



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมความปลอดภัย)

ปริญญา

วิศวกรรมความปลอดภัย

โครงการสหวิทยาการระดับบัณฑิตศึกษา

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การศึกษาการอพยพในชั้นเรียนโดยใช้โปรแกรมจำลองพลศาสตร์อวกาศและการอพยพ

The Study of Classroom Evacuation by Fire Dynamics Simulation and Evacuation Program

นามผู้วิจัย นางสาวแฉ่งเดือน คุรุกิจกำจร

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์เสรี เสวตเสรณี, D.Eng.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(รองศาสตราจารย์ธงไชย ศรีนพคุณ, Ph.D.)

ประธานสาขาวิชา

(รองศาสตราจารย์พีรยุทธ์ ชาญเศรษฐิกุล, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การศึกษาการอพยพในชั้นเรียนโดยใช้โปรแกรมจำลองพลศาสตร์อวกาศและการอพยพ

The Study of Classroom Evacuation by Fire Dynamics Simulation and Evacuation Program

โดย

นางแสงเดือน คุรุกิจกำจร

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมความปลอดภัย)

พ.ศ. 2552

แสงเดือน กุรุกิจำจร 2552: การศึกษาการอพยพในชั้นเรียนโดยใช้โปรแกรมจำลองพลศาสตร์
อวกาศและการอพยพ ปรินซ์ฮาล์วกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมความปลอดภัย)
สาขาวิศวกรรมความปลอดภัย โครงการสหวิทยาการระดับบัณฑิตศึกษา อาจารย์ที่ปรึกษา
วิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์เสรี เสวตเสณิ, D.Eng. 118 หน้า

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการอพยพในชั้นที่ 5 ของอาคารวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โดยใช้โปรแกรมจำลองพลศาสตร์อวกาศและการอพยพ FDS 5.2.0 and Smoke
view 5.2.2 กำหนดตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา 3 ตัวแปร ได้แก่ ห้องต้นเพลิง จำนวนผู้ใช้ชั้นเรียน และความกว้าง
ของประตูห้อง พบว่า จำนวนผู้ใช้ชั้นเรียน 426 คน ขนาดของต้นเพลิงมีขนาดเท่ากัน ห้องต้นเพลิงเกิดจากห้อง
1509, 1516 และ 1517 พบว่า มีจำนวนผู้ใช้ชั้นเรียนที่ไม่สามารถอพยพออกจากชั้นเรียนภายใน 3 นาที คิดเป็น
ร้อยละ 10.0, 21.6 และ 19.7 ตามลำดับ โดยห้องต้นเพลิงที่อยู่ในทางปลายตันจะก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้ใช้ชั้นเรียน
มากกว่าห้องต้นเพลิงที่อยู่ในบริเวณอื่น เมื่อกำหนดให้มีจำนวนผู้ใช้ชั้นเรียน 200, 300 และ 400 คน ต้นเพลิง
เกิดจากห้องเดียวกันพบว่า มีจำนวนผู้ใช้ชั้นเรียนที่ไม่สามารถอพยพออกจากชั้นเรียนภายใน 3 นาที คิดเป็น
ร้อยละ 2.4, 4.5 และ 20.7 ตามลำดับ จำนวนผู้ใช้ชั้นเรียนมากจะมีโอกาสได้รับอันตรายมากกว่าจำนวนผู้
ใช้ชั้นเรียนน้อย เมื่อกำหนดความกว้างของประตูห้องเรียนที่อยู่ในบริเวณทางปลายตันมีขนาด 0.9, 1.2 และ 1.5 เมตร
พบว่า มีจำนวนผู้ใช้ชั้นเรียนที่ไม่สามารถอพยพออกจากชั้นเรียนภายใน 3 นาที คิดเป็นร้อยละ 21.6, 21.1 และ
20.9 ตามลำดับ เมื่อกำหนดให้ความกว้างของประตูมีขนาดกว้างขึ้นจะมีผลทำให้ผู้ใช้ชั้นเรียนอพยพได้อย่าง
ปลอดภัยมากขึ้น จากผลการจำลองในสภาพปัจจุบันทั้ง 3 ตัวแปรสามารถสรุปได้ว่า ผู้ใช้ชั้นเรียนไม่สามารถ
อพยพออกจากชั้นที่ 5 ได้ภายใน 3 นาที ตามข้อเสนอแนะของ NFPA และพบผู้เสียชีวิตอยู่ในบริเวณทางปลายตัน

การศึกษางานวิจัยนี้พบว่าการออกแบบเส้นทางหนีไฟของอาคารเรียนชั้นที่ 5 ไม่สอดคล้องตามมาตรฐาน
ของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ผลการจำลองในสภาพปัจจุบันมีจำนวนผู้เสียชีวิตคิดเป็นร้อยละ 21.6
ผู้วิจัยจึงทำการออกแบบเส้นทางหนีไฟใหม่โดยให้มีผลกระทบต่อโครงสร้างค้ำยันน้อยที่สุด ผลการจำลอง
การออกแบบเส้นทางหนีไฟใหม่กรณีเปิดช่องทางเดินใหม่และกรณีทำประตูออกเพิ่ม พบมีจำนวนผู้เสียชีวิต
ลดลง เป็นร้อยละ 2.1 และ 15.0 ตามลำดับ โดยเฉพาะกรณีเปิดช่องทางเดินใหม่ออกแบบให้มีระยะทางปลายตัน
ลดลงสอดคล้องตามมาตรฐานของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ผู้ใช้ชั้นเรียนสามารถเลือกใช้เส้นทางหนีไฟ
ที่อยู่ใกล้บันไดหนีไฟและอยู่ห่างจากห้องต้นเพลิงมากกว่าเส้นทางเดิมจำนวนผู้เสียชีวิตจึงลดลง ผู้ใช้ชั้นเรียน
จึงมีความปลอดภัยมากขึ้นและสามารถลดความรุนแรงของเหตุเพลิงไหม้ที่เกิดขึ้นได้ อย่างไรก็ตามควรกำหนด
จำนวนผู้ใช้ชั้นเรียนให้สอดคล้องกับพื้นที่เหมาะสมควบคู่ไปกับการปรับปรุงโครงสร้างเส้นทางหนีไฟ
จะช่วยให้ผู้ใช้ชั้นเรียนมีความปลอดภัยสามารถลดความเสี่ยงจากเหตุเพลิงไหม้ได้

Sangduan Khurukitkamchorn 2009: The Study of Classroom Evacuation by Fire Dynamics Simulation and Evacuation Program. Master of Engineering (Safety Engineering),
Major Field: Safety Engineering, Interdisciplinary Graduate Program. Thesis Advisor:
Associate Professor Saree Svaesaranee, D.Eng. 118 pages.

This thesis is mainly about the evacuation of the people on the fifth floor of the building of Chemical Engineering Department, Faculty of Engineering, Kasetsart University which was simulated and analyzed by using Fire Dynamic Simulation Program, FDS 5.2.0 and Smoke view 5.2.2. with three main variations affecting the evacuation which are fire position, number of evacuees and width of door. The maximum capacity of the people on the fifth floor was 426. In case that the size of the fire source was similar, and the fire start from room 1509, 1516 and 1517 the percentage of the people who cannot escape from the floor in the restricted 3 minutes were 10.0%, 21.6% and 19.7 % respectively. The people on the floor would be more critical if the fire source starts from the dead end side compare to other location. If the number of evacuees is 200, 300 and 400 and assume that the fire starts from the same place, it was found that the percentage of people who were unable to evacuate within 3 minutes were 2.4%, 4.5% and 20.7% respectively. It means that the more people on the floor, the more number of victims would be occurred. Moreover, if the width of the exit door is 0.9, 1.2 and 1.5 meters, the results shown that the percentage of people who were unable to evacuate within 3 minutes are 21.6%, 21.1% and 20.9% respectively. As a result, the wider the exit door becomes, the number of people would be able to evacuate will increase. So, from the results of the simulation with the 3 assumed variations, the residents cannot evacuate within 3 minutes and cannot meet the NFPA requirements and the victims would be found at the dead end area.

It was found that the design of mean of egress for the fifth floor does not comply with the Engineering Institute of Thailand standard and the simulation results shown the victims percentage was 21.6%. So, the researcher proposed the new design of the fire escape. The results of the simulation using the new design by adding a new corridor and a new fire exit door shown the total number of the fatality decreased to 2.1% and 15.0% respectively. Especially, new corridor that reduced the dead end distance because the evacuees can choose the nearest mean of egress with the fire stair and far from away the fire source. However, the number of the student on the floor shall be restricted along with the upgraded fire exit which will surely help the residents avoid taking risk from the fire evacuation from the building.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

/ /

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. เสรี เสวตเสรี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
หลักและรองศาสตราจารย์ ดร. ชงไชย ศรีนพคุณ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วมที่ได้ให้
คำปรึกษาในการค้นคว้าวิจัย ตลอดจนถึงการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนกระทั่งวิทยานิพนธ์นี้เสร็จ
สมบูรณ์ และขอขอบพระคุณท่านอาจารย์ผู้แทนจากบัณฑิตวิทยาลัยที่ให้ความกรุณาตรวจแก้ไข
วิทยานิพนธ์นี้ให้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณอาจารย์เมธิพันธุ์ บวรธรรมรัตน์ และอาจารย์ทุกท่านที่ให้ความรู้ด้านวิชาการ
ต่างๆ ขอบคุณวิศวกรรมความปลอดภัยรุ่น 7 ทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือ และแนะนำด้านการเรียน
จนการจัดทำวิทยานิพนธ์นี้จนแล้วเสร็จ

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดาที่ได้ให้กำเนิด อุปการะเลี้ยงดู และให้การศึกษาแก่ผู้วิจัย
ขอบคุณครอบครัว คุณเกียรติคุณ ครูกิจกำจร ที่ให้กำลังใจ และ ด.ช.ชวิน ครูกิจกำจร ที่เป็นพลังใจ
ให้กับผู้วิจัยตั้งแต่อยู่ในครรภ์จนสำเร็จการศึกษา

แสงเดือน ครูกิจกำจร
กุมภาพันธ์ 2552

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(7)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	5
อุปกรณ์และวิธีการ	55
อุปกรณ์	55
วิธีการ	55
ผลและวิจารณ์	77
ผล	77
วิจารณ์	96
สรุปและข้อเสนอแนะ	99
สรุป	99
ข้อเสนอแนะ	100
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	101
ภาคผนวก	104
ภาคผนวก ก การลงโปรแกรม PyroSim	105
ภาคผนวก ข การลงโปรแกรม FDS + Evac	112
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	118

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	การดูกลามของเพลิงไหม้ตามอัตราการปล่อยพลังงานความร้อน	6
2	ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน(Convective Coefficient;h)	9
3	ค่า Occupancy Load	26
4	ค่าความกว้างต่อคน(Capacity Factor) เพื่อคำนวณความกว้างของเส้นทางหนีไฟ	27
5	ลักษณะกิจกรรมกับขนาดพื้นที่ต่อคน	27
6	ค่าคำนวณความกว้างของเส้นทางหนีไฟ	31
7	ระยะทางยาวสุดของระยะทางบังคับ ระยะทางต้น และระยะสัญจร	32
8	ความเร็วในการเดินของคนโดยไม่มีการกีดขวางเปรียบเทียบกับขนาดของร่างกายในรูปแบบของโปรแกรม FDS+Evac	40
9	องค์ประกอบทางหนีไฟอาคารเรียนชั้นที่ 5	58
10	พื้นที่ของอาคารเรียนชั้นที่ 5 แต่ละห้อง	58
11	ผลการวัดระยะทางเปรียบเทียบระยะทางปลายต้น ระยะทางบังคับ และระยะสัญจรกับมาตรฐาน	63
12	ผลการจำลองการอพยพกรณีห้องต้นเพลิงเกิดจากห้อง 1509	78
13	ผลการจำลองการอพยพกรณีห้องต้นเพลิงเกิดจากห้อง 1516	79
14	ผลการจำลองการอพยพกรณีห้องต้นเพลิงเกิดจากห้อง 1517	80
15	ผลการจำลองการอพยพกรณีจำนวนผู้ใช้ชั้นเรียน 200 คน	81
16	ผลการจำลองการอพยพกรณีจำนวนผู้ใช้ชั้นเรียน 300 คน	82
17	ผลการจำลองการอพยพกรณีจำนวนผู้ใช้ชั้นเรียน 400 คน	83
18	ผลการจำลองการอพยพกรณีความกว้างประตูห้อง 0.9 เมตร	84
19	ผลการจำลองการอพยพกรณีความกว้างประตูห้อง 1.2 เมตร	85
20	ผลการจำลองการอพยพกรณีความกว้างประตูห้อง 1.5 เมตร	86
21	เปรียบเทียบผลการจำลองการอพยพเมื่อกำหนดให้ห้องต้นเพลิงมีตำแหน่งต่างกัน	87

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
22	เปรียบเทียบผลการจำลองการอพยพเมื่อกำหนดให้มีจำนวนผู้ใช้ชั้นเรียนแตกต่างกัน	88
23	เปรียบเทียบผลการจำลองการอพยพเมื่อกำหนดให้มีความกว้างของประตูห้องแตกต่างกัน	90
24	ผลการจำลองกรณีเปิดช่องทางเดินใหม่	91
25	ผลการจำลองกรณีทำประตูออกเพิ่ม	92
26	เปรียบเทียบผลการจำลองการออกแบบเส้นทางหนีไฟในสภาพปัจจุบันและการออกแบบเส้นทางหนีไฟใหม่	94
27	ผลการคำนวณความจุคนตามองค์ประกอบของทางหนีไฟ	96

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	สามเหลี่ยมของไฟ	5
2	ปฏิกิริยาลูกโซ่	6
3	ควันไฟเกิดกลางโถง	10
4	อัตราการเกิดควันไฟกลางโถง	12
5	ควันไฟเกิดที่ผนัง	12
6	อัตราการเกิดควันไฟที่ผนัง	14
7	ควันไฟเกิดที่มุมห้อง	14
8	อัตราการเกิดควันไฟที่มุมห้อง	16
9	ควันไฟเกิดใต้ระเบียง	17
10	อัตราการเกิดควันไฟใต้ระเบียง	18
11	ควันไฟจากช่องเปิดบนผนัง	18
12	อัตราการเกิดควันไฟจากช่องเปิดบนผนัง	19
13	แสดงทฤษฎีการอพยพ	21
14	การจำลองการเกิดควันไฟในห้อง j	23
15	การวิเคราะห์สัญญาณ	33
16	ทางปลายตัน	34
17	รูปร่างของร่างกายมนุษย์การเคลื่อนที่แบบ 2 มิติ Geometry แทนด้วย ภาพซ้อนกันของวงกลม	39
18	การสร้างประตูหรือทางออก	41
19	อธิบายขนาดของคนใน Radial factor แต่ละแบบ	43
20	แนวคิดของการวางระบบป้องกันอัคคีภัยของ NFPA 550	47
21	สถาปัตยกรรมกับการป้องกันอัคคีภัย	48
22	ขั้นตอนการเกิดเพลิงไหม้	50
23	แผนผังอาคารเรียนชั้นที่ 5 ก่อนก่อสร้างเพิ่มเติม	56
24	แผนผังอาคารเรียนชั้นที่ 5 หลังก่อสร้างเพิ่มเติม	57
25	ระยะทางปลายตัน	60

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
26	ทางบังคับ	61
27	ระยะทางสัญจร	62
28	แผนผังการออกแบบเส้นทางหนีไฟกรณีเกิดช่องทางเดินใหม่	66
29	แผนผังการออกแบบเส้นทางหนีไฟกรณีทำประตูออกเพิ่ม	67
30	การสร้าง mesh	69
31	การกำหนด Material	69
32	การกำหนด Surface	70
33	การสร้าง Obstruction	71
34	การกำหนดปฏิกิริยา	72
35	การประมวลผลด้วยโปรแกรม FDS ที่อยู่ใน Pyrosim	72
36	หลังการสร้างแบบจำลองอาคารเรียนชั้นที่ 5 เสร็จเรียบร้อย	73
37	หลังทำการประมวลผลด้วย FDS ในโปรแกรม Pyrosim	73
38	แสดงผลในรูปแบบ Microsoft Excel	75
39	ผลการจำลองการอพยพในรูปแบบกราฟฟิก 3 มิติ	76
40	เวลาในการอพยพกับตำแหน่งของห้องต้นเพลิง	88
41	เวลาที่ใช้ในการอพยพกับตำแหน่งของจำนวนผู้ใช้ชั้นเรียน	89
42	เวลาที่ใช้ในการอพยพกับความกว้างของประตูห้องที่แตกต่างกัน	90
43	แผนผังอาคารเรียนชั้นที่ 5 หลังการออกแบบเส้นทางหนีไฟใหม่	94
ภาพผนวกที่		
ก1	การขอใช้โปรแกรม PyroSim	106
ก2	การตอบรับการขอใช้โปรแกรม PyroSim	106
ก3	การ Save โปรแกรม PyroSim	107
ก4	การระบุตำแหน่งของโปรแกรม PyroSim ที่ต้องการจัดเก็บ	107
ก5	การ Download โปรแกรม PyroSim เสร็จ	108

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า
ก6 โปรแกรม PyroSim	108
ก7 การติดตั้งโปรแกรม PyroSim	109
ก8 เลือกระบบปฏิบัติการที่ต้องการ	109
ก9 ติดตั้งโปรแกรม PyroSim	110
ก10 การติดตั้งโปรแกรม PyroSim แล้วเสร็จ	110
ก11 การตรวจสอบการติดตั้งโปรแกรม PyroSim	111
ข1 การเข้าเว็บไซต์เพื่อ Download โปรแกรม FDS+Evac	113
ข2 การเลือก Version ของโปรแกรม FDS+Evac	114
ข3 การเลือกภาษาที่ใช้ในการติดตั้ง	114
ข4 การเริ่มติดตั้งโปรแกรม FDS+Evac	115
ข5 การระบุตำแหน่งปลายทางที่ต้องการติดตั้ง	115
ข6 การยืนยันก่อนการติดตั้งโปรแกรม FDS+Evac	116
ข7 การติดตั้งโปรแกรม FDS+Evac	116
ข8 การติดตั้งโปรแกรม FDS+Evac แล้วเสร็จ	117
ข9 ตรวจสอบการติดตั้งโปรแกรม FDS+Evac	117

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

วสท.	=	วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย
FDS-SMV	=	Fire Dynamic Simulation and Smoke View
Run	=	การประมวลผล
xxxx.csv	=	ไฟล์แสดงรายละเอียดผลการประมวลผลของโปรแกรม FDS+Evac
xxxx.smv	=	ไฟล์แสดงในรูปแบบกราฟิกของโปรแกรม FDS+Evac
NFPA	=	National Fire Protection Standard
NIST	=	National of Standards and Technology
VTT	=	Technical Research Centre of Finland
FDS+Evac	=	โปรแกรมการจำลองด้านพลวัตของไฟและการจำลองการอพยพ
FDS	=	โปรแกรมการจำลองด้านพลศาสตร์อัคคีภัย
Evac	=	การจำลองการอพยพ
CFD	=	การจำลองพลศาสตร์การไหล
TIME	=	กลุ่มรายชื่อแสดงชั้นของเวลาของการคำนวณ Evacuation flow
SURF	=	กลุ่มรายชื่อที่ต้องมีการคำนวณ Surface type
MISC	=	กลุ่มรายชื่อแสดง “EVAC_SURF_DEFAULT” เป็น Surface
VENT	=	กลุ่มรายชื่อใช้ระบุ VENT พิเศษสำหรับคำนวณการอพยพ
OBST	=	กลุ่มรายชื่อที่ใช้ในการระบุ OBST พิเศษ สำหรับคำนวณการอพยพ
HOLE	=	กลุ่มรายชื่อที่คล้ายกับ HOLE line ของการคำนวณไฟ
EVAC	=	กลุ่มรายชื่อใช้กำหนดคนในการอพยพ
EXIT	=	กลุ่มรายชื่อที่ใช้ระบุทางออก

การศึกษาการอพยพในชั้นเรียนโดยใช้โปรแกรมจำลองพลศาสตร์อวกาศภัยและการอพยพ

The Study of Classroom Evacuation by Fire Dynamics Simulation and Evacuation Program

คำนำ

การเกิดเหตุเพลิงไหม้ถือเป็นอุบัติเหตุอย่างหนึ่งที่ทำให้เกิดความสูญเสียชีวิต และทรัพย์สิน รวมถึงก่อให้เกิดการบาดเจ็บตามมา เช่น เหตุการณ์เพลิงไหม้ซานติก้าผับอาคารดังกล่าวมีผู้ใช้อาคารมากกว่า 1000 คน ทั้งที่สามารถฉุกเฉินได้เพียง 500 คน ประกอบกับไม่มีป้ายบอกทางหนีไฟ ประตูกุญแจ ระบบดับเพลิงอัตโนมัติ สัญญาณแจ้งเหตุฉุกเฉิน จึงส่งผลให้มีผู้เสียชีวิตจำนวนมากถึง 66 คน (เดลินิวส์, 2552) และเหตุเพลิงไหม้อาคารเสื่อป่าปลาซาซึ่งจัดเป็นอาคารสูง ที่ส่งผลให้มีผู้เสียชีวิต 1 คน และบาดเจ็บ 50 คน (ไทยรัฐ, 2552) เหตุการณ์เพลิงไหม้ที่เกิดขึ้นในช่วงต้นปี 2552 สร้างความสะเทือนใจให้กับประชาชนที่ได้รับทราบข่าว หลายฝ่ายเริ่มตระหนักถึงความสำคัญด้านการป้องกันอัคคีภัยกันมากขึ้นและรณรงค์ให้เกิดความปลอดภัยในการใช้อาคาร

อาคารวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จัดเป็นอาคารสูง อาคารหนึ่งซึ่งมีผู้ใช้อาคารเป็นจำนวนมาก อาคารวิศวกรรมเคมีประกอบด้วยห้องปฏิบัติการและห้องเรียนมีการศึกษาค้นคว้าทดลองด้านต่างๆ รวมถึงมีการนำสารเคมีเข้ามาใช้ ซึ่งสารเคมีแต่ละชนิดมีอันตรายแตกต่างกัน เช่น สารไวไฟ สารระเบิดได้ เป็นต้น ความรุนแรงของอันตรายขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของสารเคมี ปริมาณที่ใช้ การทำปฏิกิริยาระหว่างสารเคมี ซึ่งอาจก่อให้เกิดเพลิงไหม้ได้ ผู้ใช้อาคารส่วนใหญ่เป็นนิสิตซึ่งเป็นเยาวชนของชาติ เป็นกำลังสำคัญในการพัฒนาประเทศต่อไปในอนาคต หากเกิดการสูญเสียขึ้นอาจทำให้นิสิต คณาจารย์ และผู้ปกครองเสียขวัญและกำลังใจ ดังนั้นการป้องกันอัคคีภัยที่เกิดในอาคารจึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างหนึ่งที่ไม่ควรมองข้าม

ผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาการเกิดเพลิงไหม้และการอพยพในอาคารเรียนชั้นที่ 5 เนื่องจากในชั้นดังกล่าวมีการก่อสร้างเพิ่มเติม ทำให้มีจำนวนผู้ใช้ชั้นเรียนมากขึ้นในขณะที่บันไดหนีไฟมีจำนวนเท่าเดิม และพบว่าอาคารเรียนชั้นที่ 5 มีเส้นทางหนีไฟที่เป็นทางปลายตัน ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาว่าหากเกิดเหตุเพลิงไหม้ในชั้นเรียนดังกล่าวผู้ใช้ชั้นเรียนจะมีการอพยพอย่างไร และเส้นทางหนีไฟที่ถูกออกแบบไว้ตั้งแต่ต้นนั้นเพียงพอต่อจำนวนผู้ใช้ชั้นเรียนที่เพิ่มขึ้นหรือไม่ โดยใช้โปรแกรมจำลองพลศาสตร์อวกาศภัย และโปรแกรมจำลองการอพยพ

วัตถุประสงค์

1. เพื่อสร้างภาพจำลองเสมือนจริงการเกิดเพลิงไหม้ในชั้นเรียนโดยใช้โปรแกรมจำลองพลศาสตร์อวกาศ
2. เพื่อจำลองสถานการณ์การอพยพของคนที่อยู่ภายในชั้นเรียนโดยใช้โปรแกรมจำลองการอพยพ
3. เพื่อวิเคราะห์ขีดความสามารถในการอพยพออกจากชั้นเรียนโดยใช้มาตรฐานของ NFPA
4. เพื่อออกแบบเส้นทางหนีไฟในชั้นเรียน

ขอบเขต

1. การวิเคราะห์ปัญหาการเกิดอวกาศโดยการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปเท่านั้นไม่มีการทดสอบในห้องปฏิบัติการ
2. การจำลองเป็นการจำลองเหตุการณ์เกิดเพลิงไหม้ในห้องปฏิบัติการชั้น 5 ของอาคารเรียนโดยไม่พิจารณาแหล่งกำเนิดของไฟ
3. การจำลองเป็นการสร้างแบบจำลองการอพยพคนออกจากชั้นเรียนโดยโปรแกรมการจำลองด้านพลศาสตร์อวกาศและการจำลองการอพยพ (FDS+Evac เวอร์ชัน 5.2.0)
4. การจำลองการอพยพคนออกจากชั้นเรียน โดยการประมวลผลการจำลองการอพยพจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ FDS+ Evac โดยไม่มีการนำระบบป้องกันอวกาศต่างๆ เข้ามาเกี่ยวข้องในการจำลอง

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบพฤติกรรมการแผ่กระจายของไฟและควันไฟในพื้นที่ปิดล้อมชั้นเรียนและเห็นภาพเสมือนจริงในรูปแบบ 3 มิติ ของการเกิดอัคคีภัย
2. นำผลที่ได้จากการจำลองการอพยพมาพิจารณาเสนอแนวทางการปรับปรุงแก้ไขในการออกแบบเส้นทางหนีไฟ และมาตรการต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการอพยพให้เป็นอย่างปลอดภัยได้
3. สามารถนำเทคนิคการสร้างแบบจำลองการอพยพและประมวลผล โดยโปรแกรม FDS และ Smoke view ไปปรับปรุงใช้กับอาคารในรูปแบบอื่นๆ ได้
4. นำข้อมูลการศึกษาที่ได้ไปใช้ในการวางแผนป้องกันเมื่อเกิดเหตุเพลิงไหม้เพื่อความปลอดภัยของผู้ใช้อาคารเรียน

นิยามศัพท์

อาคารสถานศึกษา

หมายถึง อาคารหรือส่วนของอาคารซึ่งมีการครอบครองหรือการใช้เพื่อเป็นที่ซึ่งบุคคลมารวมกันอยู่เพื่อทำการศึกษา หรือฟังคำบรรยายต่างๆ อาคารเหล่านี้หมายถึงมหาวิทยาลัย สถาบันการศึกษาต่างๆ และห้องสมุด

ระยะสัญจร

หมายถึง ระยะทางจากตำแหน่งที่ไกลที่สุดที่มีคนอยู่จนถึงประตูทางหนีไฟ หรือจุดที่ปลอดภัยที่สุด

ระยะทางบังคับ

หมายถึง เป็นส่วนหนึ่งของเส้นทางไปสู่ทางหนีไฟจากตำแหน่งใดๆ ในอาคาร นำไปถึงทางแยกที่มีตั้งแต่ 2 ทางขึ้นไปที่สามารถนำไปสู่ทางหนีไฟได้

ระยะทางปลายทาง

หมายถึง ระยะทางจุดศูนย์กลางทางแยกไปจนถึงผนังหรือกำแพงที่ไม่มีทางออก

กิจการ พ2

หมายถึง อาคารหรือพื้นที่อาคารที่ประกอบกิจการ ที่มีคนที่มีข้อจำกัดของร่างกายเกี่ยวกับสุขภาพ อายุ ให้การบำบัดรักษา ใช้อีกข้าง ใช้เพื่อรักษาพยาบาล การผ่าตัด การดมยา หรือรักษาผู้ป่วยทางจิต หรือสถานรับเลี้ยงทารกอายุต่ำกว่า 2 ขวบ 6 เดือน ตั้งแต่ 5 คนขึ้นไป ที่ให้บริการตลอด 24 ชั่วโมง ได้แก่ โรงพยาบาล โพลีคลินิก สถานรับฝากเลี้ยงเด็กทารก เป็นต้น

กิจการ ส

หมายถึง กิจการเสี่ยงสูง อาคารหรือกลุ่มอาคารหรือพื้นที่อาคารที่ประกอบกิจการผลิตใช้บรรจุ เก็บของแข็ง ของเหลวหรือก๊าซไวไฟ วัตถุระเบิด วัตถุอันตราย และสารเคมี หรือผลิต บรรจุ เก็บ ถังหรือกระป๋องอัดความดัน หรือขบวนการผลิตที่ก่อให้เกิดฝุ่นที่ติดไฟ

กิจการ ข

หมายถึง กิจการชุมนุมคน อาคารหรือพื้นที่อาคารที่มีคนอยู่รวมกันหรือทำกิจกรรมร่วมกัน ตั้งแต่ 50 คนขึ้นไป

การตรวจเอกสาร

ทฤษฎี

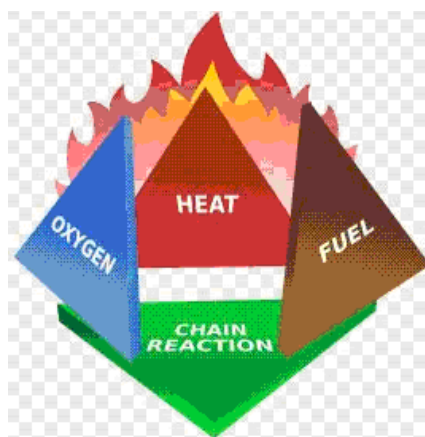
1. ทฤษฎีสามเหลี่ยมของไฟ

Ladwig (1991) ทฤษฎีสามเหลี่ยมของไฟ (Fire Tetrahedron Theory) อธิบายหลักการเกิดของไฟ ต้องประกอบด้วยองค์ประกอบสำคัญ 3 อย่าง คือ ออกซิเจน เชื้อเพลิง และความร้อน ติดขึ้นมาเป็นไฟ และสามารถอธิบายด้วยสามเหลี่ยมของไฟได้ แทนแต่ละด้านของสามเหลี่ยมเป็นองค์ประกอบของไฟดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 สามเหลี่ยมของไฟ

หากสามเหลี่ยมนี้ขาดองค์ประกอบอันใดอันหนึ่งไป ความหมายไม่สามารถเกิดการติดไฟขึ้นมาได้นั่นเอง ออกซิเจนที่อยู่ในอากาศแล้ว จะทำปฏิกิริยากับเชื้อเพลิงซึ่งโดยมาก จะเป็นสารที่มีธาตุคาร์บอน หรือ ไฮโดรเจน เป็นองค์ประกอบของการเผาไหม้ การทำปฏิกิริยากันที่อุณหภูมิสูง ดังนั้นจึงต้องมีความร้อนหรือแหล่งความร้อนที่สมบูรณ์ได้ สำหรับปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะสามารถกระตุ้นตัวเองหรือเกิดได้โดยปราศจากแหล่งความร้อนจากภายนอกมีปริมาณเชื้อเพลิงและออกซิเจนอย่างเหมาะสมและทำปฏิกิริยาในอัตราที่สามารถให้ พลังงานความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้มากระตุ้นปฏิกิริยาของตัวเองอย่างต่อเนื่องได้ เรียก ปฏิกิริยาแบบนี้ว่าปฏิกิริยาลูกโซ่ (Chain Reaction) ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ปฏิกิริยาอุกโช

1.2 การลุกลามของเพลิงไหม้ แบบต่อเนื่องตามทฤษฎี T-Squared Fire (Continuous Growth Fire T- Squared Fire)

การเกิดเพลิงไหม้ในรูปแบบทฤษฎี T-Squared Fire จะแสดงถึงอัตราการเผาไหม้ โดยแบ่งตามสัดส่วนของเวลา โดยแบ่งออกได้เป็น 4 ระดับ โดยเวลาในการลุกลามของเพลิงไหม้ จะกำหนดตามอัตราการปล่อยความร้อนที่ 1000 BTU /sec แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การลุกลามของเพลิงไหม้ตามอัตราการปล่อยพลังงานความร้อน

ประเภท	เวลาที่มีผลต่ออัตราการปล่อยความร้อน 1000 BTU/sec
เร็วมาก	75 วินาที
เร็ว	150 วินาที
ปานกลาง	300 วินาที
ช้า	600 วินาที

ที่มา: NFPA 92A (2000)

2. ทฤษฎีการเคลื่อนที่ของเพลิงในพื้นที่ปิดล้อม (Enclosure Fire Dynamics)

การเคลื่อนที่ของเพลิงภายในพื้นที่ปิดล้อมเป็นทฤษฎีที่สำคัญที่ใช้ในการศึกษาการจำลอง การเกิดเพลิงไหม้ และการออกแบบระบบป้องกันอัคคีภัยภายในอาคาร โดยการจำลองการเกิดเพลิงไหม้นั้นจะเป็นการศึกษาและคาดคะเนถึงการเปลี่ยนแปลงสถานะต่างๆ ที่เกิดขึ้นภายในห้องขณะเกิดเพลิงไหม้ พฤติกรรมการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงและการพัฒนาของเพลิงไหม้ในระยะเวลาต่างๆ รวมทั้งการตอบสนองของอุปกรณ์แจ้งเหตุเพลิงไหม้และระบบป้องกันอัคคีภัยที่ติดตั้งภายในห้องนั้นๆ การจำลองพฤติกรรมของเพลิงไหม้ภายในห้องสามารถจำลองได้ 2 แบบ คือ

1) การจำลองแบบโซน (Zone Model) เป็นการจำลองแบบแบ่งสถานะของก๊าซภายในห้องออกเป็นโซนตามคุณสมบัติทางกายภาพของการเป็นเนื้อเดียวกัน เช่น ช่วงระยะเริ่มต้นของการเกิดเพลิงไหม้ ควันร้อนจะลอยตัวอยู่ติดบนเพดานในขณะที่อากาศเย็นจะลอยอยู่ด้านล่างบนพื้นห้อง ทำให้สามารถแบ่งห้องออกเป็น 2 โซน คือ โซนด้านบนที่เป็นควันร้อนและโซนด้านล่างที่เป็นอากาศเย็น

2) แบบจำลองพลศาสตร์การไหล (Computational Fluid Dynamics Model; CFD) เป็นแนวคิดที่สร้างแบบจำลองโดยการแบ่งห้องหรืออาคารที่เกิดเพลิงไหม้ออกเป็นปริมาตรเล็กๆ (Finite Volume) เป็นจำนวนมากทั่วทั้งห้องหรืออาคาร จากนั้นใช้สมการการอนุรักษ์พลังงานต่างๆ คำนวณหาสถานะและคุณสมบัติในการเคลื่อนที่ของไฟและควันไฟในปริมาตรเล็กๆ เหล่านั้น

การใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์โมเดล สำหรับการคำนวณวิเคราะห์การเกิดเหตุเพลิงไหม้นั้น มีมาตั้งแต่ประมาณปี 1960 จนถึงปัจจุบัน โดยจุดประสงค์หนึ่งของการพัฒนาเพื่อนำไปประยุกต์ใช้กับงานที่มีความซับซ้อนและใช้เป็นเครื่องมือสำคัญในการประเมินความเสี่ยงอันตรายจากเพลิงไหม้ ต่อมาการพัฒนาโปรแกรมพลศาสตร์การไหลมาช่วยในการศึกษาพฤติกรรมของการเกิดเพลิงไหม้และการลุกลามของเพลิงและมีการพัฒนาจนเป็นโปรแกรม Fire Dynamics Simulator และ Smoke view โดยสถาบัน National Institute of Standards and Technology (NIST) เพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการคำนวณและศึกษาพฤติกรรมของการเคลื่อนที่ของไฟ ด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ เทียบเคียงกับการทดลองจริง ผลการศึกษารายละเอียดประกอบของเพลิงในพื้นที่ปิดล้อม ทำให้ทราบและเข้าใจถึงพฤติกรรมของการเกิดเพลิงไหม้และการพัฒนาของเพลิง การส่งถ่ายพลังงานความร้อนในรูปแบบต่างๆ ตลอดจนการเคลื่อนที่ของควันไฟและการเปลี่ยนแปลงของ

อุณหภูมิในแต่ละช่วงเวลาที่มีการเผาไหม้

สำหรับการศึกษาด้านการถ่ายเทความร้อน กลไกการแพร่กระจายหรือการลุกลามของเพลิงไหม้ โปรแกรม Fire Dynamics Simulator จะใช้ทฤษฎีทางอุณหพลศาสตร์ (Thermodynamics) คือ การถ่ายเทความร้อนเข้ามาใช้ในการวิเคราะห์ โดยกลไกการถ่ายเทความร้อนจะประกอบด้วย

1. การนำความร้อน (Conduction Heat Transfer) เป็นการถ่ายเทความร้อนวิธีเดียวที่เกิดขึ้นในวัตถุที่เป็นตัวกลางทึบแสง เมื่อมีความแตกต่างของอุณหภูมิเกิดขึ้นในวัตถุดังกล่าวจะมีความร้อน ถ่ายเทจากจุดที่มีอุณหภูมิสูงไปยังจุดที่มีอุณหภูมิต่ำของวัตถุนั้น

2. การพาความร้อน (Convection Heat Transfer) เมื่อความร้อนสัมผัสกับผิววัตถุที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันจะมีการแลกเปลี่ยนพลังงานความร้อนระหว่างอากาศกับวัตถุ การแลกเปลี่ยนความร้อนนี้ เรียกว่า การถ่ายเทความร้อนแบบการพา โดยควันที่เกิดจากการเผาไหม้จะลอยตัวขึ้นไปทีเพดานสูงโดยหลักการพาความร้อน ซึ่งถ้ามีอุณหภูมิของควันไฟสูงก็สามารถจะทำให้เกิดการลุกลามของไฟได้แสดงตามภาพที่ 7 ควันที่เกิดจากการพาความร้อนลอยตัวไปสะสมที่เพดาน กระบวนการนี้สามารถจำแนกออกได้ 2 ประเภท คือ

1) การพาความร้อนแบบอิสระ (Free Convection) เกิดมาจากความแตกต่างของอุณหภูมิในอากาศ เนื่องจากการที่อากาศสัมผัสผิวของวัตถุที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันและทำให้เกิดแรงลอยตัวขึ้น

2) การพาความร้อนแบบบังคับ (Force Convection) เกิดจากแรงภายนอกมาบังคับให้ความร้อนเคลื่อนที่ผ่านผิววัตถุที่ร้อนหรือเย็นกว่า เนื่องจากอากาศจากการพาความร้อนแบบบังคับมีความเร็วที่สูงกว่าแบบอิสระ ดังนั้น ความร้อนที่ถ่ายเทได้จากความแตกต่างของอุณหภูมิที่มีขนาดเท่าๆ กันกับการพาความร้อนแบบอิสระจึงมีปริมาณความร้อนมากกว่า การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์การพาความร้อน (Convection Heat Transfer Coefficient) เป็น h ร้อยที่ซับซ้อนมากในทางปฏิบัติ ดังนั้น เพื่อความสะดวกจะใช้ค่าประมาณของสัมประสิทธิ์การพาความร้อน ตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (Convective Coefficient; h)

