการแก้สมการการเคลื่อนที่ (Transport Equation) สำหรับ Specific Enthalpy ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้ Source Terms จากสมการการอนุรักษ์พลังงานนี้จะถูกนำรวมเข้าไว้ใน Divergence ดังกล่าวด้วยซึ่งจะปรากฏในสมการการเคลื่อนที่ของมวล (Mass Transport Equations) อนึ่ง อุณหภูมิจะหาได้จากความหนาแน่นและความดันพื้นฐาน (Background Pressure) โดยใช้สมการสถานะ (Equation of State) ในการหา

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิธีการแก้สมการ (Solution Procedure)

แบบจำลอง FDS จะใช้การประมาณค่าผลต่างจำกัด (Finite Difference Approximation) ที่มีความถูกต้องแม่นยำลำดับที่สอง (Second-order Accuracy) ในสมการควบคุม (Governing Equations) ที่อยู่ใน Recti-linear Mesh ที่เชื่อมต่อกัน สำหรับค่าตัวแปรการไหล (Flow Variables) นั้นจะมีการปรับปรุงอยู่เสมอโดยใช้แผนภูมิ Runge-Kutta Scheme ลำดับที่สอง ในเนื้อหาส่วนนี้จะอธิบายว่าจะใช้ Algorithm นี้ในการกำหนดค่าต่างๆ ล่วงหน้าอันได้แก่ ค่าความหนาแน่น สัดส่วนระหว่างสาร (Species) และมวล องค์ประกอบของความเร็ว (Velocity Components) และความดันพื้นฐาน (Background Pressure) และความดันรบกวน (Perturbation Pressure) ทั้งนี้ จะใช้เครื่องหมายเหล่านี้ $\rho^n, Y_\alpha^n, \mathbf{u}^n, \overline{p}_m^n$ และ H^n แทนค่าตัวแปรดังกล่าวในขั้นเวลา (Time Step) n

1. คำนวณค่าสนามความเร็ว "Patch-average" Velocity Field แทนด้วย $\overline{\mathbf{u}}^n$

2. ประมาณการค่า ρ, Y_α และ $\overline{p}_m$ ในขั้นเวลา (Time Step) ต่อไปโดยใช้ขั้นตอน Euler เช่น ความหนาแน่นสามารถคำนวณหาได้จาก

$$\frac{\rho^* - \rho^n}{\delta t} + \nabla \cdot \rho^n \overline{\mathbf{u}}^n = 0 \qquad (41)$$

3. แลกเปลี่ยนค่า ρ^* และ Y_α^* ที่ Mesh Boundaries

4. นำ Boundary Conditions มาใช้สำหรับค่า ρ^* และ Y_α^*

5. คำนวณ Divergence ซึ่งแทนด้วย $\nabla \cdot \overline{\mathbf{u}}^*$ โดยใช้ค่าอุณหพลศาสตร์ (Thermodynamic Quantities) ที่ประมาณการไว้ ทั้งนี้ สำหรับในขั้นตอนนี้ สนามความเร็ว (Velocity Field) จะไม่ถูกประมาณการ ณ ขั้นเวลา (Time Step) ต่อไป แต่จะมีการประมาณการเฉพาะที่ Divergence ของสนามความเร็วเท่านั้น

6. แก้สมการ Poisson สำหรับความผันผวนของความดัน (Pressure Fluctuation) โดยใช้ Direct Solver ใน Mesh แต่ละตำแหน่ง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

$$\nabla^2 H^{\,n} = -\left[\frac{\nabla\cdot\mathbf{u}^* - \nabla\cdot\bar{\mathbf{u}}^n}{\delta t}\right] - \nabla\cdot\bar{\mathbf{F}}^n \qquad (42)$$

ทั้งนี้ Vector $\bar{F}^n = F(\rho^n, \bar{u}^n)$ จะคำนวณโดยใช้ค่าความเร็ว “Patch-average Velocity” และ Divergence ของสนาม “Patch-average Field” จะคำนวณอย่างชัดเจน

7. ประมาณการค่าความเร็วที่ขั้นเวลา (Time Step) ต่อไป

$$\frac{\mathbf{u}^* - \bar{\mathbf{u}}^n}{\delta t} + \bar{\mathbf{F}}^n + \nabla H^{\,n} = 0 \qquad (43)$$

ทั้งนี้ Divergence ของสนามความเร็ว (Velocity Field) ที่ประมาณการไว้นั้นจะเท่ากับ Divergence ที่ประมาณการไว้ แทนด้วย $\nabla\cdot u^*$ ซึ่งเป็นค่าประมาณการที่ได้มาจากค่าอุณหพลศาสตร์ (Thermodynamic Quantities) ที่ประมาณการไว้

8. ตรวจสอบขั้นเวลา (Time Step) ณ จุดนี้เพื่อทำให้แน่ใจว่า

$$\delta t \max\left(\frac{|u|}{\delta x}, \frac{|v|}{\delta y}, \frac{|w|}{\delta z}\right) < 1 \,;\; 2\delta t\, v \left(\frac{1}{\delta x^2} + \frac{1}{\delta y^2} + \frac{1}{\delta z^2}\right) < 1 \qquad (44)$$

ในกรณีที่ขั้นเวลา (Time Step) มีขนาดที่ใหญ่มาก จะต้องลดขนาดให้น้อยลงเพื่อที่ว่าขั้นเวลานี้จะมีความสอดคล้องตาม Constraints ทั้งสองและ Procedure ก็จะกลับไปสู่ช่วงเริ่มต้นของขั้นเวลา (Time Step) นั้นอีกครั้ง แต่ในกรณีที่ขั้นเวลา (Time Step) มีความสอดคล้องตามเกณฑ์เสถียรภาพ (Stability Criteria) Procedure ก็จะไปยังขั้น Corrector Step

ถึงตรงนี้จะเป็นการสิ้นสุดขั้นตอน “Predictor” ของขั้นเวลา (Time Step) โดย ณ จุดนี้ค่า H^n และส่วนประกอบของ $\mathbf{u}^*$ นั้นจะมีการแลกเปลี่ยนกันที่ Mesh Boundaries โดยผ่านทาง MPI Calls

1. คำนวณค่าสนามความเร็ว “Patch-average” Velocity Field แทนด้วย $\bar{\mathbf{u}}^*$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2. นำการอัพเดต Runge-Kutta ส่วนที่สองใส่เข้ายังตัวแปรมวล เช่น การแก้ไขค่าความหนาแน่น

$$\frac{\rho^{n+1} - \frac{1}{2}\left(\rho^{n} + \rho^{*}\right)}{\delta t/2} + \nabla \cdot \rho^{*}\bar{\mathbf{u}}^{*} = 0 \qquad (45)$$

3. แลกเปลี่ยนค่า ρ^{n} และค่า Y_{α}^{n} ที่ Mesh Boundaries

4. นำ Boundaries Conditions มาใช้สำหรับ ρ^{n} และค่า Y_{α}^{n}

5. คำนวณ Divergence ซึ่งแทนด้วย $\nabla \cdot \mathbf{u}^{n+1}$ จากค่าอุณหพลศาสตร์ (Thermodynamic Quantities) ที่ได้รับการแก้ไข ทั้งนี้ สนามความเร็ว (Velocity Field) จะยังไม่มีการแก้ไขใดๆ ณ จุดนี้

6. คำนวณความผันผวนของความดัน (Pressure Fluctuation) โดยใช้ค่าต่างๆ ที่ประมาณการไว้

$$\nabla^{2}H^{*} = -\left[\frac{\nabla \cdot \mathbf{u}^{n+1} - \frac{1}{2}\left(\nabla \cdot \bar{\mathbf{u}}^{*} + \nabla \cdot \bar{\mathbf{u}}^{n}\right)}{\delta t/2}\right] - \nabla \cdot \bar{\mathbf{F}}^{*} \qquad (46)$$

7. ปรับปรุงค่าความเร็วโดยใช้แผนภูมิ Runge-Kutta ส่วนที่สอง

$$\frac{\mathbf{u}^{n+1} - \frac{1}{2}\left(\bar{\mathbf{u}}^{*} + \bar{\mathbf{u}}^{n}\right)}{\delta t/2} + \bar{\mathbf{F}}^{*} + \nabla H^{*} = 0 \qquad (47)$$

ทั้งนี้ Divergence ของสนามความเร็ว (Velocity Field) ที่มีการแก้ไขนั้นจะเท่ากับ Divergence ที่คำนวณไว้ก่อนหน้า

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

8. เมื่อสิ้นสุดขั้นเวลา (Time Step) นี้ ค่า H^* และส่วนประกอบของ $\mathbf{u}^{n+1}$ จะมีการแลกเปลี่ยนกันที่ Mesh Boundaries โดยผ่านทาง MPI Calls

Spatial Discretization

อนุพันธ์ของระยะ (Spatial Derivatives) ในสมการควบคุม (Governing Equations) นั้นจะเขียนออกมาเป็นผลต่างจำกัด (Finite Difference) ที่มีความถูกต้องแม่นยำลำดับที่สอง (Second-order Accuracy) บน Grid เส้นตรง โดยขอบเขตทั้งหมด (Overall Domain) คือกล่องสี่เหลี่ยมที่ถูกแบ่งออกเป็น Grid Cells รูปสี่เหลี่ยม โดยแต่ละ Cell นั้นจะมีเครื่องหมาย i, j และ k กำหนดไว้ซึ่งหมายถึงตำแหน่งของ Cell ในทิศทาง x, y และ z ตามลำดับ นอกจากนี้ จะมีการกำหนดค่าสเกลาร์ (Scalar Quantities) ในจุดศูนย์กลางของแต่ละ Grid Cell ดังนั้น ค่า ρ_{ijk}^{n} จึงเป็นค่าความหนาแน่น ณ ขั้นเวลา (Time Step) n ในจุดศูนย์กลางของ Cell ที่มีเครื่องหมาย i, j และ k สำหรับค่า Vector เช่น ความเร็ว (Velocity) จะถูกกำหนดไว้ที่ Cell Face ของค่านั้นๆ เช่น ค่า u_{ijk}^{n} คือ ส่วนประกอบ x (x-component) ของความเร็วที่ด้านบวก (Positive-oriented Face) ของ Cell ijk และค่า $u_{i-1,jk}^{n}$ จะถูกกำหนดไว้ที่ Face เชิงลบ (Negative-oriented Face) ของ Cell เดียวกัน

แบบจำลองในการศึกษาวิจัยทั้งสองนี้ เป็นแบบจำลอง ที่ออกแบบและพัฒนามาโดยสถาบัน NIST ทฤษฎีหรืออนุพันธ์ความสัมพันธ์ที่เป็นพื้นฐานสำหรับการประมวลผลค่าที่ได้จากแบบจำลองจึงอยู่บนหลักการและทฤษฎีเดียวกัน อย่างไรก็ตามแบบจำลอง CFAST เป็นแบบจำลอง Zone Model คือหนึ่งห้องจำลองสภาพการณ์ในแต่ละห้องนั้นๆ โดยห้องหนึ่งๆ ถูกแบ่งออกเป็นสองส่วน คือ ชั้นบน และชั้นล่างของไฟ ในขณะที่แบบจำลอง FDS เป็นแบบจำลองแบบ Field Model กล่าวคือห้องหนึ่งหรืออาคารหนึ่งๆ ที่จำลองขึ้นมานั้น ประกอบไปด้วย เซลเล็กๆ ย่อยๆ มารวมกันเป็นห้องหรืออาคารหนึ่ง โดยภายในเซลเหล่านั้น ถูกออกแบบมาให้มีการคำนวณประมวลผลต่างๆ ภายใน โดยผลที่ได้จากการประมวลผลจะมีการกระจายค่าหรือส่งผลกระทบความเปลี่ยนแปลงเหล่านั้นไปยังเซลที่อยู่ข้างเคียง ดังนั้นในเบื้องต้นจะเห็นว่า แบบจำลอง FDS เป็นแบบจำลองที่มีการลงรายละเอียดของการจำลองมากกว่ามาก

แบบจำลองทั้งสอง มีพื้นฐานการออกแบบที่ใกล้เคียงกันมาก ข้อมูลที่จำเป็นต้องกรอกในแบบจำลอง CFAST หลายข้อมูลเป็นข้อมูลที่จำเป็นสำหรับแบบจำลอง FDS ด้วยเช่นเดียวกัน อย่างไรก็ตามหากพิจารณาถึงข้อมูลจำเป็นสำหรับการกำหนดคุณสมบัติความไวไฟหรือสิ่งที่แสดง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ให้เห็นถึงความเสี่ยงขององค์ประกอบอาคารและวัสดุต่างๆ ที่มีในอาคารแล้ว พบว่า แบบจำลอง FDS จะสามารถตอบสนองความจำเป็นในการใช้งานที่จะมีโอกาสเกิดขึ้นจริงในอาคารอุตสาหกรรมได้มากกว่า กล่าวคือมักพบว่าโรงงานอุตสาหกรรมมีแหล่งเชื้อเพลิงที่เป็นของเหลวมากกว่าที่จะเป็นวัตถุต่างๆ ที่มีกำหนดไว้ให้เลือกในแบบจำลอง CFAST เป็นต้นว่า ผ้าม่าน เตียงนอน เคาน์เตอร์แสดงสินค้า โคมไฟ ซึ่งถูกกำหนดรูปแบบการเกิดอัคคีภัยไว้ก่อนแล้วภายในแบบจำลองด้วยกราฟแสดงการให้พลังงานความร้อน (Heat Release Rate)

แบบจำลอง FDS มีฐานข้อมูลคุณสมบัติที่เกี่ยวกับการเกิดอัคคีภัยสำหรับวัสดุระดับหนึ่งเช่นเดียวกัน แต่วัสดุที่กำหนดให้เลือกได้ภายในแบบจำลอง FDS เป็นคุณสมบัติของวัสดุที่มีโอกาสตรงกับสถานการณ์ที่จะเกิดขึ้นได้จริงในโรงงานอุตสาหกรรมมากกว่า

อย่างไรก็ตาม ทั้งแบบจำลอง CFAST และ FDS ล้วนมีคำสั่งที่ผู้ใช้จะสามารถเพิ่มข้อมูลคุณสมบัติการติดไฟของวัสดุประเภทต่างๆ ตามสถานการณ์ที่ต้องการจะจำลองมีอยู่ได้ โดยจำเป็นต้องมีรายละเอียดข้อมูลคุณสมบัติการติดไฟของวัสดุเหล่านั้น เพื่อกรอกเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการประมวลผลของแบบจำลองต่อไป

ทั้งสองแบบจำลอง สามารถนำข้อมูลที่ได้จากการประมวลผลไปแสดงเป็นภาพเคลื่อนไหวของการจำลองสถานการณ์การเกิดของไฟ การเคลื่อนไหวของควัน ด้วยโปรแกรม Smokeview ได้ทั้งคู่ โดยแบบจำลอง FDS มีรายละเอียดที่นำไปแสดงผลในโปรแกรม Smokeview ได้มากกว่าแบบจำลอง CFAST

ข้อมูลทั้งหมดที่ได้ศึกษาและทำความเข้าใจในขั้นตอนการตรวจเอกสารนั้น นำไปสู่การกำหนดอุปกรณ์และวิธีการศึกษาวิจัยซึ่งจะกล่าวถึงต่อไป

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. โปรแกรม CFAST : Consolidated Model of Fire Growth and Smoke Transport (Version 6.1.1)
2. โปรแกรม FDS : Fire Dynamics Simulator (Version 5)
3. โปรแกรม Smokeview Version 5
4. โปรแกรม PyroSim Version 2010.1
5. เครื่องคอมพิวเตอร์ 9 เครื่อง ที่มีคุณสมบัติ ดังต่อไปนี้

   CPU : Intel Core 2 Duo T5250 1.5 GHz

   RAM : 2GB

   Harddisk : 320 GB
6. เครื่องคอมพิวเตอร์ 2 เครื่อง ที่มีคุณสมบัติ ดังต่อไปนี้

   CPU : Intel Core 2 Duo T5250 1.5 GHz

   RAM : 2GB

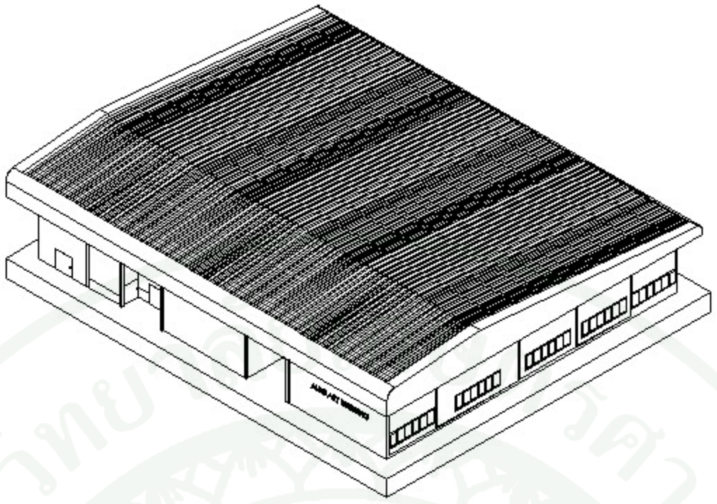
   Harddisk : 1 TB

วิธีการ

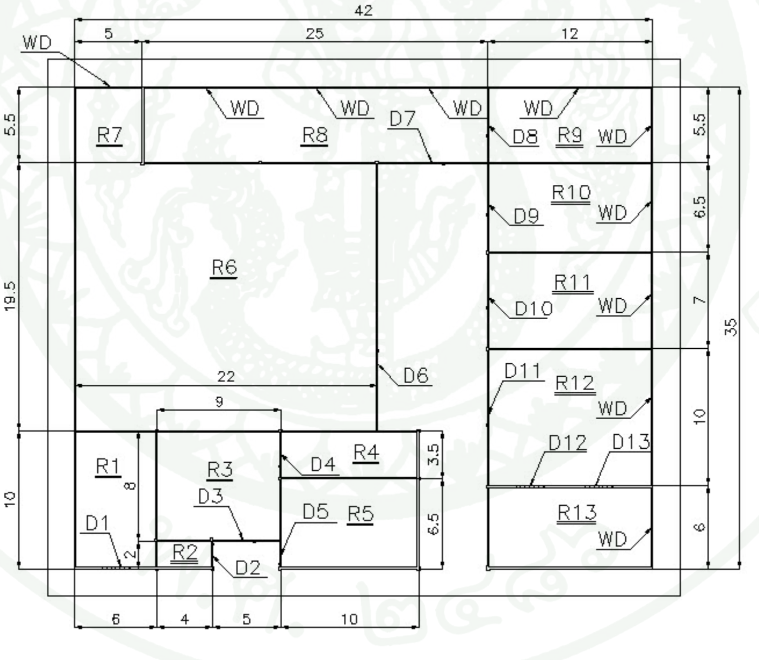
งานวิจัยนี้จำลองเหตุการณ์ไฟไหม้ที่จะเกิดขึ้นได้ในอาคาร ชื่อว่า อาคารหลายวัตถุประสงค์ (Auxilary Building) ของโรงงานอุตสาหกรรมแห่งหนึ่ง โดยอาคารหลายวัตถุประสงค์นี้เป็นอาคารที่มีการใช้สารไวไฟ ชื่อ Butyl Acetate ซึ่งจัดเป็นอาคารประเภทอันตรายพิเศษ

อาคารนี้เป็นอาคารคอนกรีตชั้นเดียวมีขนาดกว้าง 42 เมตร ยาว 35 เมตร มีความสูงของผนังห้องเท่ากับ 6 เมตร และมีความสูงวัดจากพื้นดินถึงยอดหลังคาเท่ากับ 9.5 เมตร ภาพ 3 มิติของอาคารดังแสดงในภาพที่ 4 โดยภายในอาคารมีการแบ่งพื้นที่ใช้สอย เป็นห้องต่างๆ 13 ห้องตามภาพที่ 5 และรายละเอียดการใช้สอยในห้องต่างๆ ในอาคารเป็นดังตารางที่ 3

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 4 ภาพ 3 มิติ ของอาคารหลายวัตถุประสงค์ (Auxilary Building) ที่ใช้ในการศึกษาวิจัย

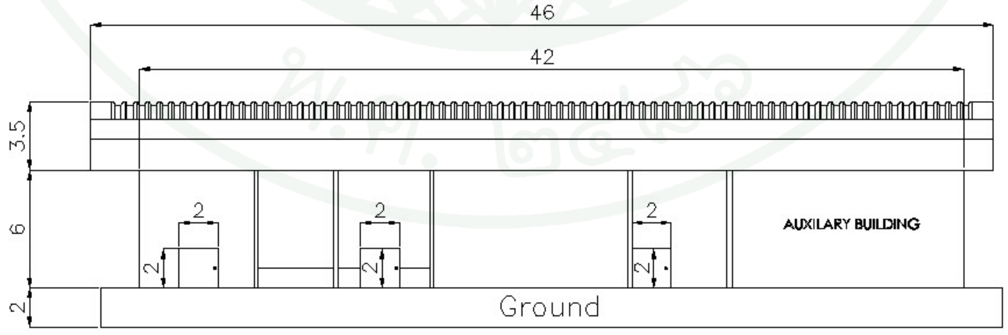


ภาพที่ 5 แบบแปลนแสดงห้องต่างๆ (13 ห้อง) ภายในอาคารหลายวัตถุประสงค์ (Auxilary Building)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 3 แสดงการแบ่งพื้นที่ใช้สอยภายในอาคารหลายวัตถุประสงค์

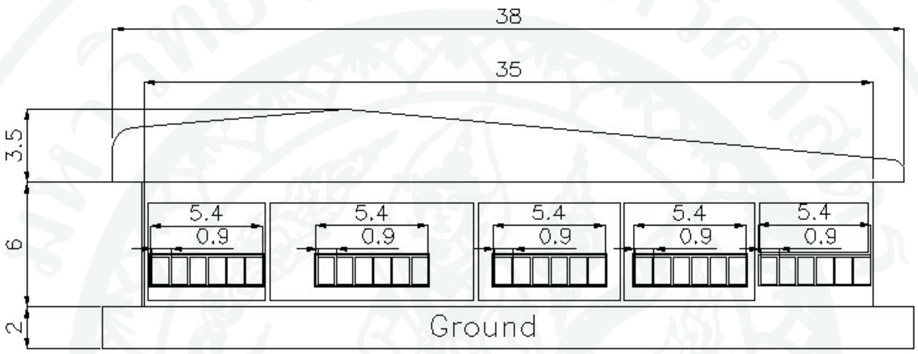
ห้องที่	การใช้สอย	ขนาดของห้อง (เมตร) (ก x ย x ส)
1	ห้องขัดผิววัสดุด้วยการพ่นทราย	6 x 10 x 6
2	ห้องกระจก เพื่อสังเกตการณ์ทำงานของเครื่องจักรในห้องกระบวนการผลิตที่มีการใช้สารปรอท	4 x 2 x 6
3	ห้องกระบวนการผลิตที่มีการใช้สารปรอท	9 x 8 x 6
4	ห้องสำหรับระบบปรับอากาศ	10 x 3.5 x 6
5	ห้องประชุม	10 x 6.5 x 6
6	ห้องผสมและผลิตสารสูตร Water Base	22 x 19.5 x 6
7	ห้องเพื่อการล้างและทำความสะอาด	5 x 5.5 x 6
8	สำนักงาน	25 x 5.5 x 6
9	ระบบปรับคุณภาพน้ำดี	12 x 5.5 x 6
10	ห้องว่าง	12 x 6.5 x 6
11	ห้องผสมและผลิตสารยึดติด	12 x 7 x 6
12	ห้องกวนสารสูตร Butyl Base	12 x 10 x 6
13	ห้องผสมสารสูตร Butyl Base	12 x 6 x 6



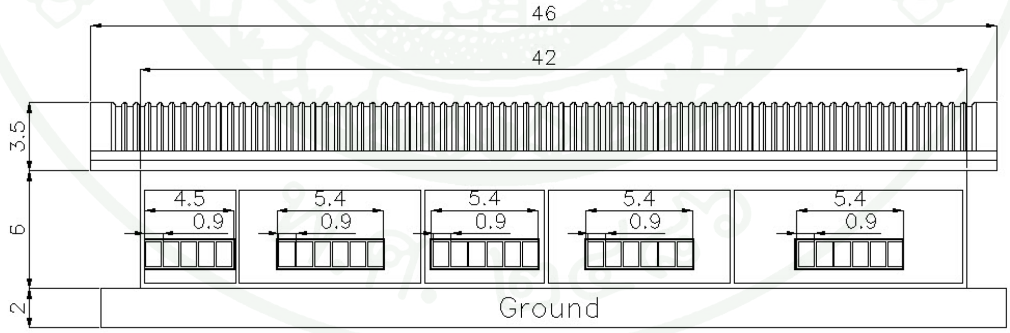
ภาพที่ 6 แบบแปลนแสดงด้านหน้า (ทิศเหนือ) ของอาคารหลายวัตถุประสงค์ (Auxilary Building)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พื้นของอาคารยกสูงจากพื้น 2 m จากภาพที่ 6 จากผังด้านหน้าอาคาร จะสามารถมองเห็นห้องที่ 1, ห้องที่ 2, ส่วนหนึ่งของห้องที่ 3 , ผนังด้านข้างของห้องที่ 5, และผนังด้านข้างของห้องที่ 13 โดยห้องที่ 2 เป็นห้องกระจกที่ส่วนบนของผนังที่ความสูงเกิน 1 m ขึ้นไป เป็นส่วนของกระจก และผนังส่วนล่างที่ไม่เกิน 1 m นั้น เป็นผนังมวลเบา เช่นเดียวกันที่ห้องที่ 3 เป็นห้องที่มีผนังด้านหนึ่ง (ด้านประตูทางเข้าห้อง) เป็นกระจก โดยส่วนบนที่ความสูงเกิน 1 m ขึ้นไปเป็นส่วนของกระจก และผนังส่วนล่างที่ไม่เกิน 1 m นั้น เป็นผนังคอนกรีต

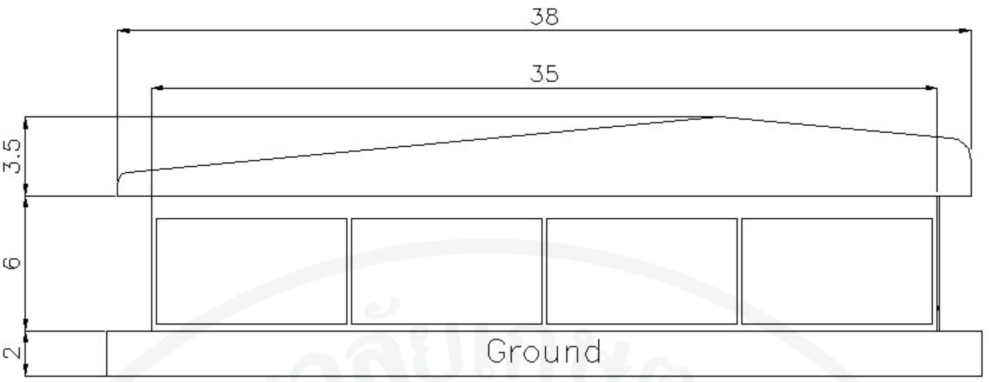


ภาพที่ 7 แบบแปลนแสดงด้านขวา (ทิศตะวันออก) ของอาคารหลายวัตถุประสงค์ (Auxilary Building)



ภาพที่ 8 แบบแปลนแสดงด้านหลัง (ทิศใต้) ของอาคารหลายวัตถุประสงค์ (Auxilary Building)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 9 แบบแปลนแสดงด้านซ้าย (ทิศตะวันตก) ของอาคารหลายวัตถุประสงค์ (Auxilary Building)

จากภาพที่ 7 แสดงอาคารด้านทิศตะวันออก ซึ่งเป็นด้านขวาของอาคารนั้น จะเห็นว่าห้องที่ 9 , 10, 11, 12 และ 13 นั้น มีหน้าต่างห้องละ 6 บาน และจากภาพที่ 8 แสดงอาคารด้านทิศใต้ ซึ่งเป็นด้านหลังของอาคารนั้น จะพบว่ามีหน้าต่าง รวมทั้งหมด 5 ชุดด้วยกัน โดยเป็นหน้าต่างของห้องที่ 7 1 ชุด ประกอบไปด้วยบานหน้าต่าง 5 บาน และหน้าต่างของห้องที่ 8 3 ชุด โดยแต่ละชุดประกอบไปด้วยบานหน้าต่าง 6 บาน และหน้าต่างของห้องที่ 9 1 ชุด ประกอบไปด้วยบานหน้าต่าง 6 บาน

จากภาพที่ 9 แสดงอาคารด้านทิศตะวันตก ซึ่งเป็นด้านซ้ายของอาคารนั้นจะไม่มีหน้าต่างเลย เพราะความจำเป็นที่ต้องควบคุมฝุ่น หรืออากาศภายนอกให้มีเข้าไปส่งผลกระทบต่อกระบวนการการผสมสารสูตรน้ำในห้องที่ 6 ให้มีน้อยที่สุด

ห้องที่ 12 และห้องที่ 13 จะเป็นห้องที่มีกระบวนการการใช้งานของเหลวไวไฟ Butyl Acetate ดังกล่าว ห้องที่ 13 เป็นห้องที่มีกระบวนการการผสม การผสมจะผสมสารและปั่นกวนในถังสแตนเลส โดยถังมีความสูงเท่ากับ 2 m และมีเส้นผ่านศูนย์กลาง เท่ากับ 2 m ถังที่ผ่านกระบวนการผสมจากห้องที่ 13 แล้ว จะถูกนำส่งไปยังห้องที่ 12 เพื่อรอนำส่งแจกจ่ายกระจายไปในกระบวนการผลิตที่อยู่ในอาคารอื่น และในระหว่างการรอการนำไปใช้ในห้องที่ 12 นั้น จะมีการปั่นกวนโดยมอเตอร์กวนให้สารไม่จับตัวกันตลอดเวลา โดยในเวลาหนึ่งๆ พบว่าจำนวนถังสแตนเลสที่ใช้สำหรับการบรรจุสาร Butyl Acetate นี้นั้น จะมีจำนวน 5 ถังในห้องที่ 13 และ

จะมีจำนวน 10 ถังในห้องที่ 12 ซึ่งปริมาตรรวมของการมีสารผสม Butyl Acetate ภายในห้องที่ 12 และห้องที่ 13 ของอาคารนี้ ประมาณเท่ากับ 120 m^3

และอาคารนี้ได้ถูกออกแบบมาว่าจะมีการใช้งานของเหลวไวไฟ ภายในห้องที่ 12 และห้องที่ 13 จึงได้มีการออกแบบระบบป้องกันและระงับอัคคีภัยสำหรับอาคารนี้ไว้ก่อนแล้ว โดยระบบป้องกันและระงับอัคคีภัยในอาคาร นี้ประกอบไปด้วย

1. อุปกรณ์ตรวจจับความร้อนและระบบสัญญาณแจ้งเหตุ

2. อาคารผนังชั้นนอกออกแบบเป็นผนังทนไฟ ที่มีอัตราการทนไฟ อย่างน้อย 2 ชั่วโมง

3. ประตูกันไฟ ที่ทางเข้าของอาคาร โดยประตูกันไฟ จะเปิดในเวลาปกติ และเมื่อเกิดเพลิงไหม้ และอุปกรณ์ตรวจจับความร้อนแจ้งสัญญาณการเกิดเหตุ ประตูทนไฟที่หน้าทางเข้าของอาคารก็จะเลื่อนปิดอัตโนมัติ

และเพื่อป้องกันการเกิดไฟฟ้าสถิตย์หรือประกายไฟ ดังนั้นหลอดไฟในห้องที่ 12 และ 13 จึงเป็นหลอดไฟชนิดป้องกันการเกิดประกายไฟ (explosion proof fluorescent lamps) โดยมอเตอร์ซึ่งใช้สำหรับปั่นกวนสารภายในถังนั้น เป็นมอเตอร์ป้องกันการเกิดประกายไฟ (explosion proof electrical motors) เช่นเดียวกัน อย่างไรก็ตามในอาคารนี้ ไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับควัน และระบบน้ำดับเพลิงอัตโนมัติ ทั้งนี้บริเวณด้านนอกของอาคาร มีหัวจ่ายน้ำดับเพลิงที่ได้รับการจ่ายน้ำจากระบบน้ำดับเพลิงของโรงงาน

กิจกรรมการใช้อาคารของแต่ละห้องที่สำคัญของอาคารนี้ นอกเหนือไปจากกิจกรรมการใช้อาคารของห้องที่ 12 และ 13 ซึ่งมีการใช้ ผสมและปั่นกวนของเหลวไวไฟแล้ว กิจกรรมที่สำคัญลำดับรองลงมา คือห้องที่ 3 ซึ่งมีกระบวนการผลิตที่มีการใช้สารปรอท ซึ่งปรอทมีคุณสมบัติเป็นสารพิษ (toxic substances) สามารถระเหยเป็นไอได้เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหูมิเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งจะทำให้เข้าสู่ระบบทางเดินหายใจและทำอันตรายต่อผู้ปฏิบัติตลอดจนเจ้าหน้าที่หรือทีมผจญเพลิงที่เข้าไปช่วยดับเพลิงได้ง่ายขึ้น เพื่อควบคุมความเสี่ยงอันตรายจากไอปรอทในขณะปฏิบัติงาน อาคารนี้จึงกำหนดให้มีระบบดูและปรับอากาศซึ่งอยู่ภายในห้องที่ 4 และทำการส่งอากาศเย็นมายังห้องที่ 3 ที่มีกระบวนการผลิตโดยใช้สารปรอทนี้ ทั้งนี้เพื่อควบคุมอุณหภูมิห้องไม่ให้มีค่าสูงเกิน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กว่า 25 °C และห้องที่ 3 นี้ยังมีอุปกรณ์เก็บตัวอย่างอากาศ วิเคราะห์และรายงานระดับความเข้มข้นของสารปรอทในบรรยากาศการทำงานตลอดระยะเวลาการทำงานและจะส่งสัญญาณเตือนให้ทราบเมื่อค่าระดับความเข้มข้นของสารปรอทในบรรยากาศมีค่าเกินกว่าค่าที่ตั้งไว้ (0.025 mg/l) อีกด้วย และห้องที่ 3 นี้ ยังมีระบบแสดงผลระดับอุณหภูมิของห้องเพื่อให้สามารถมองเห็นว่าอุณหภูมิภายในห้อง ณ ขณะนั้นมีค่าอยู่ที่เท่าใด เกินค่าควบคุมหรือไม่ ข้อมูลคุณสมบัติอันตรายของสารปรอท (Mercury) และอุณหภูมิควบคุมของสารปรอท (Mercury) ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4

และเพื่อการควบคุมจำนวนผู้ปฏิบัติงานที่จะได้รับการสัมผัสกับสารปรอทให้มีจำนวนน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ ดังนั้นจึงมีการบริหารและกำหนดให้จำนวนผู้ปฏิบัติประจำที่ต้องควบคุมกระบวนการผลิตที่ต้องมีการใช้สารปรอทนี้ มีจำนวนเพียง 1-2 ท่านในการปฏิบัติงานในเวลาหนึ่งๆ โดยการออกแบบของอาคาร ได้ออกแบบให้ผนังของห้องที่ 3 เป็นผนังกระจก ซึ่งผู้ปฏิบัติงานประจำห้องที่3 นี้นั้นสามารถเฝ้า แลการทำงานของเครื่องจักรและกระบวนการผลิตโดยพักอยู่ภายในห้องที่ 2 ที่เป็นห้องปรับอากาศและมองผ่านกระจกมายังห้องที่ 3 ได้ ทั้งนี้เพื่อลดระยะเวลาการรับสัมผัสสารปรอทจากบรรยากาศการทำงานให้ลดลงมากที่สุดเท่าที่จะทำได้

ตารางที่ 4 ตารางแสดงคุณสมบัติอันตรายของ Mercury และอุณหภูมิควบคุมของ Mercury

ชื่อทางเคมี	Mercury
CAS No.	7439-97-6
UN Number	2809
สูตรโมเลกุล	Hg
TLV-TWA	0.05 mg/l
น้ำหนักโมเลกุล	200.59
ชื่อทางเคมี	Mercury
ค่าความถ่วงจำเพาะ (น้ำ = 1)	13.55
ค่าความดันไอ (mmHg)	0.0018 ที่ 25 °C
ค่าความหนาแน่นไอ (อากาศ=1)	7
อุณหภูมิควบคุม	25 °C

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ทั้งนี้ห้องที่ 5 ซึ่งเป็นห้องที่อยู่ติดกับห้องที่ 4 นั้น เป็นห้องสำหรับใช้ประชุมซึ่งเป็นห้องที่ต้องมีการปรับอากาศจากห้องที่ 4 ด้วยเช่นกัน

ห้องที่ 6 แม้จะเป็นห้องที่ผสมสารเช่นเดียวกันกับห้องที่ 13 แต่เนื่องจากสารที่ผสมเป็นสูตรน้ำ (สูตร Water Base) ซึ่งมีมาตรการด้านคุณภาพที่ต้องควบคุมเรื่องฝุ่น โดยไม่มีความสำคัญในแง่ปัญหาด้านอัคคีภัย ในส่วนที่เป็นห้องที่ 7 นั้น เป็นบริเวณล้างทำความสะอาดถังผสมสารของห้องสูตรน้ำ ซึ่งเป็นส่วนที่ต่อเชื่อมอยู่ในบริเวณห้องที่ 6 ที่เป็นทั้งห้องผสมและกวนสารสูตรน้ำที่วางรอเพื่อนำแจกจ่ายเข้าสู่กระบวนการผลิตในอาคารอื่นต่อไป

