



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมความปลอดภัย)

ปริญญา

วิศวกรรมความปลอดภัย

โครงการสหวิทยาการระดับบัณฑิตศึกษา

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การจำลองสถานการณ์เพลิงไหม้และการอพยพ: กรณีศึกษาโรงเรียนอนุบาล

The Simulation of Fire Dynamics and Evacuation: A Case Study in Kindergarten

นามผู้วิจัย นายภูเมศวร์ หิริวัฒนวงศ์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์มนตรี พิรุณเกษตร, วศ.ม.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(รองศาสตราจารย์ธงไชย ศรีนพคุณ, Ph.D.)

ประธานสาขาวิชา

(รองศาสตราจารย์พิรุทธิ์ ชาญเศรษฐ์กุล, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การจำลองสถานการณ์เพลิงไหม้และการอพยพ: กรณีศึกษาโรงเรียนอนุบาล

The Simulation of Fire Dynamics and Evacuation: A Case Study in Kindergarten

โดย

นายภูเมศวร์ หิริวัฒนวงศ์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมความปลอดภัย)

พ.ศ. 2552

ภูเมศวร์ หิริวัฒนวงศ์ 2552: การจำลองสถานการณ์เพลิงไหม้และการอพยพ: กรณีศึกษา
โรงเรียนอนุบาล ประิณญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมความปลอดภัย) สาขาวิศวกรรม
ความปลอดภัย โครงการสหวิทยาการระดับบัณฑิตศึกษา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก:
รองศาสตราจารย์มนตรี พิรุณเกษตร, วศ.ม. 173 หน้า

การจำลองสถานการณ์เพลิงไหม้และการอพยพในโรงเรียนอนุบาลโดยใช้โปรแกรมสร้างภาพจำลอง
เสมือนจริงด้านพลศาสตร์อวกาศและการจำลองการอพยพ (Fire Dynamics Simulator with Evacuation;
FDS+Evac) เป็นการศึกษาพฤติกรรมของการอพยพ และคาดการณ์เวลาอพยพของผู้ที่อยู่ในอาคารเรียน โดยมีการ
กำหนดองค์ประกอบต่างๆของอาคารขึ้นมา ในการจำลองนี้ได้สร้างโมเดลขึ้น 2 กลุ่ม ซึ่งในกลุ่มที่ 1 เป็นกลุ่ม
ที่มีลักษณะของห้องเรียนเป็นแบบห้องทึบ ติดตั้งเครื่องปรับอากาศ ไม่มีการเปิดหน้าต่างและกลุ่มที่ 2 เป็นกลุ่ม
ที่มีลักษณะของห้องเรียนเป็นแบบห้องโปร่งไม่ติดตั้งเครื่องปรับอากาศ มีการเปิดหน้าต่าง

ในกลุ่มที่ 1 มีทั้งหมด 3 กรณีคือ กรณีที่ 1 ถึง 3 โดยกรณีที่ 1 กำหนดให้มีผู้อพยพในอาคารทั้งหมด 384
คน และมีทางออก 2 ทาง กรณีที่ 2 กำหนดให้มีผู้อพยพในอาคารทั้งหมด 228 คนตามการคำนวณความจุคนต่อ
พื้นที่ในแต่ละชั้นตามมาตรฐาน NFPA 101 และมีทางออก 2 ทาง กรณีที่ 3 กำหนดให้มีผู้อพยพในอาคาร
ทั้งหมด 384 คน มีทางออก 2 ทาง และมีบันไดหนีไฟนอกอาคารเพิ่มขึ้น 1 บันได และในกลุ่มที่ 2 มีทั้งหมด
3 กรณีเช่นกันคือ กรณีที่ 4 ถึง 6 สำหรับกรณีที่ 4 กำหนดให้มีผู้อพยพในอาคารทั้งหมด 384 คนและมีทางออก
2 ทาง กรณีที่ 5 กำหนดให้มีผู้อพยพในอาคารทั้งหมด 228 คนตามการคำนวณความจุคนต่อพื้นที่ในแต่ละชั้น
ตามมาตรฐาน NFPA 101 และมีทางออก 2 ทาง กรณีที่ 6 กำหนดให้มีผู้อพยพในอาคารทั้งหมด 384 คน
มีทางออก 2 ทาง และมีบันไดหนีไฟนอกอาคารเพิ่มขึ้น 1 บันได ผลที่ได้จากการจำลองสถานการณ์ทั้ง 6 กรณี
จะเปรียบเทียบโดยกฎหมายประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่อง การป้องกันและระงับอัคคีภัยในสถาน
ประกอบการเพื่อความปลอดภัยในการทำงานสำหรับลูกจ้าง ซึ่งกำหนดไว้ว่า จะต้องอพยพออกจากบริเวณที่
ทำงานสู่ทางออกสุดท้ายได้ ภายในเวลาไม่มากกว่า 5 นาที (300 วินาที) โดยกรณีที่ 1 ใช้เวลาในการอพยพทั้งสิ้น
397 วินาที ซึ่งเกินที่กฎหมายกำหนด กรณีที่ 2 ใช้เวลาในการอพยพทั้งสิ้น 287 วินาที อยู่ในเกณฑ์ที่กฎหมาย
กำหนด กรณีที่ 3 ใช้เวลาในการอพยพทั้งสิ้น 281 วินาที อยู่ในเกณฑ์ที่กฎหมายกำหนด กรณีที่ 4 ใช้เวลาในการ
อพยพทั้งสิ้น 390 วินาที ซึ่งเกินที่กฎหมายกำหนด กรณีที่ 5 ใช้เวลาในการอพยพทั้งสิ้น 263 วินาที อยู่ในเกณฑ์ที่
กฎหมายกำหนด กรณีที่ 6 ใช้เวลาในการอพยพทั้งสิ้น 266 วินาที อยู่ในเกณฑ์ที่กฎหมายกำหนด จากการจำลอง
ทั้ง 2 กลุ่มทำให้ทราบว่าวันไฟมีผลต่อการอพยพซึ่งหากปริมาณควันไฟที่สะสมอยู่ในอาคารมากจะทำให้การ
มองเห็นลดลงและทำให้การเคลื่อนที่ช้าลง ดังนั้นกลุ่มของอาคารที่มีการเปิดหน้าต่างจึงอพยพโดยใช้เวลาน้อย
กว่า และจากผลของพฤติกรรมอพยพนั้นสามารถใช้ในการวางแผนทางการพัฒนาวิธีการอพยพให้มี
ประสิทธิภาพและมีความปลอดภัยมากยิ่งขึ้นได้

Bhumesh Hiriwattanawong 2009: The Simulation of Fire Dynamics and Evacuation: A Case Study in Kindergarten. Master of Engineering (Safety Engineering), Major Field: Safety Engineering, Interdisciplinary Graduate Program. Thesis Advisor: Associate Professor Montri Pirunkaset, M.E. 173 pages.

In order to study the fire dynamics and evacuation in kindergarten, fire dynamics with evacuation option (FDS+Evac) played a major role to analyze evacuation time and behaviors under the building configuration. Two types of model simulation have been designed with six case studies. The first type is the classroom with air-conditioner and closed windows. The second type is the classroom with open windows and without air-conditioner.

The first case of type 1 was modeled to evacuate all 384 people in the building with two final exits, the second case was modeled to evacuate all 228 people in the building with two final exits in accordance with the calculation of the density per area of each floor by the NFPA 101 standard, and the third case was modeled to evacuate all 384 people in the building with two final exits and a left side escape stairs of the building. In the type 2, the first case was modeled to evacuate all 384 people in the building with two final exits, the second case was modeled to evacuate 228 the people in the building with two final exits in accordance with the calculation the density per area of each floor by the NFPA 101 standard, and the third case was modeled to evacuate all 384 people in the building with two final exits and a left side escape stairs of the building. The announcement of Ministry of Interior stated that the escape from the working area to the final exits must be completed no more than 5 minutes, the results of these simulated models were to be compared. Accordingly, the first case of simulation in type 1 took 397 seconds which was beyond the law's obligation while the second and the third simulations took 287 and 281 seconds, respectively in accordance with the law's regulation. In the type 2, the first case of simulation took 390 seconds which was beyond the law's obligation while the second and the third simulations took 263 and 266 seconds, respectively in accordance with the law's regulation. From simulation, both of two types in the model results that the smoke influences on the evacuation behavior. The quantities of smoke limit the vision. So, the movement is slowdown. The second type of open window classroom used less time to evacuate. From the results of evacuated behavior, it was found that these simulations lead to develop the proper method of evacuation and get more efficiency.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

/ /

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณท่านอาจารย์ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์มนตรี พิรุณเกษร และท่านอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม รองศาสตราจารย์ ดร.ชงไชย ศรีนพคุณ ที่ได้สั่งสอน ชี้แนะแนวทางการทำวิจัย ตลอดจนการดูแลให้คำปรึกษา ตรวจสอบแก้ไขจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์และสำเร็จผล และคณาจารย์ทุกท่านในสาขาวิชาวิศวกรรมความปลอดภัยที่สั่งสอนอบรม วิชาความรู้ต่างๆตั้งแต่ต้นจนจบการศึกษา และขอขอบพระคุณท่านอาจารย์ผู้แทนจากบัณฑิตวิทยาลัยที่ให้ความกรุณาตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่โครงการวิศวกรรมความปลอดภัยที่ช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในเรื่องต่างๆ รวมถึงรุ่นพี่และเพื่อนๆวิศวกรรมความปลอดภัยรุ่นที่ 7 ทุกคนโดยเฉพาะกลุ่มคิวที่ ยังเหนียวแน่นกันตลอด เพื่อนวิศวกรรมโยธาคลองหกและเพื่อนที่ไม่ได้เอ่ยนามที่ได้ช่วยเหลือ แนะนำและให้กำลังใจกันมาโดยตลอด

ท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ญาติ พี่ น้อง ที่คอยดูแลเลี้ยงดู ให้การศึกษา กำลั้งใจและอบรม พร้อมทั้งความช่วยเหลือต่างๆ จนสามารถผ่านอุปสรรคมาได้จนทำให้ผู้วิจัยสามารถสำเร็จจนสำเร็จลุล่วงและมีวันนี้

ภูเมศวร์ หิริวัฒนวงศ์
กุมภาพันธ์ 2552

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
ขอบเขตของการวิจัย	3
การตรวจเอกสาร	5
อุปกรณ์และวิธีการ	53
อุปกรณ์	53
วิธีการ	53
ผลและวิจารณ์	68
ผล	68
วิจารณ์	120
สรุปและข้อเสนอแนะ	123
สรุป	123
ข้อเสนอแนะ	126
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	127
ภาคผนวก	130
ภาคผนวก ก การติดตั้งโปรแกรม ขั้นตอนการใช้งานโปรแกรม	131
ภาคผนวก ข แบบจำลองและการสร้างแบบจำลอง	141
ภาคผนวก ค แบบจำลองกรณีกำหนดเวลาในการเริ่มอพยพไม่พร้อมกันในแต่ละชั้น	163
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	173

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	อัตราการพัฒนาของเพลิงสำหรับอาคารประเภทต่างๆ	18
2	การลุกลามของเพลิงไหม้ตามอัตราการปล่อยพลังงานความร้อน	18
3	ค่าความกว้างต่อคน(Capacity Factor) เพื่อกำหนดความกว้างของเส้นทางหนีไฟ	28
4	ค่า Occupancy Load Factor	28
5	ความเร็วในการเดินของคน โดยไม่มีการกีดขวางเปรียบเทียบกับขนาดของร่างกายในรูปแบบของโปรแกรม FDS+Evac	36
6	รายละเอียดของอาคารเรียน	57
7	ผลการจำลองสถานการณ์เพลิงไหม้และการอพยพกรณีที่ 1 กำหนดให้มีผู้อพยพจำนวน 5 คน	70
8	ผลการจำลองสถานการณ์เพลิงไหม้และการอพยพกรณีที่ 2 กำหนดให้มีผู้อพยพจำนวน 384 คนและไม่มีการเปิดหน้าต่าง	75
9	ผลการจำลองสถานการณ์เพลิงไหม้และการอพยพกรณีที่ 3 กำหนดให้มีผู้อพยพจำนวน 228 คนและไม่มีการเปิดหน้าต่าง	81
10	ผลการจำลองสถานการณ์เพลิงไหม้และการอพยพกรณีที่ 4 กำหนดให้มีผู้อพยพจำนวน 384 คน ไม่มีการเปิดหน้าต่างและมีบันไดหนีไฟเพิ่ม 1 บันได	87
11	ผลการจำลองสถานการณ์เพลิงไหม้และการอพยพกรณีที่ 5 กำหนดให้มีผู้อพยพจำนวน 384 คนและมีการเปิดหน้าต่าง	93
12	ผลการจำลองสถานการณ์เพลิงไหม้และการอพยพกรณีที่ 6 กำหนดให้มีผู้อพยพจำนวน 228 คนและมีการเปิดหน้าต่าง	99
13	ผลการจำลองสถานการณ์เพลิงไหม้และการอพยพกรณีที่ 7 กำหนดให้มีผู้อพยพจำนวน 384 คน มีการเปิดหน้าต่างและมีบันไดหนีไฟเพิ่ม 1 บันได	105

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่

หน้า

ค1	ผลการจำลองสถานการณ์เพลิงไหม้และการอพยพกรณีกำหนดเวลาในการเริ่ม อพยพ ไม่พร้อมกันในแต่ละชั้น กำหนดให้มีผู้อพยพจำนวน 384 คน	164
----	--	-----

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	องค์ประกอบพื้นฐานการเกิดไฟไหม้	7
2	องค์ประกอบการลุกลามของไฟ	8
3	แนวคิดของการวางระบบป้องกันอัคคีภัยของ NFPA 550	10
4	สถาปัตยกรรมกับการป้องกันอัคคีภัย	10
5	ขั้นตอนการเกิดเพลิงไหม้	12
6	ความกดดันบนเพดานห้อง อันเกิดจากการลอยตัวของก๊าซ, PB	19
7	รูปร่างของร่างกายมนุษย์โดยประมาณซึ่งแทนด้วยการนำวงกลม 3 วงมาซ้อนกัน	36
8	การสร้างทางออก หรือ ประตู	37
9	อธิบายการกระทบของคนใน Radial Vectors แต่ละแบบ	43
10	สนามการไหล 2 มิติ ในการนำคนไปสู่ทางออก	44
11	การทดสอบทางเรขาคณิตถูกใช้ในการคำนวณการเคลื่อนที่ผ่านประตูและบันได	46
12	ค่าสัมประสิทธิ์สัมพัทธ์ การจัดอันดับ (RCC) สำหรับการเคลื่อนที่ผ่านประตูและบันไดโดยที่ประตูกว้าง 0.8 เมตรและ 2.0 เมตร และความหนาแน่นของคน 1.0 คน/ตารางเมตรและ 2.0 คน / ตารางเมตร	47
13	ผลกระทบของค่า Parameter ต่างๆที่มีผลต่อการเคลื่อนที่ผ่านทางประตูและบันไดโดยบันไดมีขนาด 2.0 คน/ตารางเมตร และประตูกว้าง 1.0 เมตรและ 2.0 เมตร	48
14	แบบแปลนโครงสร้างอาคารชั้นที่ 1	55
15	แบบแปลนโครงสร้างอาคารชั้นที่ 2	56
16	แบบแปลนโครงสร้างอาคารชั้นที่ 3	56
17	ตัวอย่างการพิมพ์ชุดคำสั่งใน Input Data	61
18	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการอพยพของผู้อพยพทั้งหมดในอาคารต่อเวลา กรณีที่ 1	111

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
19	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการอพยพของผู้อพยพทั้งหมดในอาคาร ต่อเวลา กรณีที่ 2	112
20	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนผู้อพยพแต่ละทางออก ต่อเวลา กรณีที่ 2	112
21	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการอพยพของผู้อพยพทั้งหมดในอาคาร ต่อเวลา กรณีที่ 3	113
22	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนผู้อพยพแต่ละทางออกต่อเวลา กรณีที่ 3	114
23	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการอพยพของผู้อพยพทั้งหมดในอาคาร ต่อเวลา กรณีที่ 4	115
24	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนผู้อพยพแต่ละทางออก ต่อเวลา กรณีที่ 4	115
25	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการอพยพของผู้อพยพทั้งหมดในอาคาร ต่อเวลา กรณีที่ 5	116
26	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนผู้อพยพแต่ละทางออก ต่อเวลา กรณีที่ 5	117
27	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการอพยพของผู้อพยพทั้งหมดในอาคาร ต่อเวลา กรณีที่ 6	118
28	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนผู้อพยพแต่ละทางออก ต่อเวลา กรณีที่ 6	118
29	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการอพยพของผู้อพยพทั้งหมดในอาคาร ต่อเวลา กรณีที่ 7	119
30	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนผู้อพยพแต่ละทางออก ต่อเวลา กรณีที่ 7	120

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
ก1	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการอพยพของผู้อพยพทั้งหมดในอาคารต่อเวลา	171
ก2	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนผู้อพยพแต่ละทางออกต่อเวลา	171

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

FDS+Evac	=	โปรแกรมการจำลองสถานการณ์เพลิงไหม้และการจำลองการอพยพ
FDS	=	Fire Dynamics Simulation
CFD	=	Computation Fluid Dynamics
FDS-SMV	=	Fire Dynamics Simulation and Smokeview
NFPA	=	National Fire Protection Association
VTT	=	Technical Research Center of Finland
NIST	=	National Institute of Standards and Technology
xxx.smv	=	ไฟล์ที่แสดงภาพเคลื่อนไหว
xxx.fds	=	Input file
MESH	=	คำสั่งที่ใช้กำหนดขอบเขตและความละเอียดของโมเดล
TIME	=	คำสั่งที่ใช้กำหนดระยะเวลาในการจำลองสถานการณ์
SURF	=	คำสั่งที่ใช้กำหนดพื้นผิวของวัตถุ
VENT	=	คำสั่งที่ใช้ในการกำหนดคั่นเพลิง
OBST	=	คำสั่งที่ใช้สร้างวัตถุ
HOLE	=	คำสั่งที่ใช้ในการทำวัตถุให้เป็นช่อง
PERS	=	คำสั่งในการกำหนดคุณสมบัติของผู้อพยพ
EVAC	=	คำสั่งที่เกี่ยวกับการอพยพ
EVHO	=	คำสั่งที่ไม่ให้คนเข้าใกล้เพลิง
EXIT	=	คำสั่งที่ใช้ระบุทางออก
ENTR	=	คำสั่งที่กำหนดให้คนออกจากประตู
DOOR	=	คำสั่งที่กำหนดให้คนเข้าไปที่ประตู
CORR	=	คำสั่งที่ใช้กำหนดช่องทางเดิน
heat release rate	=	พิกัดการคายความร้อน
Capacity Factor	=	ค่าความกว้างต่อคน มีหน่วยเป็น มิลลิเมตรต่อคน
Gross Area	=	พื้นที่ในแต่ละชั้นที่ไม่ได้หักลบเสา ผนังหรือตู้ โต๊ะ ขนาดใหญ่
Net Area	=	พื้นที่ในแต่ละชั้นที่ หักลบเสา ผนังหรือตู้ โต๊ะ ขนาดใหญ่

การจำลองสถานการณ์เพลิงไหม้และการอพยพ: กรณีศึกษาโรงเรียนอนุบาล

The Simulation of Fire Dynamics and Evacuation: A Case Study in Kindergarten

คำนำ

เหตุการณ์ไฟไหม้โรงเรียนที่พบเห็นกันบ่อยในปัจจุบัน ทั้งในกรุงเทพฯ ปริมณฑลและในต่างจังหวัด ทั้งที่เกิดจากการกระทำที่ตั้งใจและการกระทำที่ไม่ตั้งใจ เช่น การลอบวางเพลิงหรือไฟฟ้าลัดวงจร ล้วนเป็นสิ่งที่ทำให้เกิดความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สินอย่างรุนแรงทั้งสิ้น ซึ่งต้องเสียค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซม โรงเรียน อาคาร ถ้าหากเกิดเพลิงไหม้รุนแรงจนไม่สามารถควบคุมได้ ก็อาจจะต้องเสียโรงเรียนไปทั้งหลัง ยิ่งถ้าเกิดเหตุการณ์ร้ายแรงไปกว่านั้น มีเด็กนักเรียนต้องเสียชีวิตจากเหตุการณ์ไฟไหม้ ผลกระทบจะสะท้อนไปถึงโรงเรียนว่าถ้าส่งลูกหลานไปเรียนยังโรงเรียนแห่งนั้นแล้ว ในโรงเรียนจะมีความปลอดภัยมากหรือน้อยเพียงไร ทั้งนี้ทั้งนั้นก็ขึ้นอยู่กับการออกแบบโรงเรียนนั้นๆ ด้วยว่า มีการออกแบบที่ได้คำนึงมาตรฐานด้านการป้องกันอัคคีภัยไว้อย่างไรบ้าง เมื่อเกิดเหตุเพลิงไหม้ขึ้นแล้วนักเรียนสามารถอพยพหนีไฟจากห้องเรียนมายังที่ปลอดภัยได้ทันเวลาหรือไม่ เช่น จากตัวอย่างข่าว พิจิตร - เพลิงไหม้อาคารเรียนอายุกว่า 50 ปี เสียหายมูลค่ากว่า 2 ล้านบาท กองพิสูจน์หลักฐานเขต 3 สันนิษฐานไฟฟ้าลัดวงจร หลังพบว่าเปิดพัดลมทิ้งไว้ - สวิตช์ควบคุมพัดลมไม่ได้มาตรฐาน ที่มา newspeg.com วันที่ 22 ตุลาคม 2007 และเมื่อวันที่ 30 มีนาคม 2551 ร.ต.ต.ทินกร มณีรัตน์ ร้อยเวรสอบสวน สภ.เมืองตรัง ได้รับแจ้งว่าเกิดเหตุเพลิงไหม้ภายในอาคารเรียน โรงเรียนวัดสาริการาม (วัดไส้กา) หมู่ที่ 9 ตำบลโคกหล่อ อำเภอเมืองตรัง ซึ่งเป็นโรงเรียนในระดับประถมศึกษา โดยสถานที่เกิดเหตุเพลิงไหม้นั้นเป็นอาคารชั้นเดียว มีจำนวนห้องเรียนทั้งหมด 5 ห้อง โดยห้องที่เกิดเพลิงไหม้เป็นห้องที่ 5 ตั้งอยู่ริมขวาสุดของตัวอาคาร และตั้งอยู่ติดกับโรงอาหาร ซึ่งใช้เป็นห้องเรียนสำหรับเด็กระดับชั้นอนุบาล หรือเด็กปฐมวัย โดยได้เพลิงลุกไหม้เป็นระยะเวลาานเกือบ 20 นาที เจ้าหน้าที่จึงสามารถควบคุมเพลิงทั้งหมดเอาไว้ได้จากตรวจสอบภายในห้องเรียนดังกล่าวพบว่า มีอุปกรณ์การเรียนการสอนที่เป็นเชื้อเพลิงอย่างดี เช่น หนังสือเรียน โต๊ะ และเก้าอี้ ซึ่งเป็นวัสดุที่ทำด้วยไม้ทั้งหมด รวมทั้งอุปกรณ์เสริมทักษะสำหรับเด็กเล็ก เบื้องต้นทราบว่าเพลิงได้เริ่มลุกไหม้จากที่บริเวณหน้าต่างริมสุด ซึ่ง สันนิษฐานว่าสาเหตุอาจจะเกิดมาจากไฟฟ้าลัดวงจร ที่มา หนังสือพิมพ์รักษ์ตรัง วันที่ 31 มีนาคม 2551 เป็นต้น

นอกจากกฎหมายควบคุมอาคารฉบับต่างๆ ที่ใช้บังคับสำหรับอาคารแต่ละประเภทแล้ว หลักเกณฑ์และมาตรฐานด้านการป้องกันและระงับอัคคีภัยอื่นๆ ที่ใช้ในการออกแบบทางสถาปัตยกรรมนั้นก็เป็นสิ่งสำคัญที่จะกำหนดระยะสัจจรต่างๆ ของอาคารแต่ละประเภทนั้นต้องมีระยะหรือจำนวนเท่าไรถึงจะเพียงพอและปลอดภัยต่อจำนวนผู้ที่อยู่ในอาคารนั้นๆ เช่น ต้องมีระยะทางเดินกว้างเท่าไร บันไดจำนวนกี่บันไดและมีขนาดความกว้างเท่าไร ขนาดประตูสำหรับห้องแต่ละห้องที่มีจำนวนผู้ใช้งานต่างๆ กัน ควรมีขนาดกว้างเท่าไร เป็นต้น ซึ่งองค์ประกอบเหล่านี้เป็นสิ่งที่สถาปนิกผู้ออกแบบต้องนำไปใช้ในการออกแบบเพื่อความปลอดภัย สำหรับในโรงเรียนก็เช่นเดียวกัน ผู้ออกแบบก็ต้องนำมามาตรฐานและกฎเกณฑ์ต่างๆ นั้นมาใช้ยังถ้าเป็นโรงเรียนสำหรับเด็กเล็กแล้วยังต้องนำมามาตรฐานในด้านการป้องกันและระงับอัคคีภัยในโรงเรียนที่ใช้สำหรับเด็กมาทำการออกแบบ เพื่อเวลาที่เกิดเพลิงไหม้การอพยพของนักเรียนและครูนั้นจะสามารถ อพยพออกมาได้อย่างปลอดภัย ไม่เบียด คับแคบหรือแย่งกันออกจากอาคาร

ในปัจจุบันมีเครื่องมือที่สามารถนำมาใช้จำลองสถานการณ์ต่างๆ ได้ หนึ่งในนั้นมีโปรแกรมสร้างภาพจำลองเสมือนจริงด้านพลศาสตร์อัคคีภัย (Fire Dynamics Simulator; FDS) โปรแกรมนี้ถูกนำมาใช้เพื่อจำลองสถานการณ์และเหตุการณ์การเกิดเพลิงไหม้ในกรณีต่างๆ อย่างแพร่หลาย โดยนำข้อมูลต่างๆ มาศึกษาการลุกลามและการเคลื่อนที่ของไฟ การเคลื่อนที่ของควันไฟ การนำความร้อน การพาความร้อนและการแผ่รังสีความร้อน เพื่อนำไปวิเคราะห์แนวทางการแก้ไขปัญหาต่างๆ เช่น การเตรียมการอพยพคนออกจากอาคารเมื่อเกิดเพลิงไหม้ เปรียบเทียบคุณสมบัติของวัสดุในการติดไฟเพื่อที่จะได้เลือกใช้วัสดุที่มีความสามารถทนไฟและไม่เกิดควันไฟได้ดีที่สุด หรือนำมาใช้ในการออกแบบอุปกรณ์ดับเพลิงและระบบป้องกันเพลิงไหม้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

โครงการวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการนำโปรแกรมสร้างภาพจำลองเสมือนจริงด้านพลศาสตร์อัคคีภัยและการจำลองการอพยพ (Fire Dynamics Simulator with Evacuation; FDS+Evac) มาประยุกต์ใช้ในการสร้างและศึกษาแบบจำลองการอพยพของเด็กนักเรียนในโรงเรียนอนุบาลออกจากอาคารเรียน เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ลักษณะทางสถาปัตยกรรมของอาคาร โรงเรียนว่ามีผลต่อเวลาในการอพยพมากน้อยเพียงไร ซึ่งจะทำให้สามารถคาดคะเนเวลาที่จะใช้ในการอพยพและลักษณะการอพยพในสถานการณ์ต่างๆ ได้ รวมถึงทำให้ทราบจุดที่เป็นปัญหาที่ต้องแก้ไขในการออกแบบอาคารเรียนหรืออาคารอื่นๆ รวมถึงส่วนประกอบทางด้านสถาปัตยกรรมอื่นๆ เพื่อให้มีความปลอดภัยมากยิ่งขึ้น

วัตถุประสงค์

1. เพื่อประยุกต์การสร้างภาพจำลองเสมือนจริงด้านอัคคีภัยและการจำลองการอพยพโดยใช้โปรแกรม Fire Dynamics Simulator with Evacuation (FDS+Evac) ในการศึกษาและวิเคราะห์พฤติกรรมการอพยพของเด็กนักเรียนในโรงเรียนอนุบาล
2. เพื่อวิเคราะห์และปรับปรุงลักษณะทางสถาปัตยกรรมเพื่อให้ความสามารถในการอพยพเป็นไปตามกฎหมาย ข้อกำหนดและมาตรฐานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการป้องกันและระงับอัคคีภัยและการอพยพ
3. เพื่อนำผลที่ได้จากโปรแกรมมาจัดทำแผนการอพยพหนีไฟสำหรับโรงเรียนอนุบาลได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ขอบเขตของการวิจัย

1. เป็นการสร้างแบบจำลองและวิเคราะห์ปัญหาการอพยพด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป FDS+Evac เท่านั้น
2. การสร้างแบบจำลองการอพยพนักเรียนออกจากห้องเรียน โดยเป็นอาคารเรียนคอนกรีตเสริมเหล็ก มีความสูง 3 ชั้น ความกว้าง 6.60 เมตร ยาว 31.80 เมตร มีพื้นที่ ประมาณ 630 ตารางเมตร ห้องเรียนจำนวน 12 ห้อง ห้องพักรู 6 ห้อง กำหนดลักษณะของผู้ที่อยู่เหตุการณ์เป็นผู้หญิง ผู้ชาย และเด็ก จำนวนทั้งสิ้น 384 คน ซึ่งจำนวนคนทั้งหมดในอาคารเป็นค่ากำหนดขึ้นในการจำลองตามความเหมาะสมของพื้นที่ห้องและไม่มีการนำระบบป้องกันอัคคีภัยหรือระบบดับเพลิงเข้ามาเกี่ยวข้อง

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ทราบพฤติกรรมการอพยพหนีไฟของแต่ละบุคคลแต่ละลักษณะ อุปสรรคที่ทำให้การอพยพไม่เป็นไปตามเวลาที่กฎหมายกำหนด

2. นำผลที่ได้จากการจำลองสถานการณ์มาทำการวิเคราะห์และแก้ไขปัญหา ให้สามารถทำการอพยพได้อย่างปลอดภัยและมีประสิทธิภาพ

3. สามารถนำการสร้างแบบจำลองการอพยพ (FDS+Evac) ไปประยุกต์ใช้กับอาคารหรือสถานที่ในลักษณะอื่นๆได้

4. กระตุ้นให้สถาปนิกผู้ออกแบบลักษณะทางสถาปัตยกรรมให้มีความละเอียดรอบคอบในการออกแบบที่เกี่ยวข้องกับชีวิตและความปลอดภัยของผู้ที่อยู่ในโรงเรียนหรืออาคารอื่นๆให้มากขึ้น

การตรวจเอกสาร

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการจำลองการเกิดเพลิงไหม้ ในช่วงแรกได้มีการพัฒนาประยุกต์ใช้งานโปรแกรม Computational Fluid Dynamics (CFD) ซึ่งเป็นโปรแกรมที่วิศวกรความปลอดภัยนิยมนำมาใช้ในการคำนวณอย่างแพร่หลาย (Karlson and Quintiere, 2000) ซึ่งโปรแกรมนี้ไม่ได้มีความเฉพาะเจาะจงว่าต้องนำไปใช้งานเกี่ยวกับการจำลองเกี่ยวกับการไหลและการถ่ายเทความร้อนเท่านั้น แต่อีกส่วนหนึ่งโปรแกรมนี้อย่างสามารถแสดงถึงการเปลี่ยนสถานะของการเผาไหม้ได้อีกด้วย ซึ่งในปัจจุบัน งานด้านการป้องกันอัคคีภัยสำหรับอาคารมีการให้ความสนใจจึงทำให้มีการพัฒนาซอฟต์แวร์ที่ใช้สำหรับการคำนวณการลุกลามของเพลิงไหม้และพฤติกรรมการหนีไฟของคนบนเส้นทางหนีไฟในอาคาร ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลที่ได้มีความรวดเร็วในการทำนาย คาดการณ์เหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้น (พิชญะ, 2547) ซึ่งความเสี่ยงของผู้อยู่อาศัยภายในอาคารอันตรายที่มักเกิดขึ้น คือ เหตุการณ์เพลิงไหม้ (สุทัศน์, 2544) โดยการศึกษาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับสถาปนิกใช้ในการคำนวณเวลาในการหนีไฟ โดยการวิเคราะห์จากแบบแปลนอาคาร ซึ่งพิจารณาจากเวลาที่เกิดเพลิงไหม้ขึ้นในแต่ละห้องตามเงื่อนไขของสมการที่ถูกกำหนดขึ้นจากกฎหมาย (อัศวิน, 2546) ซึ่งผลจากการทดสอบการใช้โปรแกรมกับแผนผังอาคารตัวอย่างสามารถจำลองการปรับเปลี่ยนการออกแบบวิเคราะห์หาผลลัพธ์ในการหนีไฟได้ในระดับหนึ่ง (สุรินทร์, 2549) ต่อมาได้มีการนำโปรแกรมการสร้างภาพจำลองเสมือนจริงด้านพลศาสตร์อัคคีภัยมาประยุกต์ใช้ศึกษาของการเกิดไฟ และการลุกลามของไฟ และการเคลื่อนที่ของควันไฟเมื่อเกิดอัคคีภัยขึ้นภายในอาคาร ซึ่งทำให้เข้าใจถึงรูปแบบการเกิดไฟและนำข้อมูลที่ได้มาใช้อ้างอิงสำหรับการออกแบบระบบป้องกันอัคคีภัยสำหรับอาคารได้อย่างเหมาะสม โดยสาเหตุสำคัญประการหนึ่งของการเสียชีวิตจากการเกิดอัคคีภัย คือ การไม่สามารถอพยพหนีไฟออกจากอาคารได้ภายในระยะเวลาที่กำหนด โดยจากกฎหมายที่มีการระบุไว้ในการอพยพออกจากอาคารภายในเวลาไม่มากกว่า 5 นาที (ประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่องการป้องกันและระงับอัคคีภัยในสถานประกอบการ, 2534) ซึ่งทางหนีไฟนั้นเป็นส่วนประกอบหลักของอาคารและเป็นทางที่ปลอดภัยที่สุดในการอพยพ (วิฑูรย์, 2549) โดยเฉพาะผู้ใช้อาคารขนาดใหญ่ อาคารสูง อาคารสาธารณะ และอาคารชุดพักอาศัย ดังนั้น การออกแบบทางหนีไฟให้มีขนาดเพียงพอต่อจำนวนคนผู้ใช้อาคารให้สามารถอพยพหนีไฟได้ด้วยความสะดวกรวดเร็ว ไม่เบียดเสียด คับแคบ หรือแย่งกันออกจากอาคารจึงมีความสำคัญในการลดอัตราการสูญเสียชีวิต หากเกิดเหตุเพลิงไหม้ขึ้น การคำนวณหาขนาด

ค่าความเพียงพอของทางหนีไฟและองค์ประกอบทางหนีไฟ (Capacity of Mean of Egress) โดยอ้างอิงตามมาตรฐาน NFPA 101 Life Safety Code ของ National Fire Protection Association (NFPA) ประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งเป็นที่ยอมรับ และถูกนำไปใช้อ้างอิงมากที่สุดในปัจจุบัน (สมเกียรติ, 2549) ศึกษาการจำลองการเกิดเพลิงไหม้และการจำลองการอพยพคนออกจากอาคาร โดยใช้โปรแกรมพลศาสตร์อรรถกฤษในการจำลองการเกิดเพลิงไหม้ และการจำลองการอพยพโดยใช้โปรแกรม Evacsim เพื่อนำผลที่ได้จากทั้ง 2 โปรแกรมมาเปรียบเทียบเวลาในการเกิดเพลิงไหม้ และเวลาในการอพยพของคนออกจากอาคารซึ่งจะทำให้ทราบแนวทางในการจัดวางแปลนพื้นที่อาคารที่เหมาะสมได้ (เฉลิมพล, 2550)

1. ทฤษฎีการเกิดเพลิงไหม้และควัน

เพลิงไหม้ คือ ปฏิกิริยาการเผาไหม้ซึ่งถ้าไม่สามารถควบคุมได้อาจมีแนวโน้มที่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สิน ปฏิกิริยาการเผาไหม้เกิดจากการเชื้อเพลิงทำปฏิกิริยาเคมีกับก๊าซออกซิเจน ก่อให้เกิดความร้อนและแสงสว่างเป็นปริมาณมาก ปฏิกิริยาการเผาไหม้ต้องการปัจจัย 3 อย่างที่จะทำให้เกิดการเผาไหม้สมบูรณ์ ได้แก่

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

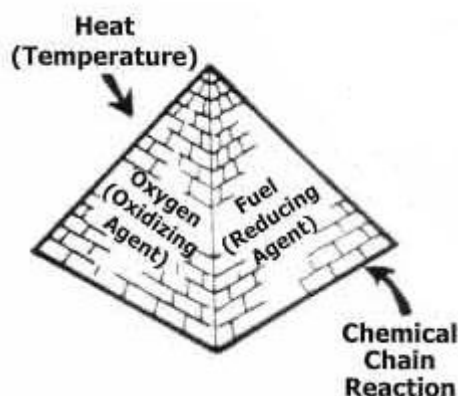
ปฏิกิริยาการเผาไหม้จะเป็นไปอย่างต่อเนื่องเมื่อมีองค์ประกอบครบทั้ง 3 อย่างตลอดเวลาของการเกิดติดไฟ การจำกัดการติดไฟนั้นทำได้โดยการจำกัดปริมาณก๊าซที่ก่อให้เกิดเพลิงไหม้ ปริมาณของออกซิเจนที่ 15% จนทำให้ไม่สามารถจุดติดไฟได้ แต่ถ้าปริมาณของก๊าซออกซิเจนที่ 26% อัตราการเผาไหม้จะเพิ่มเป็น 2 เท่าของสภาพปกติในระหว่างการเผาไหม้ของแข็งหรือของเหลวที่เป็นเชื้อเพลิงจะกลายเป็นไอ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



ภาพที่ 1 องค์ประกอบพื้นฐานการเกิดไฟไหม้

ที่มา: HPNonline (2008)

เมื่อเพลิงไหม้เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ เพลิงจะติดต่อและลุกลามต่อไปได้ จะต้องมีปัจจัยที่ 4 เป็นองค์ประกอบในการลุกลาม คือ ปฏิกิริยาลูกโซ่ ซึ่งจะเป็นปฏิกิริยาต่อเนื่องหลังจากการติดไฟ เงื่อนไขสำคัญของการเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ คือ ต้องมีตัวก่อปฏิกิริยา ซึ่งตัวก่อปฏิกิริยานี้จะมีความเสถียรต่ำ ตัวก่อปฏิกิริยาลูกโซ่อาจจะเป็นอิเล็กตรอนอิสระของธาตุในปฏิกิริยาหรืออาจเป็นอนุมูลอิสระอื่นๆ โดยในระหว่างที่ปฏิกิริยาลูกโซ่กำลังดำเนินไปอยู่นั้น ถ้าตัวก่อปฏิกิริยาลูกโซ่ถูกดึงออกจากปฏิกิริยาหรือถูกทำให้เสถียรภาพ ปฏิกิริยาจะหยุดลงทันที เพลิงก็จะดับลง ซึ่งการติดไฟอย่างต่อเนื่องจึงต้องอาศัยองค์ประกอบ 4 ประการ คือ ความร้อน เชื้อเพลิง ออกซิเจนและปฏิกิริยาลูกโซ่ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 องค์ประกอบการลุกลามของไฟ

ที่มา: Centralia Pennsylvania Photography (n.d.)