สภาวะการไหล (Fluid Condition)	สัมประสิทธิ์การพาความร้อน (h)
1. การไหลแบบลอยตัวในอากาศ (Buoyant Flow in Air)	5-10
2. เปลวเพลิงแบบต่อเนื่อง (Laminar Match Flame)	ประมาณ 30
3. เพลิงที่ลุกท่วมบนผิวหน้าของของเหลวที่ไหลวน (Turbulent Liquid Pool Fire Surface)	ประมาณ 20
4. เปลวเพลิงที่กระทบฝ้า (Fire Plume Impinging on a Ceiling)	5-50
5. ที่ความเร็วลมในอากาศ 2 เมตรต่อวินาที (Wind Speed in Air)	ประมาณ 10
6. ที่ความเร็วลมในอากาศ 35 เมตรต่อวินาที (Wind Speed in Air)	ประมาณ 75

ที่มา: Quintiere (1998)

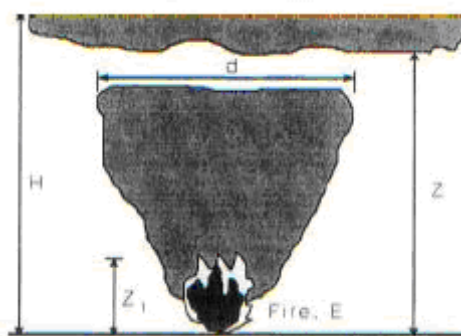
3) การแผ่รังสีความร้อน (Radiation Heat Transfer) คือ การถ่ายเทความร้อนจากผิวของวัตถุหนึ่งไปยังอีกวัตถุหนึ่งซึ่งมีอุณหภูมิต่างกัน โดยไม่ต้องอาศัยตัวกลาง พลังงานที่ถ่ายเทของการแผ่รังสีจะอยู่ในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหรือในรูปของโฟตอน อัตราการถ่ายเทความร้อนแบบแผ่รังสี

3. อัตราการระบายควันและตำแหน่งต้นเพลิง

คณะกรรมการมาตรฐานระบบเครื่องกลในอาคาร (2545) การที่จะทำให้ระดับพวยควันอยู่ในระดับปลอดภัยจะต้องมีการระบายควัน การระบายควันไฟออกจากอาคารสามารถทำได้ 2 วิธี คือ โดยวิธีธรรมชาติและโดยใช้พัดลมช่วยสิ่งแรกที่ต้องทำคือหาว่าปริมาณควันไฟที่เกิดขึ้นมีจำนวนเท่าใด เมื่อทราบปริมาณควันไฟจะสามารถหาขนาดช่องเปิด (วิธีธรรมชาติ) หรือขนาดพัดลมได้ ในการคำนวณ เรื่องการควบคุมควันไฟ มักจะให้ความร้อนที่เกิดจากการพาความร้อน (Convection

Heat, EC) ประมาณ 70% ของพลังงานความร้อนทั้งหมด (E) ในโถงสูงจะมีอากาศโดยรอบมากกว่าห้องธรรมดา อากาศร้อนหรือควันร้อนเมื่อลอยตัวขึ้นจะเหนี่ยวนำอากาศรอบเข้ามาผสมกับควันไฟ ทำให้ปริมาณควันไฟเพิ่มขึ้นอย่างมากมาย ดังนั้นเมื่อควันลอยสูงขึ้นจึงมักไม่ร้อนมาก ความหนาแน่นของควันจึงมักจะใกล้เคียงกับอากาศมีค่าประมาณ 1.2 kg/m^3 (0.075 lb/ft^3) การระบายควันที่เพียงพอ หมายความว่า เราสามารถควบคุมให้อัตราการระบายควันไฟไม่น้อยกว่าอัตราการเกิดควันไฟ เมื่อใดที่อัตราการระบายควันไฟเท่ากับ อัตราการเกิดควันไฟเมื่อนั้นระดับของควันไฟจะไม่มีการเปลี่ยนแปลง (Equilibrium) ดังนั้นตำแหน่งของไฟมีความสำคัญต่ออัตราการเกิดควันไฟ ซึ่งจำแนกการเกิดควันไฟได้ 5 ลักษณะตามตำแหน่งของต้นเพลิงซึ่งแต่ละแบบจะให้พลังงานความร้อนและปริมาณควันไฟที่ไม่เหมือนกันดังนี้

1. ควันไฟเกิดกลางโถง (Axisymmetric Plume) ต้นเพลิงอยู่กลางโถงจะแผ่รังสีความร้อนออกทุกทิศทางและดึงอากาศข้างเคียงเข้ามาทุกทิศทาง พบว่ามวล (Mass) และปริมาตร (Volume) การเกิดควันไฟมีความสัมพันธ์กับขนาดเพลิง (E) ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ควันเกิดกลางโถง

ที่มา: คณะกรรมการมาตรฐานระบบเครื่องกลในอาคาร (2545)

มวลการเกิดควันไฟ [Mass Flow Rate, kg/s (lb/s)]

$$E_c = 0.7E \quad (1)$$

$$Z_f = C E_c^{2/5} \quad C = 0.159 \quad (0.533) \quad (2)$$

$$Z < Z_f, m = C_1 E_c^{3/5} \quad Z \quad C_1 = 0.030 \quad (0.0208) \quad (3)$$

$$Z < Z_f, m = C_2 E_c \quad C_2 = 0.00474 \quad (0.011) \quad (4)$$

$$Z > Z_f, m = C_3 E_c^{1/3} \quad Z^{5/3} + C_4 E_c \quad (5)$$

$$C_3 = 0.071(0.022) \quad C_4 = 0.0018(0.0042)$$

หรือคิดเป็นปริมาตรการไหล [Volumetric Flow Rate, m³/s (cfm)] (ความหนาแน่น
1.2 kg/m³)

$$Z < Z_f, Q = C_5 E_c^{3/5} \quad Z \quad C_5 = 0.025 \quad (16.64) \quad (6)$$

$$Z = Z_f, Q = C_6 E \quad C_6 = 0.00395 \quad (8.8) \quad (7)$$

$$Z > Z_f, Q = C_7 E_c^{1/3} \quad Z^{5/3} + C_8 E_c \quad (8)$$

$$C_7 = 0.059(17.6) \quad C_8 = 0.0015 \quad (3.36) \quad (9)$$

โดยที่

M คือ อัตราการเกิดมวลควันไฟ, kg/s (lb/s)

Q คือ อัตราการเกิดปริมาตรควันไฟ, m³/s(cfm)

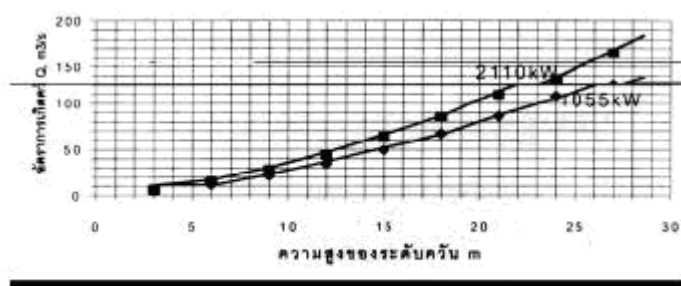
E คือ Fire Heat Release Rate, kW (btu/s)

E_c คือ Convection Heat, kW (btu/s) = 0.7E

Z คือ ความสูงของระดับควันไฟ, m (ft)

Z_f คือ ความสูงจำกัดของไฟ, m (ft)

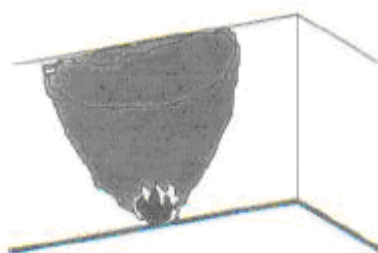
ส่วนมากจะพบว่า $Z > Z_f$ ก็ใช้สมการ (45) เช่นสมมติให้ที่ต้นเพลิงมีความร้อน 1055 kW (1,000 btu/s) และ 2110 kW (2,000 btu/s) จากสมการนี้นำมาเขียนกราฟ จะได้ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 อัตราการเกิดควันไฟกลางโถง

ที่มา: คณะกรรมการมาตรฐานระบบเครื่องกลในอาคาร (2545)

2. ควันไฟเกิดที่ผนัง (Wall Plume) ตามภาพที่ 5 ต้นเพลิงลักษณะนี้จะให้พลังงานความร้อนเป็นสองเท่าของต้นเพลิงพื้นที่ แต่มันจะดึงอากาศข้างเคียงเข้ามาได้ครึ่งหนึ่งของต้นเพลิงอยู่กลางพื้นที่ จะได้ว่ามวลและปริมาตรการเกิดควันไฟมีค่าดังภาพที่ 6



ภาพที่ 5 ควันไฟเกิดที่ผนัง

ที่มา: คณะกรรมการมาตรฐานระบบเครื่องกลในอาคาร (2545)

มวลการเกิดควันไฟ [Mass Flow Rate, kg/s (lb/s)]

$$E_c = 2 \cdot 0.7E \quad (10)$$

$$Z_f = C E_c^{2/5} \quad C = 0.159 \quad (0.533) \quad (11)$$

$$Z < Z_f, m = C_1 w E_c^{3/5} \quad Z \quad C_1 w = C_1/2 = 0.015 \quad (0.0104) \quad (12)$$

$$Z = Z_f, m = C_2 w E_c \quad C_2 w = C_2/2 = 0.00237 \quad (0.0055) \quad (13)$$

$$Z > Z_f, m = C_3 w E_c^{1/3} \quad Z^{5/3} + C_4 w E_c \quad (14)$$

หรือคิดเป็นปริมาตรการไหล [Volumetric Flow Rate, m³/s (cfm)] (ความหนาแน่น 1.2 kg/m³)

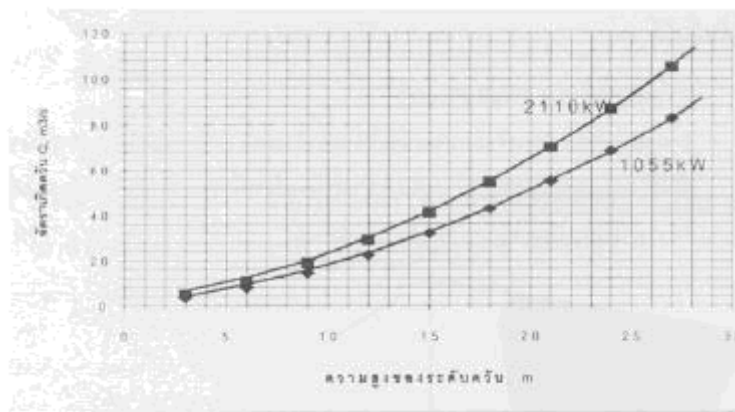
$$Z < Z_f, Q = C_5 w E_c^{3/5} \quad Z \quad C_5 w = C_5/2 = 0.0125 \quad (8.32) \quad (15)$$

$$Z = Z_f, Q = C_6 w E_c \quad C_6 w = C_6/2 = 0.001975 \quad (4.4) \quad (16)$$

$$Z > Z_f, Q = C_7 w E_c^{1/3} \quad Z^{5/3} + C_8 w E_c \quad (17)$$

$$C_7 w = C_7/2 = 0.0295 \quad (8.8) \quad C_8 w = C_8/2 = 0.00075 \quad (1.68)$$

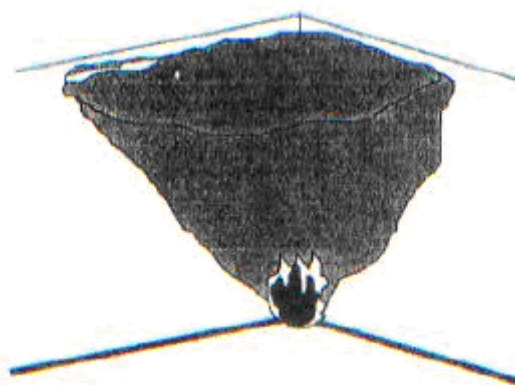
$Z > Z_1$ ที่ดินเพลิงมีความร้อน 1055kW (1000 btu/s) และ 2110kW (2000 btu/s) ได้กราฟตามภาพที่ 6



ภาพที่ 6 อัตราการเกิดควันไฟที่ผนัง

ที่มา: คณะกรรมการมาตรฐานระบบเครื่องกลในอาคาร (2545)

3. ควันไฟเกิดที่มุมห้อง (Corner Plume) ตามภาพที่ 7 ดันเพลิงจะให้ความร้อนเป็นสี่เท่าของดันเพลิงอยู่กลางพื้นที่แต่ผนังสามารถดึงอากาศข้างเคียงเข้ามาได้เพียงหนึ่งในสี่ของดันเพลิงอยู่กลางพื้นที่



ภาพที่ 7 ควันไฟเกิดที่มุมห้อง

ที่มา: คณะกรรมการมาตรฐานระบบเครื่องกลในอาคาร (2545)

มวลการเกิดควันไฟ [Mass Flow Rate, kg/s (lb/s)]

$$E_c = 4 \cdot 0.7E = 2.8E \quad (18)$$

$$Z_f = C E_c^{2/5} \quad C = 0.159 \quad (0.533) \quad (19)$$

$$Z < Z_f, M = C_1 E_c^{3/5} \quad Z \quad C_{1c} = C_1/4 = 0.0075 \quad (0.0052) \quad (20)$$

$$Z = Z_f, M = C_2 E_c \quad C_{2c} = C_2/4 = 0.001185 \quad (21)$$

$$Z > Z_f, M = C_3 E_c^{1/3} Z^{5/3} + C_4 E_c \quad (22)$$

$$C_{3c} = C_3/4 = 0.01775 \quad (0.0055) \quad C_{4c} = C_4/4 = 0.00045 \quad (0.00105)$$

หรือคิดเป็นปริมาตรการไหล [Volumetric Flow Rate, m³/s (cfm)] (ความหนาแน่น 1.2 kg/m³)

$$Z < Z_f, Q = C_5 E_c^{3/5} \quad Z \quad C_{5c} = C_5/4 = 0.00625 \quad (4.16) \quad (23)$$

$$Z = Z_f, Q = C_6 E_c \quad C_{6c} = C_6/4 = 0.0009875 \quad (2.2) \quad (24)$$

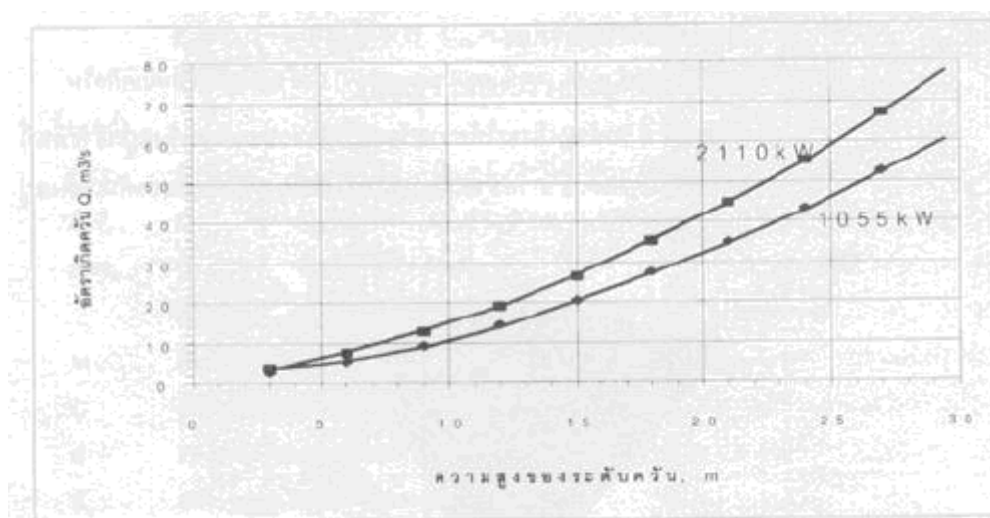
$$Z > Z_f, Q = C_7 E_c^{1/3} Z^{5/3} + C_8 E_c \quad (25)$$

$$C_{7c} = C_7/4 = 0.01475 \quad (4.4) \quad C_{8c} = C_8/4 = 0.000375 \quad (0.84)$$

โดยที่

และที่ $Z < Z_1$ ที่ต้นเพลิงมีความร้อน 1055 kW (1000 btu/s) และ 2110 (2000 btu/s)

จะได้กราฟตามภาพที่ 8



ภาพที่ 8 อัตราการเกิดควันไฟที่มุมห้อง

ที่มา: คณะกรรมการมาตรฐานระบบเครื่องกลในอาคาร (2545)

4. ควันไฟเกิดได้ระเบียง (Balcony Plume) ดังแสดงในภาพที่ 9 ที่พบเห็นมาก ได้แก่ ศูนย์การค้าต่างๆ ที่มีช่องโถงตรงกลาง และมีทางเดินหน้าร้านค้าติดกับช่องโถงดังกล่าว เมื่อเกิดเหตุการณ์แบบนี้ควันไฟจะลอยขึ้นไปยังอยู่ตามฝ้าเพดาน ถ้าฝ้าเพดานมีความลึกมากก็จะเก็บควันไฟไว้ได้นาน เมื่อใดที่ควันไฟทะลักเข้ามาในช่องโถงจะทำให้ควันไฟกระจายไปพื้นที่อื่นๆ ได้ ดังนั้นเราจะพบว่าในบางที่ โดยเฉพาะต่างประเทศที่มีข้อกำหนดเรื่องการควบคุมควันไฟใช้ จะเห็นว่าจะมีการติดตั้งแผ่นกันควันไฟ (Draft Curtains) รอบๆ ช่องโถงบางครั้งเป็น Automatic Roller Shutter ที่สามารถปิดได้เมื่อไฟไหม้ ได้มีการวิจัยและทำเป็นสูตรหรือสมการต่อไปนี้

$$M = C9 (EW^2)^{1/3} (Zb+0.3H) [1+0.063(Zb+0.6H)/W]^{2/3} \quad (26)$$

$$Q = C10 (EW^2)^{1/3} (Zb+0.3H) [1+0.063(Zb+0.6H)/W]^{2/3} \quad (27)$$

$$C9 = 0.41(0.124) \quad C10 = 0.34(99.2) \quad (28)$$

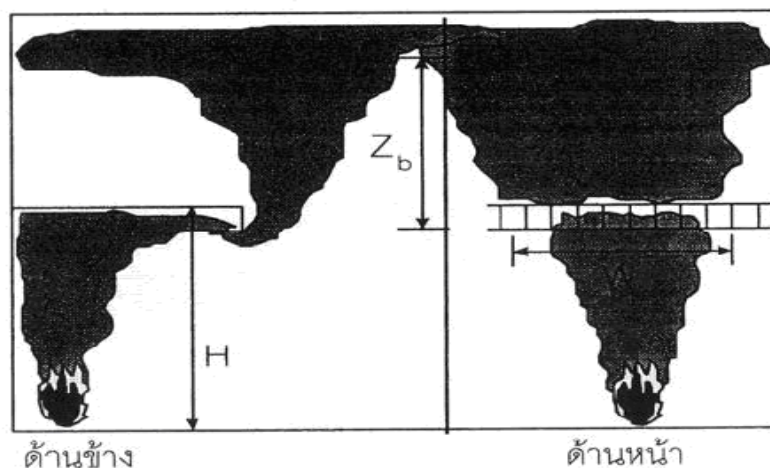
โดยที่

Z_b = ความสูงของควันวัดจากใต้พื้นระเบียง (ขอบล่างที่ต่ำสุด) m (ft)

W = ความกว้างควันไฟที่ม้วนตัวไปตามระเบียง, m (ft)

H = ระยะจากไฟถึงพื้นด้านบนของระเบียง m, ft

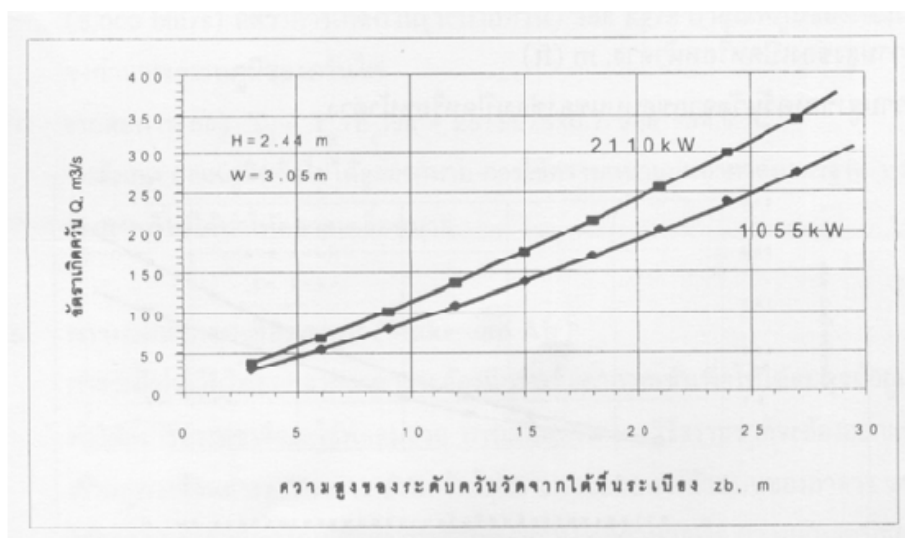
ค่าที่อาจจะยุ่งยากในการประมาณบ้างคือ W หรือระยะที่ควันไฟม้วนตัวไปตามระเบียง ที่จะต้องใช้ในสูตรข้างต้น มีนักวิจัยบางคนแนะนำให้ใช้ประมาณ 1.25 เท่าของ kW (btu/s) ความสูงจากไฟถึงใต้พื้นระเบียง (H) ตามภาพที่ 9



ภาพที่ 9 ควันไฟเกิดใต้ระเบียง

ที่มา: คณะกรรมการมาตรฐานระบบเครื่องกลในอาคาร (2545)

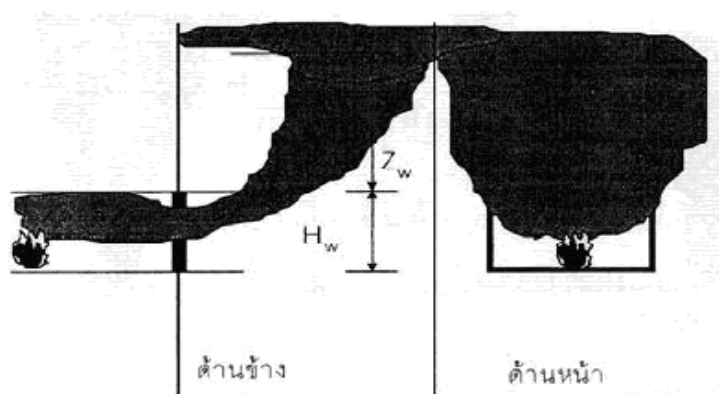
อัตราการเกิดควันไฟสามารถคำนวณหาได้จากสูตรข้างต้น ซึ่งสามารถแสดงด้วยกราฟ ดังภาพที่ 10 โดยกำหนดให้ระยะจากต้นเพลิงถึงระเบียง (H) / 2.44 m (8 ฟุต) และควันไฟม้วนตัวไปได้ระยะทาง (W) 3.05 m (10 ฟุต) เมื่ออัตราความร้อนเป็น 1055 kW (1000 btu/s) และ kW (2000 btu/s) ตามลำดับ อัตราการเกิดควันไฟที่ได้ระเบียงแสดงอยู่บนแกน Y ตามภาพที่ 10



ภาพที่ 10 อัตราการเกิดควันไฟได้ระเบียง

ที่มา: คณะกรรมการมาตรฐานระบบเครื่องกลในอาคาร (2545)

5. ควันไฟจากหน้าต่างหรือช่องเปิดบนผนัง (Window Plume) ตามภาพที่ 11 โถงสูงมีร้านค้า มีผนังปิด แต่มีหน้าต่างเปิดอยู่บานหนึ่งและมีเพลิงไหม้ที่ร้านค้านี้หรือห้องจัดเลี้ยงขนาดใหญ่ที่มีห้องควบคุมแสงและเสียงอยู่ในระดับบนและมีไฟไหม้ภายในห้องควบคุมดังกล่าว ควันไฟที่ออกมาจากห้องควบคุมจะเข้าลักษณะนี้ มีการวิจัยและทำเป็นสมการหรือสูตรสำเร็จ เพื่อใช้คำนวณหาอัตราการเกิดควันได้



ภาพที่ 11 ควันไฟจากช่องเปิดบนผนัง

ที่มา: คณะกรรมการมาตรฐานระบบเครื่องกลในอาคาร (2545)

$$M = C11 (AwHw^{1/2})^{1/3} (zw + 2.4Aw^{2/5}Hw^{1/5} - 2.1Hw)^{5/3} + C12AwHw^{1/2} \quad (29)$$

$$Q = C13 (AwHw^{1/2})^{1/3} (zw + 2.4Aw^{2/5}Hw^{1/5} - 2.1Hw)^{5/3} + C14AwHw^{1/2} \quad (30)$$

$$C11 = 0.68(0.077) \quad C12 = 1.59(0.18) \quad C13 = 0.57(61.6) \quad C14 = 1.33(144)$$

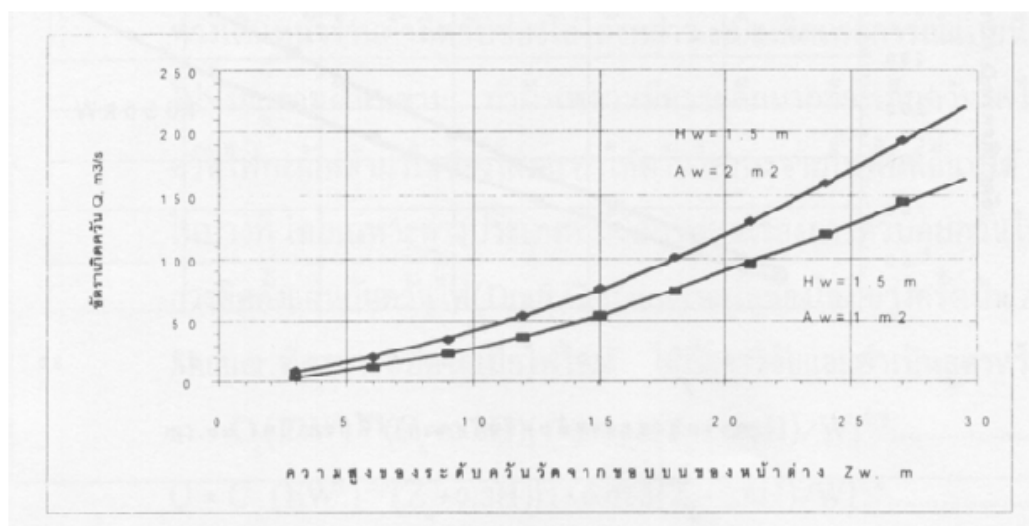
โดยที่

A_w คือ พื้นที่ช่องเปิดหรือช่องหน้าต่าง m^2 (ft^2)

H_w คือ ความสูงช่องเปิดหรือหน้าต่าง, m (ft)

Z_w คือ ความสูงของควันทัดจากขอบบนของช่องเปิดหรือหน้าต่าง

จากสมการ(65) สามารถเขียนเป็นกราฟดังภาพที่12 ขนาดช่องเปิดมีขนาด $2 m^2$ และ $1 m^2$ สูง $1.5 m$



ภาพที่ 12 อัตราการเกิดควันไฟจากช่องเปิดบนผนัง

ที่มา: คณะกรรมการมาตรฐานระบบเครื่องกลในอาคาร (2545)

4. ทฤษฎีอพยพ

แนวความคิดพื้นฐานของการอพยพหนีไฟ

มาตรฐานการป้องกันอัคคีภัยในประเทศญี่ปุ่น (2546) แนวความคิดพื้นฐานในการวางแผนการอพยพหนีไฟ มาจากการวางแผนการอพยพ คือ การที่ต้องสามารถอพยพผู้คนให้ได้หมด ก่อนที่ควันไฟจะมีปริมาณมากจนถึงระดับที่เป็นอันตรายต่อผู้อพยพ สำหรับปริมาณควันไฟที่มีผลต่อการอพยพหรือมีอันตราย คือ ควันที่สะสมตัวจนลอยตัวต่ำลงมาจนทำให้ผู้อพยพไม่สามารถมองเห็นเส้นทางอพยพได้ โดยเวลาในการอพยพต้องน้อยกว่าเวลาที่ควันไฟลอยตัวต่ำลงมา

$$T_{evacuation} < T_s \quad (31)$$

โดยที่

$T_{evacuation}$ คือ เวลาในการอพยพทั้งหมด หน่วยเป็น นาที

T_s คือ เวลาที่ควันไฟลอยต่ำลงมาอยู่ระดับที่เป็นอันตราย หน่วยเป็น นาที

โดยที่เวลาในการอพยพทั้งหมดนั้นเป็นการรวมกันระหว่างเวลาที่เริ่มใช้ในการอพยพ (t_{start}) และเวลาที่ใช้ในการอพยพนับจาก เริ่มการอพยพ ($t_{evacuation}$) และดังสมการที่ 1 และเวลาที่เริ่มอพยพ และเวลาที่ใช้ในการอพยพนั้น สามารถที่จะจำแนกออกได้อีกในสมการที่ 32 และสมการที่ 33

$$T_{evacuation} = t_{start} + t_{evacuation} \quad (32)$$

โดยที่

t_{start} คือ เวลาที่คนเริ่มรับรู้ หน่วยเป็น นาที

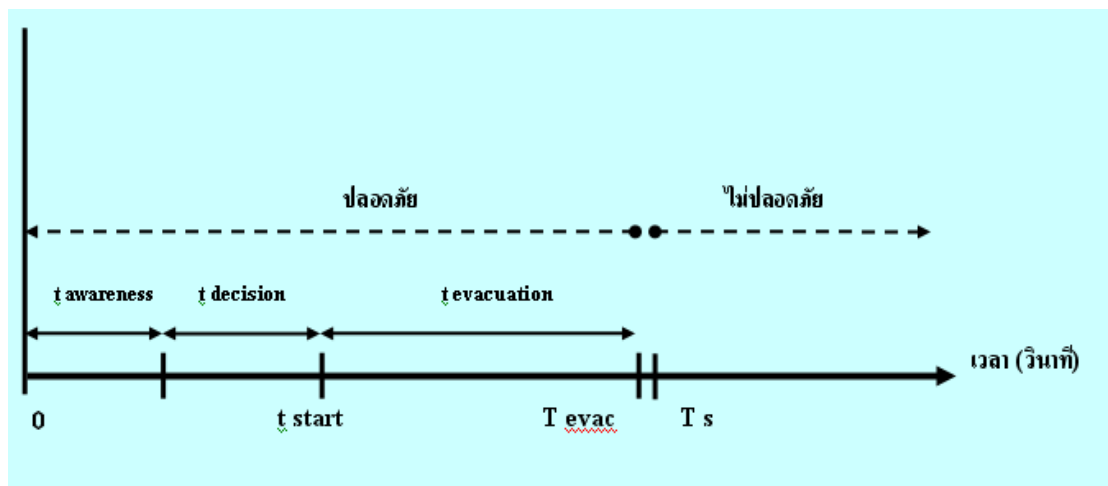
$t_{evacuation}$ คือ เวลาที่ใช้ในการอพยพ หน่วยเป็น นาที

$$t_{\text{start}} = t_{\text{awareness}} + t_{\text{decision}} \quad (33)$$

โดยที่

$t_{\text{awareness}}$ คือ เวลาที่คนเริ่มรับรู้ถึงเพลิงไหม้ หน่วยเป็น นาที

t_{decision} คือ เวลาที่ใช้ในการตัดสินใจอพยพ หน่วยเป็น นาที



ภาพที่ 13 แสดงทฤษฎีการอพยพ

$$t_{\text{evacuation}} = t_{\text{travel}} + t_{\text{queue}} \quad (34)$$

โดยที่

t_{travel} คือ เวลาที่ใช้ในการเดินทางผ่านเส้นทางอพยพ หน่วยเป็น นาที

หาได้จาก

$$t_{\text{travel}} = L / V \quad (35)$$

t_{queue} คือ เวลาที่ใช้ในการผ่านจุดที่แคบที่สุดของเส้นทางอพยพ หน่วยเป็น นาที

หาได้จาก

$$t_{queue} = P / NB \quad (36)$$

L คือ ความยาวของเส้นทางการหนีไฟ หน่วยเป็น เมตร

V คือ ความเร็วในการเดิน หน่วยเป็น เมตร/วินาที

P คือ จำนวนผู้ใช้อาคาร หน่วยเป็น คน

B คือ ความกว้างสุทธิของจุดที่แคบที่สุดของเส้นทางอพยพ หน่วยเป็น เมตร

N คือ ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยออก หน่วยเป็น คน/นาที/เมตร

ส่วนเวลาของการเพิ่มระดับควันไฟในพื้นที่จากระดับของควันเริ่มต้นจนถึงระดับที่มีอันตราย (T_s) นั้นสามารถหาได้จากสมการที่ 37

$$T_s = \sum t_j \quad (37)$$

โดยที่

t_j คือ เวลาที่ควันไฟที่ล้นไปสู่ห้องอื่นๆ โดยคิดที่ทิศทางจากจุดศูนย์กลางเพลิงไหม้ถึงบันไดหนีไฟ หน่วยเป็น นาที

โดยที่เวลาที่ควันไฟที่ล้นไปสู่ห้องอื่นๆ โดยคิดที่ทิศทางจากจุดศูนย์กลางเพลิงไหม้ถึงบันไดหนีไฟ สำหรับการวางแผนการอพยพที่ใช้ในมาตรฐานของประเทศญี่ปุ่นนั้นสามารถหาได้จากสมการที่ 38

$$t_j = [A_{room_j} * (H_{room_j} - H_{lim_j})] / (V_s - V_e * 0.01) \quad (38)$$

โดยที่

A_{room_j} คือ พื้นที่ของห้อง หน่วยเป็น ตารางเมตร

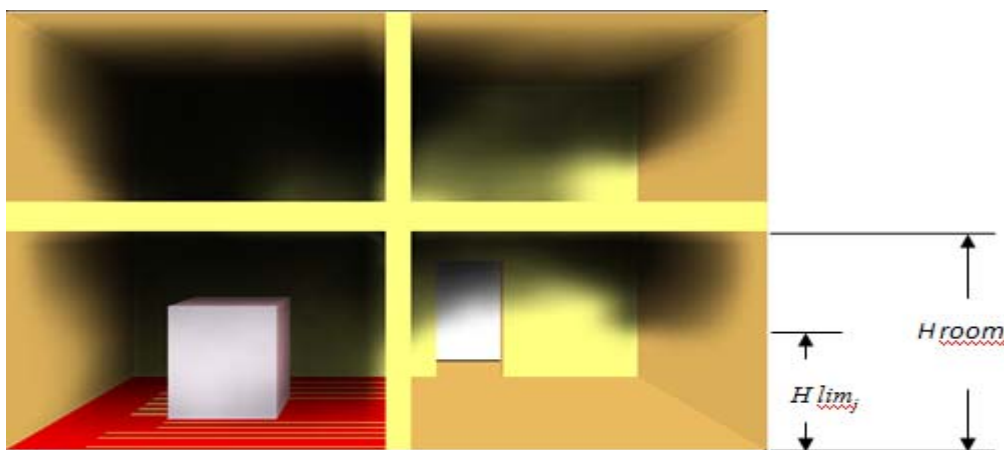
H_{room_j} คือ ความสูงเฉลี่ยของเพดาน หน่วยเป็น เมตร

H_{lim_j} คือ ความสูงของชั้นควันไฟที่ก่อให้เกิดอันตรายวัดจากระดับพื้น หน่วยเป็น เมตร

V_s คือ ปริมาณควันไฟที่เกิดขึ้น หน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตร

V_e คือ ปริมาณควันไฟที่ระบายออก หน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตร

เมื่อ j มีค่าตั้งแต่ 1 ถึง n
 เมื่อ n คือจำนวนเต็มใดๆ



ภาพที่ 14 ภาพจำลองการเกิดควันในห้อง j

5. ค่าความจุของเส้นทางอพยพ

5.1 การหาค่าความจุคนตามมาตรฐาน NFPA

ความจุของเส้นทางอพยพ คือ ความสามารถของเส้นทางอพยพที่สามารถรองรับจำนวนคนได้ขนาดความจุของเส้นทางอพยพจะต้องมีขนาดที่เพียงพอต่อจำนวนคนที่ใช้อาคารสามารถทำการอพยพคนทั้งหมดได้อย่างสะดวก โดยความจุของเส้นทางหนีไฟจะพิจารณาจากความกว้างของเส้นทาง หรือบันได เป็นต้น ซึ่งมาตรฐานการป้องกันอัคคีภัยที่มีใช้ในต่างประเทศจะกำหนดขนาดความกว้างของเส้นทางในการอพยพเป็นค่าที่น้อยที่สุดที่สามารถยอมรับได้ แต่ไม่ได้มีการกำหนดค่าตายตัว โดยความกว้าง ดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับปริมาณคนที่อยู่ภายในอาคาร เช่น มาตรฐานการป้องกันอัคคีภัยของประเทศสหรัฐอเมริกา หรือที่รู้จักกันในนามของ NFPA โดยได้กำหนดการหาค่าความกว้างของเส้นทางหนีไฟไว้ดังนี้คือ

$$T = P / (B * N_{eff}) = P / (P * W * N_{eff}) = 1 / (W * N_{eff}) \quad (39)$$

โดยที่

T คือ เวลาที่ใช้ในการอพยพทั้งหมด หน่วยเป็น นาที

P คือ จำนวนคนภายในอาคาร หน่วยเป็น คน

B คือ ความกว้างของบันไดหนีไฟ หน่วยเป็น เมตร

N_{eff} คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของการอพยพ หน่วยเป็น คน/หน่วย/นาที

W คือ ค่าความกว้างต่อจำนวนคนภายในอาคาร หน่วยเป็น นิ้วต่อคน

5.1 ความกว้างของบันไดหนีไฟต้องไม่น้อยกว่าค่าที่ได้จากการคำนวณตามสูตร โดยที่กำหนดให้เวลาที่ใช้ในการอพยพคนออกมาทั้งหมดไม่เกิน 2 นาที

ตัวอย่างเช่น ค่าความกว้างต่อจำนวนคนภายในอาคารมีค่าเท่ากับ 0.3 นิ้วต่อคน เวลาที่ใช้ในการอพยพเท่ากับ 45 คน/หน่วย/นาที โดย 1 หน่วย เท่ากับ 22 นิ้ว แทนค่าในสมการที่ 39 จะได้

$$T = 1/[0.3 \cdot (45 / 22)] = 1.63 \text{ นาที}$$

5.2 ความกว้างของโถงทางเดินจะต้องเพียงพอที่จะอพยพผู้คนหมดภายใน 2 นาที

ตัวอย่างเช่น ค่าความกว้างต่อจำนวนคนภายในอาคารมีค่าเท่ากับ 0.2 นิ้วต่อคน เวลาที่ใช้ในการอพยพเท่ากับ 60 คน/หน่วย/นาที โดย 1 หน่วย เท่ากับ 22 นิ้ว แทนค่าในสมการที่ 39 จะได้ $T = 1/[0.2 \cdot (60 / 22)] = 1.83 \text{ นาที}$

มาตรฐานการป้องกันอัคคีภัยในประเทศญี่ปุ่น (2546) ให้ใช้ตัวเลขสัมประสิทธิ์การอพยพในการคำนวณ เป็น 80 คน/เมตร/นาที สำหรับบันไดหนีไฟ และ 90 คน/เมตร/นาที สำหรับทางหนีไฟ ในประเทศอื่นๆ ไม่มีการสำรวจค่าสัมประสิทธิ์ในการอพยพออกมาชัดเจน เนื่องจากจำนวนผู้อพยพมีผลอย่างมากกับการสำรวจ ได้แก่ ความรีบร้อนในการอพยพหรือปริมาณของจำนวนกลุ่มคนในประเทศญี่ปุ่นได้กำหนดค่าสัมประสิทธิ์ในการอพยพคนเป็นค่ามาตรฐานตายตัว สำหรับใช้ในการคำนวณ คือ 1.5 คน/เมตร/วินาทีในแนวราบ และ 1.3 คน/เมตร/วินาทีในแนวดิ่ง

ความจุของคน ในการคำนวณแบบทางหนีไฟตามมาตรฐานความปลอดภัยจากอัคคีภัย NFPA โดยแบ่งออกเป็นการหาความจุของพื้นที่ภายในชั้น โดยใช้ขนาดพื้นที่ของอาคารความกว้าง x ความยาว โดยไม่ต้องหักทางเดิน บันได โดยวัดจากพื้นที่ด้านในของผนังอาคาร (Gross Area) หารด้วยค่า Factor ของกิจกรรม Occupancy Load Factor เป็นค่าที่กำหนด ขนาดพื้นที่ต่อคน ตามกิจกรรมของพื้นที่ ในแต่ละส่วนภายในชั้นมาเป็นตัวแปรในการหาความจุของพื้นที่สามารถรองรับคนได้กี่คน ดังตารางที่ 4 ส่วนการคำนวณขนาดความกว้างของเส้นทางหนีไฟสามารถหาได้จากสมการที่ 42 โดยใช้ค่าความกว้างต่อคน (Capacity Factor) ดังตารางที่ 3

$$\text{Gross Area Occupancy Load} = \text{Gross Area} / \text{Occupancy Load Factor} \quad (40)$$

จากนั้นทำการหาความจุคนของพื้นที่ในแต่ละห้อง ทุกห้องภายในชั้น แล้วนำค่าความจุคนที่ได้จากทุกห้องมารวมกัน เป็นปริมาณความจุคนทั้งหมดในพื้นที่ห้องกิจกรรม (Net Area) สูตรคำนวณหาปริมาณความจุคนในพื้นที่ชั้นอาคารสุทธิ (Net Area Occupancy) โดยที่ Gross Area คือ ขนาดพื้นที่ของกิจกรรมการใช้ โดยไม่หักทางเดิน บันได ความหนาของผิวงานตกแต่ง เสาหรือเพอร์นิเจอร์ วัดด้านในของอาคาร ไม่รวมความหนาของผนัง Net Area คือ ขนาดพื้นที่ใช้งานจริง ไม่รวมอุปกรณ์หรือความหนาของผนัง

$$\text{Capacity Load} = \text{Width} / \text{Capacity Factor} \quad (41)$$

$$\text{Net Area Occupancy Load} = [\text{Net Area}] + [(\text{Gross Area} - \text{Net Area})] \quad (42)$$

ตารางที่ 3 ค่า Occupancy Load Factor

Use	(m ² per person)*	(m ² per person)*
Assembly Use		
Concentrated use, without fixed seating	7 net	0.65 net
Less concentrated use, without fixed seating	15 net	1.4 net
Bench-type seating	1 person/18 linear in.	1 person/455 linear mm
Fixed seating	Number of fixed seats	Number of fixed seats
Waiting spaces	See 12.1.7.2 and 13.1.7.2	See 12.1.7.2 and 13.1.7.2
Kitchens	100	9.3
Library stack areas	100	9.3
Library reading rooms	50 net	4.6 net
Swimming pools	50 (water surface)	4.6 (water surface)
Swimming pool decks	30	2.8
Exercise rooms with equipment	50	4.6
Exercise rooms without equipment	15	1.4
Stages	15 net	1.4 net
Lighting and access catwalks, galleries, gridirons	100 net	9.3 net
Casinos and similar gaming areas	11	1
Skating rinks	50	4.6
Educational Use		
Classrooms	20 net	1.9 net
Shops, laboratories, vocational rooms	50 net	4.6 net
Day-Care Use	35 net	3.3 net
Health Care Use		
Inpatient treatment departments	240	22.3
Sleeping departments	120	11.1
Ambulatory health care	100	9.3
Detention and	120	11.1
Correctional Use		

ที่มา: ดัดแปลงจาก NFPA (2006)

ตารางที่ 4 ค่าความกว้างต่อคน (Capacity Factor) เพื่อคำนวณความกว้างของเส้นทางหนีไฟ

Area	Stairways (width per person)		Level Components and Ramps (width per person)	
	in.	mm	in.	mm
Board and care	0.4	10	0.2	5
Health care, sprinklered	0.3	7.6	0.2	5
Health care, nonsprinklered	0.6	15	0.5	13
High hazard contents	0.7	18	0.4	10
All others	0.3	7.6	0.2	5

ที่มา: คัดแปลงจาก NFPA (2006)

5.2 การคำนวณความจุคนตามมาตรฐานวสท.