ห้องที่ 8 เดิมเป็นห้องที่ต่อโล่งเป็นส่วนเดียวกันกับห้องที่ 6 และ 7 แต่เนื่องจาก ในช่วงต่อมา ที่เริ่มมีกระบวนการผลิตที่ใช้สารผสมสูตรน้ำ จึงมีการดัดแปลงอาคารส่วนนี้ให้เป็นห้องที่ 6 สำหรับการผสมและกวนสารสูตรน้ำ และห้องที่ 7 เป็นห้องล้างทำความสะอาด และห้องที่ 8 สำหรับห้องทำงาน (สำนักงาน) ทั้งนี้การกั้นห้องที่ 7 และที่ 8 ไว้รอบอาคารด้านทิศใต้ที่รายล้อมไปด้วยหน้าต่าง ก็เพื่อให้ห้องที่ 7 และ 8 เป็นห้องที่กันไม่ให้มีฝุ่นเข้ามาปนเปื้อนในสารสูตรน้ำที่ผสมและตั้งกวนอยู่ในห้องที่ 6

ห้องที่ 9 เป็นห้องที่กำหนดไว้ตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบอาคารนี้ไว้แล้วว่าเป็นห้องสำหรับระบบบำบัดน้ำดี (Demin Water Plant) โดยห้องที่ 10 เป็นห้องว่างที่ไม่ได้มีการใช้งาน และห้องที่ 11 เป็นห้องผสมและผลิตสารยึดติดซึ่งเป็นสารที่ไม่มีคุณสมบัติความไวไฟ ไม่มีความสำคัญในแง่ปัญหาทางด้านอัคคีภัย

จากรายละเอียดการใช้งานในแต่ละห้องของอาคารหลายวัตถุประสงค์ (Auxilary Building) นี้ จะเห็นว่าห้องที่มีความสำคัญในแง่ปัญหาทางด้านอัคคีภัยมากที่สุด ได้แก่ ห้องที่ 12 : ห้องกวนสารสูตร Butyl Base และห้องที่ 13 : ห้องกวนสารสูตร Butyl Base และห้องที่มีความสำคัญรองลงมา คือ ห้องที่ 3 ห้องที่มีกระบวนการผลิตที่ใช้สารปรอท โดยห้องนี้จะเพิ่มความสำคัญด้านความปลอดภัยหรือการวางแผนการเข้าผจญเพลิงมากยิ่งขึ้น เมื่อมีเหตุเพลิงไหม้โดยที่ห้องที่ 12 และ 13 จะเป็นห้องที่มีโอกาสที่จะเกิดขึ้นได้มากที่สุด เพื่อศึกษาสถานการณ์เหตุเพลิงไหม้ที่จะเกิดขึ้นในอาคารนี้ และเพื่อประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้นจากห้องที่ 12 และ 13 ที่จะมีต่อห้องที่ 3 ดังนั้นการศึกษาวิจัยนี้จึงจะพิจารณาอุณหภูมิของควันไฟส่วนบน (Upper Layer Temperature) และความสูงของท้องควันไฟ (Smoke Layer Height) ของห้องที่ 12 และห้องที่ 13 พร้อมทั้งพิจารณาว่า

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การเกิดอัคคีภัยจากห้องที่ 12 และห้องที่ 13 จะทำให้อุณหภูมิของควันไฟส่วนบน (Upper Layer Temperature) และความสูงของท้องควันไฟ (Smoke Layer Height) ของห้องที่ 3 มีการเปลี่ยนแปลงหรืออยู่ในสถานการณ์ที่มีผลกระทบต่อความปลอดภัยของผู้ผจญเพลิงหรือไม่ โดยเน้นศึกษาการเกิดเหตุในห้องที่ 12 ห้องที่ 13 และห้องที่ 3

จากการศึกษาข้อมูลและผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม (Output) ทั้งสองโปรแกรม ได้แก่ โปรแกรม FDS และ CFAST พบว่าจะสามารถประมวลผลให้ค่าต่างๆ ที่เกี่ยวข้องหลายค่า อย่างไรก็ตามเนื่องจากในมุมมองปัญหาทางด้านอัคคีภัยแล้ว ประเด็นที่ได้รับความสนใจให้ความสำคัญมากที่สุด ก็คือ ระดับอุณหภูมิที่เกิดขึ้น และความสูงของท้องควันที่ลดต่ำลง เมื่อสถานการณ์ผ่านไปในแต่ละเวลา โดยระดับอุณหภูมิที่เป็นผลที่ได้จากการประมวลผลโปรแกรม ได้แก่ ระดับอุณหภูมิของควันไฟส่วนล่าง (Lower Layer Temperature) และระดับอุณหภูมิของควันไฟส่วนบน (Upper Layer Temperature) ด้วย ซึ่งหากเปรียบเทียบความสำคัญกันแล้ว ทั้งสองค่าอุณหภูมินี้ อุณหูมิของควันไฟส่วนบน (Upper Layer Temperature) เป็นสิ่งที่เราต้องให้ความสำคัญเป็นอันดับแรก เนื่องจากแก๊สต่างๆ ภายในห้องที่เกิดเพลิงไหม้นั้น เมื่อได้รับความร้อนแล้วทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นนั้น บรรยากาศที่มีอุณหภูมิสูงขึ้นนั้นจะลอยตัวขึ้นไปอยู่ด้านบน อุณหภูมิของควันไฟส่วนบน (Upper Layer Tempearture) จึงถือเป็นตัวแทนให้ได้ทราบถึงระดับความรุนแรงของเพลิงไหม้ที่จะเกิดขึ้นนั้นได้ดีกว่า ความสูงของท้องควันไฟ เป็นเรื่องที่ได้รับความสนใจเป็นระดับถัดมาจากอุณหภูมิ ทั้งนี้ในสถานการณ์เพลิงไหม้ที่มีความรุนแรงและในเวลาที่ผ่านไป หากไม่มีช่องเปิดหรือระบบการระบายควันที่ดีพอแล้ว เป็นธรรมชาติของควันไฟเองที่จะลดตัวลงต่ำลง ซึ่งระดับความสูงของท้องควันไฟ คือ ความสูงจากส่วนล่างสุดของท้องควันจากพื้นเป็นระยะกี่เมตรนั้น เป็นข้อมูลสำคัญที่ทำให้สามารถตัดสินใจได้ว่า สถานการณ์เพลิงไหม้สถานการณ์นั้นเป็นสถานการณ์ที่มีความไม่ปลอดภัยที่ผู้ใช้อาคารจะอพยพออกนอกจากอาคารได้หรือไม่

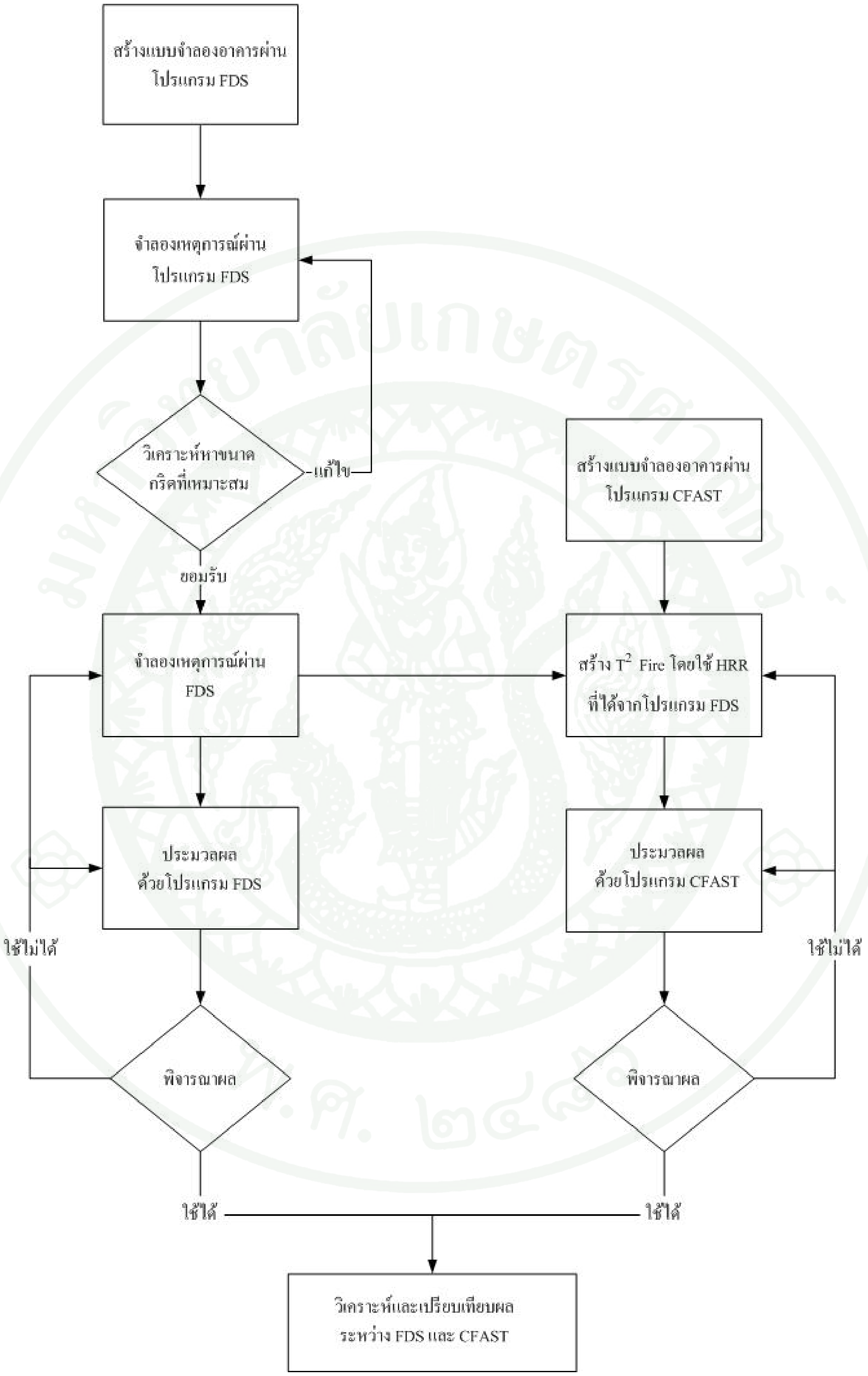
ด้วยความสำคัญของค่าอุณหภูมิของควันไฟส่วนบน (Upper Layer Tempearture) และความสูงของท้องควันไฟ (Smoke Layer Height) ดังนั้นการศึกษาวิจัยนี้จึงทำการเปรียบเทียบเฉพาะอุณหภูมิของควันไฟส่วนบน (Upper Layer Temperature) และความสูงของท้องควันไฟ (Smoke Layer Height) โดยใช้โปรแกรม FDS พร้อมทั้งจำลองสถานการณ์อาคารและการเกิดเพลิงไหม้ในโปรแกรม CFAST ด้วยข้อมูลชุดเดียวกันกับที่ใช้ในโปรแกรม FDS เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของอุณหภูมิของควันไฟส่วนบน (Upper Layer Temperature) และความสูงของท้อง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ควันไฟ (Smoke Layer Height) ที่ได้จากโปรแกรม CFAST ว่ามีความใกล้เคียงกับโปรแกรม FDS หรือไม่ หรือมีความแตกต่างเป็นอย่างไร

จากข้อมูลรายละเอียดของอาคาร ผู้วิจัยได้ดำเนินการนำข้อมูลของอาคารไปจำลองเหตุการณ์เพลิงไหม้ด้วยโปรแกรม FDS และโปรแกรม CFAST เพื่อนำผลอุณหภูมิของควันไฟส่วนบน (Upper Layer Temperature) และความสูงของท้องควันไฟ (Smoke Layer Height) ที่ได้จากโปรแกรมทั้งสองมาเปรียบเทียบกันโดยมีสมมติฐานว่าผลที่ได้จากโปรแกรม CFAST จะมีค่าเท่ากับหรือใกล้เคียงกับผลที่ได้จากโปรแกรม FDS โดยมีลำดับของกระบวนการการศึกษาวิจัยดังภาพที่ 10

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 10 แสดงลำดับของกระบวนการการศึกษาวิจัย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

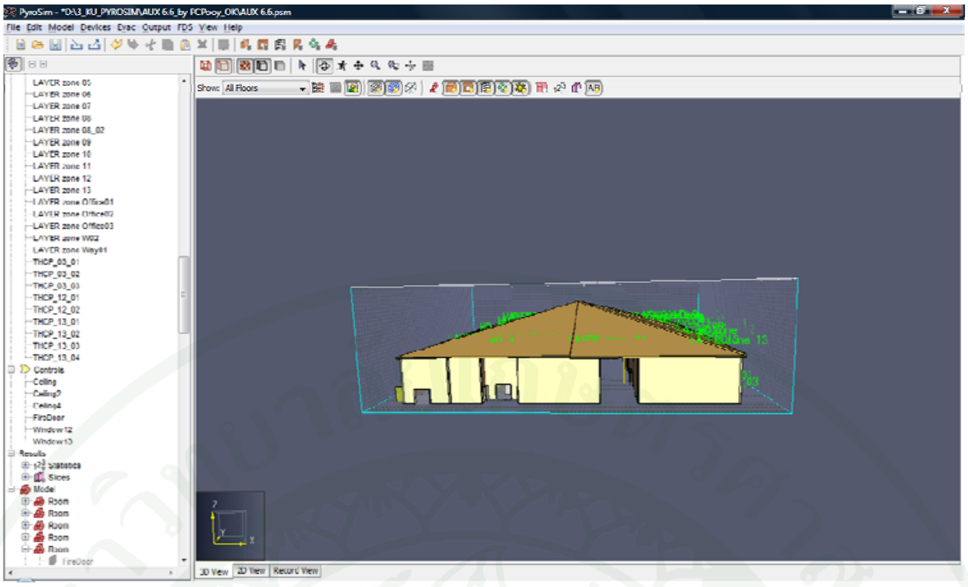
ในการนำข้อมูลของอาคารหลายวัตถุประสงค์ไปจำลองเหตุการณ์เพลิงไหม้ด้วยโปรแกรม FDS นั้น ผู้วิจัยจะใช้โปรแกรม PyroSim version 2010.1 ที่มีให้ทดลองใช้ฟรีระยะหนึ่งเดือน โดยอาจขอระยะเวลาทดลองใช้ฟรีกรณีพิเศษได้ที่หกเดือน ซึ่งโปรแกรม PyroSim version 2010.1 นี้เป็นโปรแกรมหนึ่งในหลายโปรแกรมที่บริษัทฯ เอกชนจัดทำขึ้นมาเพื่อช่วยให้การกำหนดรายละเอียดต่างๆ เพื่อจำลองเหตุเพลิงไหม้โดยโปรแกรม FDS เป็นไปได้โดยง่ายขึ้น ทั้งนี้บริษัทฯ เอกชนเหล่านั้นมีวัตถุประสงค์เชิงธุรกิจที่คาดหวังว่า ผู้ที่ได้ทดลองใช้โปรแกรมฟรีอาจตัดสินใจเลือกซื้อโปรแกรมช่วยเหล่านี้ไว้ใช้งานก็เป็นได้ การสร้างแบบจำลองอาคารหลายวัตถุประสงค์โดยใช้โปรแกรม PyroSim นั้น ได้กำหนดชนิดของวัสดุต่างๆ ที่เป็นส่วนประกอบของกาคารในโปรแกรม FDS ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 การกำหนดชนิดของวัสดุในโปรแกรม FDS

ส่วนประกอบของอาคาร	**ชนิดของวัสดุ**
พื้นอาคาร	CONCRETE
ผนังภายในอาคาร	CONCRETE
ผนังภายนอกอาคาร	CONCRETE
ฝ้า	WOOD
หลังคา	METAL SHEET

การสร้างแบบจำลองอาคารหลายวัตถุประสงค์ สำหรับกรณีโปรแกรม FDS นั้น ผู้วิจัยได้กำหนดค่าขอบเขต (boundary conditions) ของโดเมนการคำนวณ ที่มีขนาดกว้าง 50 เมตร ยาว 40 เมตร และสูง 15 เมตร ซึ่งครอบคลุมอาคารหลายวัตถุประสงค์ทั้งหลัง ขอบเขตของโดเมน (domain boundaries) ที่ผิวด้านข้างทั้ง 4 ด้านและด้านบน กำหนดให้เปิดสู่สภาวะบรรยากาศภายนอก (open boundary) ซึ่งอนุญาตให้มวลและความร้อนสามารถไหลออกจากผิวโดเมนได้โดยอิสระ ที่พื้นด้านล่างกำหนดให้ค่าขอบเขตของโดเมน (domain boundaries) เป็นผิวทึบ มวลและความร้อนไม่สามารถไหลผ่านได้ (inert boundary) โดยในการจำลองนี้ได้กำหนดอุณหภูมิสภาพแวดล้อมก่อนเริ่มสถานการณ์ (ambient temperature) เป็นที่ 38°C โดยสร้างอาคารจำลองในโปรแกรม PyroSim ได้ผลอาคารดังแสดงไว้ในภาพที่ 11

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 11 แสดงแบบจำลองอาคารหลายวัตถุประสงค์ เมื่อใช้โปรแกรม PyroSim

การทำงานของโปรแกรมแบบจำลองพลศาสตร์อัคคีภัย (Fire Dynamics Simulator, FDS) เป็นการจำลองโดยใช้หลักการของการแบ่งห้องหรืออาคารออกเป็นส่วนเล็กๆ ในลักษณะที่เรียกว่า “computational cell” หรือ “grid” และโปรแกรม FDS จะคำนวณความหนาแน่น, ความเร็ว, อุณหภูมิ, ความดัน และความเข้มข้นของแก๊ส โดยใช้กฎการอนุรักษ์มวลและพลังงาน ในแต่ละส่วนเล็กๆ ที่แบ่งไว้ และส่งผ่านผลการคำนวณต่อๆ ไปยังแต่ละส่วนเล็กๆ ทั้งหมดที่มีอยู่ เพื่อประมวลผลเป็นผลการคำนวณสำหรับแต่ละค่าของการจำลองต่อไป

ในการจำลองเหตุเพลิงไหม้ด้วยโปรแกรม FDS ขนาดของกริดและจำนวนของกริดทั้งหมดที่กำหนดไว้เพื่อการจำลองจะมีผลกระทบต่อความแม่นยำและความถูกต้อง (verification and validation) ของผลการจำลอง การจำลองหนึ่งๆ ที่จำลองที่มีความละเอียดของกริดมาก กล่าวคือ กริดมีขนาดเล็ก (จำนวนกริดมาก) มีแนวโน้มที่ให้ผลการจำลองถูกต้องแม่นยำมากกว่าการจำลองที่เลือกใช้กริดขนาดใหญ่ (จำนวนกริดน้อย) อย่างไรก็ตาม การกำหนดขนาดกริดให้มีขนาดที่เล็กลงจะทำให้จำนวนปริมาตรจำกัด (จำนวนกริด) ที่ต้องพิจารณาประมวลผลในโดเมนการคำนวณมีมากขึ้น ส่งผลให้เวลาที่ใช้ในการคำนวณ (CPU Time) สำหรับระยะเวลาการจำลองหนึ่งๆ มากตามไปด้วย จนในบางครั้งเวลาในการคำนวณอาจนานเกินกว่าจะยอมรับได้หรือพื้นที่หน่วยความจุของเครื่องคอมพิวเตอร์ไม่สามารถจัดเก็บข้อมูลไว้ได้ ดังนั้นต้องพิจารณาเลือกกำหนดขนาด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ของกริดให้เหมาะสม (grid refine) โดยพิจารณาชั่งน้ำหนักระหว่างความแม่นยำและความถูกต้องของผลการจำลองกับเวลาที่ใช้ในการคำนวณที่สามารถยอมรับได้

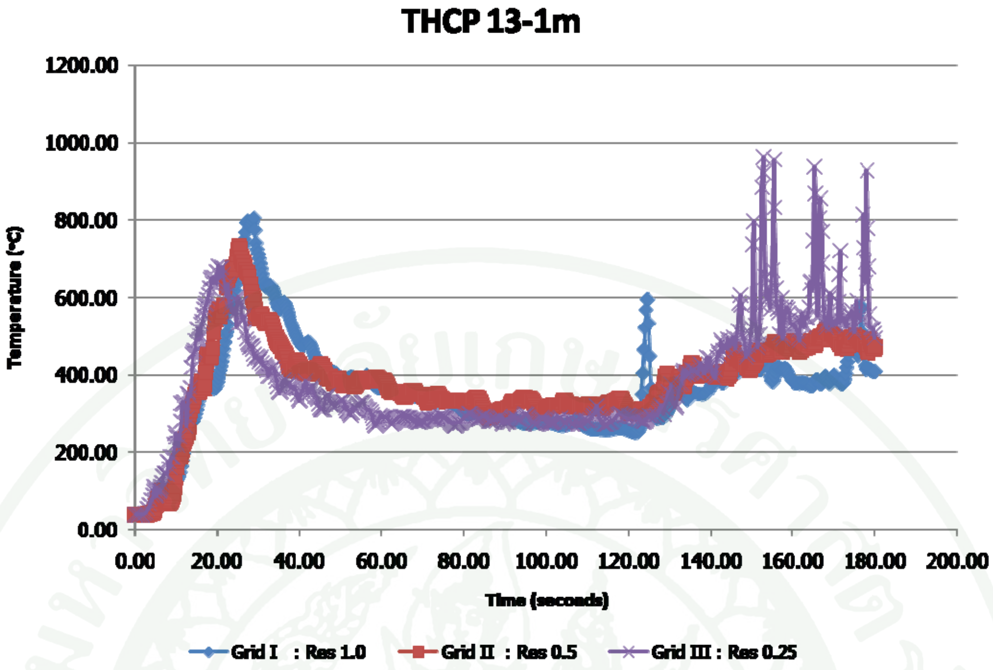
ในการพิจารณาเลือกกำหนดขนาดของกริดให้เหมาะสม ผู้วิจัยจะดำเนินการหาผลกระทบของขนาดของกริดต่อผลการจำลอง ตามวิธีที่แนะนำโดย ผศ.ดร.ณัฐศักดิ์ บุญมี ในงานวิจัยการศึกษาขนาดกริดในการจำลองลำควันสมมาตรด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลขที่ได้กำหนดสมมติฐานไว้ว่า กริดขนาดเล็กจะให้ผลการจำลองที่มีค่าใกล้ค่าจริงมากกว่ากริดขนาดใหญ่ กล่าวคือ กริดขนาดเล็กให้ผลการจำลองที่มีความคลาดเคลื่อนไปจากความจริงน้อยกว่ากริดขนาดใหญ่ ทั้งนี้การลดขนาดของกริดให้เล็กลงจนถึงจุดหนึ่งเชื่อว่าผลการจำลองที่ได้จะไม่แตกต่างไปจากเดิมที่ได้มาก นั่นคือผลการจำลองจะไม่ขึ้นอยู่กับขนาดของกริด (grid convergence) นั่นหมายความว่า การลดขนาดของกริดให้เล็กลงต่อไปจะไม่ได้ทำให้ค่าใกล้ค่าจริงเพิ่มมากขึ้นแต่ทำให้เวลาในการคำนวณ (CPU Time) เพิ่มขึ้นโดยไม่จำเป็น ดังนั้นขนาดของกริดที่เหมาะสมจึงเป็นขนาดของกริดที่เมื่อลดขนาดลงต่อไปแล้วไม่ทำให้ผลการจำลองแตกต่างไปอย่างมีนัยสำคัญ (แตกต่างน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์)

การศึกษาผลกระทบของขนาดของกริดต่อผลการจำลอง ได้ดำเนินการโดยจำลองเพลิงไหม้โดยใช้กริดที่มีความละเอียด 3 ระดับ คือ ละเอียดน้อย ละเอียดปานกลาง และละเอียดมาก ดังตารางที่ 6 โดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอุณหภูมิในสภาวะคงตัว ที่ตำแหน่ง X = 39.25 m, Y = 6.25 m และเปรียบเทียบความสูงเฉลี่ยของท้องควันในสภาวะคงตัว ที่ตำแหน่งที่ 1 X = 39.25 m, Y = 6.25 m และตำแหน่งที่ 2 X = 39.25 m, Y = 15 m ตามลำดับ

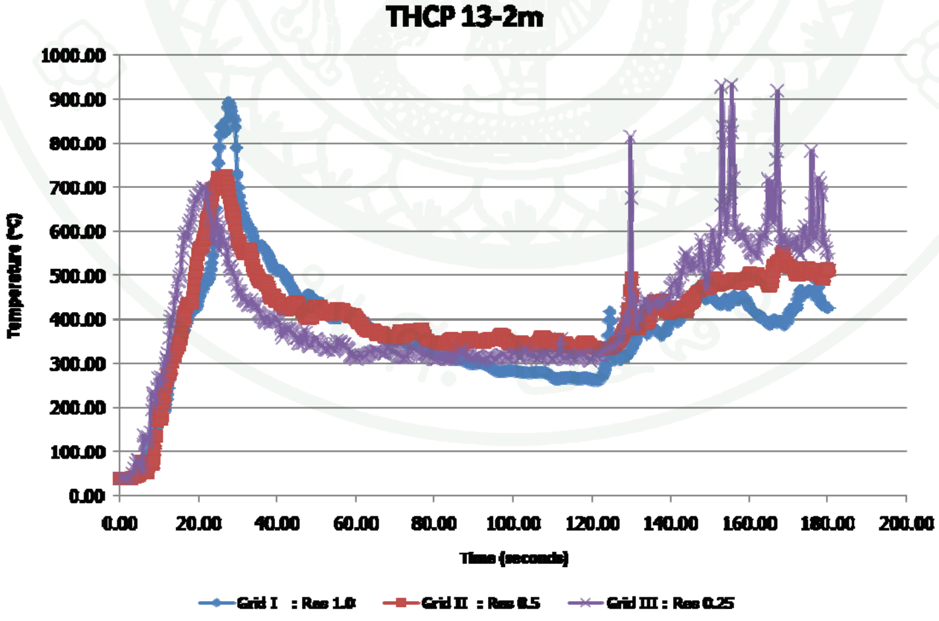
ตารางที่ 6 รายละเอียดการจำลองเพื่อศึกษาผลกระทบของขนาดของกริดต่อผลการจำลอง

กรณีที่	ระดับความละเอียด	ขนาดของกริด (m)	จำนวนของกริด	จำนวนกริดรวม
1	Grid I : ละเอียดน้อย	1.0 x 1.0 x 1.0	50 x 40 x 15	30,000
2	Grid II : ละเอียดปานกลาง	0.5 x 0.5 x 0.5	100 x 80 x 30	240,000
3	Grid III : ละเอียดมาก	0.25 x 0.25 x 0.25	200 x 160 x 60	1,920,000

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

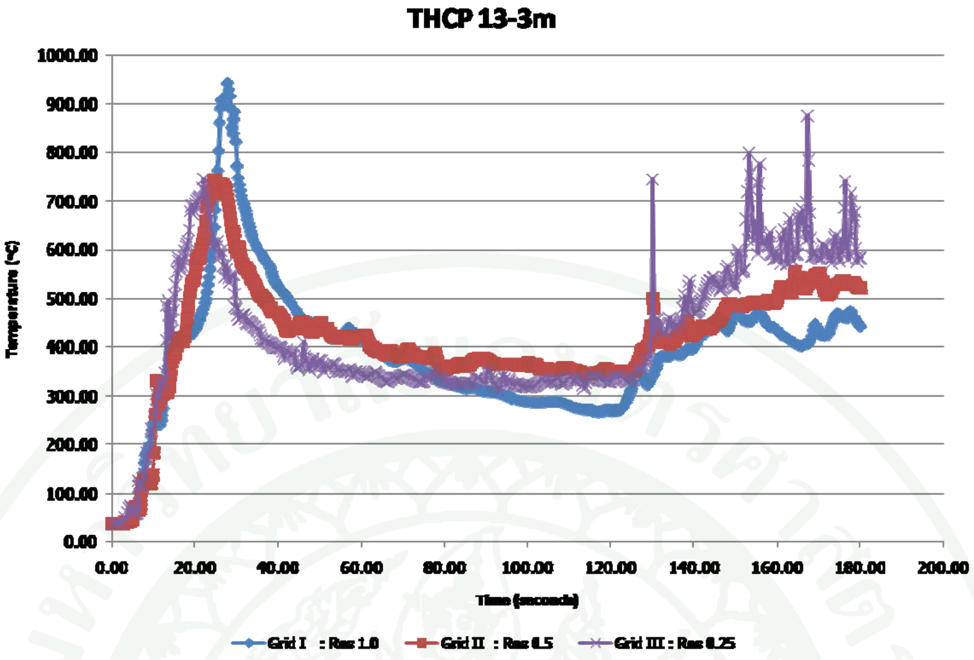


ภาพที่ 12 อุณหภูมิของควันในแต่ละเวลา ที่ตำแหน่ง X = 39.25 m, Y = 6.25 m, Z = 1.0 m ในแต่ละขนาดของกริด

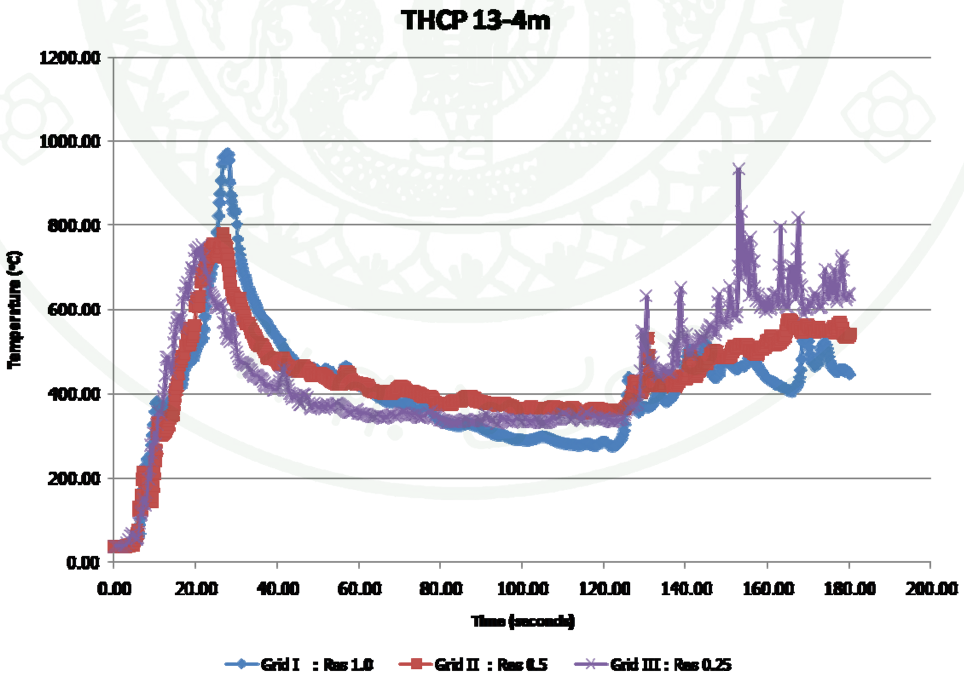


ภาพที่ 13 อุณหภูมิของควันในแต่ละเวลา ที่ตำแหน่ง X = 39.25 m, Y = 6.25 m, Z = 2.0 m ในแต่ละขนาดของกริด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

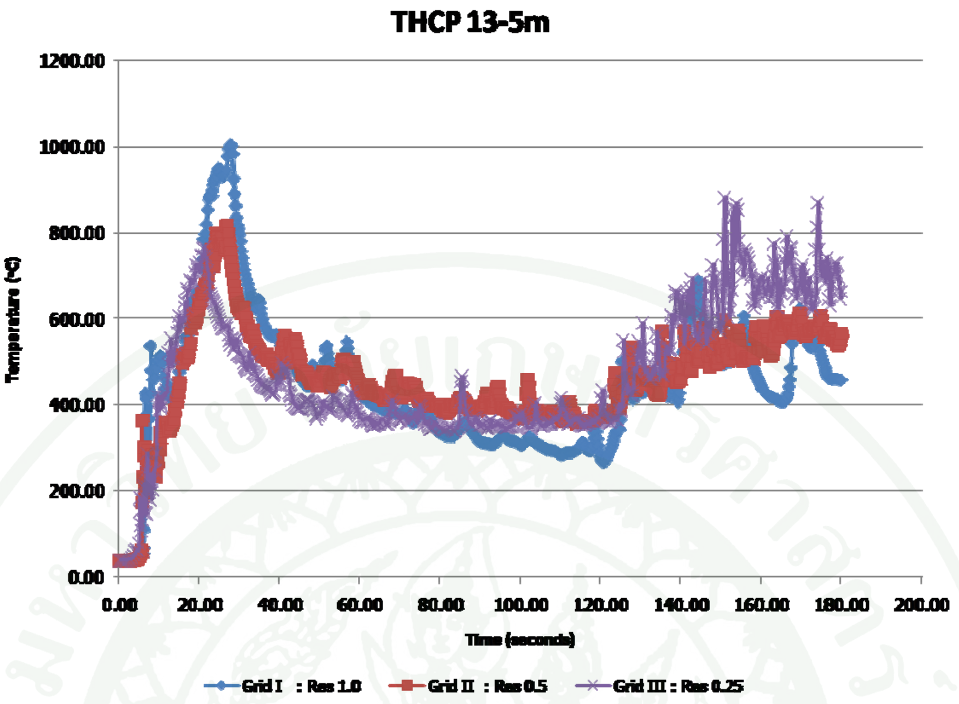


ภาพที่ 14 อุณหภูมิของควันในแต่ละเวลา ที่ตำแหน่ง X = 39.25 m, Y = 6.25 m, Z = 3.0 m ในแต่ละขนาดของกริด

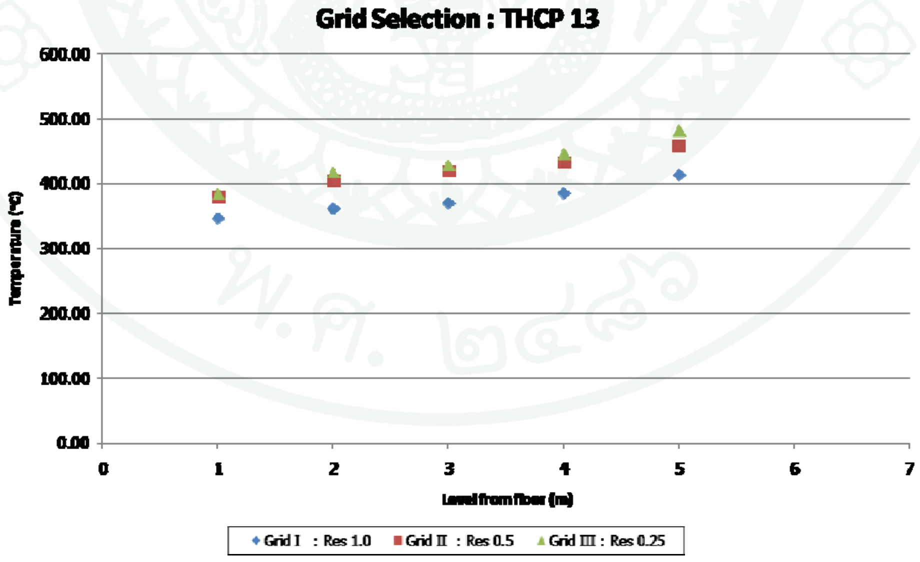


ภาพที่ 15 อุณหภูมิของควันในแต่ละเวลา ที่ตำแหน่ง X = 39.25 m, Y = 6.25 m, Z = 4.0 m ในแต่ละขนาดของกริด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

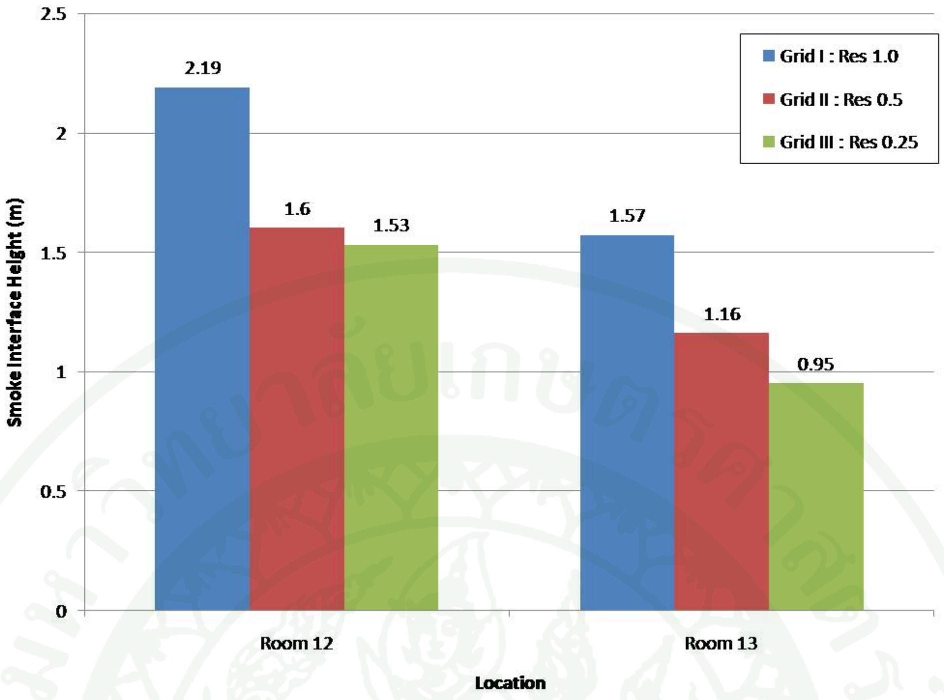


ภาพที่ 16 อุณหภูมิของควันในแต่ละเวลา ที่ตำแหน่ง X = 39.25 m, Y = 6.25 m, Z = 5.0 m ในแต่ละขนาดของกริด