2. หลักการออกแบบการป้องกันและระงับอัคคีภัย (Design Concept of Fire Prevention)

การป้องกันและระงับอัคคีภัยที่มีประสิทธิภาพนั้น จะต้องมีการออกแบบป้องกันอัคคีภัย ตั้งแต่การวางผังการก่อสร้างอาคารโดยแนวคิดสำหรับการวางระบบป้องกันอัคคีภัยที่มีการนำมาประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวางในปัจจุบันเป็นแนวคิดของ National Fire Protection Association หรือ NFPA โดยแนวคิดดังกล่าวเป็นแนวคิดเกี่ยวกับการจัดการกับอัคคีภัยซึ่งแบ่งการจัดการอัคคีภัยเป็น 3 ส่วน ได้แก่ การควบคุมกระบวนการเผาไหม้ การระงับเมื่อเกิดอัคคีภัย และการควบคุมไฟ โดยการออกแบบโครงสร้างที่เหมาะสม ซึ่งในแต่ละส่วนยังมีการจำแนกสิ่งที่จะต้องจัดการควบคุม แยกแขนงแยกย่อยออกไปคล้ายแผนภูมิต้นไม้ โดยในแต่ละแขนงมีการกำหนดในสิ่งที่จะต้องควบคุม หรือจัดการร่วมกันหรือสามารถเลือกควบคุมหรือจัดการอีกสิ่งหนึ่งแทนได้แสดงตามภาพที่ 3 ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้ การจัดการเกี่ยวกับไฟจะต้องทำกิจกรรม 3 ส่วนร่วมกันคือ การควบคุมกระบวนการเผาไหม้ การระงับเมื่อเกิดอัคคีภัย และการควบคุมไฟโดยการออกแบบโครงสร้างที่เหมาะสม (ตามภาพที่ 3) โดย

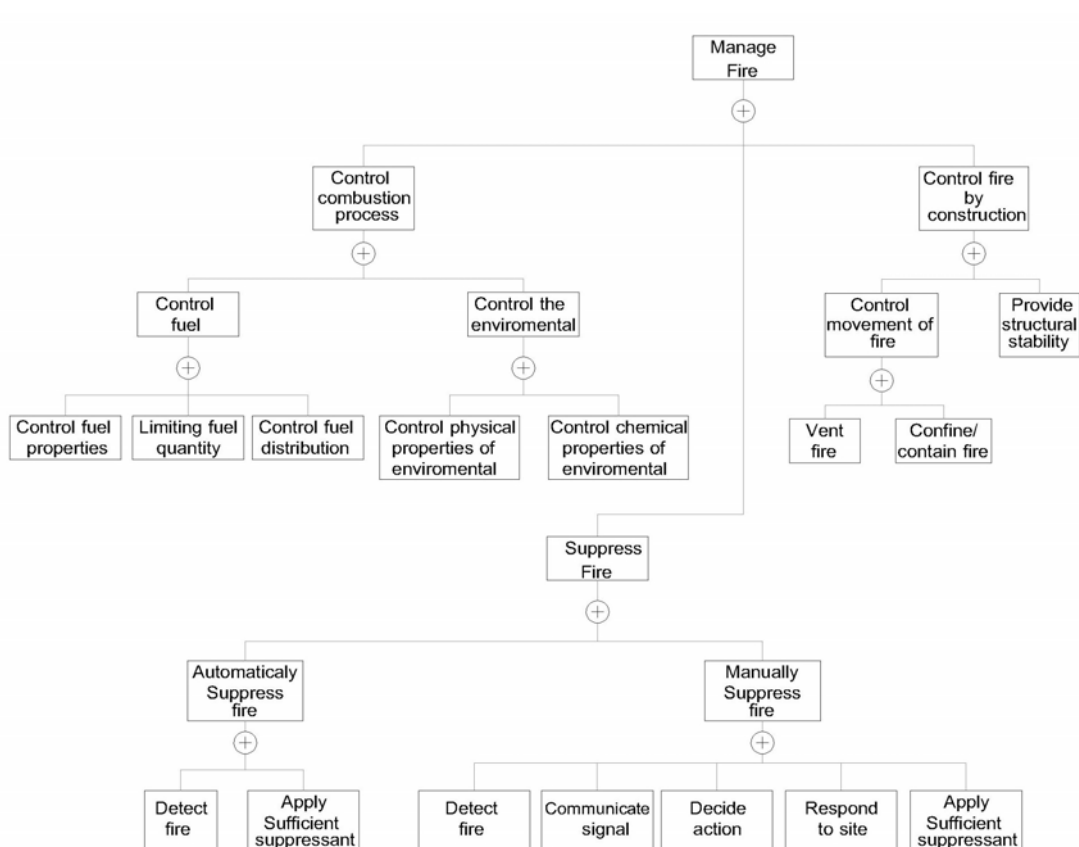
ส่วนที่ 1 การควบคุมกระบวนการเผาไหม้จะต้องมีการควบคุมที่เชื้อเพลิงและควบคุมสภาพแวดล้อมในบริเวณนั้นควบคู่กัน ซึ่งการควบคุมกระบวนการเผาไหม้ก็จะต้องมีการควบคุมคุณสมบัติของเชื้อเพลิง การควบคุมปริมาณเชื้อเพลิง และการควบคุมการแพร่กระจายของเชื้อเพลิง

ร่วมกันไป โดยในส่วนของ การควบคุมสภาพแวดล้อมก็จะต้องมีการควบคุมสภาพแวดล้อมทางกายภาพร่วมกับทางเคมี

ส่วนที่ 2 การระงับอัคคีภัยจะต้องมีการดำเนินงาน 2 ส่วนร่วมกันคือการใช้ระบบระงับอัคคีภัยอัตโนมัติซึ่งอาจจะใช้ระบบตรวจจับไฟ หรือใช้อุปกรณ์ระงับอัคคีภัยที่เพียงพอ และการใช้ระบบระงับอัคคีภัยด้วยมือซึ่งอาจจะเลือกกระบวนการตรวจจับไฟ ระบบสัญญาณเตือนภัย การดำเนินการตามข้อกำหนด การตอบสนองภายในพื้นที่ การใช้อุปกรณ์ระงับอัคคีภัยที่เพียงพอ ซึ่งเราสามารถเลือกการจัดการในรูปแบบใดรูปแบบหนึ่งหรือหลายรูปแบบพร้อมกันก็ได้

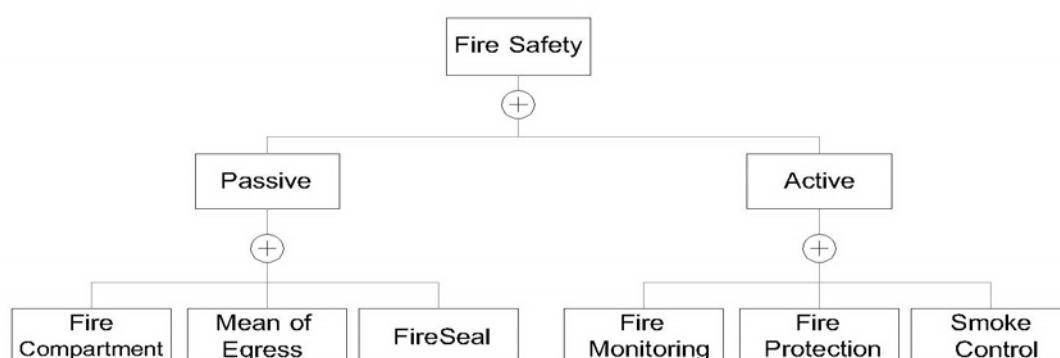
ส่วนที่ 3 การควบคุมไฟโดยการออกแบบโครงสร้างที่เหมาะสม โดยสามารถเลือกการดำเนินการควบคุมโดยการจัดให้มีโครงสร้างที่มีเสถียรภาพ เช่นการสร้างกำแพงทนไฟ การใช้วัสดุทนไฟหรือการควบคุมการเคลื่อนที่ของไฟ ซึ่งในกรณีที่เลือกการควบคุมการเคลื่อนที่ของไฟ จะต้องควบคุมทิศทางลมของไฟและควบคุมขอบเขตของไฟให้ได้ด้วย

สำหรับในประเทศไทย (เกชา, 2545) มีแนวความคิดในการนำการออกแบบทางด้านสถาปัตยกรรมกับการป้องกันอัคคีภัยผนวกไว้ร่วมกัน ซึ่งจะแบ่งเป็น 2 ส่วน คือการออกแบบเพื่อการป้องกันอัคคีภัยเชิงรุก (Active) และการออกแบบเพื่อป้องกันอัคคีภัยเชิงรับ (Passive) แสดงตามภาพที่ 4 โดยการออกแบบเพื่อการป้องกันอัคคีภัยเชิงรุกจะประกอบด้วย การแบ่งส่วนพื้นที่อาคารให้เหมาะแก่การใช้งาน การสร้างเส้นทางหนีไฟที่เหมาะสมและเป็นไปตามมาตรฐานการปิดในส่วนของช่องเปิดต่างๆของตัวอาคาร เช่น ช่องลิฟต์ ช่องระบายอากาศต่างเพื่อไม่ให้ไฟลุกลามผ่านไปยังส่วนอื่นของอาคาร ส่วนการออกแบบเพื่อป้องกันอัคคีภัยเชิงรับ ได้แก่การติดตั้งระบบเฝ้าระวังอัคคีภัย เช่น อุปกรณ์แจ้งเหตุเพลิงไฟชนิดต่างๆ ตามความเหมาะสมการติดตั้งระบบป้องกันอัคคีภัยเช่น ระบบดับเพลิงแบบหัวกระจายน้ำดับเพลิง และการติดตั้งระบบควบคุมควันไฟไม่ให้แพร่กระจายไปยังส่วนพื้นที่ปลอดภัยเช่น ระบบอัดอากาศเข้าสู่บันไดหนีไฟ



ภาพที่ 3 แนวคิดของการวางระบบป้องกันอัคคีภัยของ NFPA 550

ที่มา: National Fire Protection Association (2002)



ภาพที่ 4 สถาปัตยกรรมกับการป้องกันอัคคีภัย

ที่มา: เกชา (2542)

1. การป้องกันอัคคีภัยเชิงรับ (Passive Fire Safety)

เน้นการป้องกันในส่วนของการออกแบบโครงสร้างอาคารเพื่อจำกัดการลุกลามของไฟ
ดังนี้

1) ควบคุมการเกิดควันไฟและการกระจายตัวของควันไฟ เพื่อระบายควันไฟออกนอกบริเวณขณะเกิดเพลิงไหม้อาคาร ลดหรือป้องกันการแพร่กระจายของควัน ด้วยการออกแบบการใช้งาน การติดตั้ง การทดสอบ และซ่อมบำรุงระบบรวมถึงการเพิ่มเติมอุปกรณ์ให้แก่ระบบปรับอากาศและระบบหัวกระจายน้ำในระบบดับเพลิงให้ทำงานร่วมกับระบบควบคุมควันไฟได้อย่างมีประสิทธิภาพ

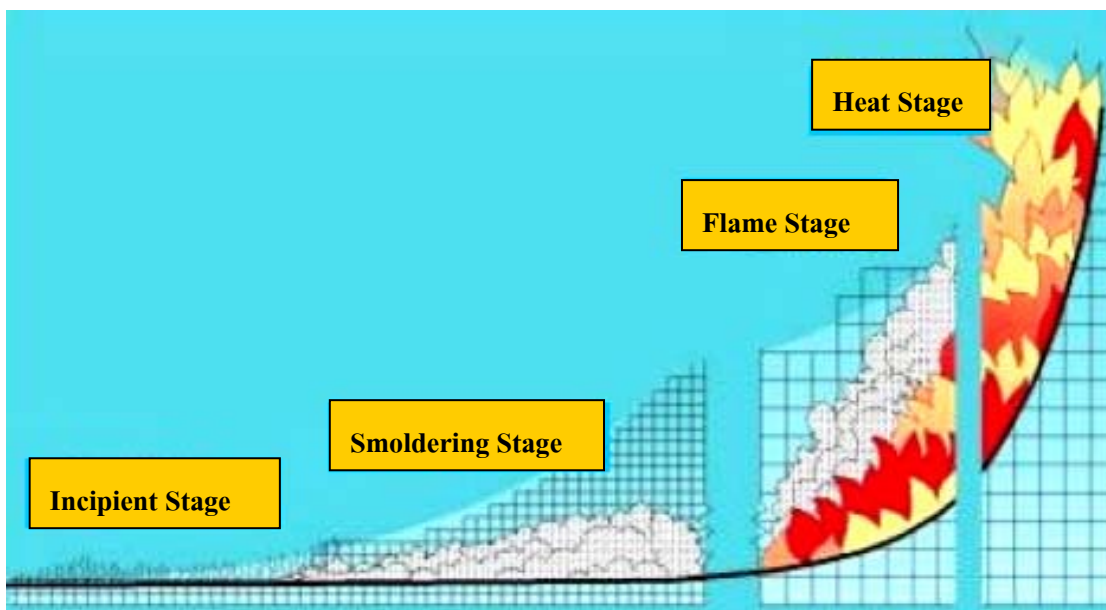
2) การป้องกันการลามไฟเพื่อการอพยพหนีไฟให้เป็นไปอย่างปลอดภัย โดยที่ผนังปิดล้อมพื้นที่ต้องมีอัตราทนไฟ 2 ชั่วโมง และมีระบบอัดอากาศเพื่อป้องกันการแพร่กระจายเข้ามาในพื้นที่ปิดล้อมให้มีความดันขณะใช้งานไม่น้อยกว่า 38.6 ปาสคาล โดยมีการพิจารณาความเร็วอากาศที่ผ่านประตูหนีไฟเพื่อป้องกันควันย้อนกลับ โดยให้อาคารที่มีระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิงมีความเร็วอากาศที่ผ่านประตูต่ำสุดที่ยอมรับได้ คือ 0.30 เมตรต่อวินาที และอาคารที่ไม่มีระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิง มีความเร็วอากาศที่ผ่านประตูต่ำสุดที่ยอมรับได้เท่ากับ 0.80 เมตรต่อวินาที ในขณะที่ความเร็วของอากาศที่จ่ายออกจากช่องท้ออัดอากาศจะต้องอยู่ในช่วง 2-3 เมตรต่อวินาที วัสดุที่ใช้ในงานทอลมทั้งหมดจะต้องไม่ติดไฟ และวัสดุจะต้องมีค่าอุณหภูมิของการหลอมละลายไม่น้อยกว่า 1,000 องศาเซลเซียส

3) การใช้วัสดุประเภทไม่ลามไฟหรือสร้างความเสถียรภาพของโครงสร้างวัสดุประเภทป้องกันโครงสร้างของอาคารขณะเกิดเพลิงไหม้ ไม่ให้เกิดการแตกร้าว การทลายตัว เป็นการเลือกวัสดุของโครงสร้างอาคารให้มีโครงสร้างทนไฟตั้งแต่เริ่มการออกแบบ

2. การป้องกันอัคคีภัยเชิงรุก (Active Fire Safety)

เป็นการป้องกันอัคคีภัย เมื่อเพลิงไหม้ได้เกิดขึ้นแล้ว ซึ่งจะต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์การเฝ้าระวัง อุปกรณ์การป้องกันการลุกลามของไฟ และอุปกรณ์สำหรับการควบคุมควันไฟ

1) ระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้ ความสามารถของอุปกรณ์ตรวจจับเพลิงไหม้จะจำแนกตามระยะเวลาของการเกิดเพลิงไหม้ เริ่มต้นตั้งแต่การเป็นสถานะของเชื้อเพลิงที่เป็นของแข็งกลายเป็นเชื้อเพลิงที่อยู่ในสถานะก๊าซ จากนั้นควันไฟจะก่อตัวขึ้นและเกิดเปลวไฟขึ้น และในที่สุดจะเกิดความร้อนจากเปลวไฟแพร่กระจายออกไป ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ขั้นตอนการเกิดเพลิงไหม้

ที่มา: National Fire Protection Association (1999)

ภาพที่ 5 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 เมื่อเกิดเพลิงไหม้ขึ้นโดยปกติ อุปกรณ์ที่สำคัญในระบบนี้ คือ หัวกระจายน้ำดับเพลิง

3) ระบบควบคุมควัน เนื่องจากควันไฟเป็นสาเหตุสำคัญที่สุดที่ทำให้เสียชีวิตขณะเกิดเพลิงไหม้ จึงต้องมีระบบควบคุมควันไฟ เพื่อระบายควันไฟไปยังพื้นที่ที่ไม่เป็นอันตรายต่อชีวิต

การควบคุมควันไฟเป็นสิ่งสำคัญมากในการป้องกันชีวิต เนื่องจากควันไฟเป็นสาเหตุสำคัญของการเสียชีวิตมากกว่าความร้อน เพราะควันไฟสามารถแพร่กระจายตัวได้อย่างรวดเร็วและสามารถไหลผ่านช่องเปิดต่างๆ ได้ รวมทั้งยังลดความสามารถในการมองเห็น จึงทำให้ไม่สามารถหาทางออกจากอาคาร เมื่อเกิดอัคคีภัยได้ ดังนั้นจุดมุ่งหมายของระบบควบคุมควันไฟ คือ การป้องกันไม่ให้ควันไฟเข้าสู่บริเวณบันได โถงลิฟต์ และชะลอการแพร่กระจายของควันไฟ รวมทั้งการระบายควันไฟ ก๊าซพิษ และความร้อนออกจากบริเวณที่เกิดอัคคีภัยการเสียชีวิตส่วนใหญ่นั้นเกิดจากควันไฟ เนื่องจากองค์ประกอบของควันจะมี ก๊าซพิษอยู่หลายชนิดด้วยกัน เช่น ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ ก๊าซไฮโดรเจนคลอไรด์ ก๊าซแอมโมเนียและเขม่าควันไฟ เป็นต้น แต่ก๊าซที่เป็นปัจจัยสำคัญในการเสียชีวิตของการเกิดอัคคีภัยในอาคารสำนักงานทั่วไป คือ ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เขม่าและควันไฟ

3. ปัจจัยต่างๆที่มีอิทธิพลต่อการพัฒนาของเพลิงในพื้นที่ปิดล้อม (Factors Influencing Fire Development in an Enclosure)

ปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อการพัฒนาของเพลิงในพื้นที่ปิดล้อมมีสองประการคือ

ปัจจัยที่เกี่ยวกับพื้นที่ปิดล้อมประกอบด้วย

- 1) ลักษณะทางเรขาคณิตของพื้นที่ปิดล้อม (Enclosure Geometry)
- 2) ขนาดและตำแหน่งของช่องเปิดต่างๆ ของพื้นที่ปิดล้อม (Compartment Openings)
- 3) คุณสมบัติของวัสดุปิดกั้นพื้นที่ปิดล้อม (Properties of Bounding Surfaces)

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับเชื้อเพลิงประกอบด้วย

- 1) ขนาดและตำแหน่งของแหล่งจุดประกายไฟ (Ignition Source)
- 2) ประเภท ปริมาณ ตำแหน่ง ระยะห่างระหว่างเชื้อเพลิง ลักษณะการวางเชื้อเพลิงและพื้นที่พื้นผิวของเชื้อเพลิง

3.1 ลักษณะทางเรขาคณิตของพื้นที่ปิดล้อม (Enclosure Geometry) ลักษณะของพื้นที่ปิดล้อมนั้นเป็นปัจจัยสำคัญ ประการหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อการพัฒนาของเพลิง เพราะว่าชั้นของควันร้อน (hot smoke layer) และพื้นผิวพื้นที่ปิดกั้นตอนบนของห้องจะแผ่รังสีความร้อนมายังเชื้อเพลิงที่กำลังลุกไหม้ และทำให้อัตราการเผาไหม้เพิ่มสูงขึ้น วัสดุอื่นๆ ภายในห้องมีความร้อนเพิ่มมากขึ้นอุณหภูมิและความหนาของชั้นก๊าซร้อน และอุณหภูมิของพื้นผิว พื้นที่ปิดกั้นตอนบนของห้องมีผลกระทบต่อการพัฒนาของเพลิงเป็นอย่างมาก

เชื้อเพลิงที่ถูกไหม้ในห้องที่มีพื้นที่ขนาดเล็ก จะทำให้อุณหภูมิภายในห้องสูงมากและการพัฒนาของเพลิงก็จะเป็นไปอย่างรวดเร็ว เมื่อเกิดเพลิงไหม้ (fire plume) จะทำให้อากาศเย็นไหลเข้ามา อากาศร้อนจะเคลื่อนที่ขึ้นสู่เพดาน ปริมาณของอากาศเย็นที่เข้ามาจะขึ้นอยู่กับระยะทางระหว่างแหล่งเชื้อเพลิงและระยะทางระหว่างของชั้นก๊าซร้อนส่วนในในห้องที่มีเพดานสูงอุณหภูมิของก๊าซ

จะต่ำ แต่เนื่องจากมีปริมาณอากาศเข้ามามาก กระบวนการเกิดควันจะเป็นไปอย่างรวดเร็ว ยิ่งพื้นที่ห้องมีขนาดเล็กมากเท่าไร ก็จะทำให้เกิดควันเร็วมากยิ่งขึ้นเท่านั้น

ถ้าเพดานต่ำการถ่ายเทความร้อนสู่เชื้อเพลิงก็จะมากยิ่งขึ้น และเปลวเพลิงอาจถึงเพดาน แล้วแผ่กระจายออกไปในแนวราบใต้เพดาน ซึ่งจะส่งผลให้เปลวเพลิงวนกลับ (feedback) สู่เชื้อเพลิง และวัสดุอื่นๆ ทำให้การพัฒนาของเพลิงเป็นไปอย่างรวดเร็วและอันตรายมาก

สำหรับห้องที่มีเพดานสูง และพื้นที่ห้องกว้างใหญ่เปลวไฟอาจไม่ถึงเพดาน การวนกลับสู่เชื้อเพลิงก็ไม่รุนแรงมาก การพัฒนาของเพลิงจะเป็นไปในลักษณะการแผ่รังสีความร้อนจากเชื้อเพลิงโดยตรงสู่วัตถุใกล้เคียง ในกรณีนี้ระยะห่างระหว่างเชื้อเพลิงก็มีความสำคัญ

ในอาคารที่พื้นที่ห้องกว้างแต่เพดานต่ำ การวนกลับของเปลวเพลิงจากชั้นก๊าซร้อนและเพดานจะรุนแรงมาก และอาจเข้าใกล้แหล่งของเพลิงชั้นก๊าซร้อนจะนำอากาศเย็นเข้ามาและสูญเสียความร้อนให้กับพื้นผิวของเพดาน พลั๊กความร้อนที่เคลื่อนสู่วัสดุต่างๆ ในชั้นต้นของเพลิงจะต่ำกว่า พลั๊กความร้อนที่อยู่ใกล้กับแหล่งเพลิง

จึงสรุปได้ว่า ความใกล้ของเพดาน และผนังห้องจะเร่งให้เพลิงพัฒนาเร็วมากขึ้นแม้แต่ในพื้นที่กว้างๆ ก๊าซร้อนที่ถูกกักไว้ใต้เพดานก็สามารถเพิ่มความร้อนให้กับวัสดุต่างๆ ที่อยู่เบื้องล่าง และยังผลให้เกิดการแผ่กระจายของเพลิงในพื้นที่กว้างอย่างรวดเร็วดังตัวอย่างอัคคีภัยสนามฟุตบอลของเมือง Bradford ประเทศอังกฤษ เมื่อปี พ.ศ. 2528

3.2 ขนาดและตำแหน่งของช่องเปิดต่างๆ (Compartment Openings) เมื่อขณะเกิดเปลวเพลิงขึ้นมา เปลวเพลิงจะเคลื่อนตัวเข้าหาก๊าซออกซิเจนเพื่อพัฒนาต่อไป ในห้องที่ปิดและมีพื้นที่ช่องโหว่น้อยมาก เพลิงจะมีออกซิเจนไม่พอและจะดับไปในที่สุด หรือ ไม่ก็อาจเผาไหม้ต่อไปอย่างช้าๆ ซึ่งก็ขึ้นอยู่กับปริมาณของก๊าซออกซิเจนสำหรับห้องที่มีช่องเปิดระบายอากาศ(ventilation openings) ขนาด รูปร่าง และตำแหน่งของช่องเปิดดังกล่าวจะมีความสำคัญต่อการพัฒนาของเพลิงระหว่างขั้นตอนที่เพลิงกำลังพัฒนา (growth phase) ก่อนที่เพลิงจะถูกควบคุมด้วยระบบการระบายอากาศ ช่องเปิดอาจทำหน้าที่เป็นตัวระบายก๊าซร้อน ถ้าระดับ ความสูง และตำแหน่งของช่องเปิดเอื้ออำนวยให้ก๊าซร้อนถ่ายเทออกไปได้ ซึ่งจะช่วยลดการไหลวนกลับของความร้อนสู่เชื้อเพลิง อันจะทำให้การพัฒนาของเพลิงเป็นไปอย่างช้าๆ

เมื่อเพลิงถูกควบคุมด้วยก๊าซออกซิเจน ขนาด และรูปร่างของช่องเปิดมีความสำคัญมากเป็นอันดับแรก Kawagoe (1958) ได้ทำการทดลองและได้พบว่าอัตราการเผาไหม้ จะขึ้นอยู่กับ ventilation factor, $A_o \sqrt{H_o}$, เมื่อ A_o เป็นพื้นที่ของช่องเปิด, H_o เป็นความสูงของช่องเปิดการเพิ่มสูงขึ้นใน Factor $A_o \sqrt{H_o}$ จะนำไปสู่การเพิ่มสูงขึ้นที่เท่าเทียมกันในอัตราการเผาไหม้ ข้อสรุปนี้ จะใช้ได้ในกรณีที่ อัตราการเผาไหม้ ไม่ขึ้นอยู่กับ ventilation factor และการเผาไหม้ก็อยู่ภายใต้การควบคุมเชื้อเพลิง

3.3 คุณสมบัติของวัสดุปิดกั้นพื้นที่ปิดล้อม (Properties of Bounding Surfaces) คุณสมบัติของวัสดุปิดกั้นพื้นที่ ที่ปิดล้อมสามารถก่อให้เกิดผลกระทบต่ออุณหภูมิของก๊าซร้อน ได้มากและทำให้ฟลักซ์ความร้อน (heat flux) ไหลสู่เชื้อเพลิงที่กำลังลุกไหม้และวัสดุอื่นๆ วัสดุที่มีคุณสมบัติอนุรักษพลังงาน เช่น เส้นใยแร่จะจำกัดปริมาณการไหลของความร้อนไปสู่พื้นผิวต่างๆ เพื่อว่าก๊าซร้อนจะได้ส่งพลังงานส่วนใหญ่เอาไว้ ส่วนคุณสมบัติวัสดุที่ควบคุมการไหลของความร้อนผ่านสิ่งก่อสร้างก็คือ การนำ (conductivity, k), ความหนาแน่น (density, ρ), และประสิทธิภาพในการให้ความร้อน (heat capacity, C_p) โดยปกติจะรวมกันเป็นความร้อนเฉื่อย (thermal inertia), $k\rho C_p$ วัสดุที่เป็นฉนวนจะมีความร้อนเฉื่อยต่ำ และวัสดุที่มีความร้อนเฉื่อยสูง เช่น อิฐ และคอนกรีต จะทำให้การนำความร้อนในสิ่งก่อสร้างสูง ยังผลให้อุณหภูมิของก๊าซร้อนต่ำ

3.4 ขนาดและตำแหน่งของแหล่งจุดประกายไฟ (ignition source) ตำแหน่งของแหล่งจุดประกายไฟ ประกอบด้วยตัวจุดประกายไฟที่มีพลังงานต่ำ, พื้นผิวที่ร้อน (Heated Surface) หรือ เปลวไฟนำร่องขนาดใหญ่ (large pilot flame) แหล่งพลังงานความร้อนอาจเป็นสารเคมี กระแสไฟฟ้า หรือเครื่องกล ยังมีแหล่งพลังงานความร้อนมากเท่าไร การพัฒนาของเพลิงบนเชื้อเพลิงก็จะเร็วเท่านั้น ตัวจุดประกายไฟ หรือบุหรีที่ติดไฟจะทำให้เกิดการเผาไหม้ลุกรุ่น ซึ่งอาจดำเนินไปเป็นเวลานานก่อนที่จะเปลวไฟจะเกิด บ่อยครั้งที่ผลิตความร้อนต่ำ แต่ก่อให้เกิดก๊าซพิษเป็นจำนวนมาก โดยปกติ เปลวไฟนำร่องจะทำให้เกิดการเผาไหม้ที่มีเปลวเพลิงโดยตรง ยังผลให้เกิดการกระจายของเปลวไฟ และการพัฒนาของเพลิงตำแหน่งของแหล่งจุดประกายก็มีความสำคัญมากเช่นกัน คือ เปลวไฟนำร่องที่อยู่ด้านล่างสุดของม่านหน้าต่าง จะทำให้การแผ่กระจายของเปลวไฟขึ้นไปด้านบนเป็นไปอย่างรวดเร็ว และทำให้เพลิงพัฒนาเร็วมาก ในทางกลับกัน ถ้าเปลวไฟนำร่องอยู่ที่ด้านบนสุดของม่านหน้าต่าง การแผ่กระจายของเปลวไฟลงมามีด้านล่าง จะเป็นไปอย่างช้าๆ

3.5 ประเภท ปริมาณ ตำแหน่ง ระยะห่าง ลักษณะการวาง และพื้นที่พื้นผิวของเชื้อเพลิง ประเภท และปริมาณของวัสดุติดไฟ ก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งของการพัฒนาของเพลิงในพื้นที่ปิดล้อม โดยปกติแล้วอัคคีภัยในอาคาร มักจะเกิดจากเชื้อเพลิงที่เป็นของแข็ง (solid materials) เช่น เฟอร์นิเจอร์ เป็นต้น แต่สำหรับในโรงงานอุตสาหกรรมเชื้อเพลิงก็อาจเป็นของเหลว ส่วนเฟอร์นิเจอร์ที่มีฐานเป็นไม้ มีน้ำหนัก ทำให้การพัฒนาของเพลิงเป็นไปอย่างช้าๆ แต่สามารถเผาไหม้เป็นเวลานานๆ วัสดุตกแต่งภายในสมัยใหม่มักจะมีพลาสติกน้ำหนักเบา ซึ่งทำให้การพัฒนาของเพลิงเป็นไปอย่างรวดเร็ว แต่จะเผาไหม้ในช่วงระยะเวลาสั้นๆ

ตำแหน่งของเชื้อเพลิง (position of fuel package) ก็มีผลกระทบต่อการพัฒนาของเพลิงเช่นกัน ถ้าเชื้อเพลิงถูกไหม้อยู่ห่างจากผนัง อากาศเย็นจากทุกทิศทางก็จะเคลื่อนตัวเข้าสู่เปลวเพลิงที่เกิดขึ้น แต่ถ้าตำแหน่งของเชื้อเพลิงอยู่ติดผนัง อากาศเย็นที่ไหลเข้าไปจะมีจำกัด ซึ่งไม่เพียงแต่จะทำให้อุณหภูมิสูงมากขึ้นเท่านั้น แต่ยังทำให้เปลวเพลิงสูงมากยิ่งขึ้นด้วย

ระยะห่างระหว่างเชื้อเพลิงและลักษณะการวางเชื้อเพลิง ก็มีความสำคัญมาก พื้นที่ว่างในห้องจะเป็นตัวกำหนดว่าการแผ่กระจายของเพลิงเป็นไปรวดเร็วแค่ไหนระหว่างเชื้อเพลิงดังกล่าว บนพื้นผิวเชื้อเพลิงที่วางอยู่ในแนวดิ่งเปลวเพลิงจะแผ่กระจายขึ้นไปด้านบนเร็วมาก กว่าเปลวเพลิงที่แผ่กระจายออกด้านข้างบนพื้นผิวของเชื้อเพลิงที่วางอยู่ในแนวราบ วัสดุที่ติดตั้งอยู่บนผนังหรือเพดานห้องสามารถทำให้การพัฒนาของเพลิงเร็วมาก

ในหลายกรณีที่ไม่มีความเกี่ยวข้องกับอาคารเพียงพอ และวิศวกรก็จะต้องใช้ข้อมูลเกี่ยวกับประเภทของอาคารและการใช้งาน ดังนั้นในปัจจุบันชุมชนวิศวกรรมความปลอดภัยในประเทศต่างๆ จึงได้เสนอแนะอัตราการพัฒนาของเพลิง สำหรับอาคารประเภทต่างๆ เช่น ในประเทศสวีเดนได้มีการแนะนำ รูปแบบอัตราการพัฒนาของเพลิง สำหรับประเภทของอาคารต่างๆ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 อัตราการพัฒนาของเพลิงสำหรับอาคารประเภทต่างๆ

ประเภทของอาคาร (Type of Occupancy)	อัตราการพัฒนาเพลิง (Growth Rate α)
ที่อยู่อาศัย (Dwellings) และอื่นๆ	ปานกลาง (Medium)
โรงแรม สถานพยาบาล และอื่นๆ (Hotels, Nursing Homes, etc.)	เร็ว (Fast)
ศูนย์การค้า ศูนย์บันเทิง (Shopping Centers, Entertainment Centers)	เร็วมาก (Ultra Fast)
โรงเรียน สำนักงาน (Schools, Offices)	เร็ว (Fast)
อุตสาหกรรมที่อันตราย (Hazardous Industries)	ไม่ระบุ (Not specified)

ที่มา: Karlsson and Quintiere (2000)

4. การลุกลามของเพลิงไหม้ แบบต่อเนื่องตามทฤษฎี T-Squared Fire (Continuous Growth Fire T- Squared Fire)

การเกิดเพลิงไหม้ในรูปแบบทฤษฎี T-Squared fire จะแสดงถึงอัตราการเผาไหม้ โดยแบ่งตามสัดส่วนของเวลา โดยแบ่งออกได้เป็น 4 ระดับ โดยเวลาในการลุกลามของเพลิงไหม้จะกำหนดตามอัตราการปล่อยความร้อนที่ 1055 kW/s แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การลุกลามของเพลิงไหม้ ตามอัตราการปล่อยพลังงานความร้อน

ประเภท	α (kW/s ²)	เวลาเมื่อถึงอัตราการปล่อยความร้อน 1055 kW
เร็วมาก	0.19	75 s
เร็ว	0.047	150 s
ปานกลาง	0.012	300 s
ช้า	0.003	600 s

ที่มา: NFPA (1985)

5. การถ่ายเทของควัน

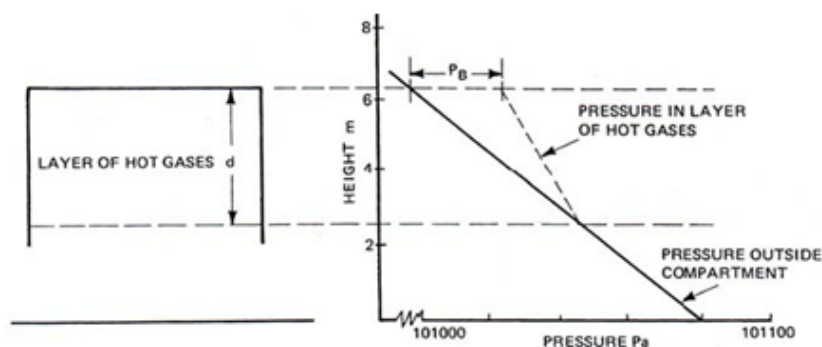
ควันคือสาเหตุสำคัญของการเสียชีวิตในขณะที่เกิดเหตุเพลิงไหม้ นอกจากควันจะเป็นพิษแล้วยังทำให้ผู้ติดอยู่ในอาคารขาดออกซิเจน และเป็นตัวปิดทางหนีไฟทำให้ไม่สามารถหนีออกสู่บริเวณที่ปลอดภัยได้ ควันสามารถแพร่กระจายจากจุดที่เกิดเพลิงไหม้ไปตามช่องเปิดต่างๆ การที่ควันสามารถเคลื่อนที่ไปได้ไกล จึงอาจทำให้ผู้ที่ไม่ได้อยู่ในบริเวณไฟไหม้เสียชีวิตได้เช่นกัน สาเหตุหลักที่ทำให้ควันสามารถเคลื่อนที่ได้ เกิดจากแรงลอยตัว ความกดดันของลม และความดันที่เพิ่มสูงขึ้นจากช่องเปิด

5.1 หลักพื้นฐานของการเคลื่อนที่ของควัน (Basic Principles of Smoke Movement)

การเคลื่อนที่ของควันมีหลักพื้นฐานอยู่สามประการคือการลอยตัวของก๊าซ (Buoyancy), ความกดดันของลม (wind pressure) และความกดดันที่เพิ่มสูงขึ้นอันเนื่องมาจากมีช่องเปิด (pressure rise due to constraints)

5.1.1 การลอยตัวของก๊าซ (Buoyancy)

ความกดดันมาตรฐานของบรรยากาศ (standard pressure of the atmosphere) ณ ระดับน้ำทะเลเท่ากับ 101300 ปาสคาล และจะลดลงประมาณ 12 ปาสคาล ต่อความสูงหนึ่งเมตร เมื่อชั้นความร้อนมีความสูงมากขึ้น ความกดดันภายในชั้นของก๊าซร้อนได้เพดานจะลดลงอย่างช้าๆ ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ความกดดันบนเพดานห้อง อันเกิดจากการลอยตัวของก๊าซ, P_B

ที่มา: Hinkley (1995)

จากภาพที่ 6 เมื่อความสูงของชั้นความร้อนมากขึ้น หากมีช่องเปิดสู่อากาศภายนอกอยู่ใต้ระดับของชั้นก๊าซร้อน ความกดดันที่ฐานของชั้นความร้อนเท่ากับความกดดันของบรรยากาศที่ระดับเดียวกัน ดังนั้นความแตกต่างของความกดดันระหว่างภายในและภายนอกที่ระดับเพดาน

5.2 การไหลผ่านช่องเปิด (Vent Flows)

เมื่อเพลิงปล่อยความร้อนออกมาจากก๊าซร้อนก็ขยายตัว การขยายตัวของก๊าซร้อนจะผลัก ดันให้ก๊าซบางส่วนออกจากห้องได้ ช่องเปิดที่ก๊าซร้อนไหลผ่านออกจากห้องเรียกว่า vent ในห้องที่เกิดอัคคีภัย ช่องเปิดจะเป็นประตู หน้าต่าง และ ท่อระบายอากาศ (ventilation ducts) ที่ช่วยให้ก๊าซร้อนไหลผ่าน โดยทั่วไป ห้องในอาคารส่วนมาก ประตูหน้าต่างจะปิดหมด ถ้าท่อระบายอากาศถูกปิด ก๊าซก็จะไหลซึมออกจากช่องว่างแคบๆ รอบประตู หน้าต่างที่ปิด หรือจากช่องโหว่ที่วางท่อและเดินสายไฟในอาคาร ช่องว่างแคบๆ และรูโหว่เล็กๆ เหล่านี้ก็ถือว่าเป็นช่องเปิดด้วย