การคำนวณความจุคนของแต่ละพื้นที่หรือห้องใดๆ ต้องคำนวณโดยนำขนาดพื้นที่ที่ต้องการคำนวณหารด้วยพื้นที่ต่อคนตามตารางที่ 5 ซึ่งใช้ในการคำนวณความจุคนเพื่อใช้ในการหนีไฟ

ตารางที่ 5 ลักษณะกิจกรรมกับขนาดพื้นที่ต่อคน

ลักษณะกิจกรรม ¹	หมายเหตุ	ขนาดพื้นที่ต่อคน
สถานพยาบาล ²		
พื้นที่พักคอยสำหรับผู้ป่วยนอก		1.5
ส่วนพยาบาล(Nurse Station)		10.0
ห้องผู้ป่วยหนัก		20.0
ห้องตรวจ(Consultant/ Exam./Treatment)		5.0
ห้องผู้ป่วยรวม		20.0
ห้องปฏิบัติการ		20.0
ห้องเก็บยา		-
สถานศึกษา ²		
ห้องเรียน		1.5
ห้องเรียนคอมพิวเตอร์		3.0

ตารางที่ 5 (ต่อ)

ลักษณะกิจกรรม ¹	หมายเหตุ	ขนาดพื้นที่ต่อคน
ห้องสมุด		5.0
ห้องเตรียมการเรียน(โรงเรียนประจำ)		1.5
ห้องทดลอง(Laboratory)		5.0
โรงฝึกงาน(Workshop)		5.0
ห้องเรียนกวดวิชา		1.0
โรงอาหาร		1.0
สำนักงาน ²		
โถงบริการธนาคาร(Banking Hall)		3.0
ห้องเก็บเอกสาร(File room)		10.0
ศูนย์บริการธุรกิจ(Business Center)		10.0
ห้องนั่ง		30.0
ห้องเขียนแบบ และออกแบบ		5.0
สถานที่ค้าขาย ²		
พื้นที่แสดงสินค้า		1.5
พื้นที่จำหน่ายสินค้าราคาพิเศษ		1.5
ซูเปอร์มาเก็ต ซูเปอร์สโตร์		5.0
พื้นที่จำหน่ายสินค้าปกติ		5.0
สถานอุตสาหกรรม ²		
พื้นที่การผลิต ³		
ใช้แรงงานคนเป็นหลัก		2.0
ใช้แรงงานคนและเครื่องจักรอัตโนมัติ		6.0
ใช้เครื่องจักรอัตโนมัติเป็นหลัก		10.0
ห้องซ่อมเครื่องจักรกล(Machanical Workshop)		10.0
ห้องสมุด		5.0
ห้องทดลอง(Labolatory)		5.0
โรงอาหาร		1.0

ตารางที่ 5 (ต่อ)

ลักษณะกิจกรรม ¹	หมายเหตุ	ขนาดพื้นที่ต่อคน
สถานที่ชุมนุม ²		
โรงยิมเนเซียม		3.5
พื้นที่ฝึกซ้อมกีฬา		3.0
ลานสรวายน้ำ		5.0
โบว์ลิ่ง	ไม่รวมพื้นที่เล่น	1.0
สวนสนุก	ไม่รวมพื้นที่เครื่องเล่น	1.0
ห้องบิลเลียด		5.0
ลานสเกต		3.0
ดิสโกเทค		1.0
คาราโอเกะ		2.5
ไนต์คลับ		2.0
สโมสร/ คลับ/ ศูนย์ออกกำลังกาย		5.0
ห้องเปลี่ยนเสื้อผ้า/ ห้องน้ำ		-
Concourse สถานีขนส่ง		3.0
พื้นที่สถานีขนส่งด้านขาออก		3.0
พื้นที่สถานีขนส่งด้านขาเข้า		1.5
เวทีการแสดง		-
หลังเวทีการแสดง		3.0
ห้องเปลี่ยนเสื้อผ้าในโรงแรมหรสพ		3.0
พื้นที่พักผ่อน หรือเข้าคิว	แบบยืน	0.3
พื้นที่เข้าชม หรือร่วมงาน อัจฉริยะ	แบบนั่งชมกีฬา การแสดง	1.5
พื้นที่ หรือห้องเอนกประสงค์	แบบยืน	0.3
พื้นที่ หรือห้องจัดคอนเสิร์ต	แบบยืน	0.3

ตารางที่ 5 (ต่อ)

หมายเหตุ ¹ พื้นที่ของกิจกรรมการใช้ห้ามหักพื้นที่ของเครื่องจักร อุปกรณ์ เฟอร์นิเจอร์ออกก่อน

การคำนวณ(Gross Area)

² กรณีสถานประกอบการมีการใช้กิจกรรมหลายกิจกรรม ต้องใช้ขนาดพื้นที่ต่อคนตามกิจกรรมที่กำหนด และเลือกขนาดพื้นที่ต่อคนที่ต่ำที่สุดมาคำนวณ

³ ความจุคนของพื้นที่การผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม ให้ยึดถือจำนวนคนงานตามที่ได้รับอนุญาตจริงจากทางราชการ แต่ต้องไม่น้อยกว่าค่าที่คำนวณของสถานอุตสาหกรรม

ที่มา: มาตรฐานการป้องกันอัคคีภัย (2551)

ขีดความสามารถของเส้นทางหนีไฟ

1. ขีดความสามารถของเส้นทางหนีไฟของแต่ละชั้น ต้องเพียงพอกับความจุคนทั้งหมด
2. ถ้าทางหนีไฟรองรับการอพยพหนีไฟมากกว่า 1 ชั้น ให้ใช้ความจุคนของแต่ละชั้นเท่านั้น
3. ความกว้างของเส้นทางหนีไฟ ต้องกว้างสุทธิไม่น้อยกว่า 900 มิลลิเมตร โดยวัดที่จุดที่แคบที่สุดในเส้นทางหนีไฟ ยกเว้นส่วนที่ยื่นเข้ามาด้านละไม่เกิน 110 มิลลิเมตร และสูงไม่เกิน 950 มิลลิเมตร และความกว้างสุทธิต้องไม่น้อยกว่าค่าที่คำนวณได้จากตารางที่ 4 คูณกับความจุคนรวมสำหรับเส้นทางหนีไฟนั้น

ตารางที่ 4 ค่าคำนวณความกว้างของเส้นทางหนีไฟ

ประเภทกิจการ	บันไดหรือทางลาดเอียง (มิลลิเมตรต่อคน)	ทางแนวราบหรือประตู (มิลลิเมตรต่อคน)
กิจการ พ2	15	13
กิจการ ส	18	10
กิจการ ช	10	8
กิจการอื่นๆ	8	5

ที่มา: มาตรฐานการป้องกันอัคคีภัย(2551)

6. การจัดวางเส้นทางหนีไฟ

ทางหนีไฟต้องอยู่ในตำแหน่งที่สังเกตเห็นได้ง่าย และต้องจัดเตรียมทางไปสู่ทางหนีไฟให้สามารถเข้าสู่ทางหนีไฟได้โดยง่ายตลอดเวลา

1) พื้นที่ที่มีทางหนีไฟมากกว่า 1 ทาง ทางหนีไฟแต่ละทางต้องอยู่ห่างกันเพื่อป้องกันกรณีเกิดเพลิงลุกไหม้หรือเหตุฉุกเฉินไปกั้นทางหนีไฟมากกว่า 1 ทาง

2) พื้นที่ซึ่งไม่สามารถเข้าสู่ทางหนีไฟได้โดยตรง ต้องจัดให้มีทางไปสู่ทางหนีไฟจากพื้นที่ดังกล่าวไปสู่ทางหนีไฟ 2 ทางที่อยู่ห่างกัน และยินยอมให้ใช้ทางไปสู่ทางหนีไฟร่วมกันได้ไม่เกินระยะทางบังคับที่ระบุในมาตรฐานนี้ ยกเว้นเป็นพื้นที่ที่ยินยอมให้มีทางหนีไฟแค่ทางเดียว

3) พื้นที่ที่ต้องมีทางหนีไฟ 2 ทาง หรือประตูที่เป็นทางไปสู่ทางหนีไฟ 2 ประตู ระยะห่างระหว่างกันต้องไม่น้อยกว่าครึ่งหนึ่งของความยาวเส้นทะแยงมุมสูงสุดของพื้นที่หรือห้องนั้นๆ โดยวัดจากขอบของประตูทางหนีไฟหรือประตูของทางไปสู่ทางหนีไฟด้านใดด้าน

4) พื้นที่ที่มีทางหนีไฟ หรือประตูที่เป็นทางไปสู่ทางหนีไฟมากกว่า 2 ทาง อย่างน้อยต้องมีทางหนีไฟ 2 ทางหรือประตูที่เป็นทางไปสู่ทางหนีไฟ 2 ประตูที่มีระยะห่างระหว่างกันตามข้อ 3

5) การจัดวางทางหนีไฟและทางไปสู่ทางหนีไฟต้องไม่ให้เกิดทางตัน แต่ถ้าหลีกเลี่ยงไม่ได้ระยะทางตันต้องไม่เกินที่กำหนด

รายละเอียดของทางไปสู่ทางหนีไฟระยะทางบังคับ ระยะทางตัน และระยะสัญจรต้องไม่เกินที่กำหนดตามตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ระยะทางยาวสุดของ ระยะทางบังคับ ระยะทางตัน และระยะสัญจร

ประเภทกิจการ	ระยะทางบังคับ (เมตร)	ระยะทางตัน (เมตร)	ระยะสัญจร (เมตร)
โรงแรม	10	10	30
อาคารพักอาศัยรวม	10	10	30
ภัตตาคาร	15	6	30
ห้างสรรพสินค้า	23	10	45
สำนักงาน	23	10	45
สถานศึกษา	23	6	30
สถานกวดวิชา	15	6	30
สถานีรถขนส่ง	15	6	45
ท่าอากาศยาน	15	6	45
สถานีรถไฟขนส่งมวลชน	15	6	45/30 ^ก
โรงแรมหอประชุม	15/23 ^ข	6	45
สถานพยาบาล	10	6	30
สถานบริการบันเทิง	15	6	30
สถานีหรือคลังน้ำมันเชื้อเพลิงและก๊าซ	0	0	0
คลังสินค้า	*15/0 ^ก	*15/0 ^ก	*45/30 ^ก
สถานที่ผลิตหรือเก็บวัตถุระเบิด วัตถุอันตราย	0	0	0
สารเคมี			
ห้องเครื่องต้นกำลัง	15	0	30
โรงงานอุตสาหกรรมทั่วไป	15	15	45

ตารางที่ 7 (ต่อ)

หมายเหตุ ก) ระยะทางสัญจร 30 เมตร สำหรับสถานที่ที่อยู่ต่ำกว่าระดับดิน

ข) ระยะทางบังคับ 23 เมตร สำหรับสถานที่ที่มีคนอยู่รวมกันน้อยกว่า 50 คน

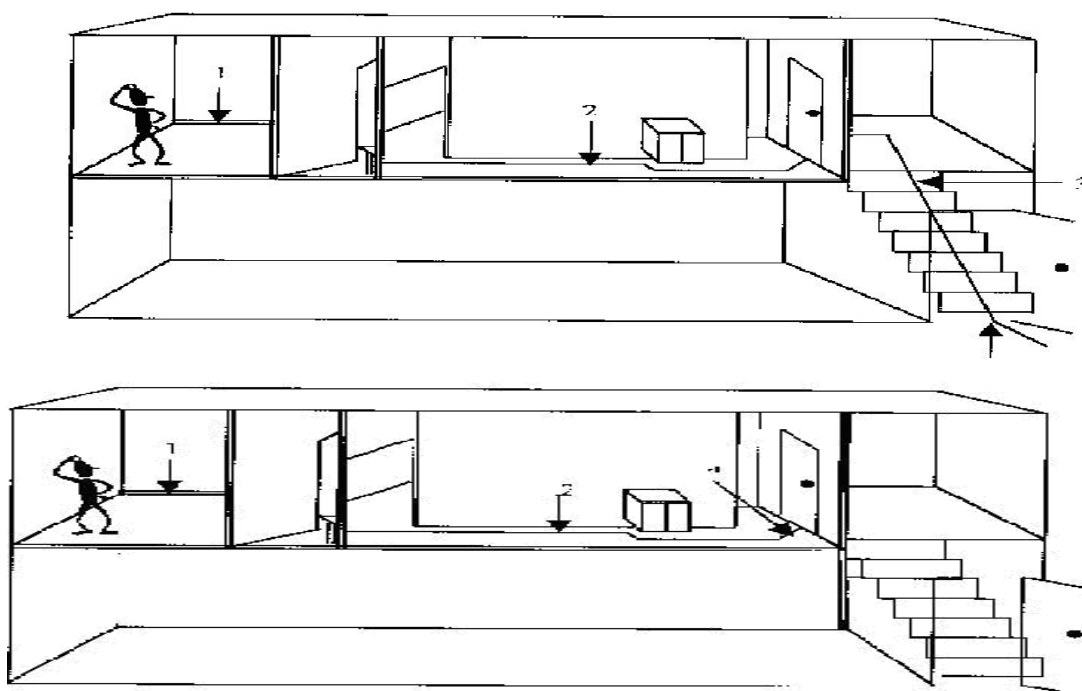
ค) สำหรับคลังสินค้าที่มี วัตถุความเสี่ยงต่ำ/วัตถุความเสี่ยงปานกลาง/ วัตถุความเสี่ยงสูง

และ * หมายถึงระยะทางบังคับที่ไม่จำกัดสำหรับคลังสินค้าที่มีวัตถุความเสี่ยงต่ำ

ง) ระยะทางสัญจร ระยะทางบังคับ และระยะทางตัน หากติดตั้งระบบดับเพลิงอัตโนมัติ
ยอมให้มีระยะทางให้ไกลออกไปอีก 1.5 เท่าของระยะที่กำหนด

ที่มา: มาตรฐานการป้องกันอัคคีภัย (2551)

การวัดระยะสัญจร ให้วัดที่ระดับพื้นตรงกลางทาง โดยเริ่มจากตำแหน่งที่ไกลที่สุดที่อาจมีคนอยู่ จนถึงตรงกลางประตูทางหนีไฟ หรือจุดปลอดภัยที่อยู่ใกล้ที่สุด กรณีเป็นบันไดการวัดระยะสัญจรให้วัดบนสันของจุมกบันได



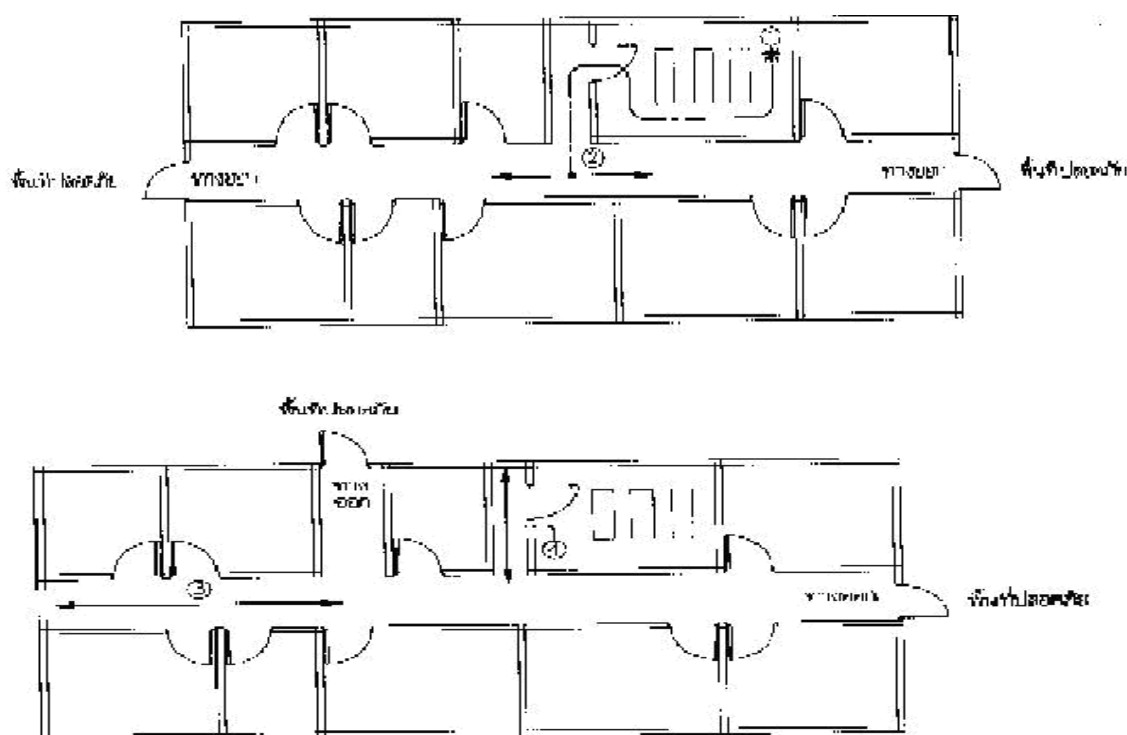
ภาพที่ 15 การวัดระยะสัญจร

ภาพที่ 15 (ต่อ)

หมายเหตุ การวัดระยะอันตรายจากจุดใดๆ ถึงทางหนีไฟ จะประกอบด้วย

1. จากจุดเริ่มต้นภายในพื้นที่หรือห้องใดๆ ของอาคารที่ไกลที่สุด
2. หลังออกจากพื้นที่หรือห้องใดๆ วัดระยะไปตามแนวเส้นทางเดินที่จะนำไปสู่ทางหนีไฟ ทั้งนี้หากมีอุปสรรคหรือสิ่งกีดขวางใดๆ จะต้องวัดระยะโดยอ้อมหลบสิ่งกีดขวางนั้นๆ ไปบนเส้นทางเดิน
3. ในกรณีที่บันไดหรือทางลาดเอียงใดๆ ที่ไม่มีการปิดล้อมเพื่อป้องกันควันและไฟหรือการปิดล้อมไม่สมบูรณ์ ระยะทางภายในเส้นทางเดินส่วนนี้จะถูกรวมเป็นระยะอันตรายด้วย ดังที่แสดงตัวอย่างในรูป ก)
4. จุดสิ้นสุดจะอยู่ ณ ตำแหน่งที่เข้าสู่ทางหนีไฟหรือพื้นที่ปลอดภัย หรือที่สาธารณะระดับพื้นดิน

ที่มา: มาตรฐานการป้องกันอัคคีภัย (2551)



ภาพที่ 16 ทางปลายตัน

ระยะจาก 1 ถึง 2 คือ ทางบังคับ

ระยะ 3 และ 4 คือ ทางปลายตัน

7. ประสิทธิภาพการอพยพเคลื่อนย้าย

โดยปกติคนจะไม่ทำอะไรๆ โดยขาดสติยังคิดหากไม่มีความจำเป็น ในการตัดสินใจของคนจะต้องมีช่วงเวลาของการตัดสินใจทำอย่างใดอย่างหนึ่ง ดังนั้น หากเกิดเหตุการณ์ฉุกเฉินขึ้น การอพยพแบบกลุ่มคนจึงต้องมีการตัดสินใจอย่างเร่งด่วน การตัดสินใจที่แสดงออกถึงการแสดงออกของคนในสถานการณ์ฉุกเฉินตามความต้องการที่ชัดเจน (Latane and Darley, 1968) และคนที่อยู่ในกลุ่มเดียวกันมักจะมีการตอบสนองช้าต่อการได้ยินเสียงสัญญาณเตือน จนกระทั่งแน่ใจจนทั้งหมดจึงจะยอมรับว่าเหตุการณ์ฉุกเฉินนั้น ซึ่งทั้งหมด การฝึกซ้อม และข้อมูลเวลาจริงในการเกิดเพลิงไหม้ จะสามารถช่วยลดความล่าช้าที่อาจเกิดจากการตอบสนองเหตุการณ์นั้นได้

(MacLenna, 1986)

Levin (1985) วิเคราะห์และรวบรวมข้อมูลจากหลายแหล่งที่เกี่ยวข้องกับความสับสน และปฏิกิริยาของคนที่มีความเกี่ยวข้องกัน เพื่อให้มีการแบ่งแยกที่ชัดเจน โดยได้แบ่งลำดับขั้นของการตอบสนองดังนี้

- 1) การตอบสนองโดยเชื่อว่าเกิดเพลิงไหม้ แต่ยังไม่แน่ใจ
- 2) การตอบสนอง โดยเชื่อว่าน่าจะเกิดเหตุเพลิงไหม้
- 3) การตอบสนองโดยมั่นใจว่าเกิดเพลิงไหม้
- 4) การตอบสนองโดยเห็นเพลิงไหม้

ปฏิกิริยาของคนในรูปแบบที่ 1 จะมีการหาข้อมูล และในทางกลับกันในรูปแบบที่ 4 นั้น จะมีการตอบสนองทันที โดยไม่มีข้อมูลในการตัดสินใจ ส่วนในรูปแบบที่ 2 และ 3 คนส่วนหนึ่ง จะมีการหาข้อมูลก่อน และอีกส่วนก็จะพยายามหนีในการตอบสนองนี้รวมไปถึงกรณีที่ยาขามยับยั้งเพลิงไหม้ การเตือนภัยผู้อื่น และอพยพออกจากอาคาร โดยจากการทดสอบของ (Levin, 1985) พบว่า 50 % ของแบบที่ 2 และ 35 % ของแบบที่ 3 จะพยายามหาข้อมูลก่อนทำการอพยพ

8. การอพยพเมื่อเกิดเหตุการณ์ฉุกเฉิน

รูปแบบของ Hydraulic Model ซึ่งได้ถูกนำมาใช้เพื่อหาค่าเวลาในการอพยพเคลื่อนย้ายสู่ทางออกที่เป็นจริง คือ เวลาที่ต้องการออกจากตัวอาคาร ปกติเวลาที่ออกสู่ทางออกที่เป็นจริงจะเป็นไปตามเวลาในรูปแบบ Hydraulic Model ตั้งแต่เวลาการเคลื่อนย้ายซึ่งอยู่บนพื้นฐานของข้อมูลจากการจำลองสถานการณ์และประสบการณ์ด้านเพลิงไหม้ ซึ่งก็เป็นไปได้ที่เวลาในการเคลื่อนย้ายตามรูปแบบ Hydraulic Model จะใกล้เคียงกับเวลาการเคลื่อนย้ายที่เป็นจริงประสิทธิภาพในการเคลื่อนย้ายเป็นส่วนประกอบหนึ่งของรูปแบบการหาเวลาการเคลื่อนย้าย โดยมีตัวอย่างของส่วนประกอบที่มีประสิทธิภาพ ดังนี้

- 1) ความล่าช้าอาจเกิดขึ้นจากการจัดการ ซึ่งนำไปสู่การไปสู่ทางออกที่ไม่มีประสิทธิภาพหรือการอพยพโดยตรงอื่นๆ
- 2) เวลาที่ล่าช้าเกี่ยวข้องกับการหยุดแล้วเริ่มต้นเคลื่อนที่ใหม่ในแต่ละจุดการเชื่อมต่อ
- 3) ความล่าช้าอาจเกิดขึ้นจากความสามารถส่วนตัวที่ไม่ปกติ เช่น เริ่มการอพยพเคลื่อนย้ายช้ากว่าคนอื่น
- 4) ความสมดุลที่ใช้ไปสู่ทางออกอาจเสียไป ในขณะที่บางเส้นทางใช้ได้แต่อีกเส้นทางอาจใช้ไม่ได้

ทั้งหมดที่กล่าวมาสามารถลดประสิทธิภาพในการเคลื่อนย้ายได้ การใช้การคำนวณตามรูปแบบที่มีผลต่อระบบโดยรวม ส่วนประกอบเฉพาะหรือการเปลี่ยนแปลงในระบบอย่างไรก็ตามผลของเวลาอพยพเคลื่อนย้ายตามรูปแบบได้ถูกเปรียบเทียบกับเวลาการอพยพจริงขณะเกิดเพลิงไหม้ สิ่งสำคัญเวลาการอพยพเคลื่อนย้ายตามรูปแบบนั้นจะใกล้เคียงกับความเป็นจริง

9. พฤติกรรมของคนเมื่อเผชิญกับเพลิงไหม้

- 1) อาการตื่นตระหนกเป็นสิ่งที่แทบไม่มี แม้ในสถานการณ์เพลิงไหม้ขั้นเลวร้าย มีรูปแบบพฤติกรรมที่เป็นปกติการเคลื่อนย้ายไปตามเส้นทางที่ถูกเลือก และมีความสัมพันธ์ที่ดีกับผู้อื่นในสถานการณ์ฉุกเฉิน พฤติกรรมต่างๆ เป็นไปอย่างมีเหตุมีผล
- 2) การกระตุ้น รวมถึงกิจกรรมต่างๆ ในขณะเพลิงไหม้ เป็นการค้นหาข้อมูลเกี่ยวกับธรรมชาติ และความเครียด ของสถานการณ์เกี่ยวกับบุคคลอื่นๆ
- 3) การเคลื่อนย้าย และการตอบสนองต่อเพลิงไหม้โดยทั่วไป โดยปกติจะเป็นไปตามลักษณะสังคม โดยจะมีการเคลื่อนย้ายกันไปเป็นกลุ่ม
- 4) ปัญหาด้านความบังเอิญอื่นๆ ที่อาจเกิดขึ้น ก็ยังมีอยู่มากในสถานการณ์ฉุกเฉิน

10. การหาทางออก

การหาเส้นทางออกถือเป็นเรื่องที่มีความสำคัญกับจำนวนคนที่อพยพ โดยส่วนมากจะมีปัญหาตามมามากมาย เมื่ออาคารมีทางออกหลายทาง ซึ่งการแก้ปัญหาในการหาทางออก คือการจัดทำเครื่องหมายบอกทิศทางของทางหนีไฟ ซึ่งมาตรฐานการป้องกันอัคคีภัยส่วนใหญ่จะระบุไว้ด้วยเสมอ (Ozel, 1986) วิจัยเกี่ยวกับการหาทางออก กรณีอพยพหนีไฟ เมื่อมีเหตุการณ์เกิดเพลิงไหม้ ความสามารถในการอพยพของแต่ละคนในการหาทางออกขึ้นอยู่กับตำแหน่งที่ยืนอยู่ของคน โดยคนส่วนใหญ่จะพยายามนึกถึงทางออกหรือทางหนีไฟตามรูปแบบความคิดของตนเองที่พอนึกได้ และมีข้อกำหนดอื่นๆ ที่มีผลต่อการหาทางออก ได้แก่ ความสับสนของพื้นที่ตามลักษณะของอาคาร เครื่องหมายต่างๆ และการหาทางออกนั้นจะมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการอพยพกรณีที่มีพื้นที่ต่อจำนวนคนมีน้อยมาก และคนที่ไม่คุ้นเคยต่อเส้นทางกรอพยพ การอพยพจะมีประสิทธิภาพที่ดีได้เมื่อเส้นทางออกเป็นรูปแบบธรรมดา และทางออกเป็นจุดที่ปลอดภัยต่อผู้อพยพ ประสิทธิภาพในการหาทางออกจะลดลงหากมีความสับสนเพิ่มมากขึ้น (SFPE Handbook)

11. ความขัดแย้งของเส้นทางที่บรรจบกัน

เส้นทางของการอพยพคน เมื่อเกิดเหตุเพลิงไหม้นั้นเปรียบได้กับการไหลของน้ำที่ไหลต่อเนื่องกันของ 2 เส้นทางมาบรรจบกันของแต่ละเส้นทางความสามารถในการรองรับการอพยพคนในพื้นที่นั้นได้ (MacLennan, 1986) ตั้งเกิดการเคลื่อนย้ายจากการจำลองการอพยพได้ว่าเมื่อเส้นทางหนึ่งหยุดเคลื่อนย้าย ในขณะที่อีกเส้นทางหนึ่งเข้ามาบรรจบกัน การที่เข้ามาบรรจบกันนี้เองจะมีผลอย่างมาก เมื่อจำนวนคนที่มีมากจนทำให้ไม่สามารถเคลื่อนที่ไปได้ ซึ่งเป็นเรื่องปกติเมื่อเกิดการเข้ามาบรรจบกันของเส้นทาง โดยสามารถสรุปได้ว่า 30 - 50 % บริเวณบันไดนั้นความเร็วของการเคลื่อนที่จะลดลง

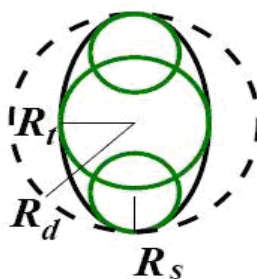
12. ประสิทธิภาพของความกว้าง

การเคลื่อนที่ของคนไปสู่ทางออกของอาคารที่เกี่ยวข้องกับส่วนอื่นๆ เช่น ผนัง การเคลียร์พื้นที่จึงจำเป็นกับการรักษาสมดุลในการเคลื่อนย้าย การอธิบายเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของกลุ่มคนเกิดขึ้น เมื่อความกว้างมีผลกระทบต่อการอพยพเคลื่อนย้าย ผลกระทบของความกว้างและระดับชั้นของส่วนประกอบ (Pauls and Fruin, 2000) และ (Habicht & Braaksma) ซึ่งความกว้างของพื้นที่ว่างจะกำหนดจาก

- 1) จากผนังด้านหนึ่งไปถึงอีกด้านหนึ่งของทางเดิน
- 2) ความกว้างของขั้นบันได
- 3) ความกว้างของทางเดินจริงของประตูทางออก
- 4) พื้นที่ระหว่างแถวที่นั่งกับส่วนอื่นๆ ที่จัดไว้
- 5) พื้นที่ระหว่างที่นั่งในแถวที่จัดไว้

13. ทฤษฎีพื้นฐานโปรแกรม FDS+ Evac

การคำนวณเส้นทางหนีไฟที่ได้จากโปรแกรม FDS+Evac นั้นเป็นการพัฒนารวมเข้าด้วยกันระหว่างโปรแกรมจำลองการเกิดเพลิงไหม้ Fire Dynamics Simulation (FDS) ซึ่งพัฒนาโดยสถาบัน National of Standards and Technology (NIST) และรูปแบบการจำลองการอพยพซึ่งพัฒนาโดย VTT Technical Research Centre of Finland เรียกว่า “FDS+Evac” ซึ่งวิธีการนี้สามารถให้คนที่อพยพมีกลยุทธ์ในการหนีไฟเป็นของตนเอง รูปแบบการจำลองการเคลื่อนที่ของคนเป็นการเคลื่อนที่แบบซ้อน แบบ 2 มิติ Geometry แทนด้วยสัญลักษณ์วงกลมซ้อนกัน 3 วง ดังภาพที่ 19 ส่วนการวัดความเร็วในการเคลื่อนที่ของคนในแต่ละประเภท สามารถแสดง ดังตารางที่ 8



ภาพที่ 17 รูปร่างของร่างกายมนุษย์การเคลื่อนที่ซ้อนแบบ 2 มิติ Geometry แทนด้วยการซ้อนกันของวงกลม

ที่มา: Korhonen and Hostikka (2008)

ตารางที่ 8 ความเร็วในการเดินของคนโดยไม่มีการกีดขวางเปรียบเทียบกับขนาดของร่างกาย
ในรูปแบบของโปรแกรม FDS+Evac

Body type	Rd(m)	Rt/Rd(-)	Rs/Rd(-)	ds / Rd(-)	Speed(m/s)
Adult	0.255±0.035	0.5882	0.3725	0.6275	1.25±0.30
Male	0.270±0.020	0.5926	0.3704	0.6296	1.35±0.20
Female	0.240±0.020	0.5833	0.3750	0.6250	1.15±0.20
Child	0.210±0.015	0.5714	0.3333	0.6667	0.90±0.30
Elderly	0.250±0.020	0.6000	0.3600	0.6400	0.80±0.30

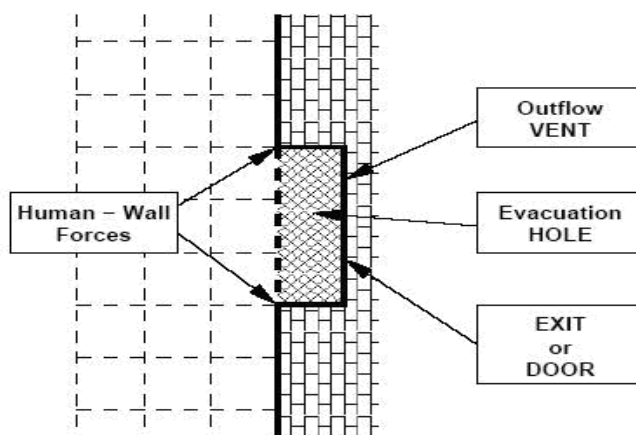
ที่มา: Korhonen and Hostikka (2008)

ขั้นตอนการจำลองรูปแบบการอพยพนั้นมีการพัฒนาโดยสถาบัน VTT ซึ่งโปรแกรม FDS+Evac เป็นโปรแกรมที่สามารถทำงานบน Single Computer Mode หรืออื่นๆ ได้ แต่รูปแบบของควัน หรือ แก๊สพิษ ต้องใช้ Multiple Processor ดังนั้น จึงต้องพิจารณาว่าเมื่อไหร่ที่ต้องใช้การประมวลผลการอพยพด้วย Single Processor หรือ Multiple Processor โดยรูปแบบการจำลองการอพยพ โดยโปรแกรม FDS+Evac นั้นสามารถที่จะค้นหาได้ผ่านเว็บไซต์ <http://www.fds-smv.net/> ซึ่งสามารถที่จะทำการ Download โปรแกรมเวอร์ชันล่าสุดของโปรแกรม FDS-Smoke view ได้ที่ <http://www.vtt.fi/fdsevac> ซึ่งในเว็บไซต์มีวิธีการใช้งาน การอ้างอิงด้านเทคนิค และตัวอย่างการใช้งานโปรแกรม FDS+Evac