ภาพที่ 17 อุณหภูมิเฉลี่ยของควันในสภาวะคงตัวที่ความสูงต่างๆ จากพื้น ที่ตำแหน่ง X = 39.25 m, Y = 6.25 m ในแต่ละขนาดของกริด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 18 ความสูงเฉลี่ยของท้องควันในสภาวะคงตัว ที่ตำแหน่งที่ 1 X = 39.25 m, Y = 6.25 m และตำแหน่งที่ 2 X = 39.25 m, Y = 15 m ในแต่ละขนาดของกริด

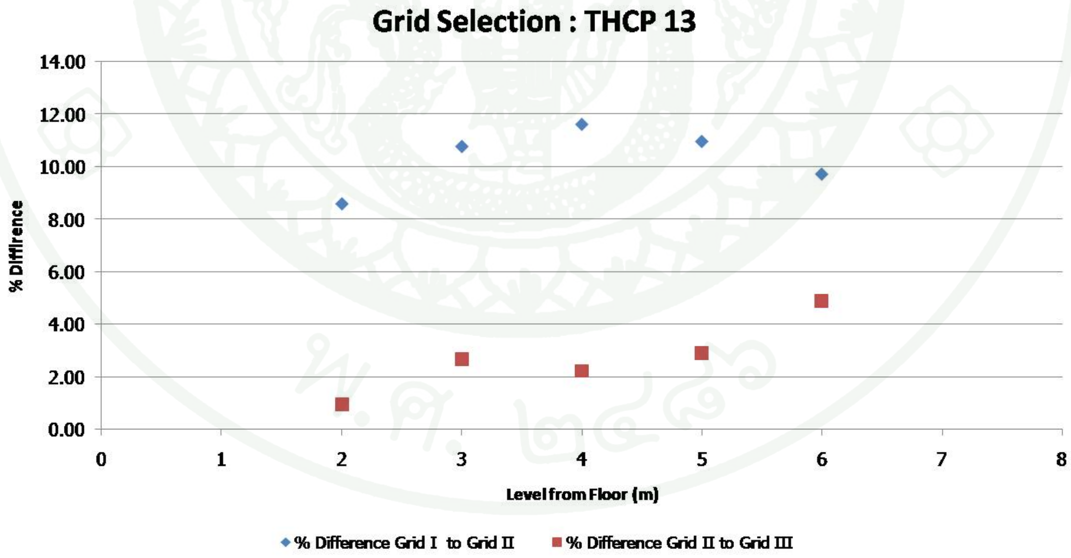
ภาพที่ 12, 13, 14, 15 และ 16 แสดงอุณหภูมิของควันในแต่ละเวลา ในแต่ละขนาดของกริด ที่ตำแหน่ง X = 39.25 m, Y = 6.25 m ที่ความสูง 1.0 m, 2.0 m, 3.0 m, 4.0 m และ 5.0 m ตามลำดับ โดยภาพที่ 17 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยของควันในสภาวะคงตัวที่ความสูงต่างๆ จากพื้น ที่ตำแหน่ง X = 39.25 m, Y = 6.25 m ในแต่ละขนาดของกริด และภาพที่ 18 แสดงความสูงเฉลี่ยของท้องควันในสภาวะคงตัว ที่ตำแหน่งที่ 1 X = 39.25 m, Y = 6.25 m (ห้องที่ 13) และตำแหน่งที่ 2 X = 39.25 m, Y = 15 m (ห้องที่ 12) ในแต่ละขนาดของกริด โดยเวลาที่โปรแกรม FDS ใช้ในการประมวลผล (CPU Time) ได้สรุปไว้ในตารางที่ 7

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 7 รายละเอียดการจำลอง FDS และเวลาที่ใช้ในการประมวลผล (CPU Time)

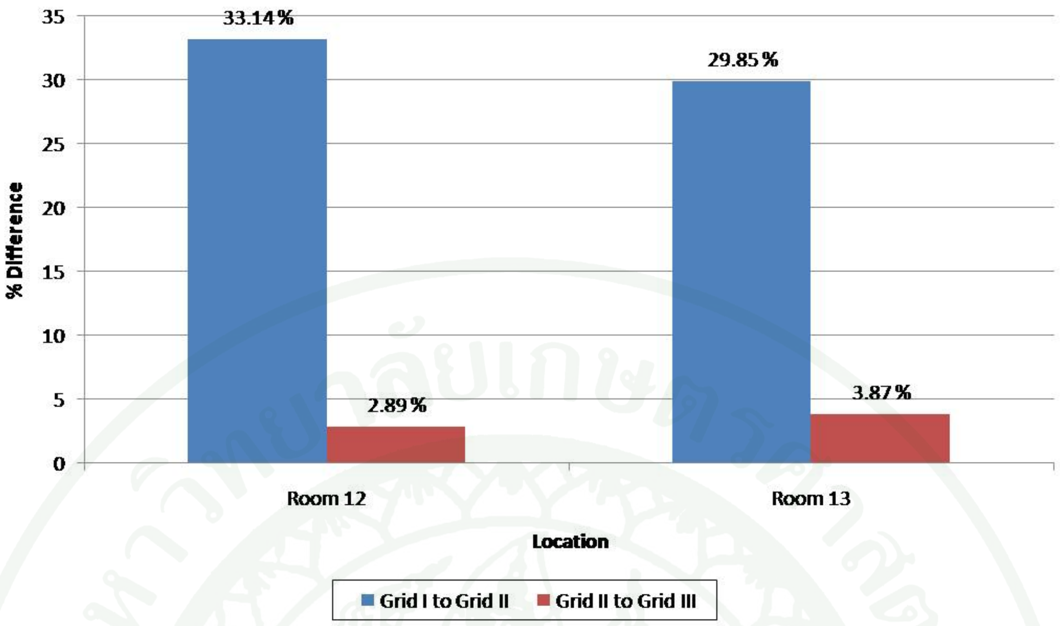
กรณีที่	ระดับความละเอียด	จำนวนกริดรวม	เวลาที่จำลอง (Simulation Time) (วินาที)	เวลาที่ใช้ในการประมวลผล (CPU Time) (ชั่วโมง)
1	Grid I : ละเอียดน้อย	30,000	180	2.00
2	Grid II : ละเอียดปานกลาง	240,000	180	12.30
3	Grid III : ละเอียดมาก	1,920,000	180	49.15

ร้อยละความแตกต่างของผลการจำลองจากการเลือกใช้กริดในระดับความละเอียดที่ไม่เท่ากัน โดยเปรียบเทียบร้อยละความแตกต่างของอุณหภูมิเฉลี่ยของควันระหว่าง Grid I กับ Grid II และระหว่าง Grid II และ Grid III ได้แสดงไว้ในภาพที่ 19 และผลการเปรียบเทียบร้อยละความแตกต่างของความสูงเฉลี่ยของท้องควันของตำแหน่งที่ 1 และ 2 ได้แสดงไว้ในภาพที่ 20



ภาพที่ 19 ร้อยละความแตกต่างของอุณหภูมิเฉลี่ยของควัน เมื่อทำการลดขนาดของกริด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 20 ร้อยละความแตกต่างของความสูงเฉลี่ยของท้องควันของตำแหน่งที่ 1 และ 2 เมื่อทำการลดขนาดของกริด

จากภาพที่ 19 พบว่า ที่ตำแหน่ง X = 39.25 m, Y = 6.25 m เมื่อลดขนาดของกริดลงจาก Grid I ไปเป็น Grid II ร้อยละความแตกต่างเฉลี่ยของอุณหภูมิของควันที่ระดับความสูง 1 m, 2 m, 3 m, 4 m และ 5 m จากพื้น มีค่าเท่ากับ 8.61%, 10.79%, 11.63%, 10.98% และ 9.74% ตามลำดับ โดยที่ตำแหน่งนี้ เมื่อลดขนาดของกริดลงจาก Grid II ไปเป็น Grid III ร้อยละความแตกต่างเฉลี่ยของอุณหภูมิของควันที่ระดับความสูง 1 m, 2 m, 3 m, 4 m และ 5 m จากพื้น มีค่าเท่ากับ 0.94%, 2.67%, 2.22%, 2.91% และ 4.90% ตามลำดับ และจากภาพที่ 20 พบว่าที่ตำแหน่งที่ 1 (ห้องที่ 12 : X = 39.25 m, Y = 15 m) และตำแหน่งที่ 2 (ห้องที่ 13 : X = 39.25 m, Y = 6.25 m) เมื่อลดขนาดของกริดลงจาก Grid I ไปเป็น Grid II ร้อยละความแตกต่างของความสูงเฉลี่ยของท้องควัน มีค่าเท่ากับ 33.14% และ 29.85% ตามลำดับ โดยที่ตำแหน่งที่ 1 และตำแหน่งที่ 2 เมื่อลดขนาดของกริดลงจาก Grid II ไปเป็น Grid III ร้อยละความแตกต่างของความสูงเฉลี่ยของท้องควัน มีค่าเท่ากับ 2.89% และ 3.87% ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การจำลองเมื่อเลือกขนาดของกริด เป็น Grid II อุณหภูมิของควันและความสูงเฉลี่ยของท้องควันจะไม่แตกต่างจากการจำลองเมื่อขนาดของกริด เป็น Grid III (แตกต่างน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์) กล่าวคือ ไม่ได้ทำให้ผลที่ได้จากการจำลองที่สภาวะคงตัวเปลี่ยนไปอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้การเลือกจำลองสถานการณ์เพลิงไหม้ที่ขนาดของกริดเป็น Grid II จะมีเวลาที่ใช้ในการประมวลผล (CPU Time) ลดลงจาก 49.15 ชั่วโมงเป็นใช้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เวลาเพียง 12.30 ชั่วโมง ดังนั้นขนาดกริด II จึงเป็นขนาดของกริดที่เหมาะสมที่สุดซึ่งจะเป็นขนาดกริดที่จะใช้ในการศึกษาวิจัยนี้ต่อไป

ในการจำลองสถานการณ์เพลิงไหม้ โดยใช้โปรแกรม FDS นั้น จำเป็นต้องมีการกำหนด Burner เพื่อกำหนดการจุดติดของไฟ โดย Burner ที่กำหนดนี้ได้กำหนดไว้ที่ขนาด 2x2x2 m^3 ในห้องที่ 13 ซึ่งมีความเป็นไปได้มากที่สุดที่จะเกิดการจุดติดของไฟเกิดขึ้น เนื่องจากภายในห้องนี้มีของเหลวไวไฟที่อยู่ในกระบวนการผสมสาร และในห้องดังกล่าวมีการถ่ายเทสารโดยใช้เครนซึ่งจะมีโอกาสที่ส่วนอุปกรณ์ต่างๆ ของเครนที่เป็นโลหะเกิดการกระทบกันแล้วทำให้เกิดประกายไฟและเกิดการจุดติดที่ห้องที่ 13 นี้ได้

การจำลองสถานการณ์เพลิงไหม้ในอาคารหลายวัตถุประสงค์นี้ (Auxilary Building) เมื่อ Burner เกิดการจุดติดไฟขึ้นมาแล้ว จากนั้นลักษณะหรือสภาพการลุกติดในส่วนที่เหลือต่อมาจะขึ้นกับคุณสมบัติการจุดติดไฟหรือคุณสมบัติการเกิดอัคคีภัยของพื้น ผนัง และส่วนที่เป็นฝ้าของอาคาร และโดยเฉพาะอย่างยิ่งคุณสมบัติการลุกติดไฟของสาร Butyl Acetate ที่เป็นของเหลวที่อยู่ภายในห้องที่ 13 และห้องที่ 12 เอง และจากการที่กำหนด Burner ไว้ในห้องที่ 13 จึงคาดว่าอุณหภูมิของควันไฟส่วนบน (Upper Layer Temperature) ของห้องที่ 13 จะเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นก่อนห้องที่ 12

ในการสร้างอาคารในแบบจำลอง สำหรับทั้งโปรแกรม FDS และโปรแกรม CFAST ได้กำหนดให้จุดที่พื้นของผนังด้านซ้ายมือของห้องที่ 1 เป็นจุดเริ่มต้นของอาคาร (x=0, y=0 , z=0) และในการสร้างแบบจำลองนี้ได้กำหนดตำแหน่งของอุปกรณ์ตรวจจับควัน ไว้ที่ความสูง 6 m เท่ากับสถานการณ์จริง โดยในเวลาที่อุณหภูมิที่อุปกรณ์ตรวจจับควันในห้องที่ 13 สามารถวัดอุณหภูมิได้ที่ 74°C ประตูกันไฟที่ส่วนหน้าของอาคารจะเลื่อนปิดอัตโนมัติ

ภายในโปรแกรม PyroSim ซึ่งเป็นเครื่องมือในการสั่งชุดคำสั่งสำหรับโปรแกรม FDS นั้นมีฐานข้อมูลคุณสมบัติทางด้านอุณหภูมิ (Thermal Properties) ของวัสดุต่างๆ (Material) ให้เลือกกำหนดเป็นคุณสมบัติของวัสดุของส่วนประกอบของห้องหรือสิ่งที่อยู่ภายในอาคารในระดับหนึ่ง โดยรายการวัสดุต่างๆ ที่โปรแกรม PyroSim มีข้อมูลคุณสมบัติทางด้านอุณหภูมิไว้ ดังแสดงในตารางที่ 8

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 8 วัสดุต่างๆ (Material) ที่ฐานข้อมูลของโปรแกรม Pyrosim มีกำหนดข้อมูลไว้แล้ว

ลำดับที่	วัสดุต่างๆ (Material)
1	CABLE
2	CALCIUM SILICATE
3	CERAMIC FIBER
4	CONCRETE
5	ETHANOL LIQUID
6	FERALOY
7	FIRE BRICK
8	FOAM
9	GYPSUM
10	GYPSUM PLASTER
11	INSULATION
12	MARINITE
13	NICKEL
14	PVC
15	STEEL
16	TILE MATERIAL
17	XLP
18	YELLOW PINE

จากฐานข้อมูลคุณสมบัติทางด้านอุณหภูมิ (Thermal Properties) ของวัสดุต่างๆ (Material) ที่มีกำหนดไว้แล้วในโปรแกรม PyroSim จะเห็นว่ามีทั้งในส่วนที่เป็นของแข็งและของเหลว อย่างไรก็ตาม ไม่พบของเหลวไวไฟ Butyl Acetate ในฐานข้อมูลคุณสมบัติทางด้านอุณหภูมิ (Thermal Properties) ของวัสดุต่างๆ (Material) ในโปรแกรม

โปรแกรม FDS ได้ออกแบบให้ผู้ใช้งานสามารถกำหนดคุณสมบัติทางด้านอุณหภูมิของวัสดุอื่นๆ ที่มีนอกเหนือจากฐานข้อมูลได้ โดยจำเป็นต้องมีข้อมูลคุณสมบัติทางด้านอุณหภูมิ และด้านการย่อยสลายด้วยความร้อน (Pyrolysis) ทั้งนี้ตารางที่ 9 แสดงคุณสมบัติทางด้านอุณหภูมิ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ที่ผู้ใช้งานต้องมี และตารางที่ 10 แสดงข้อมูลคุณสมบัติด้านการย่อยสลายด้วยความร้อน (Pyrolysis) เมื่อต้องการเพิ่มรายการวัสดุเพื่อใช้ในการจำลองสถานการณ์เพลิงไหม้ใน FDS

ตารางที่ 9 คุณสมบัติทางด้านอุณหภูมิที่ต้องมี เมื่อต้องการเพิ่มรายการวัสดุในการจำลองใน FDS

คุณสมบัติทางด้านอุณหภูมิที่ต้องมี	หน่วย
ค่าความหนาแน่น	Kg/m^3
ค่าความร้อนจำเพาะ	kJ/(kg.K)
ค่าการนำความร้อน	W/(m.K)
ค่าการแผ่รังสีความร้อน	ไม่มีหน่วย
ค่าสัมประสิทธิ์ของการดูดซับ	1/m

ตารางที่ 10 แสดงข้อมูลคุณสมบัติด้านการย่อยสลายด้วยความร้อน (Pyrolysis) เมื่อต้องการเพิ่มรายการวัสดุเพื่อใช้ในการจำลองสถานการณ์เพลิงไหม้ใน FDS

ข้อมูลคุณสมบัติด้านการย่อยสลายด้วยความร้อน (Pyrolysis)	หน่วย
Heat of Combustion	kJ/kg
Boiling Temperature	$^{\circ}C$
Initial Vapor Flux	$m^2/(sm^2)$
Heat of Vaporization	kJ/kg
Fuel Vapor Yield	ไม่มีหน่วย
Water Vapor Yield	ไม่มีหน่วย
Residue Yield	ไม่มีหน่วย

อาคารที่ใช้เพื่อการศึกษาวิจัยนี้มีการใช้ของเหลวไวไฟ Butyl Acetate จากตารางที่ 8 พบว่า ของเหลวไวไฟ Butyl Acetate ไม่ได้เป็นรายการวัสดุที่มีอยู่แล้วในโปรแกรม FDS เพื่อให้จำลองสถานการณ์ได้ใกล้เคียงกับความจริงมากที่สุด การจำลองเหตุการณ์เพลิงไหม้ของอาคารแห่งนี้จำเป็นที่จะต้องมีข้อมูลคุณสมบัติทางด้านอุณหภูมิ และด้านการย่อยสลายด้วยความร้อน (Pyrolysis) ตามตารางที่ 9 และ 10 สำหรับของเหลวไวไฟ Butyl Acetate และเพิ่มคุณสมบัติดังกล่าวสำหรับ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

รายการวัสดุ ของเหลวไวไฟ Butyl Acetate ในรายการวัสดุในโปรแกรม FDS อย่างไรก็ตามจากการตรวจค้นข้อมูลพบว่ามีข้อจำกัดของข้อมูล โดยตรวจพบว่ามีข้อมูลคุณสมบัติทางด้านอุณหภูมิ ดังตารางที่ 9 และ 10 สำหรับของเหลวไวไฟ Butyl Acetate ในบางรายการ การเพิ่มรายการวัสดุของเหลวไวไฟ Butyl Acetate เพื่อจำลองสถานการณ์เพลิงไหม้ของอาคารนี้จึงจำเป็นต้องเลือกใช้ของเหลวไวไฟ Ethanol Liquid หรือ Ethyl Alcohol ซึ่งเป็นรายการวัสดุที่มีอยู่ในฐานข้อมูลของโปรแกรมที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับของเหลวไวไฟ Butyl Acetate มากที่สุด (ตารางที่ 11) และนำข้อมูลคุณสมบัติของของเหลวไวไฟ Butyl Acetate บางรายการที่พบกรอกเพิ่มไว้ในฐานข้อมูล โดยข้อมูลคุณสมบัติของของเหลวไวไฟ Butyl Acetate บางรายการที่ตรวจค้นไม่พบนั้นขอเลือกใช้ข้อมูลคุณสมบัติของของเหลวไวไฟ Ethanol Liquid หรือ Ethyl Alcohol ซึ่งเป็นรายการวัสดุที่โปรแกรมมีคุณสมบัติกำหนดไว้แล้วที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับของเหลวไวไฟ Butyl Acetate มากที่สุดแทน และหน้าจอ โปรแกรม PyroSim ที่แสดงรายละเอียดฐานข้อมูลคุณสมบัติทางด้านอุณหภูมิ และด้านการย่อยสลายด้วยความร้อน (Pyrolysis) ของ Ethanol Liquid และ Butyl Acetate ดังแสดงไว้ในภาพที่ 21, 22 , 23 และ 24 ตามลำดับ โดยคุณสมบัติที่กำหนดไว้สำหรับของเหลวไวไฟ Butyl Acetate ที่จะมีการนำไปใช้กำหนดรายการวัสดุเพื่อกำหนดเป็นของเหลวไวไฟในอาคารต่อไป ได้แสดงไว้ในตารางที่ 12

ตารางที่ 11 ตารางแสดงคุณสมบัติเปรียบเทียบระหว่าง Butyl Acetate และ Ethanol

ชื่อทางเคมี	Butyl Acetate	Ethanol, Ethyl Alcohol
CAS No.	123-86-4	64-17-5
UN Number	1123	1170,1986,1987
สูตรโมเลกุล	$C_6H_{12}O_2$	C_2H_6O
น้ำหนักโมเลกุล	116.18	46.07
ค่าความถ่วงจำเพาะ (น้ำ = 1)	0.88	0.789
ค่าความดันไอ (mmHg)	15 ที่ 25 $^{\circ}$C	43
ค่าความหนาแน่นไอ (อากาศ=1)	4	1.6
ค่าความหนาแน่น	880 Kg/m^3	787 Kg/m^3
ค่าความร้อนจากการเผาไหม้	30,540 kJ/kg	26,880 kJ/kg
จุดเดือด	126 $^{\circ}$C	76 $^{\circ}$C
จุดวาบไฟ	26 $^{\circ}$C	13 $^{\circ}$C

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

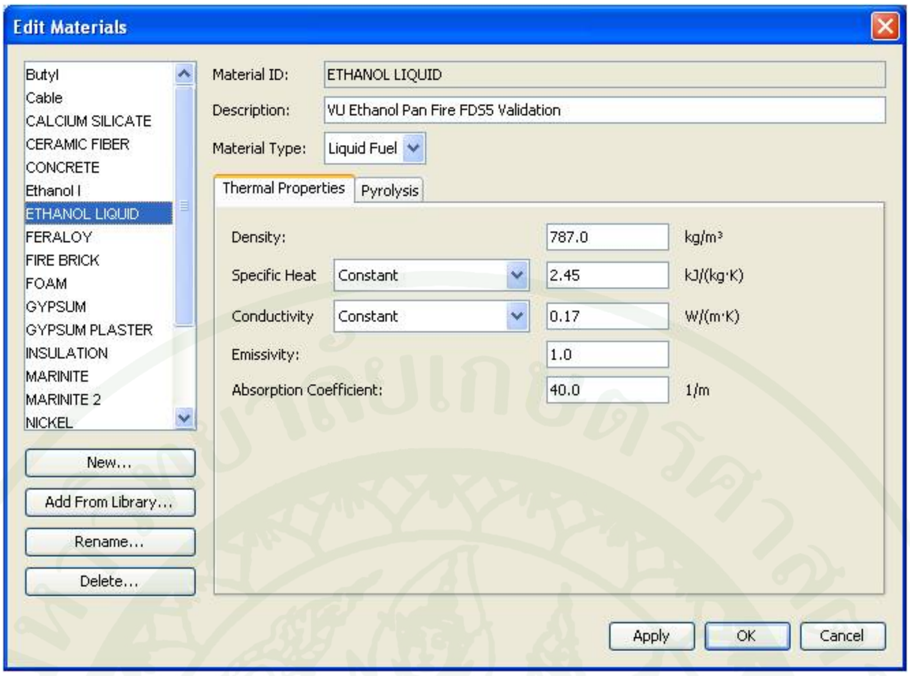
ตารางที่ 11 (ต่อ)

ชื่อทางเคมี	Butyl Acetate	Ethanol, Ethyl Alcohol
จุดลุกติดไฟได้เอง	425 °C	363 °C
%LEL	1.6	3.3
%UEL	7.6	19
NFPA Fire Hazard Rating	3	3

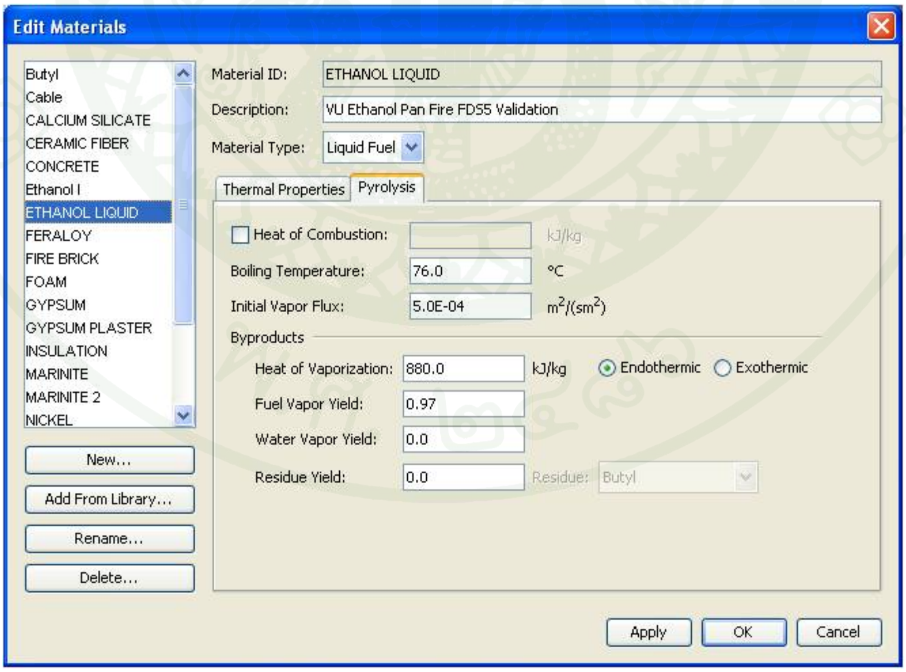
ตารางที่ 12 คุณสมบัติทางด้านอุณหภูมิและคุณสมบัติด้านการย่อยสลายด้วยความร้อน (Pyrolysis) ที่กำหนดสำหรับของเหลวไวไฟ Butyl Acetate เพื่อการจำลองเพลิงไหม้ด้วยโปรแกรม FDS

รายการคุณสมบัติ	**ปริมาณ**	**ที่มา / แหล่งข้อมูล**
ค่าความหนาแน่น	880 Kg/m^3	www.cameochemicals.noaa.gov
ค่าความร้อนจำเพาะ	2.45 kJ/(kg.K)	Ethanol Liquid
ค่าการนำความร้อน	0.17 W/(m.K)	Ethanol Liquid
ค่าการแผ่รังสีความร้อน	1.0	Ethanol Liquid
ค่าสัมประสิทธิ์ของการดูดซับ	40.0 1/m	Ethanol Liquid
ค่าความร้อนจากการเผาไหม้	30,540 kJ/kg	www.cameochemicals.noaa.gov
จุดเดือด	126 °C	www.cameochemicals.noaa.gov
Initial Vapor Flux	0.005 $m^2/(sm^2)$	Ethanol Liquid
Heat of Vaporization	880 kJ/kg	Ethanol Liquid
Fuel Vapor Yield	0.97	Ethanol Liquid
Water Vapor Yield	0.00	Ethanol Liquid
Residue Yield	0.00	Ethanol Liquid

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

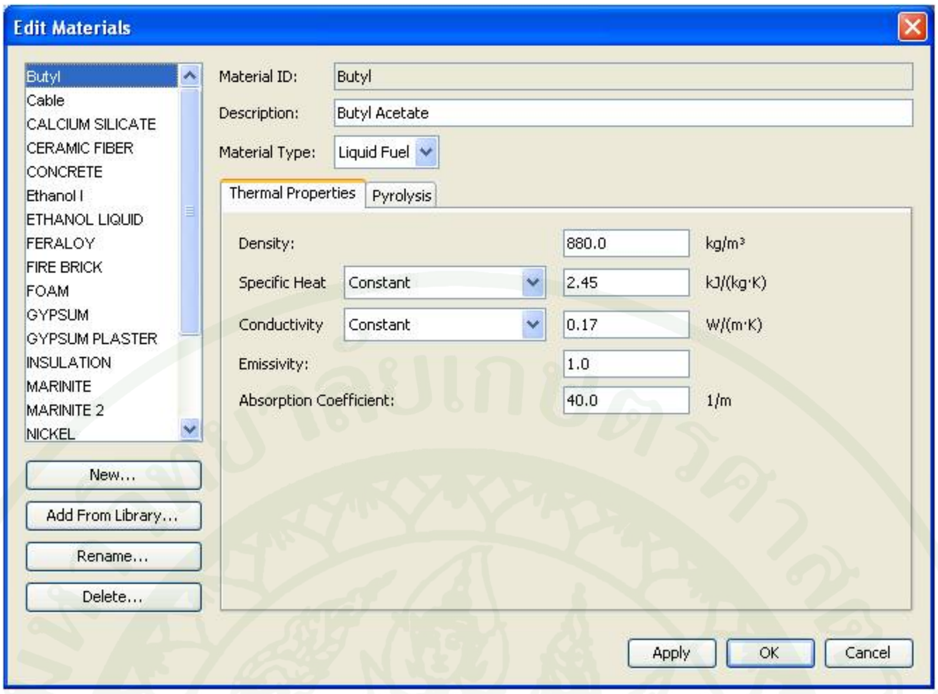


ภาพที่ 21 หน้าจอ โปรแกรม PyroSim ที่แสดงรายละเอียดฐานข้อมูลคุณสมบัติทางด้านอุณหภูมิ ของ Ethanol Liquid

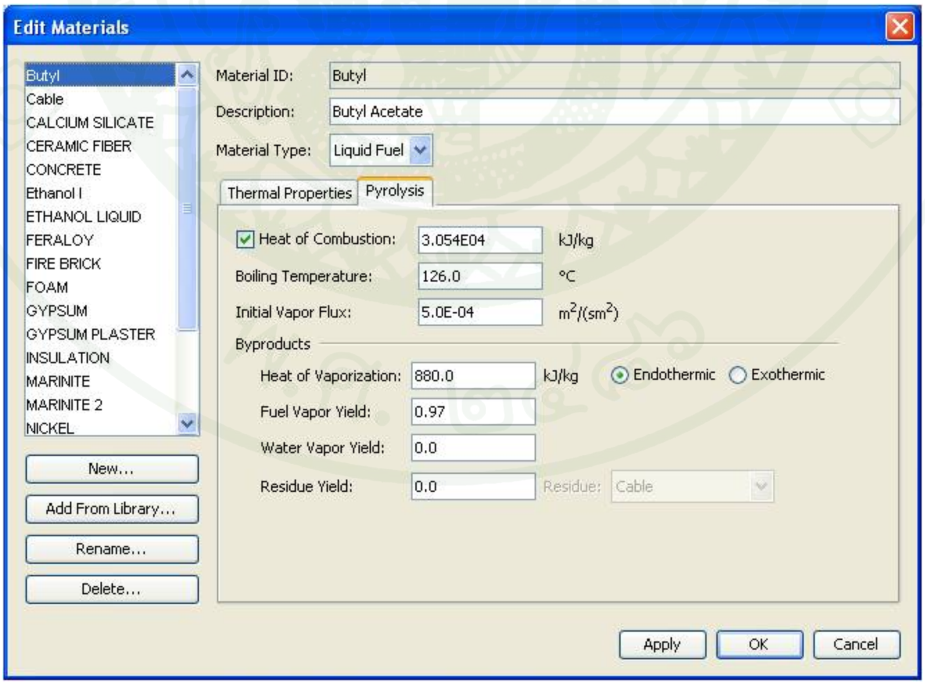


ภาพที่ 22 หน้าจอ โปรแกรม PyroSim ที่แสดงรายละเอียดฐานข้อมูลคุณสมบัติทางด้านการย่อยสลายด้วยความร้อน (Pyrolysis) ของ Ethanol Liquid

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 23 หน้าจอ โปรแกรม PyroSim ที่แสดงรายละเอียดฐานข้อมูลคุณสมบัติทางด้านอุณหภูมิ ของ Butyl Acetate



ภาพที่ 24 หน้าจอ โปรแกรม PyroSim ที่แสดงรายละเอียดฐานข้อมูลคุณสมบัติทางด้านการย่อยสลายด้วยความร้อน (Pyrolysis) ของ Butyl Acetate

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การสร้างสถานการณ์จำลองเพลิงไหม้ด้วยโปรแกรม FDS ได้ผลอุณหภูมิของควันไฟส่วนบน (Upper Layer Temperature) และความสูงของท้องควันไฟ (Smoke Layer Height) ดังจะกล่าวต่อไปในหัวข้อ “ผลและการวิจารณ์”

ทั้งนี้ในการนำข้อมูลของอาคารหลายวัตถุประสงค์ (Auxilary Building) เพื่อนำไปจำลองเหตุเพลิงไหม้ ด้วยโปรแกรม CFAST ก่อนที่จะนำผลอุณหภูมิของควันไฟส่วนบน (Upper Layer Temperature) และความสูงของท้องควันไฟ (Smoke Layer Height) ที่ได้เปรียบเทียบกับผลที่ได้จากโปรแกรม FDS นั้น อนึ่งความแตกต่างที่เป็นพื้นฐานสำคัญของทั้งสองโปรแกรม ก็คือ โปรแกรม FDS เป็นโปรแกรมจำลองแบบ Fileld Model โดยที่โปรแกรม CFAST เป็นโปรแกรมจำลองแบบ Zone Model

ในโปรแกรม CFAST ออกแบบให้ผู้ใช้งานกำหนดชนิดของผนัง พื้น ฝ้าของห้องได้ และให้กำหนดชนิดของวัตถุต่างๆ ที่จะอยู่ภายในห้องได้ โดยโปรแกรม CFAST จะมีฐานข้อมูลคุณสมบัติทางความร้อนไว้ให้ผู้ใช้งานได้เลือกใช้เช่นเดียวกับโปรแกรม FDS วัสดุต่างๆ ที่มีไว้ให้ผู้ใช้งานเลือก ดังตารางที่ 13

ตารางที่ 13 วัสดุต่างๆ (Material) ที่ฐานข้อมูลของโปรแกรม CFAST มีกำหนดข้อมูลไว้แล้ว

ลำดับที่	รายการวัสดุ (Materials)
1	Aluminum Tile (1/8 in)
2	Aluminum (1/8 in)
3	Aluminum Alloy 2024-t6 (1/8 in)
4	Brick, Clay (3 in)
5	Brick, Common (3 in)
6	Calcium Silicate Board (1/2 in)
7	Cellulose Insulation, wood Paper Pulp (3.5 in)
8	Cement Mortar (1 in)
9	Concrete, Light Weight (6 in)
10	Concrete, Normal Weight (6 in)
11	Concrete/gypsum composite

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 13 (ต่อ)

ลำดับที่	รายการวัสดุ (Materials)
12	Default Material
13	Firebrick
14	Firebrick/concrete layered construction
15	Glass Fiber, Coated, Duct Liner (1/2 in)
16	Glass Fiber, Insulation (3.5 in)
17	Glass Fiber, Organic Bonded (1/2 in)
18	Glass Fiber, Poured or Blown (1/2 in)
19	Gypsum Board (1/2 in)
20	Gypsum Board (3/4 in)
21	Gypsum Board (5/8 in)
22	Gypsum Board, Type X (3/4 in)
23	Gypsum Board, Type X (5/8 in)
24	Gypsum/glass composite
25	Gypsum/marinate layered construction
26	Hardboard, High Density (1/2 in)
27	Hardboard, Siding (1/2 in)
28	Maranite/concrete layered construction
29	Methane, a transparent gas (CH4)
30	Mineral Fiber Insulation (1/2 in)
31	Oil, Unused (1/4 in)
32	Particle Board, High Density (1/2 in)
33	Particle Board, Low Density (1/2 in)
34	Plate Glass (1/4 in)
35	Plywood (1/2 in)
36	Sheathing, Regular Density (1/2 in)
37	Steel, 304 Stainless (1/8 in)
38	Steel, Plain Carbon (1/16 in)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 13 (ต่อ)

ลำดับที่	รายการวัสดุ (Materials)
39	Steel, Plain Carbon (1/8 in)
40	Steel, Plain Carbon (3/8 in)
41	Urethane Insulation, Two-Part Mixture, Rigid Foam (1/2 in)
42	Vermiculite, Flakes (1/4 in)
43	Wood Board, Shredded/Cemented (1/2 in)
44	Wood, Hardwoods (oak, maple) (3/4 in)
45	Wood, Softwoods (fir, pine) (3/4 in)

การกำหนดวัตถุหรือสิ่งของต่างๆ ภายในห้องในการจำลองด้วยโปรแกรม CFAST นั้นจะเรียกวัตถุหรือสิ่งของต่างๆ เหล่านั้นว่า Fire Object โดยในฐานข้อมูลโปรแกรม CFAST มีรายการวัตถุหรือสิ่งของต่างๆ ที่ผู้ใช้งานอาจเลือกใช้ ดังตารางที่ 14

ตารางที่ 14 แสดงวัตถุหรือสิ่งของต่างๆ ที่มีให้เลือกในโปรแกรม CFAST

ลำดับที่	รายการวัตถุหรือสิ่งของ (Fire Objects)
1	3 panel workstation
2	bunkbed
3	bunsen
4	curtains
5	kiosk
6	mainfire
7	mattress and boxspring
8	sofa
9	TV set
10	Upholstered_Chair
11	wardrobe
12	Wood_Wall

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จากรายการวัตถุหรือสิ่งของต่างๆ และฐานข้อมูลคุณสมบัติทางด้านอุณหภูมิของวัสดุที่มีของโปรแกรม CFAST พบว่าไม่มีของเหลวไวไฟ Butyl Acetate หรือ Ethyl Alcohol ที่การศึกษาวิจัยนี้ ได้เลือกใช้แทน Butyl Acetate ในการจำลองเหตุเพลิงไหม้ด้วยโปรแกรม FDS ทั้งนี้โปรแกรม CFAST ได้ออกแบบมาให้ผู้ใช้งานสามารถเพิ่มเติมคุณสมบัติทางอุณหภูมิของวัสดุชนิดอื่นๆ นอกเหนือจากที่มีกำหนดไวในฐานข้อมูลของโปรแกรมได้เช่นเดียวกันกับโปรแกรม FDS โดยข้อมูลจำเป็นสำหรับการกำหนดคุณสมบัติทางอุณหภูมิของวัสดุที่จำเป็นต้องทราบสำหรับการใช้งานโปรแกรม CFAST ดังแสดงในตารางที่ 15

ตารางที่ 15 คุณสมบัติทางด้านอุณหภูมิที่ต้องมี เมื่อต้องการเพิ่มรายการวัตถุ ใน CFAST

คุณสมบัติทางด้านอุณหภูมิที่ต้องมี	**หน่วย**
ค่าความหนาแน่น	Kg/m3
ค่าความร้อนจำเพาะ	kJ/(oC)
ค่าการนำความร้อน	W/(m.K)
ค่าการแผ่รังสีความร้อน	ไม่เกี่ยวข้อง
ความหนาของวัสดุ	m