หากห้องถูกปิดกันอย่างสนิทไม่มีช่องเปิดใดๆ เพลิงแม้จะมีขนาดเล็กก็สามารถเพิ่มความกดดันในห้องให้สูงมากขึ้นจนทำให้หน้าต่าง ประตู และผนังพังได้ ก๊าซจะเคลื่อนที่ก็ต่อเมื่อมีแรงผลัก ดัน แรงที่ผลักดันก๊าซมีสองแรง คือ ความกดดันของก๊าซ และแรงโน้มถ่วงของโลก (gravity) แรงโน้มถ่วงของโลกจะผลักดันในแนวตั้ง และโดยปกติแล้วจะทำให้ก๊าซไหลผ่านช่องว่างที่พื้น และเพดานเท่านั้น การไหลของก๊าซ (gas flow) ที่เกิดจากแรงโน้มถ่วงของโลกทั้งทางตรงและทางอ้อม เรียกว่าการไหลแบบบลอยด์ว เมื่อไหร่เกิดความกดดันที่แตกต่างกันของไหลไม่ว่าจะเป็นของเหลวหรือก๊าซจะถูกผลักดันให้ไหลผ่านช่องเปิด

5.3 การไหลผ่านช่องเปิดขณะเกิดเพลิงไหม้ภายในห้อง (Vent flows in Compartment Fire)

นอกเหนือจากการแบ่งระยะของเพลิงไหม้ภายในห้องตาม อุณหภูมิหรืออัตราการปล่อยความร้อนแล้ว ยังสามารถแบ่งระยะของเพลิงไหม้ภายในห้องได้โดยพิจารณาจากลักษณะการไหลของอากาศและควันผ่านช่องเปิดต่างๆ เช่น ประตู หรือหน้าต่างของห้องที่เกิดเพลิงไหม้ ทั้งนี้การไหลของอากาศ และควันผ่านช่องเปิดของห้องที่มีความสัมพันธ์โดยตรงกับผลต่างของความดัน (ΔP), ความดันภายในห้อง (P_i) และความดันภายนอกห้อง (P_o) ที่พาดผ่านช่องเปิดนั้น

โดยธรรมชาติแล้วมีหากเกิดเพลิงไหม้ภายในห้อง คว้นร้อนซึ่งมีน้ำหนักเบาจะลอยตัวอยู่ด้านบน ในขณะที่อากาศเย็นซึ่งหนักกว่าจะลอยตัวอยู่ด้านล่างของห้อง จึงสามารถแบ่งชั้นของก๊าซภายในห้องที่เกิดเพลิงไหม้ ออกได้เป็นสองโซน คือ

5.3.1 ชั้นด้านล่าง (Lower Layer Zone) ซึ่งประกอบด้วยอากาศเย็นที่อุณหภูมิห้อง โดยชั้นด้านล่างจะนับตั้งแต่พื้นห้องจนถึงระดับความสูงของคว้น (smoke height, HD)

5.3.2 ชั้นด้านบน (Upper Layer Zone) ซึ่งประกอบกลุ่มคว้นร้อนที่เป็นผลผลิตจากการเผาไหม้ ชั้นด้านบนนี้จะมีบริเวณนับตั้งแต่ความสูงของกลุ่มคว้นจนถึงเพดาน

ความหนาแน่นที่แตกต่างของก๊าซภายในชั้นด้านล่าง และชั้นด้านบน ทำให้ชั้นทั้งสองมีการวางตัวอย่างเป็นระเบียบ และมีเสถียรภาพ การไหลของคว้นและอากาศที่เกิดขึ้นภายในชั้นทั้งสอง เป็นการไหลแบบปั่นป่วน ซึ่งทำให้การกระจายตัวของคุณสมบัติต่างๆ ของก๊าซ เช่น อุณหภูมิ, ความหนาแน่น ฯลฯ ในแต่ละชั้นเป็นอย่างสม่ำเสมอ

6. หลักการออกแบบอาคาร

การกำหนดหลักการออกแบบที่เรียกว่า แนวคิดการออกแบบ โดยจะกำหนดหัวข้อในการป้องกันอัคคีภัยไว้ด้วย โดยสถาปนิกสามารถที่จะกำหนด แนวคิดการออกแบบ ที่เอื้ออำนวยต่อการป้องกันอัคคีภัยได้ดังนี้

- การแบ่งพื้นที่ป้องกันอัคคีภัย
- การหนีไฟ
- การระบายคว้นไฟ

6.1 การคำนวณขนาดทางหนีไฟ

6.2 การวางผังอาคาร

การแบ่งประเภทของตัวอาคารตามระดับความเสี่ยงจะแบ่งตามลักษณะการใช้งานออกได้เป็น 3 ประเภท ดังนี้

ประเภทที่ 1 สถานที่เสี่ยงต่อการเกิดอัคคีภัย อย่างเบา เช่น ที่พักอาศัย สำนักงานสถานศึกษา สโมสร โรงภาพยนตร์ โรงพยาบาล และสถานที่เพลิงไหม้ได้อย่างช้าหรือมีควันน้อยหรือไม่ระเบิดได้

ประเภทที่ 2 สถานที่เสี่ยงต่อการเกิดอัคคีภัย อย่างปานกลาง เช่น โรงงานร้านค้า ร้านซักรีด เวทีการแสดง ห้องสมุดขนาดใหญ่ อุ้งซ่อมรถ และสถานที่เพลิงไหม้อย่างปานกลาง มีควันปานกลางหรือมากแต่ไม่เป็นพิษ หรือไม่ระเบิดได้

ประเภทที่ 3 สถานที่เสี่ยงต่อการเกิดอัคคีภัย อย่างแรง เช่น โรงเลื่อย โรงงานเฟอร์นิเจอร์ โรงทอผ้า อุตสาหกรรมยาง อุตสาหกรรมพลาสติก และสถานที่เพลิงไหม้อย่างรวดเร็วหรือมีควันซึ่งเป็นพิษหรือระเบิดได้

7. องค์ประกอบความปลอดภัยด้านอัคคีภัย

7.1 ความมั่นคงของโครงสร้างอาคาร (Structural Stability)

- การห่อหุ้ม โดยวัสดุทนไฟ
- การปิดล้อม (enclosure)
- การทาสี เช่น ทาสีทนไฟ เป็นต้น
- การฉีดย่น โดยการใช้ fiber siemens (พื้นที่ปิด)

7.2 การแบ่งพื้นที่ (Compartment)

- ผนังทนไฟ (fire wall)
- ประตูทนไฟ (fire door)

7.3 การควบคุมคุณสมบัติของวัสดุตกแต่ง (Material Properties Control)

- ความสามารถทนไฟ (fire resistance)
- ความสามารถในการลุกลามของเปลวไฟ (fire spread)
- การก่อให้เกิดควันไฟ (smoke developed)

7.4 องค์ประกอบทางหนีไฟ (Mean of Egress)

- ทางสู่เส้นทางหนีไฟ (exit access)
- ทางหนีไฟ (exit)
- ทางออก (exit discharge)

7.5 ระบบควบคุมควันไฟ (Smoke Control System)

- อากาศอัดตัว (pressurized air)
- การระบายควันไฟ (smoke exhaust)

7.6 ระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้ (Fire Alarm System)

- ระบบตรวจจับ (detection system)
- ระบบควบคุม (control system)
- ระบบแจ้งเหตุ (notification)

7.7 ระบบดับเพลิง

- แบบใช้น้ำ (water base fire suppression system)
- แบบไม่ใช้น้ำ (non water base fire suppression system)

7.8 การจัดเตรียมพื้นที่รอบนอกอาคาร (Exterior and Site Planning)

- การจัดเตรียมทางเข้า- ออก และพื้นที่จอดรถดับเพลิง
- ถนนรอบนอกอาคาร
- ระบบท่อน้ำดับเพลิง

7.9 การบริหารและการจัดการด้านอัคคีภัย (Fire Safety Management)

- บุคลากรในองค์กร
- ระบบป้องกันอัคคีภัย

8. ทฤษฎีพลศาสตร์อัคคีภัย

หลักการด้านพลศาสตร์อัคคีภัย เป็นการนำทฤษฎีการถ่ายเทความร้อนและพลศาสตร์ของไหล (Fluid Dynamic) จากการเผาไหม้ คุณลักษณะการแผ่รังสีจากเปลวเพลิง รวมถึงความสามารถในการติดไฟ เพื่ออธิบายช่วงของการติดไฟขนาดเล็ก และศึกษาไฟขนาดใหญ่ ในการเกิดเพลิงไหม้ในห้องหรือภายในอาคาร การเกิดการลุกไหม้ขึ้นได้ เมื่อมีความแตกต่างของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น การหาอัตราการลุกไหม้ของไฟจะใช้ผลที่ได้จากการทดลองนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณได้จากเพลิงที่ลุกไหม้ที่ได้จากการทดลองหาค่าพิภักการคายความร้อน (heat release rate) ค่าที่ต่ำที่สุดที่จะทำให้เพลิงลุกไหม้ขึ้นการสร้างแบบจำลองด้านพลศาสตร์อัคคีภัยสามารถแบ่งเป็น 2 แบบ ดังนี้

8.1 การจำลองแสดงผลแบบแบ่งเขต (Zone Model) เป็นรูปแบบการจำลองภาพเสมือนที่ใช้การศึกษาการเคลื่อนที่ของควัน หรือความร้อนที่เคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง ซึ่งตามหลักการสามารถที่จะนำภาพการจำลองการเคลื่อนที่ของกลุ่มควันมาหาระยะเวลาการเคลื่อนที่ในทุกช่วงเวลาที่ต้องการ เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าคำนวณหาระยะเวลาในการหนีไฟ

8.2 การจำลองพลศาสตร์การไหล (Computational Fluid Dynamics Model; CFD) เป็นแบบจำลองที่ใช้เทคนิคเรื่องของไดนามิกของไหล เพื่อคำนวณตามสถานะต่างๆ ในอาคารมีการแบ่งพื้นที่ออกเป็นหน่วยย่อยเรียกว่า เซลล์ และแบบจำลองจะคำนวณการไหลของพลังงาน

ความร้อนหรือของเหลวภายในแต่ละเซลล์และระหว่างเซลล์โดยใช้สมการพื้นฐานตามหลักการด้านฟิสิกส์ รูปแบบการจำลองภาพเสมือนที่ใช้ศึกษาการเคลื่อนที่ของไฟตั้งแต่เริ่มจุดติดไฟและการคายไของมวลสารจนถึงสิ้นสุดขบวนการเผาไหม้ในรูปของภาพเสมือนจริง นอกจากนี้ยังได้มีการพัฒนา CFD ให้สามารถเขียนรูปแบบอาคารลงในโปรแกรม โดยตัวอย่างการจำลองแบบ CFD ที่ใช้งานอยู่สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 แบบ โดยที่รวมกันหรือแยกกันตามลักษณะการใช้งาน ดังนี้

8.2.1 Turbulence Sub model แบบจำลองนี้เกี่ยวกับผลลัพท์ โดยตรงที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของการถูกลามและการขยายตัวของไฟจากพื้นที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง

8.2.2 Radiation and Soot Sub model แบบจำลองนี้เป็นการคำนวณค่าความร้อนและเขม่าที่เกิดจากการเผาไหม้มวลสารที่เป็นของแข็งหรือของเหลว และดูการเคลื่อนที่ของมวลสารที่ติดไฟว่ามีการให้พลังงานความร้อนรวมถึงน้ำหนักของมวลสารที่ถูกเผาไหม้

8.2.3 Combustion Sub-Model แบบจำลองนี้เกี่ยวกับการจุดติดไฟในลักษณะของเปลวเพลิง โดยพิจารณาคุณสมบัติของมวลสารที่เกิดจากการเผาไหม้ เพื่อพิจารณาการผสมระหว่างอากาศกับมวลสารที่ได้รับการเผาไหม้ ว่ามีการจุดติดไฟอย่างสมบูรณ์หรือไม่ รวมถึงค่าพลังงานที่ปลดปล่อยความร้อนที่ได้จากมวลสารนั้นๆ

9. ทฤษฎีการอพยพ

9.1 แนวความคิดพื้นฐานของการอพยพหนีไฟ

แนวความคิดพื้นฐานในการวางแผนการอพยพหนีไฟ มาจากการวางแผนการอพยพ คือ การที่ต้องสามารถอพยพผู้คนให้ได้หมดก่อนที่ควันไฟจะมีปริมาณมากจนถึงระดับที่เป็นอันตรายต่อผู้อพยพ สำหรับปริมาณควันไฟที่มีผลต่อการอพยพหรือมีอันตราย คือ ควันที่สะสมตัวจนลอยตัวต่ำลงมาจนทำให้ผู้อพยพไม่สามารถมองเห็นเส้นทางในการอพยพได้ โดยเวลาในการอพยพต้องน้อยกว่าเวลาที่ควันไฟลอยตัวต่ำลงมา (มาตรฐานการป้องกันอัคคีภัยในประเทศไทย ปี 2546)

$$T_{evacuation} < T_s \quad (1)$$

โดยที่

$T_{evacuation}$ คือ เวลาในการอพยพทั้งหมด หน่วยเป็น นาที

T_s คือ เวลาที่ควันไฟลอยต่ำลงมาอยู่ระดับที่เป็นอันตราย หน่วยเป็น นาที

โดยที่เวลาในการอพยพทั้งหมดนั้นเป็นการรวมกันระหว่างเวลาที่ใช้ในการเริ่มอพยพ (t_{start}) และเวลาที่ใช้ในการอพยพนับจาก เริ่มการอพยพ ($t_{evacuation}$) และดังสมการที่ 1 และเวลาที่เริ่มใช้อพยพ และเวลาใช้ในการอพยพนั้น สามารถที่จะจำแนกออกได้อีกในสมการที่ 2 และสมการที่ 3

$$T_{evacuation} = t_{start} + t_{evacuation} \quad (2)$$

โดยที่

t_{start} คือ เวลาที่ใช้ในการเริ่มอพยพ หน่วยเป็น นาที

$t_{evacuation}$ คือ เวลาที่ใช้ในการอพยพนับจากช่วงเริ่มทำการอพยพ หน่วยเป็น นาที

$$t_{start} = t_{awareness} + t_{decision} \quad (3)$$

โดยที่

$t_{awareness}$ คือ เวลาที่คนเริ่มรับรู้ถึงเพลิงไหม้ หน่วยเป็น นาที

$t_{decision}$ คือ เวลาที่ใช้ในการตัดสินใจอพยพ หน่วยเป็น นาที

9.2 ค่าความจุของเส้นทางการอพยพ

ความจุของเส้นทางการอพยพ คือ ความสามารถของเส้นทางการอพยพที่สามารถรองรับจำนวนคนได้ ขนาดความจุของเส้นทางการอพยพจะต้องมีขนาดที่เพียงพอต่อจำนวนคนที่ใช้อาคาร สามารถทำการอพยพคนทั้งหมดได้อย่างสะดวก โดยความจุของเส้นทางการหนีไฟจะพิจารณาจากความกว้างของเส้นทาง หรือบันได เป็นต้น ซึ่งมาตรฐานการป้องกันอัคคีภัยที่มีใช้

ในต่างประเทศจะกำหนดขนาดความกว้างของเส้นทางในการอพยพเป็นค่าที่น้อยที่สุดที่สามารถยอมรับได้ แต่ไม่ได้มีการกำหนดค่าตายตัว โดยความกว้าง ดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับปริมาณคนที่อยู่ภายในอาคาร เช่น มาตรฐานการป้องกันอัคคีภัยของประเทศสหรัฐอเมริกา หรือที่รู้จักกันในนามของ NFPA โดยได้กำหนดการหาความกว้างของเส้นทางหนีไฟไว้ดังนี้คือ

1) ความจุของคน ในการคำนวณแบบทางหนีไฟตามมาตรฐานความปลอดภัยจากอัคคีภัย NFPA โดยแบ่งออกเป็นการหาความจุของพื้นที่ภายในชั้น โดยใช้ขนาดพื้นที่ของอาคาร ความกว้าง x ความยาว โดยไม่ต้องหักทางเดิน บันได โดยวัดจากพื้นที่ด้านในของผนังอาคาร (Gross Area)หารด้วยค่า Factor ของกิจกรรม Occupancy Load Factor เป็นค่าที่กำหนด ขนาดพื้นที่ต่อ คน ตามกิจกรรมของพื้นที่ ในแต่ละส่วนภายในชั้นมาเป็นตัวแปรในการหาความจุของพื้นที่สามารถรองรับคนได้กี่คน ดังตารางที่ 4 ส่วนการคำนวณขนาดความกว้างของเส้นทางหนีไฟสามารถหาได้จากสมการที่ 6 โดยใช้ค่าความกว้างต่อคน (Capacity Factor) ดังตารางที่ 3

$$\text{Gross Area Occupancy Load} = \text{Gross Area} / \text{Occupancy Load Factor} \quad (4)$$

จากนั้นทำการหาความจุคนของพื้นที่ในแต่ละห้อง ทุกห้องภายในชั้น แล้วนำค่าความจุคนที่ได้จากทุกห้องมารวมกัน เป็นปริมาณความจุคนทั้งหมดในพื้นที่ห้องกิจกรรม (Net Area) สูตรคำนวณหาปริมาณความจุคนในพื้นที่ชั้นอาคารสุทธิ

$$\text{Net Area Occupancy} = \frac{[\text{Net Area}]}{\text{Used Factor}} + \frac{[(\text{Gross Area} - \text{Net Area})]}{\text{Used Factor}} \quad (5)$$

โดยที่

Gross Area คือ ขนาดพื้นที่ของกิจกรรมการใช้ โดยไม่หักทางเดิน บันได ความหนาของผิวงานตกแต่ง เสาหรือเฟอร์นิเจอร์ วัดด้านในของอาคารไม่รวมความหนาของผนัง Net Area คือ ขนาดพื้นที่ใช้งานจริงไม่รวมอุปกรณ์หรือความหนาของผนัง

$$\text{Capacity Load} = \text{Clear Width} / \text{Capacity Factor} \quad (6)$$

ตารางที่ 3 ค่าความกว้างต่อคน (Capacity Factor) เพื่อคำนวณความกว้างของเส้นทางหนีไฟ

Capacity Factors				
Area	Stairways		Level Components and Ramps	
	(width per person)		(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	7.60	0.2	5

ที่มา: NFPA (2006)

ตารางที่ 4 ค่า Occupancy Load Factor

Occupant Load Factor		
Use	(ft ² per person) ^a	(m ² per person) ^a
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

ตารางที่ 4 (ต่อ)

Occupant Load Factor		
Use	(ft ² per person) ^a	(m ² per person) ^a
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	100 net	9.3 net
Catwalks, galleries, gridirons		
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	240	22.3
Departments		
Sleeping departments	120	11.1

ตารางที่ 4 (ต่อ)

Occupant Load Factor		
Use	(ft ² per person) ^a	(m ² per person) ^a
Ambulatory health care	100	9.3
Detention and Correctional Use	120	11.1

ที่มา: NFPA (2006)

9.3 ประสิทธิภาพการอพยพเคลื่อนย้าย

โดยปกติคนจะไม่ทำอะไรๆ โดยขาดสติยังคิดหากไม่มีความจำเป็น ในการตัดสินใจของคนจะต้องมีช่วงเวลาของการตัดสินใจทำอะไรอย่างใดอย่างหนึ่ง ดังนั้น หากเกิดเหตุการณ์ฉุกเฉินขึ้น การอพยพแบบกลุ่มคนจึงต้องมีการตัดสินใจอย่างเร่งด่วน การตัดสินใจที่แสดงออกถึงการแสดงออกของคนในสถานการณ์ฉุกเฉินตามความต้องการที่ชัดเจน (Latane and Darley, 1968) และคนที่อยู่ในกลุ่มเดียวกันมักจะมีการตอบสนองซ้ำต่อการได้ยินเสียงสัญญาณเตือน จนกระทั่งแน่ใจคนทั้งหมดจึงจะยอมรับว่าเหตุการณ์ฉุกเฉินนั้น ซึ่งทั้งหมด การฝึกซ้อม และข้อมูลเวลาจริงในการเกิดเพลิงไหม้จะสามารถช่วยลดความล่าช้าที่อาจเกิดจากการตอบสนองเหตุการณ์นั้นได้ (MacLenna, 1986)

Levin (1985) วิเคราะห์และรวบรวมข้อมูลจากหลายแหล่งที่เกี่ยวข้องกับความสัมพันธ์และปฏิกิริยาของคนที่มีความเกี่ยวข้องกัน เพื่อให้มีการแบ่งแยกที่ชัดเจน โดยได้แบ่งลำดับขั้นของการตอบสนองดังนี้

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

ปฏิกิริยาของคนในรูปแบบที่ 1 จะมีการหาข้อมูล และในทางกลับกันในรูปแบบที่ 4 นั้นจะมีการตอบสนองทันที โดยไม่มีข้อมูลในการตัดสินใจ ส่วนในรูปแบบที่ 2 และ 3 คนส่วนหนึ่งจะมีการหาข้อมูลก่อน และอีกส่วนก็จะพยายามหนีในการตอบสนองนี้รวมไปถึงกรณีที่พยายามยับยั้งเพลิงไหม้ การเตือนภัยผู้อื่น และอพยพออกจากอาคาร โดยจากการทดสอบของ (Levin, 1985) พบว่า 50 % ของแบบที่ 2 และ 35 % ของแบบที่ 3 จะพยายามหาข้อมูลก่อนทำการอพยพ

9.4 การอพยพเมื่อเกิดเหตุการณ์ฉุกเฉิน

รูปแบบของ hydraulic model ซึ่งได้ถูกนำมาใช้เพื่อหาค่าเวลาในการอพยพเคลื่อนย้ายสู่ทางออกที่เป็นจริง คือ เวลาที่ต้องการออกจากตัวอาคาร ปกติเวลาที่ออกสู่ทางออกที่เป็นจริงจะเป็นไปตามเวลาในรูปแบบ hydraulic model ตั้งแต่เวลาการเคลื่อนย้ายซึ่งอยู่บนพื้นฐานของข้อมูลจากการจำลองสถานการณ์และประสบการณ์ด้านเพลิงไหม้ ซึ่งก็เป็นไปได้ที่เวลาในการเคลื่อนย้ายตามรูปแบบ hydraulic model จะใกล้เคียงกับเวลาการเคลื่อนย้ายที่เป็นจริงประสิทธิภาพในการเคลื่อนย้ายเป็นส่วนประกอบหนึ่งของรูปแบบการหาเวลาการเคลื่อนย้ายโดยมีตัวอย่างของส่วนประกอบที่มีประสิทธิภาพ ดังนี้

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

ทั้งหมดที่กล่าวมาสามารถลดประสิทธิภาพในการเคลื่อนย้ายได้ การใช้การคำนวณตามรูปแบบที่มีผลต่อระบบโดยรวม ส่วนประกอบเฉพาะหรือการเปลี่ยนแปลงในระบบอย่างไรก็ตามผลของเวลาอพยพเคลื่อนย้ายตามรูปแบบได้ถูกเปรียบเทียบกับเวลาการอพยพจริงขณะเกิดเพลิงไหม้ สิ่งสำคัญเวลาการอพยพเคลื่อนย้ายตามรูปแบบนั้นจะใกล้เคียงกับความเป็นจริง

9.5 พฤติกรรมของคนเมื่อเผชิญกับเพลิงไหม้

1) อาการตื่นตระหนกเป็นสิ่งที่แทบไม่มี แม้ในสถานการณ์เพลิงไหม้ขั้นเลวร้าย มีรูปแบบพฤติกรรมที่เป็นปกติการ เคลื่อนย้ายไปตามเส้นทางที่ถูกเลือก และมีความสัมพันธ์ที่ดีกับผู้อื่นในสถานการณ์ฉุกเฉิน พฤติกรรมต่างๆ เป็นไปอย่างมีเหตุมีผล

2) การกระตุน รวมถึงกิจกรรมต่างๆ ในขณะเพลิงไหม้ เป็นการค้นหาข้อมูลเกี่ยวกับธรรมชาติ และความเครียด ของสถานการณ์เกี่ยวกับบุคคลอื่นๆ

3) การเคลื่อนย้าย และการตอบสนองต่อเพลิงไหม้โดยทั่วไป โดยปกติจะเป็นไปตามลักษณะสังคม โดยจะมีการเคลื่อนย้ายกันไปเป็นกลุ่ม

4) ปัญหาด้านความบังเอิญอื่นๆ ที่อาจเกิดขึ้น ก็ยังมีอยู่มากในสถานการณ์ฉุกเฉิน

9.6 เวลาการอพยพ

ขณะที่คนกำลังจะทำการอพยพแต่ยังไม่แน่ใจว่าเกิดเหตุฉุกเฉินขึ้นจริง การพยายามหาข้อมูลเพิ่มเติมเพื่อความมั่นใจ ทั้งขณะที่อยู่คนเดียว หรืออยู่กันเป็นกลุ่มเล็กๆ ก็ตาม(Sime, 1984) ได้ทำการรวบรวมข้อมูลจากเหตุการณ์เพลิงไหม้โรงแรม ผลที่ได้คือ ผู้คนพยายามหาข้อมูล เพื่อนำมาตัดสินใจ ดังนั้นจึงเห็นได้ว่าการให้ข้อมูลด้วยการแจ้งเตือนจึงมีผลต่อเวลาในการอพยพโดยตรง

9.7 การหาทางออก

การหาเส้นทางออกถือเป็นเรื่องที่มีความสำคัญกับจำนวนคนที่อพยพ โดยส่วนมากจะมีปัญหาตามมามากมาย เมื่ออาคารมีทางออกหลายทาง ซึ่งการแก้ปัญหาในการหาทางออก คือ การจัดทำเครื่องหมายบอกทิศทางของทางหนีไฟ ซึ่งมาตรฐานการป้องกันอัคคีภัยส่วนใหญ่จะระบุไว้ด้วยเสมอ (Ozel, 1986) วิจัยเกี่ยวกับการหาทางออก กรณีอพยพหนีไฟ เมื่อมีเหตุการณ์เกิดเพลิงไหม้ความสามารถในการอพยพของแต่ละคนในการหาทางออกขึ้นอยู่กับตำแหน่งที่ยืนอยู่ของคน โดยคนส่วนใหญ่จะพยายามนึกถึงทางออกหรือทางหนีไฟตามรูปแบบความคิดของตนเองที่พอนึกได้ และมีข้อกำหนดอื่นๆ ที่มีผลต่อการหาทางออก ได้แก่ ความสับสนของพื้นที่ตามลักษณะของอาคาร เครื่องหมายต่างๆ และการหาทางออกนั้นจะมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการอพยพ กรณีที่มีพื้นที่ต่อจำนวนคนมีน้อยมาก และคนที่ไม่คุ้นเคยต่อเส้นทางการอพยพ การอพยพจะมีประสิทธิภาพที่ดีได้ เมื่อเส้นทางออกเป็นรูปแบบธรรมดา และทางออกเป็นจุดที่ปลอดภัยต่อผู้อพยพ ประสิทธิภาพในการหาทางออกจะลดลงหากมีความสับสนเพิ่มมากขึ้น (SFPE Handbook)

9.8 ความขัดแย้งของเส้นทางที่บรรจบกัน

เส้นทางการอพยพคน เมื่อเกิดเหตุเพลิงไหม้นั้นเปรียบได้กับการไหลของน้ำที่ไหลต่อเนื่องกันของ 2 เส้นทางมาบรรจบกันของแต่ละเส้นทางความสามารถในการรองรับการอพยพคนในพื้นที่นั้นได้ (MacLennan, 1986) สังเกตการเคลื่อนย้ายจากการจำลองการอพยพได้ว่าเมื่อเส้นทางหนึ่งหยุดเคลื่อนย้าย ในขณะที่อีกเส้นทางหนึ่งเข้ามาบรรจบกัน การที่เข้ามาบรรจบกันนี้เองจะมีผลอย่างมาก เมื่อจำนวนคนที่มีมากจนทำให้ไม่สามารถเคลื่อนที่ไปได้ ซึ่งเป็นเรื่องปกติเมื่อเกิดการเข้ามาบรรจบกันของเส้นทาง โดยสามารถสรุปได้ว่า 30 - 50 % บริเวณนั้นไคนั้นความเร็วของการเคลื่อนที่จะลดลง

9.9 ประสิทธิภาพของความกว้าง

การเคลื่อนที่ของคนไปสู่ทางออกของอาคารที่เกี่ยวข้องกับส่วนอื่นๆ เช่น ผนัง การเคลียร์พื้นที่จึงจำเป็นกับการรักษาสมดุลในการเคลื่อนย้าย การอธิบายเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของกลุ่มคนเกิดขึ้น เมื่อความกว้างมีผลกระทบต่ออพยพเคลื่อนย้าย ผลกระทบของความกว้างและ

ระดับชั้นของส่วนประกอบ (Pauls and Fruin, 2000) และ (Habicht & Braaksma) ซึ่งความกว้างของพื้นที่ว่างจะกำหนดจาก

- 1) จากผนังด้านหนึ่งไปถึงอีกด้านหนึ่งของทางเดิน
- 2) ความกว้างของชั้นบันได
- 3) ความกว้างของทางเดินจริงของประตูทางออก
- 4) พื้นที่ระหว่างแถวที่นั่งกับส่วนอื่นๆที่จัดไว้
- 5) พื้นที่ระหว่างที่นั่งในแถวที่จัดไว้

9.10 ความหนาแน่น (Density)

ความหนาแน่นเป็นการกำหนดพื้นที่ตามเส้นทางการอพยพต่อจำนวน คน 1 คน การคำนวณจะกำหนดเป็น 1 คนต่อ 1 ตารางฟุต หากไม่มีข้อมูลอื่นๆ เข้ามาสนับสนุนพื้นที่ต่อคนของทางออกจะขึ้นอยู่กับพื้นที่ให้บริการทั้งหมด ซึ่งจะไม่มีการกำหนดข้อจำกัดของเส้นทางการอพยพในทางตรงกันข้ามถ้าจำนวนผู้อพยพไม่สอดคล้องกับพื้นที่การคำนวณจะขึ้นอยู่กับช่วงเวลา

9.11 การเคลื่อนที่ไปของคน

การเคลื่อนที่ที่จะคำนวณจากการที่คนอพยพผ่านจุดต่างๆ เพื่อไปสู่ทางออกต่อพื้นที่ของเวลาต่อความกว้าง ความสัมพันธ์ของการเคลื่อนที่ไปของคนกับพื้นที่ต่อคน

9.12 การเปลี่ยนแปลงของเส้นทาง

การเคลื่อนที่ไปสู่ทางออกจากจุดที่อยู่เดิม เป็นไปตามลักษณะเส้นทางที่เปลี่ยนแปลงไปหรือตามเส้นทางที่มารวมกัน รวมถึงจุดที่ไปสู่ทางออก กว้างขึ้น หรือแคบลงจุดที่ทางเดินไปเชื่อมต่อกับบันได ซึ่งจะกลายเป็นการเคลื่อนย้ายด้วยความเร็วที่ต่างกัน และจุดที่ทางออกมีจำนวนทางออก 2 - 3 ทางมาบรรจบเชื่อมกันพอดี ซึ่งจะมีคนจำนวนมาก ซึ่งสามารถนำกฎเกณฑ์มาใช้ในการเปลี่ยนแปลงไปของสภาพเส้นทางสู่ทางออก ดังนี้

- 1) การเคลื่อนที่จากจุดที่มีการเปลี่ยนแปลงไปตามข้อกำหนด และข้อจำกัดที่มี

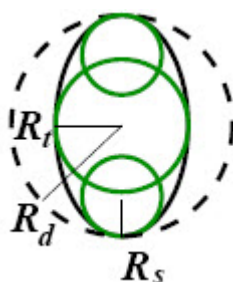
2) การคำนวณการเคลื่อนที่ไป ในจุดการเปลี่ยนแปลงที่ไม่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของคนสูงสุด ตามเส้นทางที่มาบรรจบเชื่อมกัน

3) ภายในข้อจำกัดที่ 2 การหาค่าการเคลื่อนที่ไป จากเส้นทางที่แยกจากจุดการเปลี่ยนแปลงจะเป็นไปตามกรณีต่อไปนี้

- ก) กรณีที่ทางเส้นหนึ่งไปบรรจบกับอีกเส้นทางหนึ่ง
- ข) กรณีที่ 2 เส้นทางมาบรรจบกับอีกเส้นทางหนึ่ง
- ค) กรณีการบรรจบกันในรูปแบบอื่นๆ ที่มีรูปแบบความสัมพันธ์แบบทั่วไป

10. 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 วงเป็นส่วนหัวและไหล่ทั้ง 2 ข้างของมนุษย์ ดังภาพที่ 7 ส่วนการวัดความเร็วในการเคลื่อนที่ของคนในแต่ละประเภท สามารถแสดงดังตารางที่ 5



ภาพที่ 7 รูปร่างของร่างกายมนุษย์โดยประมาณซึ่งแทนด้วยการนำวงกลม 3 วงมาซ้อนกัน

ที่มา: Korhonen and Hostikka (2007)

ตารางที่ 5 ความเร็วในการเดินของคนโดยไม่มีการกีดขวางเปรียบกับขนาดของร่างกายในรูปแบบของโปรแกรม FDS+Evac

Body Type	Rd (m)	Rt / Rd (-)	Rs / Rd (-)	Ds / Rd	Speed (m/s)
Adult	0.225 ± 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

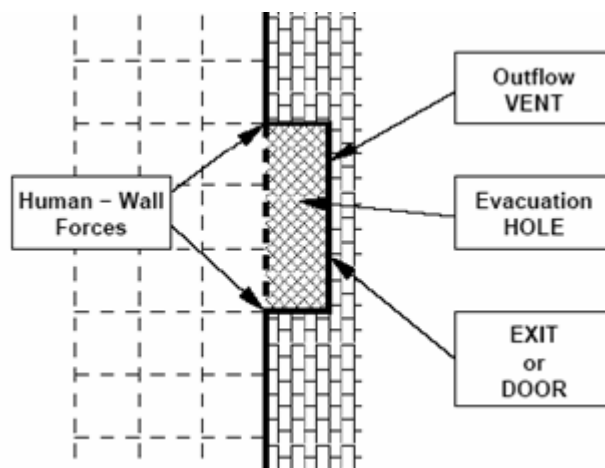
ที่มา: Korhonen and Hostikka (2007)

ขั้นตอนการจำลองรูปแบบการอพยพนั้นมีการพัฒนาโดยสถาบัน VTT ซึ่งโปรแกรม FDS+Evac เป็นโปรแกรมที่สามารถทำงานบน single computer mode หรืออื่นๆ ได้ แต่รูปแบบของควัน หรือแก๊สพิษ ต้องใช้ Multiple Processor ดังนั้นจึงต้องพิจารณาว่าเมื่อไหร่ที่ต้องใช้การประมวลผลการอพยพด้วย 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 รายละเอียดดัง ภาคผนวก ก

10.1 จิตความสามารถของโปรแกรม FDS+ Evac

การจัดทำสิ่งที่สามารถคำนวณของโปรแกรม FDS+Evac ในตอนนี้ คือ อาคารที่มีรูปแบบของอาคารในแนวนอน เช่น อาคารกีฬา อาคารที่มีที่นั่ง (stand) อาคารการแสดงดนตรี เป็นต้น แต่ยังไม่สามารถที่จะใช้การเคลื่อนที่ร่วมกับอาคารที่มีรูปแบบส่วนประกอบของบันไดได้อย่างสมบูรณ์ ดังนั้นโปรแกรม FDS+ Evac จึงยังไม่เหมาะกับรูปแบบของอาคารสูง โดยในการคำนวณการอพยพจำเป็นต้องมี evacuation meshes 2 มิติ ซึ่งไม่ควรที่จะมีความละเอียดมากเกินไปเนื่องจากจะทำให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ได้ในระหว่างที่มีการประมวลผลของการอพยพ ซึ่งปกติแล้วขนาดของ meshes cell จะมีขนาดประมาณ 0.25 เมตรหรือมากกว่า

โดยประตูหรือทางออกควรทำให้อยู่ในกำแพงเล็กน้อย ดังภาพที่ 8 โดยการทำให้เป็นรูภายในกำแพง ซึ่งขนาดของทางออกจะขึ้นอยู่กับ mesh resolution



ภาพที่ 8 การสร้างทางออก หรือ ประตู

ที่มา: Korhonen and Hostikka (2007)

โปรแกรม FDS+ Evac จะจำกัดจำนวนคนใน main evacuation meshes ซึ่งหากคนเกินจำนวนที่จำกัดจะแสดงข้อความ error เช่น กรณีมีคนจำนวน 1,000 คน พยายามที่จะเข้าไปในทางออกหรือประตู ซึ่งโดยปกติแล้วใน main evacuation meshes จะคลุมทั้งชั้นของอาคาร ซึ่งอาจจะมีจำนวนประตูหรือทางออกหลายทางได้ตามจำนวนชั้น ซึ่งจะมีข้อจำกัดเดียวก็คือขนาด memory ของเครื่องคอมพิวเตอร์ และโปรแกรมสามารถที่จะจำลองเหตุการณ์ใหม่พร้อมกับการจำลองการอพยพได้พร้อมกัน ซึ่งปริมาณควัน หรือแก๊ส จะมีผลต่อการเคลื่อนที่และการตัดสินใจในการอพยพของคน โดยความหนาแน่นของควันหรือแก๊สที่เกิดจากการเผาไหม้สามารถทำให้ความเร็วการเดินของคนลดลง และจะส่งผลต่อการตัดสินใจในการเลือกเส้นทางออก เมื่อเกิดการอพยพคนเรายังมีทางเลือกในการหาทางออกได้แตกต่างกัน จึงต้องมีการจำลองวิธีการหาทางออกเพื่อดูความหลากหลาย ดังนั้น จึงต้องทำการจำลองสถานการณ์หลายๆ ครั้งต่อการจำลองเพลิงไหม้ 1 ครั้ง

10.2 พื้นฐานโปรแกรม FDS+Evac

รายละเอียดข้อมูลของโปรแกรม Fire Dynamic Simulation (FDS) นั้นในส่วนของการรายละเอียดของโปรแกรมนั้นจะประกอบไปด้วย ชื่อโปรแกรม และเวอร์ชัน โดยชื่อของโปรแกรมการเกิดไฟ คือ NIST Fire Dynamic Simulation หรือเรียกสั้นๆว่า FDS โดยเป็นโปรแกรม Fortran 90 โดยจะใช้ในการแก้สมการ Fluid Dynamic และมีโปรแกรม smoke view ซึ่งเป็นโปรแกรมที่คล้ายคลึงกันซึ่งเขียนมาจากภาษา C/Open GL ซึ่งจะแสดงผลออกมาในลักษณะเป็นภาพ animation

ส่วนโปรแกรมจำลองการอพยพที่พัฒนาโดย VTT และเมื่อนำรวมเข้าด้วยกันกับ FDS Module จึงกลายมาเป็นโปรแกรม FDS +Evac โดยที่การคำนวณการอพยพของโปรแกรมในเวอร์ชันปัจจุบัน 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 ต่างๆ ที่จำเป็นในการสั่งให้โปรแกรม FDS+Evac ทำงานคือ ข้อมูลในรูปแบบของ text files ซึ่งจะคล้ายกับข้อมูลของโปรแกรม FDS

ส่วนของผลลัพธ์ของการประมวลผลของโปรแกรม FDS+Evac สามารถคำนวณหาค่าตำแหน่ง ความเร็ว และปริมาตรของควัน แก๊สพิษ และสามารถเห็นการเคลื่อนที่ของคนแต่ละคนได้ โดยใช้โปรแกรม Smoke view แม้ว่าโปรแกรม FDS+Evac จะสามารถทำงานหรือประมวลผลได้ในทุกเหตุการณ์แต่ก็ยังมีข้อจำกัดในส่วนของคุณค่า ดังนี้