13.1 จิตความสามารถของโปรแกรม FDS+ Evac

การจัดทำสิ่งที่สามารถคำนวณของโปรแกรม FDS+Evac ในตอนนี้ คือ อาคารที่มีรูปแบบของอาคารในแนวนอน เช่น อาคารกีฬา อาคารที่มีที่นั่ง (Stand) อาคารการแสดงดนตรี เป็นต้น แต่ยังไม่สามารถที่จะใช้ Flow ร่วมกับอาคารที่มีรูปแบบส่วนประกอบของบันไดได้อย่างสมบูรณ์ ดังนั้นโปรแกรม FDS+ Evac จึงยังไม่เหมาะกับรูปแบบของอาคารสูง โดยในการคำนวณการอพยพ จำเป็นต้องมี 2D Evacuation Meshes ซึ่งไม่ควรที่จะมีความละเอียดมากเกินไปเนื่องจากจะทำให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับ Flow ได้ในระหว่างที่มีการประมวลผลของการอพยพ ซึ่งปกติแล้วขนาดของ

Mesher Cell จะมีขนาดประมาณ 0.25 เมตรหรือมากกว่า โดยประตูหรือทางออกควรทำให้อยู่ในกำแพงเล็กน้อย โดยการทำให้เป็นรูภายในกำแพง ซึ่งขนาดของทางออกจะขึ้นอยู่กับ Mesh Resolution



ภาพที่ 18 การสร้างประตูหรือทางออก

ที่มา: Korhonen and Hostikka (2008)

โปรแกรม FDS+ Evac จะจำกัดจำนวนคนใน Main Evacuation Mesher ซึ่งหากคนเกินจำนวนที่จำกัดจะแสดงข้อความ Error เช่น กรณีมีคนจำนวน 1,000 คน พยายามที่จะเข้าไปในทางออกหรือประตู ซึ่งโดยปกติแล้วใน Main Evacuation Mesher จะคลุมทั้งชั้นของอาคาร ซึ่งอาจจะมีจำนวนประตูหรือทางออกหลายทางได้ตามจำนวนชั้น ซึ่งจะมีข้อจำกัดก็คือขนาด Memory ของเครื่องคอมพิวเตอร์ และโปรแกรมสามารถที่จะจำลองเหตุการณ์ใหม่พร้อมกับการจำลองการอพยพได้พร้อมกัน ซึ่งปริมาณควัน หรือแก๊ส จะมีผลต่อการเคลื่อนที่และการตัดสินใจเคลื่อนที่หรืออพยพของคน โดยความหนาแน่นของควันหรือแก๊สที่เกิดจากการเผาไหม้สามารถทำให้ความเร็วการเดินของคนลดลง และจะส่งผลต่อการตัดสินใจในการเลือกเส้นทางออก เมื่อเกิดการอพยพ คนเรายังมีทางเลือกในการหาทางออกได้แตกต่างกันจึงต้องมีการจำลองวิธีการหาทางออกเพื่อดูความหลากหลาย ดังนั้นจึงต้องกำหนดการหาทางออกหลายๆ ครั้งต่อการจำลองเพลิงไหม้ 1 ครั้ง

13.2 พื้นฐานโปรแกรม FDS+Evac

รายละเอียดข้อมูลของโปรแกรม Fire Dynamic Simulation (FDS) นั้นในส่วนของรายละเอียดของโปรแกรมนั้นจะประกอบไปด้วย ชื่อโปรแกรม และเวอร์ชัน โดยชื่อของโปรแกรมการเกิดไฟ คือ NIST Fire Dynamic Simulation หรือเรียกสั้นๆ ว่า FDS โดยเป็นโปรแกรม Fortran 90 โดยจะใช้ในการแก้สมการ Fluid Dynamic และมีโปรแกรม Smoke view ซึ่งเป็นโปรแกรมที่คล้ายคลึงกันซึ่งเขียนมาจากภาษา C/OpenGL ซึ่งจะแสดงผลออกมาในลักษณะเป็นภาพ Animation ส่วนโปรแกรมจำลองการอพยพที่พัฒนาโดย VTT และเมื่อนำรวมเข้าด้วยกันกับ FDS Module จึงกลายมาเป็นโปรแกรม FDS +Evac โดยที่การคำนวณการอพยพของโปรแกรมใน เวอร์ชันปัจจุบัน คือ FDS 5.2.0 ซึ่งชนิดของโปรแกรม (Model Type) โปรแกรม FDS+ Evac เป็นการจำลองแบบมีการรวมกันระหว่างการประมวลผลแบบ Agent - Based egress และแบบ Computational Fluid Dynamics (CFD) โดยข้อมูลที่ใส่ใน Input Data ที่จำเป็นในการทำงานของโปรแกรม FDS+Evac นั้นค่า Input Data Parameter ต่างๆที่จำเป็นในการสั่งให้โปรแกรม FDS+Evac ทำงาน คือ ข้อมูลในรูปแบบของ Text Files ซึ่งจะคล้ายกับข้อมูลของโปรแกรม FDS ส่วนของผลลัพธ์ของการประมวลผลของโปรแกรม FDS+Evac สามารถคำนวณหา ค่า ตำแหน่ง ความเร็ว และปริมาตรของควัน แก๊สพิษ และสามารถเห็นการเคลื่อนที่ของคนแต่ละคนได้ โดยใช้โปรแกรม Smoke view แม้ว่าโปรแกรม FDS+Evac จะสามารถทำงานหรือประมวลผลได้ในทุกเหตุการณ์แต่ก็ยังมีข้อจำกัดในส่วนของคุณค่าดังนี้

ก. Geometry: โปรแกรม FDS สามารถทำงานได้ดี หากเป็นแบบ Rectilinear numerical Grid แต่จะมีข้อจำกัดหากเป็นแบบ Rectangular Grid ซึ่งในการจัดทำแบบจำลองนี้ใช้ Rectilinear numerical Grid

ข. Reduced Visibility: ค่าความเข้มข้นของควัน และก๊าซพิษต่างๆ ที่เกิดจากการเผาไหม้สามารถคำนวณได้โดยโปรแกรม FDS จะถูกใช้งาน เพื่อลดความเร็วในการเคลื่อนที่ของคนในแบบจำลอง

ค. Incapacitation: โปรแกรมความเสียหายซึ่งใช้แนวคิดของ FED

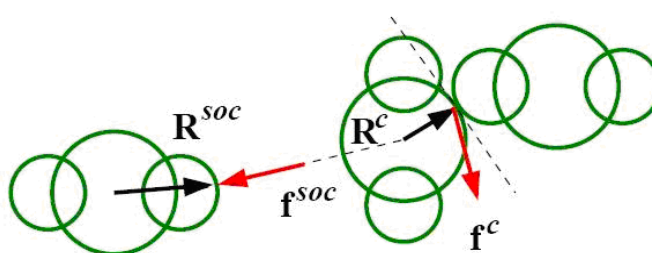
ง. Exit Route Selection: การควบคุมจำนวนทางออกหรือประตู จำนวนมากหรือน้อยสามารถทำให้เกิดการใช้งานที่แตกต่างกันไป

จ. Detection and Reaction Time: เวลาก่อนการอพยพจะถูกกำหนดโดย User Input ซึ่งจะต้องใช้การกระจายเวลาในการตรวจสอบและวิจัย

ฉ. Application: โปรแกรม FDS+Evac ในเวอร์ชันปัจจุบันจะยังไม่นำเรื่องของลิฟต์เข้ามาเกี่ยวข้อง ดังนั้นสถานที่แสดงคนตรี และสนามกีฬาอาจจะทำให้สามารถจำลองได้ยาก เนื่องจากข้อจำกัดจาก Rectangular Computational Mesh ด้านจำนวนคนที่อพยพในเวอร์ชันปัจจุบันสามารถได้มากที่สุด 10,000 คน

13.3 ทฤษฎีพื้นฐานการอพยพของโปรแกรม

จุดเริ่มต้นของรูปแบบการคำนวณการเคลื่อนที่ของคนในโปรแกรม FDS+Evac ซึ่งการปรับเปลี่ยนสัญลักษณ์ของคนจาก 1 วงกลมเป็น 3 วงกลม โดยการเคลื่อนที่ของคนในโปรแกรม FDS+Evac ใช้กฎของ Mechanic เพื่อติดตามทิศทางไปของคน (Langton, 2006 and Korhonen, 2007) โดยใช้การคำนวณโดยรูปร่างของคนในโปรแกรม FDS+Evac จะคล้ายคลึงกับใน Simplex Mass Egress แสดงดังภาพที่ 10 (คน - คน) คนเดี่ยว คนใน Social คน 2 คน



ภาพที่ 19 อธิบายขนาดของคนใน Radial factor แต่ละแบบ

โดยโปรแกรม FDS + Evac คนจะถูกนำทางไปยังประตูทางออกโดยสนามทางเดินเป็นทิศทางแบบ Vector ดังภาพที่ 21 โดยการกำหนดทางออกเดียวให้เป็นเหมือนพัดลมจึงเหมาะกับการกำหนดทิศทางออกตามที่กำหนดไว้ ถึงแม้ว่าจะไม่ใช่วิธีที่มีระยะทางที่สั้นที่สุดแต่ก็ใกล้เคียง เพราะจะสามารถนำคนไปในทิศทางที่ถูกต้อง ไม่นำคนไปสู่ทิศทางที่แคบกว่า ซึ่งจะทำให้เกิด

การติดขัดและถึงแม้เป็นในสถานที่ใหญ่ๆ อย่าง เช่น สนามกีฬา ก็ไม่สามารถเคลื่อนที่ออกนอกทิศทางที่คนส่วนใหญ่เคลื่อนที่มุ่งไปได้อยู่แล้ว ซึ่งสัญลักษณ์แทนคนที่เป็นวงกลม 3 วง ถูกใช้ในการทดลองเพื่อให้ได้รูปแบบการเคลื่อนคล้ายจริงมากที่สุด

13.4 เพลิงและปฏิกิริยาของคน

เพลิงมีอิทธิพลต่อการสภาวะการอพยพ อาจทำให้คนเราได้รับอันตรายหรือหากเป็นกรณีที่เหตุการณ์ร้ายแรงอาจทำให้เกิดการปิดกั้นทางออกหลัก และอีกนัยหนึ่งก็สามารถที่จะมองได้ว่าคนอาจมีอิทธิพลต่อเพลิง เช่นกัน โดยการเปิดประตูหรือการใช้อุปกรณ์ดับเพลิง ซึ่งในปัจจุบันผลกระทบของควันที่มีความเร็วในการเคลื่อนที่ของคน และความเป็นพิษของควัน มีผลในการคำนวณการเคลื่อนที่ของโปรแกรม FDS+Evac ความหนาแน่นของควันจะมีผลต่อการการมองเห็นประตูทางออก

$$FED_{tot} = FED_{co} \times HV_{co2} + FED_{o2} \quad (43)$$

โดยที่

FED_{tot} คือ Toxic Effect ของก๊าซที่เกิดขึ้นหลังจากเกิดเหตุเพลิงไหม้ทั้งหมด

FED_{co} คือ Toxic Effect ของที่ CO เกิดขึ้นหลังจากเกิดเหตุเพลิงไหม้

FED_{o2} คือ Toxic Effect ของที่ O₂ เกิดขึ้นหลังจากเกิดเหตุเพลิงไหม้

HV_{co2} คือ ค่า Hyperventilation Factor ของ CO₂

Toxic Effect ของก๊าซที่เกิดขึ้นหลังจากเกิดเหตุเพลิงไหม้นั้นจากแนวคิดของ Puser's Fractional Effect Dose (FED) โดยโปรแกรม FDS+Evac ในเวอร์ชันปัจจุบันนั้นใช้เพียงความเข้มข้นของ CO, CO₂ และ O₂ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 43 โดยทั้งนี้จะไม่รวมถึงผลกระทบจาก HCN CO₂ ซึ่งมีความเข้มข้นน้อยจนไม่น่าจะเกิดอันตราย สัดส่วนของปริมาณที่ทำให้เกิดอันตรายจาก CO สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 44 ส่วน O₂ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 15

$$FED_{co} = 4.60 \times 10^{-7} (CO) 1.036 t \quad (44)$$

$$FED_{o2} = \frac{t}{\exp [8.13 - 0.54 (20.9 - CO_2)]} \quad (45)$$

คนอพยพจะถูกพิจารณาได้ว่าได้รับอันตราย เมื่อมีค่า FED สูงกว่าค่าโดยรวม โดยคนที่ได้รับอันตรายจะถูกพิจารณาให้ความเร็วในการเคลื่อนที่เป็นศูนย์ ขนาดร่างกายไม่เปลี่ยนแปลง

13.5 การเลือกทางออก

โปรแกรม FDS+Evac คนอพยพแต่ละคนจะสังเกตสถานที่ และอากัปกริยาของผู้อพยพอื่น เพื่อประเมินการหาทางออกที่เร็วที่สุดระยะเวลาในการอพยพโดยการประเมินจะประกอบด้วยระยะเวลาในการเดินรวมกับการต่อแถว โดยเวลาในการเดินหาได้จากระยะทางในการเดินทางด้วยความเร็วในการเดิน เวลาในการต่อแถวหาได้จากพฤติกรรมรวมกับสถานที่ของผู้อพยพอื่นรวมถึงยังสมมติให้ผู้อพยพสามารถเปลี่ยนเส้นทางได้หากพบทางออกที่ดีกว่า ความคุ้นเคยกับทางออกของคนอพยพแต่ละคนในโปรแกรม FDS+Evac สามารถกำหนดได้โดยผู้ใช้โปรแกรม หรือจะให้โปรแกรมกำหนดให้เป็นแบบสุ่มก็ได้ วิธีหรือขั้นตอนการเลือกทางออกจะประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ทางออกที่แบ่งตาม Preference และทางออกที่ถูกเลือก โดยการลดเวลาในการอพยพโดยประมาณ โดยทางออกที่เราคุ้นเคยเราจะรู้สึกว่ามีอันตรายน้อย ซึ่งเป็นสาเหตุทางด้านจิตวิทยา และตัวผู้อพยพก็มักจะชอบทางออกที่คุ้นเคยถึงแม้จะใช้เวลาในการเดินนาน เพราะเหตุผลนี้การฝึกซ้อมเหตุการณ์ฉุกเฉินจึงต้องมีการใช้ทางหนีไฟ

13.6 กลุ่มคน / ผุ้ชน

ผุ้ชนประกอบด้วยคนกลุ่มเล็กๆ ตัวอย่างเช่น ครอบครัว ซึ่งกลุ่มคนเหล่านี้มักจะทำกิจกรรมต่างๆ ด้วยกัน โดยพฤติกรรมเหล่านี้ก็สามารถที่จะนำมาใช้ในการคำนวณของโปรแกรม FDS+Evac ด้วยเช่นกัน (Helbing, 1995) ได้แบ่งการกระทำของกลุ่มคนเป็น 2 ขั้นตอนคือ

- 1) ขั้นตอนการรวมตัวคนแต่ละคนจะเดินเข้าหากันเพื่อรวมกลุ่ม

2) ขั้นตอนการออกไปสู่พื้นที่ด้านนอก โดยกลุ่มคนจะออกสู่พื้นที่ด้านนอกไปยังทางออกที่ได้เลือกไว้แล้วพร้อมกันซึ่งทั้ง 2 ขั้นตอนนี้ในโปรแกรมจะเริ่มจากการที่แต่ละคนจะพยายามเดินมาอยู่ตรงกลางให้อยู่ในระยะจุดศูนย์กลางอยู่ห่างจากแต่ละคนในระยะที่ใกล้กันเมื่อนั้นจึงถือว่าขั้นนี้สมบูรณ์ จากนั้นจึงเริ่มเดินไปสู่ทางออกในระหว่างการเดินทางทุกๆ คนในกลุ่มก็พยายามอยู่รวมกัน ซึ่งมีผลต่อความเร็วในการเดินและเพิ่มแรงในการมุ่งไปสู่จุดหมาย

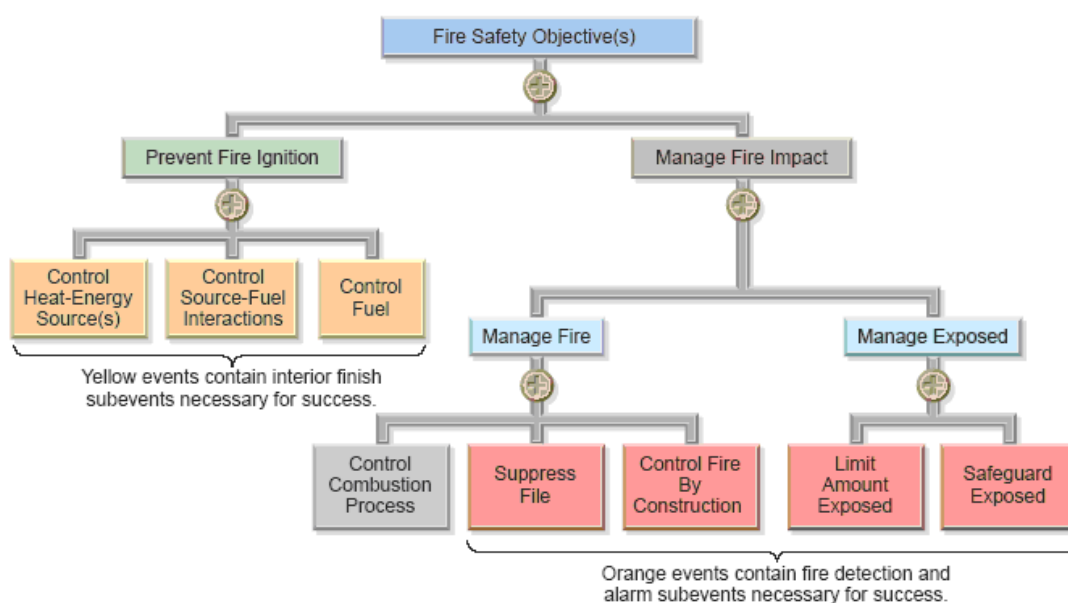
13.7 การคำนวณการเคลื่อนที่ของคน

สมการการเคลื่อนและตำแหน่งของการหมุนของการเคลื่อนที่ สามารถแก้ไขได้โดยการใช้ความเร็วที่ปรับแล้ว ซึ่งลำดับขั้นเวลาที่ใช้ในคำสั่ง โดยจะถูกปรับค่าในการจำลองโดยแรงที่สูงสุดที่กระทำต่อคน โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0.001 วินาที และ 0.00001 วินาที ซึ่งขึ้นอยู่กับรูปแบบคำสั่งของประตูทางออก เวลาที่ใช้ในการอพยพโดยประมาณของโปรแกรม FDS+Evac ในเวอร์ชันปัจจุบันทำได้โดยการหารระยะทางที่ไปสู่ประตูด้วยความเร็วในการเดินที่ไม่มีสิ่งกีดขวางในการคำนวณทำตลอดเส้นทางอพยพและประมาณระยะเวลาที่ใช้ในการรอแถวที่บริเวณด้านหน้าประตู ส่วนความหนาแน่นของควันหรือควันพิษ สามารถคำนวณได้โดย FDS 5 Fire Simulation โดยที่ผู้ใช้งานใส่ Input เป็นเวลาของการตรวจจับและเวลาในการตอบสนองสำหรับคนที่กำลังอพยพ ความหนาแน่นของควันหรือก๊าซพิษนั้นมีผลต่อรูปแบบคำสั่งในการเลือกประตูทางออก

14. หลักการออกแบบการป้องกันและระงับอัคคีภัย

การกำหนดหัวข้อการป้องกันอัคคีภัยที่เอื้ออำนวยต่อการป้องกันอัคคีภัยตามแนวทางของการออกแบบระบบป้องกันและระงับอัคคีภัยของอาคารสูงหรืออาคารขนาดใหญ่หรืออาคารขนาดใหญ่พิเศษ ส่วนมากจะยึดถือตามค่ามาตรฐานสากล โดยนำค่าที่ถูกกำหนดไว้มาใช้งานและในบางครั้งพบว่าพื้นที่ที่ถูกออกแบบไว้มีข้อจำกัดด้านงานสถาปัตยกรรมและพฤติกรรมของผู้บริโภคที่มักจะยึดถือความสะดวกสบายเป็นหลักในการใช้งาน ส่งผลให้บางครั้งเกิดความไม่ปลอดภัยตามมารวมถึงระบบที่ออกแบบเพื่อป้องกันและระงับอัคคีภัยทำงานได้ไม่เต็มประสิทธิภาพด้วยเหตุนี้จึงเป็นที่มาของวิทยานิพนธ์นี้ที่จะทำให้ใช้หลักการของการเคลื่อนที่ของไฟในพื้นที่ปิดล้อม (Enclosure Fire Dynamics) มาช่วยในการออกแบบโดยให้องค์กับมาตรฐานที่ใช้ในประเทศและสอดคล้องกับการนำไปใช้ตามที่กฎหมายได้ออกไว้ในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร (ฉบับที่ 1) พ.ศ. 2522, พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2535, พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร

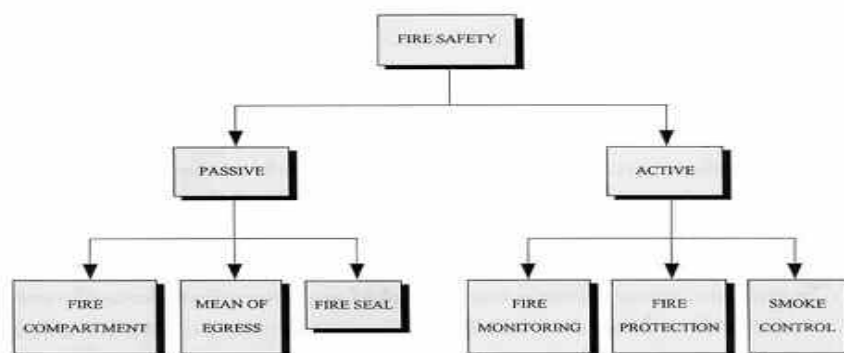
(ฉบับที่ 3) 2543 ดังนั้นระบบป้องกันอัคคีภัยที่จำเป็นต้องจัดทำ เพื่อให้การป้องกันอัคคีภัยของอาคารเป็นไปตามมาตรฐานและกฎเกณฑ์ (Fire Safety Codes and Regulation) ที่ประเทศไทยได้มีการนำมาตรฐานของ National Fire Protection Association [NFPA] บางหมวดหมู่มาใช้ในประเทศไทยเพื่อความเหมาะสมบางประการเช่น แนวคิดเรื่องป้องกันและระงับอัคคีภัยโดยมีการนำมาตรฐาน NFPA 550 Guide to the Fire Safety Concepts Tree 2002 edition ที่วางระบบการป้องกันการเกิดจุดติดไฟ (Prevent Fire Ignition) และการจัดการผลกระทบที่เกิดจากไฟ (Manage Fire Impact) ภาพที่ 3 ที่มีการแบ่งหมวดหมู่เพื่อดำเนินการประเมินผลตามหลักเกณฑ์ของงานป้องกันและระงับอัคคีภัย



ภาพที่ 20 แนวคิดของการวางระบบป้องกันอัคคีภัยของ NFPA 550

ที่มา: National Fire Protection Association (2002)

สำหรับในประเทศไทย (เกชา, 2545) แนวความคิดในการออกแบบทางด้านสถาปัตยกรรมกับการป้องกันอัคคีภัยไว้ด้วยกัน ซึ่งจะแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ การออกแบบเพื่อการป้องกันอัคคีภัยเชิงรุก (Active) และการออกแบบเพื่อป้องกันอัคคีภัยเชิงรับ (Passive) ดังภาพที่ 21



ภาพที่ 21 สถาปัตยกรรมกับการป้องกันอัคคีภัย

ที่มา: เกชา (2542)

2.1 การป้องกันเชิงรับ (Passive Fire Safety) การทำความเข้าใจการป้องกันเชิงรับ (Passive Fire Safety) ด้วยการศึกษารูปจำลองการเกิดไฟ (Model of Fire Development) และความคิดรวบยอดให้ปลอดภัยจากอัคคีภัย (Fire Safety Concepts) ตามหลักการดังนี้

ขั้นตอนการเกิดเพลิงไหม้ เริ่มเกิดไฟจากจุดเผาไหม้เล็กๆ ไฟขยายตัวไปยังเชื้อเพลิงที่อยู่ใกล้ๆ หรือลุกลามไปตามผิวหน้าของวัสดุในห้องนั้น ไฟลามไปถึงหน้าต่างและประตูทำให้เกิดความเสียหายหรือแตกหัก แสงสว่างจากเปลวไฟสังเกตเห็นได้อย่างชัดเจน ถ้าความร้อนและควันเริ่มมีปริมาณมากขึ้น ไฟและควันไหลลามลามไปตามช่องว่างและรอยแตกของอาคาร พร้อมๆ กับในชั้นที่อุณหภูมิขึ้นสูงมาก อันตรายมีมากขึ้นจุดรองรับน้ำหนักของอาคารเริ่มทรุดตัวจุดรองรับน้ำหนักต่างๆ พังลงมาอาคารยุบและพังทลาย

ความปลอดภัยจากอัคคีภัยด้วยแนวทางของการป้องกันเชิงรับ สิ่งที่ต้องพิจารณาของระบบป้องกันอัคคีภัย คือ การหยุดการลามไฟเพื่อลดความสูญเสียที่เกิดกับชีวิตและทรัพย์สินให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ การป้องกัน การลามไฟ ประกอบด้วยวิธีการดังนี้

ก. ควบคุมการเกิดควันไฟและการกระจายตัวของควันไฟ เพื่อระบายควันไฟออกนอกบริเวณขณะเกิดเพลิงไหม้อาคาร ลดหรือป้องกันการแพร่กระจายของควัน ด้วยการออกแบบการใช้งาน การติดตั้ง การทดสอบ และซ่อมบำรุงระบบรวมถึงการเพิ่มเติมอุปกรณ์ให้แก่ระบบปรับ

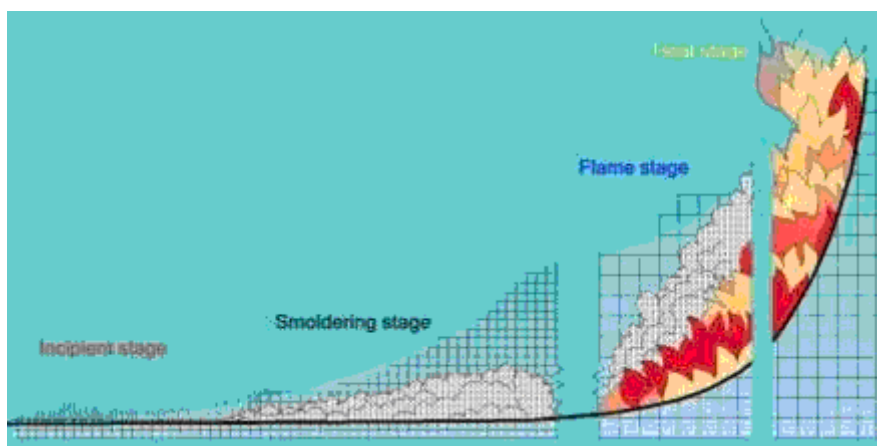
อากาศและระบบหัวกระจายน้ำในระบบดับเพลิงให้ทำงานร่วมกับระบบควบคุมควันไฟได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ข. การป้องกันการลามไฟเมื่ออพยพหนีไฟให้เป็นอย่างปลอดภัย โดยที่ผนังปิดล้อมพื้นที่ต้องมีอัตราทนไฟ 2 ชั่วโมง และมีระบบอัดอากาศเพื่อป้องกันการแพร่กระจายเข้ามาในพื้นที่ปิดล้อมมีความดันขณะใช้งานไม่น้อยกว่า 38.6 ปาสกาล (0.15 นิ้วน้ำ) โดยมีการพิจารณาของความเร็วของอากาศที่ผ่านประตูหนีไฟเพื่อป้องกันควันย้อนกลับด้วยการกำหนดให้อาคารที่มีระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิง ความเร็วที่ผ่านประตูต่ำสุดที่ยอมรับได้ 0.30 เมตรต่อวินาที และอาคารที่ไม่มีระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิง ความเร็วที่ผ่านประตูต่ำสุดที่ยอมรับได้ 0.80 เมตรต่อวินาที ในขณะที่ความเร็วของอากาศที่จ่ายออกจากช่องท้ออัดอากาศจะต้องอยู่ในช่วง 2-3 เมตรต่อวินาที วัสดุที่ใช้ในงานท้อลมทั้งหมดจะต้องไม่ติดไฟ และวัสดุจะต้องมีค่าอุณหภูมิของการหลอมละลายไม่น้อยกว่า 1,000 องศาเซลเซียส (วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, 2540)

ค. การใช้วัสดุประเภทไม่ลามไฟหรือสร้างความเสถียรภาพของโครงสร้างวัสดุประเภทป้องกันโครงสร้างของอาคารขณะเกิดเพลิงไหม้ ไม่ให้เกิดการแตกกร้าว การทลายตัวเป็นการเลือกวัสดุของโครงสร้างอาคารให้มีโครงสร้างทนไฟตั้งแต่เริ่มการออกแบบ

2.2 การป้องกันเชิงรุก (Active Fire Safety) การป้องกันอัคคีภัยเชิงรุก (Active Fire Safety) เป็นการป้องกันอัคคีภัย เมื่อเพลิงไหม้ได้เกิดขึ้นแล้วซึ่งจะต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์ การเฝ้าระวัง อุปกรณ์การป้องกันการลุกลามของไฟ และอุปกรณ์สำหรับการควบคุมควันไฟ

1) ระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้ ความสามารถของอุปกรณ์ตรวจจับเพลิงไหม้จะจำแนกตามระยะเวลาของการเกิดเพลิงไหม้ เริ่มต้นตั้งแต่การเป็นสถานะของเชื้อเพลิงที่เป็นของแข็งกลายเป็นเชื้อเพลิงที่อยู่ในสถานะก๊าซ จากนั้นควันไฟจะก่อตัวขึ้นและเกิดเปลวไฟขึ้น และในที่สุดจะเกิดความร้อนจากเปลวไฟแพร่กระจายออกไป ดังภาพที่ 22



ภาพที่ 22 ขั้นตอนการเกิดเพลิงไหม้

ที่มา: National Fire Protection Association (1999)

จากภาพที่ 22 สามารถแบ่งระยะเวลาการเกิดเพลิงไหม้ได้เป็น 4 ระยะ คือ

ระยะที่ 1 ระยะเริ่มต้น (Incipient Stage) ซึ่งระยะนี้จะไม่สามารถมองเห็นอนุภาคของควันไฟ และเปลวไฟ และจะรู้สึกถึงความร้อน อุปกรณ์ตรวจจับที่เหมาะสม คือ อุปกรณ์ตรวจจับไอออน และก๊าซจากการเผาไหม้

ระยะที่ 2 ระยะเกิดควัน (Smoldering Stage) ซึ่งระยะนี้เราไม่สามารถมองเห็นเปลวไฟ และจะรู้สึกถึงความร้อน แต่จะมองเห็นควันไฟ อุปกรณ์ตรวจจับที่เหมาะสม คือ อุปกรณ์ตรวจจับควันไฟ

ระยะที่ 3 ระยะเกิดเปลวไฟ (Flame Stage) ซึ่งระยะนี้เราสามารถมองเห็น เปลวไฟ ควันไฟและเริ่มรู้สึกถึงความร้อน อุปกรณ์ตรวจจับที่เหมาะสมคือ อุปกรณ์ตรวจจับเปลวไฟ

ระยะที่ 4 ระยะเกิดความร้อน (Heat Stage) ซึ่งระยะนี้เราสามารถมองเห็นเปลวไฟ ควันไฟโดยจะไม่สามารถควบคุมความร้อนได้ อากาศร้อนจะแผ่ขยายตัวออกไป อุปกรณ์ตรวจจับที่เหมาะสมคือ อุปกรณ์ตรวจจับความร้อน

2) ระบบดับเพลิงอัตโนมัติ ซึ่งเป็นระบบที่ใช้ระบบเพลิง เมื่อเกิดเพลิงไหม้ขึ้น โดยปกติอุปกรณ์ที่สำคัญในระบบนี้ คือ หัวกระจายน้ำดับเพลิง

3) ระบบควบคุมควัน เนื่องจากควันไฟเป็นสาเหตุสำคัญที่สุดที่ทำให้เสียชีวิต ขณะเกิดเพลิงไหม้ จึงต้องมีระบบควบคุมควันไฟ เพื่อระบายควันไฟไปยังพื้นที่ที่ไม่เป็นอันตราย ต่อชีวิตการควบคุมควันไฟเป็นสิ่งสำคัญมากในการป้องกันชีวิต เนื่องจากควันไฟ เป็นสาเหตุสำคัญของการเสียชีวิตมากกว่าความร้อน เพราะควันไฟสามารถแพร่กระจายตัวได้อย่างรวดเร็วและสามารถไหลผ่านช่องเปิดต่างๆ ได้ รวมทั้งยังลดความสามารถในการมองเห็น จึงทำให้ไม่สามารถหาทางออกจากอาคารเมื่อเกิดอัคคีภัยได้ ดังนั้นจุดมุ่งหมายของระบบควบคุมควันไฟ คือ การป้องกันไม่ให้ควันไฟเข้าสู่บริเวณบันได โถงลิฟต์และชะลอการแพร่กระจายของควันไฟรวมทั้งการระบาย ควันไฟ ก๊าซพิษ และความร้อนออกจากบริเวณที่เกิดอัคคีภัยการเสียชีวิตส่วนใหญ่นั้นเกิดจากควันไฟ เนื่องจากองค์ประกอบของควันจะมี ก๊าซพิษอยู่หลายชนิดด้วยกัน เช่น ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ ก๊าซไฮโดรเจนคลอไรด์ ก๊าซแอมโมเนียและ เหม่าควันไฟ เป็นต้น แต่ก๊าซที่เป็นปัจจัยสำคัญในการเสียชีวิตของการเกิดอัคคีภัยในอาคาร สำนักงานทั่วไป คือ ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และเหม่าและควันไฟ

15. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นิวัฒน์ (2542) การศึกษาเวลาในการหนีภัยในอาคาร พิจารณาการหนีไฟที่ใช้สำหรับ อาคารเพื่อนำไปสร้างเวลาของการเคลื่อนหรืออพยพคนจากอาคารเมื่อเกิดเพลิงไหม้ก่อนที่จะมีควันไฟ เข้ามาในพื้นที่หนีไฟให้มีการกำหนดเวลาการอพยพอย่างเหมาะสมกับประเทศไทยโดยการวิจัยนี้ใช้ สูตรเวลาอพยพหนีไฟของนักวิจัยชาวอเมริกา Paul (1980) ในที่นี้ได้ทำการทดลองโดยใช้นักศึกษา สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตภาคใต้ จังหวัดสงขลา จำนวน 102 คน ใช้เวลาการทดลอง 20 ครั้งในระยะเวลา 20 วัน พบว่า ความเร็วเฉลี่ยในการเคลื่อนที่บนทางราบลงบันไดมีค่า 54.12 และ 8.87 เมตรต่อนาที อัตราอพยพบนทางราบผ่านประตูและลงบันไดมีค่า 81.98, 55.01 และ 54.68 คน ต่อนาทีต่อความกว้างหนึ่งเมตร ตามลำดับ ผลการทดลองที่สามารถจำลองเป็นสูตรคณิตศาสตร์ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและความหนาแน่น ที่ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวกำหนด (r^2) สูงเกิน 0.9 ในหลายกรณี

พันธุ์พร (2542) อาคารสูงในเขตคลองเตย กรุงเทพมหานคร ประเภท 16-25 ชั้น และอาคารที่สูงมากกว่า 25 ชั้น มีการเตรียมความพร้อมของระบบป้องกันอัคคีภัยในแต่ละปัจจัยผ่านเกณฑ์กำหนดมากกว่าอย่างมีนัยสำคัญ($P>0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับอาคารสูงประเภท 5-10 ชั้น และอาคาร 11-15 ชั้น และผลการใช้สถิติวิเคราะห์ข้อมูล ได้ข้อสรุปว่าอาคารสูงในเขตคลองเตยมีข้อบกพร่องเกี่ยวกับทางและบันไดหนีไฟ รวมทั้งระบบไฟฟ้าจัดเป็นประเด็นปัญหาที่สำคัญของปัจจัยเสริม ซึ่งอาคารสูงโดยส่วนใหญ่มีรายการที่ต้องแก้ไขตามกฎหมายกระทรวง ฉบับที่ 47 (พ.ศ.2540) เนื่องจากไม่มีแผนผังที่ใช้แสดงอาคารแต่ละชั้น ตำแหน่งห้องทุกห้อง ตำแหน่งที่เก็บอุปกรณ์ดับเพลิง และประตูหรือทางหนีไฟ ผลการศึกษาพบว่ามาตรการป้องกันอัคคีภัยในอาคารสูงที่เกี่ยวกับมาตรการทางกฎหมายประกอบการปฏิบัติตามกฎหมายในการก่อสร้างอาคารสูงอย่างมีประสิทธิภาพและจริงจังจะส่งผลให้ป้องกันการเกิดอัคคีภัยในอาคารสูงมีประสิทธิภาพตามไปด้วย ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อในแง่บวกต่อผู้ใช้อาคารสูงและผู้เกี่ยวข้องในที่สุด นอกจากนี้ยังนำไปสู่การกำหนดเป็นมาตรการในการป้องกันและบรรเทาความเสียหายจากการเกิดอัคคีภัยในอาคารสูงด้วย

สุทัศน์ (2544) การอพยพคนลงจากอาคารสูง โดยพิจารณาความสามารถของพฤติกรรมมนุษย์แต่ละคนเป็นบรรทัดฐานเพื่อทำการวิจัยถึงทางหนีไฟ การปิดล้อมพื้นที่ด้วยวัสดุทนไฟและไม่ติดไฟ ตลอดจนลูกขั้นบันไดว่ามีผลกระทบต่อทางหนีไฟเพียงใด ในแนวคิดการออกแบบเพื่อป้องกันอัคคีภัย สถาปนิกต้องให้ความสำคัญในการออกแบบเพื่อการป้องกันอัคคีภัยเป็น 2 เท่า ดังนั้นในการออกแบบสิ่งสำคัญที่สถาปนิกผู้ออกแบบควรรู้คือ

1) การป้องกันชีวิตต่ออัคคีภัยนั้น สามารถป้องกันได้โดยการหลบหนีจากควัน เพราะควันเป็นผู้ที่ทำให้คนเสียชีวิตได้มากกว่าความร้อนของไฟ

2) การออกแบบโครงสร้าง ต้องคำนึงถึงการเลือกใช้วัสดุทนไฟและไม่ติดไฟมาใช้ อีกทั้งการออกแบบการจำกัดวงพื้นที่ของการแพร่กระจายความร้อน

เกษา (2545) จากการศึกษาวิศวกรรมงานระบบป้องกันอัคคีภัย ได้ทำการวิเคราะห์ว่าปัญหาในการจัดระบบการป้องกันอัคคีภัยสำหรับอาคารสาธารณะ ต้องเริ่มจากส่วนที่เรียกว่า มาตรการเชิงรับ (Passive Fire Prevention) ประกอบด้วย การแบ่งพื้นที่ป้องกัน การจัดทำทางหนีไฟ และบันไดหนีไฟ การปิดล้อมช่องแนวตั้งและช่องทางที่ไฟจะสามารถลุกลามได้ หลังจากนั้นต้องเสริมด้วยส่วนที่เรียกว่ามาตรการเชิงรุก (Active Fire Prevention) ประกอบด้วยระบบเตือนภัย และระบบดับเพลิง