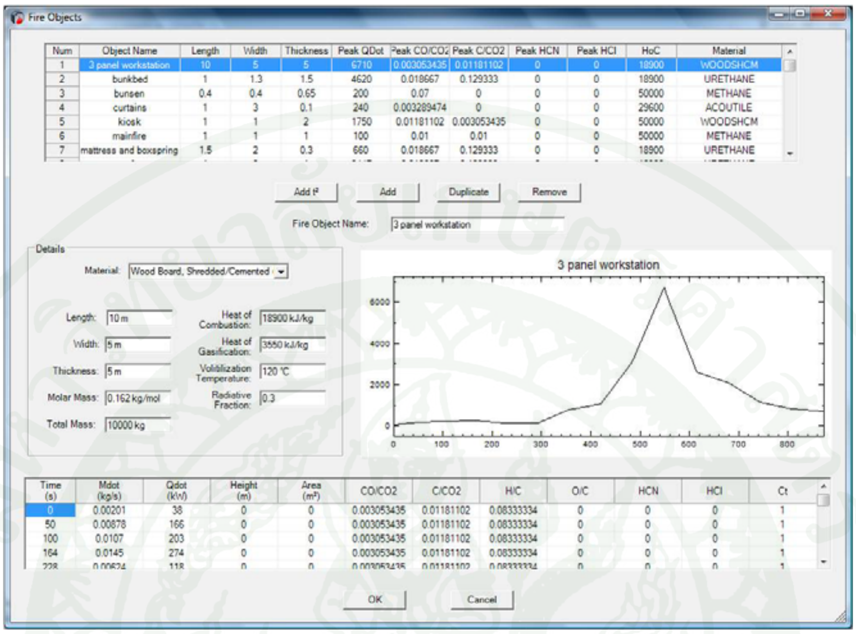
และด้วยข้อจำกัดเดิมที่ขาดข้อมูลคุณสมบัติทางอุณหภูมิของ Butyl Acetate และ Ethyl Alcohol จึงทำให้ไม่สามารถเพิ่มวัตถุลงไปในโปรแกรม CFAST ได้ ทั้งนี้โปรแกรม CFAST เองมีคำสั่งที่สามารถกำหนดไฟเพิ่มได้โดยการกำหนดจากอัตราการปล่อยความร้อน (Heat Release Rate) โดยสามารถพิจารณากราฟอัตราการปล่อยความร้อน (Heat Release Rate) ที่เกิดจากเพลิงไหม้ในสถานการณ์หนึ่งๆ แล้วนำอัตราการปล่อยความร้อนนั้นๆ ให้อยู่ในรูป T^2 Fire ซึ่งเทียบเท่าได้ว่าเป็นการจำลองเหตุเพลิงไหม้ด้วยเพลิงประเภทเดียวกันกับโปรแกรม FDS ได้

T-Squared Fire

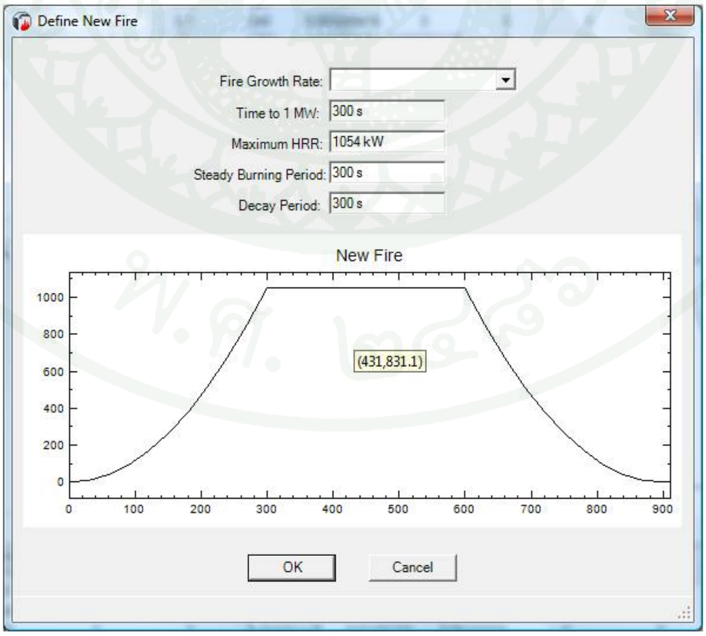
สำหรับไฟรูปแบบต่างๆ นั้น การขยายตัวของไฟ (Fire Growth) สามารถแสดงได้อย่างถูกต้องแม่นยำด้วยความสัมพันธ์ตามกฎเลขยกกำลัง (Power Law) ในรูปของ $\dot{Q} = \alpha t^2$ โดย $\dot{Q}$ คือ อัตราการปลดปล่อยความร้อนของไฟ (Heat Release Rate) และ α คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความหนาแน่นของไฟ (Fire Intensity Coefficient) และ t คือ เวลา

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สำหรับวิธีการและรายละเอียดเพื่อการกรอกข้อมูล (Input) ของ T-Squared Fire แสดงไว้ในภาพที่ 25 และ 26



ภาพที่ 25 การกำหนดคุณลักษณะของวัสดุเพิ่ม ในโปรแกรม CFAST



ภาพที่ 26 การกำหนด T-Squared Fire

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อัตราการขยายตัวของไฟ (Fire Growth Rate)

ในการกำหนดอัตราการขยายตัวของไฟนั้น T-Squared Fire มีอัตราการขยายตัว 5 ประเภทกัน ให้เลือกระบุได้ ได้แก่ อัตราการขยายตัวช้า (Slow) ปานกลาง (Medium) และรวดเร็ว (Fast) พร้อมกับค่าสัมประสิทธิความหนาแน่น (Intensity Coefficient) (α) ซึ่งอัตราการขยายตัวช้า (Slow) ปานกลาง (Medium) และรวดเร็ว (Fast) ดังกล่าว หมายความว่า ไฟจะมีความร้อนที่ 1054 kW (1000 BTU/s) ได้ในระยะเวลา 600 วินาที 300 วินาที และ 150 วินาที ตามลำดับ จากนั้น เส้นโค้ง (Curve) แสดงการขยายตัวของไฟแต่ละระดับเหล่านี้ และรวมทั้งเส้นโค้ง (Curve) ของไฟประเภทที่สี่ ซึ่งมีชื่อว่า “อัตราการขยายตัวแบบรวดเร็วพิเศษ” (Ultra-fast) ซึ่งไฟจะมีความร้อนที่ 1054 kW ได้ภายใน 75 วินาที จะสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการออกแบบระบบการป้องกันอัคคีภัยโดยทั่วไปได้ ซึ่งผู้ใช้สามารถเลือกอัตราการขยายตัวของไฟเหล่านี้แต่ละอัตราได้ (พร้อมกับอัตราการลดลงของไฟ หรือ Decay Rate) และสำหรับการเลือกไฟประเภทที่ห้า ซึ่งผู้ใช้สามารถกำหนดคุณลักษณะของไฟได้นั้น จะช่วยให้ผู้ใช้สามารถกำหนดอัตราการขยายตัวหรืออัตราการลดลงของไฟตามที่ต้องการได้

ระยะเวลาที่ไฟจะเกิดความร้อนที่ 1 MW: (หน่วยที่กำหนดไว้ : วินาที, ค่าที่กำหนดไว้: 300 วินาที)

ระยะเวลาที่ไฟจะมีขนาดความร้อนของไฟเท่ากับ 1054 kW (1000 BTU) สำหรับไฟที่มีอัตราการขยายตัวช้า ปานกลาง รวดเร็ว และรวดเร็วพิเศษนั้น ค่าเวลาดังกล่าวนี้จะเท่ากับ 600, 300, 150 และ 75 วินาที ตามลำดับ

อัตราการปลดปล่อยความร้อนสูงสุด: (หน่วยที่กำหนดไว้: kW, ค่าที่กำหนดไว้: 1054 kW)

อัตราการปลดปล่อยความร้อนสูงสุดของ T-Squared Fire ทั้งนี้ ขนาดของไฟนั้นจะมีค่าคงที่โดยจะเริ่มต้นจากช่วงเวลาหนึ่งๆ ที่ตรงกับช่วงเวลาที่ไฟมีความร้อนที่ 1MW ดังสมการ $t = \sqrt{\dot{Q}_{peak} / \left(1054 / t_{1MW}^2\right)}$ และจะมีค่าดังกล่าวนั้นเรื่อยไปเป็นระยะเวลาตามที่ระบุไว้ในระยะเวลาการเผาไหม้คงที่ (Steady Burning Period) ที่จะระบุต่อไป

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ระยะเวลาการเผาไหม้คงที่ (Steady Burning Period): (หน่วยที่กำหนดไว้ : วินาที, ค่าที่กำหนดไว้ : 300 วินาที)

ระยะเวลาที่ไฟมีการเผาไหม้ต่อเนื่องในอัตราที่ระบุไว้ตามอัตราการปลดปล่อยความร้อนสูงสุดข้างต้น

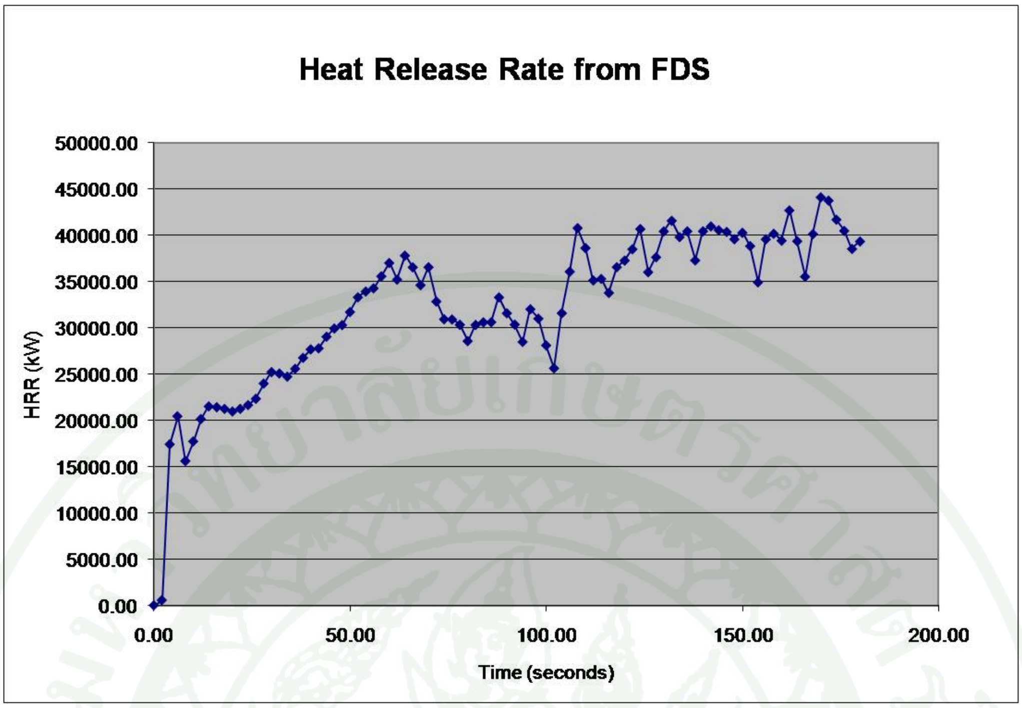
ระยะเวลาที่มีการลดขนาดลงของไฟ (Decay Period): (หน่วยที่กำหนดไว้ : วินาที, ค่าที่กำหนดไว้ : 300 วินาที)

ระยะเวลาที่ไฟจะลดขนาดลงกลับไปยังค่าศูนย์ การลดขนาดลงของไฟนี้จะแปรผกผันกับค่าอัตราการขยายตัวของไฟ T-Squared Fire

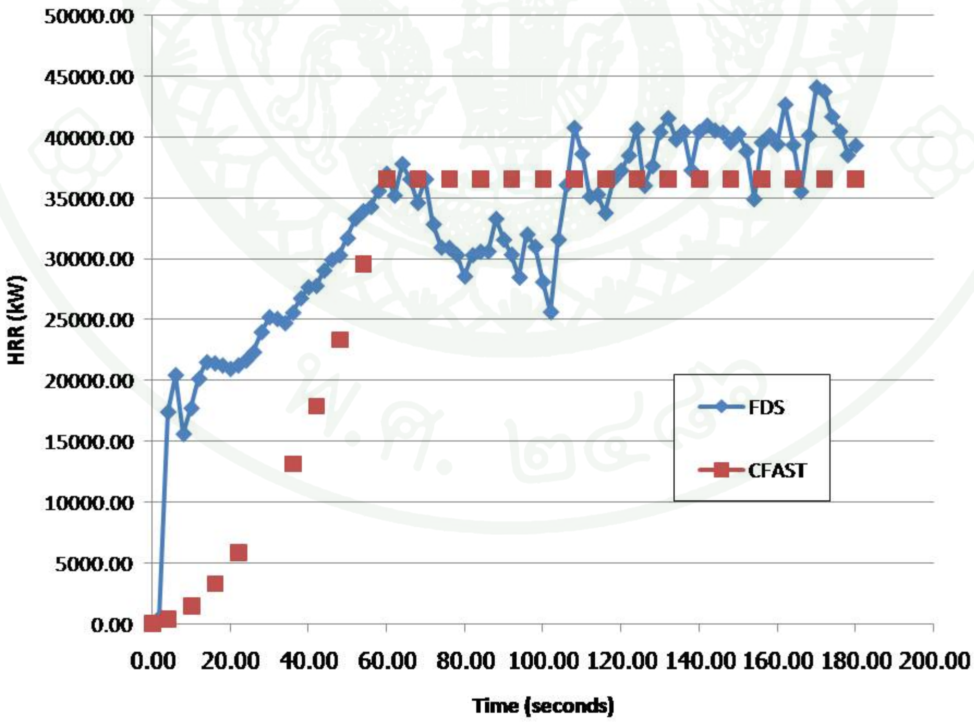
สำหรับ T-Squared Fire นั้น จะมีการคำนวณค่าต่างๆ สำหรับตัวแปรที่แปรผันตามเวลา (Time Dependent Variables) ซึ่งรวมทั้งค่าเดิมสำหรับการสร้างหรือเกิดขึ้นของสสารต่างๆ (Species) สำหรับข้อมูลที่กรอก (Input) ทั้งหมดนั้น ค่าเหล่านี้สามารถเปลี่ยนแปลงได้ สำหรับตัวแปรที่แปรผันตามเวลา (Time Dependent Variables) ทั้งหมดนั้นจะเป็นไปตามเส้นเวลา (Time Line) ที่กำหนดไว้ล่วงหน้า ข้อมูลที่กรอกที่เป็นเวลา (Time Input) จะเป็นตัวระบุลำดับของจุดเวลา (Time Points) ซึ่งจะทำหน้าที่กำหนดระยะเวลา ของไฟ ค่าที่กรอกจะแสดงจุดหนึ่งๆ บนเส้นเวลา (Time Line) เมื่อมีการระบุอัตราการสูญเสียมวล (Mass Loss Rate) ความสูงของเชื้อเพลิง (Fuel Height) และค่าอื่นๆ ที่แปรผันตามเวลา

ด้วยความสามารถของโปรแกรม CFAST ที่สามารถระบุ T-Squared Fire ได้ ดังนั้น การศึกษาวิจัยเพื่อเปรียบเทียบนี้ จึงจะนำอัตราการปล่อยความร้อน (Heat Release Rate) ที่ได้ผลจากการจำลองเหตุเพลิงไหม้ด้วยโปรแกรม FDS มากำหนดในรูป T^2 Fire สำหรับการจำลองในโปรแกรม CFAST เพื่อนำผลที่ได้จากโปรแกรม CFAST มาเปรียบเทียบกับโปรแกรม FDS โดยภาพที่ 27 แสดงอัตราการปล่อยความร้อน (Heat Release Rate) ที่ได้จากโปรแกรม FDS ตารางที่ 16 เป็นที่กำหนดรายละเอียด T2 Fire สำหรับการนำไปจำลองเหตุเพลิงไหม้ในอาคารเดียวกันด้วยโปรแกรม CFAST และภาพที่ 28 แสดงอัตราการปล่อยความร้อน (Heat Release Rate) ที่กำหนดในโปรแกรม CFAST เมื่อเทียบกับโปรแกรม FDS

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 27 แสดงอัตราการปล่อยความร้อน (Heat Release Rate) ที่ได้จากโปรแกรม FDS



ภาพที่ 28 แสดงอัตราการปล่อยความร้อน (Heat Release Rate) ที่กำหนดในโปรแกรม CFAST เมื่อเทียบกับโปรแกรม FDS

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 16 รายละเอียดสำหรับการกำหนด T^2 Fire เพื่อการจำลองเหตุเพลิงไหม้ในโปรแกรม CFAST

รายละเอียด	ปริมาณ
เวลาที่เพลิงมีขนาด 1MW (seconds)	3 seconds
ขนาด HRR สูงสุด (kW)	58000 kW
เวลาที่เพลิงเข้าสู่งสถานะคงตัว (Steady State) (seconds)	160 seconds
เวลาที่เพลิงเริ่มลดขนาดลง (seconds)	200 seconds

ในการสร้าง T^2 Fire สำหรับการจำลองเหตุเพลิงไหม้ในโปรแกรม CFAST มีวัตถุประสงค์เพื่อให้การเปรียบเทียบกันระหว่างผลที่ได้จากโปรแกรม FDS และ CFAST นี้อยู่บนพื้นฐานข้อมูลสภาพแวดล้อมต่างๆ ก่อนเกิดเพลิงไหม้ที่เหมือนกันและเท่ากันมากที่สุด โดยความแตกต่างที่อาจพบได้นั้น เป็นความแตกต่างที่เกิดจากการประมวลผลระหว่างโปรแกรม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลและวิจารณ์

ผล

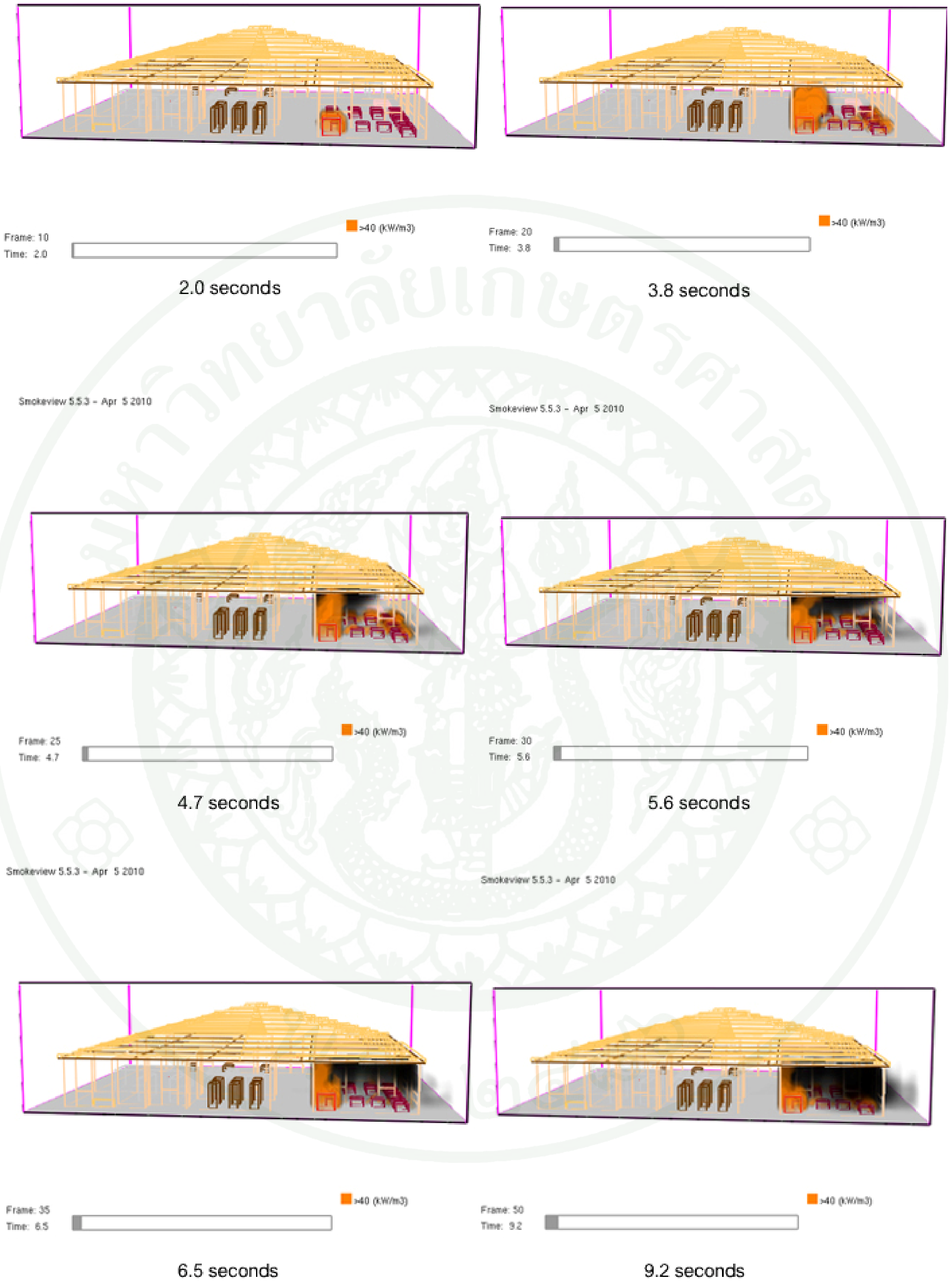
การจำลองด้วยโปรแกรม FDS และ CFAST สามารถให้ผลที่แสดงถึงสภาพแวดล้อมเมื่อเกิดเพลิงไหม้ในการจำลองได้หลายค่า โดยค่าที่ได้รับความสนใจเป็นสำคัญ คืออุณหภูมิของควันไฟและความสูงของท้องควัน เพราะสื่อให้เห็นถึงความรุนแรงของเพลิงที่มีผลกระทบต่อผู้อยู่อาศัยในอาคารมากที่สุด ค่าอุณหภูมิของควันไฟที่จะทราบได้จากการจำลองด้วยโปรแกรม FDS และ CFAST นั้น ประกอบไปด้วย อุณหภูมิของควันไฟส่วนบน (Upper Layer Temperature) และอุณหภูมิของควันไฟส่วนล่าง (Lower Layer Temperature) และเนื่องจากโดยธรรมชาติแล้ว อุณหภูมิของควันไฟส่วนบน (Upper Layer Temperature) จะมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิของควันไฟส่วนล่าง (Lower Layer Temperature) และเป็นอุณหภูมิที่แสดงถึงความรุนแรงของเพลิงไหม้ที่เกิดขึ้น ได้รับการยอมรับว่าเป็นตัวแทนของเหตุเพลิงไหม้สถานการณ์นั้นๆ มากกว่าอุณหภูมิของควันไฟส่วนล่าง (Lower Layer Temperature) ดังนั้นการศึกษาวิจัยนี้จึงให้ความสำคัญของการเปรียบเทียบอุณหภูมิของควันไฟส่วนบน (Upper Layer Temperature) และความสูงของท้องควันไฟ (Smoke Layer Height)

การศึกษาวิจัยนี้ให้ความสนใจไปที่ห้องกวนสารสูตร Butyl Base (ห้องที่ 12) ห้องผสมสารสูตร Butyl Base (ห้องที่ 13) และห้องกระบวนการผลิตที่มีการใช้สารปรอท (ห้องที่ 3) ว่ามีอุณหภูมิของควันไฟส่วนบน (Upper Layer Temperature) และความสูงของท้องควันไฟ (Smoke Layer Height) เป็นเท่าใด และการใช้จำลองด้วยโปรแกรม CFAST ได้ผลแตกต่างไปจากผลที่ได้จากโปรแกรม FDS มากน้อยเพียงใด

ผลการจำลองด้วยโปรแกรม FDS

พฤติกรรมการแพร่กระจายความร้อนและควันภายในอาคาร ดังแสดงในภาพที่ 29, 30, 31 และ 32

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

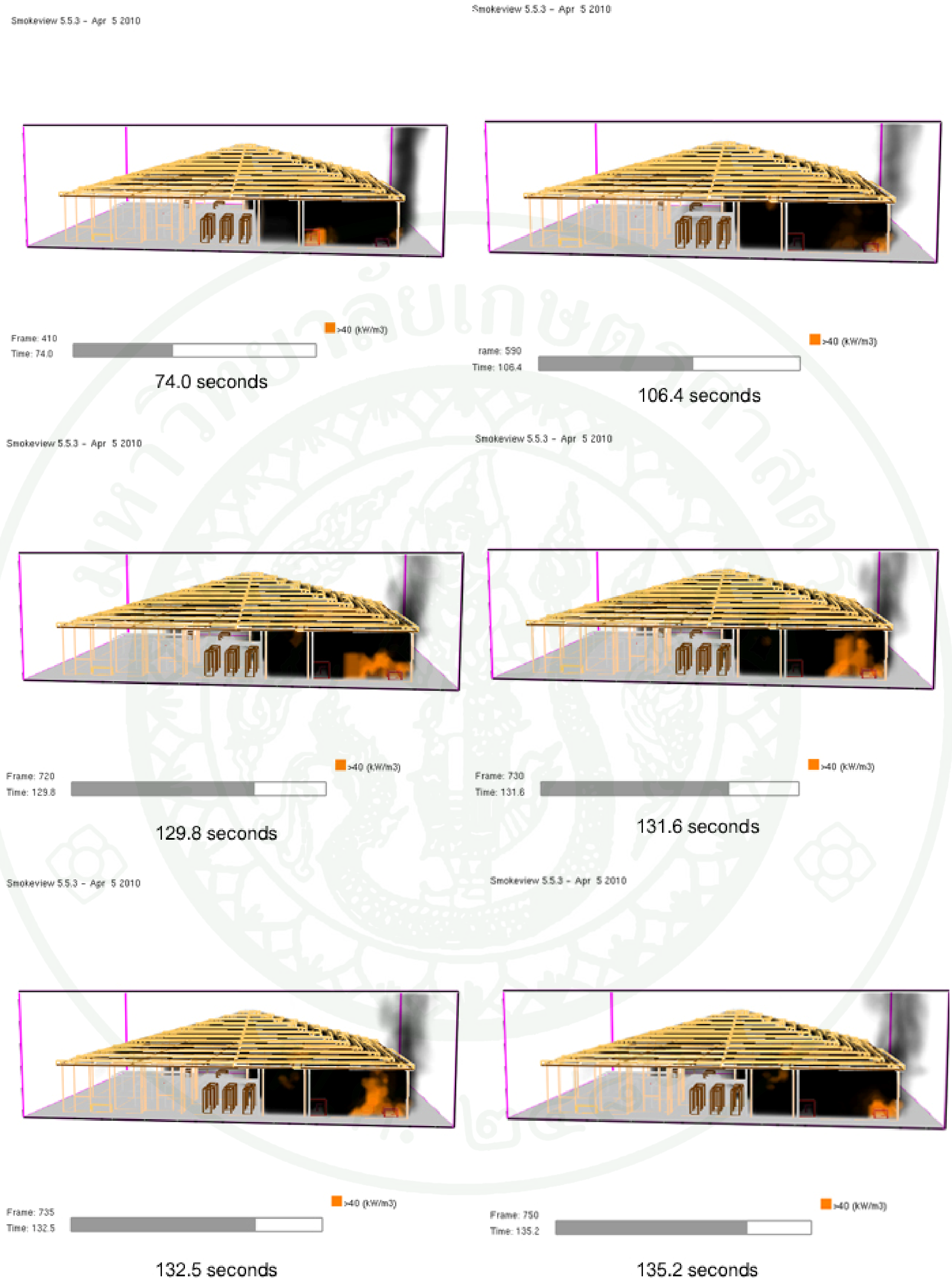


ภาพที่ 29 แสดงพฤติกรรมการแพร่กระจายของความร้อนและควัน เมื่อจำลองด้วยโปรแกรม FDS ช่วงก่อน 9.2 วินาที

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

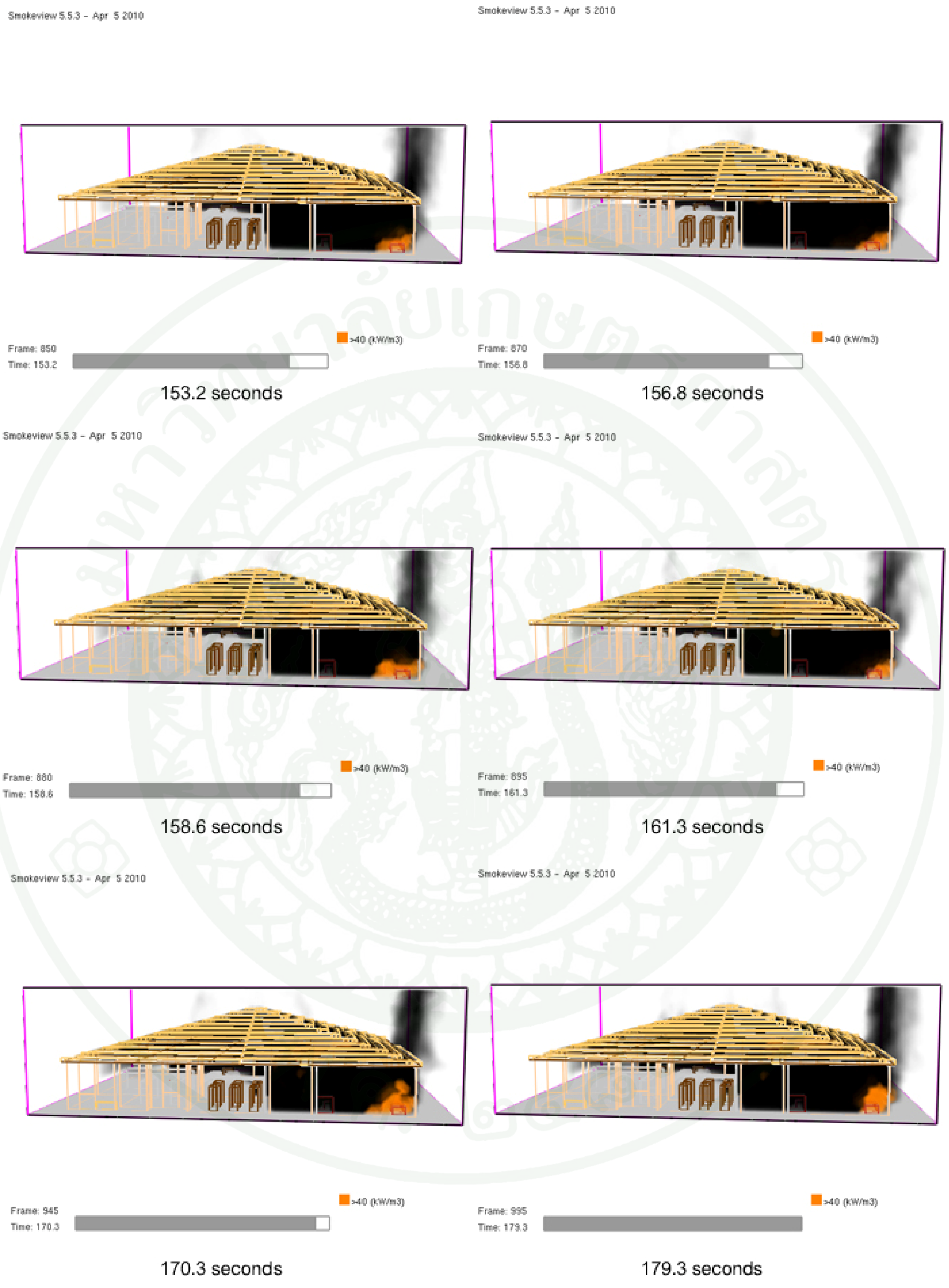
ภาพที่ 30 แสดงพฤติกรรมการแพร่กระจายของความร้อนและควัน เมื่อจำลองด้วยโปรแกรม FDS ช่วง 12.8 – 70.4 วินาที

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 31 แสดงพฤติกรรมการแพร่กระจายของความร้อนและควัน เมื่อจำลองด้วยโปรแกรม FDS ช่วง 74.0 – 135.2 วินาที

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

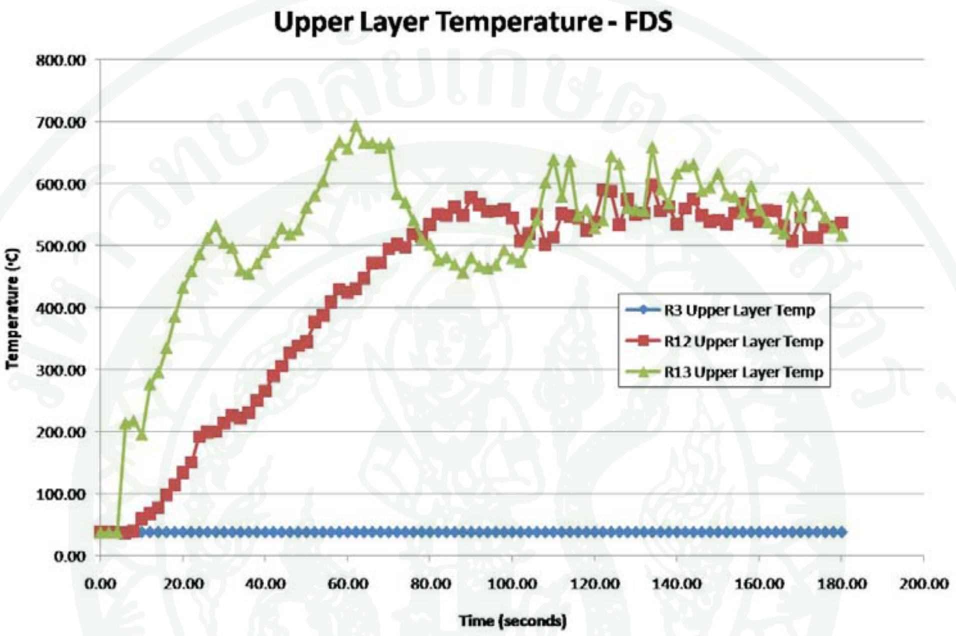


ภาพที่ 32 แสดงพฤติกรรมการแพร่กระจายของความร้อนและควัน เมื่อจำลองด้วยโปรแกรม FDS ช่วงหลังจาก 153.2 วินาที

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อุณหภูมิของควันไฟส่วนบน (Upper Layer Temperature)

อุณหภูมิของควันไฟส่วนบน (Upper Layer Temperature) ของห้องที่ 3 , 12 และ 13 ที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรม FDS แสดงผลดังภาพที่ 33

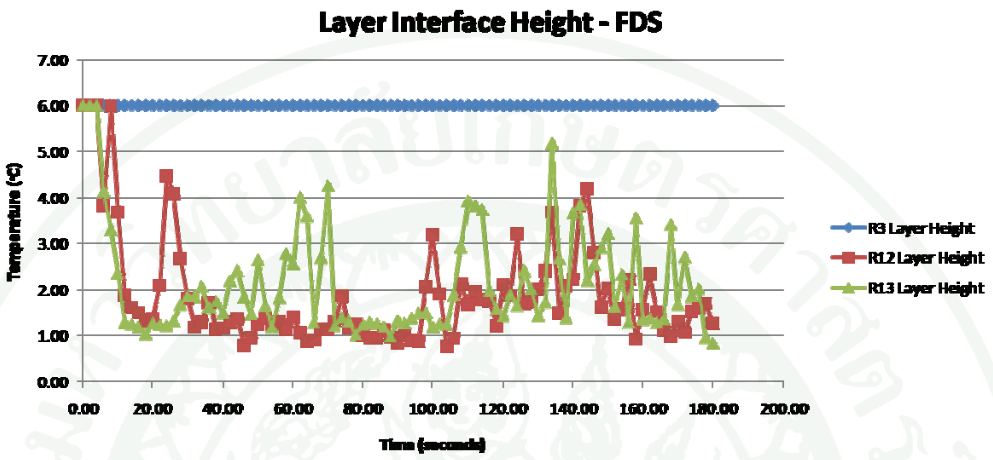


ภาพที่ 33 อุณหภูมิของควันไฟส่วนบน (Upper Layer Temperature) ของห้องที่ 3 , 12 และ 13 จากโปรแกรม FDS

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ความสูงของท้องควันไฟ (Smoke Layer Height)

ในการจำลองด้วยโปรแกรม FDS ความสูงของท้องควันไฟ (Smoke Layer Height)