1) Geometry: โปรแกรม FDS สามารถทำงานได้ดี หากเป็นแบบ rectilinear numerical Grid แต่จะมีข้อจำกัดหากเป็นแบบ rectangular Grid ซึ่งในการจัดทำแบบจำลองนี้ใช้ rectilinear numerical grid

2) Reduced Visibility: ค่าความเข้มข้นของควัน และก๊าซพิษต่างๆ ที่เกิดจากการเผาไหม้สามารถคำนวณได้โดยโปรแกรม FDS จะถูกใช้งาน เพื่อลดความเร็วในการเคลื่อนที่ของคนในแบบจำลอง

3) Incapacitation: โปรแกรมความเสียหายซึ่งใช้แนวคิดของ FED

4) Exit Route Selection: การควบคุมจำนวนทางออกหรือประตู จำนวนมากหรือน้อยสามารถทำให้เกิดการใช้งานที่แตกต่างกันไป

5) Detection and Reaction Time: เวลาก่อนการอพยพจะถูกกำหนดโดยuser input ซึ่งจะต้องใช้การกระจายเวลาในการตรวจสอบและวิจัย

6) Application: โปรแกรม FDS+Evac ในเวอร์ชันปัจจุบันจะยังไม่นำเรื่องของลิฟต์เข้ามาเกี่ยวข้อง ดังนั้น สถานที่แสดงคนตรี และสนามกีฬาอาจจะทำให้สามารถจำลองได้ยากเนื่องจากข้อจำกัดจาก Rectangular Computational Mesh

10.3 ทฤษฎีพื้นฐานการอพยพของโปรแกรม

จุดเริ่มต้นของรูปแบบการคำนวณการเคลื่อนที่ของคนในโปรแกรมFDS+Evac ซึ่งการปรับเปลี่ยนสัญลักษณ์ของคนจาก 1 วงกลมเป็น 3 วงกลม โดยการเคลื่อนที่ของคนในโปรแกรม FDS+Evac ใช้กฎการเคลื่อนที่ของทางเครื่องกล (Langton, 2006 and Korhonen, 2007) ดังสมการที่ 7

$$m_i \frac{d^2 x_i(t)}{dt^2} = f_i(t) + \xi_i(t) \quad (7)$$

โดยที่

$x_i(t)$ คือ position of the agent i at time t

$f_i(t)$ คือ force exerted on agent by surrounding

m_i คือ mass

$\xi_i(t)$ คือ small random fluctuation force

โดยใช้การคำนวณโดยรูปร่างของคนในโปรแกรม FDS+Evac จะคล้ายคลึงกับใน Simplex Mass Egress

แรงที่เกิดขึ้นกันคนมีส่วนประกอบด้วยกันหลายส่วนดังนี้

$$f_i = \frac{m_i}{\tau_i} (v_i^0 - v_i) + \sum_{j \neq i} (f_{ij}^{soc} + f_{ij}^{att} + f_{ij}^c) + \sum_w (f_{iw}^{soc} + f_{iw}^c) + \sum_k f_{ik}^{att} \quad (8)$$

โดยที่ส่วนแรกเป็นแรงที่เกิดจากการเคลื่อนที่ ส่วนที่2 เกิดจากผลกระทบบระหว่างคนด้วยกัน ส่วนที่ 3 เกิดจากผลกระทบบระหว่างคนกับผนัง และส่วนที่4 เกิดจากผลกระทบบระหว่างคนกับสภาพแวดล้อม เช่น คนกับไฟ

โดยที่

τ_i คือ relaxation time parameter

$$f_{ij}^{soc} = A_i e^{-\left(r_{ij}-d_{ij}\right)/B_i} \left(\lambda_i + (1-\lambda_i) \frac{1+\cos\varphi_{ij}}{2} \right) n_{ij} \quad (9)$$

โดยที่

r_{ij} คือ distance between the centers of the circles

d_{ij} คือ the sum of the radii of the circle

n_{ij} คือ unit vector point from the agent j to i

φ_{ij} คือ the angle between the direction of the motion of the agent i feeling the force and the direction to the agent j , which is exerting the repulsive force on the agent i

A_i คือ the strength

B_i คือ the spatial extent of the force

λ_i คือ controls the anisotropy of social force

ซึ่งถ้า λ_i มีค่าเท่ากับ 1 แรงที่กระทำจะเท่ากันทุกทิศทาง แต่ถ้า $0 < \lambda_i < 1$ แรงที่มากกว่าจะอยู่ด้านหน้า ค่าพารามิเตอร์ A_i B_i และ λ_i จะแตกต่างกันโดยขึ้นอยู่กับบุคคลแต่ละวัย แต่ในโปรแกรม FDS+Evac ในปัจจุบันกำหนดให้คนแต่ละวัยมีค่าพารามิเตอร์เท่ากัน สำหรับค่า f_{iw}^{soc} ใช้สมการเหมือนกับ f_{ij}^{soc} แต่เปลี่ยนค่าพารามิเตอร์เป็น A_w B_w และ λ_w

$$f_{ij}^c = (k(d_{ij} - r_{ij}) + Cd\Delta v_{ij}^n)h_{ij} + K(d_{ij} - r_{ij})\Delta v_{ij}^t t_{ij} \quad (10)$$

โดยที่

Δv_{ij}^t คือ different of the tangential velocities of the circles in contact

Δv_{ij}^n คือ difference of their normal velocities

t_{ij} คือ unit tangential vector of contacting circles

k คือ radial elastic force strength (force constant)

K คือ strength of the frictional (force constant)

Cd คือ damping parameter

สำหรับค่า f_{iw}^c ใช้สมการเหมือนกับ f_{ij}^c แต่เปลี่ยนจากค่าต่างๆที่กระทำระหว่างคนด้วยกันเป็นค่าระหว่างคนกับผนังหรือ เปลี่ยนจาก ij เป็น iw ส่วนแรง f_{ij}^{att} เป็นแรงดึงหรือแรงผลักระหว่างคนด้วยกัน

สมการที่ผ่านมทั้งหมดในโมเดลการเคลื่อนที่ เป็นสมการของการเคลื่อนที่แต่ยังต้องมีสมการที่เกี่ยวกับการหมุนตัวของคนอีกด้วยคือ

$$I_i^z \frac{d^2 \varphi_i(t)}{dt^2} = M_i^z(t) + \eta_i^z(t) \quad (11)$$

โดยที่

$\varphi_i(t)$ คือ angle of the agent i at time t

I_i^z คือ moment of inertia

$\eta_i^z(t)$ คือ small random fluctuation torque

$M_i^z(t)$ คือ the total torque exerted on the agent by its surrounding

ซึ่งค่า $M_i^z(t)$ มีค่าเท่ากับ

$$M_i^z = M_i^c + M_i^{soc} + M_i^T \quad (12)$$

โดยที่

M_i^c คือ torque of contact

M_i^{soc} คือ torque of social

M_i^T คือ torque of motive force

โมเมนต์บิดจากการกระทบกันมีค่าเท่ากับ

$$M_i^c = \sum_{j \neq i} (R_i^c \times f_{ij}^c) \quad (13)$$

โดยที่

R_i^c คือ radial vector which point from the center of the agent i to the point of contact

โมเมนต์บิดจากแรงของความรู้สึกมีค่าเท่ากับ

$$M_i^{soc} = \sum_{j \neq i} (R_i^{soc} \times f_{ij}^{soc}) \quad (14)$$

โดยที่

R_i^{soc} คือ vector point from the center of the agent i to the fictitious contact point of the social force

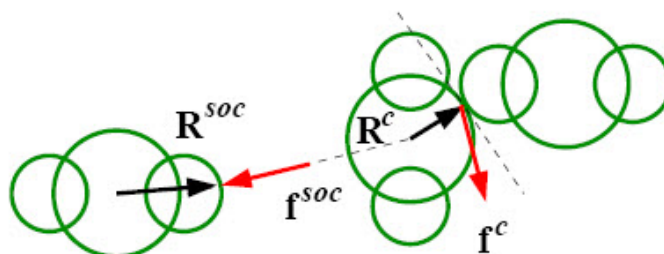
โมเมนต์บิดจากแรงของการเคลื่อนที่มีค่าเท่ากับ

$$M_i^T = \frac{I_i^Z}{\tau_i^Z} (\varpi_i^0 - \omega(t)) \quad (15)$$

โดยที่

$\omega(t)$ คือ current angular velocity

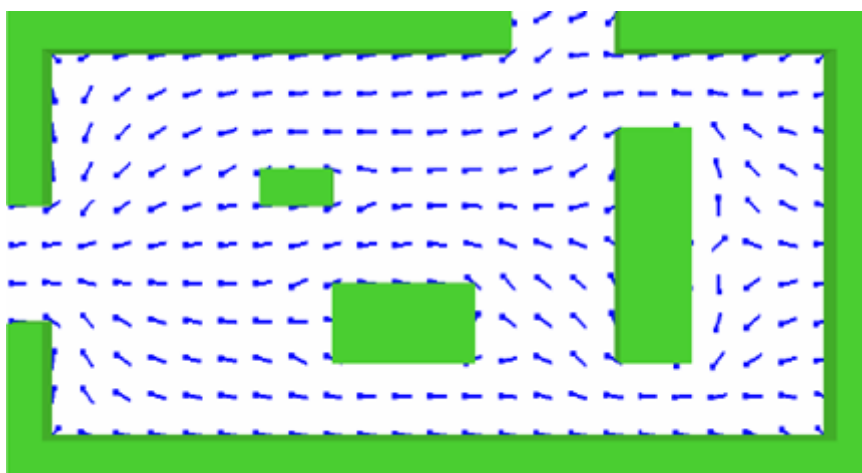
ϖ_i^0 คือ target angular speed



ภาพที่ 9 อธิบายการกระทบของคนใน Radial Vectors แต่ละแบบ

ที่มา: Korhonen and Hostikka (2007)

โดยโปรแกรม FDS + Evac คนจะถูกนำทางไปยังประตูทางออกโดยสนามทางเดินเป็นทิศทางแบบ vector ดังภาพที่ 17 โดยการกำหนดทางออกเดียวให้เป็นเหมือนพัดลมจึงเหมาะกับการกำหนดทิศทางออกตามที่กำหนดไว้ ถึงแม้ว่าจะไม่ใช่วิธีที่มีระยะทางที่สั้นที่สุดแต่ก็ใกล้เคียง เพราะจะสามารถนำคนไปในทิศทางที่ถูกต้อง ไม่นำคนไปสู่ทิศทางที่แคบกว่า ซึ่งจะทำให้เกิดการติดขัดและถึงแม้เป็นในสถานที่ใหญ่ๆ อย่าง เช่น สนามกีฬา ก็ไม่สามารถเคลื่อนที่ออกนอกนอกทิศทางที่คนส่วนใหญ่เคลื่อนที่มุ่งไปได้อยู่แล้ว ซึ่งสัญลักษณ์แทนคนที่เป็นวงกลม 3 วง ถูกใช้ในการทดลองเพื่อให้ได้รูปแบบการเคลื่อนที่คล้ายจริงมากที่สุด



ภาพที่ 10 สนามการไหล 2 มิติ ในการนำคนไปสู่ทางออก

ที่มา: Korhonen and Hostikka (2007)

10.4 เพลิงและปฏิกิริยาของคน

เพลิงมีอิทธิพลต่อการสภาวะการอพยพ อาจทำให้คนเราได้รับอันตราย หรือหากเป็นกรณีที่เกิดเหตุการณ์ร้ายแรงอาจทำให้เกิดการปิดกั้นทางออกหลัก และอีกนัยหนึ่งก็สามารถที่จะมองได้ว่าคนอาจมีอิทธิพลต่อเพลิง เช่นกัน โดยการเปิดประตูหรือการใช้อุปกรณ์ดับเพลิง ซึ่งในปัจจุบันผลกระทบของควันที่มีความเร็วในการเคลื่อนที่ของคน และความเป็นพิษของควันมีผลในการคำนวณการเคลื่อนที่ของโปรแกรม FDS+Evac ความหนาแน่นของควันจะมีผลต่อการการมองเห็น ประตูทางออก คนอพยพจะถูกพิจารณาได้ว่าได้รับอันตราย เมื่อมีค่า FES สูงกว่าค่าโดยรวมโดยคนที่ได้รับอันตรายจะถูกพิจารณาให้ความเร็วในการเคลื่อนที่เป็นศูนย์ ขนาดร่างกายไม่เปลี่ยนแปลง

10.5 การเลือกทางออก

โปรแกรม FDS+Evac คนอพยพแต่ละคนจะสังเกตสถานที่ และอากัปกริยาของผู้อพยพอื่น เพื่อประเมินการหาทางออกที่เร็วที่สุดระยะเวลาในการอพยพโดยการประเมินจะประกอบด้วยระยะเวลาในการเดินรวมกับการต่อแถว โดยเวลาในการเดินหาได้จากระยะทางในการเดินทางด้วยความเร็วในการเดิน เวลาในการต่อแถวหาได้จากพฤติกรรมรวมกับสถานที่ของผู้อพยพอื่นรวมถึงยังสมมติให้ผู้อพยพสามารถเปลี่ยนเส้นทางได้หากพบทางออกที่ดีกว่า

ความคุ้นเคยกับทางออกของคนอพยพแต่ละคนในโปรแกรม FDS+Evac สามารถกำหนดได้ โดยผู้ใช้โปรแกรมหรือจะให้โปรแกรมกำหนดให้เป็นแบบสุ่มก็ได้ วิธีหรือขั้นตอนการเลือก ทางออกจะประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ทางออกที่แบ่งตาม preference และทางออกที่ถูกเลือก โดยการ ลดเวลาในการอพยพโดยประมาณ โดยทางออกที่เราคุ้นเคยเราจะรู้สึกว่ามีอันตรายน้อย ซึ่งเป็น สาเหตุทางด้านจิตวิทยาและตัวผู้อพยพก็มักจะชอบทางออกที่คุ้นเคยถึงแม้จะใช้เวลาในการเดินทาง เพราะเหตุผลนี้การฝึกซ้อมเหตุการณ์ฉุกเฉินจึงต้องมีการใช้ทางหนีไฟ

10.6 กลุ่มคน / ผุ้ชน

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

- 1) ขั้นตอนการรวมตัวคนแต่ละคนจะเดินเข้าหากันเพื่อรวมกลุ่ม
- 2) ขั้นตอนการออกไปสู่พื้นที่ด้านนอก โดยกลุ่มคนจะออกสู่พื้นที่ด้านนอกไปยัง ทางออกที่ได้เลือกไว้แล้วพร้อมกันซึ่งทั้ง 2 ขั้นตอนนี้ในโปรแกรมจะเริ่มจากการที่แต่ละคน จะพยายามเดินมาอยู่ตรงกลางให้อยู่ในระยะจุดศูนย์กลางอยู่ห่างจากแต่ละคนในระยะที่ใกล้กัน เมื่อนั้นจึงถือว่าขั้นนี้สมบูรณ์ จากนั้นจึงเริ่มเดินไปสู่ทางออกในระหว่างการเดินทางทุกๆ คน ในกลุ่มก็พยายามอยู่รวมกัน ซึ่งมีผลต่อความเร็วในการเดินและเพิ่มแรงในการมุ่งไปสู่จุดหมาย

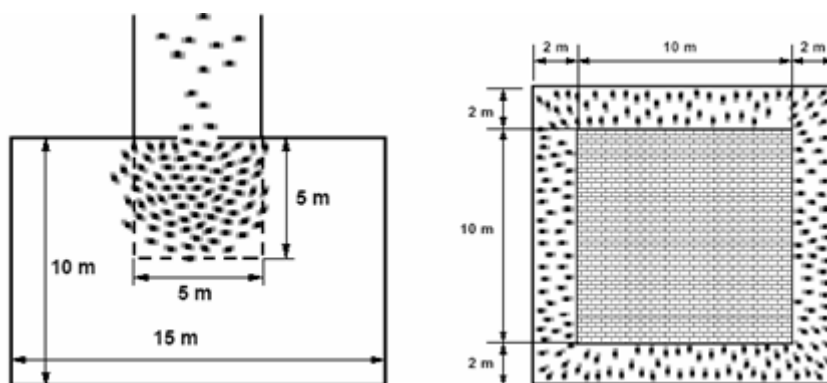
10.7 การคำนวณการเคลื่อนที่ของคน

สมการการเคลื่อนและตำแหน่งของการหมุนของการเคลื่อนที่ สามารถแก้ไขได้ โดยการใช้ความเร็วที่ปรับแล้ว ซึ่งลำดับขั้นเวลาที่ใช้ในคำสั่ง โดยจะถูกปรับค่าในการจำลอง โดยแรงที่สูงสุดที่กระทำต่อคน โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0.001 วินาที และ 0.00001 วินาที ซึ่งขึ้นอยู่กับ รูปแบบคำสั่งของประตูทางออก เวลาที่ใช้ในการอพยพโดยประมาณของโปรแกรม FDS+Evac ในเวอร์ชันปัจจุบันทำโดยการหารระยะทางที่ไปสู่ประตูด้วยความเร็วในการเดินที่ไม่มีสิ่งกีดขวาง ในการคำนวณทำตลอดเส้นทางอพยพและประมาณระยะเวลาที่ใช้ในการรอแถวที่บริเวณด้านหน้า ประตู ส่วนความหนาแน่นของคนหรือวันพิช สามารถคำนวณได้โดย FDS5 Fire Simulation

โดยที่ผู้ใช้งานใส่ Input เป็นเวลาของการตรวจจับและเวลาในการตอบสนองสำหรับคนที่กำลังอพยพ ความหนาแน่นของควันหรือก๊าซพิษนั้นมีผลต่อรูปแบบคำสั่งในการเลือกประตูทางออก

10.8 ความอ่อนไหวของ โปรแกรม FDS+Evac

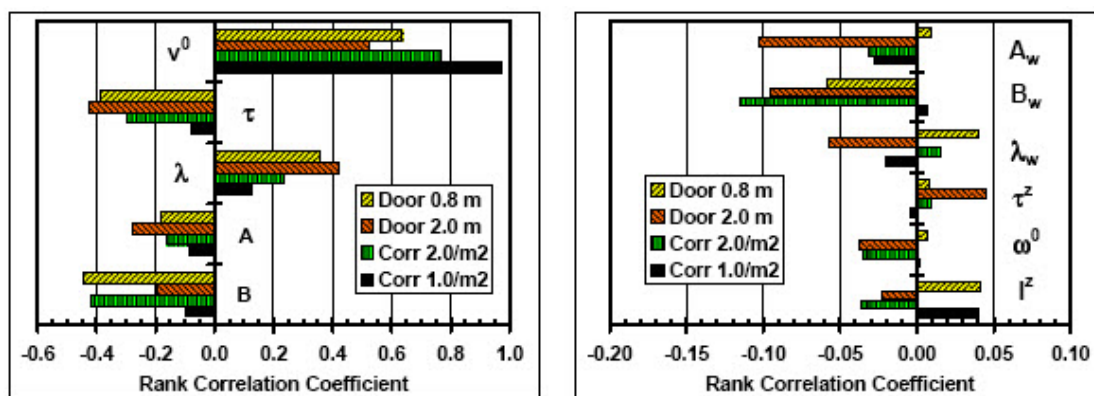
ผลกระทบของค่า Input Parameter ที่แตกต่างกันจะส่งผลต่อ Output โดยเฉพาะ Flow ที่ผ่านประตู Corridor และบันไดจะถูกตรวจสอบ เพราะส่วนต่างๆ นี้มักมีลักษณะเป็นคอขวดเมื่อมีการวางสิ่งของภายในอาคาร โดยความละเอียดของ Grid โปรแกรม FDS+Evac ที่ใช้ Computational Grid โดย Grid จะถูกใช้ในการระบุเรขาคณิตของการคำนวณ ละเอียดที่เห็นเด่นชัดคือ แก้ปัญหาของอุปสรรค เช่น ประตู ซึ่งได้แก่ Grid resolution ส่วนอื่นๆ ก็คือทำอย่างไรให้ Grid resolution เปลี่ยนสนามทิศทางการเคลื่อนที่อพยพซึ่งใช้ในการนำทางให้ผู้คนไปสู่ประตูทางออก



ภาพที่ 11 การทดสอบทางเรขาคณิตถูกใช้ในการคำนวณการเคลื่อนที่ผ่านประตูและบันได

ที่มา: Korhonen and Hostikka (2007)

ความแม่นยำในการคำนวณผลของ FDS นั้นจะขึ้นอยู่กับ FDS Grid Resolution โดยทั่วไปแล้วขนาดของ Grid จะเท่ากับหรือน้อยกว่าขนาดของร่างกายมนุษย์ ซึ่งจะทำให้ได้ข้อมูลที่มีความถูกต้องในการอพยพที่เพียงพอ



ภาพที่ 12 ค่าสัมประสิทธิ์สัมพัทธ์ การจัดอันดับ (RCC) สำหรับการเคลื่อนที่ผ่านประตูและบันได โดยที่ประตูกว้าง 0.8 เมตรและ 2.0 เมตร และความหนาแน่นของคน 1.0 คน/ตารางเมตร และ 2.0 คน / ตารางเมตร

ที่มา: Korhonen and Hostikka (2007)

10.9 ความอ่อนไหว (sensitivity) ของ Human Parameter

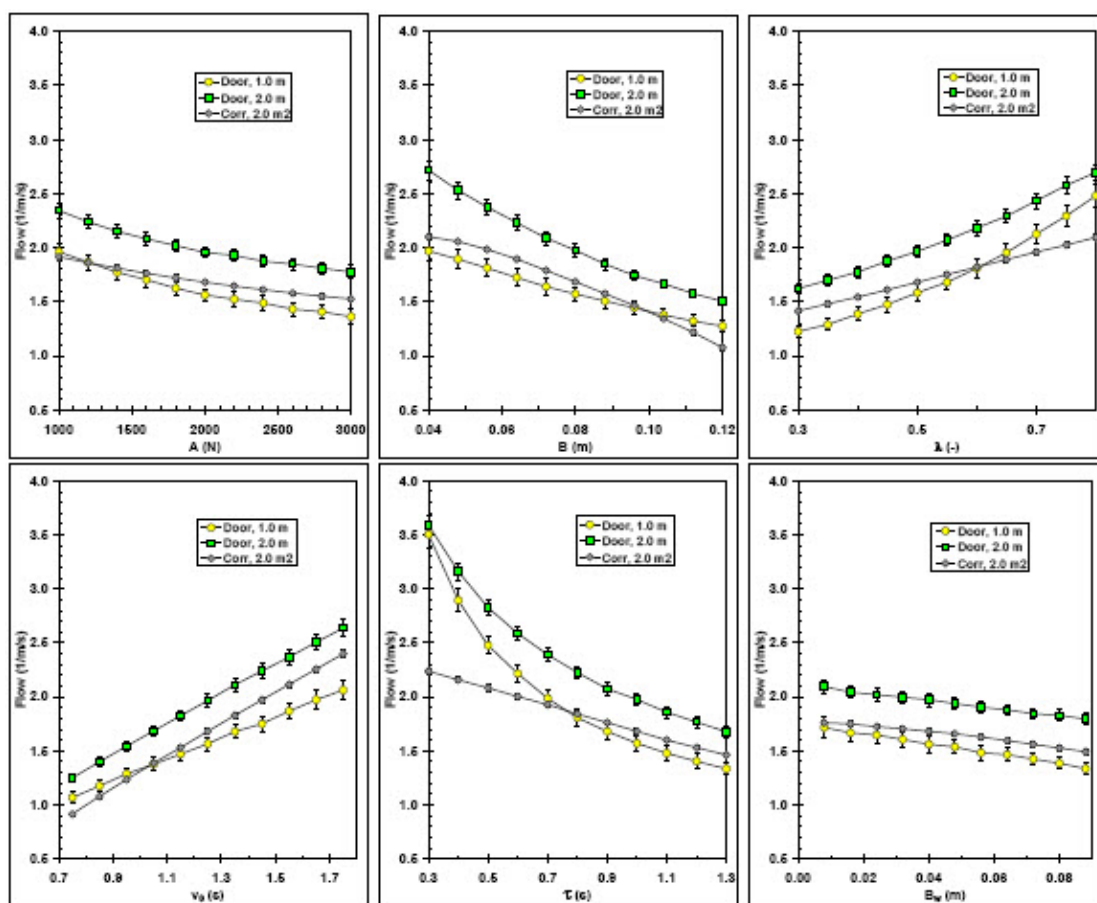
รูปแบบการเคลื่อนที่ของมนุษย์ในโปรแกรม FDS+Evac มี Parameter มากมาย บางส่วนเกี่ยวข้องกับการอธิบายมนุษย์ในทางกายภาพ เช่น ขนาดร่างกาย มวล บางส่วนที่เกี่ยวข้องกับความเร็วในการเคลื่อนที่ Social force, Contact force เพื่อทดสอบว่า Parameter ใดมีผลกระทบกับมนุษย์มากที่สุดได้มีการจำลองใน 2 รูปแบบ คือ

- 1) ใช้การศึกษา Flow ของมนุษย์ผ่านประตูแคบหรือกว้าง
- 2) ใช้การศึกษา Flow ใน Corridor โดยใช้ความหนาแน่น 1.0 และ 2.0 คน/ตารางเมตร

การคำนวณ Flow บริเวณประตู จะขึ้นอยู่กับความหนาแน่น และขนาดประตู เช่น การกำหนดประตู กว้าง 1.0 เมตร และ 2.0 เมตร เป็นตัวแทนของประตูที่แคบกว้าง Flow บริเวณ Corridor จะคำนวณจากความหนาแน่นของคน 2.0 คน/ตารางเมตร เพราะเป็นค่าที่รู้กันว่าเป็นค่าที่

สูงที่สุด ผลที่ได้จากค่าเหล่านี้ในการจำลอง 20,000 ครั้งแสดงไว้ดังภาพที่ 13 โดย 1 จุดหมายถึงค่าเฉลี่ยของ 100 การจำลอง และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานแสดงไว้เป็น Error bar

ค่า Parameter แต่ละตัวดังภาพที่ 20 จะมีผลต่อความเร็วหรือช้า การเพิ่มหรือลดในการอพยพขนาดของประตู และบันได



ภาพที่ 13 ผลกระทบของค่า Parameter ต่างๆที่มีผลต่อการเคลื่อนที่ผ่านทางประตูและบันไดโดย บันไดมีขนาด 2.0 คน/ตารางเมตร และประตูกว้าง 1.0 เมตร และ 2.0 เมตร

ที่มา: Korhonen and Hostikka (2007)

11. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สมเกียรติ (2549) ศึกษาแผนอพยพโดยใช้โปรแกรมการจำลองด้านพลศาสตร์อค์กีย การวิจัยนี้ได้ใช้อาคารสำนักงาน ในการจำลองโดย เมื่อเกิดเพลิงไหม้ และมีกลุ่มควันลอยขึ้นแล้ว เมื่อเวลาผ่านไปมีผู้ที่อยู่ในบริเวณนั้นรับรู้ถึงสถานการณ์เพลิงไหม้ จึงทำการอพยพไปยังทางออกที่ เคยชินและใกล้ที่สุด เมื่อเพลิงไหม้และกลุ่มควันได้ลุกลามไป จึงทำให้ผู้ที่อยู่ในแต่ละบริเวณทำการอพยพไปยังทางออก และทำการทดสอบโดยปรับเปลี่ยนจำนวนคนในพื้นที่เพื่อให้ทราบถึงเวลาที่ใช้ในแต่ละกรณี

นิวัฒน์ (2542) ศึกษาเวลาที่ใช้ในการหนีไฟในอาคาร เพื่อนำไปสร้างเวลาของการเคลื่อน การอพยพคนจากอาคารเมื่อเกิดเหตุเพลิงไหม้ก่อนที่จะมีควันไฟจะเข้ามาในพื้นที่หนีไฟเช่นบันได หนีไฟ ให้มีการกำหนดเวลาการอพยพอย่างเหมาะสมกับประเทศไทย การวิจัยนี้ได้ทำการทดลอง โดยใช้นักศึกษา จำนวน 102 คน ทดลอง 20 ครั้ง ใช้ระยะเวลา 20 วัน พบว่า ความเร็วเฉลี่ยในการ เคลื่อนที่บนทางราบและลงบันไดมีค่า 54.12 และ 8.87 เมตรต่อนาที อัตราอพยพบนทางราบผ่าน ประตูและลงบันไดมีค่า 81.98, 55.01 และ 54.68 คนต่อนาทีต่อความกว้างหนึ่งเมตรตามลำดับ ผลการทดลองนี้สามารถสร้างเป็นสูตรคณิตศาสตร์แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับ ความหนาแน่นที่ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวกำหนด (r^2) สูงเกิน 0.9 ในหลายกรณี

สุรินทร์(2549) การออกแบบป้องกันอค์กียสำหรับอาคารสูงโดยใช้การจำลองพลศาสตร์ อค์กียการศึกษาการเกิดอค์กียในอาคารสูงโดยการสร้างภาพจำลองเสมือนจริงของอาคารสูง 7 ชั้นจากโปรแกรมพลศาสตร์อค์กีย (FDS) กำหนดให้การเกิดเพลิงไหม้ขึ้นที่ชั้น 2 ของอาคาร จากบริเวณที่มีความเสี่ยงสูงภายในห้อง จนไฟลุกลามขยายวงกว้าง ควันไฟแพร่กระจายตัวไปรอบ ทำให้สามารถทราบลักษณะและพฤติกรรมการแผ่กระจายของไฟและควันไฟในพื้นที่ปิดล้อมที่เป็น อาคารสูงในลักษณะที่เห็นเป็นภาพเสมือนจริงในรูปแบบ 3 มิติของการเกิดอค์กีย การออกแบบ และการการทำงานของระบบป้องกันอค์กีย ระบบป้องกันควันไฟและสามารถนำข้อมูลจาก การออกแบบมาวิเคราะห์โดยใช้การจำลองภาพเสมือนจริงเพื่อใช้เป็นแนวทางในการศึกษา การป้องกันและระงับอค์กียในอาคารสูงได้

สุทัศน์ (2546) การอพยพคนลงจากอาคารสูง โดยพิจารณาความสามารถของพฤติกรรมมนุษย์แต่ละคนเป็นบรรทัดฐานเพื่อทำการวิจัยถึงทางหนีไฟ การปิดล้อมพื้นที่ด้วยวัสดุทนไฟและไม่ติดไฟ ตลอดจนถูกขึ้นบันไดว่ามีผลกระทบต่อการหนีไฟเพียงใด ในแนวคิดการออกแบบเพื่อป้องกันอัคคีภัย สถาปนิกต้องให้ความสำคัญในการออกแบบเพื่อการป้องกันอัคคีภัยเป็น 2 เท่า ดังนั้นในการออกแบบสิ่งสำคัญที่สถาปนิกผู้ออกแบบควรรู้คือ

1. การป้องกันชีวิตต่ออัคคีภัยนั้น สามารถป้องกันได้โดยการหลบหนีจากควัน เพราะควันเป็นสิ่งที่ทำให้คนเสียชีวิตได้มากกว่าความร้อนของไฟ
2. การออกแบบโครงสร้าง ต้องคำนึงถึงการเลือกใช้วัสดุทนไฟและไม่ติดไฟมาใช้ อีกทั้งการออกแบบการจำกัดวงพื้นที่ของการแพร่กระจายความร้อน

พิชญะ (2547) ได้กล่าวไว้ว่ากฎหมายเชิงประสิทธิผลในปัจจุบันมีหลายประเทศ เช่น ออสเตรเลีย นิวซีแลนด์ อังกฤษ สหรัฐอเมริกาได้เริ่มนำมาใช้แล้วสำหรับในประเทศไทยปัจจุบัน กฎหมายมีลักษณะที่มีข้อกำหนดเฉพาะเจาะจงไม่มีทางเลือกให้แก่สถาปนิก และวิศวกรกฎหมายแบบเชิงประสิทธิผลจะเน้นที่ผลลัพธ์ของมาตรการการป้องกันอัคคีภัย ด้วยการคำนวณทางด้านคณิตศาสตร์ว่าเพียงพอในการป้องกันอัคคีภัยได้มากน้อยเพียงใด จึงทำให้มีการพัฒนาซอฟต์แวร์ที่ใช้สำหรับคำนวณการลุกลามของเพลิงไหม้ และพฤติกรรมการหนีไฟของคนบนเส้นทางหนีไฟในอาคารทั้งนี้จากผลของการพัฒนาซอฟต์แวร์ที่ใช้สำหรับการจำลองเหตุเพลิงไหม้ จะทำให้ได้ผลลัพธ์อย่างรวดเร็วในการทำนายเหตุการณ์ของแต่ละสถานการณ์ได้อย่างรวดเร็ว และทำให้มีมาตรฐานทางด้านการคำนวณเกี่ยวกับสถิติทางด้านอัคคีภัย

ณัฐกรณ์ (2546) ศึกษาและพบว่ากรออกแบบอาคารในปัจจุบันสถาปนิกต้องปฏิบัติตามกฎกระทรวง ฉบับที่ 33 ปี พ.ศ. 2535 ซึ่งมีข้อกำหนด และมาตรฐานในการออกแบบอาคารที่จะต้องระมัดระวังในการออกแบบระยะสัญจรของคนภายในอาคารทั้งในแนวดิ่งและแนวราบ จึงไม่สามารถพยากรณ์การใช้งานว่าเพียงพอกับความต้องการใช้งานในปัจจุบันหรือไม่ดังนั้นจึงได้ทำการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยจำลองสถานการณ์การหนีไฟในอาคาร โดยใช้บันไดหนีไฟเพื่อความปลอดภัยจากอัคคีภัยสำหรับอาคารสูง และอาคารขนาดใหญ่เพื่อวิเคราะห์ปัญหาการอพยพคนออกจากอาคารว่าจะจัดผังอาคารอย่างไรจึงจะเพียงพอก่อนออกแบบจริง

เฉลิมพล (2550) ได้ทำการจำลองสถานการณ์ไฟไหม้และการอพยพโดยใช้โปรแกรม Fire Dynamics Simulator with Evacuation (FDS+Evac) โดยทำการจำลองเหตุการณ์ไฟไหม้ในอาคารชุดพักอาศัย 5 ชั้น โดยทำการจำลองการอพยพแบ่งเป็นกรณีเหตุการณ์ปกติ และกรณีเกิดไฟไหม้ โดยเทียบกับกฎหมายประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่องการป้องกันและระงับอัคคีภัยในสถานประกอบการเพื่อความปลอดภัยในการทำงานสำหรับลูกจ้าง โดยจะต้องอพยพลูกจ้างออกไปภายในเวลาไม่เกิน 5 นาที และแนะนำให้แก้ไขเรื่องจำนวนคนในอาคาร ความกว้างทางหนีไฟ จำนวนบันได ในกรณีที่เวลาในการอพยพเกินกว่าเวลาที่ใช้อ้างอิง

Karlsson and Quintiere (2000) ได้นำเสนอเทคนิคสำหรับการประยุกต์ใช้โปรแกรม Computer Fluid Dynamics (CFD) เป็นโปรแกรมที่วิศวกรความปลอดภัยนิยมนำมาใช้คำนวณกันอย่างแพร่หลายซึ่งโปรแกรมไม่เฉพาะเจาะจงว่าจะต้องสามารถนำมาใช้เกี่ยวกับการจำลองที่เกี่ยวกับของไหลและการถ่ายเทความร้อนเท่านั้น โปรแกรมยังสามารถแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงสถานะของการเผาไหม้ได้ยกตัวอย่าง เช่น การเปลี่ยนสถานะของการเผาไหม้ หรือแม้แต่การทำปฏิกิริยาทางเคมี เช่น การจำลองความหลากหลายของการเปลี่ยนแปลงสถานะของของไหลในเตาหลอมโลหะ ซึ่งนอกจากนี้สิ่งสำคัญของการใช้โปรแกรมหดังกล่าวก็คือ การจำลองความแปรปรวนของแบบจำลองการแสดงผลการแผ่รังสีและการแพร่กระจายของควัน รวมทั้งการแสดงผลแบบจำลองของการเผาไหม้

Hoskin (2004) ศึกษาการอพยพในสนามกีฬาเพื่อหาพฤติกรรมของผู้อพยพด้วยวิธีการสังเกตรวมถึงการจับเวลาที่ใช้ในการอพยพขณะเกิดเหตุเพลิงไหม้การศึกษาจะครอบคลุมโครงสร้างของอาคาร เพื่อหาจุดประาะบางของอาคารด้วย เช่น สนามกีฬาในประเทศนิวซีแลนด์กำหนดขนาดความจุไว้ไม่เกิน 20,000 คน เพื่อเหมาะสมกับการรองรับความจุของเส้นทางอพยพ ซึ่งประเทศนิวซีแลนด์เป็นเกาะหากเกิดแผ่นดินไหว หรือภูเขาไฟระเบิด จะได้มั่นใจว่าสามารถอพยพคนออกจากสนามกีฬาได้อย่างปลอดภัย ประเด็นที่สำคัญก็คือการบาดเจ็บและความเสียหายที่เกิดจากการอพยพที่ผิดวิธีการ การศึกษาจะมีวิธีการเช่นเดียวกับการศึกษาการอพยพในอาคารสูง ที่ทันสมัยเหมือนประเทศสหรัฐอเมริกา ประเทศนิวซีแลนด์ไม่มีการก่อสร้างอาคารขนาดใหญ่ จะมีการก่อสร้างอาคารขนาดใหญ่เพียงอย่างเดียว คือการก่อสร้างสนามกีฬา ส่วนวิธีการศึกษามี ดังนี้

1. วิเคราะห์สังเกตการเคลื่อนย้ายกลุ่มคนจากสนามกีฬา และนำไปเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการจำลองโดยใช้โปรแกรมการอพยพ

2. วิเคราะห์การไหลของกลุ่มคนในแนวดิ่งและแนวนอนเพื่อคำนวณหาเวลาในการอพยพ
3. เปรียบเทียบหาความสัณพันธ์ของทางออกเพื่อใช้สำหรับสร้างสนามกีฬาแห่งใหม่

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

ระบบคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์เสริมประกอบ ในการศึกษาวิจัยมีดังนี้

1. คอมพิวเตอร์ CPU 3.0 GB ขนาดความจุของ Hard Disk ขนาด 80 GB หน่วยความจำ RAM 1 GB ขึ้นไป

2. โปรแกรม FDS+Evac

2.1 โปรแกรม FDS 5.1.0-SMV 5.0.7 with fds_5.1.6 and smv_5.1.6 จาก
<http://code.google.com/p/fds-smv/downloads/list>

2.2 โปรแกรม Microsoft Office Excel 2003

วิธีการ

1. ขั้นตอนการวิจัย

1.1 ศึกษาวิธีการใช้โปรแกรมและเขียนคำสั่งของโปรแกรม Fire Dynamics Simulator with Evacuation (FDS+Evac)

1.2 สร้างแบบแปลนของโรงเรียนอนุบาลที่จะใช้ในการจำลองเหตุการณ์

1.3 ทำการจำลองเหตุการณ์ไฟไหม้และการอพยพจากแบบแปลนโดยใช้โปรแกรม Fire Dynamics Simulator with Evacuation (FDS+Evac)

1.4 วิเคราะห์ผลจากการจำลองเหตุการณ์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

1.5 เสนอแนวทางการปรับปรุงลักษณะทางสถาปัตยกรรมของอาคารหรือกำหนดปริมาณนักเรียนในห้องเรียน