ณัฐกรณ์ (2546) ในการออกแบบอาคารสูงและอาคารขนาดใหญ่ซึ่งเป็นอาคารที่มีผู้ใช้งานเป็นจำนวนมากจำเป็นต้องคำนึงถึง การสัญจรของผู้ใช้งานทั้งในแนวนอนและแนวตั้ง รวมทั้งการระบายผู้ใช้ออกจากอาคารเมื่อเกิดอัคคีภัยขึ้นด้วย โดยในกฎกระทรวง ฉบับที่ 33 ปี พ.ศ. 2533 ก็มีข้อกำหนดมาตรฐานในการออกแบบต่างๆ เพื่อความปลอดภัยจากอัคคีภัยสำหรับอาคารสูงและอาคารขนาดใหญ่ไว้ด้วย ในเรื่องของประสิทธิภาพการระบายผู้ใช้ออกจากอาคารนั้น ผู้ออกแบบไม่สามารถมองเห็นภาพ และปัญหาที่เกิดขึ้นจากการระบายผู้ใช้ออกจากอาคารนั้นได้ชัดเจน หากเกิดปัญหาขึ้นหลังจากที่มีการก่อสร้างไปแล้วจะทำให้การแก้ปัญหาทำได้โดยยาก ซึ่งถ้ามีเครื่องมือที่ให้ข้อมูลเพื่อช่วยในการออกแบบการสัญจรและระบายผู้ใช้ หรือช่วยวัดประสิทธิภาพของอาคารที่ออกแบบได้จะช่วยทำให้การออกแบบอาคารมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

สุรินทร์ (2549) ศึกษาการเกิดอัคคีภัยในอาคารสูง โดยต้นเพลิงมาจากกองเอกสารไฟ และควันจะพัฒนาตัวอย่างรวดเร็ว โดยเมื่อความร้อนของเพดานจะมีอุณหภูมิสูงถึง 620 องศาเซลเซียส และควันจะใช้เวลาประมาณ 3 นาทีที่จะกระจายตัวหนาแน่นเต็มห้อง อุณหภูมิในแต่ละชั้นความสูงของห้องจะมีค่าต่างกัน โดยที่เวลา 100 วินาที ที่ความสูงจากพื้นห้อง 3.2, 2.1 และ 1.0 เมตร อุณหภูมิห้องโดยรอบจะมีค่าประมาณ 140, 77 และ 30 องศาเซลเซียสตามลำดับ ในส่วนของ การออกแบบจำนวนการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับความร้อน และระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิง จะต้องติดตั้งทั้งหมด 50 และ 64 หัวตามลำดับ จึงจะเหมาะสมกับประเภทของพื้นที่และเป็นไปตามมาตรฐานของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย(2545) สำหรับการออกแบบระบบควบคุมควันนั้นจะต้องใช้ปริมาณอากาศอัดเข้าสู่บันไดหนีไฟเท่ากับ 7.74 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที เมื่อนำมาจำลองสถานะ โดยใช้การสร้างภาพเสมือน พบว่าปริมาณอากาศที่ใช้สามารถผลักดันไม่ให้ควันเข้าสู่บันไดหนีไฟได้

Simo Hostikka, Timo Korhonen and others (2008) การทดลองเพื่อยืนยันความถูกต้องของโปรแกรม FDS+Evac โดยทำการจำลองการอพยพด้วยโปรแกรม FDS+Evac เปรียบเทียบกับการติดตั้งกล้องวิดีโอและอุปกรณ์ Radio Frequency Identification ที่ผู้อพยพ พบว่า การจำลองและการอพยพจริงมีความสอดคล้องกัน

16. กฎหมาย

ประกาศกระทรวงมหาดไทยเรื่องความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับสารเคมี เกี่ยวกับการขนส่ง จัดเก็บ การนำสารเคมีอันตรายไปใช้ การขี้งสารเคมี การเตือนอันตราย การอบรมผู้ปฏิบัติงานเกี่ยวกับสารเคมี

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. ระบบคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์เสริม

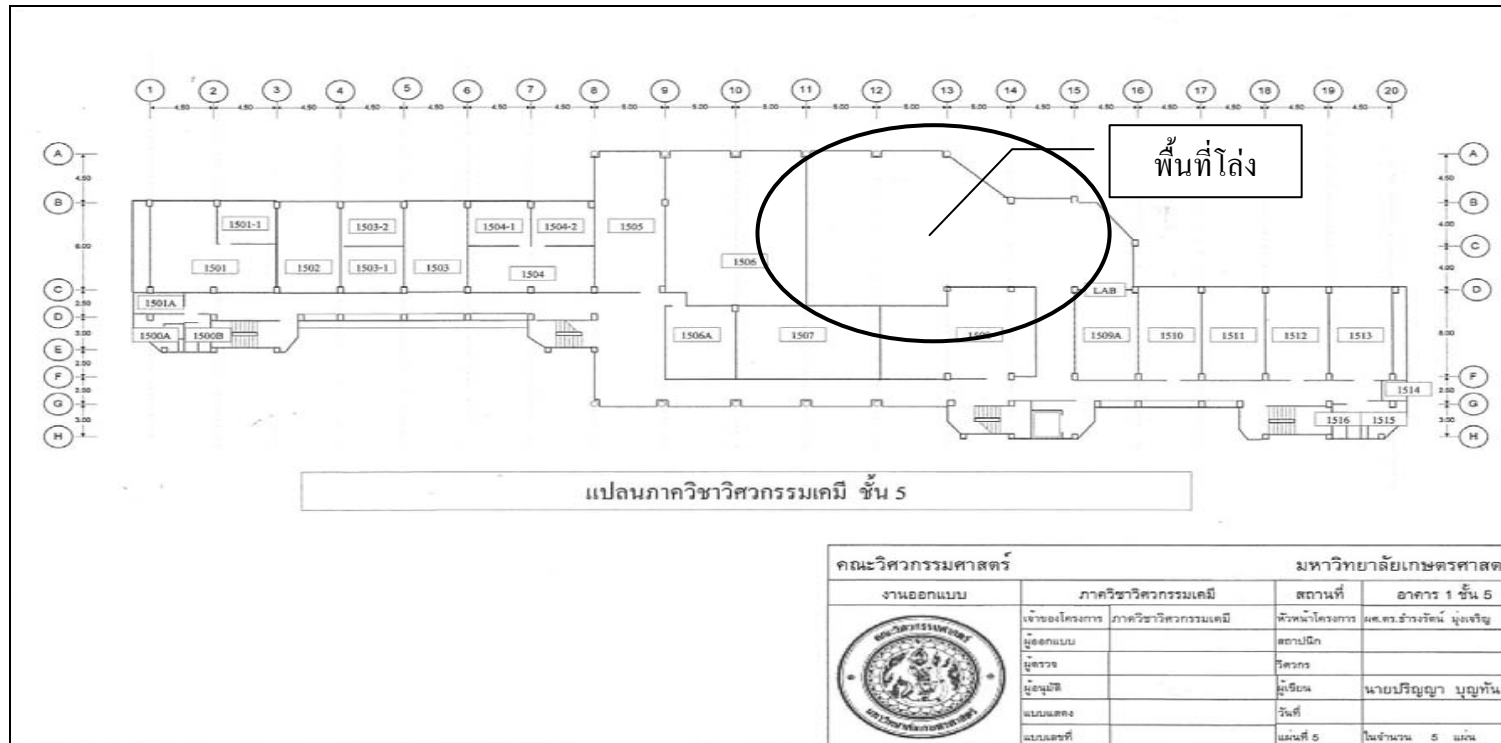
- 1.1 คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล BENQ รุ่น Joybook S41 หน่วยความจำ RAM ขนาด 3 GB
- 1.2 เครื่องพิมพ์เอกสาร

2. โปรแกรมคอมพิวเตอร์

- 2.1 โปรแกรม Microsoft Windows XP Professional
- 2.2 โปรแกรม Fire Dynamic Simulation version 5.2.0 and Smoke view version 5.2.2
- 2.3 โปรแกรม Pyrosim version 2008.2

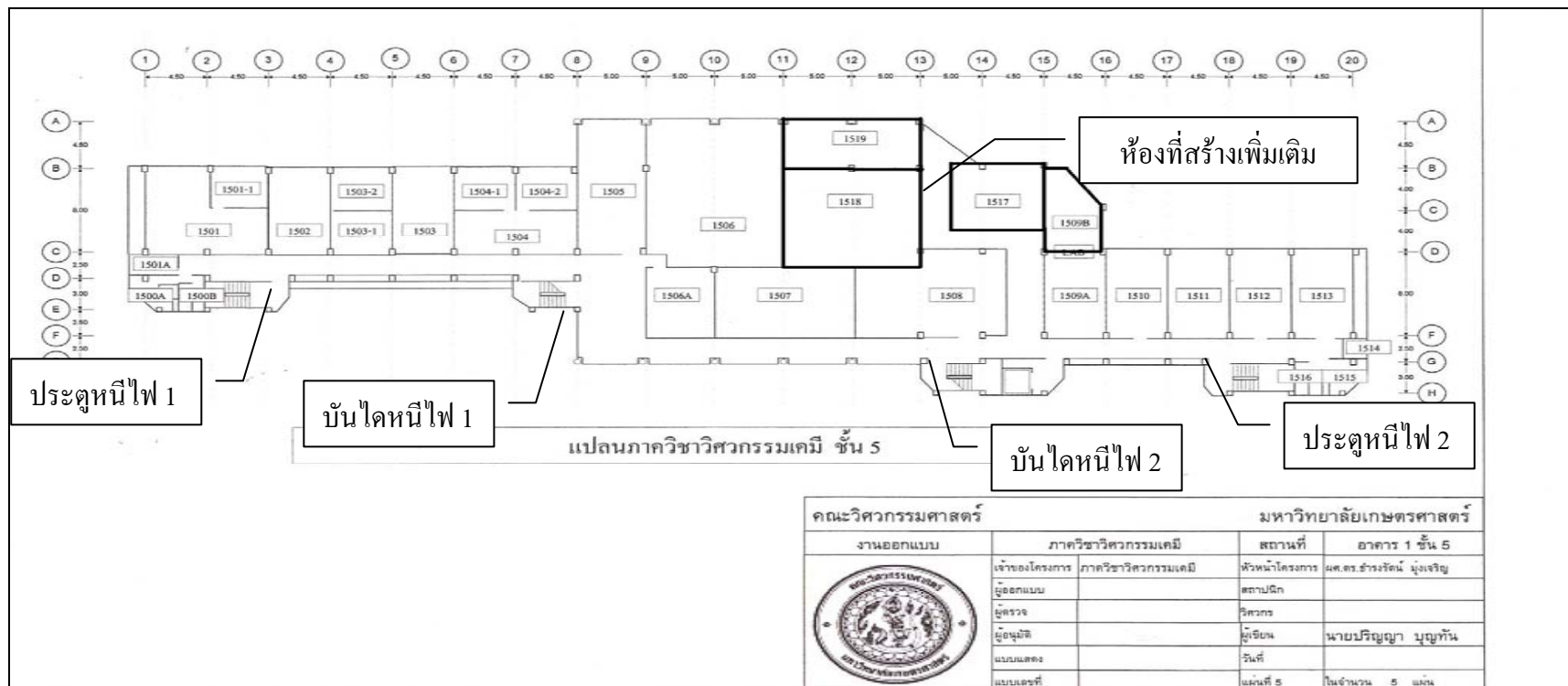
วิธีการ

1. ศึกษาข้อมูลอาคารเรียนชั้นที่ 5 อาคารวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ก่อสร้างเมื่อปีพ.ศ. 2536 มีทั้งหมด 5 ชั้น อาคารเรียนชั้นที่ 5 มีการก่อสร้างเพิ่มเติมชั้นดังกล่าวมีจำนวนห้องทั้งหมด 19 ห้องดังภาพที่ 23 ต่อมา มีการก่อสร้างห้องเพิ่มเติมอีกจำนวน 4 ห้อง รวมจำนวนห้องในชั้นดังกล่าว 23 ห้อง ซึ่งประกอบด้วยห้องเรียน 4 ห้อง ห้องปฏิบัติการ 19 ห้อง พื้นที่อาคารเรียนชั้นที่ 5 มีพื้นที่ 993 ตารางเมตร ดังภาพที่ 24



ภาพที่ 23 แผนผังอาคารเรียนชั้นที่ 5 ก่อนก่อสร้างเพิ่มเติม

ที่มา: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 24 แผนผังอาคารเรียนชั้นที่ 5 หลังก่อสร้างเพิ่มเติม

ที่มา: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

องค์ประกอบของเส้นทางหนีไฟมีบันไดทั่วไปซึ่งกำหนดให้เป็นบันไดหนีไฟ 2 บันได และประตูหนีไฟ 2 ประตู ดังภาพที่ 24 รายละเอียดขององค์ประกอบของทางหนีไฟมีดังนี้

ตารางที่ 9 องค์ประกอบทางหนีไฟอาคารเรียนชั้นที่ 5

องค์ประกอบทางหนีไฟ	ความกว้าง(เมตร)
ประตูหนีไฟ 1	1
ประตูหนีไฟ 2	0.9
บันไดทั่วไป 1	2.4
บันไดทั่วไป 2	1.8
ทางเดินร่วม(ระเบียง)	2.5
ทางเดินร่วม(ทางปลายตัน)	2

ขนาดพื้นที่ห้องเรียนและห้องปฏิบัติการของอาคารเรียนชั้นที่ 5 มีพื้นที่ทั้งหมด 993 ตารางเมตร มีรายละเอียดพื้นที่ของแต่ละห้องดังนี้

ตารางที่ 10 พื้นที่ของอาคารเรียนชั้นที่ 5 แต่ละห้อง

ห้อง	พื้นที่(ตารางเมตร)
1501	36
1501-1	36
1503-1	36
1503-1	16
1503-2	16
1504	36
1504-1	18
1504-2	18
1505	65
1506	140
1506A	34
1507	65

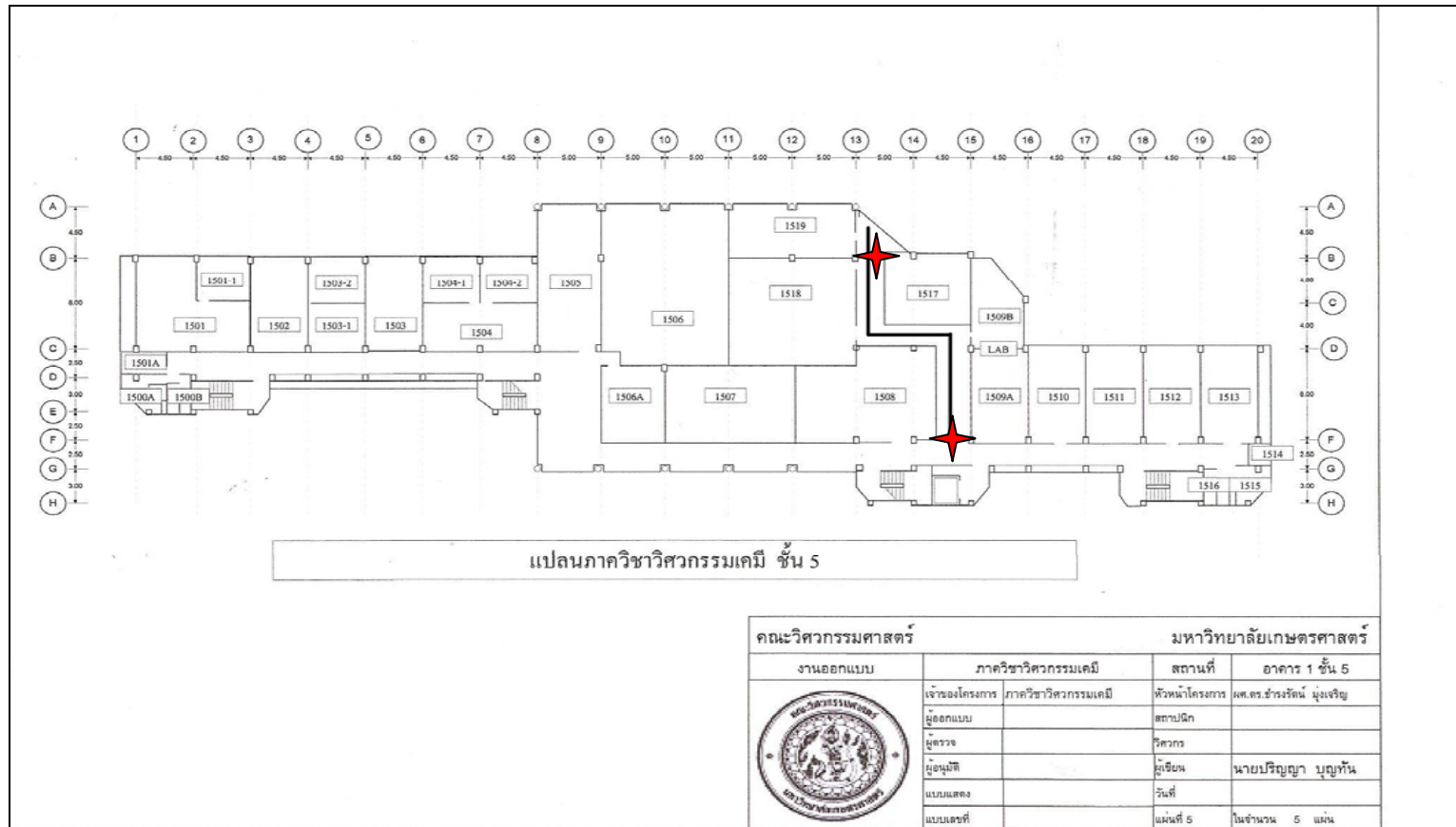
ตารางที่ 10 (ต่อ)

ห้อง	พื้นที่(ตารางเมตร)
1508	94
1509	36
1510	36
1511	36
1512	36
1513	36
1516	18
1517	45
1518	95
1519	45

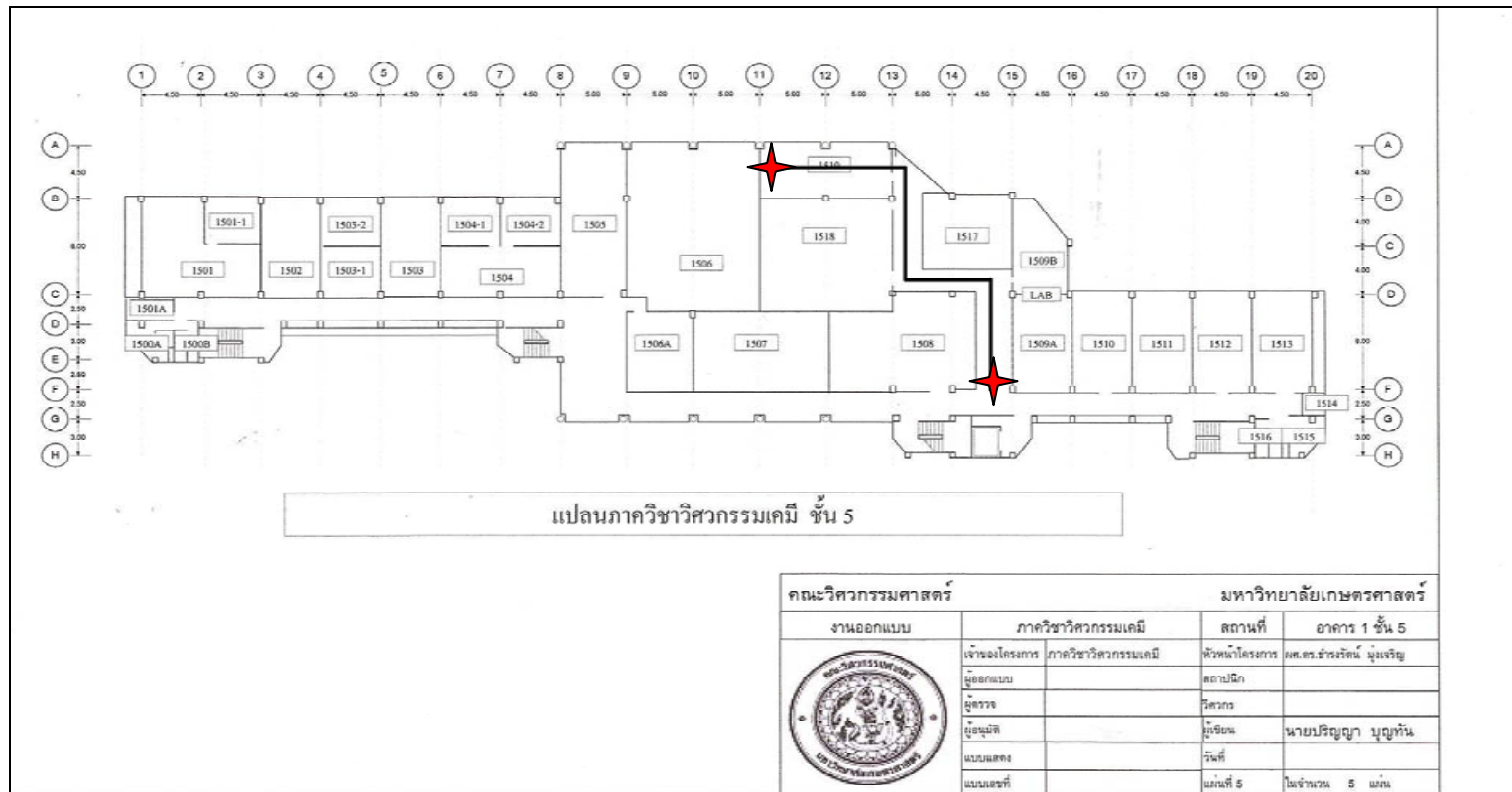
2. ศึกษาทฤษฎีและมาตรฐาน

2.1 ศึกษาทฤษฎีการเกิดเพลิงไหม้ การเกิดควัน การอพยพ

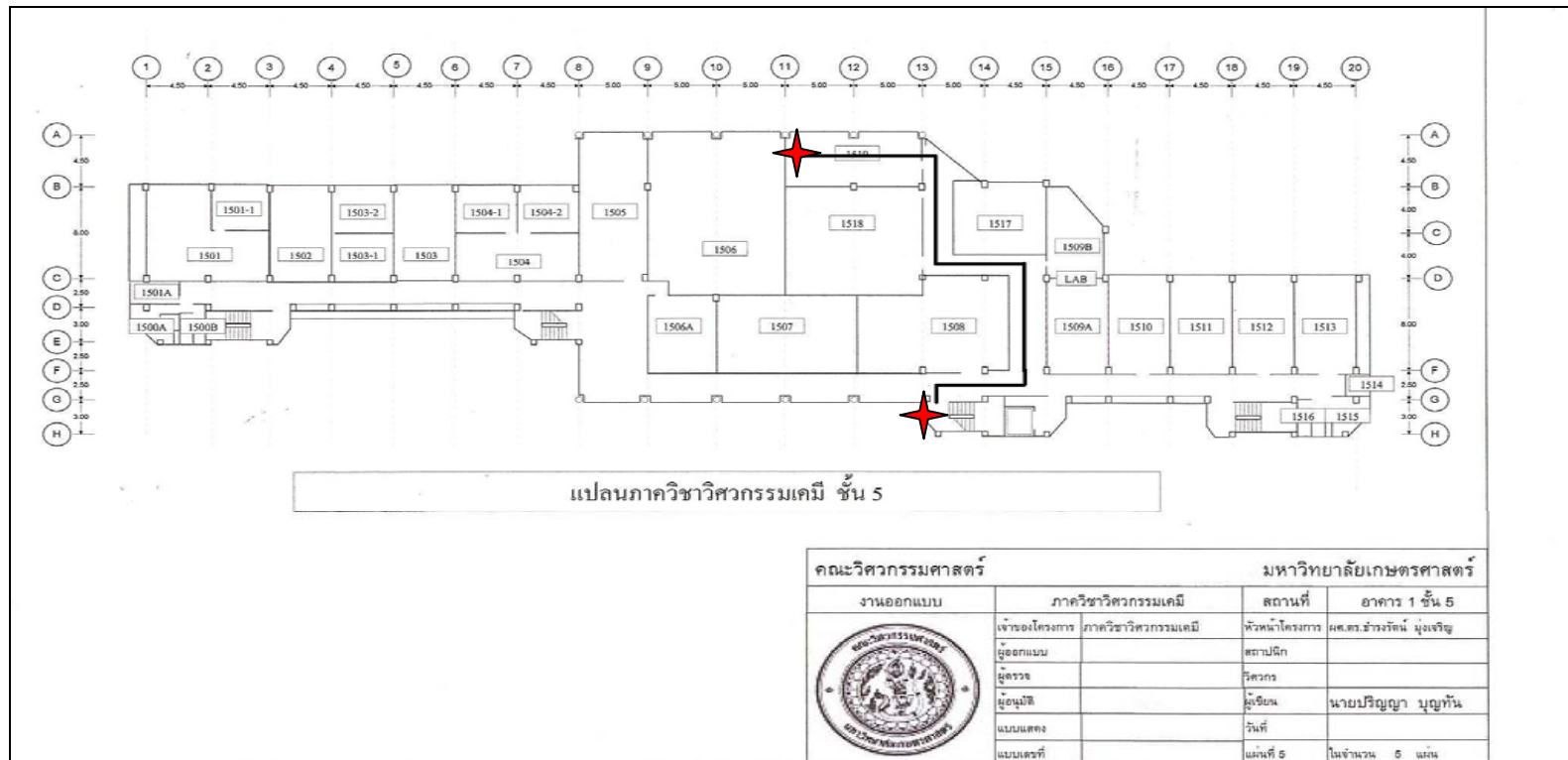
2.2 มาตรฐานการป้องกันอัคคีภัย วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ศึกษาความสอดคล้องของแผนผังอาคารเรียนชั้นที่ 5 กับมาตรฐานการป้องกันอัคคีภัย ด้วยการวัดระยะทางปลายตัน ระยะทางบังคับ และระยะสัญจรดังภาพที่ 25 26 และ 27



ภาพที่ 25 ระยะทางปลายตัน



ภาพที่ 26 ทางบังคับ



ภาพที่ 27 ระยะสัญญา

ตารางที่ 11 ผลการวัดระยะทางเปรียบเทียบระยะทางปลายตัน ระยะทางบังคับ และระยะสัญจรกับมาตรฐาน

ระยะทาง	ระยะทางที่วัดได้ (เมตร)	ระยะมาตรฐาน(เมตร)	
		วสท.	NFPA
ระยะทางปลายตัน	26	6	6.1
ระยะทางบังคับ	36	23	23
ระยะสัญจร	32	30	45

จากการวัดระยะทางพบว่า ระยะทางปลายตันมีระยะ 26 เมตร ไม่สอดคล้องกับเกณฑ์มาตรฐาน วสท. และ NFPA ที่กำหนดให้มีระยะทางปลายตันสูงสุดไม่เกิน 6 และ 6.1 เมตร ตามลำดับ ระยะทางบังคับมีระยะ 36 เมตร ไม่สอดคล้องกับเกณฑ์มาตรฐาน วสท. และ NFPA ที่กำหนดให้มีระยะทางบังคับไม่เกิน 23 และ 23 เมตร ตามลำดับ และระยะสัญจรมีระยะ 32 เมตร ไม่สอดคล้องกับเกณฑ์มาตรฐานวสท. และ NFPA ที่กำหนดให้มีระยะสัญจรสูงสุดไม่เกิน 30 และ 45 เมตร ตามลำดับ

2.3 มาตรฐาน NFPA 101 ข้อเสนอแนะเวลาในการอพยพกำหนดไว้ที่ 3 นาที

3. กำหนดตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา และออกแบบเส้นทางหนีไฟ

3.1 ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาการอพยพในอาคารเรียนชั้นที่ 5 มี 3 ตัวแปร ได้แก่ ห้องต้นเพลิง จำนวนผู้ใช้ชั้นเรียน และความกว้างของประตูห้อง สามารถแบ่งได้ดังนี้

3.1.1 ห้องต้นเพลิง เพื่อศึกษาดำเนินการของห้องต้นเพลิงที่มีผลต่อการอพยพ กำหนดต้นเพลิงเกิดจากปฏิกิริยาของไอระเหยเอทานอล และมีขนาดของต้นเพลิงเท่ากัน ห้องต้นเพลิงเกิดจากห้องปฏิบัติการซึ่งมีโอกาสดังกล่าวเกิดเพลิงไหม้จากสารเคมี กำหนดให้ห้องต้นเพลิงมีตำแหน่งอยู่บริเวณทางปลายตันและห่างจากทางปลายตัน ห้องต้นเพลิงเกิดจากห้อง 1509, 1516 และ 1517 ดังภาพที่ 28 จำนวนผู้ใช้ชั้นเรียนเต็มพื้นที่ 426 คน เป็นชายและหญิง

3.1.2 จำนวนผู้ใช้งานชั้นเรียน เพื่อศึกษาจำนวนผู้ใช้งานชั้นเรียนที่มีผลต่อการอพยพ กำหนดต้นเพลิงเกิดจากปฏิกิริยาของไอระเหยเอทานอล มีขนาดของต้นเพลิงเท่ากัน ห้องต้นเพลิงเกิดจากห้องปฏิบัติการ 1516 ซึ่งอยู่บริเวณทางปลายตัน จำนวนผู้ใช้งานชั้นเรียน 200, 300 และ 400 คน

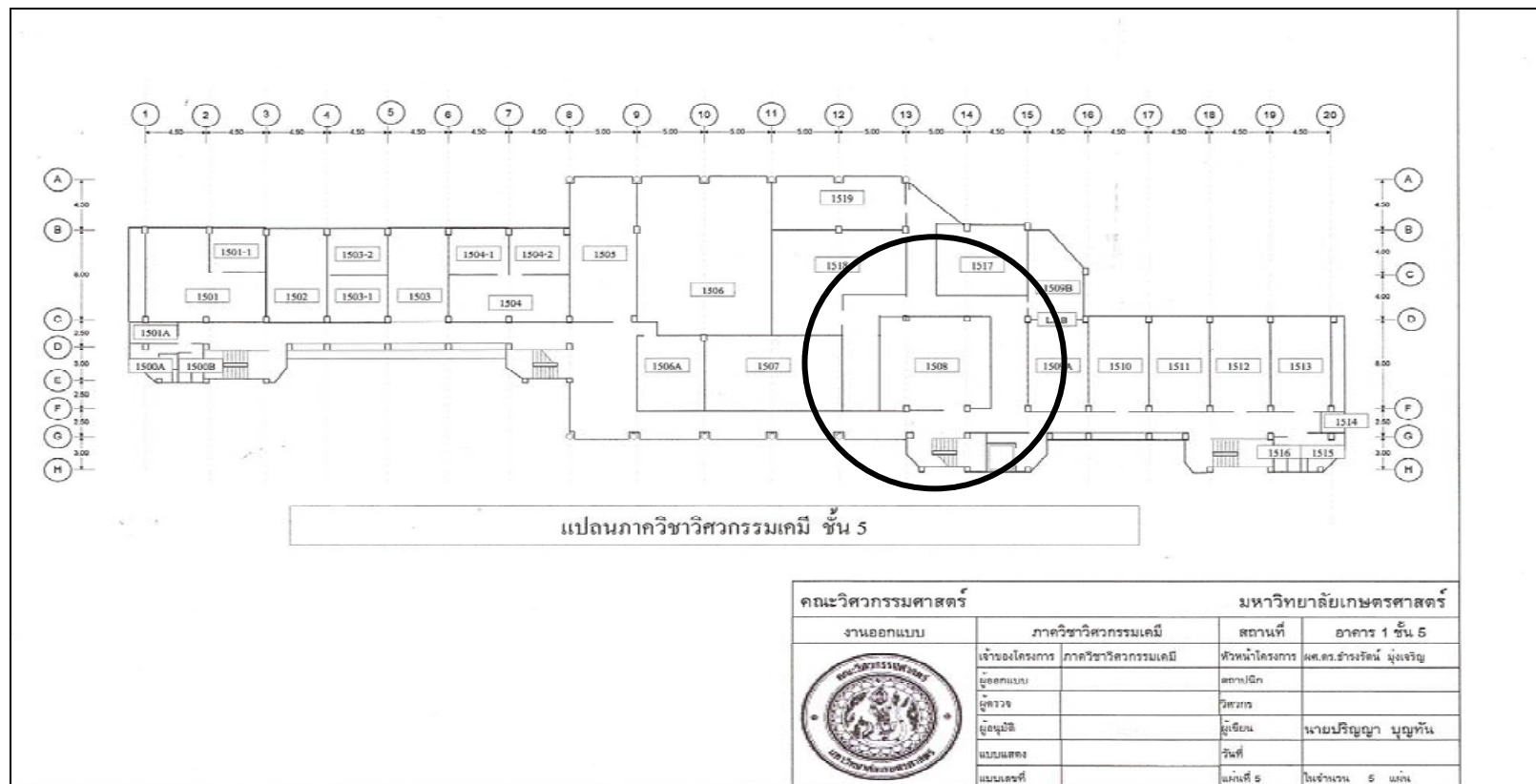
3.1.3 ความกว้างของประตูห้อง เพื่อศึกษาความกว้างของประตูห้องที่มีผลต่อการอพยพ กำหนดต้นเพลิงเกิดจากปฏิกิริยาไอระเหยเอทานอล มีขนาดของต้นเพลิงเท่ากัน ห้องต้นเพลิงเกิดจากห้อง 1516 ที่อยู่บริเวณทางปลายตัน ห้องที่ใช้ในการศึกษาความกว้างของประตู ได้แก่ ห้อง 1518 ซึ่งมีจำนวนผู้ใช้งานห้องมาก และอยู่บริเวณทางปลายตัน ความกว้างประตูห้อง 1518 ในสภาพปัจจุบันมีขนาด 0.9 เมตร ในการศึกษาจึงกำหนดความกว้างของประตูห้องมีขนาด 0.9, 1.2 และ 1.5 เมตร จำนวนผู้ใช้งานชั้นเรียนเต็มพื้นที่ 426 คน เป็นชายและหญิง

3.2 การออกแบบเส้นทางหนีไฟ

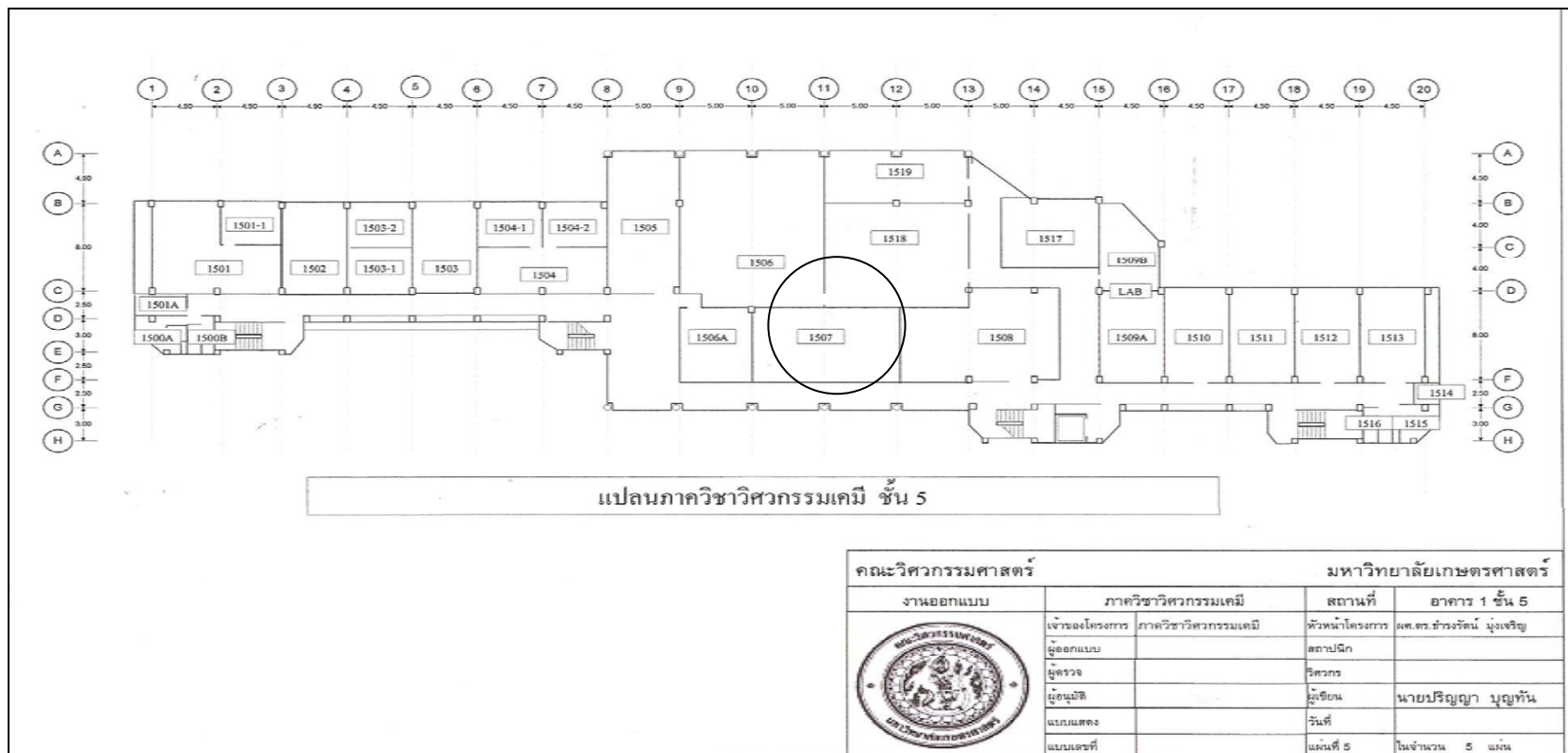
จากการศึกษาการออกแบบเส้นทางหนีไฟของชั้นเรียนที่ 5 หลังการก่อสร้างแล้วเสร็จเปรียบเทียบกับมาตรฐานของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยพบว่า ระยะทางปลายตัน ระยะทางบังคับ และระยะทางสัญจรของอาคารไม่สอดคล้องตามเกณฑ์มาตรฐานของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ผู้วิจัยจึงทำการออกแบบเส้นทางหนีไฟของชั้นเรียนที่ 5 ใหม่โดยใช้ประโยชน์ของพื้นที่ใกล้เคียงกับสภาพปัจจุบันและมีผลกระทบต่อโครงสร้างเดิมน้อยที่สุด การออกแบบเส้นทางหนีไฟใหม่แบ่งออกได้เป็น 2 กรณีดังนี้

3.2.1 เปิดช่องทางเดินใหม่ เพื่อให้เกิดความปลอดภัยมากยิ่งขึ้นโดยใช้มาตรฐานของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในการออกแบบ กำหนดให้มีระยะทางปลายตัน 6 เมตร ส่วนระยะทางบังคับและระยะสัญจรไม่สามารถออกแบบให้สอดคล้องตามมาตรฐานของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยได้ เนื่องจากต้องการใช้พื้นที่ใกล้เคียงกับสภาพปัจจุบัน จากการออกแบบเส้นทางหนีไฟใหม่มีผลทำให้มีระยะทางบังคับ 32 เมตร และระยะสัญจร 35 เมตร กำหนดให้ประตูห้องมีความกว้างเท่าเดิม 0.9 เมตร แผนผังการออกแบบเส้นทางหนีไฟกรณีเปิดช่องทางเดินใหม่ ดังภาพที่ 28