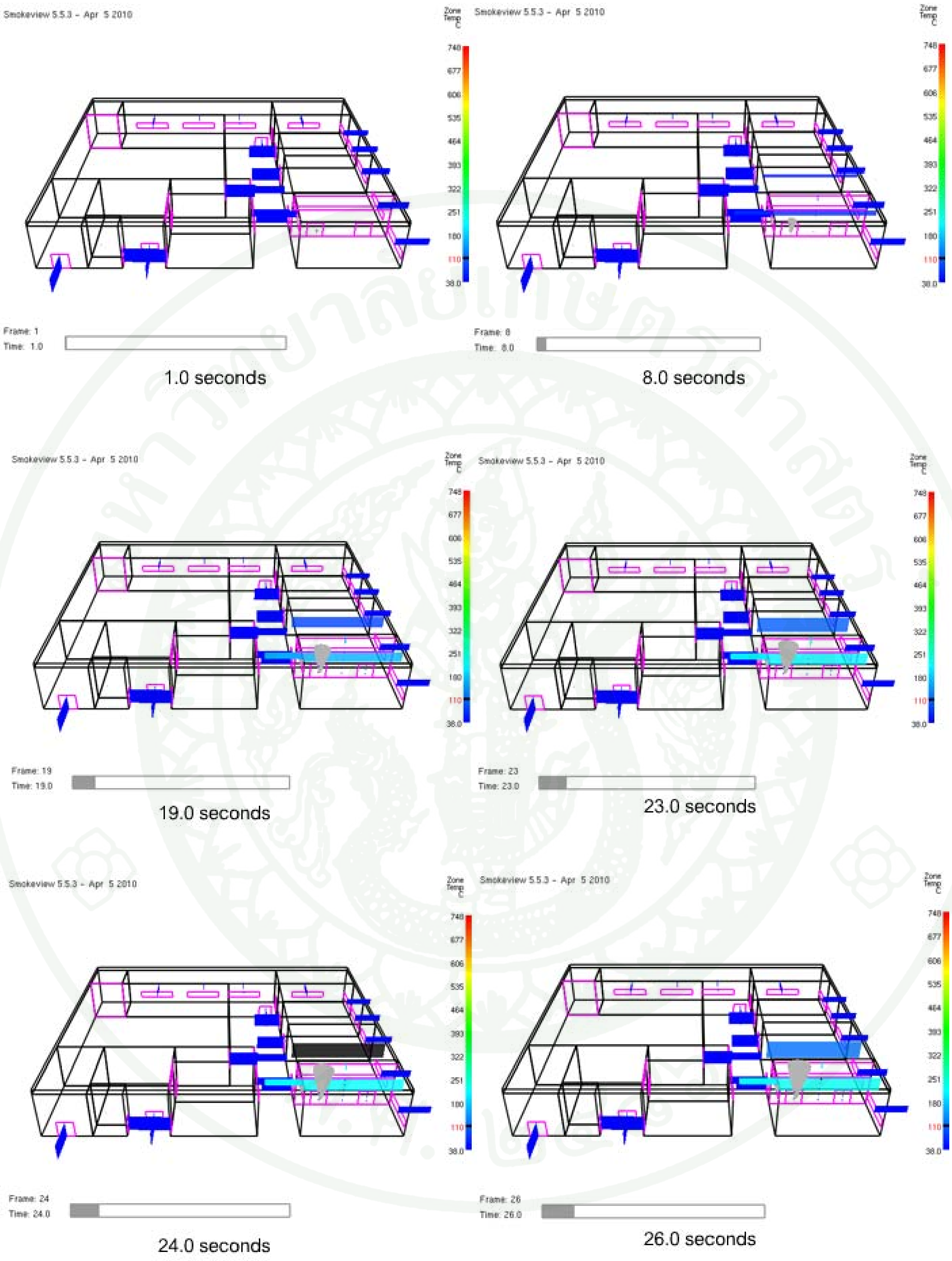


ภาพที่ 34 แสดงความสูงของท้องควันไฟ (Smoke Layer Height) ของห้องที่ 3 , 12 และ 13 จากโปรแกรม FDS

ผลการจำลองด้วยโปรแกรม CFAST

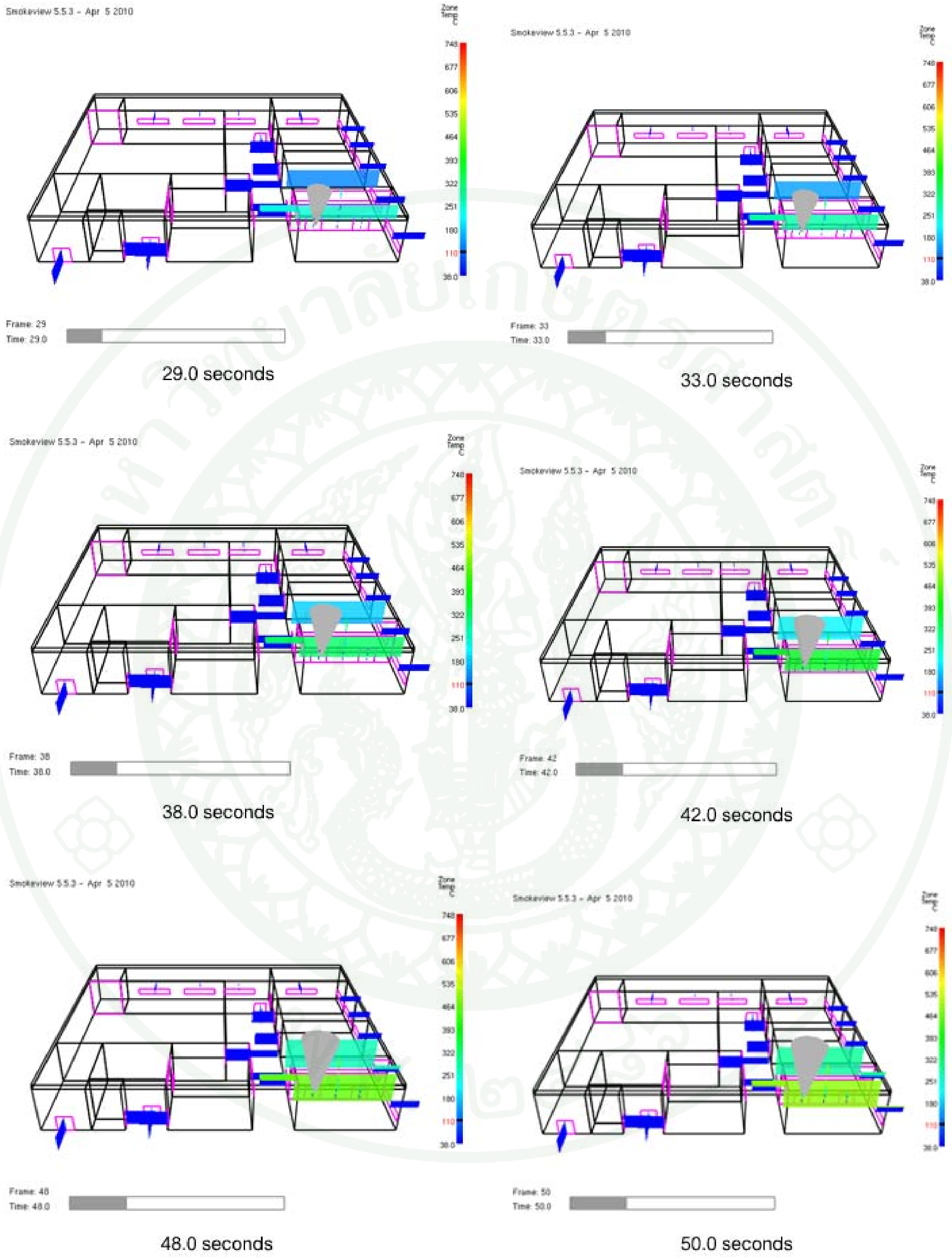
พฤติกรรมการแพร่กระจายความร้อนและควันภายในอาคาร ดังแสดงในภาพที่ 35, 36, 37 และ 38

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



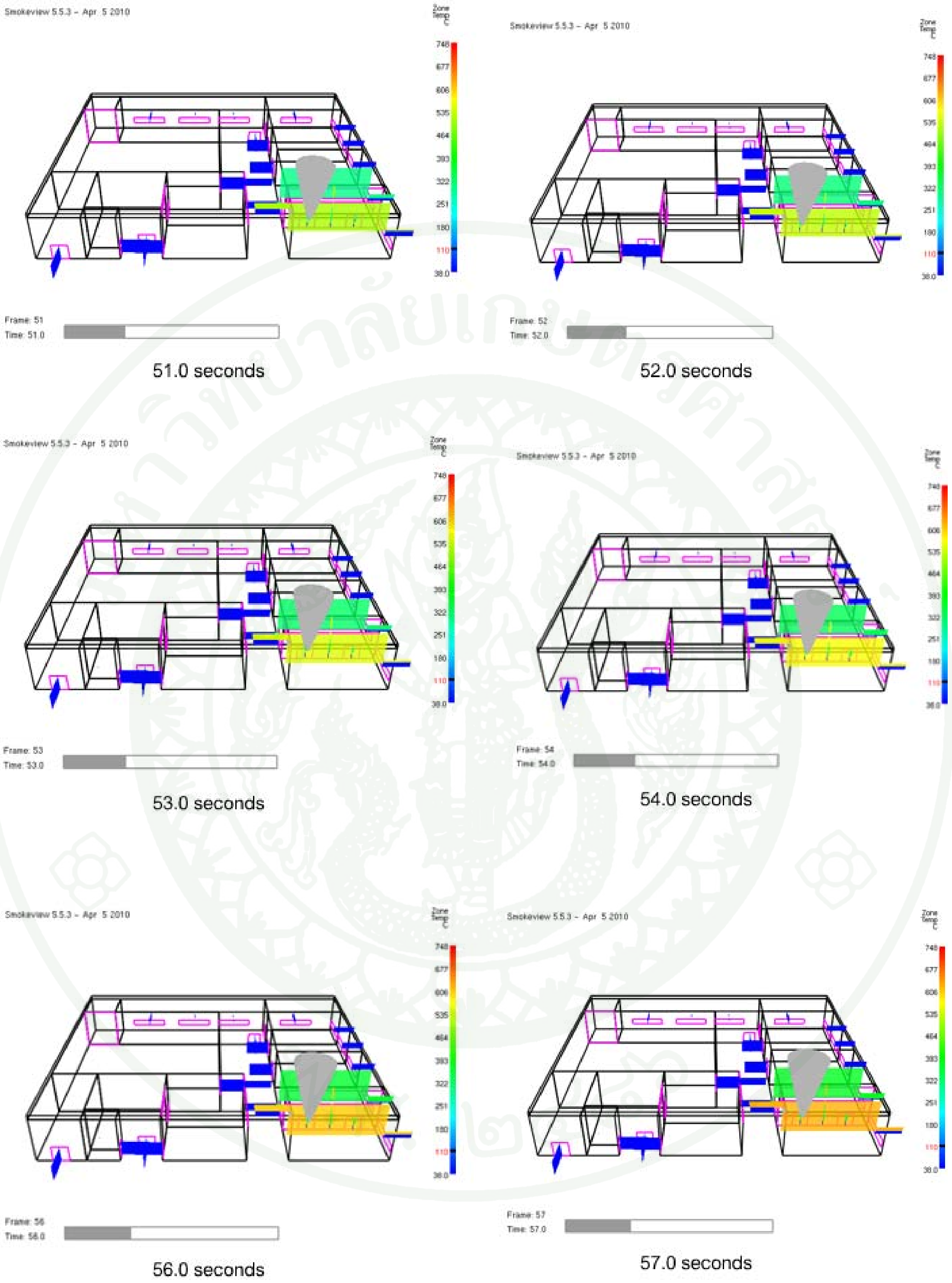
ภาพที่ 35 แสดงพฤติกรรมการแพร่กระจายของความร้อนและควัน เมื่อจำลองด้วยโปรแกรม CFAST ช่วงเวลา 0 – 26.0 วินาที

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



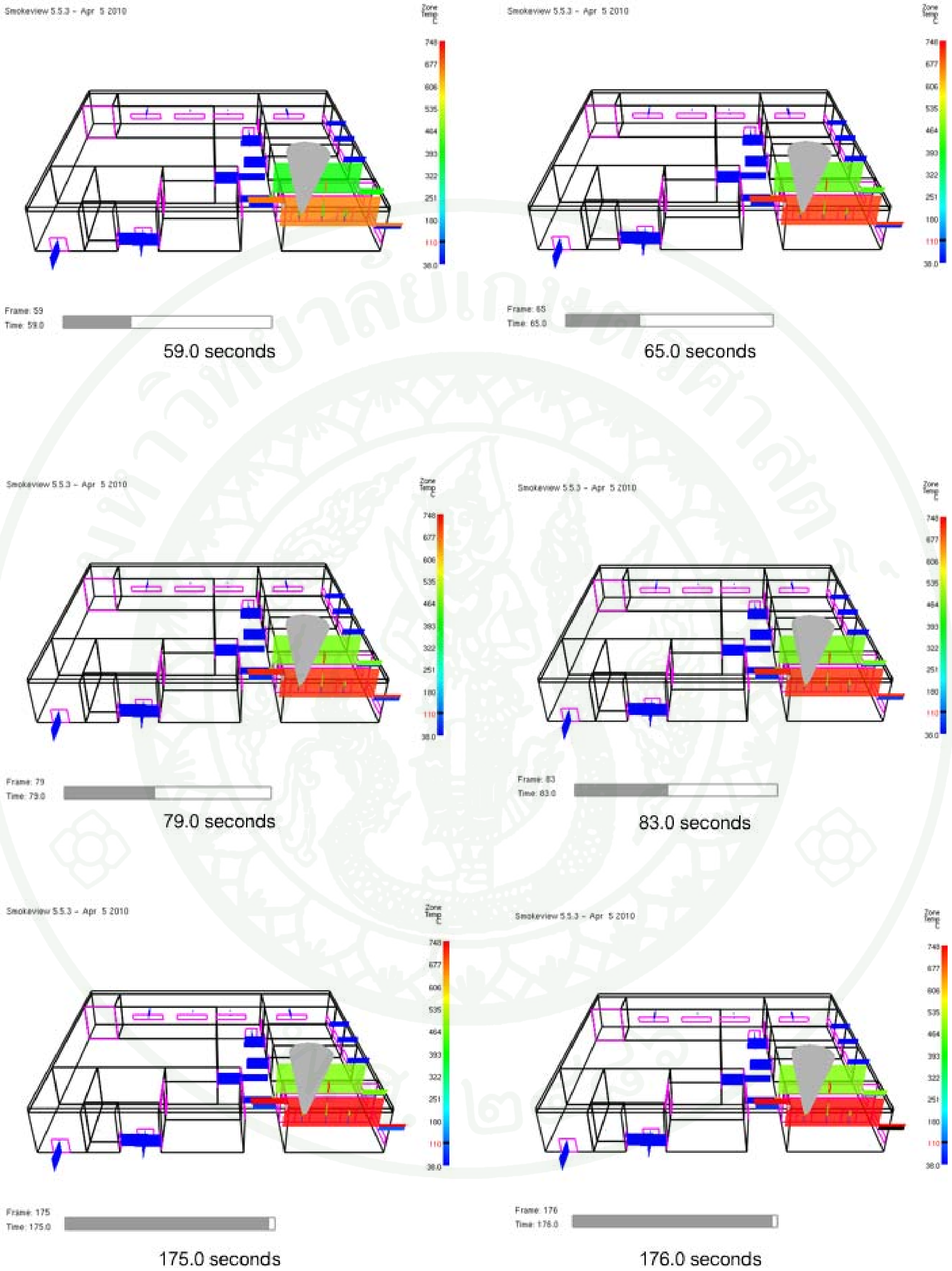
ภาพที่ 36 แสดงพฤติกรรมการแพร่กระจายของความร้อนและควัน เมื่อจำลองด้วยโปรแกรม CFAST ช่วงเวลา 29.0 – 50.0 วินาที

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 37 แสดงพฤติกรรมการแพร่กระจายของความร้อนและควัน เมื่อจำลองด้วยโปรแกรม CFAST ช่วงเวลา 51.0 – 57.0 วินาที

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

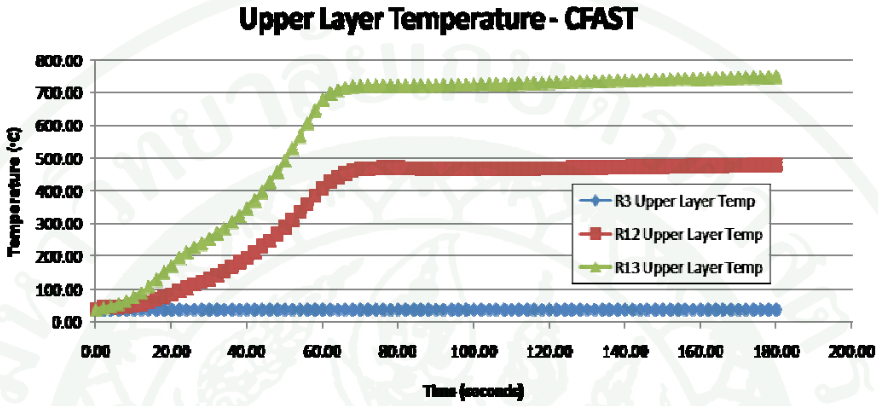


ภาพที่ 38 แสดงพฤติกรรมการแพร่กระจายของความร้อนและควัน เมื่อจำลองด้วยโปรแกรม CFAST ช่วงเวลา 59.0 – 176.0 วินาที

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

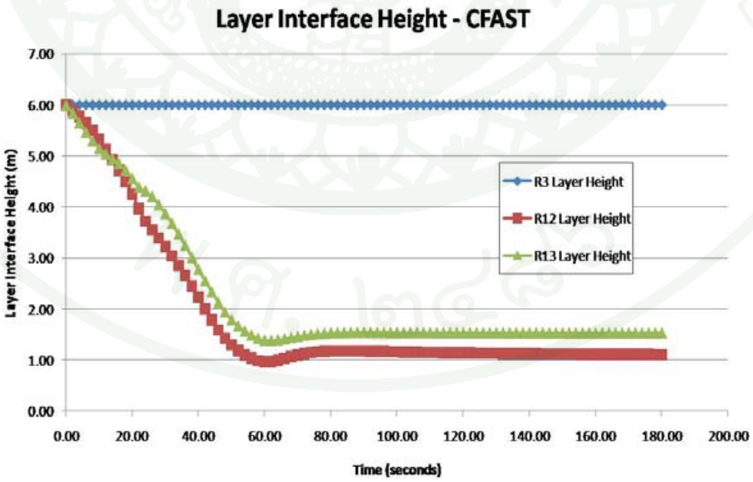
อุณหภูมิของควันไฟส่วนบน (Upper Layer Temperature)

อุณหภูมิของควันไฟส่วนบน (Upper Layer Temperature) ของแต่ละห้องในเวลาที่ต่างกัน ที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรม CFAST ของห้องที่ 3 , 12 และ 13 แสดงผลดังภาพที่ 39



ภาพที่ 39 อุณหภูมิของควันไฟส่วนบน (Upper Layer Temperature) จากโปรแกรม CFAST

ความสูงของท้องควันไฟ (Smoke Layer Height)



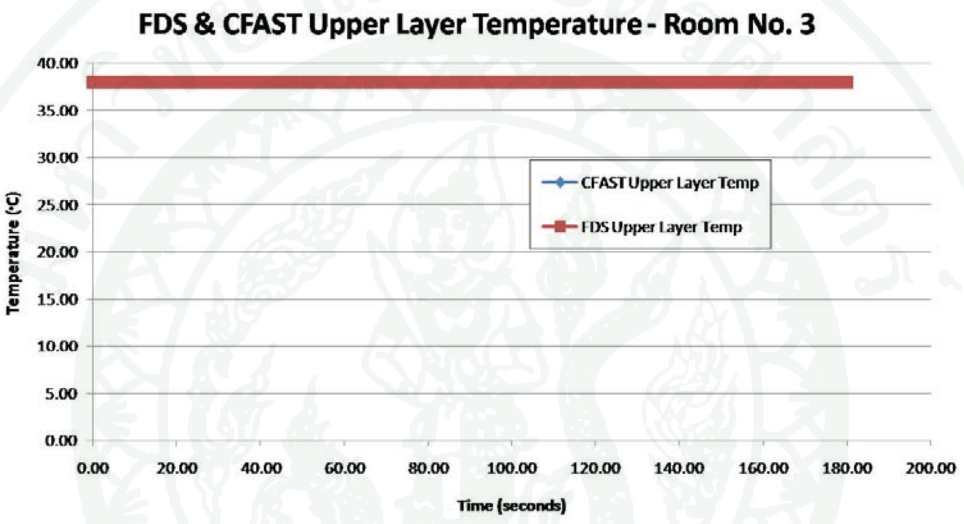
ภาพที่ 40 แสดงความสูงของท้องควันไฟ (Smoke Layer Height) จากโปรแกรม CFAST

ความสูงของท้องควันไฟ (Smoke Layer Height) ของแต่ละห้องในเวลาที่ต่างกัน ที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรม CFAST ของห้องที่ 3 , 12 และ 13 แสดงผลดังภาพที่ 40

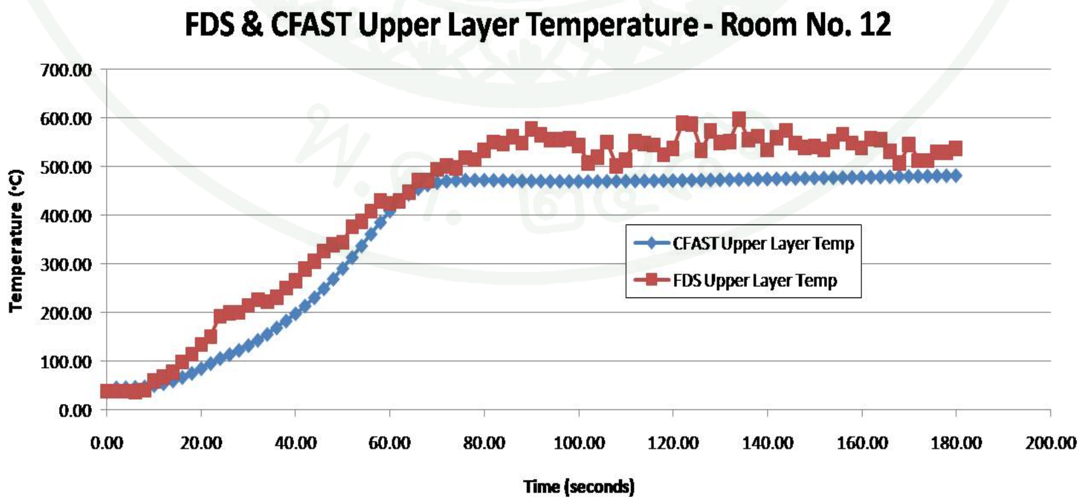
การเปรียบเทียบผลที่ได้จากโปรแกรม CFAST กับ โปรแกรม FDS

การเปรียบเทียบอุณหภูมิของควันไฟส่วนบน (Upper Layer Temperature)

กราฟการเปรียบเทียบอุณหภูมิของควันไฟส่วนบน (Upper Layer Temperature) ของห้องที่ 3, 12 และ 13 แสดงไว้ดังภาพที่ 41, 42 และ 43 ตามลำดับ

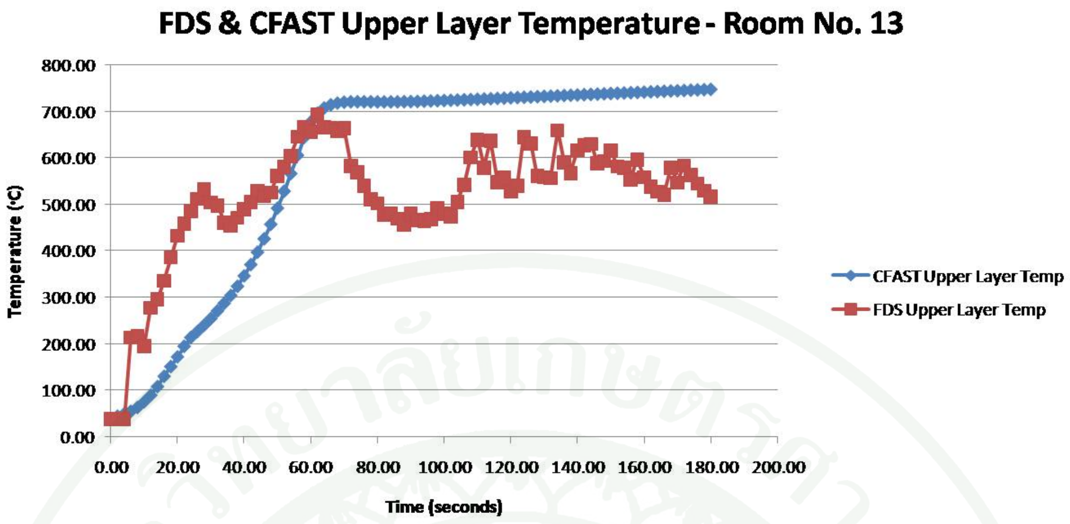


ภาพที่ 41 การเปรียบเทียบอุณหภูมิของควันไฟส่วนบน (Upper Layer Temperature) ของห้องที่ 3



ภาพที่ 42 อุณหภูมิของควันไฟส่วนบน (Upper Layer Temperature) ของห้องที่ 12

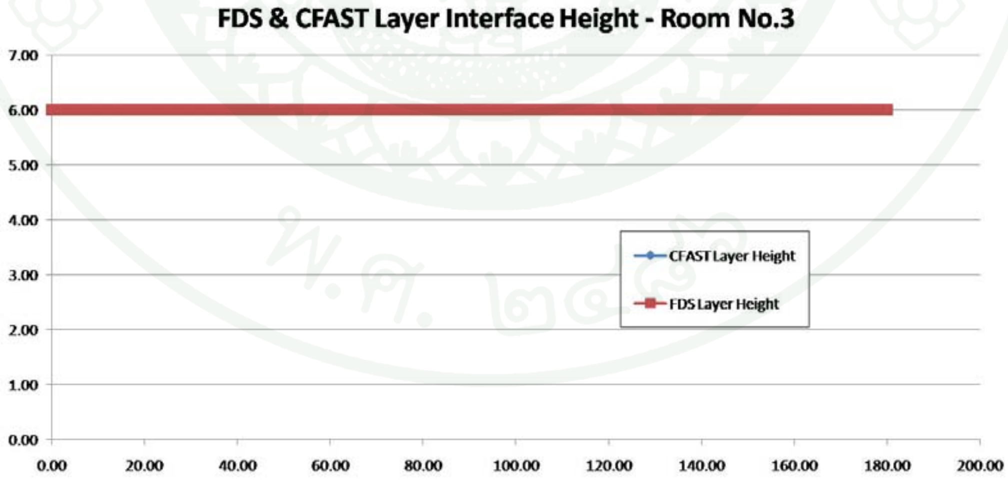
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 43 การเปรียบเทียบอุณหภูมิของควันไฟส่วนบน (Upper Layer Temperature) ของห้องที่ 13

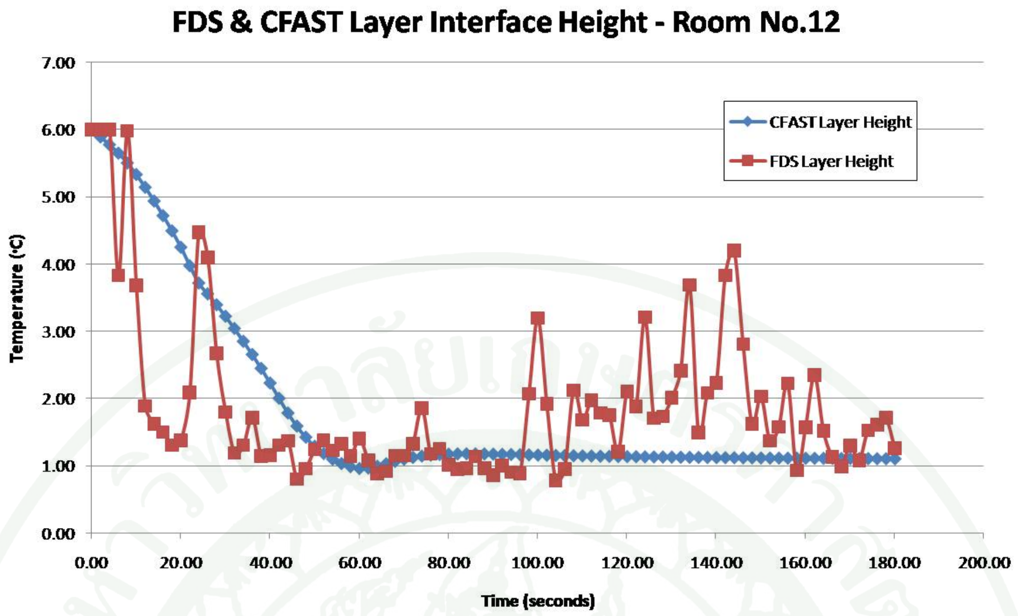
การเปรียบเทียบความสูงของท้องควันไฟ (Smoke Layer Height)

กราฟเปรียบเทียบความสูงของท้องควันไฟ (Smoke Layer Height) ของห้องที่ 3, 12 และ 13 แสดงไว้ดังภาพที่ 44, 45 และ 46 ตามลำดับ

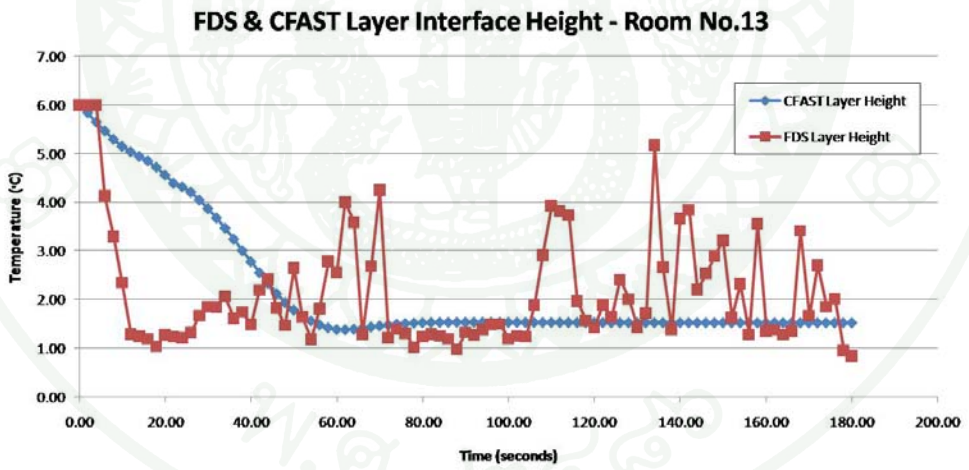


ภาพที่ 44 การเปรียบเทียบความสูงของท้องควันไฟ (Smoke Layer Height) ของห้องที่ 3

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 45 การเปรียบเทียบความสูงของท้องควันไฟ (Smoke Layer Height) ของห้องที่ 12

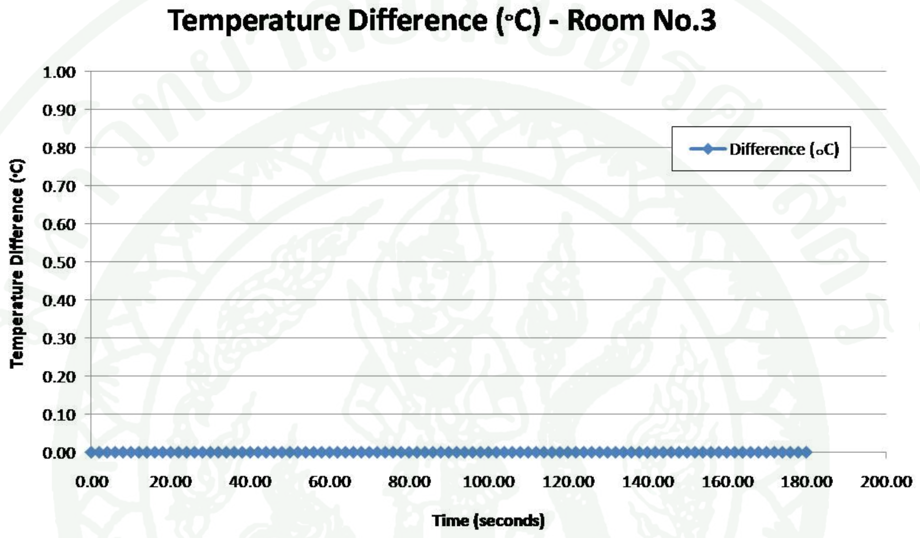


ภาพที่ 46 การเปรียบเทียบของความสูงของท้องควันไฟ (Smoke Layer Height) ของห้องที่ 13

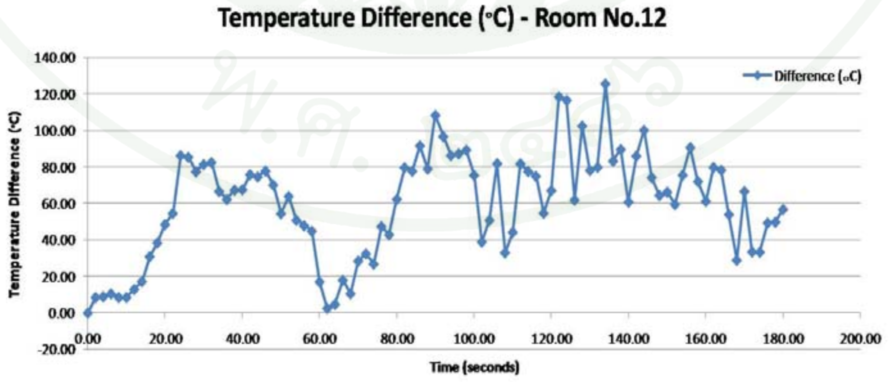
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ความแตกต่างของผลที่ได้จากโปรแกรม CFAST เมื่อเทียบกับโปรแกรม FDS

กราฟความแตกต่างของอุณหภูมิของควันไฟส่วนบน (Upper Layer Temperature) ของห้องที่ 3, 12 และ 13 แสดงไว้ดังภาพที่ 47, 48 และ 49 ตามลำดับ และกราฟความแตกต่างของความสูงของท้องควันไฟ (Smoke Layer Height) ของห้องที่ 3, 12 และ 13 แสดงไว้ดังภาพที่ 50, 51 และ 52 ตามลำดับ

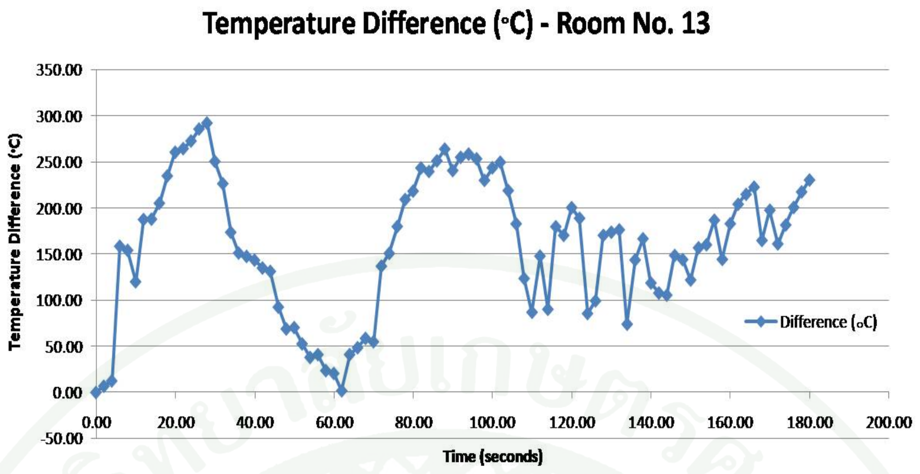


ภาพที่ 47 ความแตกต่างของอุณหภูมิของควันไฟส่วนบน (Upper Layer Temperature) ของห้องที่ 3

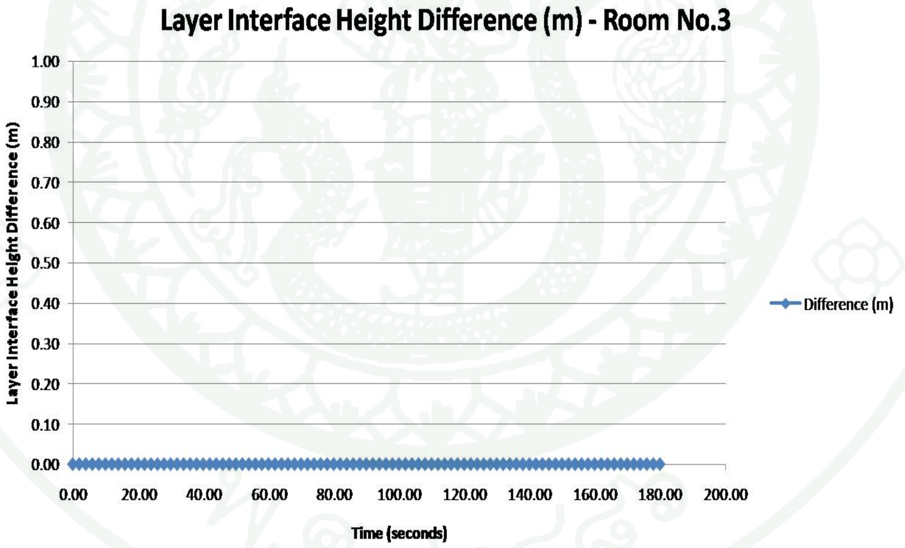


ภาพที่ 48 ความแตกต่างของอุณหภูมิของควันไฟส่วนบน (Upper Layer Temperature) ของห้องที่ 12

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

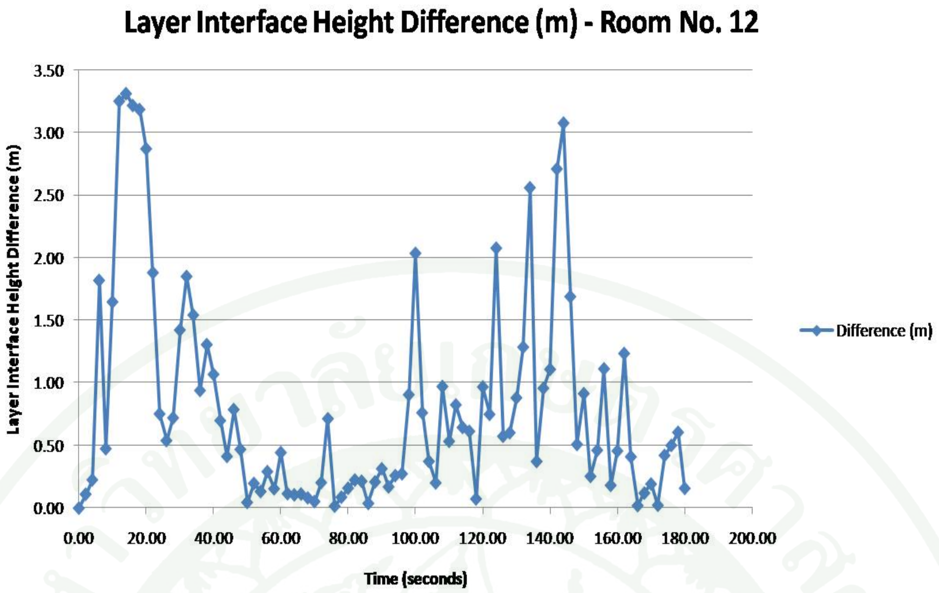


ภาพที่ 49 ความแตกต่างของอุณหภูมิของควันไฟส่วนบน (Upper Layer Temperature) ของห้องที่ 13