1.6 ทำการจำลองเหตุการณ์เพลิงไหม้และการอพยพจากแนวทางที่ได้ปรับปรุงโดยการคำนวณตามมาตรฐานแล้วใช้โปรแกรม Fire Dynamics Simulator with Evacuation (FDS+Evac) ทำการจำลองเหตุการณ์อีกครั้งหนึ่ง

1.7 วิเคราะห์ผล

1.8 สรุปผล และจัดทำข้อเสนอแนะ

2. วิธีการวิจัย

วิธีที่ใช้ในการประเมินสถานการณ์อพยพโดยใช้โปรแกรม FDS+Evac กรณีศึกษาโรงเรียนอนุบาลนั้น ผู้วิจัยได้กำหนดวิธีการวิจัย ซึ่งสามารถแบ่งเป็นลำดับขั้นตอนได้ดังนี้

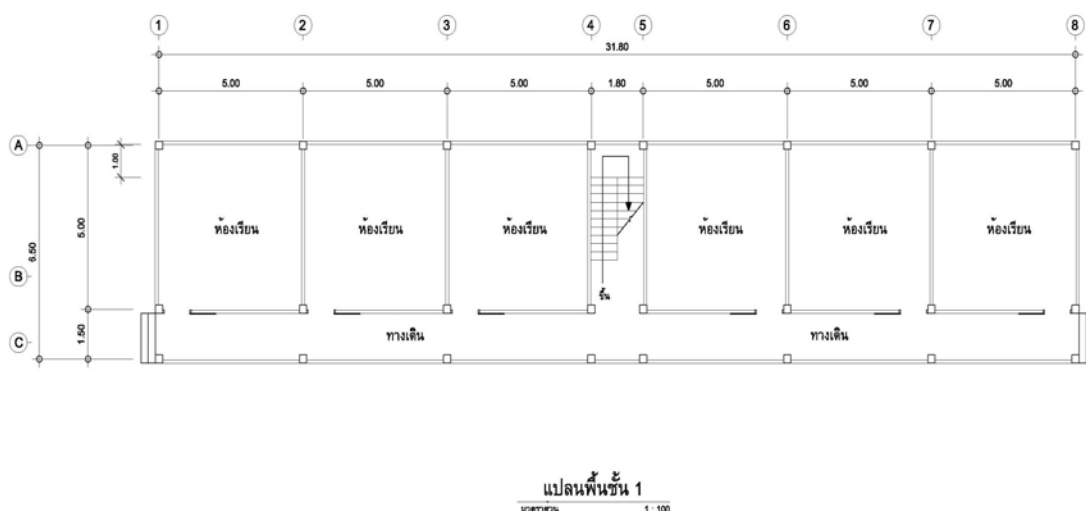
2.1 ศึกษาปัญหา รวบรวมข้อมูล ศึกษาทฤษฎี ข้อกำหนด และกฎหมาย ที่เกี่ยวกับโรงเรียนอนุบาล

การก่อสร้างอาคารต่าง ๆ นั้นผู้ออกแบบซึ่งเป็นสถาปนิกหรือวิศวกรนั้นต้องทำการศึกษาให้รู้และเข้าใจในกฎหมายและมาตรฐาน ที่ใช้ในการก่อสร้างอาคาร ไม่ว่าอาคารนั้นจะเป็นอาคารชนิดใด ก็ต้องออกแบบให้ ไม่ขัดแย้งกับกฎหมายนั้นๆ ซึ่งในประเทศไทย มีกฎหมายที่ควบคุมในเรื่องการก่อสร้างอาคารอยู่หลายฉบับเช่น กฎกระทรวงฉบับที่ 33 ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522, กฎกระทรวงฉบับที่ 39 ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 เป็นต้น และกฎหมายที่กล่าวถึงเรื่องการอพยพนั้นในประเทศไทยมีเพียงฉบับเดียวที่ กล่าวถึงการอพยพของลูกจ้างจากเหตุการณ์ไฟไหม้ โดยจะต้องอพยพลูกจ้างออกไปภายในเวลาไม่เกิน 5 นาที ซึ่งอยู่ในประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่อง การป้องกันและระงับอัคคีภัยในสถานประกอบการเพื่อความปลอดภัยในการทำงานสำหรับลูกจ้าง แต่การกำหนดระยะเวลาในการอพยพในสถานศึกษายังไม่มี จึงใช้กฎหมายฉบับนี้อ้างอิง ส่วนมาตรฐานด้านการป้องกันและระงับอัคคีภัยที่ใช้กันอย่างแพร่หลายและเชื่อถือได้คือ มาตรฐานของประเทศสหรัฐอเมริกา National

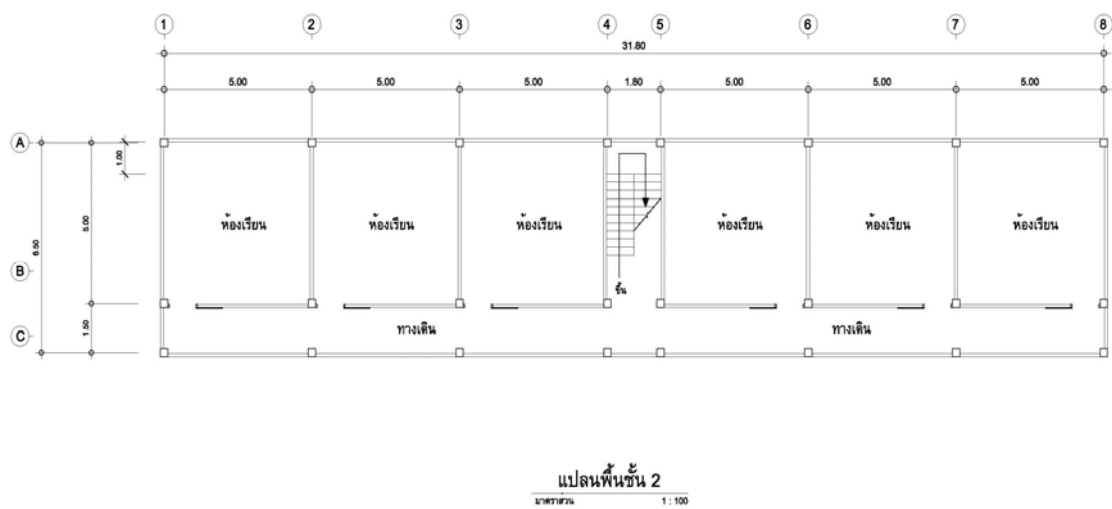
Fire Protection Association (NFPA) ซึ่งได้กล่าวไว้ถึงเรื่องการออกแบบทั้งในเชิงรุกและเชิงรับ เกี่ยวกับการป้องกันอัคคีภัย ซึ่งมาตรฐานของ NFPA ที่จะนำมาใช้ในการวิจัยนี้คือ NFPA 101 (Life Safety Code) edition 2006 ได้แก่เรื่องของ Capacity of Mean of Egress โดยมีเนื้อหาเกี่ยวกับการคำนวณความจุของคนในอาคารชนิดต่างๆ การคำนวณความกว้างของประตู, ความกว้างของบันได เป็นต้น เพื่อให้ทราบว่าขนาดความกว้างของประตูหรือบันไดเพียงพอต่อการอพยพของคนในอาคารนั้นๆ หรือไม่

2.2 การกำหนดรูปแบบโครงสร้างอาคารที่ใช้ในการจำลองสถานการณ์เพลิงไหม้

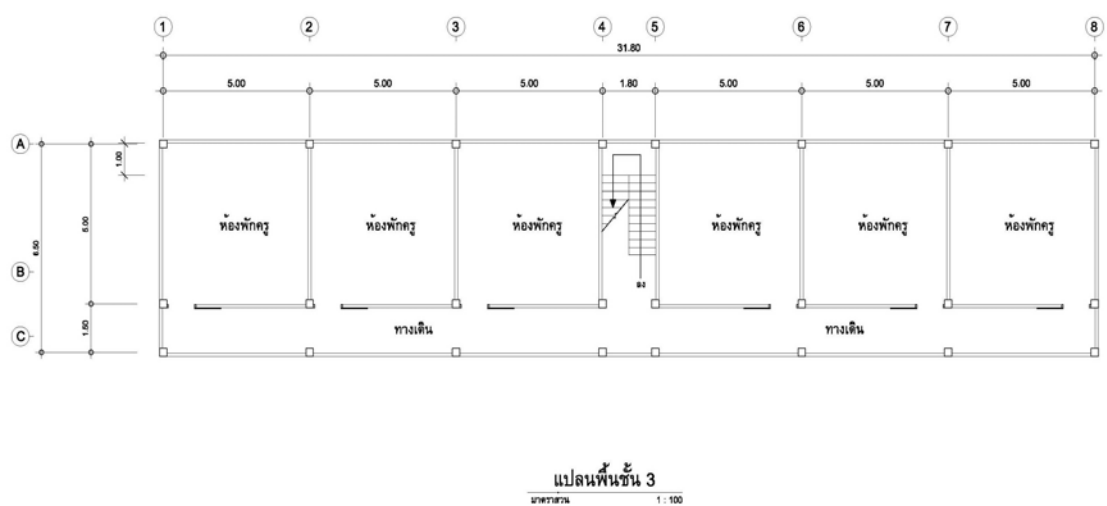
แบบอาคารที่นำมาใช้นั้น เป็นแบบของอาคารโรงเรียนอนุบาลที่ส่วนใหญ่จะมีรูปร่างลักษณะคล้ายกัน คือ เป็นอาคารแบบอาคารเดี่ยว ห้องเรียนมีลักษณะเรียงกันไป ไม่หันหน้าเข้าหากัน และมีทางเดินหรือระเบียงอยู่ด้านหน้า ซึ่งก็จะมีทั้งบันไดทางลงอยู่ริมอาคาร และบันไดอยู่กลางอาคาร โดยแบบจำลองที่สร้างขึ้นนี้มีจำนวน 3 ชั้น ชั้น 1 และชั้น 2 เป็นห้องเรียนจำนวนห้องเรียนชั้นละ 6 ห้อง ชั้น 3 เป็นห้องพักรู จำนวน 6 ห้อง และมีบันไดอยู่ตรงกลาง ไม่มีป้ายหรือสัญลักษณ์ทางหนีไฟ และไฟส่องสว่างบนเส้นทางหนีไฟ ซึ่งมีลักษณะตามภาพที่ 14 ถึง ภาพที่ 16 มีขนาดและรายละเอียดต่างๆ ดังตารางที่ 6



ภาพที่ 14 แบบแปลนโครงสร้างอาคารชั้นที่ 1



ภาพที่ 15 แบบแปลนโครงสร้างอาคารชั้นที่ 2



ภาพที่ 16 แบบแปลนโครงสร้างอาคารชั้นที่ 3

ตารางที่ 6 รายละเอียดของอาคารเรียน

ส่วนประกอบต่างๆ ของอาคาร	ขนาดความกว้าง (เมตร)
ความกว้างของอาคาร	6.50
ความยาวของอาคาร	31.80
จำนวนชั้น	3 ชั้น
ความกว้างระเบียง/ทางเดิน	1.50
ความกว้างประตู	0.90
ขนาดห้องเรียน	25 ตารางเมตร
ความกว้างบันได	0.90
ความสูงต่อชั้น	3.15
พื้นที่บันได	6.3 ตารางเมตร

สมมติฐาน

1) กลุ่มที่1 กำหนดให้ห้องทุกห้องภายในอาคารติดตั้งเครื่องปรับอากาศ โดยไม่มีการเปิดหน้าต่าง

2) กลุ่มที่2 กำหนดให้ห้องทุกห้องภายในอาคารไม่มีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศ มีการเปิดหน้าต่าง ซึ่งหน้าต่างมีขนาดกว้าง 0.9เมตร สูง1.20 เมตร จำนวน 2 บานต่อห้อง มีระยะห่างของหน้าต่างเท่ากับ 1.60 เมตร

2.3 การคำนวณขีดความสามารถของทางหนีไฟ

การคำนวณหาปริมาณความจุคนของแต่ละพื้นที่หรือห้องใดๆ ต้องคำนวณโดยนำขนาดพื้นที่ที่ต้องการคำนวณ หารด้วยพื้นที่ต่อคน โดยหาได้จากสมการที่ 4

$$\text{Gross Area Occupancy Load} = \text{Gross Area} / \text{Occupancy Load Factor}$$

พื้นที่ของแต่ละชั้นเท่ากับ $31.8 \times 6.5 = 206.7 \text{ ม}^2$ โดยหักพื้นที่บันได 6.3 ม^2 เหลือพื้นที่ที่เป็น Gross Area $= 206.7 - 6.3 = 200.4 \text{ ม}^2$ ซึ่งมีขนาดเท่ากันทั้ง 3 ชั้น แต่ชั้นที่ 3 เป็นห้องพักครู ซึ่งจัดเป็นพื้นที่ vocational room โดยการแบ่งตามลักษณะ ค่า Occupancy Load Factor (ตามตารางที่ 4) ซึ่งมีค่าสุทธิเท่ากับ 4.6 ตารางเมตรต่อคน แต่ชั้น 1 และชั้น 2 เป็น Classroom ค่า Occupancy Load Factor (ตามตารางที่ 4) ซึ่งมีค่าสุทธิเท่ากับ 1.9 ตารางเมตรต่อคนสามารถหาจำนวนคนในชั้นต่างๆ ได้ดังนี้

$$\text{Gross Area Occupancy Load ชั้นที่ 3} = 200.4 \text{ ม}^2 / 4.6 \text{ ม}^2 \text{ต่อคน} = 44 \text{ คน/ชั้น}$$

$$\text{Gross Area Occupancy Load ชั้นที่ 1,2} = 200.4 \text{ ม}^2 / 1.9 \text{ ม}^2 \text{ต่อคน} = 106 \text{ คน/ชั้น}$$

ซึ่งเมื่อหาจำนวนเด็กนักเรียนต่อห้องจะเท่ากับ 106 คนต่อชั้น/6 ห้องต่อชั้น = 17.66 คนต่อห้อง ใช้จำนวน 17 คนต่อห้อง เมื่อคิดต่อชั้นจะได้นักเรียนเท่ากับ 17 คนต่อห้อง $\times 6$ ห้อง = 102 คนต่อชั้น

การคำนวณหาองค์ประกอบของทางหนีไฟสามารถคำนวณโดยสมการที่ 6

$$\text{Capacity Load} = \text{Clear Width} / \text{Capacity Factor}$$

ซึ่งค่า Capacity Factor (ตามตารางที่ 3) แบ่งตามความเสี่ยงของแต่ละพื้นที่ ในทางราบและทางดิ่ง โดยมีค่าเท่ากับ 7.6 มิลลิเมตรต่อคนสำหรับการสัญจรในแนวดิ่งและ 5 มิลลิเมตรต่อคน สำหรับการสัญจรในแนวราบ

$$\text{บันได} = 900 \text{ มม.} / 7.6 \text{ (มม./คน)} = 119 \text{ คน}$$

$$\text{ประตู} = 900 \text{ มม.} / 5 \text{ (มม./คน)} = 178 \text{ คน}$$

$$\text{โถงทางเดิน} = 1500 \text{ มม.} / 5 \text{ (มม./คน)} = 300 \text{ คน}$$

จากการคำนวณองค์ประกอบของทางหนีไฟของโครงสร้างอาคาร พบว่าองค์ประกอบตามโครงสร้างที่ใช้ในการจำลองนั้นสามารถอพยพคนออกได้เพียงพอตามมาตรฐาน NFPA ที่ได้คำนวณจำนวนคนไว้แล้ว

สมมติฐาน

1) ค่า Occupancy Load Factor สำหรับห้องพักครูกำหนดให้ใช้เท่ากับ 4.6 ตารางเมตรต่อคนซึ่งอยู่ในหมวด Education แบ่งตามลักษณะการใช้งานจึงจัดให้อยู่ในประเภท vocational room

2) ค่า Occupancy Load Factor สำหรับห้องเรียนกำหนดให้ใช้เท่ากับ 1.9 ตารางเมตรต่อคนซึ่งอยู่ในหมวด Education แบ่งตามลักษณะการใช้งานจึงจัดให้อยู่ในประเภท classroom

3) ค่า Capacity Factor สำหรับกรณีโรงเรียนอนุบาล จัดอยู่ในประเภท All others จึงใช้ค่า factor สำหรับการสัญจรในแนวดิ่งเท่ากับ 7.6 มิลลิเมตรต่อคน และการสัญจรในแนวราบเท่ากับ 5 มิลลิเมตรต่อคน

2.4 การศึกษาคำสั่งการใช้งานโปรแกรม Fire Dynamics Simulator with Evacuation (FDS+Evac)

โปรแกรม Fire Dynamic Simulation (FDS) ในส่วนของรายละเอียดของโปรแกรม นั้นจะประกอบไปด้วย โปรแกรมการเกิดไฟ คือ NIST Fire Dynamic Simulation หรือเรียกสั้นๆ ว่า FDS โดยเป็นโปรแกรม Fortran 90 และมีโปรแกรม smoke view ซึ่งเป็นโปรแกรมที่คล้ายคลึงกัน ซึ่งเขียนมาจากภาษา C/Open GL ซึ่งจะแสดงผลออกมาในลักษณะเป็นภาพเคลื่อนไหว

ส่วนโปรแกรมจำลองการอพยพที่พัฒนาโดย VTT และเมื่อนำรวมเข้าด้วยกันกับ FDS จึงกลายมาเป็นโปรแกรม FDS +Evac โปรแกรม FDS+ Evac เป็นการจำลองแบบมีการรวมกันระหว่างการประมวลผลแบบ Agent - Based egress และแบบ Computational Fluid Dynamics (CFD) โดยข้อมูลที่ใส่ใน Input Data Parameter ที่จำเป็นในการทำงานของโปรแกรม FDS+Evac นั้นคือ ข้อมูลในรูปแบบของ text files โดยมีชุดคำสั่งต่างๆ ดังนี้

- 1) MESH เป็นคำสั่งที่ใช้ประกาศใน Input Data ซึ่งเกี่ยวกับการกำหนดขอบเขตในพื้นที่ที่ใช้ในโมเดล และเป็นการประกาศเกี่ยวกับขอบเขตพื้นที่ในการอพยพ
- 2) TIME เป็นคำสั่งที่ใช้ประกาศใน Input Data ซึ่งเกี่ยวกับการกำหนดระยะเวลาที่ใช้ในการจำลองเหตุการณ์
- 3) SURF เป็นคำสั่งที่ใช้ประกาศใน Input Data ซึ่งเกี่ยวกับการกำหนดพื้นผิวของวัสดุต่างๆ เช่น BURNER, WALL ตามโครงสร้างที่เรากำหนด
- 4) VENT เป็นคำสั่งที่ใช้ประกาศใน Input Data ซึ่งเกี่ยวกับการกำหนดตำแหน่งของต้นเพลิง หรือ ใช้ในการกำหนดตำแหน่งของทางเข้าและทางออก
- 5) OBST เป็นคำสั่งที่ใช้ประกาศใน Input Data ซึ่งเกี่ยวกับการกำหนดวัตถุที่อยู่ในโครงสร้างที่เราจะกำหนด เช่น ผนัง พื้น โต๊ะ เก้าอี้ บันได
- 6) HOLE เป็นคำสั่งที่ใช้ประกาศใน Input Data ซึ่งเกี่ยวกับการกำหนดช่องหรือรูซึ่งจะใช้เป็น ประตู หน้าต่าง หรือช่องเปิดต่างๆ
- 7) PERS เป็นคำสั่งที่ใช้ประกาศใน Input Data ซึ่งเกี่ยวกับการกำหนดคนที่ใช้ในการจำลองว่าจะให้เป็นประเภทอะไร เช่น เด็ก ผู้ใหญ่ คนแก่ วัยรุ่นหญิง วัยรุ่นชาย
- 8) EVAC เป็นคำสั่งที่ใช้ประกาศใน Input Data ซึ่งเกี่ยวกับการอพยพ เช่น การประกาศว่าในการจำลองนั้นมีคนวัยใดอยู่บ้าง อยู่ตำแหน่งไหน
- 9) EVHO เป็นคำสั่งที่ใช้ประกาศใน Input Data ซึ่งเกี่ยวกับการกำหนดไม่ให้คนเข้าไปใกล้กับไฟ
- 10) EXIT เป็นคำสั่งที่ใช้ประกาศใน Input Data ซึ่งเกี่ยวกับการกำหนดทางออกที่ใช้ในการอพยพออกนอกอาคารหรือทางออกที่ปลอดภัย

11) ENTR เป็นคำสั่งที่ใช้ประกาศใน Input Data ซึ่งเกี่ยวกับการกำหนดทางเข้าของคนที่ใช้ในการอพยพ

12) DOOR เป็นคำสั่งที่ใช้ประกาศใน Input Data ซึ่งเกี่ยวกับการกำหนดประตูซึ่งเป็นทางที่นำไปสู่ชั้นอื่นๆ เพื่อไปยังทางออก (EXIT)

13) CORR เป็นคำสั่งที่ใช้ประกาศใน Input Data ซึ่งเกี่ยวกับการกำหนดพื้นที่นั้นให้เป็นโถงทางเดิน และสามารถกำหนดขนาดความจุของคนในโถงทางเดินนั้นได้ คำสั่งนี้จะใช้ร่วมกับคำสั่งDOOR



```

3floors-net4.fds - Notepad
File Edit Format View Help
&HEAD CHID='evacschool_pop30_1exit', TITLE='3 Floor Evacuation Test' /

Fire mesh(es).
&MESH IJK=110,28,30, XB=-0.10,33.2,-0.10,6.60,0.00,9.50 /

Main evacuation meshes for the floors. These meshes contains the
humans. Evacuation meshes should all have an unique ID string
defined.
&MESH IJK=110,28,1, XB=-0.10,32.20,-0.10,5.60,1.0,1.2,
EVACUATION=.TRUE., EVAC_HUMANS=.TRUE., ID='MainEvacGrid', EVAC_Z_OFFSET=1.0/

&MESH IJK=110,28,1, XB=-0.10,32.20,-0.10,5.60,3.55,4.95,
EVACUATION=.TRUE., EVAC_HUMANS=.TRUE., ID='MainEvacGrid2', EVAC_Z_OFFSET=1.0/

&MESH IJK=110,28,1, XB=-0.10,32.20,-0.10,5.60,6.70,8.10,
EVACUATION=.TRUE., EVAC_HUMANS=.TRUE., ID='MainEvacGrid3', EVAC_Z_OFFSET=1.0/

Additional door flow fields.
Note: main evacuation grid and the door flow grids should have
same XB and IJK.
&MESH IJK=110,28,1, XB=-0.10,32.20,-0.10,5.60,1.0,1.2,
EVACUATION=.TRUE., ID='LeftExitGrid' / Left, 1st floor

&MESH IJK=110,28,1, XB=-0.10,32.20,-0.10,5.60,1.0,1.2,
EVACUATION=.TRUE., ID='RightExitGrid' / Right, 1st floor

&MESH IJK=110,28,1, XB=-0.10,32.20,-0.10,5.60,3.55,4.95,
EVACUATION=.TRUE., ID='FireExit2' / 2nd floor
  
```

ภาพที่ 17 ตัวอย่างการพิมพ์ชุดคำสั่งในInput file

2.5 การกำหนดรูปแบบของโมเดลที่ใช้ในการจำลองการอพยพ

การจำลองการอพยพจะมีการกำหนดรูปแบบและข้อมูลต่างๆดังนี้

1) ข้อมูลเบื้องต้นของสถานที่ ลักษณะการใช้งานและจำนวนผู้ใช้งาน

อาคารที่นำมาใช้เป็นโมเดลในการจำลองสถานการณ์ไฟไหม้และการอพยพเป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก ขนาดความกว้าง 6.5 เมตร ยาว 31.8 เมตร มีความสูงชั้นละ 3.15 เมตร จำนวน 3 ชั้น มีบันไดขึ้น-ลง อยู่ตรงกลางอาคาร อาคารนี้ใช้เป็นอาคารเรียนของระดับอนุบาล โดยชั้นที่ 1 และ ชั้นที่ 2 เป็นชั้นเรียน มีห้องเรียนชั้นละ 6 ห้อง ชั้นที่ 3 เป็นห้องพักครู มีจำนวน 6 ห้อง และพื้นที่ในแต่ละห้องมีขนาด 25 ตารางเมตร รวมพื้นที่ใช้สอยต่อชั้นเท่ากับ 206.7 ตารางเมตร รวม 3 ชั้นมีพื้นที่เท่ากับ 620.1 ตารางเมตร

2) จำนวนผู้อพยพและลักษณะของผู้อพยพ

ผู้อพยพที่อยู่ในอาคารนี้ได้ถูกแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือ เด็กนักเรียนและครู โดยเด็กนักเรียนจะอยู่ในห้องเรียนจำนวนห้องละ 30 คน ซึ่งจะคละกันระหว่างเด็กชายและเด็กหญิง อยู่ที่ชั้นที่ 1 และชั้นที่ 2 ส่วนครูจะอยู่ที่ชั้นที่ 3 อยู่ในห้องพักครู ห้องละ 4 คน โดยจะคละเพศชายและหญิง โดยการจำลองจะกำหนดจำนวนคนเป็น 2 แบบ แบบที่ 1 จะใช้จำนวนนักเรียนจำนวนห้องละ 30 คน ส่วนแบบที่ 2 จะใช้จำนวนนักเรียนจำนวนห้องละ 17 คนตามมาตรฐาน NFPA 101 ที่ได้คำนวณไว้ในข้อ 2.3 ส่วนจำนวนของครูจะไม่มีการเปลี่ยนแปลง

สมมติฐาน

1. แบบที่ 1 กำหนดให้เด็กนักเรียนมีจำนวนห้องละ 30 คน และ ครูมีจำนวนห้องละ 4 คน รวมหมดทั้งอาคารจะมีจำนวนผู้อพยพ เด็กนักเรียน $30 \text{ คน} \times 12 \text{ ห้อง} = 360 \text{ คน}$ และครู $4 \text{ คน} \times 6 \text{ ห้อง} = 24 \text{ คน}$ รวมทั้งหมดเท่ากับ 384 คน

2. แบบที่ 2 กำหนดให้เด็กนักเรียนมีจำนวนห้องละ 17 คน และ ครูมีจำนวนห้องละ 4 คน รวมหมดทั้งอาคารจะมีจำนวนผู้อพยพ เด็กนักเรียน 17 คน $\times$ 12 ห้อง = 204 คน และครู 4 คน $\times$ 6 ห้อง = 24 คน รวมทั้งหมดเท่ากับ 228 คน

3. ลักษณะการอพยพของคนในอาคารเป็นการอพยพที่ไม่เคยมีการฝึกซ้อมแผนการอพยพหนีไฟ

3) จำนวนทางหนีไฟ

บันไดหนีไฟในโมเดลนี้ไม่มี เพราะฉะนั้นการอพยพหนีไฟจึงใช้บันไดขึ้น-ลงระหว่างชั้นเป็นทางที่ใช้อพยพหนีไฟซึ่งมีเพียง 1 บันได อยู่ตรงกลางอาคารมีขนาดกว้าง 0.90 เมตร ถูกต้องตามกฎหมายควบคุมอาคาร และตามมาตรฐานของ NFPA 101 ก็มีการคำนวณแล้วในข้อ 2.3 ว่าเพียงพอต่อการอพยพของผู้ที่อยู่ในอาคาร ดังนั้นจึงสร้างโมเดลใหม่จากเดิมที่มีบันไดขึ้น-ลงเพียงบันไดเดียวจึงกำหนดให้มีบันไดหนีไฟบริเวณริมอาคารอีก 1 บันไดเพื่อให้เป็นทางออกอีก 1 ทาง

สมมติฐาน

1. กำหนดให้ผู้อพยพที่อยู่ในอาคารทำการอพยพพร้อมกันทุกชั้น

4) เวลาที่ใช้ในการอพยพ

เวลาที่ใช้ในการอพยพคนออกจากอาคารนี้จะใช้กฎหมายประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่อง การป้องกันและระงับอัคคีภัยในสถานประกอบการเพื่อความปลอดภัยในการทำงานสำหรับลูกจ้าง ซึ่งกำหนดไว้ว่า ลูกจ้างที่อยู่ในอาคารจะต้องอพยพออกจากบริเวณที่ทำงานสู่ทางออกสุดท้ายได้ ภายในเวลาไม่เกิน 5 นาที เนื่องจากการพัฒนาของไฟในขั้นต้น ที่ระยะเวลา 0-4 นาที ความร้อนที่เกิดขึ้นจะมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึง 200 องศาเซลเซียส โดยพิจารณาจากการเกิดการลุกไหม้ของไฟซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ระดับ ด้วยกัน คือที่เวลา 1.50 นาที เชื้อเพลิงจะเริ่มจับไอก๊าซพิษ และควันไฟออกมา หลังจากนั้นที่ 3 กลุ่มควันจะกดตัวต่ำลงมากกว่า 50 % ของพื้นที่ ซึ่งจะ使人ที่อยู่ในพื้นที่ขาดอากาศหายใจและได้รับอันตรายโดยสมองจะขาดออกซิเจนที่เวลา 4 นาที และหลังจากนาที่ที่ 4 อุณหภูมิโดยรอบจะสูงมากกว่า 300 – 500 องศาเซลเซียส (กองบังคับการตำรวจดับเพลิง, 2549)

สมมติฐาน

1. การกำหนดให้มีบันไดหนีไฟเพิ่มขึ้นในโมเดลใหม่นั้นจะกำหนดให้ขนาดประตูของบันไดหนีไฟมีขนาด 0.90 เมตร และตำแหน่งของบันไดหนีไฟอยู่ที่ริมอาคารด้านซ้ายของอาคาร

การกำหนดรูปแบบของโมเดลที่ใช้ในการจำลองการอพยพนั้น ได้แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม รวมทั้งหมด 7 กรณี

กลุ่มที่ 1 มี 1 กรณี เป็นการทดสอบหาขีดความสามารถในการอพยพหนีไฟของบุคคลแต่ละวัย ดังนี้

1) เป็นการจำลองสถานการณ์เพลิงไหม้และการอพยพ โดยกำหนดให้ภายในห้องมีผู้อพยพเป็นคนแก่ ผู้ใหญ่ ผู้ชาย ผู้หญิงและเด็ก โดยมีอย่างละ 1 คน และมีเพลิงไหม้ภายในห้องซึ่งผู้อพยพเหล่านี้จะอยู่ที่ตำแหน่งใกล้เคียงกัน

กลุ่มที่ 2 มี 3 กรณี เป็นการจำลองสถานการณ์เพลิงไหม้และอพยพ โดยจำลองโมเดลเป็นโรงเรียนอนุบาล ซึ่งแต่ละห้องติดตั้งเครื่องปรับอากาศ ไม่มีการเปิดหน้าต่าง แต่ละกรณีจะมีการกำหนดเงื่อนไขที่ต่างกันออกไป ดังนี้

1) เป็นการจำลองสถานการณ์การเกิดเพลิงไหม้และการอพยพ โดยกำหนดให้ภายในอาคารมีผู้อพยพ เป็นเด็กนักเรียนอยู่ภายในห้อง ห้องละ 30 คนจำนวน 12 ห้อง รวม 360 คน โดยแบ่งชั้นละเท่ากัน เป็นชั้นละ 180 คน และมีครูเป็นผู้หญิงและผู้ชาย อยู่ภายในห้องพักครู ห้องละ 4 คน จำนวน 6 ห้อง รวม 24 คนรวมผู้อพยพทั้งหมดในอาคารเท่ากับ 384 คน มีบันไดสำหรับขึ้น-ลง ระหว่างชั้นที่ใช้ในการอพยพหนีไฟ เพียง 1 บันไดและอยู่ตรงกลางของอาคาร มีทางออก 2 ทาง จุดต้นเพลิงอยู่ที่ชั้นที่ 3 ในห้องพักครูซึ่งอยู่ที่ห้องกลาง ด้านซ้ายของอาคาร เวลาที่ใช้เป็นเกณฑ์ในการอพยพคือต้องไม่มากกว่า 5 นาทีตามประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่องการป้องกันและระงับอัคคีภัยในสถานประกอบการเพื่อความปลอดภัยในการทำงานสำหรับลูกจ้าง

2) เป็นการจำลองสถานการณ์การเกิดเพลิงไหม้และการอพยพ โดยกำหนดให้ภายในอาคารมีผู้อพยพ เป็นเด็กนักเรียนอยู่ในห้อง ห้องละ 17 คนจำนวน 12 ห้อง รวม 204 คน โดยแบ่งชั้นละเท่ากัน เป็นชั้นละ 102 คน ตามการคำนวณจำนวนคนในแต่ละชั้นของมาตรฐาน NFPA 101 และมีครูเป็นผู้หญิงและผู้ชาย อยู่ในห้องพักครู ห้องละ 4 คน จำนวน 6 ห้อง รวม 24 คน ในกรณีนี้มีจำนวนคนรวมกันทั้งหมด 228 คน มีบันไดสำหรับขึ้น-ลง ระหว่างชั้นที่ใช้ในการอพยพหนีไฟ เพียง 1 บันไดและอยู่ตรงกลางของอาคาร มีทางออก 2 ทาง จุดต้นเพลิงอยู่ที่ชั้นที่ 3 ในห้องพักครูห้องกลาง ด้านซ้ายของอาคาร สาเหตุของตำแหน่งต้นเพลิงเช่นเดียวกันกับกรณีที่ 2 เวลาที่ใช้เป็นเกณฑ์ในการอพยพคือต้องไม่มากกว่า 5 นาทีตามประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่อง การป้องกันและระงับอัคคีภัยในสถานประกอบการเพื่อความปลอดภัยในการทำงานสำหรับลูกจ้าง

3) เป็นการจำลองสถานการณ์การเกิดเพลิงไหม้และการอพยพ โดยกำหนดให้ภายในอาคารมีผู้อพยพ เป็นเด็กนักเรียนอยู่ในห้อง ห้องละ 30 คนจำนวน 12 ห้อง รวม 360 คน โดยแบ่งชั้นละเท่ากัน เป็นชั้นละ 180 คน และมีครูเป็นผู้หญิงและผู้ชาย อยู่ในห้องพักครู ห้องละ 4 คน จำนวน 6 ห้อง รวม 24 คนรวมผู้อพยพทั้งหมดในอาคารเท่ากับ 384 คน มีบันไดสำหรับขึ้น-ลง ระหว่างชั้น 1 บันไดอยู่ตรงกลางของอาคารและมีบันไดหนีไฟภายนอกอาคารอีก 1 บันได อยู่ริมด้านซ้ายของอาคาร มีทางออก 2 ทาง จุดต้นเพลิงอยู่ที่ชั้นที่ 3 ในห้องพักครูห้องกลาง ด้านซ้ายของอาคาร สาเหตุของตำแหน่งต้นเพลิงเช่นเดียวกันกับกรณีที่ 2 เวลาที่ใช้เป็นเกณฑ์ในการอพยพคือต้องไม่มากกว่า 5 นาทีตามประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่อง การป้องกันและระงับอัคคีภัยในสถานประกอบการเพื่อความปลอดภัยในการทำงานสำหรับลูกจ้าง

กลุ่มที่ 3 มี 3 กรณี เป็นการจำลองสถานการณ์เพลิงไหม้และอพยพ โดยจำลองโมเดลเป็นโรงเรียนอนุบาล ซึ่งแต่ละห้องไม่มีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศ และเปิดหน้าต่างไว้ แต่ละกรณีจะมีการกำหนดเงื่อนไขที่ต่างกันออกไป ดังนี้

1) เป็นการจำลองสถานการณ์การเกิดเพลิงไหม้และการอพยพ โดยกำหนดให้ภายในอาคารมีผู้อพยพ เป็นเด็กนักเรียนอยู่ในห้อง ห้องละ 30 คนจำนวน 12 ห้อง รวม 360 คน โดยแบ่งชั้นละเท่ากัน เป็นชั้นละ 180 คน และมีครูเป็นผู้หญิงและผู้ชาย อยู่ในห้องพักครู ห้องละ 4 คน จำนวน 6 ห้อง รวม 24 คนรวมผู้อพยพทั้งหมดในอาคารเท่ากับ 384 คน มีบันไดสำหรับขึ้น-ลง ระหว่างชั้นที่ใช้ในการอพยพหนีไฟ เพียง 1 บันไดและอยู่ตรงกลางของอาคาร มีทางออก 2 ทาง จุดต้นเพลิงอยู่ที่ชั้นที่ 3 ในห้องพักครูซึ่งอยู่ที่ห้องกลาง ด้านซ้ายของอาคาร เวลาที่

ใช้เป็นเกณฑ์ในการอพยพก็ต้องไม่มากกว่า 5 นาทีตามประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่อง การป้องกันและระงับอัคคีภัยในสถานประกอบการเพื่อความปลอดภัยในการทำงานสำหรับลูกจ้าง

2) เป็นการจำลองสถานการณ์การเกิดเพลิงไหม้และการอพยพ โดยกำหนดให้ภายใน อาคารมีผู้อพยพ เป็นเด็กนักเรียนอยู่ในห้อง ห้องละ 17 คนจำนวน 12 ห้อง รวม 204 คน โดยแบ่งชั้นละเท่ากัน เป็นชั้นละ 102 คน ตามการคำนวณจำนวนคนในแต่ละชั้นของมาตรฐาน NFPA 101 และมีครูเป็นผู้หญิงและผู้ชาย อยู่ในห้องพักครู ห้องละ 4 คน จำนวน 6 ห้อง รวม 24 คน ในกรณีนี้มีจำนวนคนรวมกันทั้งหมด 228 คน มีบันไดสำหรับขึ้น-ลง ระหว่างชั้นที่ใช้ในการอพยพ หนีไฟ เพียง 1 บันไดและอยู่ตรงกลางของอาคาร มีทางออก 2 ทาง จุดต้นเพลิงอยู่ที่ชั้นที่ 3 ในห้องพักครูห้องกลาง ด้านซ้ายของอาคาร สาเหตุของตำแหน่งต้นเพลิงเช่นเดียวกันกับกรณีที่ 2 เวลาที่ใช้เป็นเกณฑ์ในการอพยพก็ต้องไม่มากกว่า 5 นาทีตามประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่อง การป้องกันและระงับอัคคีภัยในสถานประกอบการเพื่อความปลอดภัยในการทำงานสำหรับลูกจ้าง

3) เป็นการจำลองสถานการณ์การเกิดเพลิงไหม้และการอพยพ โดยกำหนดให้ภายใน อาคารมีผู้อพยพ เป็นเด็กนักเรียนอยู่ในห้อง ห้องละ 30 คนจำนวน 12 ห้อง รวม 360 คน โดยแบ่งชั้นละเท่ากัน เป็นชั้นละ 180 คน และมีครูเป็นผู้หญิงและผู้ชาย อยู่ในห้องพักครู ห้องละ 4 คน จำนวน 6 ห้อง รวม 24 คนรวมผู้อพยพทั้งหมดในอาคารเท่ากับ 384 คน มีบันได สำหรับขึ้น-ลง ระหว่างชั้น 1 บันไดอยู่ตรงกลางของอาคารและมีบันไดหนีไฟภายนอกอาคารอีก 1 บันได อยู่ริมด้านซ้ายของอาคาร มีทางออก 2 ทาง จุดต้นเพลิงอยู่ที่ชั้นที่ 3 ในห้องพักครูห้องกลาง ด้านซ้ายของอาคาร สาเหตุของตำแหน่งต้นเพลิงเช่นเดียวกันกับกรณีที่ 2 เวลาที่ใช้เป็นเกณฑ์ในการ อพยพก็ต้องไม่มากกว่า 5 นาทีตามประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่อง การป้องกันและระงับ อัคคีภัยในสถานประกอบการเพื่อความปลอดภัยในการทำงานสำหรับลูกจ้าง