3.2.2 ทำประตูออกเพิ่มเติม กรณีที่ห้องดันเพลิงเกิดจากห้อง 1516 ที่อยู่บริเวณทางปลายตัน และผู้ใช้ชั้นเรียนประเมินสถานการณ์แล้วไม่สามารถใช้บริเวณทางปลายตันเป็นเส้นทางหนีไฟได้ จึงออกแบบให้ทำประตูออกจากห้อง 1518 เพิ่มเติม เนื่องจากห้อง 1518 มีจำนวนผู้ใช้ห้องเป็นจำนวนมากและหลีกเลี่ยงการใช้เส้นทางที่ไม่ปลอดภัยจึงทำประตูออกเพิ่มเติมโดยให้ผู้ใช้ห้องเรียนอพยพออกจากห้อง 1506 ไปที่บันไดหนีไฟ 1 กำหนดให้ประตูห้องมีความกว้าง 0.9 เมตร แผนผังการออกแบบเส้นทางหนีไฟกรณีทำประตูออกเพิ่มเติมดังภาพที่ 29



ภาพที่ 28 แผนผังการออกแบบเส้นทางหนีไฟกรณีเปิดช่องทางเดินใหม่



ภาพที่ 29 แผนผังการออกแบบเส้นทางหนีไฟกรณีทำประตูออกเพิ่ม

3. การจัดทำแบบจำลองพลศาสตร์อัคคีภัยและการจำลองการอพยพ

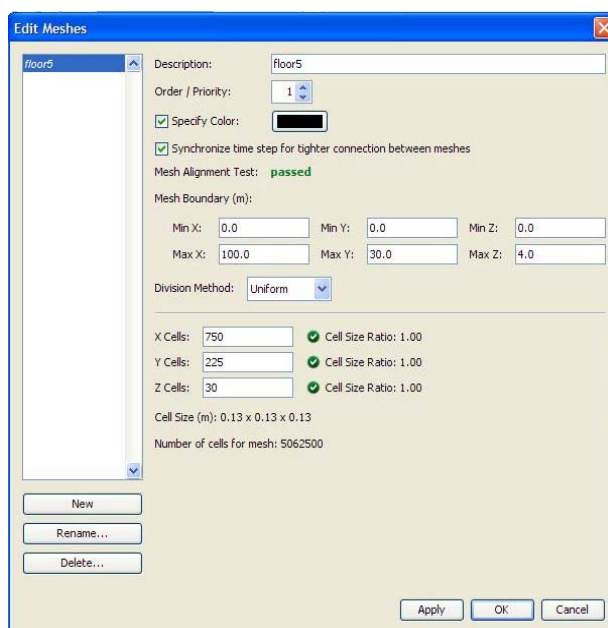
การจัดทำแบบจำลองพลศาสตร์อัคคีภัยและการจำลองการอพยพแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน
ดังนี้

3.1 การสร้างแบบจำลองโครงสร้างอาคารด้วยโปรแกรม Pyrosim version 2008.2
ข้อดีของโปรแกรมนี้คือ ช่วยให้สร้างแบบจำลองโครงสร้างมีความสะดวกและรวดเร็วมากยิ่งขึ้น
จำลองการเกิดเพลิงไหม้ สามารถแจ้งข้อผิดพลาดเมื่อทำการประมวลผลไม่ผ่าน และสามารถใส่
ร่วมกับโปรแกรม FDS ได้ ข้อเสียคือไม่สามารถจำลองการอพยพได้ และเป็นโปรแกรมลิขสิทธิ์ต้อง
ขออนุญาตก่อนนำมาใช้ในการศึกษาโดยมีระยะเวลาจำกัด

3.2 การสร้างแบบจำลองการอพยพด้วยโปรแกรม Fire Dynamic Simulation version
5.2.0 and Smoke view version 5.2.2 (FDS + Evac) ข้อดีของโปรแกรมนี้อาจจำลองการเกิดเพลิงไหม้
ร่วมกับการจำลองการอพยพได้ ไม่เป็นโปรแกรมลิขสิทธิ์สามารถนำมาใช้ในการศึกษาได้
โดยไม่จำกัดเวลา ข้อเสียคือต้องเขียนชุดคำสั่งเพื่อจำลองโครงสร้างทำให้ใช้เวลามากกว่าโปรแกรม
PyroSim และไม่มีการแจ้งข้อผิดพลาดเมื่อทำการประมวลผลไม่ผ่านทำให้ต้องใช้เวลาในการหา
สาเหตุของข้อผิดพลาดเพิ่มขึ้น

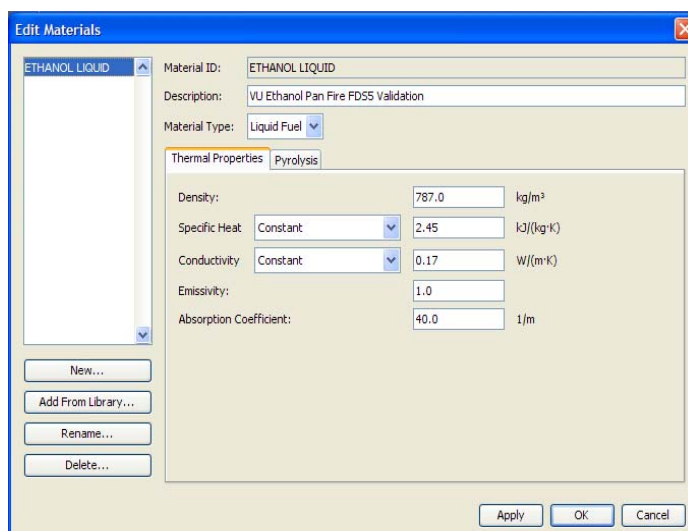
3.1 การสร้างแบบจำลองโครงสร้างอาคารด้วยโปรแกรม Pyrosim version 2008.2

3.1.1 การสร้าง Mesh เพื่อให้การสร้างแบบจำลองโครงสร้างเสมือนจริงมากที่สุด
ควรกำหนด mesh cell ให้มีขนาดเท่ากับของจริงทั้งแกน X, Y และ Z โดยเลือกเมนู Model คลิก
Edit Mesh คลิกปุ่ม New กำหนดค่า MAX X, Y และ Z กำหนด Mesh cell แกน X, Y และ Z
คลิกปุ่ม OK



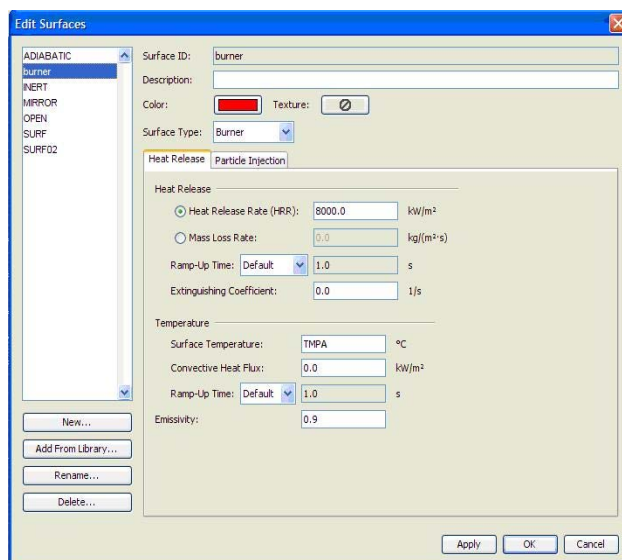
ภาพที่ 30 การสร้าง Mesh

3.1.2 การกำหนด Materials การกำหนดของเหลวที่เป็นเชื้อเพลิงโดยเลือก Edit Materials คลิก New ช่อง Material Name ให้พิมพ์ชื่อ Material Type ให้เลือก Liquid Fuel คลิก OK



ภาพที่ 31 การกำหนด Materials

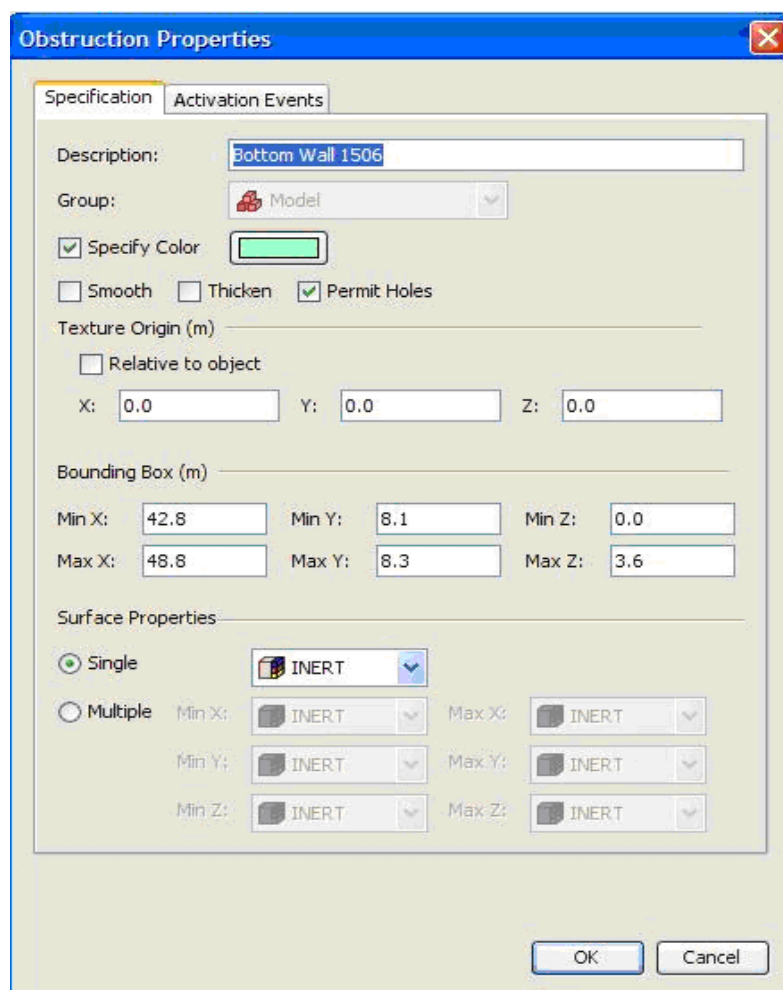
3.1.3 การกำหนด Surface โดยเลือกเมนู Model คลิก Edit Surface Properties เลือก Surface Type แบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ Adiabatic, Inert และ Burner พารามิเตอร์ของ Burner แบ่งเป็น 2 อย่าง ได้แก่ Heat Release Option และ Partical Option



ภาพที่ 32 การกำหนด Surface

3.1.4 การสร้าง Geometry การสร้างแบบจำลองโครงสร้างสามารถทำได้ โดยเลือก 2D VIEW เพื่อสร้าง Obstruction มีขั้นตอนดังนี้

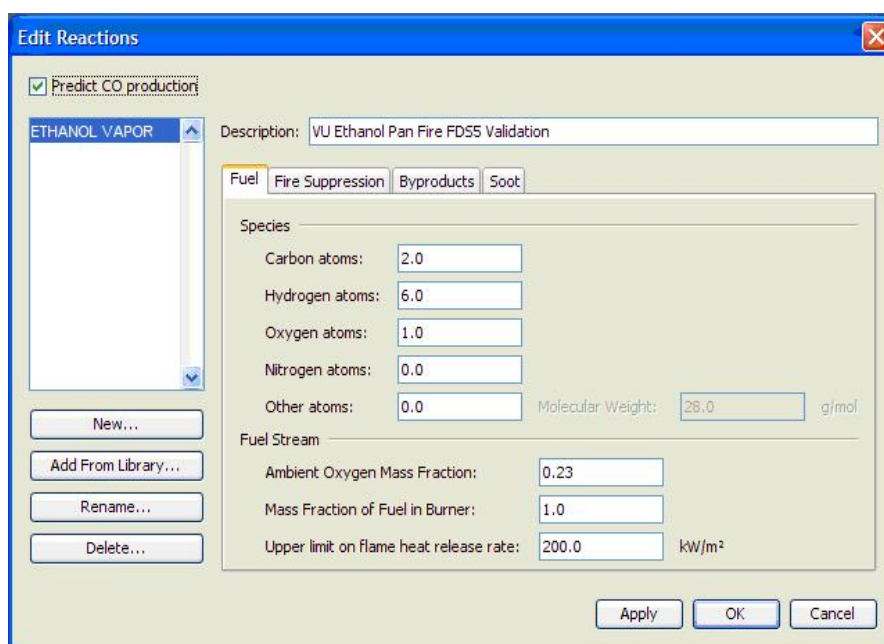
เลือกเมนู Model คลิก New Obstruction หน้าจอขึ้น Obstruction Properties ให้กำหนดค่า MIN Z และ MAX Z และ Surface Property ของ Obstruction การสร้างกำแพงสามารถเลือกคำสั่ง Wall และการสร้างหน้าต่าง ประตู หรือทางออกให้เลือกคำสั่ง Wall Hole หรือหากต้องการให้เกิดความรวดเร็วในการสร้างห้องสามารถเลือกใช้คำสั่ง Room โดยกำหนดขนาดต่างๆ ให้ตรงกับแผนผังอาคาร



ภาพที่ 33 การสร้าง Obstruction

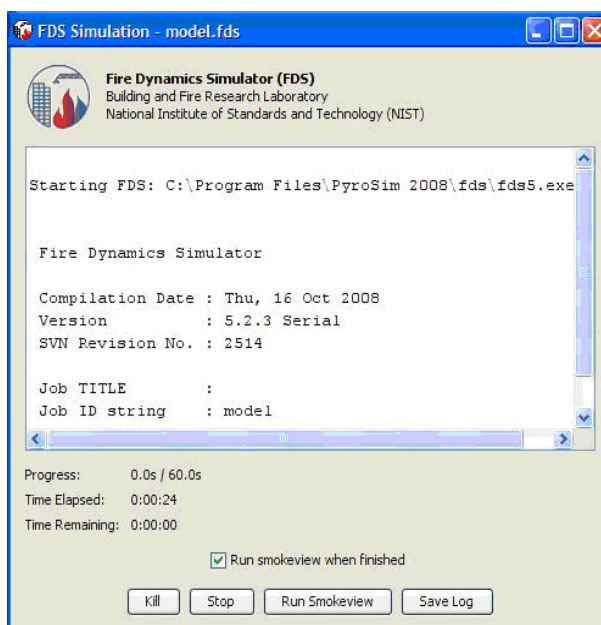
3.1.5 การกำหนดปฏิกิริยา มีขั้นตอนดังนี้

เลือกเมนู Model คลิก Edit Reaction บน Fuel tab กำหนดให้ปฏิกิริยาเกิดจาก Ethanol ให้ใส่เลขอะตอมของ Ethanol โดยมีคาร์บอน 2 อะตอม ไฮโดรเจน 6 อะตอมและออกซิเจน 1 อะตอม



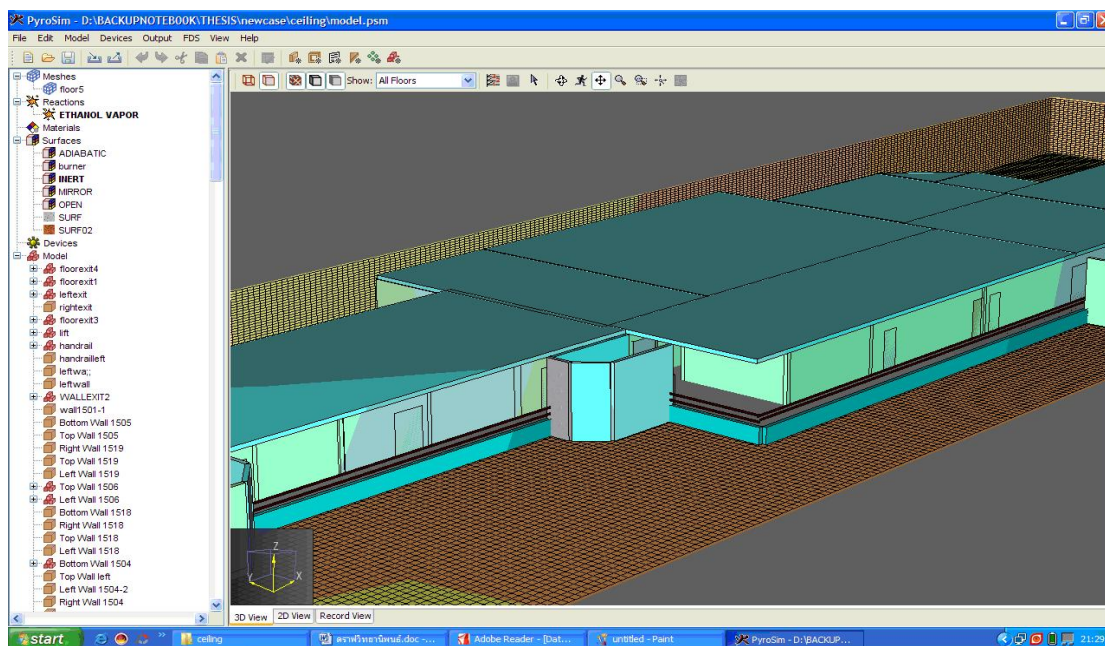
ภาพที่ 34 การกำหนดปฏิกิริยา

3.1.6 การประมวลผลของแบบจำลอง (Running Simulation) หลังสร้างแบบจำลองเสร็จจึงประมวลผลของแบบจำลองด้วย Pyrosim โดยเลือกเมนู FDS คลิก Run FDS

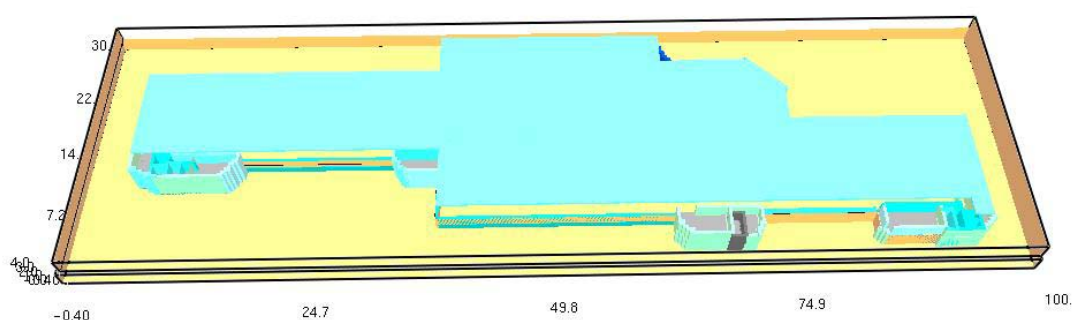


ภาพที่ 35 การประมวลผลด้วยโปรแกรม FDS ที่อยู่ใน Pyrosim

หลังประมวลผลด้วย FDS แล้วเสร็จจะได้ Output File เป็น File นามสกุล fds ซึ่งจะถูกนำไปใช้เป็น Input File ในโปรแกรม FDS+Evac เพื่อสร้างแบบจำลองการอพยพต่อไป ผลการสร้างแบบจำลองโครงสร้างอาคารเรียนชั้นที่ 5 ด้วยโปรแกรม Pyrosim



ภาพที่ 36 หลังการสร้างแบบจำลองอาคารเรียนชั้นที่ 5 เสร็จเรียบร้อย



ภาพที่ 37 หลังทำการประมวลผลด้วย FDS ในโปรแกรม Pyrosim

3.2 การสร้างแบบจำลองการอพยพด้วยโปรแกรม Fire Dynamic Simulation version 5.2.0 and Smoke view version 5.2.2 (FDS + Evac)

3.2.1 ชุดคำสั่ง Input Files ที่อยู่ในรูปของ Text Files ประกอบไปด้วย

3.2.1.1 โครงสร้างอาคารแบบเวกเตอร์ X, Y, Z เป็น Input Files ที่ได้จากโปรแกรม PyroSim

3.2.1.2 เวลาในการ Simulate โปรแกรม FDS+Evac ซึ่งการกำหนดเวลาใน Simulate นั้นขึ้นอยู่กับผู้ใช้งาน ทั้งนี้ผู้วิจัยกำหนดเวลาไว้ที่ 300 วินาที เป็น Input Files ที่ได้จากโปรแกรม PyroSim

3.2.1.3 ตำแหน่งและชนิดของผนังคอนกรีต เป็น Input Files ที่ได้จากโปรแกรม PyroSim

3.2.1.4 ตำแหน่งการเกิดเพลิงไหม้ สร้างจากโปรแกรม FDS+Evac

3.2.1.5 ตำแหน่งประตูออกของผู้อพยพ สร้างจากโปรแกรม FDS+Evac

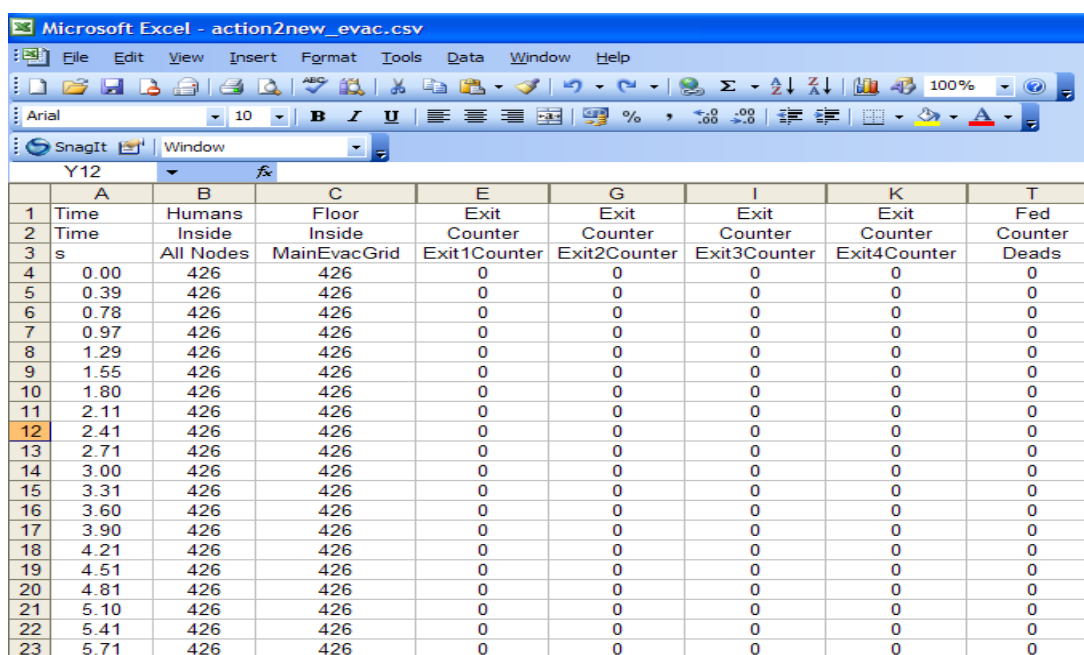
3.2.1.6 ตำแหน่งประตูและบันไดหนีไฟ สร้างจากโปรแกรม FDS+Evac

3.2.1.7 ลักษณะของผู้อพยพ สร้างจากโปรแกรม FDS+Evac โดยกำหนดให้ผู้อพยพเป็นผู้หญิงและผู้ชาย

3.2.1.8 ตำแหน่งและจำนวนของผู้อพยพในแต่ละห้อง สร้างจากโปรแกรม FDS+Evac กำหนดให้มีจำนวนผู้ใช้ชั้นเรียน 426 คน ซึ่งเป็นจำนวนผู้ใช้ชั้นเรียนเต็มพื้นที่โดยกำหนดให้ห้องเรียนทั้ง 6 ห้อง มีจำนวนผู้ใช้ชั้นเรียนเต็มพื้นที่ 314 คน ส่วนห้องปฏิบัติการจำนวน 17 ห้อง มีจำนวนผู้ใช้ชั้นเรียนเต็มพื้นที่ 112 คน

3.2.2 การประมวลผลข้อมูลโดยโปรแกรม FDS+Evac ผลที่ได้จากการประมวล
ชุดคำสั่งจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ

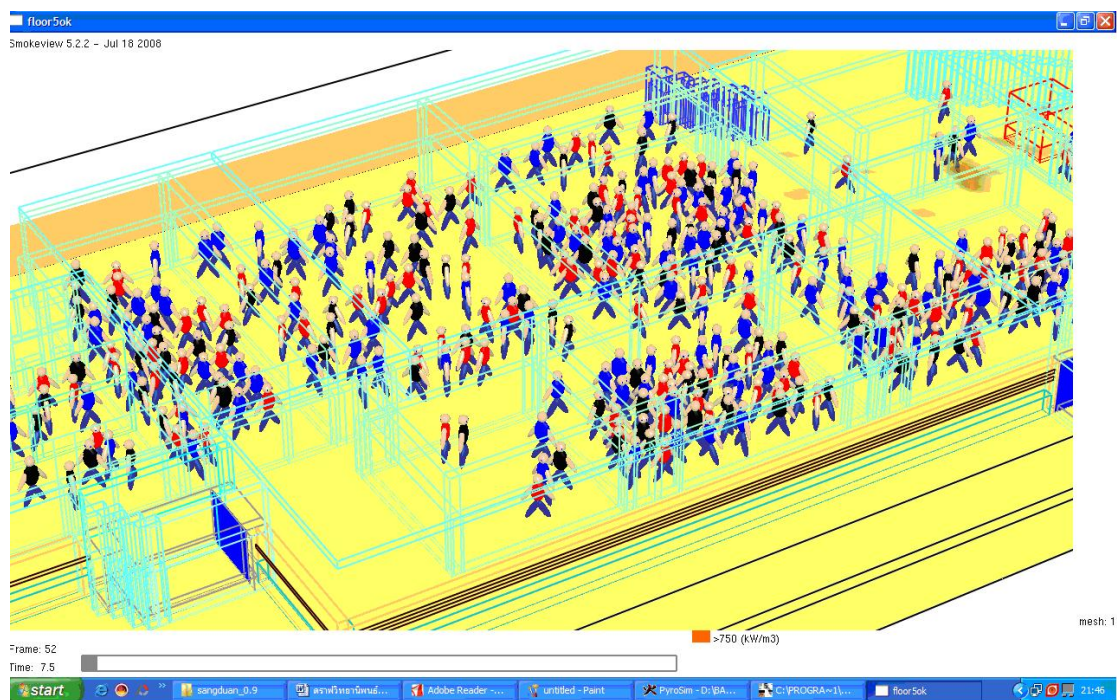
3.2.2.1 ผลที่แสดงในรูปแบบข้อมูล (Data Files) โดยผลที่แสดงออกมาในรูปแบบ
ของข้อมูลเป็นผลของการจำลองการเกิดเพลิงไหม้ และผลการจำลองการอพยพ จะแสดงผลในรูปแบบ
โปรแกรม Microsoft Excel ดังภาพที่ 38



	A	B	C	E	G	I	K	T
1	Time	Humans	Floor	Exit	Exit	Exit	Exit	Fed
2	Time	Inside	Inside	Counter	Counter	Counter	Counter	Counter
3	s	All Nodes	MainEvacGrid	Exit1Counter	Exit2Counter	Exit3Counter	Exit4Counter	Deads
4	0.00	426	426	0	0	0	0	0
5	0.39	426	426	0	0	0	0	0
6	0.78	426	426	0	0	0	0	0
7	0.97	426	426	0	0	0	0	0
8	1.29	426	426	0	0	0	0	0
9	1.55	426	426	0	0	0	0	0
10	1.80	426	426	0	0	0	0	0
11	2.11	426	426	0	0	0	0	0
12	2.41	426	426	0	0	0	0	0
13	2.71	426	426	0	0	0	0	0
14	3.00	426	426	0	0	0	0	0
15	3.31	426	426	0	0	0	0	0
16	3.60	426	426	0	0	0	0	0
17	3.90	426	426	0	0	0	0	0
18	4.21	426	426	0	0	0	0	0
19	4.51	426	426	0	0	0	0	0
20	4.81	426	426	0	0	0	0	0
21	5.10	426	426	0	0	0	0	0
22	5.41	426	426	0	0	0	0	0
23	5.71	426	426	0	0	0	0	0

ภาพที่ 38 แสดงผลในรูปแบบ Microsoft Excel

3.2.2.2 ผลที่แสดงในรูปแบบของกราฟิกของโปรแกรม FDS+Evac สามารถ
แสดงออกมาในรูปแบบของกราฟิก โดยใช้โปรแกรม Smoke View โดยการแสดงผลกราฟิกด้วยโปรแกรม
Smoke View มีขั้นตอนดังนี้



ภาพที่ 39 ผลการจำลองการอพยพในแบบกราฟฟิกแบบ 3 มิติ

ผลและวิจารณ์

ผล

หลังจัดทำแบบจำลองโครงสร้างโดยโปรแกรม Pyrosim 2008.2 และจำลองการอพยพ และทำการประมวลผล Input Files โดยโปรแกรม FDS + Evac ผลจากการศึกษาแบ่งออกได้เป็น 2 ข้อ ดังนี้

1. ผลการศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการอพยพจำนวน 3 ตัวแปร ได้แก่ ห้องต้นเพลิง จำนวน ผู้ใช้ชั้นเรียน และความกว้างของประตูห้อง

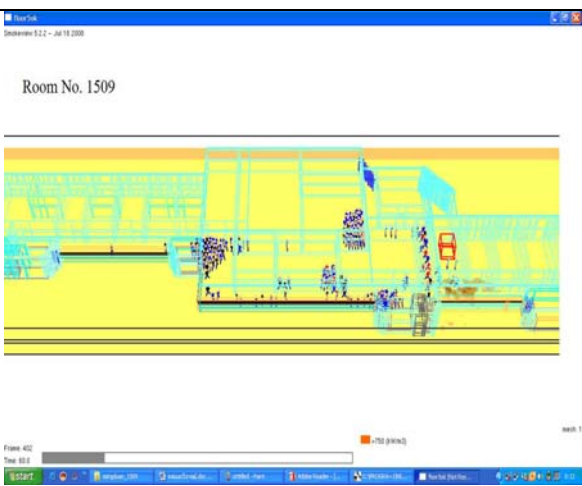
2. ผลการศึกษาการออกแบบเส้นทางหนีไฟ

1. ผลการศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการอพยพจำนวน 3 ตัวแปร ได้แก่ ห้องต้นเพลิง จำนวน ผู้ใช้ชั้นเรียน และความกว้างของประตูห้อง

1.1 การจำลองการอพยพเมื่อกำหนดให้ห้องต้นเพลิงมีตำแหน่งต่างกัน 3 ตำแหน่ง ได้แก่ ห้อง 1509, 1516 และ 1517 โดยขนาดของต้นเพลิงในแต่ละห้องมีขนาดเท่ากัน กำหนดให้จำนวน ผู้ใช้ชั้นเรียน 426 คน ซึ่งเป็นจำนวนผู้ใช้ชั้นเรียนเต็มพื้นที่โดยกำหนดให้ห้องเรียนทั้ง 6 ห้อง มีจำนวน ผู้ใช้ชั้นเรียนเต็มที่ 314 คน ส่วนห้องปฏิบัติการจำนวน 17 ห้อง มีจำนวนผู้ใช้ชั้นเรียนเต็มที่ 112 คน

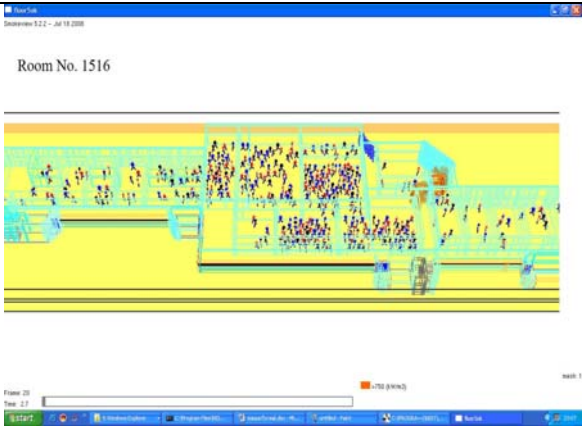
1.1.1 ศึกษาการอพยพเมื่อกำหนดให้ห้องต้นเพลิงเกิดจากห้องปฏิบัติการ 1509 ซึ่งมีจำนวนผู้ใช้ชั้นเรียน 426 คน เวลาที่ใช้ในการจำลองการศึกษการอพยพ 300 วินาที

ตารางที่ 12 ผลการจำลองการอพยพจากห้องต้นเพลิง 1509

ผลการจำลอง	เวลา	รายละเอียด
	2.7 วินาที	ผลการจำลองที่เวลา 2.7 วินาที เกิดเพลิงไหม้ที่ห้องต้นเพลิง ผู้ใช้ชั้นเรียนยังไม่มีเคลื่อนที่ และยังคงอยู่ตามห้อง
	60 วินาที	ผลการจำลองที่เวลา 60 วินาที หลังเกิดเพลิงไหม้เกิดขึ้น ผู้ใช้ชั้นเรียนเคลื่อนที่ออกจากห้องไปที่ประตูหนีไฟหรือทางออกหนีไฟที่ใกล้ที่สุด โดยห้องเรียน 1518 ยังคงมีผู้ใช้ชั้นเรียนอยู่ในห้องจำนวนมาก พบผู้เสียชีวิตในห้องต้นเพลิง
	299.5 วินาที	ผู้ใช้ชั้นเรียนแต่ละห้องสามารถอพยพออกจากชั้นเรียนได้หมด ยกเว้นห้อง 1518 ที่ยังคงมีผู้ใช้ชั้นเรียนติดค้างอยู่ในห้องยังไม่สามารถออกจากห้องได้ที่เวลา 299.5 วินาที

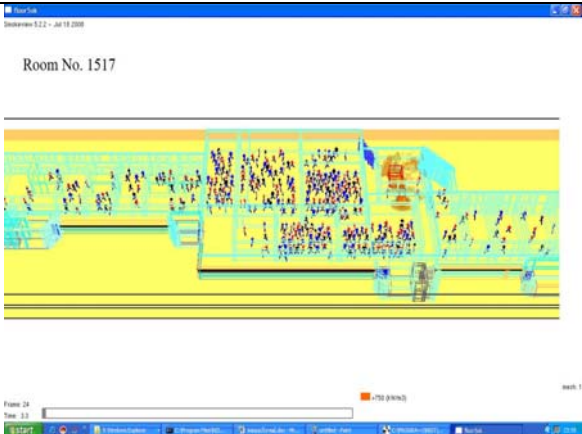
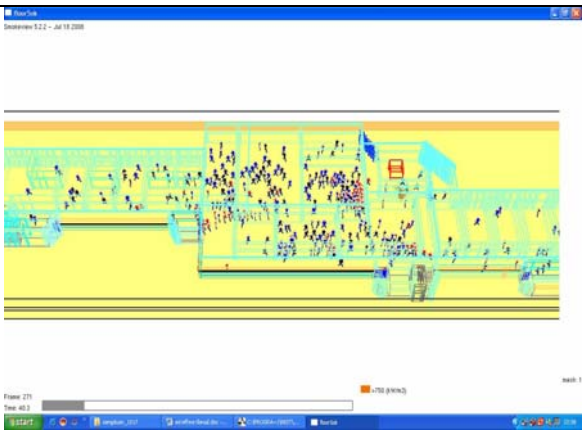
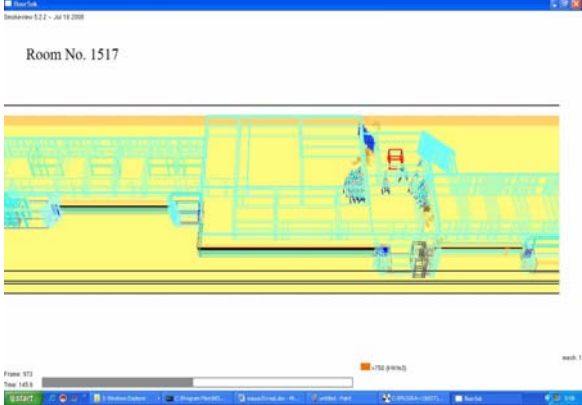
1.1.2 ศึกษาการอพยพเมื่อกำหนดให้ห้องต้นเพลิงเกิดจากห้องปฏิบัติการ 1516 มีจำนวนผู้ใช้ชั้นเรียน 426 คน เวลาที่ใช้ในการจำลองการศึกษาการอพยพ 300 วินาที

ตารางที่ 13 ผลการอพยพจากห้องต้นเพลิง 1516

ผลการจำลอง	เวลา	รายละเอียด
	2.7 วินาที	ตั้งแต่เริ่มเกิดเพลิงไหม้ จนกระทั่งเวลา 2.7 วินาที ผู้ใช้ชั้นเรียนยังคงอยู่ภายในห้องยังไม่มีเคลื่อนที่ออกจากประตูไปที่ประตูและทางออกหนีไฟ ดังภาพที่
	50.5 วินาที	ผู้ใช้ชั้นเรียนส่วนใหญ่ เคลื่อนที่ออกจากประตูและไปที่ประตูหรือทางออกหนีไฟที่ใกล้ที่สุด ห้องเรียน 1518 ยังคงมีผู้ใช้ชั้นเรียนติดค้างอยู่ในห้องมากที่สุด ดังภาพที่
	119 วินาที	ผู้ใช้ชั้นเรียนอพยพออกจากชั้นเรียนหมด ยกเว้นผู้ใช้ชั้นเรียนที่อยู่ในห้อง 1518 บางส่วนที่ไม่สามารถอพยพออกจากชั้นเรียนได้ โดยพบผู้เสียชีวิตอยู่ในห้องต้นเพลิงและทางปลายตัน

1.1.3 ศึกษาการอพยพเมื่อกำหนดให้ห้องต้นเพลิงเกิดจากห้องปฏิบัติการ 1517
มีจำนวนผู้ใช้ชั้นเรียน 426 คน เวลาที่ใช้ในการจำลองการศึกษาการอพยพ 300 วินาที

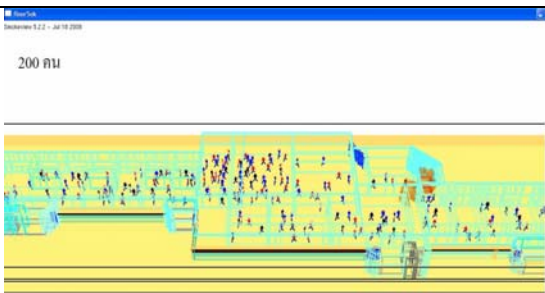
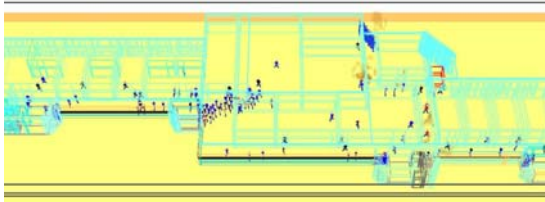
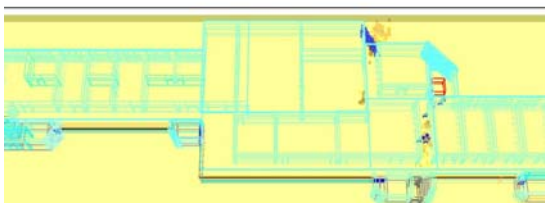
ตารางที่ 14 ผลการอพยพจากห้องต้นเพลิง 1517