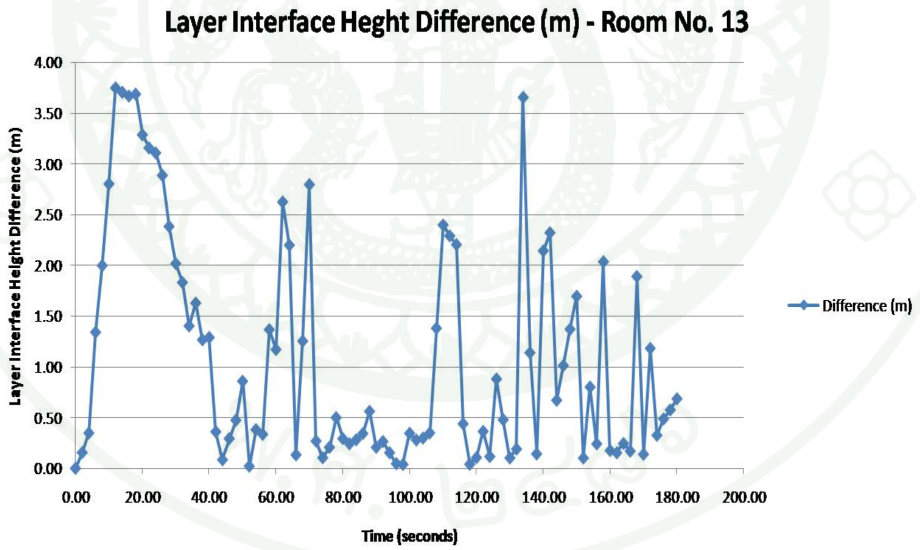


ภาพที่ 50 ความแตกต่างของความสูงของท้องควันไฟ (Smoke Layer Height) ของห้องที่ 3

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 51 ความแตกต่างของความสูงของท้องควันไฟ (Smoke Layer Height) ของห้องที่ 12

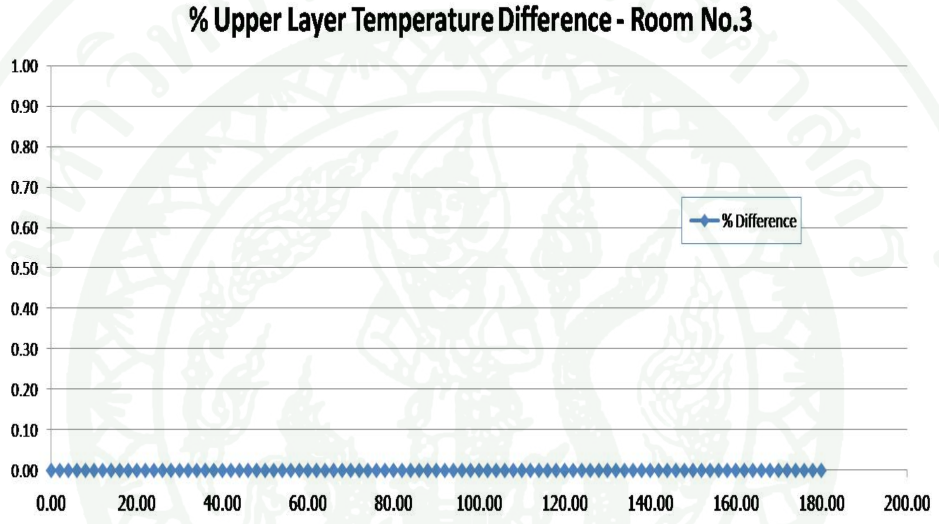


ภาพที่ 52 ความแตกต่างของความสูงของท้องควันไฟ (Smoke Layer Height) ของห้องที่ 13

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

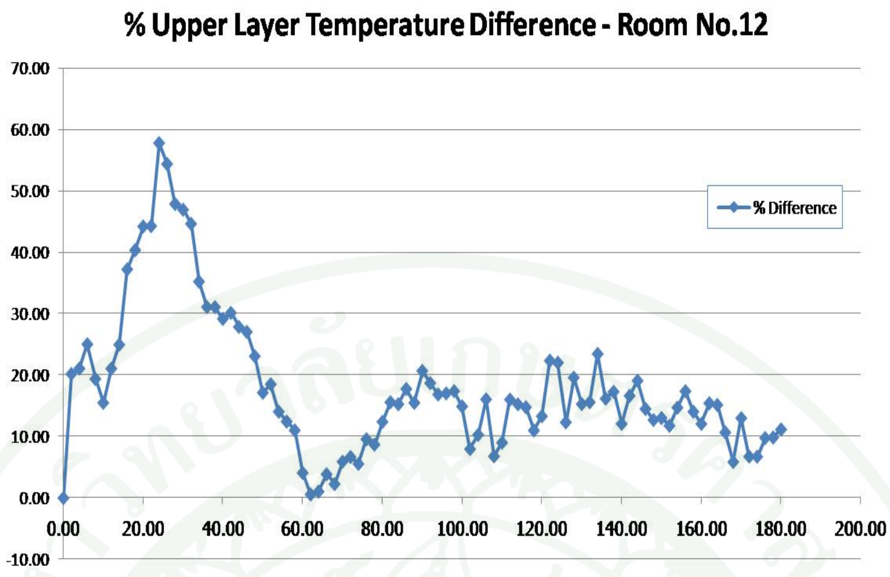
ร้อยละความแตกต่างของผลที่ได้จากโปรแกรม CFAST เมื่อเทียบกับโปรแกรม FDS

กราฟร้อยละความแตกต่างของอุณหภูมิของควันไฟส่วนบน (Upper Layer Temperature) ของห้องที่ 3, 12 และ 13 แสดงไว้ดังภาพที่ 53, 54 และ 55 ตามลำดับ และกราฟร้อยละความแตกต่างของความสูงของท้องควันไฟ (Smoke Layer Height) ของห้องที่ 3, 12 และ 13 แสดงไว้ดังภาพที่ 56, 57 และ 58 ตามลำดับ

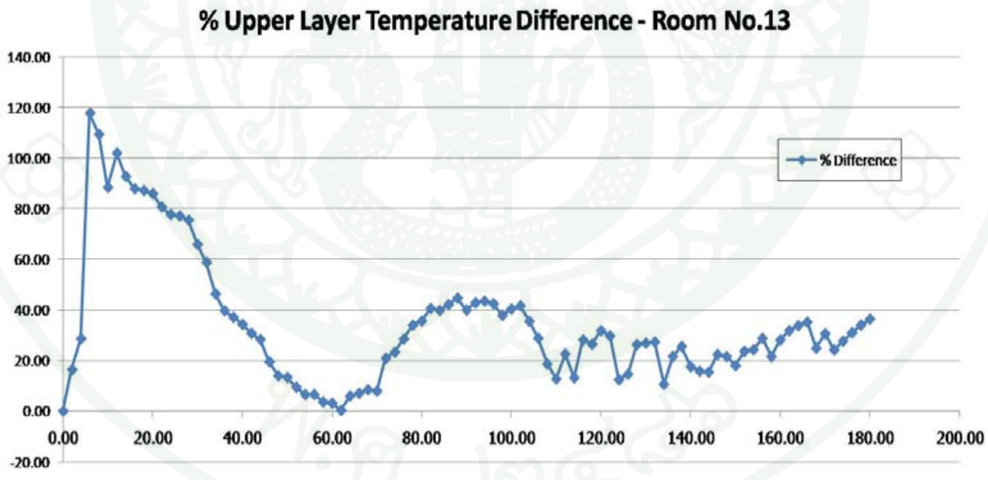


ภาพที่ 53 ร้อยละความแตกต่างของอุณหภูมิของควันไฟส่วนบน (Upper Layer Temperature) ของห้องที่ 3

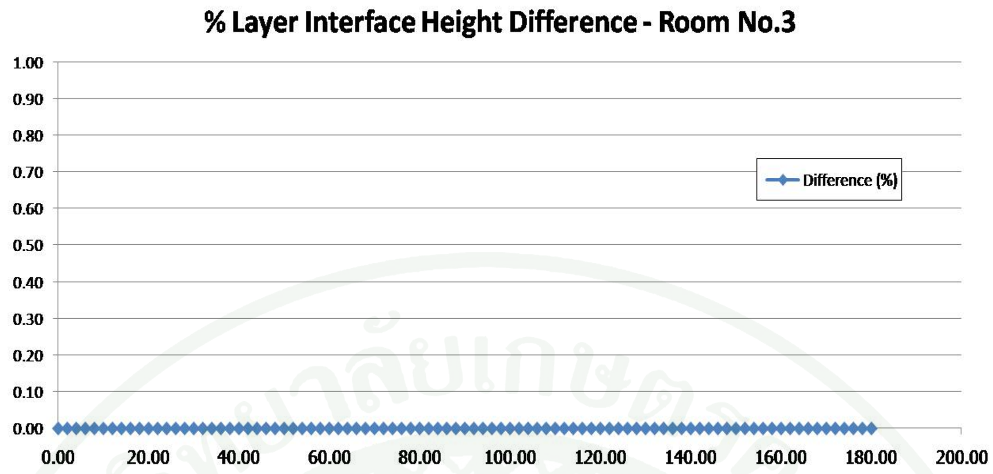
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



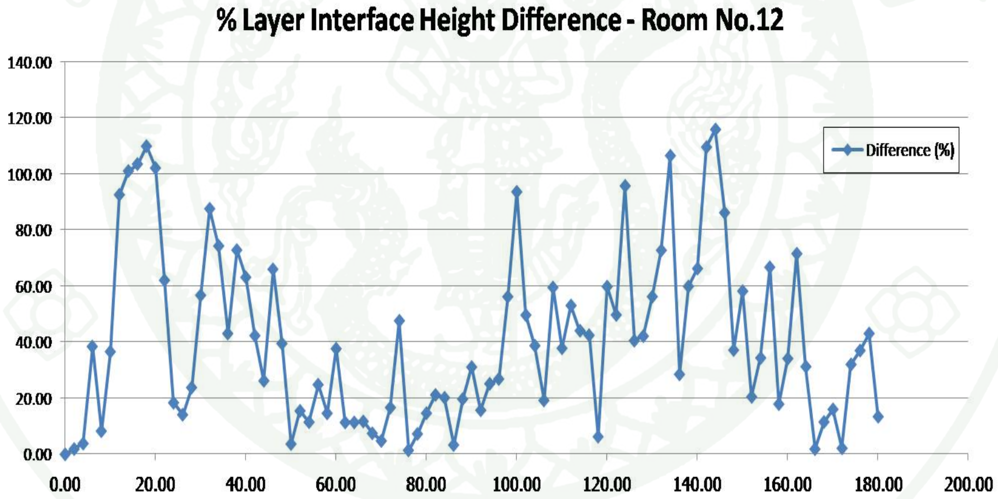
ภาพที่ 54 ร้อยละความแตกต่างของอุณหภูมิของควันไฟส่วนบน (Upper Layer Temperature) ของห้องที่ 12



ภาพที่ 55 ร้อยละความแตกต่างของอุณหภูมิของควันไฟส่วนบน (Upper Layer Temperature) ของห้องที่ 13

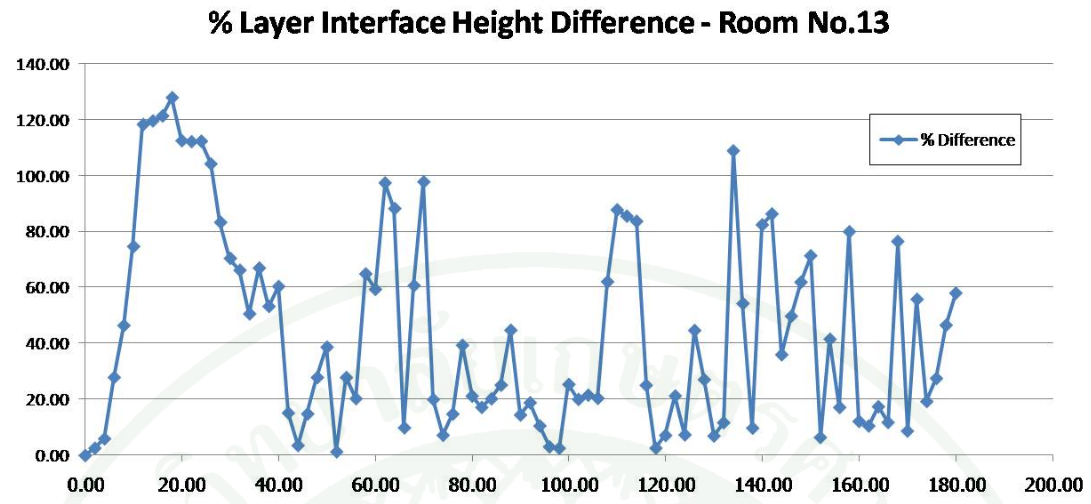


ภาพที่ 56 ร้อยละความแตกต่างของความสูงของท้องควันไฟ (Smoke Layer Height) ของห้องที่ 3



ภาพที่ 57 ร้อยละความแตกต่างของความสูงของท้องควันไฟ (Smoke Layer Height) ของห้องที่ 12

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 58 ร้อยละความแตกต่างของความสูงของท้องควันไฟ (Smoke Layer Height) ของห้องที่ 13

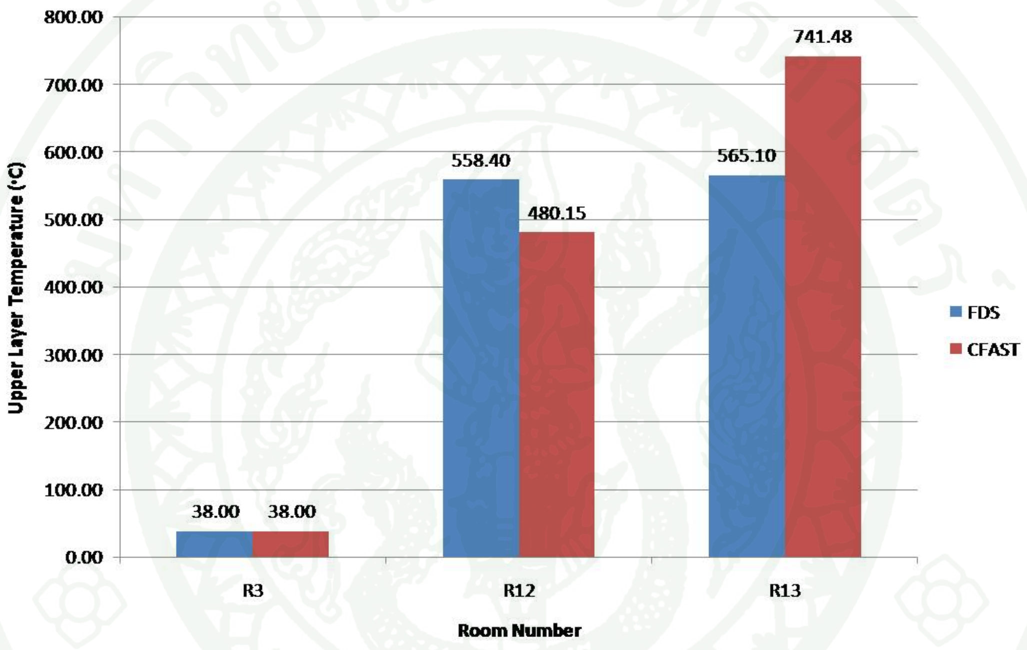
ทั้งนี้หากพิจารณาเปรียบเทียบอุณหภูมิของควันไฟส่วนบนและความสูงของท้องควันไฟในสภาวะคงตัวในทั้งสามห้อง ที่ได้จากโปรแกรม FDS และโปรแกรม CFAST สรุปได้ดังตารางที่ 17 และ 18 โดยกราฟเปรียบเทียบดังแสดงในภาพที่ 59 และ 60 ตามลำดับ และหากพิจารณาเปรียบเทียบความแตกต่างเฉลี่ยและร้อยละความแตกต่างเฉลี่ยของควันไฟส่วนบนของแต่ละห้องที่ และความแตกต่างเฉลี่ยและร้อยละความแตกต่างเฉลี่ยของความสูงของท้องควันไฟ (m) ของแต่ละห้อง ที่ได้จากโปรแกรม FDS และ CFAST สรุปได้ดังตารางที่ 19 และ 20 และกราฟในภาพที่ 61, 62, 63 และ 64 ตามลำดับ

ตารางที่ 17 เปรียบเทียบอุณหภูมิของควันไฟส่วนบนในสภาวะคงตัว ของแต่ละห้อง ที่ได้จากโปรแกรม FDS และ CFAST

โปรแกรม	ห้องที่ 3	ห้องที่ 12	ห้องที่ 13
FDS	38.00	558.40	565.10
CFAST	38.00	480.15	741.48

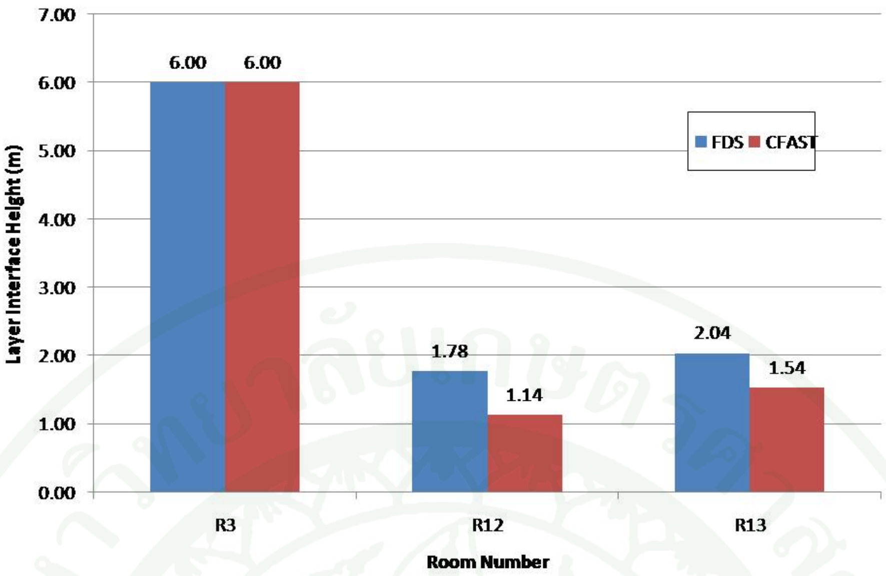
ตารางที่ 18 เปรียบเทียบความสูงของห้องควันไฟในสภาวะคงตัว ของแต่ละห้อง ที่ได้จากโปรแกรม FDS และ CFAST

โปรแกรม	ห้องที่ 3	ห้องที่ 12	ห้องที่ 13
FDS	6.00	1.78	2.04
CFAST	6.00	1.14	1.54



ภาพที่ 59 เปรียบเทียบอุณหภูมิของควันไฟส่วนบนในสภาวะคงตัว ของแต่ละห้อง ที่ได้จากโปรแกรม FDS และ CFAST

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 60 เปรียบเทียบความสูงของห้องควันไฟในสภาวะคงตัว ของแต่ละห้อง ที่ได้จากโปรแกรม FDS และ CFAST

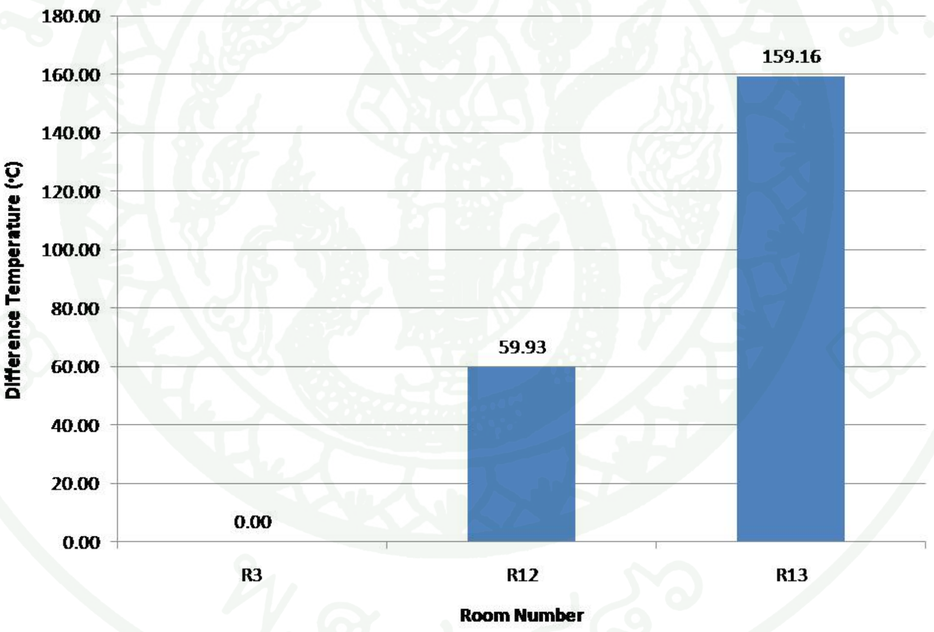
ตารางที่ 19 เปรียบเทียบความแตกต่างเฉลี่ยและร้อยละความแตกต่างเฉลี่ยของควันไฟส่วนบน (°C) ของแต่ละห้อง ที่ได้จากโปรแกรม FDS และ CFAST

ห้องที่	ความแตกต่างเฉลี่ยของอุณหภูมิของควันไฟส่วนบน (°C)	ร้อยละความแตกต่างเฉลี่ยของอุณหภูมิของควันไฟส่วนบน
ห้องที่ 3	0.00	0.00 %
ห้องที่ 12	59.93	18.13 %
ห้องที่ 13	159.16	34.45 %

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

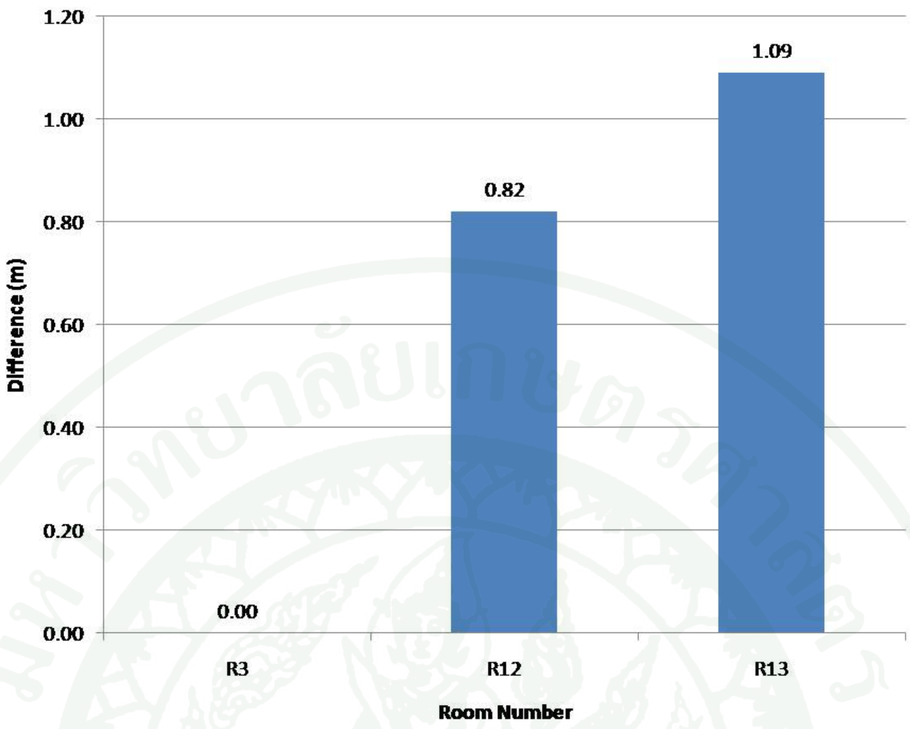
ตารางที่ 20 เปรียบเทียบความแตกต่างเฉลี่ยและร้อยละความแตกต่างเฉลี่ยของความสูงของท้องควันไฟ (m) ของแต่ละห้อง ที่ได้จากโปรแกรม FDS และ CFAST

ห้องที่	ความแตกต่างเฉลี่ยของความสูงของท้องควันไฟ (m)	ร้อยละความแตกต่างเฉลี่ยของความสูงของท้องควันไฟ
ห้องที่ 3	0.00	0.00 %
ห้องที่ 12	0.82	40.79 %
ห้องที่ 13	1.09	44.39 %

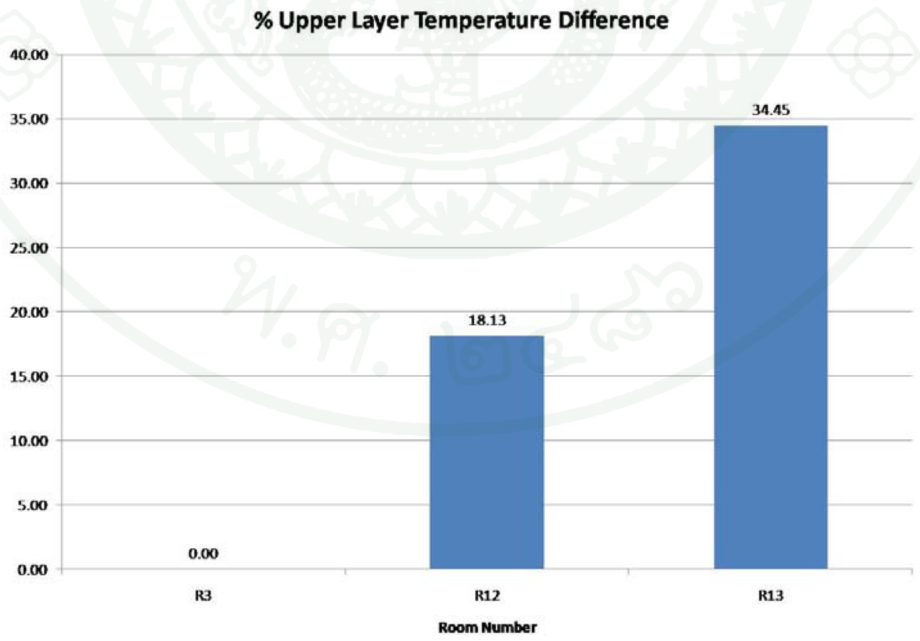


ภาพที่ 61 ความแตกต่างเฉลี่ยของอุณหภูมิของควันไฟส่วนบน (°C) ของแต่ละห้อง ที่ได้จากโปรแกรม FDS และ CFAST

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

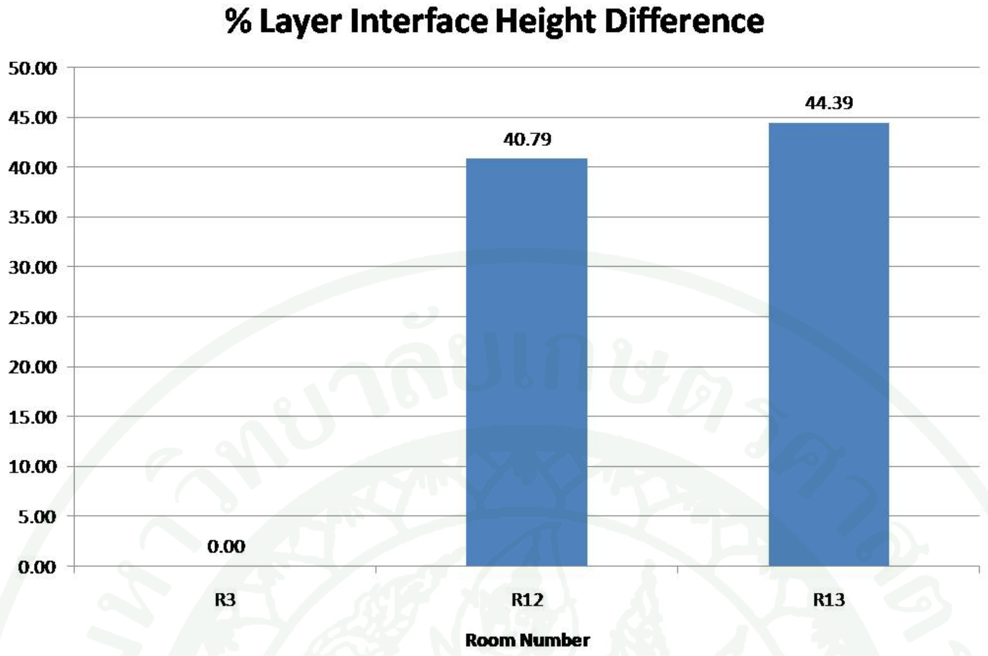


ภาพที่ 62 ความแตกต่างเฉลี่ยของความสูงของท้องควันไฟ (m) ของแต่ละห้อง ที่ได้จากโปรแกรม FDS และ CFAST



ภาพที่ 63 ร้อยละความแตกต่างเฉลี่ยของอุณหภูมิของควันไฟส่วนบน (%) ของแต่ละห้อง ที่ได้จากโปรแกรม FDS และ CFAST

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 64 ร้อยละเฉลี่ยความแตกต่างของความสูงของท้องควันไฟ (%) ของแต่ละห้อง ที่ได้จากโปรแกรม FDS และ CFAST

วิจารณ์

ผลการวิจัยพบว่า อุณหภูมิของควันไฟส่วนบน (Upper Layer Temperature) ในสภาวะคงตัว สำหรับห้องที่ 3, 12 และ 13 ที่ได้จากโปรแกรม FDS มีค่าเท่ากับ 38 ˚C , 558.40 ˚C และ 565.10 ˚C ตามลำดับ โดยค่าที่ได้จากโปรแกรม CFAST มีค่าเท่ากับ 38 ˚C , 480.15 ˚C และ 741.48 ˚C ตามลำดับ ซึ่งความแตกต่างของอุณหภูมิของควันไฟส่วนบน (Upper Layer Temperature) ในสภาวะคงตัว สำหรับห้องที่ 3, 12 และ 13 ที่ได้จากโปรแกรม FDS และ CFAST มีค่าเท่ากับ 0 ˚C, 78.25 ˚C และ 176.38 ˚C ตามลำดับ และความสูงของท้องควันไฟ (Smoke Layer Height) ในสภาวะคงตัว สำหรับห้องที่ 3, 12 และ 13 ที่ได้จากโปรแกรม FDS มีค่าเท่ากับ 6 m, 1.78 m และ 2.04 m ตามลำดับ โดยค่าที่ได้จากโปรแกรม CFAST มีค่าเท่ากับ 6 m, 1.14 m และ 1.54 m ตามลำดับ ซึ่งความแตกต่างของความสูงของท้องควันไฟ (Smoke Layer Height) ในสภาวะคงตัว สำหรับห้องที่ 3, 12 และ 13 ที่ได้จากโปรแกรม FDS และ CFAST มีค่าเท่ากับ 0m, 0.64 m และ 0.50 m ตามลำดับ และความแตกต่างเฉลี่ยของอุณหภูมิของควันไฟส่วนบน (Upper Layer Temperature) สำหรับห้องที่ 3, 12 และ 13 ที่ได้จากโปรแกรม FDS และ CFAST มีค่าเท่ากับ 0 ˚C, 59.93 ˚C และ 159.16 ˚C ตามลำดับ และความแตกต่างเฉลี่ยของความสูงของท้องควันไฟ (Smoke

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Layer Height) สำหรับห้องที่ 3, 12 และ 13 ที่ได้จากโปรแกรม FDS และ CFAST มีค่าเท่ากับ 0m, 0.82 m และ 1.09 m ตามลำดับ

จากผลการวิจัยดังกล่าวข้างต้นพบว่า ผลที่ได้จากโปรแกรม FDS และ CFAST มีค่าใกล้เคียงกัน โดยร้อยละความแตกต่างเฉลี่ยของอุณหภูมิควันไฟส่วนบน (Upper Layer Temperature) ของห้องที่ 3, 12 และ 13 ที่ได้จากโปรแกรม FDS และโปรแกรม CFAST มีค่าเท่ากับ 0%, 18.13% และ 34.45% ตามลำดับ และ ร้อยละความแตกต่างเฉลี่ยของความสูงของท้องควันไฟ (Smoke Layer Height) สำหรับห้องที่ 3, 12 และ 13 ที่ได้จากโปรแกรม FDS และโปรแกรม CFAST มีค่าเท่ากับ 0%, 40.79% และ 44.39% ตามลำดับ จากความแตกต่างและร้อยละความแตกต่างพบว่า ห้องแรกที่เริ่มเกิดเพลิงไหม้นั้นจะมีความแตกต่างมากกว่าห้องอื่นที่อยู่ถัดไปหรือห่างออกไป ตรงกับรายงานการทดสอบความใช้ได้ (Validation) ของโปรแกรม CFAST ใน Technical Reference Guide ที่ระบุว่าการจำลองเหตุเพลิงไหม้ในห้องที่เกิดเพลิงไหม้มีแนวโน้มที่ผลที่ได้จะสูงกว่าผลที่วัดได้จากการจำลองเพลิงไหม้จริง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

ผลที่ได้จากโปรแกรม CFAST มีความใกล้เคียงกับผลที่ได้จากโปรแกรม FDS โดยโปรแกรม CFAST ใช้ระยะเวลาน้อยกว่าสำหรับการดำเนินการและการประมวลผลในขณะที่โปรแกรม FDS มีขั้นตอนการดำเนินการและระยะเวลาที่ต้องใช้นานกว่ามาก ผู้ใช้อาจเลือกใช้โปรแกรมใดโปรแกรมหนึ่งในสองโปรแกรมนี้ได้ตามเงื่อนไขสถานการณ์ส่วนตัว อย่างไรก็ตาม แบบจำลอง FDS มีรายละเอียดการใช้งานที่สามารถปรับเปลี่ยนรูปแบบให้เหมาะสมกับสถานการณ์ที่ต้องการจะจำลองได้ดีกว่าแบบจำลอง CFAST และมีฐานข้อมูลคุณสมบัติวัสดุที่เหมาะสมที่จะนำไปใช้เพื่อการประเมินความเสี่ยงด้านอัคคีภัยสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ โดยเฉพาะในกรณีอาคารที่จัดเป็นอาคารอันตรายพิเศษที่ดีกว่า

ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากอาคารดังกล่าวนี้ ในห้อง Mercury Operation จะเป็นห้องที่มีการปรับอากาศ โดยรักษาระดับอุณหภูมิอยู่ที่ 25°C ซึ่งอุณหภูมิภายในห้องจะมีค่าไม่เท่ากันกับห้องอื่นๆ ในการจำลองสถานการณ์ ซึ่งไม่พบว่าแบบจำลองทั้งสองจะสามารถกำหนดค่าอุณหภูมิภายในห้องแต่ละห้องก่อนเกิดเหตุเพลิงไหม้แยกเป็นรายห้องได้

แบบจำลอง FDS ที่ออกแบบและพัฒนาโดยสถาบัน NIST นั้น เป็นแบบจำลองที่สามารถนำไปใช้ได้โดยไม่มีค่าใช้จ่าย ทั้งนี้ผู้ที่สนใจใช้แบบจำลอง FDS จำเป็นต้องทราบในเบื้องต้นว่าแบบจำลอง FDS นั้น เป็นแบบจำลองที่ต้องป้อนคำสั่ง และประมวลผ่านระบบ DOS ซึ่งอาจเป็นอุปสรรคในการใช้งาน แนะนำให้ผู้สนใจใช้งานแบบจำลอง FDS เลือกใช้งานแบบจำลอง FDS ผ่านโปรแกรมที่มีการพัฒนาขึ้นเพื่อให้ใช้งาน FDS ได้โดยง่ายและสะดวก ยกตัวอย่างเช่น โปรแกรม PyroSim ซึ่งโปรแกรมเหล่านี้ถูกพัฒนาควบคู่ไปกับแบบจำลอง FDS โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อประโยชน์ทางการค้าเป็นหลัก ท่านที่สนใจสามารถทดลองใช้โปรแกรมที่ไม่มีค่าใช้จ่ายก่อนได้ โดยหากต้องการนำแบบจำลอง FDS ไปใช้งานจริงเป็นระยะเวลายาวระดับหนึ่งแล้วนับเป็นความจำเป็นที่จะต้องจัดสรรงบประมาณไว้สำหรับค่าลิขสิทธิ์โปรแกรมเหล่านี้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อประโยชน์ในการที่จะสามารถประเมินความเสี่ยงด้านอัคคีภัยของอาคารและองค์ประกอบต่างๆ ของอาคารผ่านแบบจำลองเหล่านี้ ไม่ว่าจะเป็นแบบจำลอง FDS หรือแบบจำลอง CFAST ได้แม่นยำยิ่งขึ้น จำเป็นต้องมีคุณสมบัติด้านอัคคีภัยของวัสดุต่างๆ ซึ่งข้อมูลเหล่านี้มีอยู่น้อย และหน่วยงานใดที่มีข้อมูลเหล่านี้อยู่ คาดว่าเป็นไปเพื่อประโยชน์ทางการค้าเป็นหลัก เชื่อว่าจะเป็นเรื่องที่ดีถ้าจะมีการศึกษาวิจัยคุณสมบัติด้านอัคคีภัยของวัสดุต่างๆ โดยเริ่มจากวัสดุที่พบว่ามีใช้บ่อย เป็นเชื้อเพลิงที่ความเสี่ยงก่อให้เกิดอันตรายจากอัคคีภัยสูงในประเทศของเรา เพื่อที่ว่าจะได้มีการนำข้อมูลดังกล่าวนั้นไปใช้เพื่อการพัฒนาศักยภาพในการประเมินความเสี่ยงด้านอัคคีภัยเพื่อความปลอดภัยของสังคมเราต่อไป

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

ณัฐศักดิ์ บุญมี. 2550. การศึกษาขนาดกริดในการจำลองลำควันสมมาตรด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลข, น. 62-69. *ใน* **การประชุมทางวิชาการ ครั้งที่ ครั้งที่ 45.** มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Glenn, P. F. 2010. **Smokeview (Version 5) – A Tool for Visualizing Fire Dynamics Simulation Data, Volume I : User's Guide.** NIST Special Publication 1071-1, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland, USA, April 2010.