สมมติฐาน

1. ตำแหน่งของเพลิงไหม้สำหรับกลุ่มที่ 2 และ 3 กำหนดให้เกิดขึ้นที่ห้องพักครู ห้องกลางด้านซ้ายของอาคาร ตำแหน่งบริเวณผนังซึ่งจะมีปลั๊กไฟอยู่ เนื่องจากห้องพักครูจะมีการใช้ อุปกรณ์ไฟฟ้ามากกว่าห้องเรียน เช่น อุปกรณ์คอมพิวเตอร์ อุปกรณ์ชาร์ตแบตเตอรี่โทรศัพท์มือถือ กระจกน้ำร้อน เป็นต้น จึงมีโอกาสเสี่ยงที่จะเกิดเพลิงไหม้จากไฟฟ้าลัดวงจรได้มากกว่าห้องเรียน

2.6 การเขียนชุดคำสั่ง (Input Data) เพื่อสร้างแบบจำลองพลศาสตร์อัคคีภัยและการอพยพ โดยโปรแกรม FDS+Evac

ชุดคำสั่งที่เขียนขึ้นสำหรับโมเดลในการจำลองนี้ ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข

2.7 การประมวลผลชุดคำสั่ง (Compiling Input Data) ของโปรแกรม FDS+Evac

เมื่อเราติดตั้งโปรแกรมFDS_5.1.6-SMV_5.1.6 แล้วในการประมวลผลชุดคำสั่งนั้นสามารถทำได้โดย หลังจากที่เราเขียนชุดคำสั่งที่ถูกต้องในNotepad เสร็จแล้วเรา จึงsave file ให้อยู่ในนามสกุลของ .fds จากนั้นให้เลือก เปิดโปรแกรมโดยใช้โปรแกรม fds5 เปิด หลังจากนั้นโปรแกรมก็จะทำการ compiling ตามระยะเวลาที่เรากำหนดใน Input Data เมื่อโปรแกรม compiling เสร็จแล้ว ก็จะมี file Output ต่างๆเพิ่มขึ้น ซึ่งมีทั้งไฟล์ที่แสดงผลโดยภาพเคลื่อนไหว และไฟล์ที่แสดงผลโดยข้อมูล โดยไฟล์ที่แสดงผลเป็นภาพเคลื่อนไหวนั้นจะมีนามสกุลเป็น .smv ส่วนไฟล์ที่แสดงผลโดยข้อมูลนั้นจะแสดงเป็นข้อมูลตาราง ในโปรแกรมexcel ซึ่งจะแสดงผลข้อมูลเช่นช่วงเวลาต่างๆ ในขณะที่คนอพยพออกจากทางออก เป็นต้น

ผลและวิจารณ์

ผล

การศึกษาการจำลองสถานการณ์เพลิงไหม้และการอพยพโดยโปรแกรม FDS+Evac นั้น เมื่อเราเขียน Input Data ขึ้นมาอย่างถูกต้องแล้ว และสั่งให้โปรแกรม FDS+Evac ทำการ compiling Input Data เมื่อ compiling เสร็จ โปรแกรมก็ได้สร้าง Output Data ออกมา และในการศึกษานี้ ผลทั้ง 7 กรณี ที่ออกมานั้นก็แตกต่างกันไปดังนี้

1. กรณีที่ 1 การจำลองสถานการณ์เพลิงไหม้และการอพยพ กำหนดให้มีผู้อพยพจำนวน 5 คน โดยแบ่งเป็น คนแก่ ผู้ใหญ่ ผู้ชาย ผู้หญิงและเด็ก โดยมีอย่างละ 1 คน และมีเพลิงไหม้ภายใน ห้อง ผลของการจำลองได้แสดงไว้ในตารางที่ 7

2. กรณีที่ 2 การจำลองสถานการณ์เพลิงไหม้และการอพยพ กำหนดให้มีผู้อพยพจำนวน 384 คน โดยแบ่งเป็นเด็กนักเรียน 360 คนอยู่ในห้องเรียน ห้องละ 30 คน อยู่ชั้นที่ 1 และชั้นที่ 2 ส่วนในชั้นที่ 3 เป็นครูจำนวน 24 คนอยู่ในห้องพัก ห้องละ 4 คน โดยที่ต้นเพลิงอยู่ที่ห้องพักครู ห้องที่ 2 ทางด้านซ้ายของอาคาร ภายในห้องไม่มีการเปิดหน้าต่าง ผลของการจำลองได้แสดงไว้ในตารางที่ 8

3. กรณีที่ 3 การจำลองสถานการณ์เพลิงไหม้และการอพยพ กำหนดให้มีผู้อพยพจำนวน 228 คน โดยแบ่งเป็นเด็กนักเรียน 204 คนอยู่ในห้องเรียน ห้องละ 17 คน อยู่ชั้นที่ 1 และชั้นที่ 2 ส่วนในชั้นที่ 3 เป็นครูจำนวน 24 คนอยู่ในห้องพัก ห้องละ 4 คน โดยที่ต้นเพลิงอยู่ที่ห้องพักครู ห้องที่ 2 ทางด้านซ้ายของอาคาร ภายในห้องไม่มีการเปิดหน้าต่าง ผลของการจำลองได้แสดงไว้ในตารางที่ 9

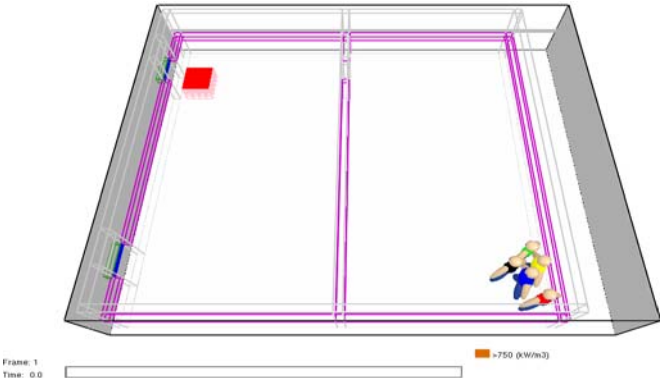
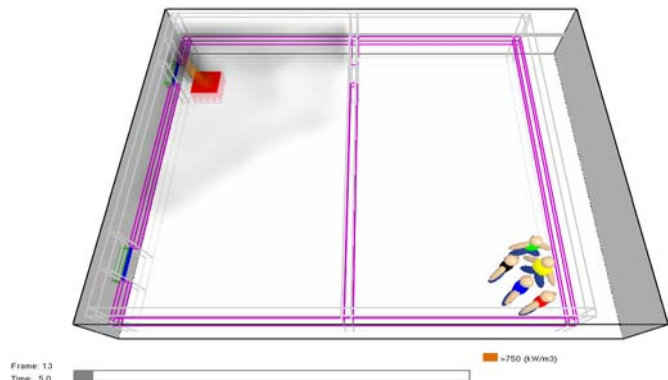
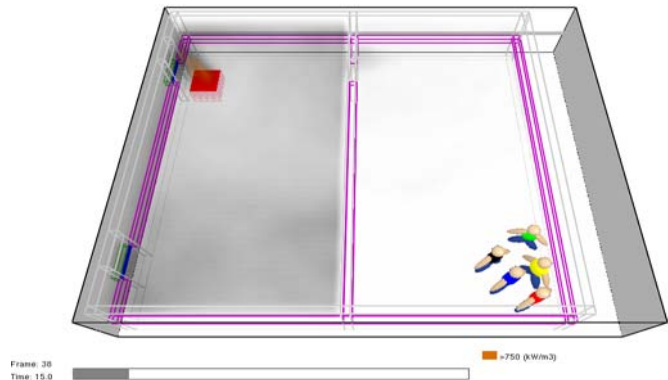
4. กรณีที่ 4 การจำลองสถานการณ์เพลิงไหม้และการอพยพ กำหนดให้มีผู้อพยพจำนวน 384 คน โดยแบ่งเป็นเด็กนักเรียน 360 คนอยู่ในห้องเรียน ห้องละ 30 คน อยู่ชั้นที่ 1 และชั้นที่ 2 ส่วนในชั้นที่ 3 เป็นครูจำนวน 24 คนอยู่ในห้องพัก ห้องละ 4 คน โดยที่ต้นเพลิงอยู่ที่ห้องพักครู ห้องที่ 2 ทางด้านซ้ายของอาคาร ภายในห้องไม่มีการเปิดหน้าต่าง ผลของการจำลองได้แสดงไว้ในตารางที่ 10

5. กรณีที่ 5 การจำลองสถานการณ์เพลิงไหม้และการอพยพ กำหนดให้มีผู้อพยพจำนวน 384 คน โดยแบ่งเป็นเด็กนักเรียน 360 คนอยู่ในห้องเรียน ห้องละ 30 คน อยู่ชั้นที่ 1 และชั้นที่ 2 ส่วนในชั้นที่ 3 เป็นครูจำนวน 24 คนอยู่ในห้องพัก ห้องละ 4 คน โดยที่ต้นเพลิงอยู่ที่ห้องพักครู ห้องที่ 2 ทางด้านซ้ายของอาคาร ภายในห้องมีการเปิดหน้าต่าง ผลของการจำลองได้แสดงไว้ในตารางที่ 11

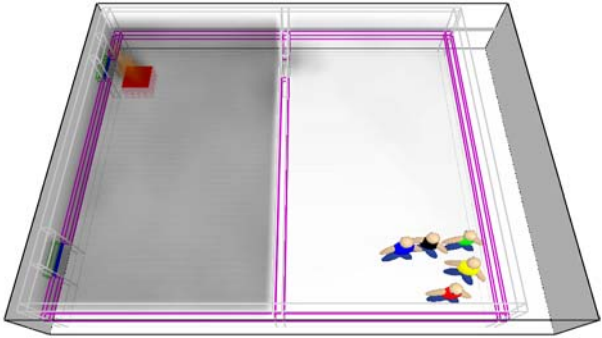
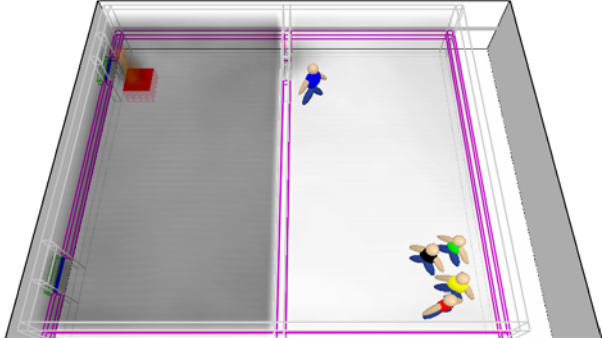
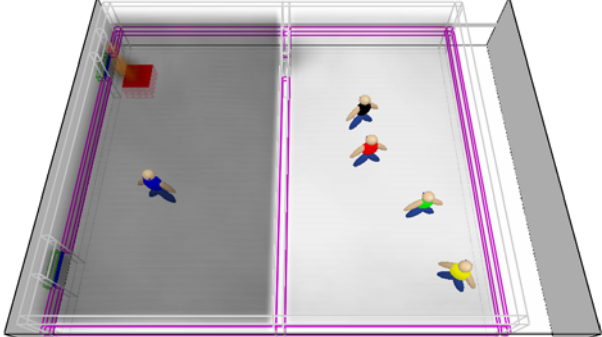
6. กรณีที่ 6 การจำลองสถานการณ์เพลิงไหม้และการอพยพ กำหนดให้มีผู้อพยพจำนวน 228 คน โดยแบ่งเป็นเด็กนักเรียน 204 คนอยู่ในห้องเรียน ห้องละ 17 คน อยู่ชั้นที่ 1 และชั้นที่ 2 ส่วนในชั้นที่ 3 เป็นครูจำนวน 24 คนอยู่ในห้องพัก ห้องละ 4 คน โดยที่ต้นเพลิงอยู่ที่ห้องพักครู ห้องที่ 2 ทางด้านซ้ายของอาคาร ภายในห้องมีการเปิดหน้าต่าง ผลของการจำลองได้แสดงไว้ในตารางที่ 12

7. กรณีที่ 7 การจำลองสถานการณ์เพลิงไหม้และการอพยพ กำหนดให้มีผู้อพยพจำนวน 384 คน โดยแบ่งเป็นเด็กนักเรียน 360 คนอยู่ในห้องเรียน ห้องละ 30 คน อยู่ชั้นที่ 1 และชั้นที่ 2 ส่วนในชั้นที่ 3 เป็นครูจำนวน 24 คนอยู่ในห้องพัก ห้องละ 4 โดยที่ต้นเพลิงอยู่ที่ห้องพักครู ห้องที่ 2 ทางด้านซ้ายของอาคาร ภายในห้องมีการเปิดหน้าต่าง ผลของการจำลองได้แสดงไว้ในตารางที่ 13

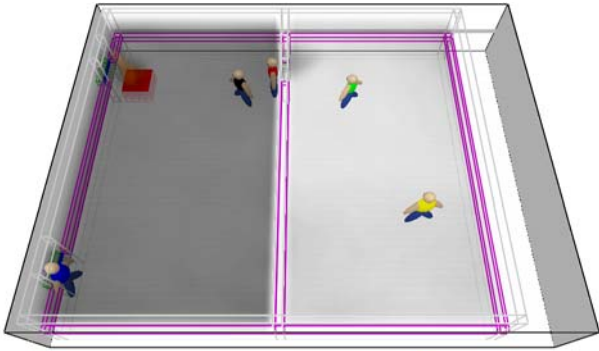
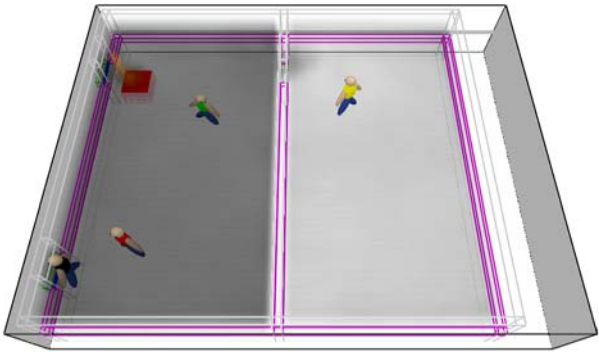
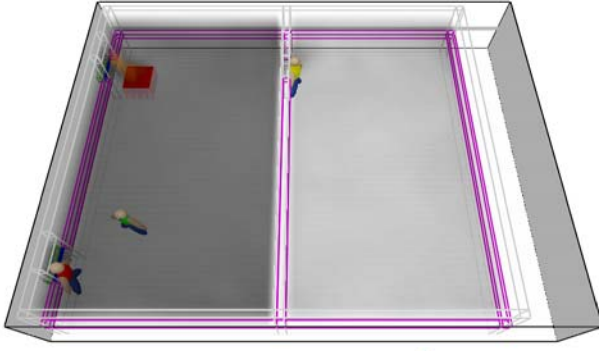
ตารางที่ 7 ผลการจำลองสถานการณ์เพลิงไหม้และอพยพ กรณีที่ 1 กำหนดให้มีผู้อพยพจำนวน 5 คน

ภาพแสดงสถานการณ์เพลิงไหม้และการอพยพ	เวลา (วินาที)	คำอธิบาย
 Frame: 1 Time: 0.0	0	เป็นสถานการณ์ปกติที่ยังไม่มีเหตุเพลิงไหม้ขึ้น
 Frame: 13 Time: 5.0	5	เกิดเพลิงไหม้ขึ้นที่ทางออกที่ใกล้กับประตูห้อง
 Frame: 38 Time: 15.0	15	ควันไฟได้มีปริมาณมากขึ้นและ กระจายตัวเข้ามาในห้อง

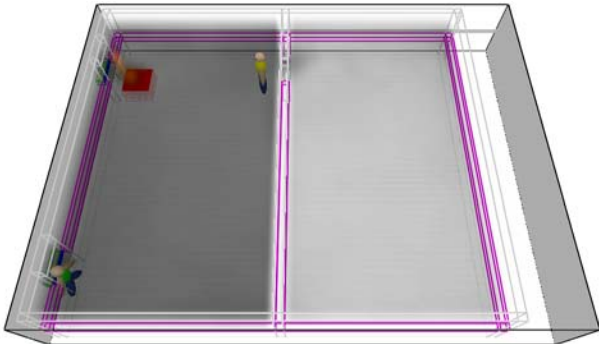
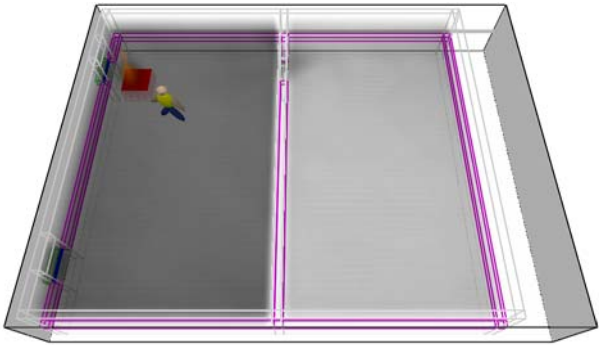
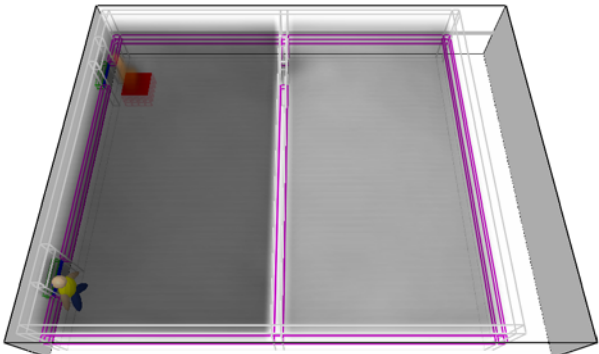
ตารางที่ 7 (ต่อ)

ภาพแสดงสถานการณ์เพลิงไหม้และการอพยพ	เวลา (วินาที)	คำอธิบาย
 Frame: 58 Time: 25.0	25	ผู้อพยพรับรู้ถึงสถานการณ์เพลิงไหม้และมีการตอบสนองต่อเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น
 Frame: 68 Time: 30.0	30	ผู้ชายเริ่มทำการอพยพก่อนเป็นคนแรก
 Frame: 78 Time: 35.0	35	ผู้ชายไม่ได้ไปที่ทางออกที่มีกองเพลิงอยู่ แต่เลือกไปทางออกที่ไกล แต่ปลอดภัยกว่า จากนั้นผู้ที่อยู่ในห้องต่างเริ่มอพยพตามกันออกมา โดยผู้ที่เริ่มอพยพเป็นคนที่ 2 คือผู้ใหญ่ และตามมาเป็นผู้หญิงเด็ก และคนแก่

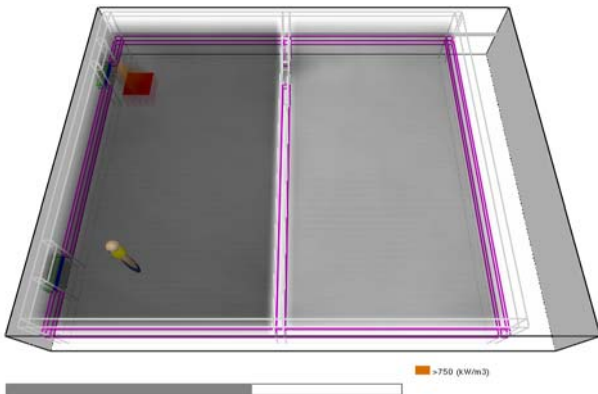
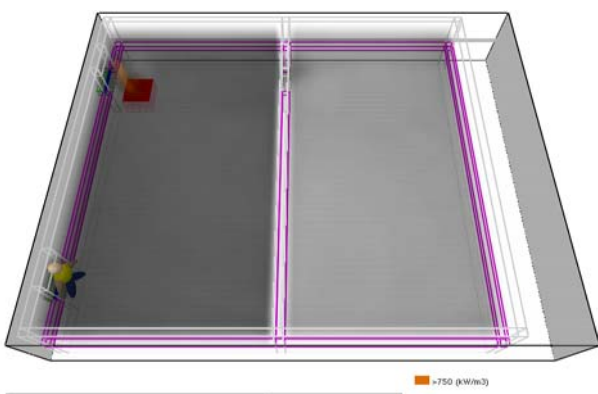
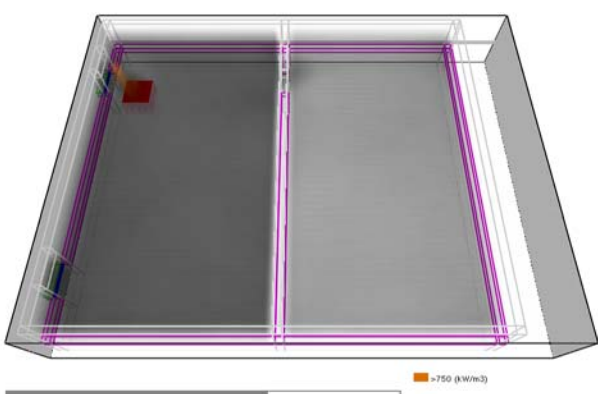
ตารางที่ 7 (ต่อ)

ภาพแสดงสถานการณ์เพลิงไหม้และการอพยพ	เวลา (วินาที)	คำอธิบาย
 Frame: 68 Time: 39.0	39	ผู้อพยพคนแรกเป็นผู้ชายได้ ออกจากห้อง และปริมาณควัน ได้เพิ่มมากขึ้น ซึ่งมีผลทำให้ การมองเห็นลดลงและการ เคลื่อนที่ก็จะลดลงด้วย
 Frame: 106 Time: 45.0	45	ผู้อพยพออกจากห้องเป็นคน ที่ 2 คือ ผู้ใหญ่
 Frame: 118 Time: 49.0	49	ผู้อพยพที่ออกจากห้องได้ คนที่ 3 คือ ผู้หญิง

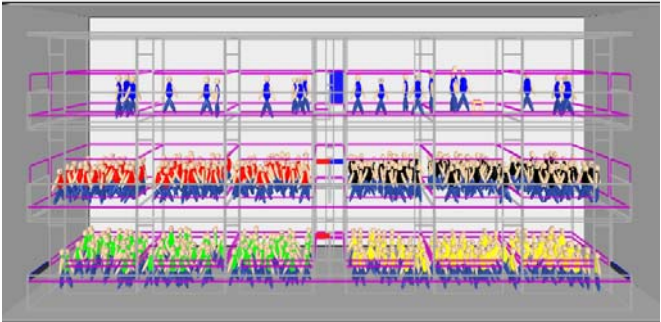
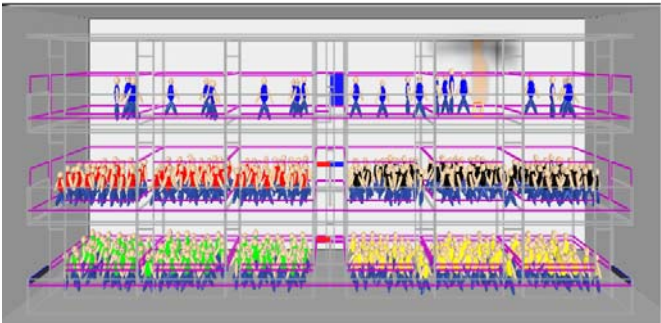
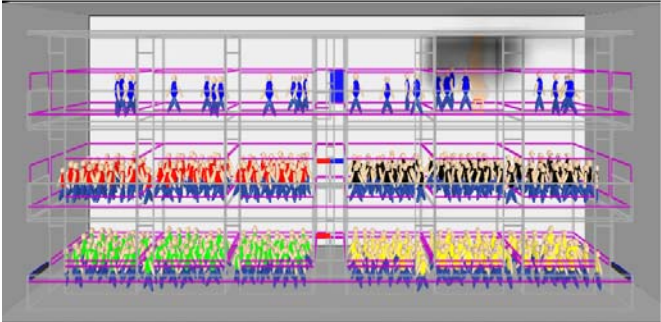
ตารางที่ 7 (ต่อ)

ภาพแสดงสถานการณ์เพลิงไหม้และการอพยพ	เวลา (วินาที)	คำอธิบาย
 Frame: 123 Time: 51.0	51	ผู้อพยพคนที่ออกจากห้องได้เป็นคนที่ 4 คือเด็ก
 Frame: 135 Time: 55.0	55	ผู้อพยพที่เป็นคนแก่ เดินไปยังประตูที่อยู่ใกล้ แต่เมื่อทราบว่า มีกองเพลิงขวางอยู่จึงเปลี่ยนไปออกอีกประตูหนึ่ง
 Frame: 162 Time: 64.0	64	เนื่องจากปริมาณควันที่มีปริมาณมากทำให้การมองเห็นลดลง จึงทำให้ผู้อพยพที่เป็นคนแก่ เดินชนผนัง

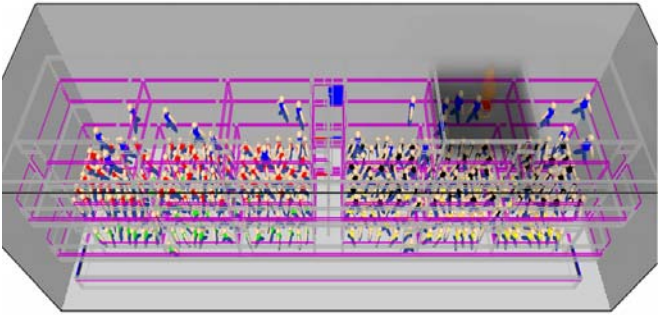
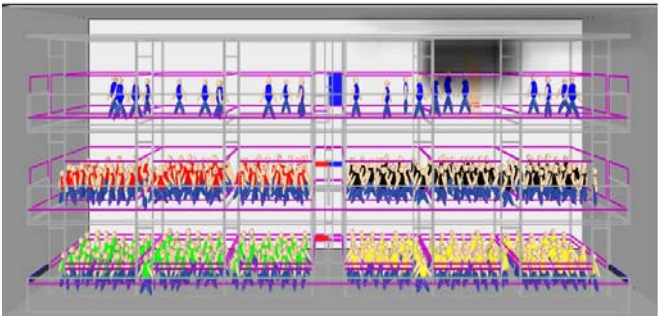
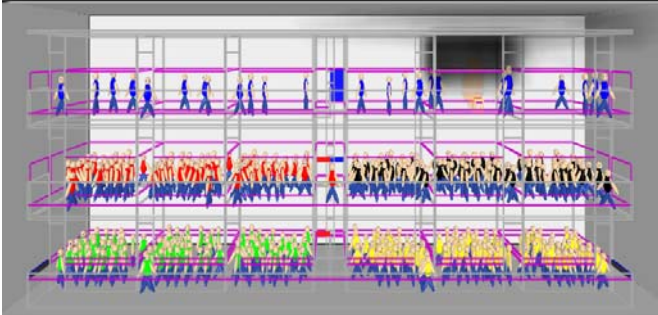
ตารางที่ 7 (ต่อ)

ภาพแสดงสถานการณ์เพลิงไหม้และการอพยพ	เวลา (วินาที)	คำอธิบาย
	66	ผู้อพยพซึ่งเป็นคนแก่ได้ถอยหลังมาเพื่อหาทางออกอีกครั้ง
	69	ผู้อพยพคนสุดท้ายทำยออกจากห้อง
	70	การอพยพสิ้นสุด

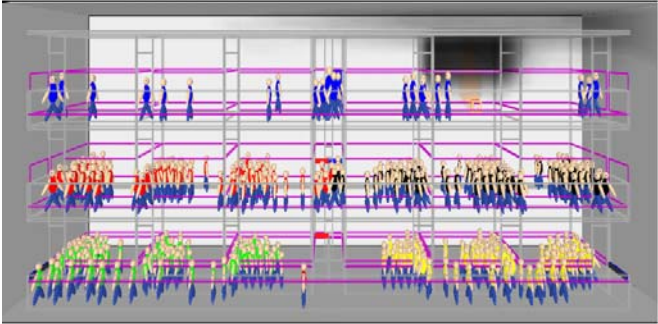
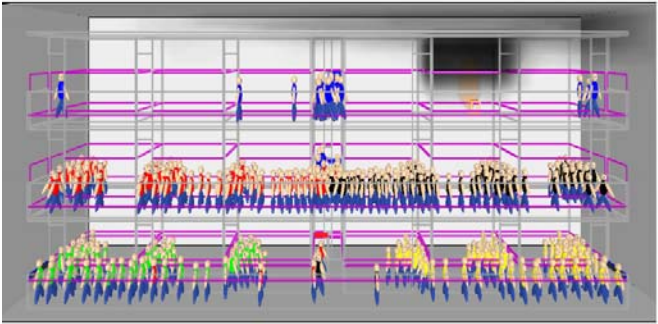
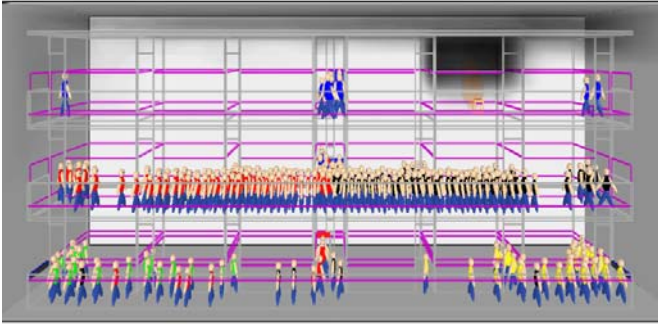
ตารางที่ 8 ผลการจำลองสถานการณ์เพลิงไหม้และอพยพกรณีที่ 2 กำหนดให้มีผู้อพยพ จำนวน 384 คน และไม่มีการเปิดหน้าต่าง

ภาพแสดงสถานการณ์เพลิงไหม้และการอพยพ	เวลา (วินาที)	คำอธิบาย
 Frame: 1 Time: 0.0	0	สถานการณ์ปกติ ยังไม่เกิดเพลิงไหม้
 Frame: 12 Time: 5.0	5	มีเพลิงไหม้เกิดขึ้นที่บริเวณห้องพักรูบนชั้นที่ 3 ห้องกลางด้านซ้ายของอาคาร
 Frame: 29 Time: 15.5	15	ผู้ที่อยู่ในอาคารบางคนเริ่มรับรู้ถึงสิ่งผิดปกติที่เกิดขึ้น

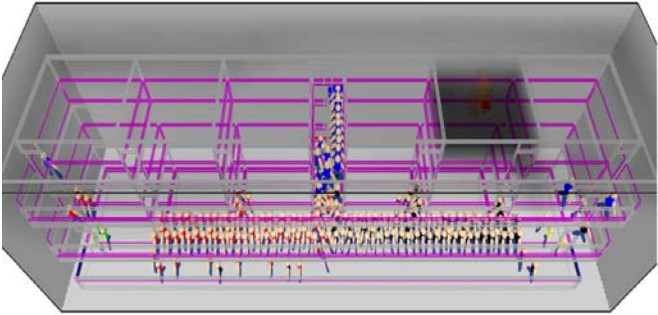
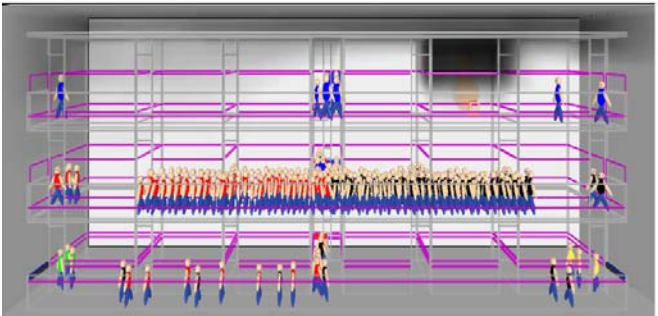
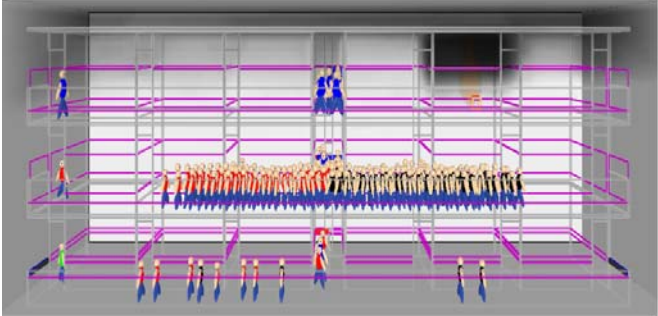
ตารางที่ 8 (ต่อ)

ภาพแสดงสถานการณ์เพลิงไหม้และการอพยพ	เวลา (วินาที)	คำอธิบาย
 Frame: 60 Time: 20.0 453 (คน)	30 ภาพด้านบน กลุ่มควันได้ ลอยปกคลุมไปยังระเบียง ทางเดิน	
 Frame: 60 Time: 30.0 453 (คน)	30 ผู้อพยพบางคนมีการ ตอบสนองต่อสิ่งผิดปกติที่ เกิดขึ้น	
 Frame: 31 Time: 40.0 459 (คน)	40 ผู้ที่อยู่ในอาคารทำการ อพยพออกนอกอาคาร พร้อม กันทั้งอาคาร	

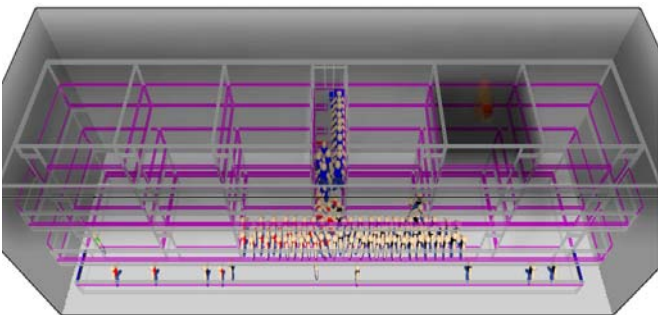
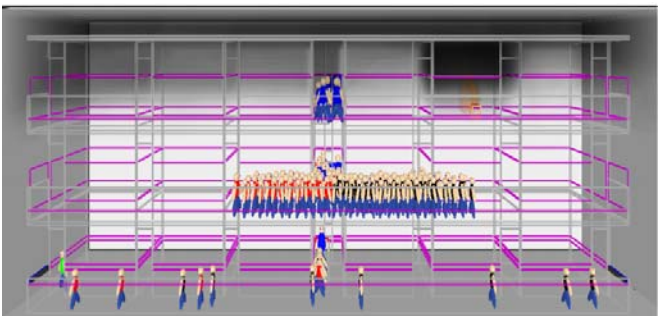
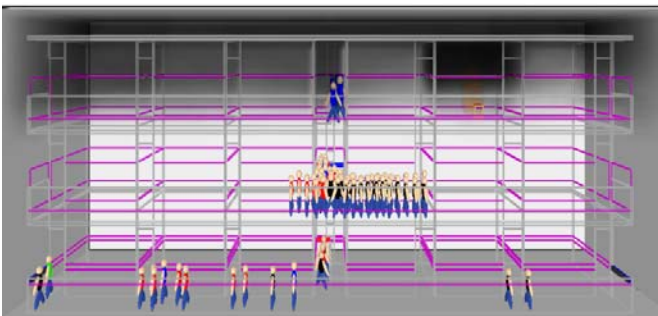
ตารางที่ 8 (ต่อ)

ภาพแสดงสถานการณ์เพลิงไหม้และการอพยพ	เวลา (วินาที)	คำอธิบาย
 Frame: 120 Time: 55.5	50	ผู้ที่อยู่ภายในอาคารต่างเคลื่อนที่ไปตามเส้นทางหนีไฟ โดยไปตามระเบียงและไปยังบันไดระหว่างชั้น
 Frame: 150 Time: 60.0	60	ผู้อพยพที่อยู่ชั้นที่ 2 ส่วนใหญ่ได้ออกมายังระเบียงและเคลื่อนไปยังบันไดแต่เกิดการแออัดขึ้นที่บันได ทำให้ผู้อพยพที่ลงมาจากชั้นที่ 3 ติดอยู่ที่บันไดชั้นที่ 2 ด้วย
 Frame: 211 Time: 60.1	80	ที่บริเวณชั้นที่ 3 ยังมีผู้อพยพที่ยังคงอยู่ภายในห้องและบริเวณบันไดขึ้น-ลงระหว่างชั้น เกิดการแออัดอย่างมากมีการเบียดเสียดเพื่อแย่งกันลงบันได

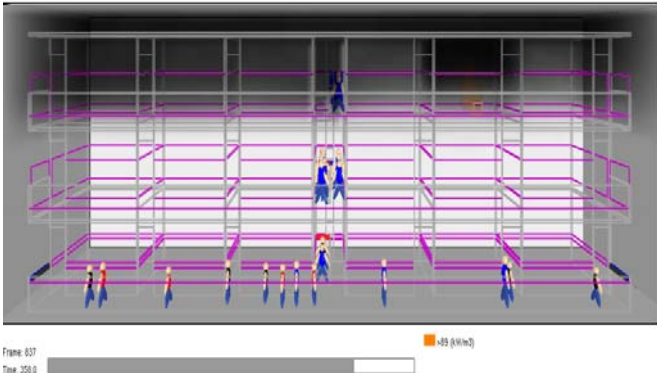
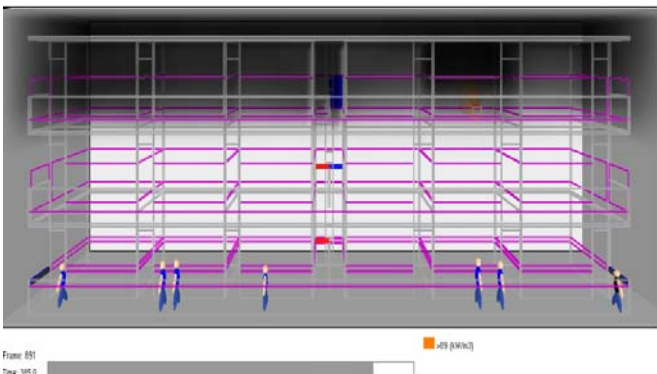
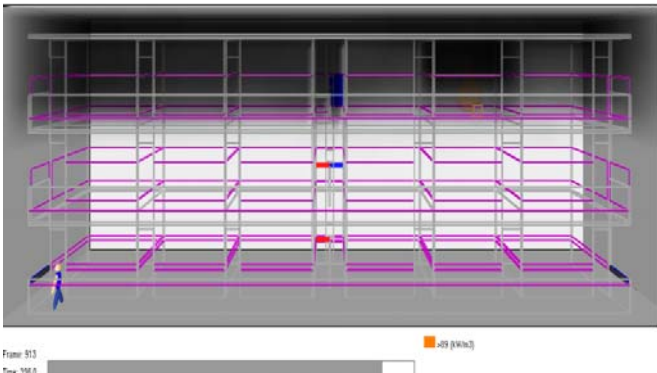
ตารางที่ 8 (ต่อ)

ภาพแสดงสถานการณ์เพลิงไหม้และการอพยพ	เวลา (วินาที)	คำอธิบาย
 Frame: 271 Time: 100.1	100	ภาพด้านบน กลุ่มควันได้ปกคลุมระเบียงชั้นที่ 3 และกระจายเข้าไปยังห้องริมด้านขวาของอาคาร
 Frame: 271 Time: 100.1	100	ผู้อพยพที่บริเวณชั้นที่ 2 ส่วนใหญ่ทำการอพยพออกจากห้องมายังระเบียง
 Frame: 301 Time: 130.1	140	ผู้อพยพคนสุดท้ายที่อยู่ในห้องที่ชั้นที่ 3 ได้อพยพออกจากห้องมายังระเบียง