ผลการจำลอง	เวลา	รายละเอียด
	3.3 วินาที	ตั้งแต่เริ่มเกิดเพลิงไหม้ จนกระทั่งเวลา 3.3 วินาที ผู้ใช้ ชั้นเรียนยังไม่เคลื่อนที่ออกจาก ห้องยังคงอยู่ภายในห้องต่าง ขณะที่มีเพลิงไหม้เกิดขึ้น
	40.3 วินาที	ผู้ใช้ชั้นเรียนเคลื่อนที่ออกจาก ห้องไปที่ประตูหรือทางออก หนีไฟที่ใกล้ที่สุด ที่ห้อง ต้นเพลิงพบมีผู้เสียชีวิต
	145.6 วินาที	ผู้ใช้ชั้นเรียนอพยพออกจาก ชั้นเรียนหมด ยกเว้นผู้ใช้ ชั้นเรียนที่อยู่ในห้อง 1518 บางส่วนที่ไม่สามารถอพยพ ออกจากชั้นเรียนได้ โดยพบ ผู้เสียชีวิตอยู่ในห้องต้นเพลิง และทางปลายตัน

1.2 การจำลองการอพยพเมื่อกำหนดให้มีจำนวนผู้ใช้ชั้นเรียนแตกต่างกัน ได้แก่ 200, 300 และ 400 คน โดยกำหนดห้องต้นเพลิงเกิดจากห้อง 1516 เวลาที่ใช้ในการจำลองการศึกษาการอพยพ 300 วินาที

1.2.1 ศึกษาการอพยพเมื่อกำหนดให้มีจำนวนผู้ใช้ชั้นเรียน 200 คน

ตารางที่ 15 ผลการอพยพเมื่อกำหนดจำนวนผู้ใช้ชั้นเรียน 200 คน

ผลการจำลอง	เวลา	รายละเอียด
	2.7 วินาที	ผลการจำลองที่เวลา 2.7 วินาที เกิดเพลิงไหม้ที่ห้องต้นเพลิง ผู้ใช้ชั้นเรียนยัง ไม่มีการ เคลื่อนที่และยังคงอยู่ตามห้อง
	50.4 วินาที	ผู้ใช้ชั้นเรียนเคลื่อนที่ออกจาก ห้องไปที่ประตูหรือทางออก หนีไฟที่ใกล้ที่สุด ที่ห้อง ต้นเพลิงพบมีผู้เสียชีวิต
	74.7 วินาที	ผู้ใช้ชั้นเรียนอพยพออกจาก ชั้นเรียนหมด โดยพบผู้เสียชีวิต อยู่ในห้องต้นเพลิงและทาง ปลายตัน

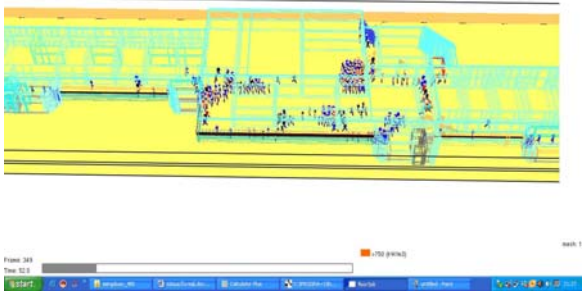
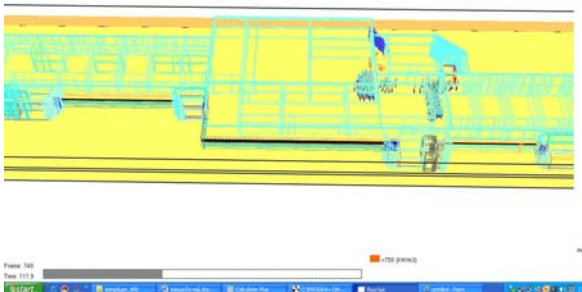
1.2.2 ศึกษาการอพยพเมื่อกำหนดให้มีจำนวนผู้ใช้งานชั้นเรียน 300 คน

ตารางที่ 16 ผลการอพยพเมื่อกำหนดจำนวนผู้ใช้งานชั้นเรียน 300 คน

ผลการจำลอง	เวลา	รายละเอียด
	2.7 วินาที	ผลการจำลองที่เวลา 2.7 วินาที เกิดเพลิงไหม้ที่ห้อง ดันเพลิง ผู้ใช้งานชั้นเรียนยังไม่มี การเคลื่อนที่และยังคงอยู่ตามห้อง
	40.3 วินาที	ผู้ใช้งานชั้นเรียนเคลื่อนที่ออกจากห้องไปที่ประตูหรือทางออกหนีไฟที่ใกล้ที่สุด ที่ห้องดันเพลิงพบมีผู้เสียชีวิต
	81.3 วินาที	ผู้ใช้งานชั้นเรียนอพยพออกจากชั้นเรียนหมด ยกเว้นห้องดันเพลิงและทางปลายตันพบผู้เสียชีวิตอยู่ในทางปลายตัน

1.2.3 ศึกษาการอพยพเมื่อกำหนดให้มีจำนวนผู้ใช้ชั้นเรียน 400 คน

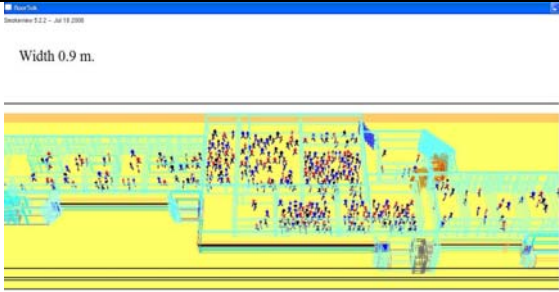
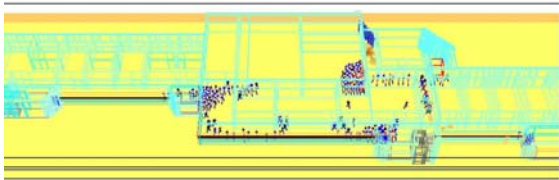
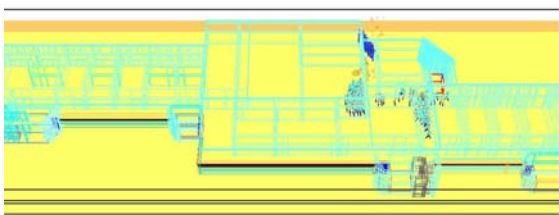
ตารางที่ 17 ผลการอพยพเมื่อกำหนดจำนวนผู้ใช้ชั้นเรียน 400 คน

ผลการจำลอง	เวลา	รายละเอียด
	3.0 วินาที	ผลการจำลองที่เวลา 3.0 วินาที เกิดเพลิงไหม้ที่ห้องต้นเพลิง ผู้ใช้ชั้นเรียนยังไม่มี การเคลื่อนที่และยังคงอยู่ตามห้อง
	52 วินาที	ผู้ใช้งานชั้นเรียนเคลื่อนที่ออกจากห้องไปที่ประตูหรือทางออกหนีไฟที่ใกล้ที่สุดที่ห้องต้นเพลิงพบมีผู้เสียชีวิต
	111.9 วินาที	ผู้ใช้งานชั้นเรียนอพยพออกจากชั้นเรียนหมด ยกเว้นผู้ใช้งานชั้นเรียนที่อยู่ในห้อง 1518 บางส่วนที่ไม่สามารถอพยพออกจากชั้นเรียนได้ โดยพบผู้เสียชีวิตอยู่ในห้องต้นเพลิงและทางปลายตัน

1.3 การจำลองการอพยพเมื่อกำหนดให้ความกว้างของประตูห้องเรียน 1518 มีความกว้างแตกต่างกัน ได้แก่ 0.9, 1.2, และ 1.5 เมตร เนื่องจากห้องเรียน 1518 มีจำนวนผู้ใช้งานเรียนมาก และอยู่บริเวณทางปลายตัน โดยกำหนดให้ห้องต้นเพลิงเกิดจากห้องปฏิบัติการ 1516 ซึ่งอยู่ตรงข้ามกับห้องเรียน 1518

1.3.1 ศึกษาการอพยพเมื่อกำหนดให้ประตูห้องมีความกว้าง 0.9 เมตร

ตารางที่ 18 ผลการจำลองเมื่อกำหนดความกว้างของประตูห้อง 0.9 เมตร

ผลการจำลอง	เวลา	รายละเอียด
	2.7 วินาที	ผลการจำลองที่เวลา 2.7 วินาที เกิดเพลิงไหม้ที่ห้องต้นเพลิง ผู้ใช้ชั้นเรียนยังไม่มีการเคลื่อนที่และยังคงอยู่ตามห้อง
	60.5 วินาที	ผู้ใช้ชั้นเรียนเคลื่อนที่ออกจากห้องไปที่ประตูหรือทางออกหนีไฟที่ใกล้ที่สุดที่ห้องต้นเพลิงพบมีผู้เสียชีวิต
	119.1 วินาที	ผู้ใช้ชั้นเรียนอพยพออกจากชั้นเรียนหมด ยกเว้นผู้ใช้ชั้นเรียนที่อยู่ในห้อง 1518 บางส่วนที่ไม่สามารถอพยพออกจากชั้นเรียนได้ โดยพบผู้เสียชีวิตอยู่ในห้องต้นเพลิงและทางปลายตัน

1.3.2 ศึกษาการอพยพเมื่อกำหนดให้ประตูห้องมีความกว้าง 1.2 เมตร

ตารางที่ 19 ผลการจำลองเมื่อกำหนดความกว้างของประตูห้อง 1.2 เมตร

ผลการจำลอง	เวลา	รายละเอียด
	3.0 วินาที	ผลการจำลองที่เวลา 3.0 วินาที เกิดเพลิงไหม้ที่ห้อง ดันเพลิง ผู้ใช้ชั้นเรียน ยังไม่มีการเคลื่อนที่และ ยังคงอยู่ตามห้อง
	51.5 วินาที	ผู้ใช้ชั้นเรียนเคลื่อนที่ออกจากห้องไปที่ประตู หรือทางออกหนีไฟที่ใกล้ที่สุด ที่ห้องดันเพลิงพบ มีผู้เสียชีวิต
	99.8 วินาที	ผู้ใช้ชั้นเรียนอพยพออกจาก ชั้นเรียนหมด ยกเว้นห้อง ดันเพลิงและทางปลายตัน พบผู้เสียชีวิต

1.3.3 ศึกษาการอพยพเมื่อกำหนดให้ประตูห้องมีความกว้าง 1.5 เมตร

ตารางที่ 20 ผลการจำลองเมื่อกำหนดความกว้างของประตูห้อง 1.5 เมตร

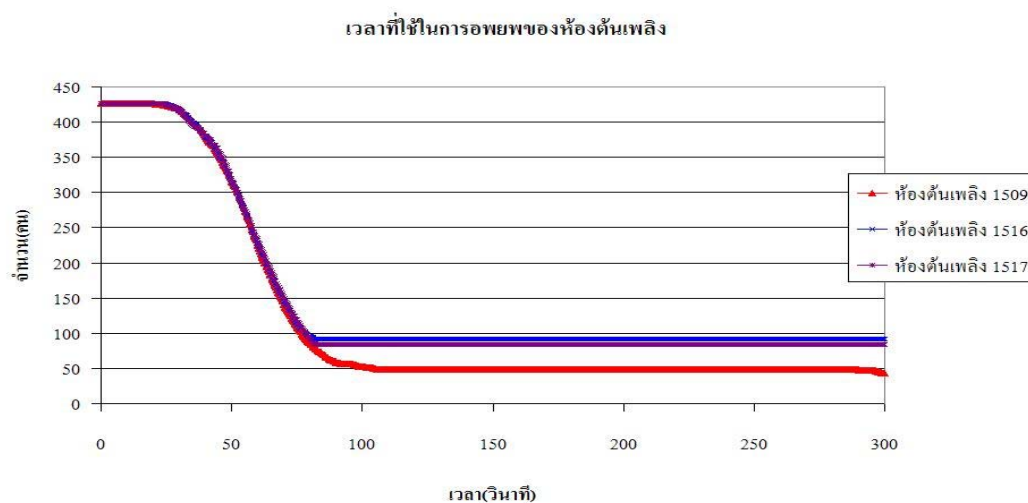
ผลการจำลอง	เวลา	รายละเอียด
	2.2 วินาที	ผลการจำลองที่เวลา 2.2 วินาที เกิดเพลิงไหม้ที่ห้องดนตรีเพลิง ผู้ใช้ชั้นเรียนยังไม่มีเคลื่อนที่และยังคงอยู่ตามห้อง
	40.3 วินาที	ผู้ใช้ชั้นเรียนเคลื่อนที่ออกจากห้องไปที่ประตูหรือทางออกหนีไฟที่ใกล้ที่สุด ที่ห้องดนตรีพบมีผู้เสียชีวิต
	54 วินาที	ผู้ใช้ชั้นเรียนอพยพออกจากชั้นเรียนหมด ยกเว้นห้องดนตรีเพลิงและทางปลายตันพบผู้เสียชีวิตอยู่ในทางปลายตัน

จากผลการจำลองการอพยพอาครเรียนชั้นที่ 5 เมื่อกำหนดตัวแปร 3 ตัวแปร ได้แก่ ห้องต้นเพลิง จำนวนคน และความกว้างของประตูห้อง สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1) การจำลองการอพยพของผู้ใช้ชั้นเรียนกรณีกำหนดห้องต้นเพลิง ได้แก่ ห้อง 1509 1516 และ 1517 กำหนดเวลาที่ใช้ในการจำลอง 300 วินาที ผลการจำลองได้แสดงไว้ดังตารางที่ 21 และเวลาที่ใช้ในการอพยพดังภาพที่ 40

ตารางที่ 21 ผลการจำลองการอพยพเมื่อกำหนดให้ห้องต้นเพลิงมีตำแหน่งแตกต่างกัน

ตัวแปร	ห้อง	จำนวน ผู้อพยพ (คน)	ผลการจำลอง			
			ความสามารถ ในการอพยพ	จำนวนคน ที่ออกจาก ชั้นที่ 5 ได้ (คน)	จำนวนคน ที่ไม่สามารถ ออกจากชั้น ที่ 5 ได้(คน)	จำนวน ผู้เสียชีวิต (คน)
ห้อง ต้นเพลิง	1509	426	ไม่สามารถ อพยพได้หมด ภายใน 3 นาที	383	43	6
	1516	426	ไม่สามารถ อพยพได้หมด ภายใน 3 นาที	334	92	92
	1517	426	ไม่สามารถ อพยพได้หมด ภายใน 3 นาที	342	84	84

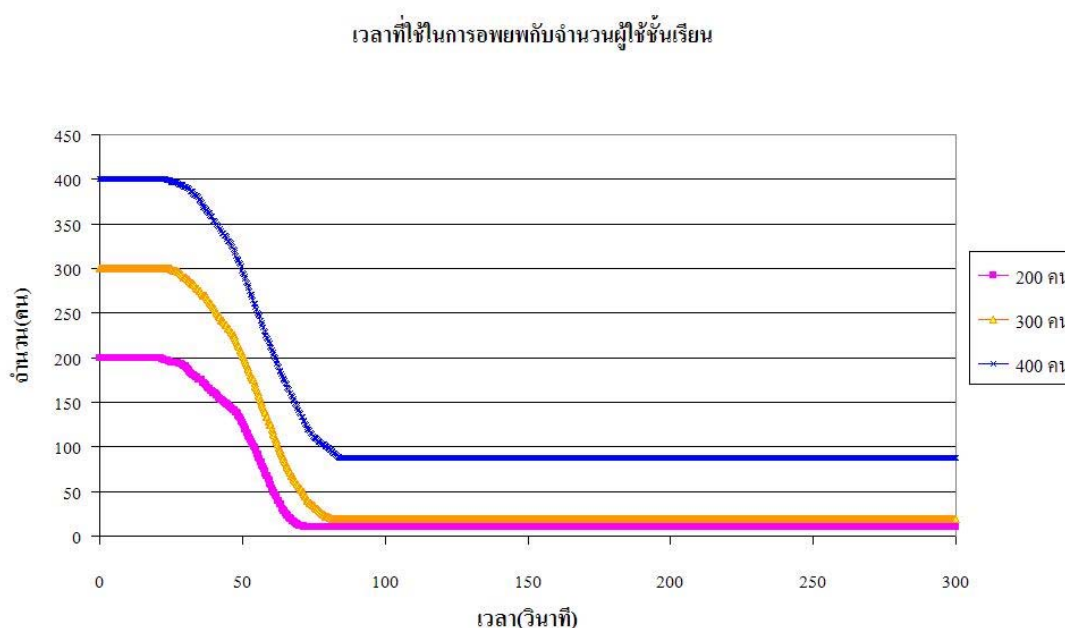


ภาพที่ 40 เวลาในการอพยพกับตำแหน่งของห้องต้นเพลิง

2) จำลองการอพยพของผู้ใช้ชั้นเรียนกรณีมีจำนวนผู้ใช้ชั้นเรียน 200, 300 และ 400 คน เวลาที่ใช้ในการจำลอง 300 วินาที ห้องต้นเพลิงเกิดจากห้อง 1516 ผลการจำลองได้แสดงไว้ดังตารางที่ 22 และเวลาที่ใช้ในการอพยพดังภาพที่ 41

ตารางที่ 22 ผลการจำลองเมื่อกำหนดให้มีจำนวนผู้ใช้ชั้นเรียนแตกต่างกัน

ตัวแปร	จำนวนผู้ใช้ชั้นเรียน (คน)	ผลการจำลอง			
		ความสามารถในการอพยพ	จำนวนคนที่ออกจากชั้นที่ 5 ได้ (คน)	จำนวนคนที่ไม่สามารถออกจากชั้นที่ 5 ได้(คน)	จำนวนผู้เสียชีวิต (คน)
จำนวนผู้ใช้ชั้นเรียน	200	ไม่สามารถอพยพได้หมดภายใน 3 นาที	190	10	7
	300	ไม่สามารถอพยพได้หมดภายใน 3 นาที	281	19	19
	400	ไม่สามารถอพยพได้หมดภายใน 3 นาที	301	88	88



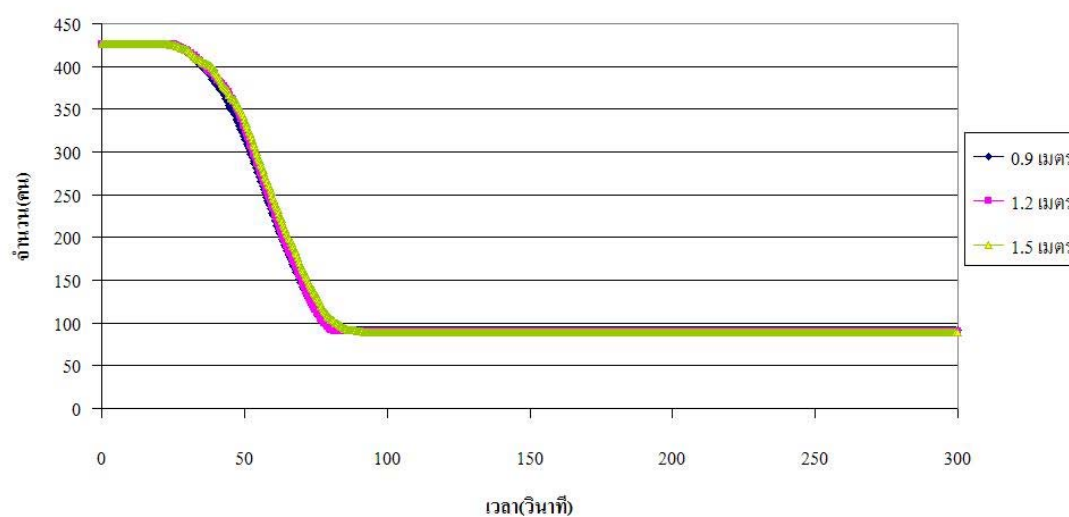
ภาพที่ 41 เวลาที่ใช้ในการอพยพกับจำนวนผู้ใช้งานเรียนที่แตกต่างกัน

3) จำลองการอพยพของผู้ใช้งานเรียนกรณีความกว้างของประตูห้องเรียน 1518 เนื่องจากห้องเรียน 1518 มีจำนวนผู้ใช้งานเรียนจำนวนมาก และมีเส้นทางหนีไฟเป็นเส้นทางตัน ผลการจำลองจากภาพสามมิติพบว่า ผู้อพยพที่อยู่ภายในห้อง 1518 จะใช้เวลาในการอพยพนานที่สุด โดยผู้อพยพจะวิ่งไปที่ประตูที่ใกล้กับบันไดหนีไฟซึ่งเป็นข้อจำกัดของโปรแกรมเนื่องจากประตูห้องและบันไดหนีไฟอยู่คนละแกน ทั้งที่ห้องดังกล่าวมี 2 ประตูสามารถออกได้ 2 ทาง อย่างไรก็ตาม ผู้วิจัยต้องการศึกษากรณีที่จะเกิดอันตรายมากที่สุดซึ่งเป็นกรณีที่ประตูถูกเปิดใช้เพียงประตูเดียว จึงทำการศึกษาความกว้างของประตูห้องที่มีต่อเวลาการอพยพ โดยกำหนดให้ความกว้างของประตูห้องมีขนาด 0.9, 1.2 และ 1.5 เมตร เวลาที่ใช้ในการจำลอง 300 วินาที ห้องต้นเพลิงเกิดจากห้อง 1516 ผลการจำลองการอพยพได้แสดงไว้ดังตารางที่ 23 และเวลาที่ใช้ในการอพยพดังภาพที่ 42

ตารางที่ 23 ผลการจำลองเมื่อกำหนดให้ความกว้างของประตูห้องแตกต่างกัน

ตัวแปร	ความกว้าง (เมตร)	ผลการจำลอง			
		ความสามารถ ในการอพยพ	จำนวนคนที่ ออกจากชั้นที่ 5 ได้(คน)	จำนวนคนที่ไม่ สามารถออกจาก ชั้นที่ 5 ได้ (คน)	จำนวน ผู้เสียชีวิต (คน)
ความกว้าง ประตูห้อง 1518	0.9	ไม่สามารถ อพยพได้หมด ภายใน 3 นาที	334	92	92
	1.2	ไม่สามารถ อพยพได้หมด ภายใน 3 นาที	336	90	87
	1.5	ไม่สามารถ อพยพได้หมด ภายใน 3 นาที	337	89	85

เวลาในการอพยพกับความกว้างประตู



ภาพที่ 42 เวลาที่ใช้ในการอพยพกับความกว้างของประตูห้องที่แตกต่างกัน

2. ผลการศึกษาการออกแบบเส้นทางหนีไฟ

ผลการศึกษาการออกแบบเส้นทางหนีไฟ แบ่งออกเป็น 2 กรณีดังนี้

2.1 กรณีเปิดช่องทางเดินใหม่ ผลการจำลองการอพยพเมื่อออกแบบเส้นทางหนีไฟใหม่เมื่อกำหนดให้มีจำนวนผู้ใช้งานเรียน 426 คน ห้องต้นเพลิงเกิดจากห้อง 1516 เวลาที่ใช้ในการจำลอง 300 วินาที ดังตารางที่ 24

ตารางที่ 24 ผลการจำลองกรณีเปิดช่องทางเดินใหม่

ผลการจำลอง	เวลา	รายละเอียด
	2.7 วินาที	ผู้ใช้งานเรียนยังไม่เคลื่อนที่ออกจากชั้นเรียนขณะที่มีเพลิงไหม้เกิดขึ้น
	50.4 วินาที	ผู้ใช้งานเรียนเคลื่อนที่ออกจากห้องต่างๆ ไปที่ประตูและทางออกหนีไฟ พบผู้ใช้งานเรียนที่อยู่บริเวณทางปลายตันเลือกใช้เส้นทางหนีไฟใหม่ที่ปรับปรุงจากแผนผังเดิม

ตารางที่ 24 (ต่อ)

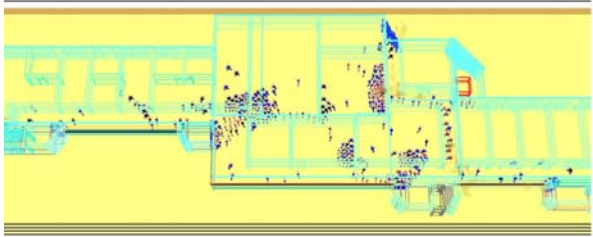
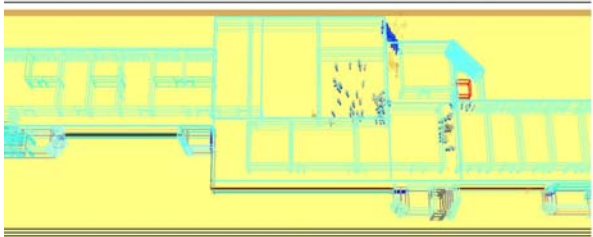
ผลการจำลอง	เวลา	รายละเอียด
	104.1 วินาที	ผู้ใช้ชั้นเรียนอพยพออกจาก ชั้นเรียนได้หมด ยกเว้น เส้นทางหนีไฟใหม่ที่ ปรับปรุงจากแผนผังและ ทางปลายตันเดิมที่ยังพบ ผู้เสียชีวิตอยู่แต่มีจำนวน น้อย

กรณีทำประตูออกเพิ่ม ผลการจำลองกรณีทำประตูออกเพิ่ม เมื่อกำหนดให้มีจำนวน
ผู้ใช้ชั้นเรียน 426 คน ห้องต้นเพลิงเกิดจากห้อง 1516 เวลาที่ใช้ในการจำลอง 300 วินาที ดังตารางที่ 25

ตารางที่ 25 ผลการจำลองกรณีทำประตูออกเพิ่ม

ผลการจำลอง	เวลา	รายละเอียด
	2.2 วินาที	ผู้ใช้ชั้นเรียนยังไม่เคลื่อนที่ ออกจากชั้นเรียนขณะที่มี เพลิงไหม้เกิดขึ้น

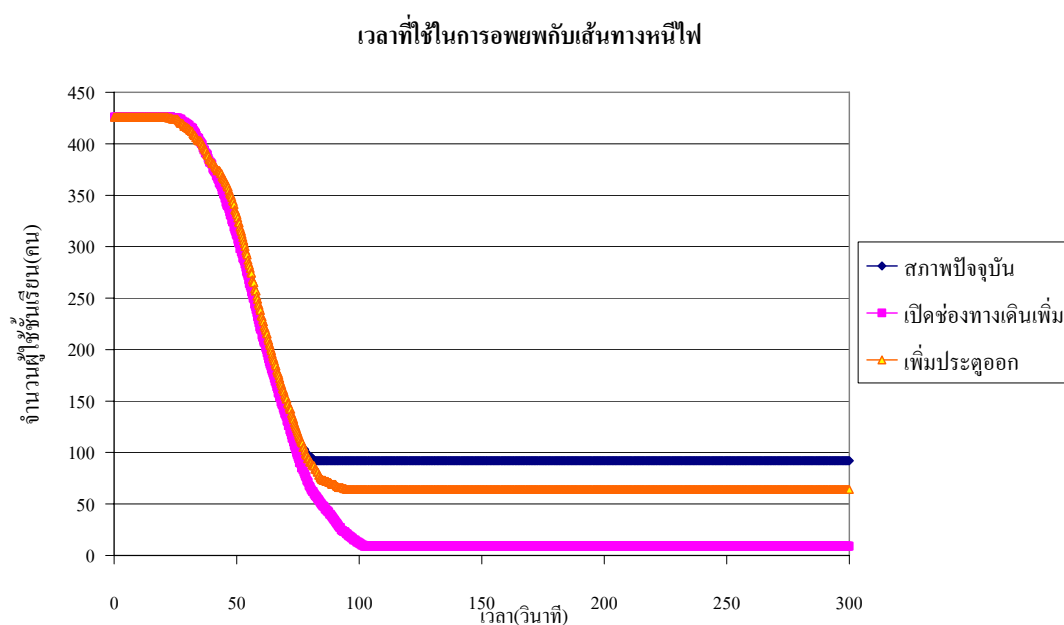
ตารางที่ 25 (ต่อ)

ผลการจำลอง	เวลา	รายละเอียด
	43.5 วินาที	ผู้ใช้ชั้นเรียนเคลื่อนที่ออกจากห้องไปที่ประตูหรือบันไดหนีไฟที่ใกล้ที่สุด ผู้ใช้ห้อง 1518 บางส่วนใช้ประตูออกที่ทำเพิ่มเติมในการอพยพไปที่บันไดหนีไฟ
	152.5 วินาที	ผู้ใช้ชั้นเรียนไม่สามารถอพยพออกจากชั้นได้หมด โดยพบผู้ใช้ชั้นเรียนเสียชีวิตบริเวณห้องต้นเพลิง ทางปลายตัน และห้อง 1518

สรุปผลการจำลองการออกแบบเส้นทางหนีไฟของชั้นเรียนที่ 5 สภาพปัจจุบันและเมื่อออกแบบเส้นทางหนีไฟใหม่ทั้ง 2 กรณีพบว่า ผู้ใช้ชั้นเรียนไม่สามารถอพยพออกจากชั้นเรียนได้หมดภายใน 3 นาที แต่เมื่อเปรียบเทียบจำนวนผู้เสียชีวิตในสภาพปัจจุบันกับการออกแบบเส้นทางหนีไฟใหม่ทั้ง 2 กรณีได้แก่ เปิดช่องทางเดินใหม่ และทำประตูออกเพิ่ม พบว่ามีจำนวนผู้เสียชีวิตลดลงจาก 92 คนเหลือ 9 คนและ 64 คนตามลำดับ ดังตารางที่ 26

ตารางที่ 26 เปรียบเทียบผลการจำลองเส้นทางหนีไฟสภาพปัจจุบันกับเส้นทางหนีไฟที่ออกแบบใหม่

แบบ เส้นทาง หนีไฟ	ผลการจำลอง			
	ความสามารถ ในการอพยพ	จำนวนคนที่ออก จากชั้นที่ 5 ได้(คน)	จำนวนคนที่ไม่สามารถ ออกจากชั้นที่ 5 ได้ (คน)	จำนวน ผู้เสียชีวิต(คน)
สภาพ ปัจจุบัน	ไม่สามารถอพยพ ได้หมดภายใน 3 นาที	334	92	92
เปิด ช่องทาง เดินใหม่	ไม่สามารถอพยพ ได้หมดภายใน 3 นาที	417	9	9
ทำประตู ออกเพิ่ม	ไม่สามารถอพยพ ได้หมดภายใน 3 นาที	362	64	64



ภาพที่ 43 เวลาที่ใช้ในการอพยพกับเส้นทางหนีไฟ

วิจารณ์

เมื่อผู้อพยพรับรู้ว่ามีเหตุการณ์เพลิงไหม้เกิดขึ้นผู้อพยพจะไม่ทำการอพยพทันทีโดยผู้อพยพจะใช้เวลาในการตัดสินใจก่อนทำการอพยพเมื่อผู้อพยพตัดสินใจอพยพแล้วจะเกิดการเคลื่อนที่ของผู้อพยพกราฟจะโค้งลงอย่างรวดเร็ว (มาตรฐานการป้องกันอัคคีภัยประเทศญี่ปุ่น, 2546) ผู้อพยพจะเคลื่อนที่ไปที่ประตูและทางออกหนีไฟ การเคลื่อนที่ของผู้อพยพจะทำให้บริเวณประตูและทางออกหนีไฟมีผู้อพยพจำนวนมากเคลื่อนที่มารวมกันทำให้การเคลื่อนที่ออกจากประตูและทางออกหนีไฟไม่สะดวกซึ่งมีผลทำให้ใช้เวลาในการอพยพมากขึ้น (MacLennan, 1995) จากการศึกษาผลการจำลองการอพยพทั้ง 3 ตัวแปร ได้แก่ จำนวนคน ห้องต้นเพลิง และความกว้างของประตูห้อง พบว่า ตำแหน่งของห้องต้นเพลิงมีผลต่อการอพยพ ห้องต้นเพลิง 1509, 1516 และ 1517 มีจำนวนผู้ใช้ชั้นเรียนที่ไม่สามารถอพยพออกจากชั้นเรียนภายใน 3 นาที 43, 92 และ 84 คน คิดเป็นร้อยละ 10.0, 21.6 และ 19.7 ตามลำดับ ตำแหน่งของห้องต้นเพลิงที่อยู่ทางปลายตันจะก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้อพยพมากกว่าห้องต้นเพลิงที่อยู่บริเวณอื่น จำนวนผู้ใช้ชั้นเรียนมีผลต่อการอพยพโดยผู้ใช้ชั้นเรียนที่ 200, 300 และ 400 มีจำนวนผู้ใช้ชั้นเรียนที่ไม่สามารถอพยพออกจากชั้นเรียนภายใน 3 นาที 10, 19 และ 88 คน คิดเป็นร้อยละ 2.4, 4.5 และ 20.7 ตามลำดับ จำนวนมากมีโอกาสเกิดอันตรายขณะเกิดเหตุเพลิงไหม้มากกว่าจำนวนผู้ใช้ชั้นเรียนน้อย และความกว้างของประตูที่ 0.9, 1.2 และ 1.5 มีผลทำให้มีจำนวนผู้ใช้ชั้นเรียนที่ไม่สามารถอพยพออกจากชั้นเรียนภายใน 3 นาที 92, 90 และ 89 คน คิดเป็นร้อยละ 21.6, 21.1 และ 20.9 ตามลำดับ ความกว้างของประตูที่เพิ่มมากขึ้นมีผลทำให้ผู้ใช้ชั้นเรียนสามารถอพยพหนีไฟออกจากชั้นเรียนได้อย่างปลอดภัยมากยิ่งขึ้น ผู้อพยพไม่สามารถอพยพออกจากชั้นเรียนดังกล่าวได้อย่างปลอดภัยภายใน 3 นาทีตามข้อเสนอแนะของ NFPA 101 และพบมีผู้เสียชีวิตอยู่บริเวณทางปลายตัน การหายใจเอาก๊าซพิษและควันไฟเข้าไปในร่างกายในปริมาณมากจะทำให้ผู้อพยพเกิดการเสียชีวิตได้ เนื่องจากในช่วงระยะเวลาการเกิดเพลิงไหม้ 1 – 3 นาที เป็นช่วงที่เชื้อเพลิงเริ่มขับไอก๊าซพิษและควันไฟออกมา ซึ่งสาเหตุที่ทำให้คนเสียชีวิตมากที่สุดในเหตุการณ์เพลิงไหม้คือ ควันไฟมากกว่าความร้อน เพราะควันไฟแพร่กระจายตัวได้อย่างรวดเร็ว (มาตรฐานการควบคุมควันไฟ, 2545)

เมื่อพิจารณาการออกแบบอาคารเรียนชั้นที่ 5 ด้านความเพียงพอของขนาดทางหนีไฟและองค์ประกอบของทางหนีไฟตามมาตรฐาน NFPA เปรียบเทียบกับผลการคำนวณตามมาตรฐานวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย พบว่า อาคารเรียนชั้นที่ 5 มีขนาดทางหนีไฟและองค์ประกอบ

ของทางหนีไฟที่เพียงพอสามารถรองรับจำนวนผู้ใช้ชั้นเรียนที่กำหนดในการจำลองจำนวน 426 คน โดยมีผลการคำนวณดังตารางที่ 27

ตารางที่ 27 ผลการคำนวณความจุคนขององค์ประกอบทางหนีไฟ

องค์ประกอบทางหนีไฟ	ความกว้าง(เมตร)	ความจุ(คน)	
		NFPA	วสท.
ประตูหนีไฟ 1	1	132	125
ประตูหนีไฟ 2	0.9	119	113
บันไดหนีไฟ 1	1.2	158	150
บันไดหนีไฟ 2	1.2	158	150
รวม		567	538

เมื่อคำนวณความจุคนตามมาตรฐาน NFPA สามารถรองรับคนได้ 567 คน และความจุคนตามมาตรฐาน วสท. สามารถรองรับจำนวนคนได้ 538 คน เพียงพอต่อจำนวนผู้ใช้ชั้นเรียนที่กำหนดในการจำลอง 426 คน

ปริมาณความจุคนในพื้นที่ชั้นเรียนที่ 5 สามารถจุคนได้ 329 คน (คำนวณตามมาตรฐาน NFPA) และสามารถจุคนได้ 372 คน (คำนวณตามมาตรฐาน วสท.) ซึ่งไม่เพียงพอต่อจำนวนผู้ใช้ชั้นเรียนที่กำหนดในการจำลองจำนวน 426 คน

เมื่อศึกษาด้านการออกแบบเส้นทางหนีไฟของอาคารเรียนชั้นที่ 5 อาคารดังกล่าวมีการก่อสร้างอาคารเพิ่มเติม จากผลการจำลองอพยพในสภาพปัจจุบันทั้ง 3 ตัวแปรพบว่า ผู้อพยพเสียชีวิตบริเวณทางปลายตัน สาเหตุเนื่องจากชั้นดังกล่าวมีระยะทางปลายตัน ระยะทางสัญจร และระยะทางบังคับ ไม่สอดคล้องตามมาตรฐานของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ประกอบกับห้องเรียนที่อยู่ในบริเวณทางปลายตันมีจำนวนผู้ใช้ชั้นเรียนจำนวนมากจึงส่งผลให้ผลการจำลองการอพยพมีจำนวนผู้เสียชีวิตจำนวนมาก ผู้วิจัยจึงทำการออกแบบเส้นทางหนีไฟใหม่ 2 กรณี ได้แก่ กรณีเปิดช่องทางเดินใหม่ และกรณีทำประตูออกเพิ่ม ผลการจำลองพบจำนวนผู้เสียชีวิตในชั้นเรียน 9 และ 64 คน คิดเป็นร้อยละ 2.1 และ 15 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบจำนวนผู้เสียชีวิตจากการจำลองการอพยพในสภาพปัจจุบันซึ่งมีจำนวนผู้เสียชีวิต 92 คน คิดเป็นร้อยละ 21.6 กับเส้นทางหนีไฟที่ทำการออกแบบ

ใหม่พบว่า จำนวนผู้เสียชีวิตลดลงอย่างเห็นได้ชัด โดยเฉพาะอย่างยิ่งกรณีเปิดช่องทางเดินใหม่ที่มีระยะทางปลายตันสอดคล้องตามมาตรฐาน จะเห็นได้ว่าผลการออกแบบเส้นทางหนีไฟใหม่นั้นสามารถช่วยให้ผู้ใช้ชั้นเรียนมีความปลอดภัยมากขึ้นสามารถลดความรุนแรงของเหตุเพลิงไหม้ที่เกิดขึ้นได้ อย่างไรก็ตามผลการจำลองการออกแบบเส้นทางหนีไฟใหม่นั้นยังคงมีผู้เสียชีวิตอยู่บริเวณทางปลายตันเนื่องจากในการจำลองผู้วิจัยยังไม่ได้กำหนดความจุของจำนวนผู้ใช้ชั้นเรียนตามมาตรฐานของ NFPA หรือ วสท. ทั้งนี้เพื่อเปรียบเทียบกับจำนวนผู้ใช้ชั้นเรียนสูงสุดที่กำหนดในแบบจำลองของสภาพปัจจุบัน จำนวนผู้ใช้ชั้นเรียนสูงสุดนั้นมีความมากกว่าการคำนวณความจุของจำนวนผู้ใช้ชั้นเรียนตามมาตรฐาน NFPA หรือ วสท. ซึ่งหากกำหนดจำนวนผู้ใช้ชั้นเรียนเหมาะสมตามมาตรฐาน NFPA หรือ วสท. จะทำให้ผลการจำลองการออกแบบเส้นทางหนีไฟใหม่นั้น มีจำนวนผู้เสียชีวิตลดลงจากเดิม