Jason, E.F. 2002. **Comparision of CFAST and FDS for Fire Simulation with the HDR T51 and T52 Tests.** NISTIR 6866, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland, USA., March 2002.

Kevin, M.G., M.D. Randall, S. Hostikka and J. Floyd. 2010. **Fire Dynamics Simulator (Version 5), User's Guide.** NIST Special Publication 1019-5, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland, USA, April 2010.

_______, S. Hostikka, J. Floyd, H. Baum, R. Rehm, W. Mell and M.D. Randall. 2010. **Fire Dynamics Simulator (Version 5), Technical Reference Guide, Volume 1 : Mathematical Model.** NIST Special Publication 1018-5, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland, USA, April 2010.

_______, ______, ______, and M.D. Randall. 2010. **Fire Dynamics Simulator (Version 5), Technical Reference Guide, Volume 3 : Validation.** NIST Special Publication 1018-5, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland, USA, April 2010.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Randall, M.D., M.G. Kevin, S. Hostikka and J. Floyd. 2010. **Fire Dynamics Simulator (Version 5), Technical Reference Guide, Volume 2 : Verification.** NIST Special Publication 1018-5, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland, USA, April 2010.

Richard, D. P., W. J. Walter, A.R. Paul and P. F. Glenn. 2008. **CFAST – Consolidated Model of Fire Growth and Smoke Transport (Version 6), User's Guide.** NIST Special Publication 1041, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland, USA, December 2008.

_______, M.G. Kevin, B. Klein, W. J. Walter and A. R. Paul. 2008. **CFAST – Consolidated Model of Fire Growth and Smoke Transport (Version 6), Software Development and Model Evaluation Guide.** NIST Special Publication 1086, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland, USA, December 2008.

Thunder Head Engineering. 2010a. **PyroSim User Manual, 2010.1.** n.p.

_______. 2010b. **PyroSim Example Guide, 2010.1.** n.p.

Walter, W., Jones, D. P. Richard, P. F. Glenn and A. R. Paul. 2009. **CFAST – Consolidated Model of Fire Growth and Smoke Transport (Version 6), Technical Reference Guide.** NIST Special Publication 1026, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland, USA, April 2009.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก ก

คำสั่งข้อมูลสำหรับโปรแกรม FDS

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

```
&HEAD CHID='Butyl_Acetate'/
&TIME T_END=180.00/
&DUMP RENDER_FILE='Butyl_Acetate.ge1', DT_DEVC=2.00, DT_HRR=2.00,
DT_RESTART=300.00, PLOT3D_QUANTITY='H','U-
VELOCITY','HRRPUV','TEMPERATURE','THERMOCOUPLE'/
&MISC TMPA=38.00/

&MESH ID='AUX 0505_01_Butyl Acetate', FYI='AUX 0505_01_Butyl Acetate',
IJK=100,80,30, XB=0.00,50.00,0.00,40.00,0.00,15.00/

&PART ID='Tracer',
    MASSLESS=.TRUE.,
    COLOR='BLACK',
    AGE=60.00/

&MATL ID='CONCRETE',
    FYI='NBSIR 88-3752 - ATF NIST Multi-Floor Validation',
    SPECIFIC_HEAT=1.04,
    CONDUCTIVITY=1.80,
    DENSITY=2.2800000E003/
&MATL ID='STEEL',
    FYI='Drysdale, Intro to Fire Dynamics - ATF NIST Multi-Floor Validation',
    SPECIFIC_HEAT=0.4600,
    CONDUCTIVITY=45.80,
    DENSITY=7.8500000E003,
    EMISSIVITY=0.95/
&MATL ID='YELLOW PINE',
    FYI='Quintiere, Fire Behavior - NIST NRC Validation',
    SPECIFIC_HEAT=2.85,
    CONDUCTIVITY=0.1400,
```

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

```
    DENSITY=640.00/
&MATL ID='CALCIUM SILICATE',
    FYI='NBSIR 88-3752 - NBS Multi-Room Validation',
    SPECIFIC_HEAT_RAMP='CALCIUM SILICATE_SPECIFIC_HEAT_RAMP',
    CONDUCTIVITY=0.1200,
    DENSITY=720.00,
    EMISSIVITY=0.83/
&RAMP ID='CALCIUM SILICATE_SPECIFIC_HEAT_RAMP', T=20.00, F=1.25/
&RAMP ID='CALCIUM SILICATE_SPECIFIC_HEAT_RAMP', T=200.00, F=1.25/
&RAMP ID='CALCIUM SILICATE_SPECIFIC_HEAT_RAMP', T=300.00, F=1.33/
&RAMP ID='CALCIUM SILICATE_SPECIFIC_HEAT_RAMP', T=600.00, F=1.55/
&MATL ID='Butyl',
    FYI='Butyl Acetate',
    SPECIFIC_HEAT=2.45,
    CONDUCTIVITY=0.1700,
    DENSITY=880.00,
    ABSORPTION_COEFFICIENT=40.00,
    EMISSIVITY=1.00,
    HEAT_OF_COMBUSTION=3.0540000E004,
    HEAT_OF_REACTION=880.00,
    NU_FUEL=0.97,
    BOILING_TEMPERATURE=126.00/

&SURF ID='concrete wall',
    RGB=255,204,153,
    MATL_ID(1,1)='CONCRETE',
    MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.00,
    THICKNESS(1)=0.3000/
&SURF ID='Steel',
    COLOR='GRAY 80',
```

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

```
    MATL_ID(1,1)='STEEL',
    MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.00,
    THICKNESS(1)=0.1000/
&SURF ID='concrete wall02',
    RGB=255,204,153,
    MATL_ID(1,1)='CONCRETE',
    MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.00,
    THICKNESS(1)=0.3000/
&SURF ID='wood',
    RGB=102,51,0,
    MATL_ID(1,1)='YELLOW PINE',
    MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.00,
    THICKNESS(1)=0.2000/
&SURF ID='calcium',
    RGB=255,204,204,
    MATL_ID(1,1)='CALCIUM SILICATE',
    MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.00,
    THICKNESS(1)=0.2000/
&SURF ID='Butyl',
    FYI='Butyl01',
    RGB=153,0,51,
    MATL_ID(1,1)='Butyl',
    MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.00,
    THICKNESS(1)=1.00/
&SURF ID='burner',
    FYI='500 kW/m2',
    COLOR='RED',
    HRRPUA=500.00,
    PART_ID='Tracer'/
&SURF ID='wood02',
```

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

```
    RGB=102,51,0,
    MATL_ID(1,1)='YELLOW PINE',
    MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.00,
    THICKNESS(1)=0.2000/
&SURF ID='wood0203',
    RGB=102,51,0,
    MATL_ID(1,1)='YELLOW PINE',
    MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.00,
    THICKNESS(1)=0.2000/
&SURF ID='wood020302',
    RGB=102,51,0,
    MATL_ID(1,1)='YELLOW PINE',
    MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.00,
    THICKNESS(1)=0.2000/
&SURF ID='wood02030202',
    RGB=102,51,0,
    MATL_ID(1,1)='YELLOW PINE',
    MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.00,
    THICKNESS(1)=0.2000/
&SURF ID='wood0203020204',
    RGB=102,51,0,
    MATL_ID(1,1)='YELLOW PINE',
    MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.00,
    THICKNESS(1)=0.2000/
&SURF ID='wood02030204',
    RGB=102,51,0,
    MATL_ID(1,1)='YELLOW PINE',
    MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.00,
    THICKNESS(1)=0.2000/
&SURF ID='wood020304',
```

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

```
    RGB=102,51,0,
    MATL_ID(1,1)='YELLOW PINE',
    MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.00,
    THICKNESS(1)=0.2000/
&SURF ID='wood0205',
    RGB=102,51,0,
    MATL_ID(1,1)='YELLOW PINE',
    MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.00,
    THICKNESS(1)=0.2000/
&SURF ID='wood0203020402',
    RGB=102,51,0,
    MATL_ID(1,1)='YELLOW PINE',
    MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.00,
    THICKNESS(1)=0.2000/
&SURF ID='wood02030402',
    RGB=102,51,0,
    MATL_ID(1,1)='YELLOW PINE',
    MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.00,
    THICKNESS(1)=0.2000/
&SURF ID='wood020502',
    RGB=102,51,0,
    MATL_ID(1,1)='YELLOW PINE',
    MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.00,
    THICKNESS(1)=0.2000/
&SURF ID='wood020302020402',
    RGB=102,51,0,
    MATL_ID(1,1)='YELLOW PINE',
    MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.00,
    THICKNESS(1)=0.2000/
&SURF ID='wood0203040202',
```

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

```
    RGB=102,51,0,
    MATL_ID(1,1)='YELLOW PINE',
    MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.00,
    THICKNESS(1)=0.2000/
&SURF ID='wood02030202040202',
    RGB=102,51,0,
    MATL_ID(1,1)='YELLOW PINE',
    MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.00,
    THICKNESS(1)=0.2000/
&SURF ID='wood02050202',
    RGB=102,51,0,
    MATL_ID(1,1)='YELLOW PINE',
    MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.00,
    THICKNESS(1)=0.2000/
&SURF ID='wood020302040202',
    RGB=102,51,0,
    MATL_ID(1,1)='YELLOW PINE',
    MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.00,
    THICKNESS(1)=0.2000/
&SURF ID='wood020302020403',
    RGB=102,51,0,
    MATL_ID(1,1)='YELLOW PINE',
    MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.00,
    THICKNESS(1)=0.2000/
&SURF ID='wood0203020202',
    RGB=102,51,0,
    MATL_ID(1,1)='YELLOW PINE',
    MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.00,
    THICKNESS(1)=0.2000/
&SURF ID='wood0203020203',
```

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

```
    RGB=102,51,0,
    MATL_ID(1,1)='YELLOW PINE',
    MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.00,
    THICKNESS(1)=0.2000/

&PROP ID='Default', QUANTITY='LINK TEMPERATURE',
ACTIVATION_TEMPERATURE=74.00/
&DEVC ID='FLOW 1', QUANTITY='HEAT FLOW', XB=2.00,3.00,4.00,4.00,0.00,2.00/
&DEVC ID='HD 3', PROP_ID='Default', XYZ=13.00,6.50,6.00/
&DEVC ID='HD 302', PROP_ID='Default', XYZ=13.00,12.50,6.00/
&DEVC ID='HD 303', PROP_ID='Default', XYZ=13.00,9.50,6.00/
&DEVC ID='HD 5', PROP_ID='Default', XYZ=23.00,12.00,6.00/
&DEVC ID='HD 6', PROP_ID='Default', XYZ=13.00,29.50,6.00/
&DEVC ID='HD 602', PROP_ID='Default', XYZ=7.00,29.50,6.00/
&DEVC ID='HD 60202', PROP_ID='Default', XYZ=18.00,29.50,6.00/
&DEVC ID='HD 6020202', PROP_ID='Default', XYZ=17.50,20.50,6.00/
&DEVC ID='HD 60203', PROP_ID='Default', XYZ=6.50,20.50,6.00/
&DEVC ID='HD 603', PROP_ID='Default', XYZ=23.00,29.50,6.00/
&DEVC ID='HD 60302', PROP_ID='Default', XYZ=22.50,20.50,6.00/
&DEVC ID='HD 604', PROP_ID='Default', XYZ=12.50,20.50,6.00/
&DEVC ID='HD 7', PROP_ID='Default', XYZ=13.00,36.00,6.00/
&DEVC ID='HD 702', PROP_ID='Default', XYZ=7.00,36.00,6.00/
&DEVC ID='HD 9', PROP_ID='Default', XYZ=42.50,36.00,6.00/
&DEVC ID='HD 902', PROP_ID='Default', XYZ=36.00,36.00,6.00/
&DEVC ID='HD10', PROP_ID='Default', XYZ=42.50,29.50,6.00/
&DEVC ID='HD1002', PROP_ID='Default', XYZ=36.00,29.50,6.00/
&DEVC ID='HD11', PROP_ID='Default', XYZ=42.50,23.00,6.00/
&DEVC ID='HD1102', PROP_ID='Default', XYZ=36.00,23.00,6.00/
&DEVC ID='HD12', PROP_ID='Default', XYZ=42.50,15.00,6.00/
&DEVC ID='HD13', PROP_ID='Default', XYZ=42.50,6.50,6.00/
```

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

```
&DEVC ID='LAYER zone 01->HEIGHT', QUANTITY='LAYER HEIGHT',
XB=6.00,6.00,9.00,9.00,0.00,6.00, SETPOINT=0.00/
&DEVC ID='LAYER zone 01->LTEMP', QUANTITY='LOWER TEMPERATURE',
XB=6.00,6.00,9.00,9.00,0.00,6.00, SETPOINT=0.00/
&DEVC ID='LAYER zone 01->UTEMP', QUANTITY='UPPER TEMPERATURE',
XB=6.00,6.00,9.00,9.00,0.00,6.00, SETPOINT=0.00/
&DEVC ID='LAYER zone 03_01->HEIGHT', QUANTITY='LAYER HEIGHT',
XB=18.30,18.30,9.00,9.00,0.00,6.00, SETPOINT=0.00/
&DEVC ID='LAYER zone 03_01->LTEMP', QUANTITY='LOWER TEMPERATURE',
XB=18.30,18.30,9.00,9.00,0.00,6.00, SETPOINT=0.00/
&DEVC ID='LAYER zone 03_01->UTEMP', QUANTITY='UPPER TEMPERATURE',
XB=18.30,18.30,9.00,9.00,0.00,6.00, SETPOINT=0.00/
&DEVC ID='LAYER zone 03_02->HEIGHT', QUANTITY='LAYER HEIGHT',
XB=15.00,15.00,9.00,9.00,0.00,6.00, SETPOINT=0.00/
&DEVC ID='LAYER zone 03_02->LTEMP', QUANTITY='LOWER TEMPERATURE',
XB=15.00,15.00,9.00,9.00,0.00,6.00, SETPOINT=0.00/
&DEVC ID='LAYER zone 03_02->UTEMP', QUANTITY='UPPER TEMPERATURE',
XB=15.00,15.00,9.00,9.00,0.00,6.00, SETPOINT=0.00/
&DEVC ID='LAYER zone 03_03->HEIGHT', QUANTITY='LAYER HEIGHT',
XB=11.00,11.00,9.00,9.00,0.00,6.00, SETPOINT=0.00/
&DEVC ID='LAYER zone 03_03->LTEMP', QUANTITY='LOWER TEMPERATURE',
XB=11.00,11.00,9.00,9.00,0.00,6.00, SETPOINT=0.00/
&DEVC ID='LAYER zone 03_03->UTEMP', QUANTITY='UPPER TEMPERATURE',
XB=11.00,11.00,9.00,9.00,0.00,6.00, SETPOINT=0.00/
&DEVC ID='LAYER zone 04->HEIGHT', QUANTITY='LAYER HEIGHT',
XB=23.50,23.50,7.00,7.00,0.00,6.00, SETPOINT=0.00/
&DEVC ID='LAYER zone 04->LTEMP', QUANTITY='LOWER TEMPERATURE',
XB=23.50,23.50,7.00,7.00,0.00,6.00, SETPOINT=0.00/
&DEVC ID='LAYER zone 04->UTEMP', QUANTITY='UPPER TEMPERATURE',
XB=23.50,23.50,7.00,7.00,0.00,6.00, SETPOINT=0.00/
```

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

```
&DEVC ID='LAYER zone 05->HEIGHT', QUANTITY='LAYER HEIGHT',
XB=25.00,25.00,11.50,11.50,0.00,6.00, SETPOINT=0.00/
&DEVC ID='LAYER zone 05->LTEMP', QUANTITY='LOWER TEMPERATURE',
XB=25.00,25.00,11.50,11.50,0.00,6.00, SETPOINT=0.00/
&DEVC ID='LAYER zone 05->UTEMP', QUANTITY='UPPER TEMPERATURE',
XB=25.00,25.00,11.50,11.50,0.00,6.00, SETPOINT=0.00/
&DEVC ID='LAYER zone 06->HEIGHT', QUANTITY='LAYER HEIGHT',
XB=18.30,18.30,25.00,25.00,0.00,6.00, SETPOINT=0.00/
&DEVC ID='LAYER zone 06->LTEMP', QUANTITY='LOWER TEMPERATURE',
XB=18.30,18.30,25.00,25.00,0.00,6.00, SETPOINT=0.00/
&DEVC ID='LAYER zone 06->UTEMP', QUANTITY='UPPER TEMPERATURE',
XB=18.30,18.30,25.00,25.00,0.00,6.00, SETPOINT=0.00/
&DEVC ID='LAYER zone 07->HEIGHT', QUANTITY='LAYER HEIGHT',
XB=6.00,6.00,36.00,36.00,0.00,6.00, SETPOINT=0.00/
&DEVC ID='LAYER zone 07->LTEMP', QUANTITY='LOWER TEMPERATURE',
XB=6.00,6.00,36.00,36.00,0.00,6.00, SETPOINT=0.00/
&DEVC ID='LAYER zone 07->UTEMP', QUANTITY='UPPER TEMPERATURE',
XB=6.00,6.00,36.00,36.00,0.00,6.00, SETPOINT=0.00/
&DEVC ID='LAYER zone 08->HEIGHT', QUANTITY='LAYER HEIGHT',
XB=11.00,11.00,36.00,36.00,0.00,6.00, SETPOINT=0.00/
&DEVC ID='LAYER zone 08->LTEMP', QUANTITY='LOWER TEMPERATURE',
XB=11.00,11.00,36.00,36.00,0.00,6.00, SETPOINT=0.00/
&DEVC ID='LAYER zone 08->UTEMP', QUANTITY='UPPER TEMPERATURE',
XB=11.00,11.00,36.00,36.00,0.00,6.00, SETPOINT=0.00/
&DEVC ID='LAYER zone 08_02->HEIGHT', QUANTITY='LAYER HEIGHT',
XB=27.00,27.00,36.00,36.00,0.00,6.00, SETPOINT=0.00/
&DEVC ID='LAYER zone 08_02->LTEMP', QUANTITY='LOWER TEMPERATURE',
XB=27.00,27.00,36.00,36.00,0.00,6.00, SETPOINT=0.00/
&DEVC ID='LAYER zone 08_02->UTEMP', QUANTITY='UPPER TEMPERATURE',
XB=27.00,27.00,36.00,36.00,0.00,6.00, SETPOINT=0.00/
```

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

```
&DEVC ID='LAYER zone 09->HEIGHT', QUANTITY='LAYER HEIGHT',
XB=36.00,36.00,36.00,36.00,0.00,6.00, SETPOINT=0.00/
&DEVC ID='LAYER zone 09->LTEMP', QUANTITY='LOWER TEMPERATURE',
XB=36.00,36.00,36.00,36.00,0.00,6.00, SETPOINT=0.00/
&DEVC ID='LAYER zone 09->UTEMP', QUANTITY='UPPER TEMPERATURE',
XB=36.00,36.00,36.00,36.00,0.00,6.00, SETPOINT=0.00/
&DEVC ID='LAYER zone 10->HEIGHT', QUANTITY='LAYER HEIGHT',
XB=36.00,36.00,30.00,30.00,0.00,6.00, SETPOINT=0.00/
&DEVC ID='LAYER zone 10->LTEMP', QUANTITY='LOWER TEMPERATURE',
XB=36.00,36.00,30.00,30.00,0.00,6.00, SETPOINT=0.00/
&DEVC ID='LAYER zone 10->UTEMP', QUANTITY='UPPER TEMPERATURE',
XB=36.00,36.00,30.00,30.00,0.00,6.00, SETPOINT=0.00/
&DEVC ID='LAYER zone 11->HEIGHT', QUANTITY='LAYER HEIGHT',
XB=39.25,39.25,22.00,22.00,0.00,6.00, SETPOINT=0.00/
&DEVC ID='LAYER zone 11->LTEMP', QUANTITY='LOWER TEMPERATURE',
XB=39.25,39.25,22.00,22.00,0.00,6.00, SETPOINT=0.00/
&DEVC ID='LAYER zone 11->UTEMP', QUANTITY='UPPER TEMPERATURE',
XB=39.25,39.25,22.00,22.00,0.00,6.00, SETPOINT=0.00/
&DEVC ID='LAYER zone 12->HEIGHT', QUANTITY='LAYER HEIGHT',
XB=39.25,39.25,15.00,15.00,0.00,6.00, SETPOINT=0.00/
&DEVC ID='LAYER zone 12->LTEMP', QUANTITY='LOWER TEMPERATURE',
XB=39.25,39.25,15.00,15.00,0.00,6.00, SETPOINT=0.00/
&DEVC ID='LAYER zone 12->UTEMP', QUANTITY='UPPER TEMPERATURE',
XB=39.25,39.25,15.00,15.00,0.00,6.00, SETPOINT=0.00/
&DEVC ID='LAYER zone 13->HEIGHT', QUANTITY='LAYER HEIGHT',
XB=39.25,39.25,6.25,6.25,0.00,6.00, SETPOINT=0.00/
&DEVC ID='LAYER zone 13->LTEMP', QUANTITY='LOWER TEMPERATURE',
XB=39.25,39.25,6.25,6.25,0.00,6.00, SETPOINT=0.00/
&DEVC ID='LAYER zone 13->UTEMP', QUANTITY='UPPER TEMPERATURE',
XB=39.25,39.25,6.25,6.25,0.00,6.00, SETPOINT=0.00/
```

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

```
&DEVC ID='LAYER zone Office01->HEIGHT', QUANTITY='LAYER HEIGHT',
XB=28.00,28.00,35.25,35.25,0.00,6.00, SETPOINT=0.00/
&DEVC ID='LAYER zone Office01->LTEMP', QUANTITY='LOWER TEMPERATURE',
XB=28.00,28.00,35.25,35.25,0.00,6.00, SETPOINT=0.00/
&DEVC ID='LAYER zone Office01->UTEMP', QUANTITY='UPPER TEMPERATURE',
XB=28.00,28.00,35.25,35.25,0.00,6.00, SETPOINT=0.00/
&DEVC ID='LAYER zone Office02->HEIGHT', QUANTITY='LAYER HEIGHT',
XB=20.25,20.25,35.25,35.25,0.00,6.00, SETPOINT=0.00/
&DEVC ID='LAYER zone Office02->LTEMP', QUANTITY='LOWER TEMPERATURE',
XB=20.25,20.25,35.25,35.25,0.00,6.00, SETPOINT=0.00/
&DEVC ID='LAYER zone Office02->UTEMP', QUANTITY='UPPER TEMPERATURE',
XB=20.25,20.25,35.25,35.25,0.00,6.00, SETPOINT=0.00/
&DEVC ID='LAYER zone Office03->HEIGHT', QUANTITY='LAYER HEIGHT',
XB=10.25,10.25,35.25,35.25,0.00,6.00, SETPOINT=0.00/
&DEVC ID='LAYER zone Office03->LTEMP', QUANTITY='LOWER TEMPERATURE',
XB=10.25,10.25,35.25,35.25,0.00,6.00, SETPOINT=0.00/
&DEVC ID='LAYER zone Office03->UTEMP', QUANTITY='UPPER TEMPERATURE',
XB=10.25,10.25,35.25,35.25,0.00,6.00, SETPOINT=0.00/
&DEVC ID='LAYER zone W02->HEIGHT', QUANTITY='LAYER HEIGHT',
XB=30.75,30.75,31.00,31.00,0.00,6.00, SETPOINT=0.00/
&DEVC ID='LAYER zone W02->LTEMP', QUANTITY='LOWER TEMPERATURE',
XB=30.75,30.75,31.00,31.00,0.00,6.00, SETPOINT=0.00/
&DEVC ID='LAYER zone W02->UTEMP', QUANTITY='UPPER TEMPERATURE',
XB=30.75,30.75,31.00,31.00,0.00,6.00, SETPOINT=0.00/
&DEVC ID='LAYER zone Way01->HEIGHT', QUANTITY='LAYER HEIGHT',
XB=32.25,32.25,13.00,13.00,0.00,6.00, SETPOINT=0.00/
&DEVC ID='LAYER zone Way01->LTEMP', QUANTITY='LOWER TEMPERATURE',
XB=32.25,32.25,13.00,13.00,0.00,6.00, SETPOINT=0.00/
&DEVC ID='LAYER zone Way01->UTEMP', QUANTITY='UPPER TEMPERATURE',
XB=32.25,32.25,13.00,13.00,0.00,6.00, SETPOINT=0.00/
```

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

```
&DEVC ID='THCP_03_01', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=14.00,9.00,1.00,
SETPOINT=0.00/
&DEVC ID='THCP_03_02', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=17.00,9.00,1.00,
SETPOINT=0.00/
&DEVC ID='THCP_03_03', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=11.00,9.00,1.00,
SETPOINT=0.00/
&DEVC ID='THCP_12_01', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=40.00,15.00,1.00/
&DEVC ID='THCP_12_02', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=35.00,15.00,1.00/
&DEVC ID='THCP_13_01', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=40.00,7.50,1.00/
&DEVC ID='THCP_13_02', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=35.00,7.50,1.00/
&DEVC ID='THCP_13_03', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=40.00,4.50,1.00/
&DEVC ID='THCP_13_04', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=35.00,4.50,1.00/
&DEVC ID='TIMER', QUANTITY='TIME', XYZ=0.00,0.00,0.00, SETPOINT=26.00,
INITIAL_STATE=.TRUE./
&DEVC ID='TIMER2', QUANTITY='TIME', XYZ=0.00,0.00,0.00, SETPOINT=100.00,
INITIAL_STATE=.TRUE./

&CTRL ID='FireDoor', FUNCTION_TYPE='ALL', LATCH=.TRUE., INPUT_ID='HD13'/

&OBST XB=3.30,9.70,3.30,3.50,0.00,6.00, SURF_ID='concrete wall'/ Bottom Wall (Min X)
&OBST XB=9.58,9.70,3.30,13.70,0.00,6.00, SURF_ID='concrete wall'/ Right Wall (Max Y)
&OBST XB=3.30,9.70,13.58,13.70,0.00,6.00, SURF_ID='concrete wall'/ Top Wall (Max X)
&OBST XB=3.30,3.50,3.30,13.70,0.00,6.02, SURF_ID='concrete wall'/ Left Wall (Min Y)
&OBST XB=9.30,13.70,3.30,3.40,0.00,6.00, SURF_ID='concrete wall'/ Bottom Wall (Min X)
&OBST XB=13.58,13.70,3.30,5.70,0.00,6.00, SURF_ID='concrete wall'/ Right Wall (Max Y)
&OBST XB=9.30,13.70,5.58,5.70,0.00,6.00, SURF_ID='concrete wall'/ Top Wall (Max X)
&OBST XB=9.30,9.42,3.30,5.70,0.00,6.00, SURF_ID='concrete wall'/ Left Wall (Min Y)
&OBST XB=9.30,18.70,5.30,5.50,0.00,6.00, SURF_ID='concrete wall'/ Bottom Wall (Min X)
&OBST XB=18.58,18.70,5.30,13.70,0.00,6.00, SURF_ID='concrete wall'/ Right Wall (Max Y)
&OBST XB=9.30,18.70,13.58,13.70,0.00,6.00, SURF_ID='concrete wall'/ Top Wall (Max X)
```

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

```
&OBST XB=9.30,9.42,5.30,13.70,0.00,6.00, SURF_ID='concrete wall'/ Left Wall (Min Y)
&OBST XB=18.30,28.70,9.80,9.92,0.00,6.00, SURF_ID='concrete wall'/ Bottom Wall (Min X)
&OBST XB=28.58,28.70,9.80,13.70,0.00,6.00, SURF_ID='concrete wall'/ Right Wall (Max Y)
&OBST XB=18.30,28.70,13.58,13.70,0.00,6.00, SURF_ID='concrete wall'/ Top Wall (Max X)
&OBST XB=18.30,18.42,9.80,13.70,0.00,6.00, SURF_ID='concrete wall'/ Left Wall (Min Y)
&OBST XB=28.00,34.00,3.30,3.42,0.00,6.00, SURF_ID='Steel', CTRL_ID='FireDoor'/ FireDoor
&OBST XB=28.58,28.70,3.30,10.20,0.00,6.00, SURF_ID='concrete wall'/ Right Wall (Max Y)
&OBST XB=18.30,28.70,10.08,10.20,0.00,6.00, SURF_ID='concrete wall'/ Top Wall (Max X)
&OBST XB=18.30,18.42,3.30,10.20,0.00,6.00, SURF_ID='concrete wall'/ Left Wall (Min Y)
&OBST XB=18.30,28.70,3.30,3.50,0.00,6.00, SURF_ID='concrete wall02'/ Bottom Wall (Min X)
&OBST XB=3.30,25.70,13.30,13.42,0.00,6.00, SURF_ID='concrete wall'/ Bottom Wall (Min X)
&OBST XB=25.58,25.70,13.30,33.20,0.00,6.00, SURF_ID='concrete wall'/ Right Wall (Max Y)
&OBST XB=3.30,25.70,33.08,33.20,0.00,6.00, SURF_ID='concrete wall'/ Top Wall (Max X)
&OBST XB=3.30,3.50,13.30,33.20,0.00,6.02, SURF_ID='concrete wall'/ Left Wall (Min Y)
&OBST XB=3.30,8.70,32.80,33.00,0.00,6.00, SURF_ID='INERT'/ Bottom Wall (Min X)
&OBST XB=8.58,8.70,32.80,38.70,0.00,6.00, SURF_ID='concrete wall'/ Right Wall (Max Y)
&OBST XB=3.30,8.70,38.50,38.70,0.00,6.02, SURF_ID='concrete wall'/ Top Wall (Max X)
&OBST XB=3.30,3.50,32.80,38.70,0.00,6.02, SURF_ID='concrete wall'/ Left Wall (Min Y)
&OBST XB=8.30,33.70,32.80,32.92,0.00,6.00, SURF_ID='concrete wall'/ Bottom Wall (Min X)
&OBST XB=33.58,33.70,32.80,38.70,0.00,6.00, SURF_ID='concrete wall'/ Right Wall (Max Y)
&OBST XB=8.30,33.70,38.50,38.70,0.00,6.02, SURF_ID='concrete wall'/ Top Wall (Max X)
&OBST XB=8.30,8.42,32.80,38.70,0.00,6.00, SURF_ID='concrete wall'/ Left Wall (Min Y)
&OBST XB=33.30,45.70,32.80,32.92,0.00,6.00, SURF_ID='concrete wall'/ Bottom Wall (Min X)
&OBST XB=45.50,45.70,32.80,38.70,0.00,6.02, SURF_ID='concrete wall'/ Right Wall (Max Y)
&OBST XB=33.30,45.70,38.50,38.70,0.00,6.02, SURF_ID='concrete wall'/ Top Wall (Max X)
&OBST XB=33.30,33.42,32.80,38.70,0.00,6.00, SURF_ID='concrete wall'/ Left Wall (Min Y)
&OBST XB=33.30,45.70,26.30,26.42,0.00,6.00, SURF_ID='concrete wall'/ Bottom Wall (Min X)
&OBST XB=45.50,45.70,26.30,33.20,0.00,6.02, SURF_ID='concrete wall'/ Right Wall (Max Y)
&OBST XB=33.30,45.70,33.08,33.20,0.00,6.00, SURF_ID='concrete wall'/ Top Wall (Max X)
&OBST XB=33.30,33.42,26.30,33.20,0.00,6.00, SURF_ID='concrete wall'/ Left Wall (Min Y)
```

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

```
&OBST XB=33.30,45.70,19.30,19.42,0.00,6.00, SURF_ID='concrete wall'/ Bottom Wall (Min X)
&OBST XB=45.50,45.70,19.30,26.70,0.00,6.02, SURF_ID='concrete wall'/ Right Wall (Max Y)
&OBST XB=33.30,45.70,26.58,26.70,0.00,6.00, SURF_ID='concrete wall'/ Top Wall (Max X)
&OBST XB=33.30,33.42,19.30,26.70,0.00,6.00, SURF_ID='concrete wall'/ Left Wall (Min Y)
&OBST XB=33.30,45.70,9.30,9.42,0.00,6.00, SURF_ID='concrete wall'/ Bottom Wall (Min X)
&OBST XB=45.50,45.70,9.30,19.70,0.00,6.02, SURF_ID='concrete wall'/ Right Wall (Max Y)
&OBST XB=33.30,45.70,19.58,19.70,0.00,6.00, SURF_ID='concrete wall'/ Top Wall (Max X)
&OBST XB=33.30,33.42,9.30,19.70,0.00,6.00, SURF_ID='concrete wall'/ Left Wall (Min Y)
&OBST XB=33.30,45.70,3.30,3.50,0.00,6.00, SURF_ID='concrete wall'/ Bottom Wall (Min X)
&OBST XB=45.50,45.70,3.30,9.70,0.00,6.02, SURF_ID='concrete wall'/ Right Wall (Max Y)
&OBST XB=33.30,45.70,9.58,9.70,0.00,6.00, SURF_ID='concrete wall'/ Top Wall (Max X)
&OBST XB=33.30,33.42,3.30,9.70,0.00,6.00, SURF_ID='concrete wall'/ Left Wall (Min Y)
&OBST XB=12.00,13.50,34.00,36.50,0.00,1.00, SURF_ID='wood'/ Obstruction
&OBST XB=18.00,19.50,34.00,36.50,0.00,1.00, SURF_ID='wood'/ Obstruction
&OBST XB=24.50,26.00,34.00,36.50,0.00,1.00, SURF_ID='wood'/ Obstruction
&OBST XB=36.50,38.50,34.00,35.50,0.00,2.50, SURF_ID='Steel'/ Obstruction
&OBST XB=41.50,43.50,34.00,35.50,0.00,2.50, SURF_ID='Steel'/ Obstruction
&OBST XB=39.00,41.00,36.00,37.50,0.00,2.50, SURF_ID='Steel'/ Obstruction
&OBST XB=41.50,43.50,23.50,25.50,0.00,1.00, SURF_ID='calcium'/ Obstruction
&OBST XB=41.50,43.50,20.50,22.50,0.00,1.00, SURF_ID='calcium'/ Obstruction
&OBST XB=34.50,36.00,17.25,18.75,0.00,1.00, SURF_ID='Butyl'/ Obstruction
&OBST XB=37.25,38.75,17.25,18.75,0.00,1.00, SURF_ID='Butyl'/ Obstruction
&OBST XB=40.25,41.75,17.25,18.75,0.00,1.00, SURF_ID='Butyl'/ Obstruction
&OBST XB=43.00,44.50,17.25,18.75,0.00,1.00, SURF_ID='Butyl'/ Obstruction
&OBST XB=43.00,44.50,15.00,16.50,0.00,1.00, SURF_ID='Butyl'/ Obstruction
&OBST XB=43.00,44.50,12.50,14.00,0.00,1.00, SURF_ID='Butyl'/ Obstruction
&OBST XB=43.00,44.50,10.50,12.00,0.00,1.00, SURF_ID='Butyl'/ Obstruction
&OBST XB=16.50,18.00,30.00,31.50,0.00,1.00, SURF_ID='Steel'/ Obstruction
&OBST XB=19.50,21.00,30.00,31.50,0.00,1.00, SURF_ID='Steel'/ Obstruction
&OBST XB=16.50,18.00,27.50,29.00,0.00,1.00, SURF_ID='Steel'/ Obstruction
```

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

```
&OBST XB=19.50,21.00,27.50,29.00,0.00,1.00, SURF_ID='Steel'/ Obstruction
&OBST XB=19.50,21.00,25.00,26.50,0.00,1.00, ALLOW_VENT=.FALSE., SURF_ID='Steel'/ Obstruction
&OBST XB=6.00,16.00,14.50,19.00,0.00,3.00, SURF_ID='Steel'/ Obstruction
&OBST XB=11.50,12.50,7.50,12.00,0.00,3.00, SURF_ID='Steel'/ Obstruction
&OBST XB=15.50,16.50,7.50,12.00,0.00,3.00, SURF_ID='Steel'/ Obstruction
&OBST XB=21.00,27.00,12.00,13.00,0.00,3.00, SURF_ID='Steel'/ Obstruction
&OBST XB=21.00,27.00,10.50,11.50,0.00,3.00, SURF_ID='Steel'/ Obstruction
&OBST XB=26.00,27.00,7.50,9.50,0.00,3.00, SURF_ID='wood'/ Obstruction
&OBST XB=26.00,27.00,4.50,6.50,0.00,3.00, SURF_ID='wood'/ Obstruction
&OBST XB=23.50,24.50,7.50,9.50,0.00,3.00, SURF_ID='wood'/ Obstruction
&OBST XB=23.50,24.50,4.50,6.50,0.00,3.00, SURF_ID='wood'/ Obstruction
&OBST XB=21.00,22.00,7.50,9.50,0.00,3.00, SURF_ID='wood'/ Obstruction
&OBST XB=21.00,22.00,4.50,6.50,0.00,3.00, SURF_ID='wood'/ Obstruction
&OBST XB=16.50,18.00,25.00,26.50,0.00,1.00, SURF_ID='Steel'/ Obstruction
&OBST XB=34.00,36.00,4.50,6.50,0.00,2.00, SURF_ID='burner'/ Burner
&OBST XB=34.38,35.88,15.00,16.50,0.00,1.00, SURF_ID='Butyl'/ Obstruction
&OBST XB=37.25,38.75,15.00,16.50,0.00,1.00, SURF_ID='Butyl'/ Obstruction
&OBST XB=40.25,41.75,15.00,16.50,0.00,1.00, SURF_ID='Butyl'/ Obstruction
&OBST XB=40.25,41.75,6.75,8.25,0.00,1.00, SURF_ID='Butyl'/ Obstruction
&OBST XB=43.00,44.50,6.75,8.25,0.00,1.00, SURF_ID='Butyl'/ Obstruction
&OBST XB=34.75,36.25,6.75,8.25,0.00,1.00, SURF_ID='Butyl'/ Obstruction
&OBST XB=5.00,9.50,3.50,4.00,0.00,1.00, SURF_ID='INERT'/ Obstruction
&OBST XB=43.00,44.50,4.50,6.00,0.00,1.00, SURF_ID='Butyl'/ Obstruction
&OBST XB=37.75,39.25,6.75,8.25,0.00,1.00, SURF_ID='Butyl'/ Obstruction
&OBST XB=3.00,12.00,3.00,10.00,6.02,6.02, SURF_ID='wood02'/ Ceiling
&OBST XB=12.05,21.05,3.00,10.00,6.02,6.02, SURF_ID='wood0203'/ Ceiling
&OBST XB=21.10,32.00,3.00,10.00,6.02,6.02, SURF_ID='wood020302'/ Ceiling4
&OBST XB=33.20,45.80,3.00,9.50,6.02,6.02, SURF_ID='wood02030202'/ Ceiling13
&OBST XB=33.05,45.80,10.15,17.00,6.02,6.02, SURF_ID='wood0203020204'/ Ceiling12
```