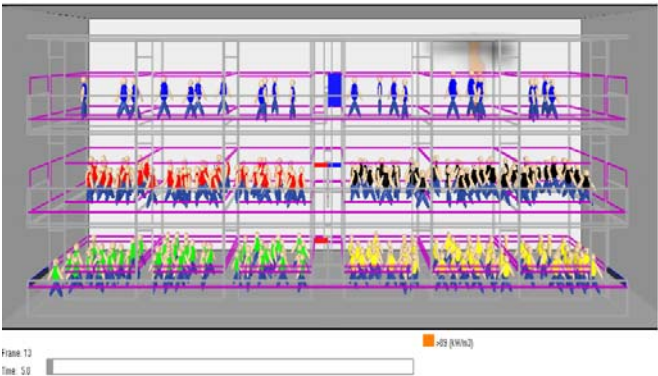
ตารางที่ 8 (ต่อ)

ภาพแสดงสถานการณ์เพลิงไหม้และการอพยพ	เวลา (วินาที)	คำอธิบาย
 Frame: 521 Time: 200.0	200	กลุ่มควันได้ปกคลุมทั่วทั้งบริเวณในชั้นที่ 3 ซึ่งเป็นอุปสรรคในการมองเห็นของผู้อพยพ
 Frame: 571 Time: 200.0	200	ผู้อพยพภายในอาคารทยอยเคลื่อนตัวไปตามระเบียงและบันไดเพื่อไปยังทางออกถึงแม้จะมีปริมาณลดลงเรื่อยๆแต่ก็ยังคงแออัดอยู่
 Frame: 644 Time: 201.5	261	ผู้อพยพคนสุดท้ายที่อยู่ชั้นที่ 1 กำลังออกจากอาคาร

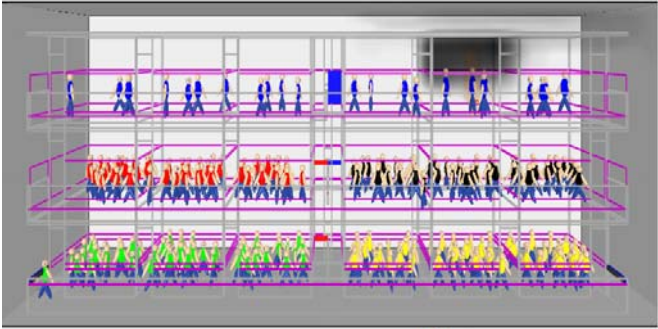
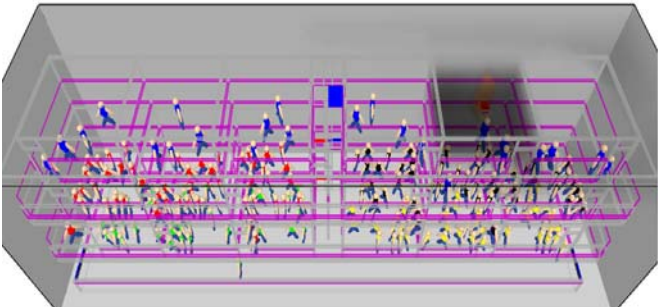
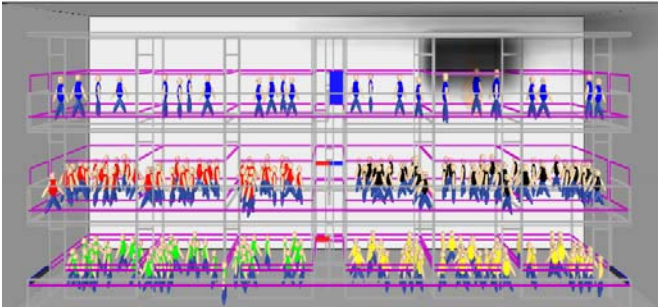
ตารางที่ 8 (ต่อ)

ภาพแสดงสถานการณ์เพลิงไหม้และการอพยพ	เวลา (วินาที)	คำอธิบาย
	358	ยังคงเหลือผู้อพยพที่อยู่ที่ยื่นที่ 3 ที่บริเวณระเบียงอีก 2 คน แต่ผู้อพยพที่ยื่นที่ 2 ลงไปที่ชั้นที่ 1 หมดทุกคนแล้ว
	385	ผู้อพยพคนสุดท้ายที่อยู่ที่ยื่นที่ 2 กำลังอพยพสู่นอกอาคาร
	396	ผู้อพยพคนสุดท้ายออกจากอาคาร การอพยพสิ้นสุดที่วินาทีที่ 397

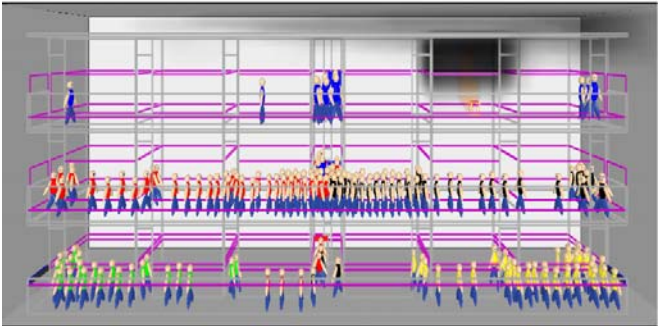
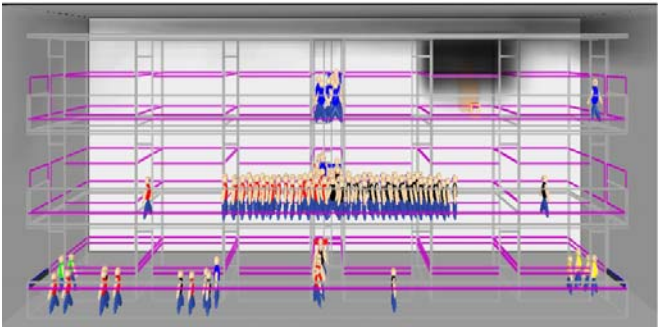
ตารางที่ 9 ผลการจำลองสถานการณ์เพลิงไหม้และอพยพกรณีที่ 3 กำหนดให้มีผู้อพยพ จำนวน 228 คนและไม่มีเปิดหน้าต่าง

ภาพแสดงสถานการณ์เพลิงไหม้และการอพยพ	เวลา (วินาที)	คำอธิบาย
 Frame: 1 Time: 0.0	0	เป็นสถานการณ์ปกติที่ยังไม่มีเหตุเพลิงไหม้ขึ้น
 Frame: 12 Time: 5.0	5	เกิดเพลิงไหม้ขึ้นที่บริเวณชั้นที่ 3 ในห้องพัสดุ โดยมีผู้อพยพอยู่ภายในห้องทั้ง 3 ชั้น
 Frame: 38 Time: 15.0	15	ภาพของอาคารเรียนในขณะที่เกิดเพลิงไหม้ โดยกลุ่มควันได้ปกคลุมภายในห้องต้นเพลิง ผู้อพยพกำลังรับรู้ถึงสิ่งผิดปกติ

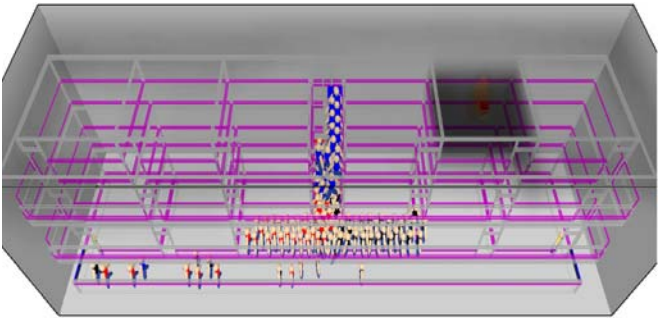
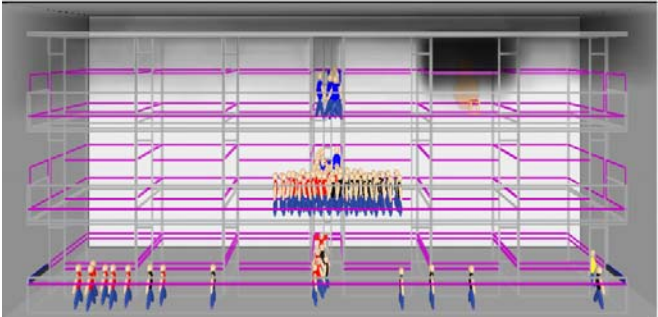
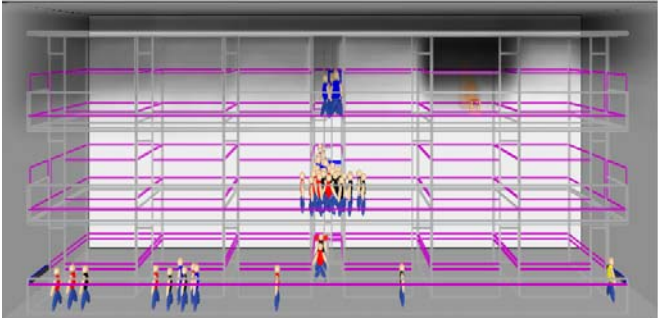
ตารางที่ 9 (ต่อ)

ภาพแสดงสถานการณ์เพลิงไหม้และการอพยพ	เวลา (วินาที)	คำอธิบาย
 Frame 68 Time 30.0	30	ผู้อพยพในอาคารเริ่มมีการเคลื่อนไหวบ้าง
 Frame 91 Time 40.0	40	ภาพด้านบนของอาคารแสดงให้เห็นปฏิกิริยาในการอพยพของผู้ที่อยู่ในอาคารแต่ละชั้น
 Frame 91 Time 40.0	40	ผู้อพยพต่างเคลื่อนย้ายกันไปตามเส้นทางหนีไฟ และไปยังทางออกที่ใกล้และมีความคุ้นเคยมากที่สุด

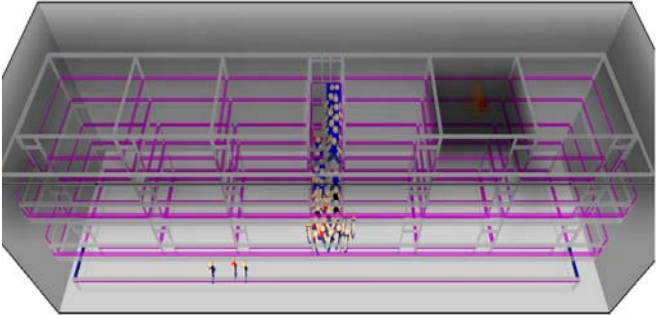
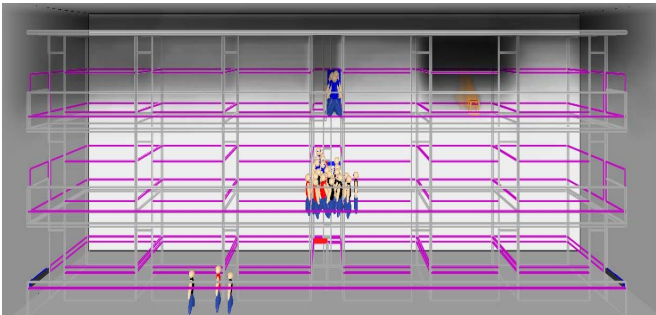
ตารางที่ 9 (ต่อ)

ภาพแสดงสถานการณ์เพลิงไหม้และการอพยพ	เวลา (วินาที)	คำอธิบาย
 Frame: 121 Time: 50.0	50	ควันไฟได้ลามไปตาม ระเบียงไปยังบันไดขึ้น-ลง และ ห้องข้างเคียง ผู้อพยพที่ อยู่ในห้องต้นเพลิงได้ออกมา ยังภายนอกห้องจนหมด
 Frame: 130 Time: 60.0	60	ผู้อพยพที่อยู่บริเวณชั้นที่ 3 ส่วนใหญ่ได้ออกมาที่บริเวณ ระเบียง และทยอยลงบันได ไปยังชั้นที่ 2
 Frame: 210 Time: 80.0	80	ยังคงมีผู้อพยพติดอยู่ภายใน ห้องที่ชั้นที่ 3 ส่วนผู้อพยพที่ ชั้น 1 ส่วนใหญ่ อพยพออก จากห้องเรียน ไปตามทางเดิน เพื่อไปยังทางออกของอาคาร ที่บริเวณชั้นที่ 2 เกิดการแออัด ที่ระเบียงและบันได

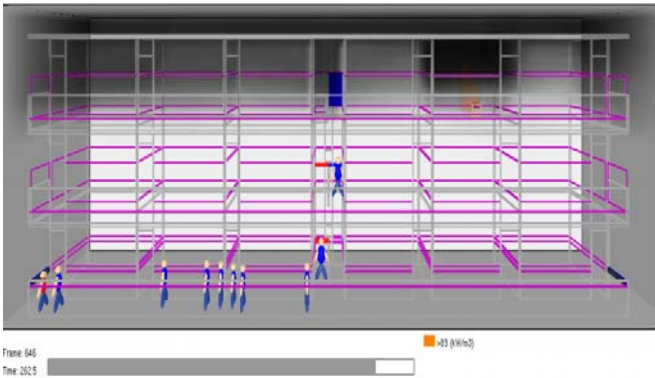
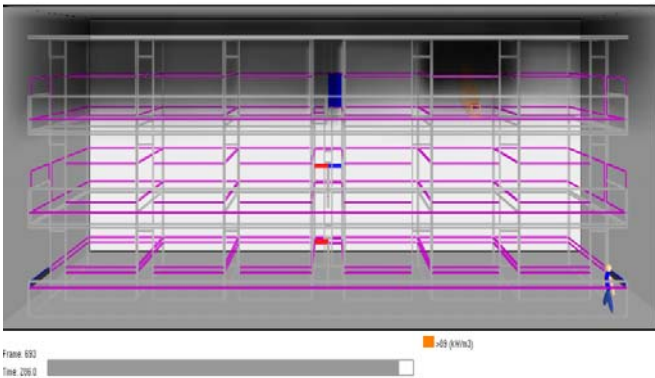
ตารางที่ 9 (ต่อ)

ภาพแสดงสถานการณ์เพลิงไหม้และการอพยพ	เวลา (วินาที)	คำอธิบาย
 Frame: 271 Time: 100.1	100	ผู้อพยพส่วนใหญ่ที่ชั้น 3 ยังไม่สามารถลงบันไดไปยังชั้นที่ 2 ได้เนื่องจากติดผู้อพยพที่ชั้นที่ 2
 Frame: 301 Time: 120.1	130	ผู้อพยพที่ชั้นที่ 2 และชั้นที่ 3 ต่างเบียดเสียดกันเพื่อจะลงไปยังชั้นที่ 1 และกลุ่มควันได้ปกคลุมพื้นที่ชั้นที่ 3 เป็นอุปสรรคในการมองเห็น
 Frame: 472 Time: 179.0	176	ผู้อพยพคนสุดท้ายที่ชั้นที่ 1 กำลังอพยพออกสู่ภายนอกอาคาร

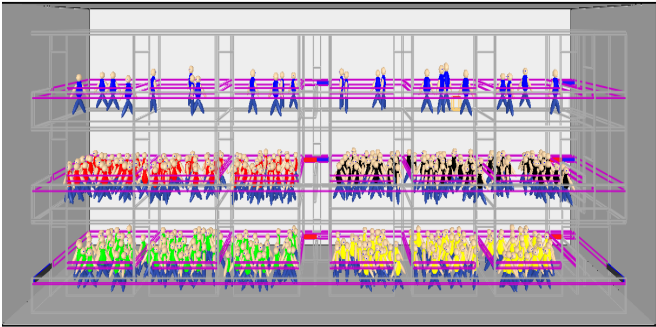
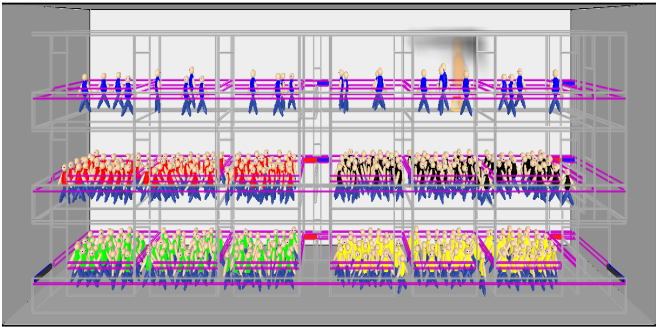
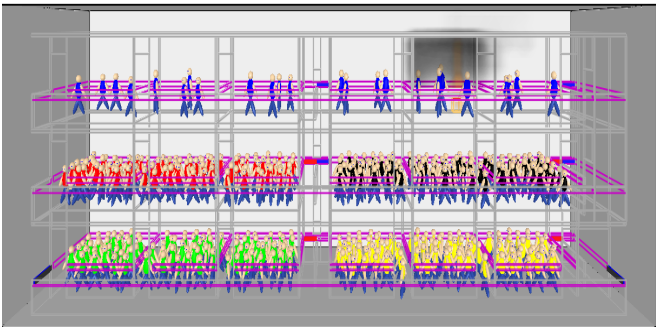
ตารางที่ 9 (ต่อ)

ภาพแสดงสถานการณ์เพลิงไหม้และการอพยพ	เวลา (วินาที)	คำอธิบาย
 Frame: 521 Time: 200.0	200	กลุ่มควันจำนวนมากได้ปกคลุมทั่วทั้งบริเวณของชั้นที่ 3 ทำให้เป็นอุปสรรคในการมองเห็น และผู้อพยพในชั้นที่ 2 ได้คลายความแออัดบริเวณระเบียงลง
 Frame: 521 Time: 200.0	200	ผู้อพยพในชั้นที่ 2 ได้คลายความแออัดบริเวณระเบียงลง ทำให้การอพยพลงจากชั้นที่ 3 สามารถลงบันไดมายังชั้น 2 และชั้น 1 ได้
 Frame: 603 Time: 241.0	241	ผู้อพยพคนสุดท้ายที่ชั้นที่ 3 กำลังอพยพลงบันไดมายังชั้น 2 พร้อมกับผู้อพยพคนสุดท้ายที่อยู่ชั้นที่ 2 กำลังอพยพลงบันไดมายังชั้น 1

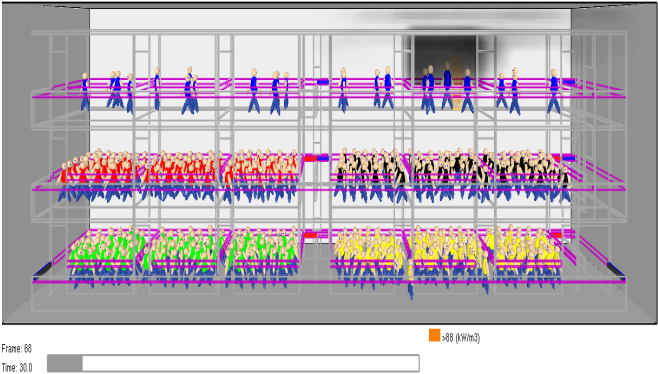
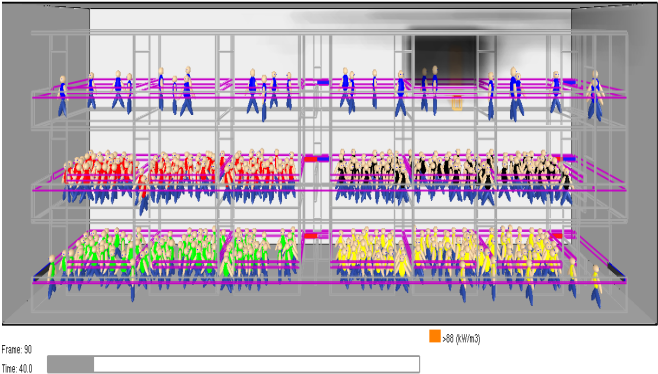
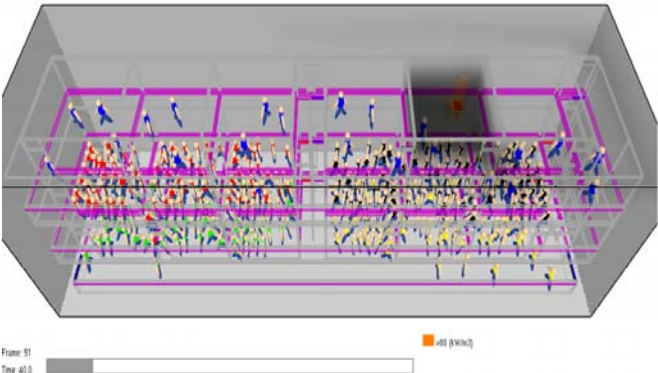
ตารางที่ 9 (ต่อ)

ภาพแสดงสถานการณ์เพลิงไหม้และการอพยพ	เวลา (วินาที)	คำอธิบาย
	263	ผู้อพยพคนสุดท้ายของชั้นที่ 2 กำลังอพยพออกจากอาคาร และในขณะนี้ผู้อพยพคนสุดท้ายของชั้นที่ 3 กำลังอพยพลงบันไดมายังทางเดินชั้นที่ 1 เพื่อไปยังทางออกที่มีความคุ้นเคยมากที่สุด
	286	ผู้อพยพคนสุดท้ายกำลังออกจากอาคาร การอพยพลสิ้นสุดที่วินาทีที่ 287

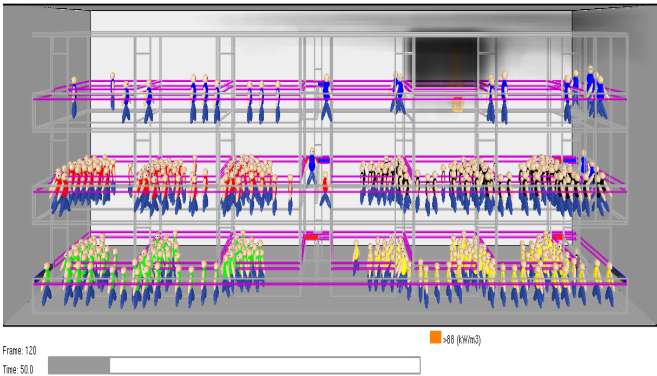
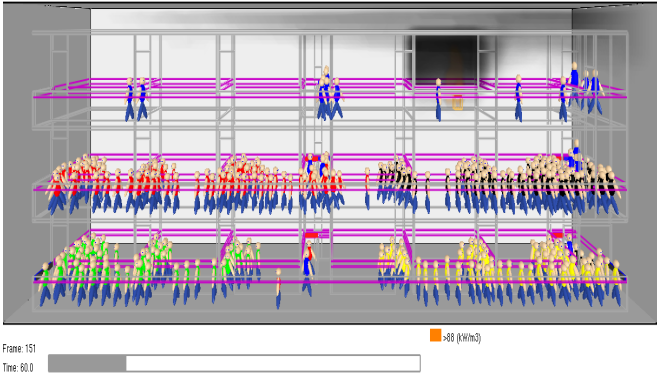
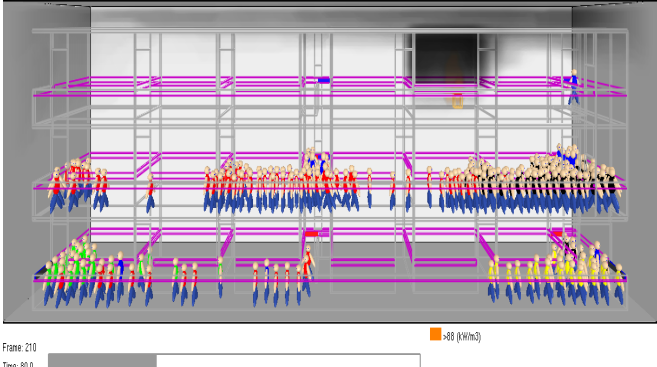
ตารางที่ 10 ผลการจำลองสถานการณ์เพลิงไหม้และอพยพกรณีที่ 4 กำหนดให้มีผู้อพยพ จำนวน 384 คน ไม่มีการเปิดหน้าต่างและมีบันไดหนีไฟเพิ่ม 1 บันได

ภาพแสดงสถานการณ์เพลิงไหม้และการอพยพ	เวลา (วินาที)	คำอธิบาย
 Frame: 1 Time: 0.0	0	เป็นสถานการณ์ปกติที่ยังไม่มีเหตุเพลิงไหม้ขึ้น
 Frame: 13 Time: 5.0	5	เกิดเพลิงไหม้ขึ้นที่บริเวณชั้นที่ 3 บริเวณหน้าห้องเรียน ห้องที่ 2 ด้านซ้ายของอาคาร
 Frame: 36 Time: 15.0	15	ควันไฟมีปริมาณเพิ่มขึ้น ผู้ที่อยู่ในอาคารส่วนใหญ่ยังไม่รับทราบถึงเหตุการณ์ผิดปกติที่เกิดขึ้น

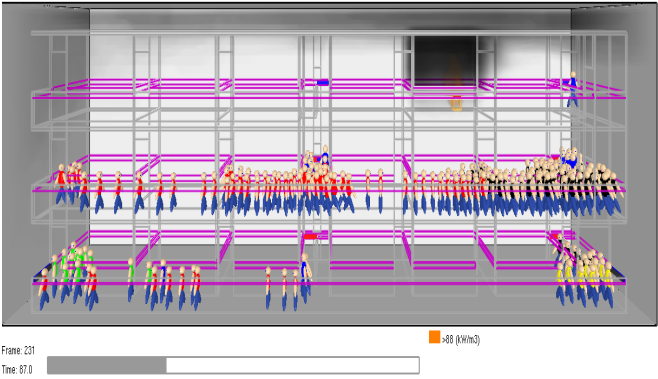
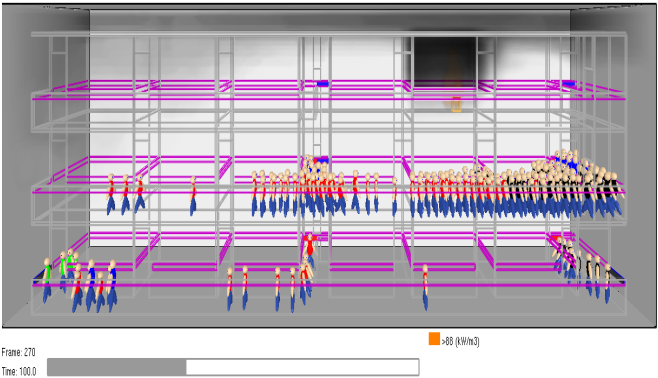
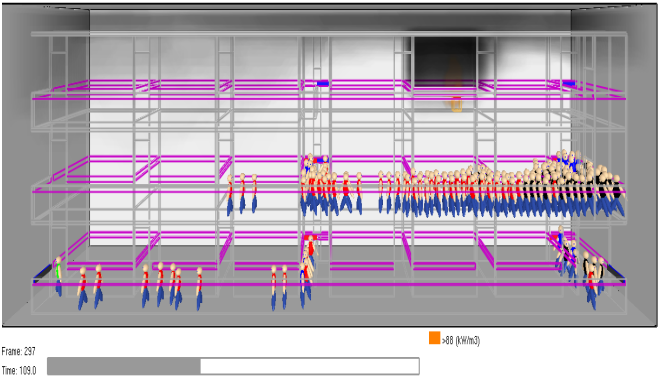
ตารางที่ 10 (ต่อ)

ภาพแสดงสถานการณ์เพลิงไหม้และการอพยพ	เวลา (วินาที)	คำอธิบาย
	30	ผู้ที่อยู่ในอาคารรับรู้ถึงเหตุการณ์ที่ผิดปกติและมีปฏิกิริยาตอบสนองต่อเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น
	40	กลุ่มควันได้เพิ่มปริมาณและปกคลุมอยู่ที่บริเวณระเบียง และห้องข้างเคียงชั้นที่ 3
	40	ภาพด้านบน ผู้ที่อยู่ในอาคารทั้งหมดทำการอพยพหนีไฟ ออกนอกอาคาร

ตารางที่ 10 (ต่อ)

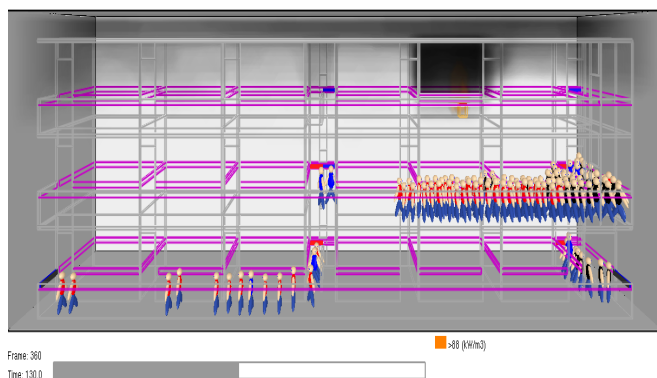
ภาพแสดงสถานการณ์เพลิงไหม้และการอพยพ	เวลา (วินาที)	คำอธิบาย
 Frame: 120 Time: 50.0	50	ผู้ที่อพยพที่ชั้นที่ 2 และชั้นที่ 3 ได้อพยพเคลื่อนที่ไปตามระเบียบทางเดินเพื่อไปสู่อันดะไนไฟ และอันดะไน-ลง
 Frame: 151 Time: 60.0	60	ผู้ที่อพยพที่ชั้นที่ 2 และชั้นที่ 3 บางส่วนอพยพเคลื่อนที่ไปตามระเบียบทางเดินเพื่อไปสู่อันดะไนไฟ ซึ่งมีความปลอดภัยมากกว่าอันดะไน-ลง
 Frame: 210 Time: 80.0	80	เกิดการแออัดบริเวณระเบียบทางเดินและบันไดทั้ง 2 บันได โดยจะเห็นว่าบันไดหนีไฟจะมีจำนวนผู้อพยพมากกว่าบันไดปกติ

ตารางที่ 10 (ต่อ)

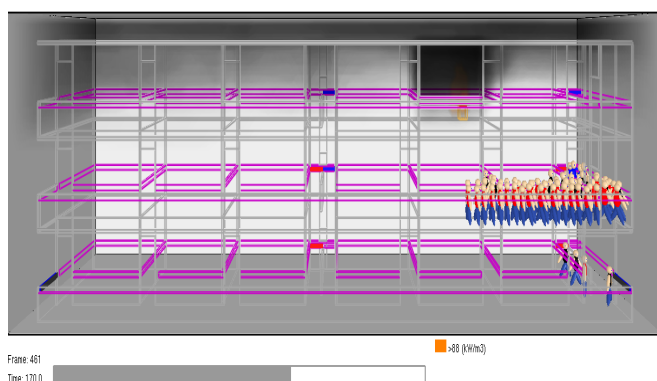
ภาพแสดงสถานการณ์เพลิงไหม้และการอพยพ	เวลา (วินาที)	คำอธิบาย
	87	ผู้อพยพคนสุดท้ายที่ชั้นที่ 3 กำลังลงบันไดหนีไฟไปที่ชั้นที่ 2 และผู้อพยพที่ชั้นที่ 2 อีกส่วนหนึ่งเลือกไปใช้บันไดหนีไฟ
	100	ที่บริเวณบันไดหนีไฟ เกิดการแออัดในการอพยพเป็นอย่างมาก ซึ่งทั้งนี้เกิดจากการเบียดเสียดของผู้อพยพชั้นที่ 3 และชั้นที่ 2
	109	ผู้อพยพคนสุดท้ายของชั้นที่ 1 กำลังอพยพออกนอกอาคาร โดยไปที่ประตูซ้าย

ตารางที่ 10 (ต่อ)

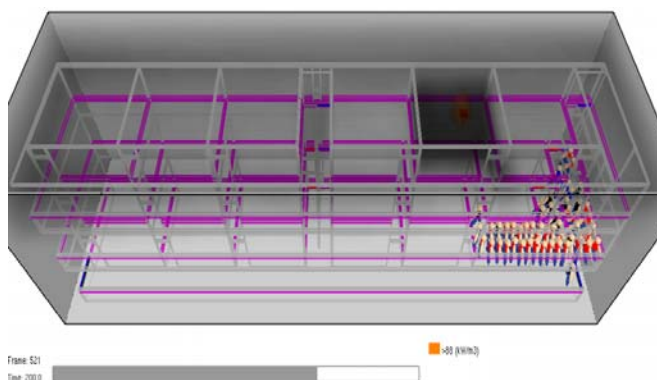
ภาพแสดงสถานการณ์เพลิงไหม้และการอพยพ	เวลา (วินาที)	คำอธิบาย
-------------------------------------	------------------	----------



130 ที่บริเวณบันไดขึ้น-ลง
ระหว่างชั้นมีผู้อพยพจากชั้นที่
3 กำลังลงบันไดชั้นที่ 2 ไปสู่
ชั้นที่ 1

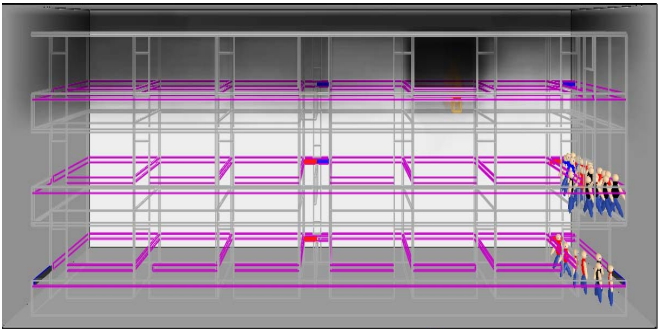
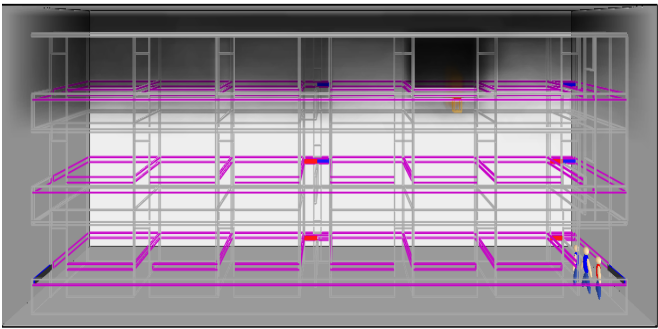
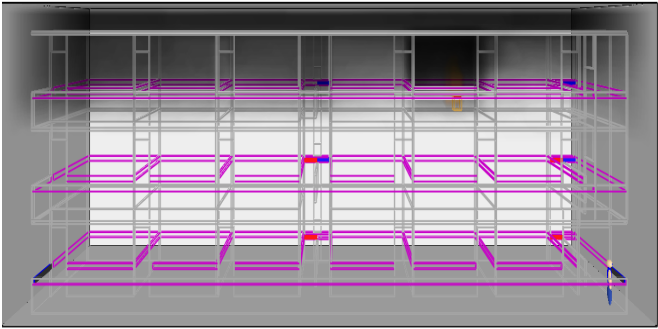


170 ที่บันไดหนีไฟสามารถ
คลายความแออัดไปได้บ้าง
แต่ยังคงเกิดการแออัดอยู่และ
การอพยพก็สามารถเคลื่อนที่
ไปได้อย่างต่อเนื่อง

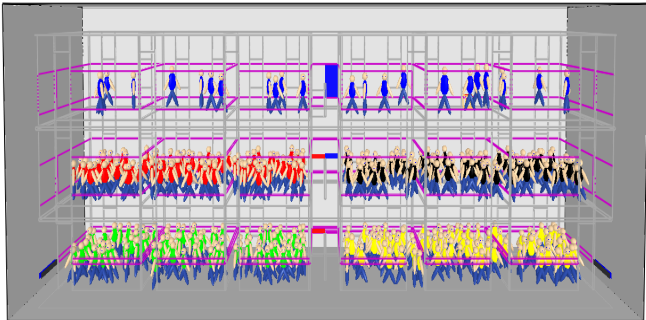
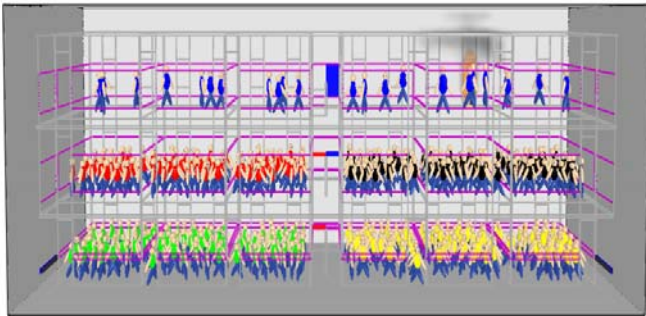
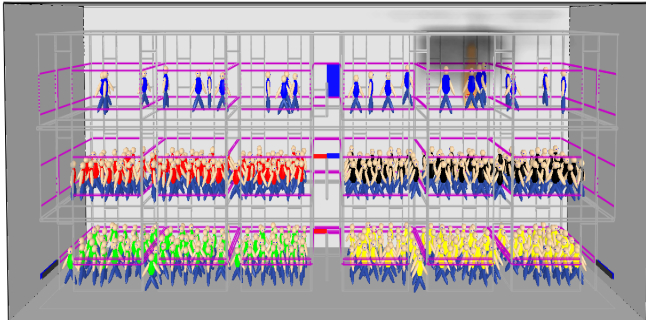


200 ภาพด้านบน กลุ่มควันได้
เพิ่มปริมาณมาก และปกคลุม
บริเวณชั้นที่ 3 ทั้งหมด

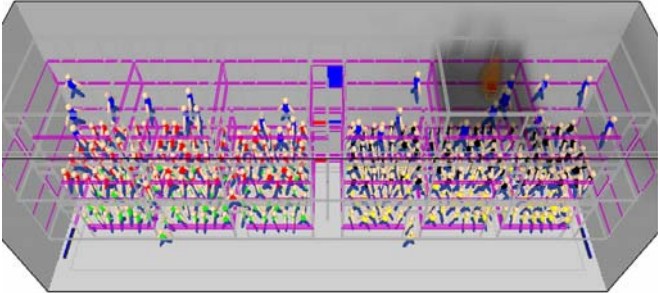
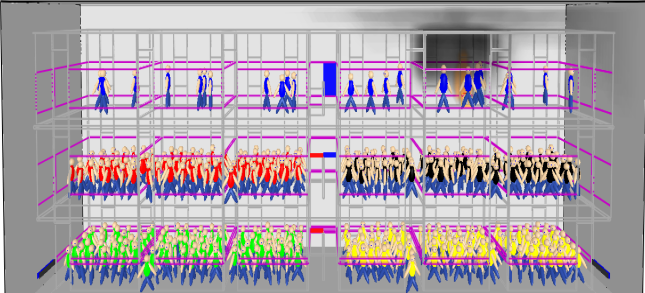
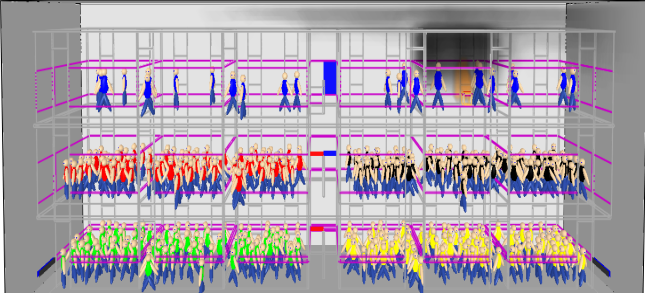
ตารางที่ 10 (ต่อ)