สรุปได้ว่า สาเหตุหลักที่ทำให้ผู้อพยพไม่สามารถออกจากชั้นเรียนได้อย่างปลอดภัย คือการก่อสร้างเพิ่มเติมที่มีการออกแบบเส้นทางหนีไฟไม่เหมาะสม แนวทางในการป้องกันความสูญเสียจากการเสียชีวิตที่เกิดขึ้นเพื่อให้ผู้ใช้ชั้นเรียนสามารถอพยพออกจากชั้นดังกล่าวได้อย่างปลอดภัยมีดังนี้

1. การปรับปรุงโครงสร้างโดยการออกแบบเส้นทางหนีไฟให้สอดคล้องตามมาตรฐานของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย โดยการเปิดช่องให้มีเส้นทางหนีไฟเพิ่มเติมอีกหนึ่งช่องทางเพื่อป้องกันอันตรายขณะทำการอพยพเมื่อห้องต้นเพลิงอยู่บริเวณทางปลายตัน (หากสามารถปรับปรุงโครงสร้างได้)
2. จัดตารางการใช้ชั้นเรียนให้เหมาะสมเพื่อให้มีปริมาณความจุคนในพื้นที่สอดคล้องตามมาตรฐาน NFPA
3. ติดตั้งป้ายหรือสัญลักษณ์ เพื่อบอกตำแหน่งและทิศทางการหนีไฟแสดงให้เห็นชัดเจนและทั่วถึงตลอดเส้นทางหนีไฟและมีไฟแสงสว่างให้สามารถมองเห็นได้ชัดเจนตลอดทั้งกลางวันและกลางคืน
4. ตรวจสอบถังดับเพลิงสม่ำเสมอ เพื่อให้สามารถใช้งานได้ทันทีเมื่อเกิดเหตุเพลิงไหม้

5. จัดให้มีสัญญาณแจ้งเหตุเพลิงไหม้ เพื่อใช้ในการแจ้งเหตุฉุกเฉินเมื่อเกิดเพลิงไหม้
6. จัดให้มีแผนฉุกเฉินและทำการฝึกซ้อมอพยพหนีไฟอย่างสม่ำเสมอ
7. จัดให้มีการจัดการความปลอดภัยเกี่ยวกับสารเคมีเพื่อป้องกันอันตรายจากเหตุเพลิงไหม้ที่เกิดจากสารเคมี

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาการอพยพในอาคารเรียนซึ่งประกอบด้วยห้องเรียนและห้องปฏิบัติการเคมี โดยการนำหลักของวิศวกรรมความปลอดภัยด้านอัคคีภัยมาใช้ในการศึกษา ตลอดจนนำทฤษฎีพลศาสตร์อัคคีภัยมาประยุกต์ใช้ในการศึกษาวิจัย โดยนำโปรแกรมที่ใช้หลักพลศาสตร์อัคคีภัยมาใช้ในการวิจัย ได้แก่ โปรแกรม PyroSim ใช้ในการสร้างแบบจำลองโครงสร้าง และโปรแกรม Fire Dynamics Simulation and Smoke view (FDS+Evac) มาใช้ในการจำลองการอพยพ

ผลการศึกษาการจำลองตัวแปร 3 ตัวแปร ได้แก่ ห้องต้นเพลิง จำนวนผู้ใช้ชั้นเรียนและความกว้างของประตูห้อง ต่างก็มีผลต่อการอพยพ ห้องต้นเพลิงที่อยู่บริเวณทางปลายต้นมีผลก่อให้เกิดอันตรายกับผู้อพยพ การกำหนดจำนวนผู้ใช้ชั้นเรียนที่เหมาะสมจะช่วยให้ผู้อพยพสามารถอพยพออกจากชั้นได้อย่างปลอดภัย และความกว้างของประตูห้องที่เพิ่มขึ้นมีส่วนช่วยให้ผู้ใช้ชั้นเรียนสามารถอพยพออกจากชั้นเรียนได้ปลอดภัยเพิ่มขึ้นด้วย การจำลองอพยพในสภาพปัจจุบันพบว่าผู้ใช้ชั้นเรียนไม่สามารถอพยพออกจากชั้นเรียนได้ภายใน 3 นาทีตามข้อเสนอแนะของ NFPA และพบมีผู้เสียชีวิตอยู่บริเวณทางปลายต้น

สาเหตุที่ผู้ใช้ชั้นเรียนไม่สามารถอพยพออกจากชั้นเรียนได้ภายใน 3 นาที และมีผู้เสียชีวิตอยู่บริเวณทางปลายต้นมาจากการออกแบบเส้นทางหนีไฟของอาคารเรียนชั้นที่ 5 เนื่องจากการก่อสร้างเพิ่มเติมทำให้ระยะทางปลายต้น ระยะทางบังคับ และระยะสัญญาณไม่สอดคล้องกับมาตรฐานของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ผู้วิจัยจึงทำการออกแบบเส้นทางหนีไฟใหม่แบ่งได้ 2 กรณี ได้แก่ กรณีเปิดช่องทางเดินใหม่ การออกแบบนี้มีผลทำให้มีระยะทางปลายต้นสอดคล้องกับมาตรฐานวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ส่วนระยะทางบังคับและระยะสัญญาณไม่ได้ออกแบบให้สอดคล้องกับมาตรฐานวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยเนื่องจากต้องการให้การออกแบบเส้นทางหนีไฟใหม่มีผลกระทบต่อโครงสร้างเดิมน้อยที่สุดและสามารถใช้พื้นที่ใกล้เคียงกับสภาพปัจจุบัน ผลการจำลองพบว่า จำนวนผู้เสียชีวิตลดลงจากเดิม 92 คน เหลือเพียง 9 คน และกรณีที่ 2 ทำประตูออกเพิ่ม การออกแบบนี้มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเดิมน้อยกว่ากรณีการเปิดช่องทางเดินใหม่ โดยออกแบบให้ผู้ใช้ชั้นเรียนสามารถหลีกเลี่ยงเส้นทางอพยพที่ไม่ปลอดภัยบริเวณทางปลายต้น

แต่ผลการจำลองพบว่าจำนวนผู้เสียชีวิตลดลง 64 คนซึ่งน้อยกว่ากรณีเปิดช่องทางเดินใหม่ การออกแบบเส้นทางหนีไฟใหม่ช่วยให้ผู้ใช้ชั้นเรียนมีความปลอดภัยจากการอพยพหนีไฟมากขึ้น และลดความรุนแรงของเหตุเพลิงไหม้ที่เกิดขึ้นได้ อย่างไรก็ตามความปลอดภัยด้านอัคคีภัยต้องใช้มาตรการเชิงป้องกันอื่นร่วมด้วยนอกเหนือจากการออกแบบเส้นทางหนีไฟที่ปลอดภัยทั้งนี้อาจใช้มาตรการป้องกันอื่นร่วมด้วยเช่น การกำหนดจำนวนผู้ใช้ชั้นเรียนให้เหมาะสมโดยการจัดการตารางการใช้ห้อง การฝึกซ้อมหนีไฟ การจัดการด้านความปลอดภัยเกี่ยวกับสารเคมี เป็นต้น

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถใช้เป็นแนวทางในการออกแบบเส้นทางหนีไฟของอาคาร โดยการนำมาตรฐานของ NFPA เกี่ยวกับการออกแบบเส้นทางหนีไฟมาใช้ร่วมกับโปรแกรมจำลอง การอพยพจะช่วยให้ผู้ออกแบบเห็นภาพเสมือนจริงสามารถวิเคราะห์ขีดความสามารถของเส้นทางหนีไฟที่ออกแบบได้ ก่อนนำมาใช้ก่อสร้างจริง

อย่างไรก็ตามผลการจำลองที่ได้จึงเป็นเพียงการคาดการณ์เท่านั้น เพราะขนาดของต้นเพลิงที่กำหนดเป็นเพียงการสมมติสถานการณ์เพื่อใช้ในการจำลอง ประกอบกับไม่ได้นำระบบป้องกัน อัคคีภัยของอาคารมาพิจารณาในการออกแบบจำลอง

ข้อเสนอแนะ

1. เมื่อมีการออกแบบอาคารเพื่อก่อสร้างเพิ่มเติมควรพิจารณาเรื่องเส้นทางหนีไฟของอาคารด้วย เพื่อให้ผู้ใช้อาคารมีความปลอดภัยขณะทำการอพยพหนีไฟ
2. ควรจำกัดจำนวนผู้ใช้ชั้นเรียนตามความจุของอาคารตามที่ได้ทำการออกแบบไว้เพื่อให้เกิดความปลอดภัยในการใช้เส้นทางหนีไฟในการอพยพ
3. ควรทำการศึกษาการอพยพเพิ่มเติมโดยกำหนดจำนวนผู้ใช้ชั้นเรียนให้สอดคล้องกับความจุคนในพื้นที่ตามมาตรฐานของ NFPA หรือ วสท. เพื่อวิเคราะห์ขีดความสามารถในการอพยพเมื่อได้กำหนดความจุคนให้สอดคล้องกับมาตรฐาน
4. ควรทำการฝึกซ้อมอพยพหนีไฟให้กับผู้ใช้ชั้นเรียนเพื่อทราบถึงวิธีปฏิบัติ การเลือกใช้เส้นทางหนีไฟที่ปลอดภัยในการอพยพ เพื่อให้มีความพร้อมเมื่อมีเหตุฉุกเฉินเพลิงไหม้เกิดขึ้น

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- เกชา ชีระโกเมน. 2545. ปัญหาในการจัดระบบการป้องกันอัคคีภัยสำหรับอาคาร, น 1-53. ใน เกชา ชีระโกเมน และ โสภณ เหล่าสุวรรณ, บรรณาธิการ. **ประสบการณ์วิศวกรรมงานระบบ ระบบป้องกันอัคคีภัย**. สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, กรุงเทพฯ.
- คณะกรรมการวิชาการสาขาวิศวกรรมเครื่องกล. 2540. **มาตรฐานการป้องกันอัคคีภัย**. วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.
- _____. 2551. มาตรฐานการป้องกันอัคคีภัย, พิมพ์ปรับปรุงครั้งที่ 1, วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.
- ณัฐกรณ์ เสถฐิตต์. 2546. **เรื่องโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อช่วยจำลองสถานการณ์ การหนีไฟภายในอาคารโดยใช้บันไดหนีไฟ**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เดลินิวส์. 2552. **ขานติเก่า**. แหล่งที่มา: <http://www.dailynews.co.th/web/html>, 13 มกราคม 2552.
- ไทยรัฐ. 2552. **เสือป่าพลาซ่า**. แหล่งที่มา: <http://www.thairath.co.th>, 5 มกราคม 2552.
- นิวัฒน์ ศิริกุล. 2542. **การศึกษาเวลาในการหนีไฟภัยในอาคาร - กรณีประเทศไทย**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- พันธุ์พร นรพัฒน์. 2546. **ความปลอดภัยในการป้องกันและบรรเทาความเสียหายจากอัคคีภัยของอาคารสูงในกรุงเทพมหานคร**. กรุงเทพฯ.
- มาตรฐานการป้องกันอัคคีภัยในประเทศญี่ปุ่น. 2546. **คู่มือด้านเทคนิคสำหรับการออกแบบระบบป้องกันอัคคีภัย**.
- สุทศ จุฬามณี. 2544. **เรื่องการอพยพคนลงจากอาคารสูง**. *เซฟตี้ไลฟ์แมกซีน* 45: 40-50.

สุรินทร์ สุจินต์ธรรมสาร. 2549. การออกแบบป้องกันอัคคีภัยสำหรับอาคารสูงโดยใช้
แบบจำลองพลศาสตร์อัคคีภัย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Korhonen and Hostikka. 2008. **FDS+Evac Technical Reference + User's Guide**. VTT
Technical Research Centre of Finland. Available Source: <http://www.fds-smv.net/>,
June 23, 2008.

Korhonen and Hostikka. 2008. **Development and validation of FDS+Evac for evacuation
simulations**. VTT Technical Research Centre of Finland. Available Source:
<http://www.fds-smv.net/>, June 23, 2008.

Helbing. 1995. **Social Force model for pedestrian dynamics**. VTT Technical Research Centre
of Finland. Available Source: <http://www.fds-smv.net/>, August 26, 2007

Ladwig, T. 1991. **Industrial Fire Prevention and Protection**. NY: Van Nostrand Reinhold,
New York.

Latane and Darley. 1995. **The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 2nd ed.**
National Fire Protection Association, One Batterymarch Park, Quincy, MA 02269-
9101,U.S.A.

Levin. 1995. **The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 2nd ed.** National Fire
Protection Association, One Batterymarch Park, Quincy, MA 02269-9101,U.S.A.

MacLennan. 1995. **The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 2nd ed.** National
Fire Protection Association, One Batterymarch Park, Quincy, MA 02269-9101,U.S.A.

National Fire Protection Association. 1998. **NFPA 92A Recommended Practice for smoke
control system**. National Fire Protection Association, Quincy, Massachusetts.

National Fire Protection Association. 1999. **NFPA 72 National Fire Alarm Code 1999**

Edition. National Fire Protection Association, Quincy, Massachusetts.

_____. 2002a. **NFPA 550 Guide to the Fire Safety Concepts**

_____. 2002b. **Tree 2002 edition.** National Fire Protection Association, Quincy, Massachusetts.

_____. 2006. **NFPA 101 Life safety code 2006 edition.** National Fire Protection Association, Quincy, Massachusetts.

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

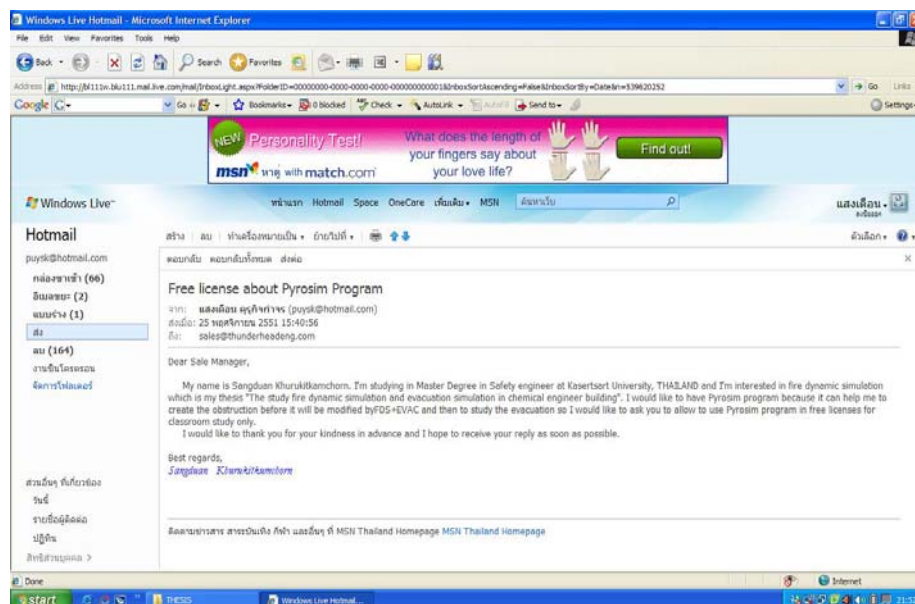
Ozel. 1995. **The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. 2nd ed.** National Fire Protection Association, One Batterymarch Park, Quincy, MA 02269-9101,U.S.A.

Quintiere, J. G. 1998. **Principles of Fire Behavior.** Thomsom Learning, Inc., United States of America.

ภาคผนวก

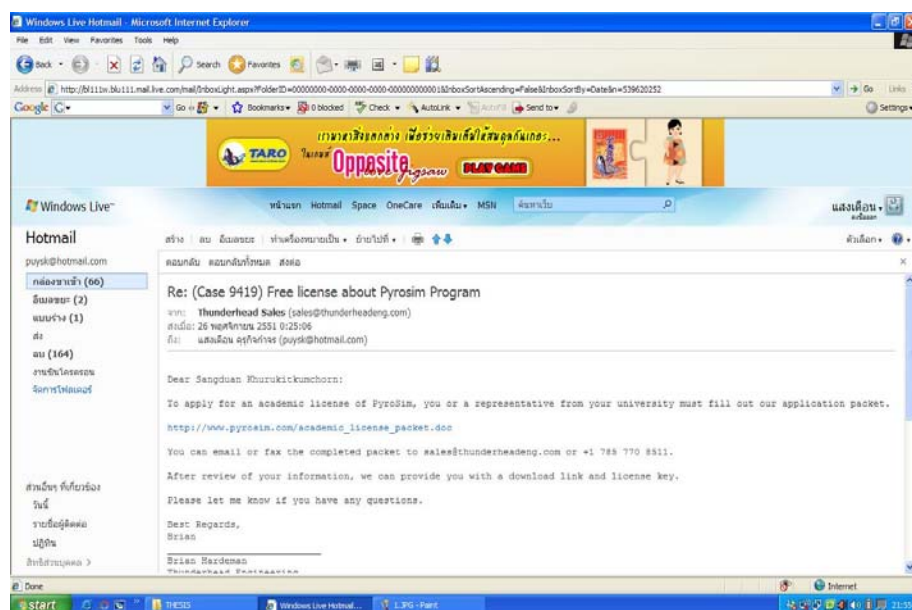
ภาคผนวก ก
การลงโปรแกรม Pyrosim

ขั้นตอนที่ 1 การขออนุญาตใช้โปรแกรม PyroSim จากเจ้าของลิขสิทธิ์ thunderheadeng.com



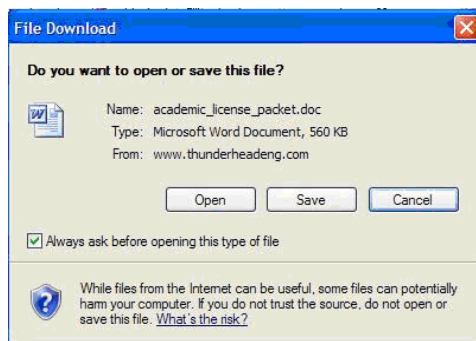
ภาพผนวกที่ ก1 การขอใช้โปรแกรม PyroSim

ขั้นตอนที่ 2 แสดงการตอบรับอนุญาตการใช้โปรแกรม PyroSim ในการศึกษาจากเจ้าของลิขสิทธิ์



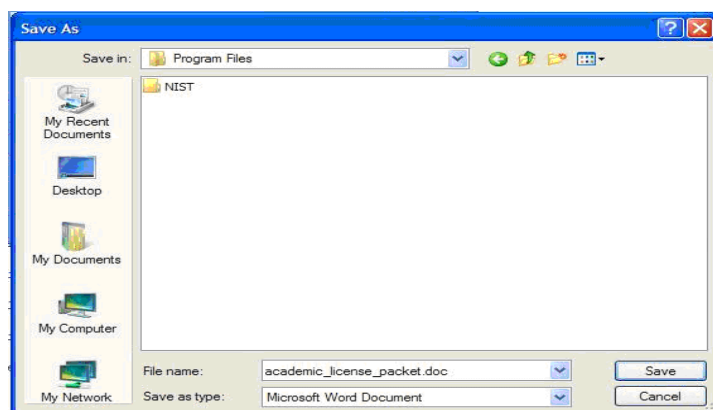
ภาพผนวกที่ ก2 การตอบรับการขอใช้โปรแกรม PyroSim

ขั้นตอนที่ 3 การบันทึกโปรแกรม PyroSim



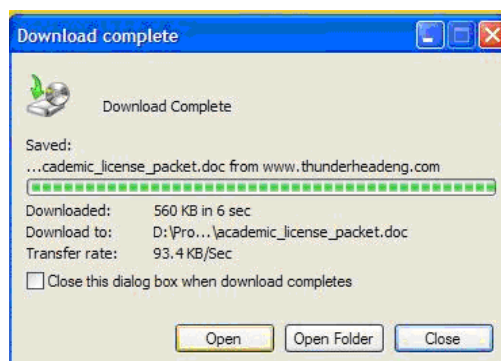
ภาพผนวกที่ ก3 การ Save โปรแกรม PyroSim

ขั้นตอนที่ 4 การระบุตำแหน่งของโปรแกรม PyroSim ที่ต้องการจัดเก็บ



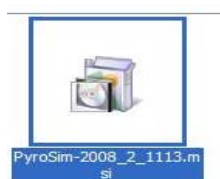
ภาพผนวกที่ ก4 การระบุตำแหน่งของโปรแกรม PyroSim ที่ต้องการจัดเก็บ

ขั้นตอนที่ 5 การ Download โปรแกรม PyroSim



ภาพผนวกที่ ก5 การ Download โปรแกรม PyroSim เสร็จ

ขั้นตอนที่ 7 โปรแกรม PyroSim-2008_2_1113.msi ที่ Download จากเว็บไซต์



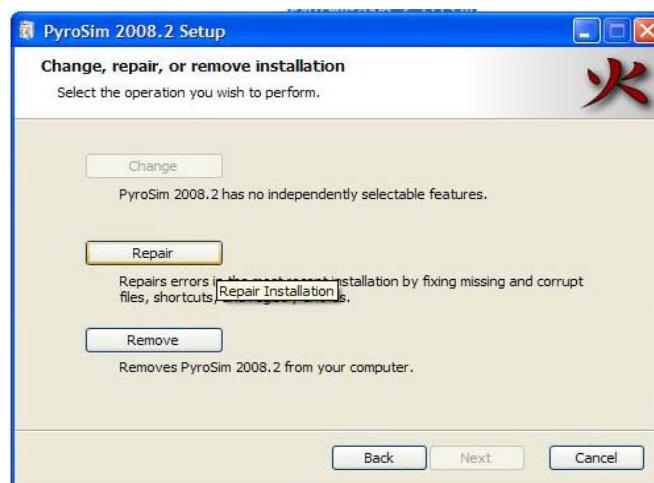
ภาพผนวกที่ ก6 โปรแกรม Pyrosim

ขั้นตอนที่ 8 ทำการติดตั้งโปรแกรม PyroSim 2008.2 คลิก Next



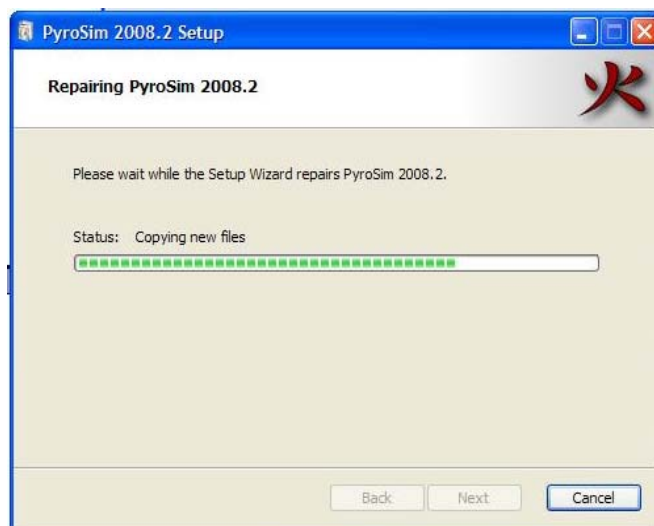
ภาพผนวกที่ ก7 ติดตั้งโปรแกรม PyroSim

ขั้นตอนที่ 9 เลือก Repair เพื่อทำการติดตั้ง



ภาพผนวกที่ ก8 เลือกระบบปฏิบัติการที่ต้องการ

ขั้นตอนที่ 10 ติดตั้งโปรแกรม PyroSim แบบ Repairing PyroSim 2008.2



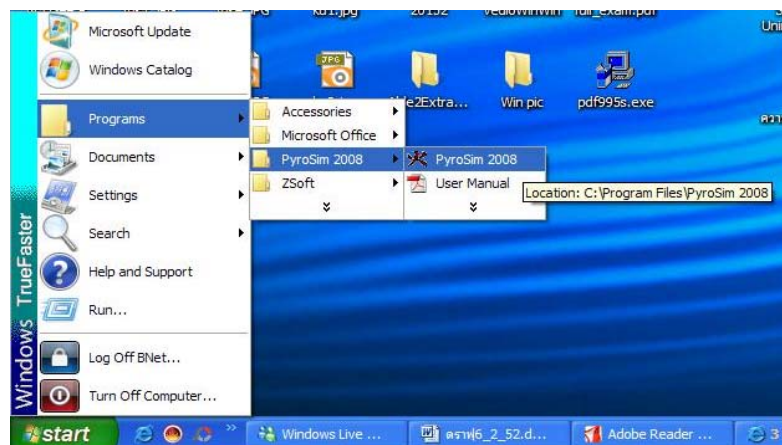
ภาพผนวกที่ ก9 ติดตั้งโปรแกรม PyroSim

ขั้นตอนที่ 11 ติดตั้งโปรแกรม PyroSim 2008.2 แล้วเสร็จ คลิก Finish



ภาพผนวกที่ ก10 การติดตั้งโปรแกรม PyroSim แล้วเสร็จ

ขั้นตอนที่ 12 ตรวจสอบการลงโปรแกรมเลือกเมนู Start เลือก Programs เลือก PyroSim 2008



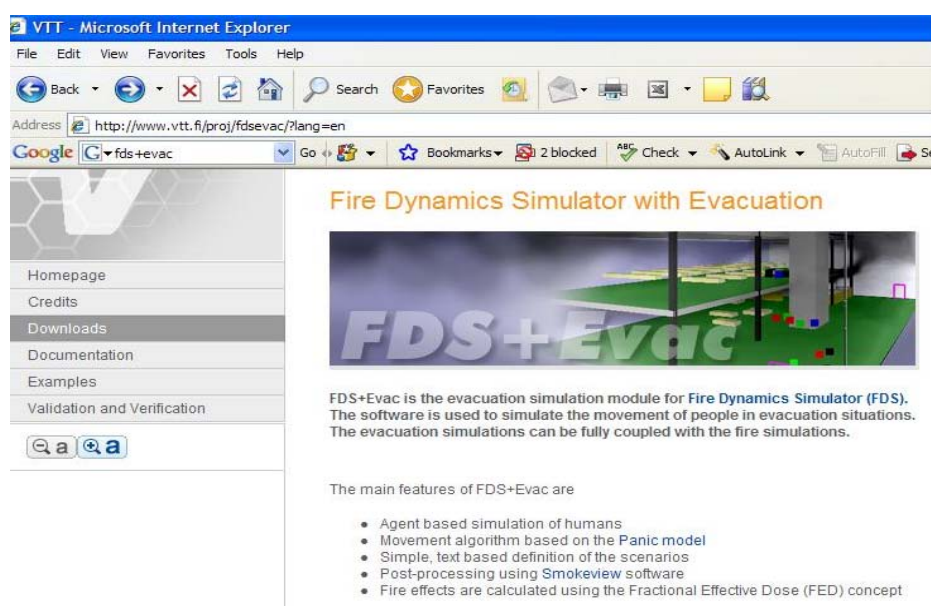
ภาพผนวกที่ ก11 การตรวจสอบการติดตั้งโปรแกรม PyroSim

ภาคผนวก ข
การลงโปรแกรม FDS+Evac

ขั้นตอนการติดตั้งและการทำงานของโปรแกรม FDS+Evac

1.1 การ Download โปรแกรม FDS+Evac (FDS-SMV files.)

ขั้นตอนที่ 1 เข้าเว็บไซต์ www.vtt.fi/proj/fdsevac/ และทำการ Download



ภาพผนวกที่ ข1 การเข้าเว็บไซต์เพื่อ Download โปรแกรม FDS+Evac

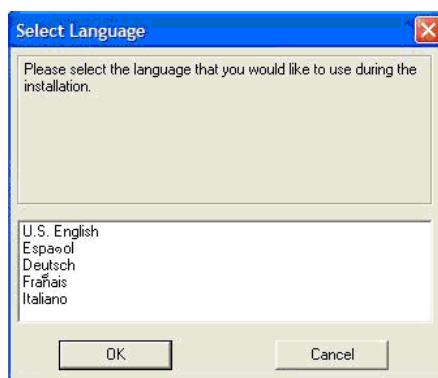
ขั้นตอนที่ 2 เลือก FDS_ 5.2.0_ SMV_ 5.2.2_ Windows.EXE เพื่อทำการ Download ไฟล์

Filename	Summary + Labels	Release	Type	Uploaded	Size	Op Sys	Download
FDS_5.0.0-SMV_5.0.1_Linux.tgz	FDS 5.0.0 - SMV 5.0.1 for Linux Deprecated	1_Major	Archive	Oct 2007	11.1 MB	Linux	876
FDS_5.0.0-SMV_5.0.1_OSX.zip	FDS 5.0.0 - SMV 5.0.1 for OSX Deprecated	1_Major	Archive	Oct 2007	12.9 MB	OSX	734
FDS_5.0.0-SMV_5.0.1_Windows.EXE	FDS 5.0.0 - SMV 5.0.1 for Windows Deprecated	1_Major	Installer	Oct 2007	8.8 MB	Windows	20915
FDS_5.0.0_Source_Archive.zip	FDS 5.0.0 Source Archive Deprecated	1_Major	Source	Oct 2007	409 KB	All	646
fds2ascii_1.0.0_osx_intel.zip	fds2ascii 1.0.0 Utility for OSX Intel not included in bundle Deprecated	1_Major	Archive	Oct 2007	237 KB	OSX	67
fds_5.0.0_osx_intel.zip	fds_5.0.0_osx_intel to replace incorrect RC8 version in FDS_5.0.0-SMV_5.0.1 bundle. Deprecated	1_Major	Archive	Oct 2007	1.7 MB	OSX	8
smv5_libs_0117_2009.tar.gz	smokeview external libraries (32/64 intel-linux, 32 gcc-linux, 32 intel-osx) 1/17/2009 Deprecated	1_Major	Archive	Jan 17	2.2 MB	All	4
FDS_5.1.0-SMV_5.0.7_Linux.tgz	FDS 5.1.0 - SMV 5.0.7 for Linux Deprecated	2_Minor	Archive	Jan 2008	11.3 MB	Linux	1494
FDS_5.1.0-SMV_5.0.7_OSX.zip	FDS 5.1.0 - SMV 5.0.7 for OSX Deprecated	2_Minor	Archive	Jan 2008	17.7 MB	OSX	1237
FDS_5.1.0-SMV_5.0.7_Windows.EXE	FDS 5.1.0 - SMV 5.0.7 for Windows Deprecated	2_Minor	Installer	Jan 2008	9.0 MB	Windows	31292
FDS_5.2.0-SMV_5.2.2_Linux.tgz	FDS 5.2.0 - SMV 5.2.2 for Linux Deprecated	2_Minor	Archive	Aug 01	12.7 MB	Linux	1876
FDS_5.2.0-SMV_5.2.2_OSX.zip	FDS 5.2.0 - SMV 5.2.2 for OSX Deprecated	2_Minor	Archive	Aug 01	15.4 MB	OSX	1404
FDS_5.2.0-SMV_5.2.2_Windows.EXE	FDS 5.2.0 - SMV 5.2.2 for Windows Deprecated	2_Minor	Installer	Aug 01	13.2 MB	Windows	36193
FDS_5.3.0-SMV_5.3.10_Linux.tgz	FDS and Smokeview Release Bundle for Linux (SVN r3193) Featured	2_Minor	Archive	22 hours ago	20.5 MB	Linux	38
FDS_5.3.0-SMV_5.3.10_OSX.zip	FDS and Smokeview Release Bundle for OSX (SVN r3193) Featured	2_Minor	Archive	2 days ago	19.1 MB	OSX	75
FDS_5.3.0-SMV_5.3.10_Windows.exe	FDS and Smokeview Installation Packages for Windows (SVN r3193) Featured	2_Minor	Installer	2 days ago	13.8 MB	Windows	525

ภาพผนวกที่ ข2 การเลือก Version ของโปรแกรม FDS+Evac

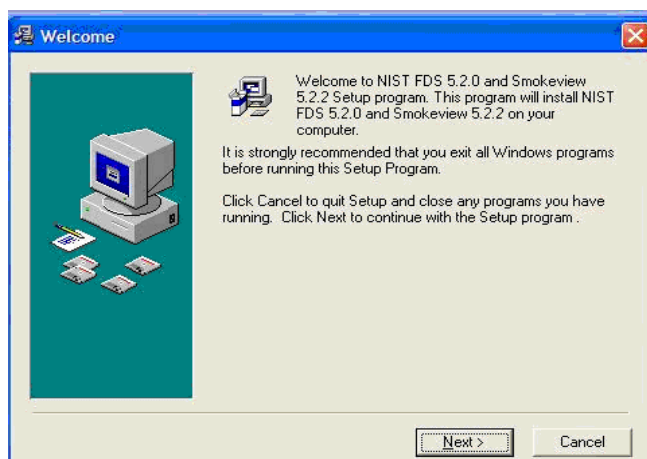
1.2 การติดตั้งโปรแกรม FDS+Evac เพื่อใช้งาน

ขั้นตอนที่ 1 เลือกไอคอน FDS_ 5.2.0_ SMV_ 5.2.2_ Windows.EXE จะปรากฏหน้าต่าง เลือกภาษา และคลิกเลือก Next



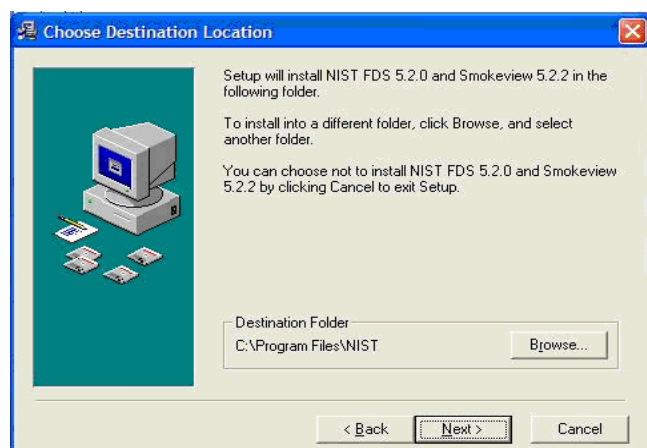
ภาพผนวกที่ ข3 การเลือกภาษาที่ใช้ในการติดตั้ง

ขั้นตอนที่ 2 หน้าจอแสดงสถานะจะดำเนินการติดตั้งโปรแกรม FDS 5.2.0 and Smokeview 5.2.2 คลิกเลือก Next



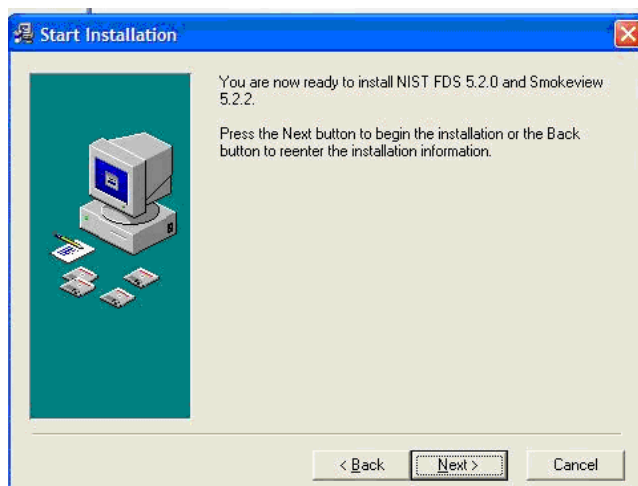
ภาพผนวกที่ ข4 การเริ่มการติดตั้งโปรแกรม FDS+Evac

ขั้นตอนที่ 3 ระบุปลายทางที่จะติดตั้งโปรแกรมโดยกำหนดให้เป็นที่ไดร์ C เมื่อยืนยันเลือก Next



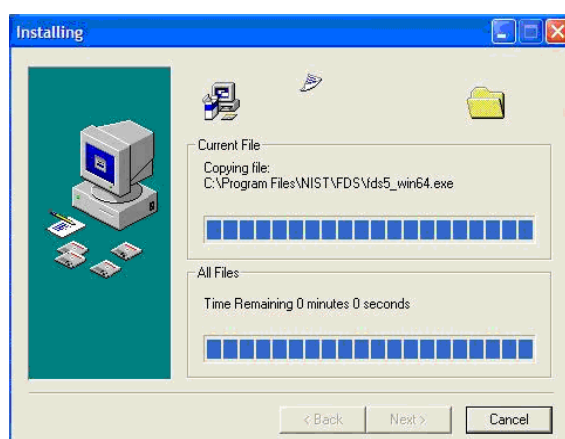
ภาพผนวกที่ ข5 การระบุตำแหน่งปลายทางที่ต้องการติดตั้ง

ขั้นตอนที่ 4 โปรแกรมจะเริ่มทำการติดตั้ง คลิกเลือก Next



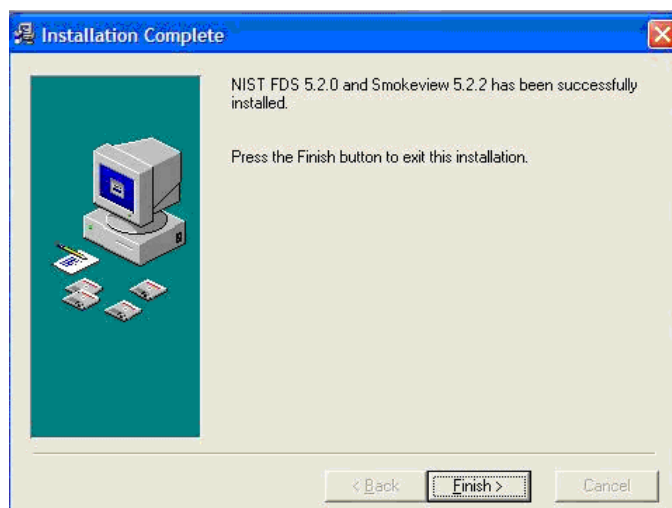
ภาพผนวกที่ ข6 การยืนยันก่อนการติดตั้งโปรแกรม Fds+Evac

ขั้นตอนที่ 5 ดำเนินการติดตั้งโปรแกรม FDS+Evac



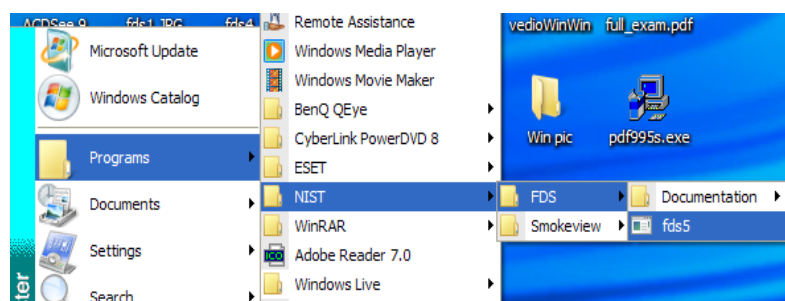
ภาพผนวกที่ ข7 การติดตั้งโปรแกรม FDS+Evac

ขั้นตอนที่ 6 หลังจากเสร็จสิ้นการติดตั้งแล้วเสร็จเลือก Finish เสร็จสิ้นการติดตั้ง



ภาพผนวกที่ ข8 การติดตั้งโปรแกรม FDS+Evac แล้วเสร็จ

1.3 ตรวจสอบการติดตั้งโปรแกรม FDS+Evac



ภาพผนวกที่ ข9 ตรวจสอบการติดตั้งโปรแกรม FDS+Evac

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางแสงเดือน กุรุกิจกำจร
วัน เดือน ปี ที่เกิด	16 ธันวาคม 2521
สถานที่เกิด	จังหวัดนครราชสีมา
ประวัติการศึกษา	วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาอนามัยสิ่งแวดล้อม
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	เจ้าหน้าที่ความปลอดภัย
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	สถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน(องค์การมหาชน)