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

```
&OBST XB=21.10,33.00,10.05,17.00,6.02,6.02, SURF_ID='wood02030204'/ Ceiling
&OBST XB=12.05,21.05,10.05,17.00,6.02,6.02, SURF_ID='wood020304'/ Ceiling
&OBST XB=3.00,12.00,10.05,17.00,6.02,6.02, SURF_ID='wood0205'/ Ceiling
&OBST XB=21.20,33.10,17.00,24.00,6.02,6.02, SURF_ID='wood0203020402'/ Ceiling
&OBST XB=12.15,21.15,17.00,24.00,6.00,6.02, SURF_ID='wood02030402'/ Ceiling
&OBST XB=3.10,12.10,17.00,24.00,6.02,6.02, SURF_ID='wood020502'/ Ceiling
&OBST XB=33.15,45.90,17.00,24.00,6.02,6.02, SURF_ID='wood020302020402'/ Ceiling
&OBST XB=12.15,21.15,24.05,31.00,6.02,6.02, SURF_ID='wood0203040202'/ Ceiling
&OBST XB=33.15,45.90,24.05,31.00,6.02,6.02, SURF_ID='wood02030202040202'/ Ceiling
&OBST XB=3.10,12.10,24.05,31.00,6.02,6.02, SURF_ID='wood02050202'/ Ceiling
&OBST XB=21.20,33.10,24.10,31.00,6.02,6.02, SURF_ID='wood020302040202'/ Ceiling
&OBST XB=33.15,45.90,31.05,39.00,6.02,6.02, SURF_ID='wood02030202040202'/ Ceiling
&OBST XB=21.20,33.10,31.05,39.00,6.02,6.02, SURF_ID='wood020302040202'/ Ceiling
&OBST XB=12.15,21.15,31.05,39.00,6.02,6.02, SURF_ID='wood0203040202'/ Ceiling
&OBST XB=3.10,12.10,31.05,39.00,6.02,6.02, SURF_ID='wood02050202'/ Ceiling
&OBST XB=33.05,45.80,10.05,10.15,6.02,6.02, SURF_ID='wood020302020403',
DEVC_ID='TIMER'/ Ceiling121
&OBST XB=33.05,45.80,9.00,10.00,6.02,6.02, SURF_ID='wood0203020202',
DEVC_ID='TIMER'/ Ceiling131
&OBST XB=32.00,33.20,3.00,10.00,6.02,6.02, SURF_ID='wood0203020203',
DEVC_ID='TIMER2'/ Ceiling132
&OBST XB=3.50,25.00,3.00,3.50,6.00,6.50, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=4.00,4.50,4.00,37.50,6.00,6.50, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=4.00,25.00,3.50,4.00,6.00,6.50, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=4.00,25.00,37.50,38.50,6.00,6.50, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=5.00,25.00,4.50,5.00,6.50,7.00, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=5.50,25.00,5.00,5.50,6.50,7.00, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=6.00,6.50,6.00,36.50,6.50,7.00, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=6.00,25.00,36.50,37.00,6.50,7.00, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=7.50,8.00,7.00,7.50,7.00,7.50, SURF_ID='INERT'/ Slab
```

```
&OBST XB=7.50,8.50,7.50,35.00,7.00,7.50, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=7.50,25.00,6.50,7.00,7.00,7.50, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=7.50,25.00,35.00,35.50,7.00,7.50, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=9.00,25.00,8.00,8.50,7.50,8.00, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=9.50,10.00,9.00,33.50,7.50,8.00, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=9.50,25.00,33.50,34.00,7.50,8.00, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=11.00,25.00,9.50,10.00,8.00,8.50, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=11.50,12.00,10.50,32.00,8.00,8.50, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=11.50,25.00,32.00,32.50,8.00,8.50, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=12.50,25.00,11.00,11.50,8.50,9.00, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=13.00,14.00,12.00,30.50,8.50,9.00, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=13.00,25.00,30.50,31.00,8.50,9.00, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=14.50,25.00,12.50,13.00,9.00,9.50, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=15.00,15.50,13.50,29.00,9.00,9.50, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=15.00,25.00,13.00,13.50,9.00,9.50, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=15.00,25.00,29.00,30.00,9.00,9.50, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=16.00,25.00,14.00,14.50,9.50,10.00, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=16.50,25.00,14.50,15.00,9.50,10.00, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=17.00,17.50,15.50,28.00,9.50,10.00, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=17.00,25.00,28.00,28.50,9.50,10.00, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=18.50,19.00,16.50,17.00,10.00,10.50, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=18.50,19.50,17.00,26.50,10.00,10.50, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=18.50,25.00,16.00,16.50,10.00,10.50, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=18.50,25.00,26.50,27.00,10.00,10.50, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=20.00,25.00,17.50,18.00,10.50,11.00, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=20.50,21.00,18.50,25.00,10.50,11.00, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=20.50,25.00,25.00,25.50,10.50,11.00, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=22.00,25.00,19.00,19.50,11.00,11.50, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=22.50,23.00,20.00,23.50,11.00,11.50, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=22.50,25.00,23.50,24.00,11.00,11.50, SURF_ID='INERT'/ Slab
```

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

&OBST XB=23.50,25.00,20.50,21.00,11.50,12.00, SURF_ID='INERT'/ Slab

&OBST XB=24.00,25.00,22.00,22.50,11.50,12.00, SURF_ID='INERT'/ Slab

&OBST XB=24.00,25.50,21.50,22.00,11.50,12.00, SURF_ID='INERT'/ Slab

&OBST XB=25.00,26.00,22.50,23.00,11.50,12.00, SURF_ID='INERT'/ Slab

&OBST XB=25.00,26.50,21.00,21.50,11.50,12.00, SURF_ID='INERT'/ Slab

&OBST XB=25.00,26.50,23.00,23.50,11.50,12.00, SURF_ID='INERT'/ Slab

&OBST XB=25.00,27.00,20.00,20.50,11.00,11.50, SURF_ID='INERT'/ Slab

&OBST XB=25.00,28.00,24.00,24.50,11.00,11.50, SURF_ID='INERT'/ Slab

&OBST XB=25.00,28.50,19.50,20.00,11.00,11.50, SURF_ID='INERT'/ Slab

&OBST XB=25.00,29.00,18.00,18.50,10.50,11.00, SURF_ID='INERT'/ Slab

&OBST XB=25.00,29.50,25.50,26.00,10.50,11.00, SURF_ID='INERT'/ Slab

&OBST XB=25.00,31.50,27.00,27.50,10.00,10.50, SURF_ID='INERT'/ Slab

&OBST XB=25.00,32.00,16.50,17.00,10.00,10.50, SURF_ID='INERT'/ Slab

&OBST XB=25.00,32.50,15.00,15.50,9.50,10.00, SURF_ID='INERT'/ Slab

&OBST XB=25.00,33.50,28.50,29.00,9.50,10.00, SURF_ID='INERT'/ Slab

&OBST XB=25.00,34.00,13.50,14.00,9.00,9.50, SURF_ID='INERT'/ Slab

&OBST XB=25.00,35.00,30.00,30.50,9.00,9.50, SURF_ID='INERT'/ Slab

&OBST XB=25.00,36.00,12.00,12.50,8.50,9.00, SURF_ID='INERT'/ Slab

&OBST XB=25.00,36.50,31.00,31.50,8.50,9.00, SURF_ID='INERT'/ Slab

&OBST XB=25.00,37.00,11.50,12.00,8.50,9.00, SURF_ID='INERT'/ Slab

&OBST XB=25.00,37.00,31.50,32.00,8.50,9.00, SURF_ID='INERT'/ Slab

&OBST XB=25.00,37.50,10.50,11.00,8.00,8.50, SURF_ID='INERT'/ Slab

&OBST XB=25.00,38.50,32.50,33.00,8.00,8.50, SURF_ID='INERT'/ Slab

&OBST XB=25.00,39.00,10.00,10.50,8.00,8.50, SURF_ID='INERT'/ Slab

&OBST XB=25.00,39.50,8.50,9.00,7.50,8.00, SURF_ID='INERT'/ Slab

&OBST XB=25.00,40.00,34.00,34.50,7.50,8.00, SURF_ID='INERT'/ Slab

&OBST XB=25.00,42.00,35.50,36.00,7.00,7.50, SURF_ID='INERT'/ Slab

&OBST XB=25.00,42.50,7.00,7.50,7.00,7.50, SURF_ID='INERT'/ Slab

&OBST XB=25.00,43.00,5.50,6.00,6.50,7.00, SURF_ID='INERT'/ Slab

&OBST XB=25.00,44.00,37.00,37.50,6.50,7.00, SURF_ID='INERT'/ Slab

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

```
&OBST XB=25.00,44.50,4.00,4.50,6.00,6.50, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=25.00,45.50,38.50,39.00,6.00,6.50, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=25.50,26.00,22.00,22.50,11.50,12.00, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=26.00,26.50,21.50,22.00,11.50,12.00, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=27.00,27.50,22.00,24.00,11.00,11.50, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=27.50,28.50,20.00,22.00,11.00,11.50, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=28.00,28.50,19.00,19.50,11.00,11.50, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=28.50,29.50,22.00,25.00,10.50,11.00, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=29.00,29.50,25.00,25.50,10.50,11.00, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=29.50,30.00,17.50,22.00,10.50,11.00, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=30.50,31.00,22.00,26.50,10.00,10.50, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=31.00,32.00,17.00,22.00,10.00,10.50, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=31.50,32.00,16.00,16.50,10.00,10.50, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=32.00,33.00,22.00,28.00,9.50,10.00, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=32.50,33.00,28.00,28.50,9.50,10.00, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=33.00,33.50,14.50,22.00,9.50,10.00, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=34.00,34.50,22.00,29.50,9.00,9.50, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=34.50,35.50,13.00,22.00,9.00,9.50, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=35.50,36.50,22.00,30.50,8.50,9.00, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=36.00,36.50,30.50,31.00,8.50,9.00, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=36.50,37.00,12.00,22.00,8.50,9.00, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=37.50,38.00,22.00,32.50,8.00,8.50, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=38.00,39.00,10.50,22.00,8.00,8.50, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=38.50,39.00,9.50,10.00,8.00,8.50, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=39.00,40.00,22.00,33.50,7.50,8.00, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=39.50,40.00,33.50,34.00,7.50,8.00, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=40.00,40.50,8.00,22.00,7.50,8.00, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=41.00,41.50,22.00,35.00,7.00,7.50, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=41.50,42.50,7.50,22.00,7.00,7.50, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=42.00,42.50,6.50,7.00,7.00,7.50, SURF_ID='INERT'/ Slab
```

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

```
&OBST XB=42.50,43.50,22.00,36.50,6.50,7.00, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=43.00,43.50,36.50,37.00,6.50,7.00, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=43.50,44.00,5.00,22.00,6.50,7.00, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=44.50,45.00,22.00,38.00,6.00,6.50, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=45.00,46.00,3.50,22.00,6.00,6.50, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=3.00,3.50,3.00,3.50,6.00,6.00, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=3.00,4.00,3.50,38.50,6.00,6.00, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=3.00,25.00,38.50,39.00,6.00,6.00, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=4.50,5.00,4.50,5.00,6.50,6.50, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=4.50,5.50,5.00,5.50,6.50,6.50, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=4.50,6.00,5.50,37.00,6.50,6.50, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=4.50,25.00,4.00,4.50,6.50,6.50, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=4.50,25.00,37.00,37.50,6.50,6.50, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=6.00,25.00,5.50,6.00,7.00,7.00, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=6.50,7.50,6.50,35.50,7.00,7.00, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=6.50,25.00,35.50,36.00,7.00,7.00, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=6.50,42.50,36.00,36.50,7.00,7.00, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=6.50,43.50,6.00,6.50,7.00,7.00, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=8.00,25.00,7.00,7.50,7.50,7.50, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=8.50,9.00,8.00,8.50,7.50,7.50, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=8.50,9.50,8.50,34.00,7.50,7.50, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=8.50,25.00,34.00,34.50,7.50,7.50, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=8.50,41.00,34.50,35.00,7.50,7.50, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=8.50,41.50,7.50,8.00,7.50,7.50, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=9.50,25.00,8.50,9.00,8.00,8.00, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=10.00,11.00,9.50,10.00,8.00,8.00, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=10.00,11.50,10.00,32.50,8.00,8.00, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=10.00,25.00,32.50,33.00,8.00,8.00, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=10.00,39.00,33.00,33.50,8.00,8.00, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=10.00,40.00,9.00,9.50,8.00,8.00, SURF_ID='INERT'/ Slab
```

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

```
&OBST XB=11.50,25.00,10.00,10.50,8.50,8.50, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=12.00,12.50,11.00,11.50,8.50,8.50, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=12.00,13.00,11.50,31.00,8.50,8.50, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=12.00,25.00,10.50,11.00,8.50,8.50, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=12.00,25.00,31.00,32.00,8.50,8.50, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=13.00,25.00,11.50,12.00,9.00,9.00, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=14.00,14.50,12.50,13.00,9.00,9.00, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=14.00,15.00,13.00,30.00,9.00,9.00, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=14.00,25.00,12.00,12.50,9.00,9.00, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=14.00,25.00,30.00,30.50,9.00,9.00, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=15.50,16.00,14.00,14.50,9.50,9.50, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=15.50,16.50,14.50,15.00,9.50,9.50, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=15.50,17.00,15.00,28.50,9.50,9.50, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=15.50,25.00,13.50,14.00,9.50,9.50, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=15.50,25.00,28.50,29.00,9.50,9.50, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=17.00,25.00,15.00,15.50,10.00,10.00, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=17.50,18.50,16.00,27.00,10.00,10.00, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=17.50,25.00,27.00,27.50,10.00,10.00, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=17.50,32.00,27.50,28.00,10.00,10.00, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=17.50,33.00,15.50,16.00,10.00,10.00, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=19.00,25.00,16.50,17.00,10.50,10.50, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=19.50,20.00,17.50,18.00,10.50,10.50, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=19.50,20.50,18.00,25.50,10.50,10.50, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=19.50,25.00,25.50,26.00,10.50,10.50, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=19.50,30.50,26.00,26.50,10.50,10.50, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=19.50,31.00,17.00,17.50,10.50,10.50, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=20.50,25.00,18.00,18.50,11.00,11.00, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=21.00,22.00,19.00,19.50,11.00,11.00, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=21.00,22.50,19.50,24.00,11.00,11.00, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=21.00,25.00,24.00,24.50,11.00,11.00, SURF_ID='INERT'/ Slab
```

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

&OBST XB=21.00,28.50,24.50,25.00,11.00,11.00, SURF_ID='INERT'/ Slab

&OBST XB=21.00,29.50,18.50,19.00,11.00,11.00, SURF_ID='INERT'/ Slab

&OBST XB=22.50,25.00,19.50,20.00,11.50,11.50, SURF_ID='INERT'/ Slab

&OBST XB=23.00,23.50,20.50,21.00,11.50,11.50, SURF_ID='INERT'/ Slab

&OBST XB=23.00,24.00,21.00,22.50,11.50,11.50, SURF_ID='INERT'/ Slab

&OBST XB=23.00,25.00,20.00,20.50,11.50,11.50, SURF_ID='INERT'/ Slab

&OBST XB=23.00,25.00,22.50,23.50,11.50,11.50, SURF_ID='INERT'/ Slab

&OBST XB=24.00,25.00,21.00,21.50,12.00,12.00, SURF_ID='INERT'/ Slab

&OBST XB=25.00,25.50,22.00,22.50,12.00,12.00, SURF_ID='INERT'/ Slab

&OBST XB=25.00,27.00,23.50,24.00,11.50,11.50, SURF_ID='INERT'/ Slab

&OBST XB=25.00,27.50,20.50,21.00,11.50,11.50, SURF_ID='INERT'/ Slab

&OBST XB=25.00,28.00,19.00,19.50,11.00,11.00, SURF_ID='INERT'/ Slab

&OBST XB=25.00,29.00,25.00,25.50,11.00,11.00, SURF_ID='INERT'/ Slab

&OBST XB=25.00,29.50,17.50,18.00,10.50,10.50, SURF_ID='INERT'/ Slab

&OBST XB=25.00,31.00,26.50,27.00,10.50,10.50, SURF_ID='INERT'/ Slab

&OBST XB=25.00,31.50,16.00,16.50,10.00,10.00, SURF_ID='INERT'/ Slab

&OBST XB=25.00,32.50,28.00,28.50,10.00,10.00, SURF_ID='INERT'/ Slab

&OBST XB=25.00,33.00,14.50,15.00,9.50,9.50, SURF_ID='INERT'/ Slab

&OBST XB=25.00,34.00,29.00,29.50,9.50,9.50, SURF_ID='INERT'/ Slab

&OBST XB=25.00,34.50,13.00,13.50,9.00,9.00, SURF_ID='INERT'/ Slab

&OBST XB=25.00,34.50,14.00,14.50,9.50,9.50, SURF_ID='INERT'/ Slab

&OBST XB=25.00,34.50,29.50,30.00,9.50,9.50, SURF_ID='INERT'/ Slab

&OBST XB=25.00,36.00,30.50,31.00,9.00,9.00, SURF_ID='INERT'/ Slab

&OBST XB=25.00,36.50,12.50,13.00,9.00,9.00, SURF_ID='INERT'/ Slab

&OBST XB=25.00,37.50,32.00,32.50,8.50,8.50, SURF_ID='INERT'/ Slab

&OBST XB=25.00,38.00,11.00,11.50,8.50,8.50, SURF_ID='INERT'/ Slab

&OBST XB=25.00,38.50,9.50,10.00,8.00,8.00, SURF_ID='INERT'/ Slab

&OBST XB=25.00,39.50,33.50,34.00,8.00,8.00, SURF_ID='INERT'/ Slab

&OBST XB=25.00,40.00,8.00,8.50,7.50,7.50, SURF_ID='INERT'/ Slab

&OBST XB=25.00,41.50,35.00,35.50,7.50,7.50, SURF_ID='INERT'/ Slab

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

&OBST XB=25.00,42.00,6.50,7.00,7.00,7.00, SURF_ID='INERT'/ Slab

&OBST XB=25.00,43.00,36.50,37.00,7.00,7.00, SURF_ID='INERT'/ Slab

&OBST XB=25.00,43.50,5.00,5.50,6.50,6.50, SURF_ID='INERT'/ Slab

&OBST XB=25.00,44.50,37.50,38.00,6.50,6.50, SURF_ID='INERT'/ Slab

&OBST XB=25.00,45.00,3.50,4.00,6.00,6.00, SURF_ID='INERT'/ Slab

&OBST XB=25.00,45.00,4.50,5.00,6.50,6.50, SURF_ID='INERT'/ Slab

&OBST XB=25.00,45.00,38.00,38.50,6.50,6.50, SURF_ID='INERT'/ Slab

&OBST XB=25.00,46.00,3.00,3.50,6.00,6.00, SURF_ID='INERT'/ Slab

&OBST XB=25.50,26.00,21.50,22.00,12.00,12.00, SURF_ID='INERT'/ Slab

&OBST XB=26.00,27.00,22.00,23.00,11.50,11.50, SURF_ID='INERT'/ Slab

&OBST XB=26.50,27.00,23.00,23.50,11.50,11.50, SURF_ID='INERT'/ Slab

&OBST XB=26.50,27.50,21.00,22.00,11.50,11.50, SURF_ID='INERT'/ Slab

&OBST XB=27.00,27.50,20.00,20.50,11.50,11.50, SURF_ID='INERT'/ Slab

&OBST XB=27.50,28.50,22.00,24.00,11.00,11.00, SURF_ID='INERT'/ Slab

&OBST XB=28.00,28.50,24.00,24.50,11.00,11.00, SURF_ID='INERT'/ Slab

&OBST XB=28.50,29.50,19.00,22.00,11.00,11.00, SURF_ID='INERT'/ Slab

&OBST XB=29.00,29.50,18.00,18.50,11.00,11.00, SURF_ID='INERT'/ Slab

&OBST XB=29.50,30.50,22.00,26.00,10.50,10.50, SURF_ID='INERT'/ Slab

&OBST XB=30.00,31.00,17.50,22.00,10.50,10.50, SURF_ID='INERT'/ Slab

&OBST XB=31.00,32.00,22.00,27.00,10.00,10.00, SURF_ID='INERT'/ Slab

&OBST XB=31.50,32.00,27.00,27.50,10.00,10.00, SURF_ID='INERT'/ Slab

&OBST XB=32.00,33.00,16.00,22.00,10.00,10.00, SURF_ID='INERT'/ Slab

&OBST XB=32.50,33.00,15.00,15.50,10.00,10.00, SURF_ID='INERT'/ Slab

&OBST XB=33.00,34.00,22.00,28.50,9.50,9.50, SURF_ID='INERT'/ Slab

&OBST XB=33.50,34.00,28.50,29.00,9.50,9.50, SURF_ID='INERT'/ Slab

&OBST XB=33.50,34.50,14.50,22.00,9.50,9.50, SURF_ID='INERT'/ Slab

&OBST XB=34.00,34.50,13.50,14.00,9.50,9.50, SURF_ID='INERT'/ Slab

&OBST XB=34.50,35.50,22.00,30.00,9.00,9.00, SURF_ID='INERT'/ Slab

&OBST XB=35.00,35.50,30.00,30.50,9.00,9.00, SURF_ID='INERT'/ Slab

&OBST XB=35.50,36.50,13.00,22.00,9.00,9.00, SURF_ID='INERT'/ Slab

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

```
&OBST XB=36.00,36.50,12.00,12.50,9.00,9.00, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=36.50,37.50,22.00,31.50,8.50,8.50, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=37.00,37.50,31.50,32.00,8.50,8.50, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=37.00,38.00,11.50,22.00,8.50,8.50, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=37.50,38.00,10.50,11.00,8.50,8.50, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=38.00,39.00,22.00,32.50,8.00,8.00, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=38.50,39.00,32.50,33.00,8.00,8.00, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=39.00,40.00,9.50,22.00,8.00,8.00, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=39.50,40.00,8.50,9.00,8.00,8.00, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=40.00,41.00,22.00,34.50,7.50,7.50, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=40.50,41.50,8.00,22.00,7.50,7.50, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=41.50,42.50,22.00,35.50,7.00,7.00, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=42.00,42.50,35.50,36.00,7.00,7.00, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=42.50,43.50,6.50,22.00,7.00,7.00, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=43.00,43.50,5.50,6.00,7.00,7.00, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=43.50,44.50,22.00,37.00,6.50,6.50, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=44.00,44.50,37.00,37.50,6.50,6.50, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=44.00,45.00,5.00,22.00,6.50,6.50, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=44.50,45.00,4.00,4.50,6.50,6.50, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=45.00,46.00,22.00,38.50,6.00,6.00, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=45.50,46.00,38.50,39.00,6.00,6.00, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=3.00,3.50,3.00,3.00,6.00,6.50, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=7.00,7.50,6.50,6.50,7.00,7.50, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=8.50,9.00,8.00,8.00,7.50,8.00, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=10.50,11.00,9.50,9.50,8.00,8.50, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=14.00,14.50,12.50,12.50,9.00,9.50, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=18.00,18.50,16.00,16.00,10.00,10.50, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=19.50,20.00,17.50,17.50,10.50,11.00, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=21.50,22.00,19.00,19.00,11.00,11.50, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=28.00,28.50,24.50,24.50,11.00,11.50, SURF_ID='INERT'/ Slab
```

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

```
&OBST XB=29.00,29.50,18.00,18.00,10.50,11.00, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=29.50,30.00,26.00,26.00,10.50,11.00, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=31.50,32.00,27.50,27.50,10.00,10.50, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=32.50,33.00,15.00,15.00,9.50,10.00, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=34.00,34.50,13.50,13.50,9.00,9.50, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=35.00,35.50,30.50,30.50,9.00,9.50, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=38.50,39.00,33.00,33.00,8.00,8.50, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=39.50,40.00,8.50,8.50,7.50,8.00, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=40.00,40.50,34.50,34.50,7.50,8.00, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=42.00,42.50,36.00,36.00,7.00,7.50, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=43.00,43.50,5.50,5.50,6.50,7.00, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=44.50,45.00,4.00,4.00,6.00,6.50, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=45.50,46.00,39.00,39.00,6.00,6.50, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=6.00,6.00,5.50,6.00,6.50,7.00, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=9.50,9.50,8.50,9.00,7.50,8.00, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=11.50,11.50,10.00,10.50,8.00,8.50, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=13.00,13.00,11.50,12.00,8.50,9.00, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=17.00,17.00,15.00,15.50,9.50,10.00, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=20.50,20.50,18.00,18.50,10.50,11.00, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=22.50,22.50,19.50,20.00,11.00,11.50, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=24.00,24.00,21.00,21.50,11.50,12.00, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=26.50,26.50,20.50,21.00,11.50,12.00, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=31.00,31.00,26.50,27.00,10.00,10.50, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=34.50,34.50,29.50,30.00,9.00,9.50, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=35.50,35.50,12.50,13.00,9.00,9.50, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=37.00,37.00,11.00,11.50,8.50,9.00, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=41.50,41.50,35.00,35.50,7.00,7.50, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=45.00,45.00,38.00,38.50,6.00,6.50, SURF_ID='INERT'/ Slab
&OBST XB=46.00,46.00,3.00,3.50,6.00,6.50, SURF_ID='INERT'/ Slab
```

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

&HOLE

XB=2.5000000E001,2.6000000E001,1.7000000E001,1.9000000E001,0.0000000E000,2.0000000
E000/ Hole

&HOLE

XB=1.8000000E001,1.9000000E001,1.0500000E001,1.2500000E001,0.0000000E000,2.0000000
E000/ Hole

&HOLE

XB=1.8000000E001,1.9000000E001,4.0000000E000,5.0000000E000,0.0000000E000,2.0000000
E000/ Hole

&HOLE

XB=1.3000000E001,1.4000000E001,4.0000000E000,5.0000000E000,0.0000000E000,2.0000000
E000/ Hole

&HOLE

XB=1.5000000E001,1.7000000E001,5.0000000E000,6.0000000E000,0.0000000E000,2.0000000
E000/ Hole

&HOLE

XB=5.0000000E000,7.0000000E000,3.0000000E000,4.0000000E000,0.0000000E000,2.0000000
E000/ Hole

&HOLE

XB=3.2500000E001,3.4000000E001,3.5000000E001,3.7000000E001,0.0000000E000,2.0000000
E000/ Hole

&HOLE

XB=2.9500000E001,3.1500000E001,3.2500000E001,3.3500000E001,0.0000000E000,2.0000000
E000/ Hole

&HOLE

XB=3.3000000E001,3.4000000E001,2.9000000E001,3.1000000E001,0.0000000E000,2.0000000
E000/ Hole

&HOLE

XB=3.3000000E001,3.4000000E001,2.2500000E001,2.4500000E001,0.0000000E000,2.0000000
E000/ Hole

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

&HOLE

XB=3.3000000E001,3.4000000E001,1.2000000E001,1.4000000E001,0.0000000E000,2.0000000
E000/ Hole

&HOLE

XB=3.5500000E001,3.7500000E001,9.0000000E000,1.0000000E001,0.0000000E000,2.0000000
E000/ Hole

&HOLE

XB=4.1500000E001,4.3500000E001,9.0000000E000,1.0000000E001,0.0000000E000,2.0000000
E000/ Hole

&HOLE

XB=3.5000000E000,8.5000000E000,3.2500000E001,3.3500000E001,0.0000000E000,6.0000000
E000/ Hole

&HOLE

XB=4.5000000E001,4.6000000E001,4.0000000E000,9.0000000E000,1.0000000E000,2.0000000
E000/ Window13

&HOLE

XB=4.5000000E001,4.6000000E001,1.2500000E001,1.8000000E001,1.0000000E000,2.0000000
E000/ Window12

&HOLE

XB=4.5000000E001,4.6000000E001,2.0500000E001,2.6000000E001,1.0000000E000,2.0000000
E000/ Hole

&HOLE

XB=4.5000000E001,4.6000000E001,2.7000000E001,3.2500000E001,1.0000000E000,2.0000000
E000/ Hole

&HOLE

XB=4.5000000E001,4.6000000E001,3.3500000E001,3.8000000E001,1.0000000E000,2.0000000
E000/ Hole

&HOLE

XB=3.7000000E001,4.2500000E001,3.8000000E001,3.9000000E001,1.0000000E000,2.0000000
E000/ Hole

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

&HOLE

XB=2.6000000E001,3.1500000E001,3.8000000E001,3.9000000E001,1.0000000E000,2.0000000 E000/ Hole

&HOLE

XB=1.8000000E001,2.3500000E001,3.8000000E001,3.9000000E001,1.0000000E000,2.0000000 E000/ Hole

&HOLE

XB=1.0000000E001,1.5500000E001,3.8000000E001,3.9000000E001,1.0000000E000,2.0000000 E000/ Hole

&HOLE

XB=2.8300000E001,2.8900000E001,5.0000000E000,5.1000000E000,5.5000000E000,5.5500000 E000, RGB=204,153,0/ Hole

&HOLE

XB=1.8300000E001,1.8800000E001,7.0000000E000,7.1000000E000,5.5000000E000,5.5500000 E000, RGB=204,153,0/ Hole

&HOLE

XB=3.3200000E001,3.3500000E001,5.0000000E000,5.1000000E000,5.5000000E000,5.5500000 E000, RGB=204,153,0/ Hole

&HOLE

XB=3.3200000E001,3.3500000E001,6.0000000E000,6.1000000E000,5.5000000E000,5.5500000 E000, RGB=204,153,0/ Hole

&HOLE

XB=2.8300000E001,2.8900000E001,6.0000000E000,6.1000000E000,5.5000000E000,5.5500000 E000, RGB=204,153,0/ Hole

&HOLE

XB=1.8500000E001,1.8800000E001,1.2000000E001,1.2500000E001,5.0000000E000,5.3000000 E000, RGB=204,153,0/ Hole5to3

&HOLE

XB=2.8300000E001,2.8900000E001,1.2000000E001,1.2100000E001,5.5000000E000,5.5500000 E000, RGB=204,153,0/ Hole5

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

```
&HOLE
XB=2.8300000E001,2.8900000E001,1.0500000E001,1.0600000E001,5.5000000E000,5.5500000
E000, RGB=204,153,0/ Hole5_2

&VENT SURF_ID='INERT', XB=0.00,50.00,0.00,40.00,0.00,0.00, COLOR='GRAY 80'/
ZBAR0
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=0.00,50.00,0.00,40.00,15.00,15.00, COLOR='WHITE',
OUTLINE=.TRUE./ ZBARUP
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=0.00,0.00,0.00,40.00,0.00,15.00, OUTLINE=.TRUE./ YBAR0
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=50.00,50.00,0.00,40.00,0.00,15.00, OUTLINE=.TRUE./ YBAR
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=0.00,50.00,40.00,40.00,0.00,15.00, OUTLINE=.TRUE./ FBAR
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=0.00,50.00,0.00,0.00,0.00,15.00, OUTLINE=.TRUE./
FrontBAR

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBY=0.00/


&TAIL /
```

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก ข

คำสั่งข้อมูลสำหรับโปรแกรม CFAST

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

```
VERSN,6,AUX BLDG
!!
!!Environmental Keywords
!!
TIMES,180,-1,2,1,2
EAMB,311.15,101300,0
TAMB,311.15,101300,0,50
CJET,WALLS
CHEMI,10,393.15
WIND,0,10,0.16
!!
!!Compartment keywords
!!
COMPA,R1 Sand Brush,6,10,6,0,0,0,GYPSUM,CEMENTMO,CONCRETE
COMPA,R2 Glass Room,4,2,6,6,0,0,GYPSUM,CEMENTMO,CONCRETE
COMPA,R3 Mercury Operation,9,8,6,6,2,0,GYPSUM,CEMENTMO,CONCRETE
COMPA,R4 Air Condition,10,3.5,6,15,6.5,0,GYPSUM,CEMENTMO,CONCRETE
COMPA,R5 Meeting Room,10,6.5,6,15,0,0,GYPSUM,CEMENTMO,CONCRETE
COMPA,R6 Waterbasa,22,19.5,6,0,10,0,GYPSUM,CEMENTMO,CONCRETE
COMPA,R7 Washing Area,5,5.5,6,0,29.5,0,GYPSUM,CEMENTMO,CONCRETE
COMPA,R8 Office,25,5.5,6,5,29.5,0,GYPSUM,CEMENTMO,CONCRETE
COMPA,R9 Demin Water,12,5.5,6,30,29.5,0,GYPSUM,CEMENTMO,CONCRETE
COMPA,R10 Vacant,12,6.5,6,30,23,0,GYPSUM,CEMENTMO,CONCRETE
COMPA,R11 Cement Room,12,7,6,30,16,0,GYPSUM,CEMENTMO,CONCRETE
COMPA,R12 Chemical ,12,10,6,30,6,0,GYPSUM,CEMENTMO,CONCRETE
COMPA,R13 Chemical Mixing,12,6,6,30,0,0,GYPSUM,CEMENTMO,CONCRETE
COMPA,CR13,12,6,0.55,30,0,6,GYPSUM,CEMENTMO,CONCRETE
COMPA,COverAll,42,35,0.55,0,0,6,GYPSUM,CEMENTMO,CONCRETE
!!
!!vent keywords
```

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

```
!!
HVENT,16,1,1,2,2,0,1,2,0,1,1
HVENT,16,2,1,1.2,2,0,1,0.5,0,2,1
HVENT,16,3,1,2,2,0,1,6,0,1,1
HVENT,16,5,1,1.2,2,0,1,0.4,0,4,1
HVENT,3,4,1,2,2,0,1,5.5,1,2,0
HVENT,16,12,1,2,2,0,1,2,0,4,1
HVENT,12,13,1,2,2,0,1,2,0,1,1
HVENT,12,13,2,2,2,0,1,8,0,1,1
HVENT,16,11,1,2,2,0,1,2.5,0,4,1
HVENT,16,10,1,2,2,0,1,2.5,0,4,1
HVENT,16,8,1,2,2,0,1,22,0,1,1
HVENT,8,9,1,2,2,0,1,2,0,2,1
HVENT,16,6,1,2,2,0,1,4,0,2,1
HVENT,6,7,1,5,6,0,1,0,0,3,1
HVENT,16,13,1,5.4,2,1,1,0.3,0,2,1
HVENT,16,12,2,5.4,2,1,1,2,0,2,1
HVENT,16,11,2,5.4,2,1,1,0.8,0,2,1
HVENT,16,10,2,5.4,2,1,1,0.55,0,2,1
HVENT,16,9,1,5.4,2,1,1,0,0,2,1
HVENT,9,16,2,5.4,2,1,1,3,2,3,1
HVENT,8,16,2,5.4,2,1,1,2,2,3,1
HVENT,8,16,3,5.4,2,1,1,10,2,3,1
HVENT,8,16,4,5.4,2,1,1,17,2,3,1
HVENT,16,13,2,6,6,5,1,0,0,4,0
HVENT,4,16,1,3.5,6,5,1,0,0,2,0
HVENT,5,16,2,6.5,6,5,1,0,0,2,0
HVENT,3,4,2,5,6,5,1,0,0,2,0
HVENT,12,13,3,12,6,4.5,1,0,0,1,1
HVENT,3,5,1,5,6,5,1,0,0,2,0
```

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

HVENT,12,13,4,12,4,0,1,0,0,1,1

EVENT,H,16,13,2,23,1,1

EVENT,H,4,16,1,23,1,1

EVENT,H,5,16,2,23,1,1

EVENT,H,3,4,2,23,1,1

EVENT,H,3,5,1,23,1,1

EVENT,H,12,13,4,10,1,1

!!

!!fire keywords

!!

MAINF,12,1,1,1,1

OBJECT,FDS_36540_10s,13,3,5,1,1,1,0,0,0,1

!!

!!heat flow keywords

!!

HHEAT,1,1,3,1

HHEAT,1,1,2,1

HHEAT,3,1,5,1

HHEAT,3,1,4,1

HHEAT,13,1,12,1

!!

!!target and detector keywords

!!

TARGET,3,1,1,1,0,0,1,GYPSUM,IMPLICIT,PDE

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อสกุล	นางสาวเกษมศานต์ ปทุมารักษ์
เกิดวันที่	1 มกราคม 2515
สถานที่เกิด	จันทบุรี
ประวัติการศึกษา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สุขภาพ)
	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ตำแหน่งปัจจุบัน	ที่ปรึกษา
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	บริษัท คิด เพื่อความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อม จำกัด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์