ภาพแสดงสถานการณ์เพลิงไหม้และการอพยพ	เวลา (วินาที)	คำอธิบาย
 Frame: 601 Time: 240.0	240 ในขณะนี้ไม่มีผู้อพยพอยู่ที่ ระเบียบแล้ว มีแต่เพียงบริเวณ ภายในบันไดหนีไฟ	
 Frame: 673 Time: 276.0	276 ผู้อพยพคนสุดท้ายของชั้น ที่ 2 กำลังอพยพออกนอก อาคาร	
 Frame: 681 Time: 280.0	280 ผู้อพยพคนสุดท้ายกำลัง ออกไปยังพื้นที่ปลอดภัย การ อพยพสิ้นสุดที่เวลา 281 วินาที	

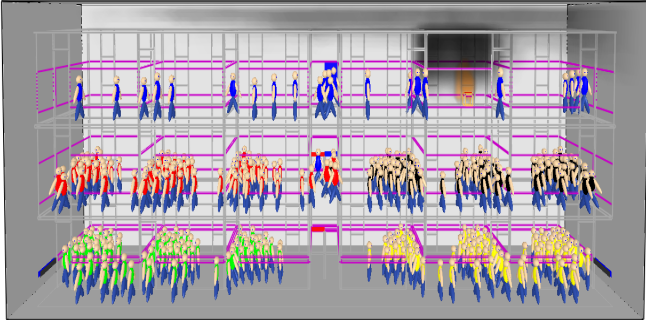
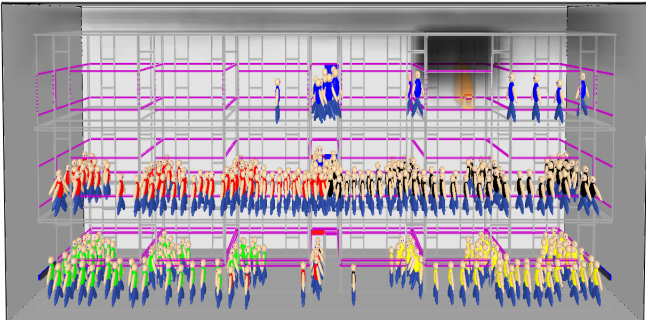
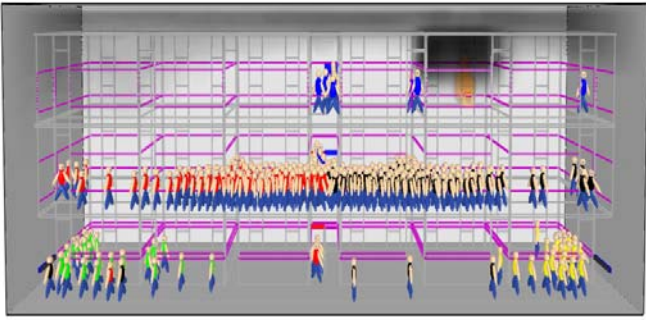
ตารางที่ 11 ผลการจำลองสถานการณ์เพลิงไหม้และอพยพกรณีที่ 5 กำหนดให้มีผู้อพยพ จำนวน 384 คน และมีการเปิดหน้าต่าง

ภาพแสดงสถานการณ์เพลิงไหม้และการอพยพ	เวลา (วินาที)	คำอธิบาย
 Frame 1 Time: 0.0	0	สถานการณ์ปกติ ยังไม่เกิดเพลิงไหม้
 Frame 13 Time: 9.0	5	มีเพลิงไหม้เกิดขึ้นที่บริเวณห้องพักรูบนชั้นที่ 3 ห้องกลางด้านซ้ายของอาคาร
 Frame 38 Time: 15.0	15	ปริมาณของควันไฟได้เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ผู้ที่อยู่ในอาคารบางคนเริ่มรับรู้ถึงสิ่งผิดปกติที่เกิดขึ้น

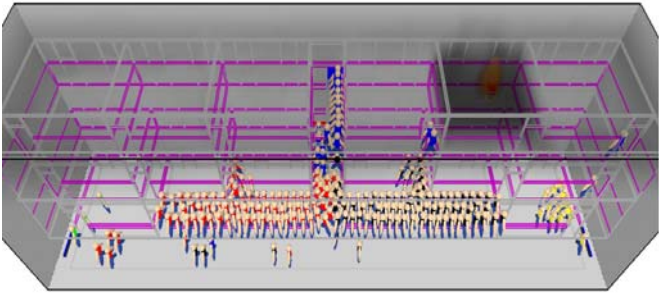
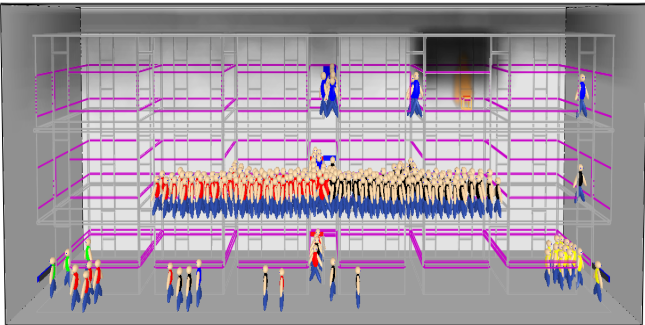
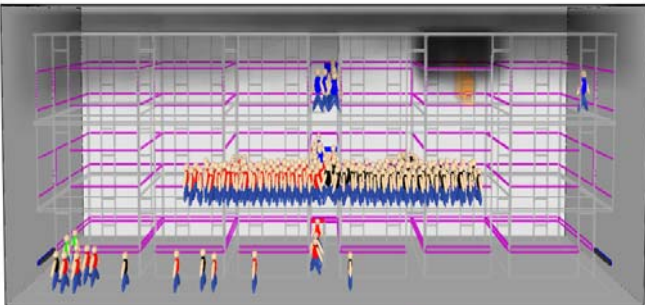
ตารางที่ 11 (ต่อ)

ภาพแสดงสถานการณ์เพลิงไหม้และการอพยพ	เวลา (วินาที)	คำอธิบาย
 Frame: 66 Time: 30.0	30	ภาพด้านบน กลุ่มควันได้ลอยปกคลุมไปยังระเบียงทางเดินและห้องข้างเคียง โดยควันได้เคลื่อนที่ออกไปทางหน้าต่างและประตู
 Frame: 68 Time: 30.0	30	ผู้อพยพบางคนมีการตอบสนองต่อสิ่งผิดปกติที่เกิดขึ้น
 Frame: 90 Time: 40.0	40	ผู้ที่อยู่ในอาคารทำการอพยพออกนอกอาคาร

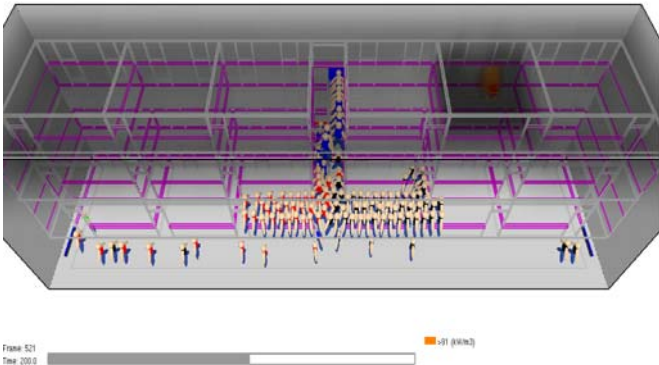
ตารางที่ 11 (ต่อ)

ภาพแสดงสถานการณ์เพลิงไหม้และการอพยพ	เวลา (วินาที)	คำอธิบาย
 Frame: 121 Time: 50.0	50	ผู้ที่อยู่ภายในอาคารต่างเคลื่อนที่ไปตามเส้นทางหนีไฟ โดยไปตามระเบียงและไปยังบันไดระหว่างชั้น
 Frame: 150 Time: 60.0	60	ผู้อพยพที่อยู่ชั้นที่ 2 ส่วนใหญ่ได้ออกมายังระเบียงและเคลื่อนไปยังบันไดแต่เกิดการแออัดขึ้นที่บันได ทำให้ผู้อพยพที่ลงมาจากชั้นที่ 3 ติดอยู่ที่บันไดชั้นที่ 2 ด้วย
 Frame: 210 Time: 90.0	80	ที่บริเวณชั้นที่ 3 ยังมีผู้อพยพที่ยังคงอยู่ภายในห้องและบริเวณบันไดขึ้น-ลงระหว่างชั้น เกิดการแออัดอย่างมากมีการเบียดเสียดเพื่อแย่งกันลงบันได

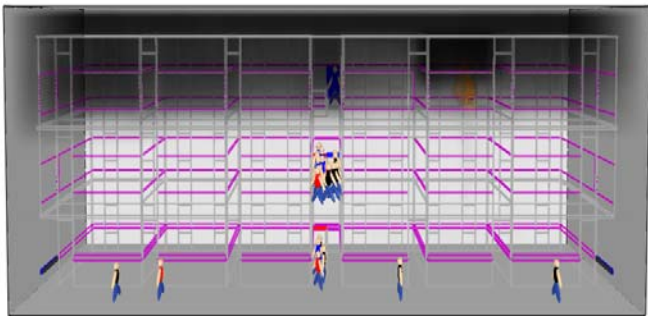
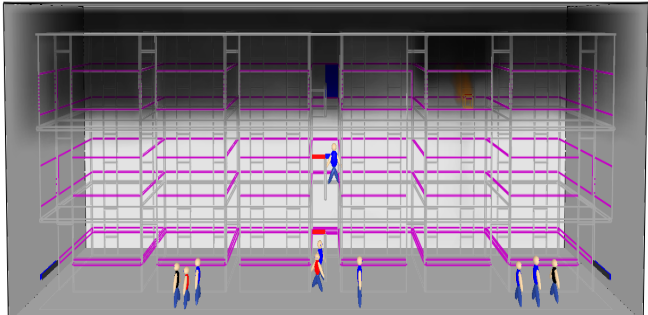
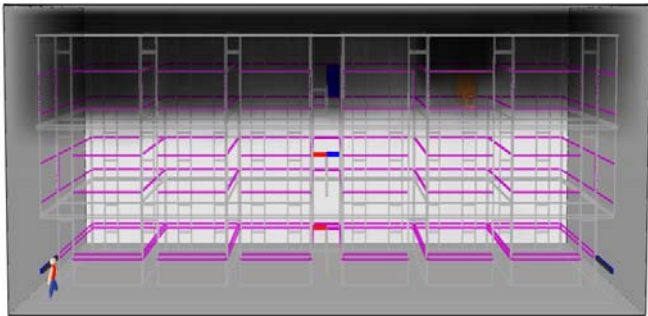
ตารางที่ 11 (ต่อ)

ภาพแสดงสถานการณ์เพลิงไหม้และการอพยพ	เวลา (วินาที)	คำอธิบาย
 Frame 270 Time 100.0	100	ภาพด้านบน กลุ่มควันได้ปกคลุมระเบียงชั้นที่ 3 และกระจายเข้าไปยังห้องพักรงทุกๆ ห้อง
 Frame 270 Time 100.0	100	ผู้อพยพที่บริเวณชั้นที่ 2 ส่วนใหญ่ทำการอพยพออกจากห้องมายังระเบียง แต่ยังมีส่วนที่ไม่สามารถออกจากห้องได้เนื่องจากปริมาณคนที่หนาแน่นที่ระเบียง
 Frame 361 Time 130.1	130	ยังมีผู้อพยพที่ชั้นที่ 3 อยู่ในห้องอีก 1 คน

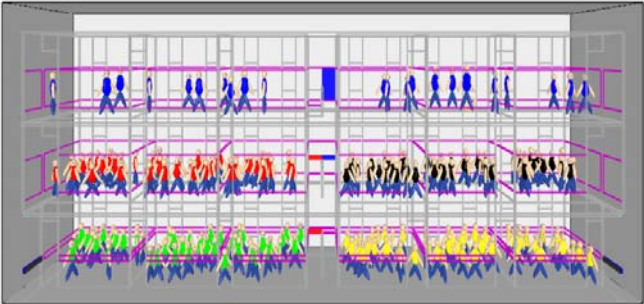
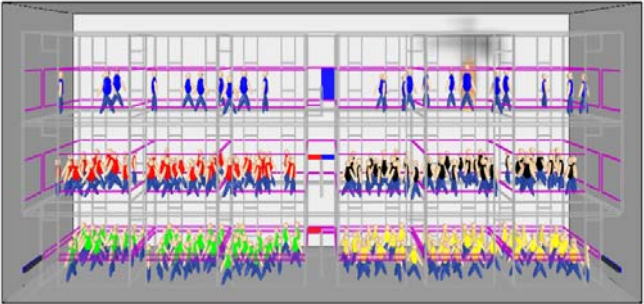
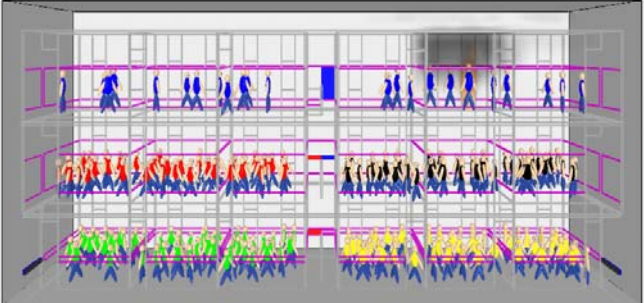
ตารางที่ 11 (ต่อ)

ภาพแสดงสถานการณ์เพลิงไหม้และการอพยพ	เวลา (วินาที)	คำอธิบาย
	200	ภาพด้านบน กลุ่มควันได้ปกคลุมทั่วทั้งบริเวณในชั้นที่ 3 ซึ่งเป็นอุปสรรคในการมองเห็นของผู้อพยพ
	200	ผู้อพยพภายในอาคารทยอยเคลื่อนตัวไปตามระเบียบงและบันไดเพื่อไปยังทางออกถึงแม้จะมีปริมาณลดลงเรื่อยๆแต่ก็ยังคงแออัดอยู่
	260	ผู้อพยพที่อยู่ชั้นที่ 2 ที่อยู่บริเวณบันได เหลือจำนวนไม่มากและการแออัดลดลง

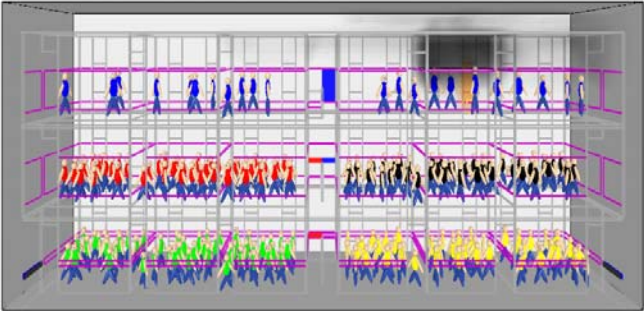
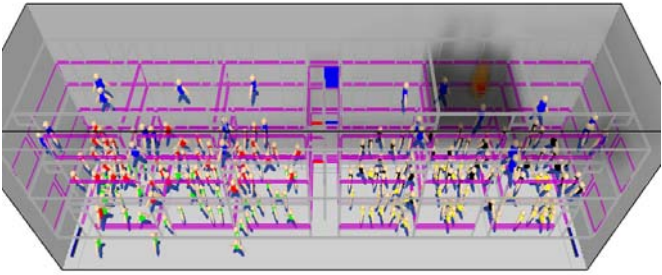
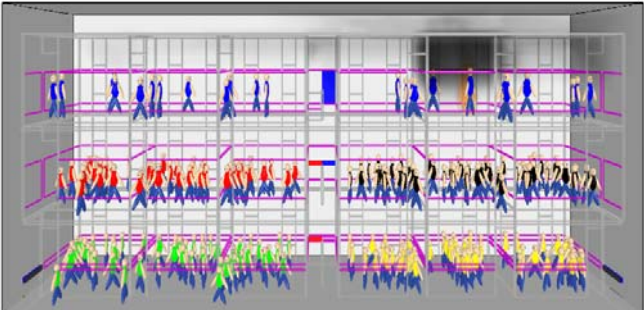
ตารางที่ 11 (ต่อ)

ภาพแสดงสถานการณ์เพลิงไหม้และการอพยพ	เวลา (วินาที)	คำอธิบาย
 Frame 701 Time 320.0	330	ไม่เหลือผู้อพยพที่อยู่ชั้นที่ 2 ที่บริเวณระเบียงแล้ว เหลืออยู่แต่บริเวณบันไดที่ยังคงเบียดกับผู้อพยพที่มาจากชั้นที่ 3
 Frame 847 Time 363.0	363	ผู้อพยพคนสุดท้ายที่อยู่ชั้นที่ 3 ลงบันไดมายังชั้นที่ 2 และกำลังลงบันไดจากชั้นที่ 2 ไปยังชั้นที่ 1
 Frame 900 Time 393.5	389	ผู้อพยพคนสุดท้ายออกจากอาคาร การอพยพสิ้นสุดที่วินาทีที่ 390

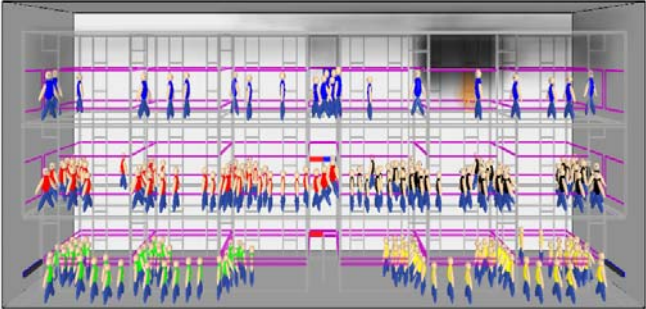
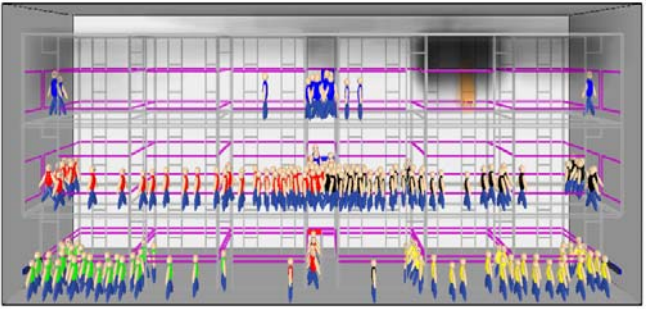
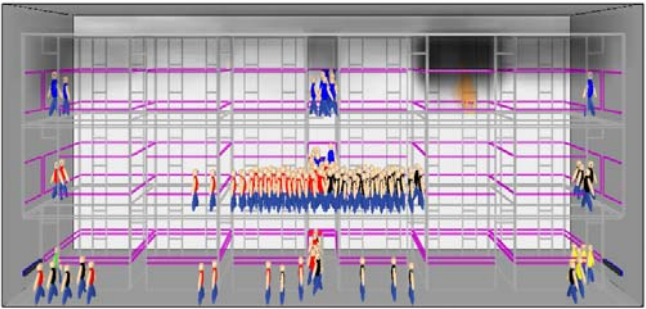
ตารางที่ 12 ผลการจำลองสถานการณ์เพลิงไหม้และอพยพกรณีที่ 6 กำหนดให้มีผู้อพยพ จำนวน 228 คน และมีการเปิดหน้าต่าง

ภาพแสดงสถานการณ์เพลิงไหม้และการอพยพ	เวลา (วินาที)	คำอธิบาย
 Frame 1 Time: 0.0	0	เป็นสถานการณ์ปกติที่ยังไม่มีเหตุเพลิงไหม้ขึ้น
 Frame 13 Time: 5.0	5	เกิดเพลิงไหม้ขึ้นที่บริเวณชั้นที่ 3 ในห้องพัสดุ โดยมีผู้อพยพอยู่ภายในห้องทั้ง 3 ชั้น
 Frame 38 Time: 15.0	15	ภาพของอาคารเรียนในขณะที่เกิดเพลิงไหม้ โดยกลุ่มควันได้ปกคลุมภายในห้องต้นเพลิง แล้วลอยออกไปที่ช่องหน้าต่าง

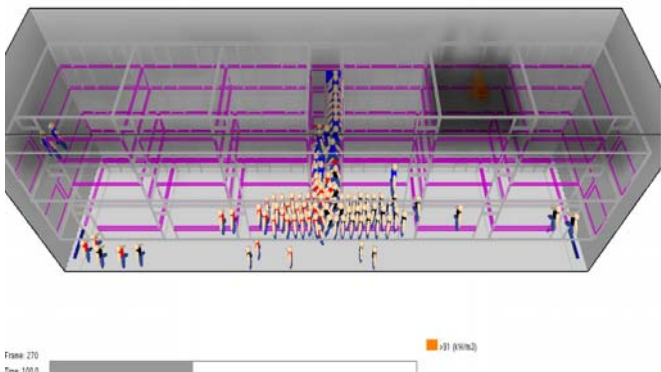
ตารางที่ 12 (ต่อ)

ภาพแสดงสถานการณ์เพลิงไหม้และการอพยพ	เวลา (วินาที)	คำอธิบาย
 Frame: 88 Time: 38.0	30	ผู้อพยพในอาคารเริ่มมีการเคลื่อนไหวบ้าง
 Frame: 90 Time: 40.0	40	ภาพด้านบนของอาคารแสดงให้เห็นปฏิกิริยาในการอพยพของผู้ที่อยู่ในอาคารแต่ละชั้น และกลุ่มควันได้ลอยออกไปนอกหน้าต่าง
 Frame: 90 Time: 40.0	40	ผู้อพยพต่างเคลื่อนย้ายกันไปตามเส้นทางหนีไฟ และไปยังทางออกที่ใกล้และมีความคุ้นเคยมากที่สุด

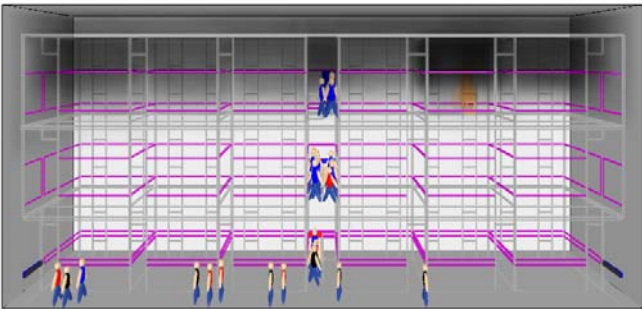
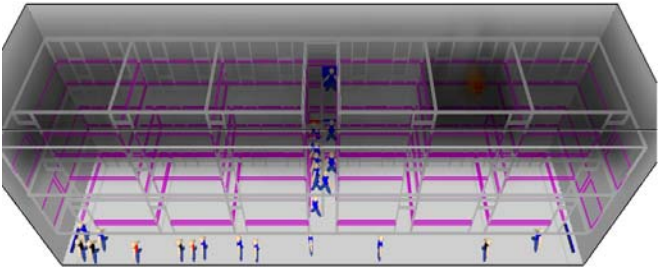
ตารางที่ 12 (ต่อ)

ภาพแสดงสถานการณ์เพลิงไหม้และการอพยพ	เวลา (วินาที)	คำอธิบาย
 Frame: 120 Time: 50.0	50	ควันไฟได้ลามไปตาม ระเบียงไปยังบันไดขึ้น-ลง และ ห้องต่างๆในชั้น ผู้อพยพ ที่อยู่ในห้องต้นเพลิงได้ ออกมายังภายนอกห้องจน หมด
 Frame: 131 Time: 60.0	60	ผู้อพยพที่อยู่บริเวณชั้นที่ 3 ส่วนใหญ่ได้ออกมาที่บริเวณ ระเบียง และทยอยลงบันได ไปยังชั้นที่ 2
 Frame: 210 Time: 90.0	80	ยังคงมีผู้อพยพติดอยู่ภายใน ห้องที่ชั้นที่ 3 ส่วนผู้อพยพที่ ชั้น 1 ส่วนใหญ่ อพยพออก จากห้องเรียน ไปตามทางเดิน เพื่อไปยังทางออกของอาคาร ที่บริเวณชั้นที่ 2 เกิดการแออัด ที่ระเบียงและบันได

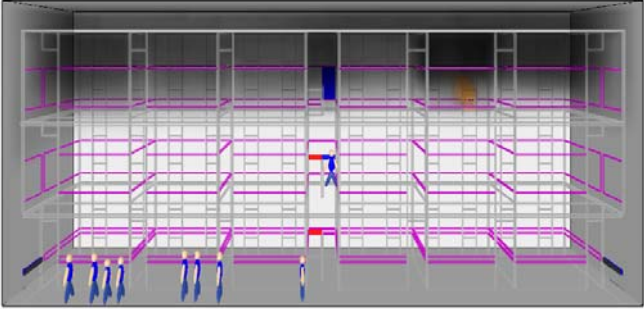
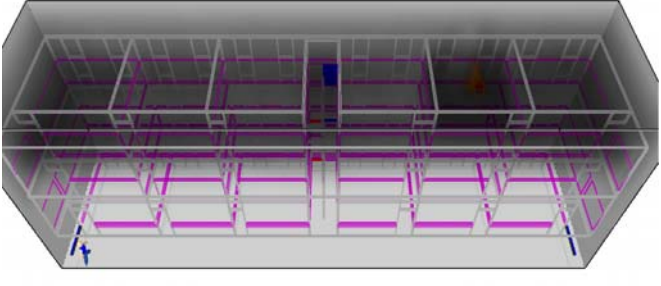
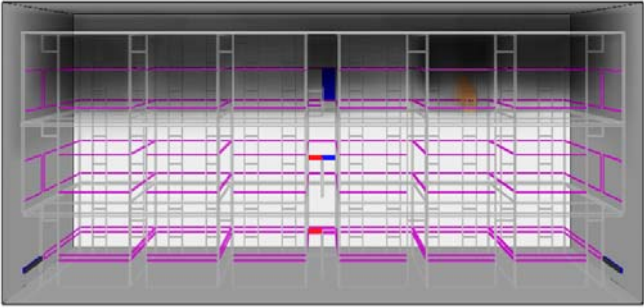
ตารางที่ 12 (ต่อ)

ภาพแสดงสถานการณ์เพลิงไหม้และการอพยพ	เวลา (วินาที)	คำอธิบาย
 Frame: 270 Time: 100.0	100	ผู้อพยพคนสุดท้ายที่อยู่ชั้น 1 ยังคงอยู่ภายในห้อง ส่วนที่บริเวณชั้นที่ 2 ยังคงแออัดอยู่ที่ระเบียงและบันได
 Frame: 270 Time: 100.0	100	ควันไฟได้ลามเข้าไปยังห้องข้างเคียง ในชั้นที่ 3 ผู้อพยพส่วนใหญ่ยังไม่สามารถลงบันไดไปยังชั้นที่ 2 ได้ เนื่องจากติดผู้อพยพที่ชั้นที่ 2
 Frame: 360 Time: 130.0	130	ผู้อพยพที่ชั้นที่ 2 และชั้นที่ 3 ต่างเบียดเสียดกันเพื่อจะลงไปยังชั้นที่ 1 และกลุ่มควันได้ปกคลุมพื้นที่ชั้นที่ 3 เป็นจำนวนมาก

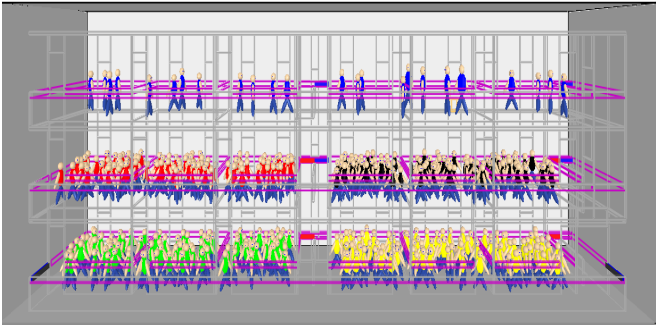
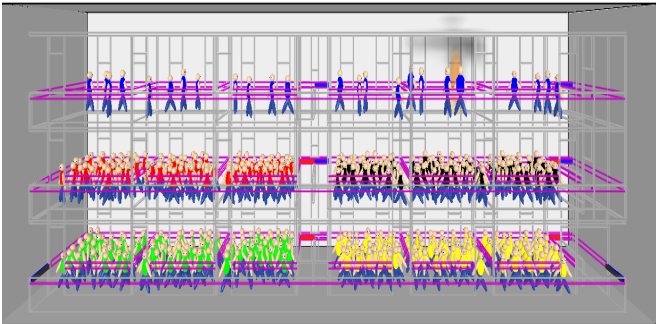
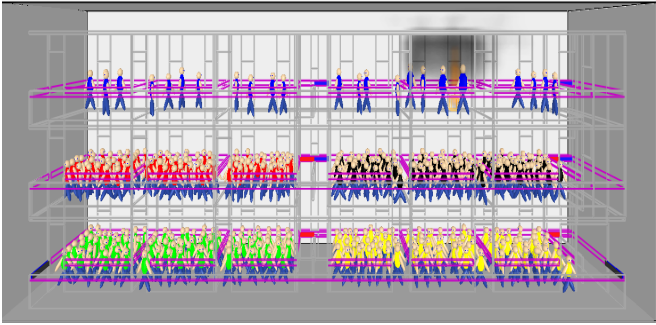
ตารางที่ 12 (ต่อ)

ภาพแสดงสถานการณ์เพลิงไหม้และการอพยพ	เวลา (วินาที)	คำอธิบาย
 Frame: 441 Time: 160.0	160	กลุ่มควันจำนวนมากได้ปกคลุมทั่วทั้งบริเวณของชั้นที่ 3 ทำให้เป็นอุปสรรคในการมองเห็น และผู้อพยพในชั้นที่ 2 ได้คลายความแออัดบริเวณระเบียงลง
 Frame: 521 Time: 200.0	200	ผู้อพยพในชั้นที่ 2 ได้คลายความแออัดบริเวณระเบียงลง ทำให้การอพยพลงจากชั้นที่ 3 สามารถลงบันไดมายังชั้น 2 และชั้น 1 ได้
 Frame: 581 Time: 220.0	220	ผู้อพยพคนสุดท้ายที่ชั้นที่ 3 กำลังอพยพลงบันไดมายังชั้นที่ 2

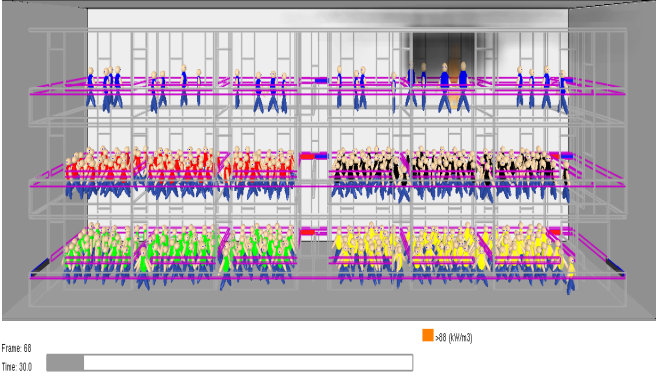
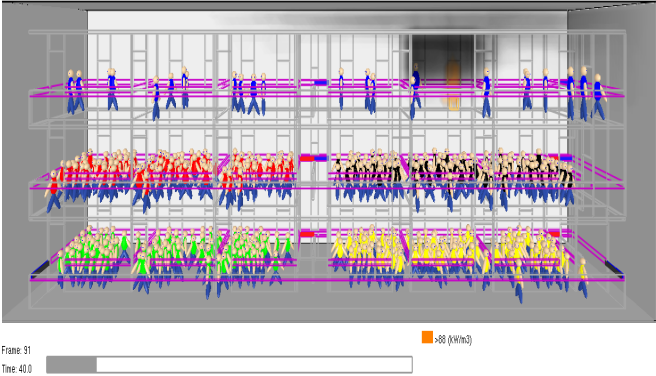
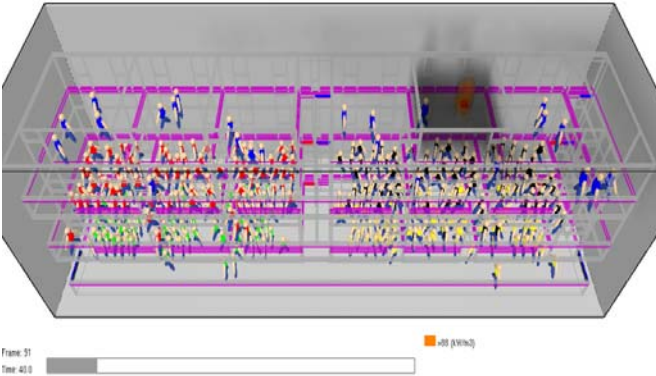
ตารางที่ 12 (ต่อ)

ภาพแสดงสถานการณ์เพลิงไหม้และการอพยพ	เวลา (วินาที)	คำอธิบาย
	240	ผู้อพยพคนสุดท้ายของชั้นที่ 3 กำลังลงบันไดชั้นที่ 2 เพื่อไปยังชั้นที่ 1 และไปสู่ทางออก
	262	ผู้อพยพคนสุดท้ายจากชั้นที่ 3 กำลังอพยพออกจากอาคาร
	263	การอพยพสิ้นสุดลงที่วินาทีที่ 263

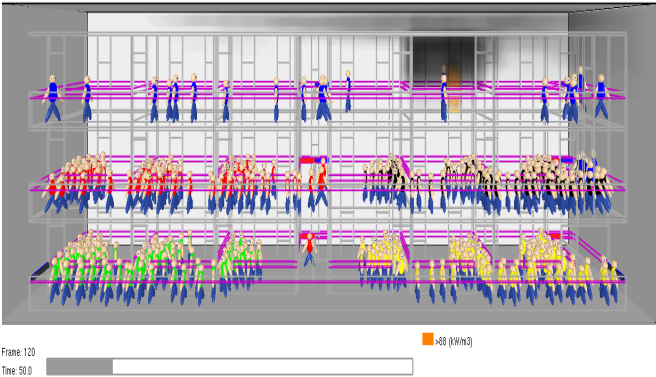
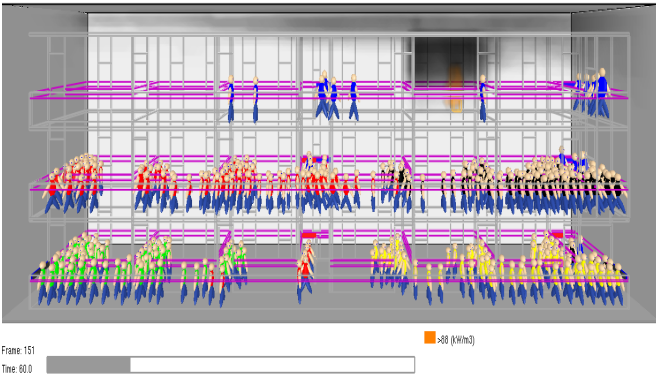
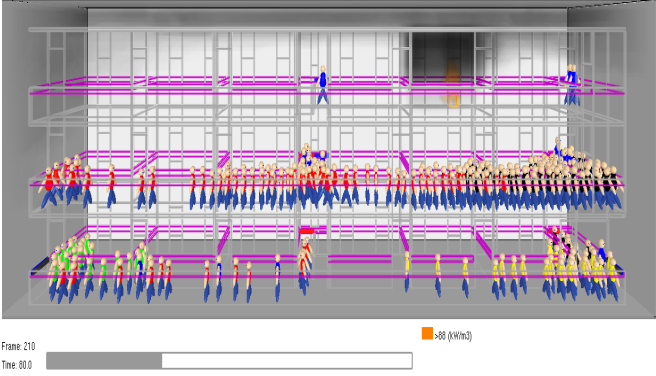
ตารางที่ 13 ผลการจำลองสถานการณ์เพลิงไหม้และอพยพกรณีที่ 7 กำหนดให้มีผู้อพยพ จำนวน 384 คน มีการเปิดหน้าต่างและมีบันไดหนีไฟเพิ่ม 1 บันได

ภาพแสดงสถานการณ์เพลิงไหม้และการอพยพ	เวลา (วินาที)	คำอธิบาย
 Frame: 1 Time: 0.0	0	เป็นสถานการณ์ปกติที่ยังไม่มีเหตุเพลิงไหม้ขึ้น
 Frame: 13 Time: 5.0	5	เกิดเพลิงไหม้ขึ้นที่บริเวณชั้นที่ 3 บริเวณหน้าห้องเรียน ห้องที่ 2 ด้านซ้ายของอาคาร
 Frame: 30 Time: 15.0	15	ควันไฟมีปริมาณเพิ่มขึ้น ผู้ที่อยู่ในอาคารส่วนใหญ่ยังไม่รับทราบถึงเหตุการณ์ผิดปกติที่เกิดขึ้น

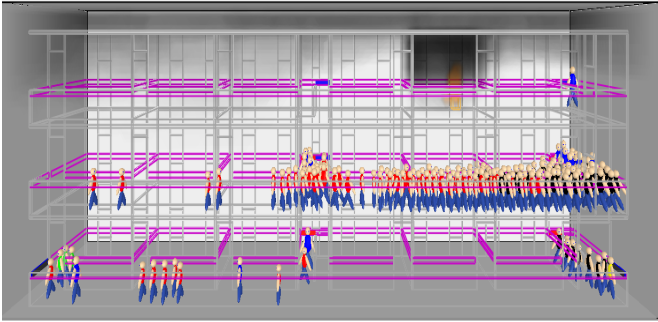
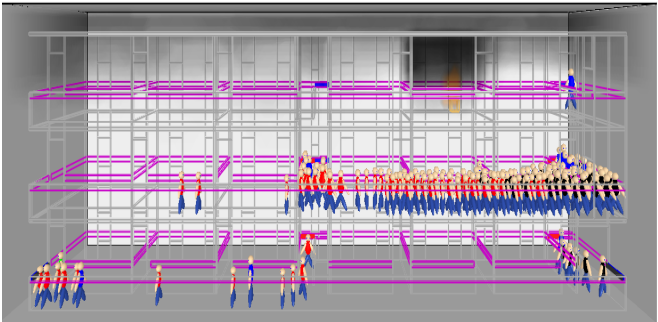
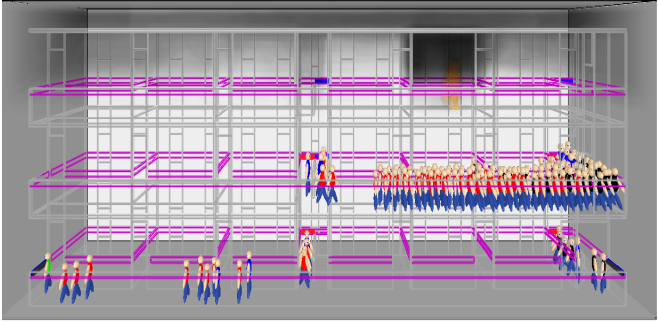
ตารางที่ 13 (ต่อ)

ภาพแสดงสถานการณ์เพลิงไหม้และการอพยพ	เวลา (วินาที)	คำอธิบาย
	30	ผู้ที่อยู่ในอาคารรับรู้ถึงเหตุการณ์ที่ผิดปกติและมีปฏิกิริยาตอบสนองต่อเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น
	40	กลุ่มควันได้เพิ่มปริมาณและส่วนหนึ่งได้ลอยออกนอกหน้าต่างไปสู่ภายนอกอาคาร
	40	ภาพด้านบน ผู้ที่อยู่ในอาคารทั้งหมดทำการอพยพหนีไฟ ออกนอกอาคาร

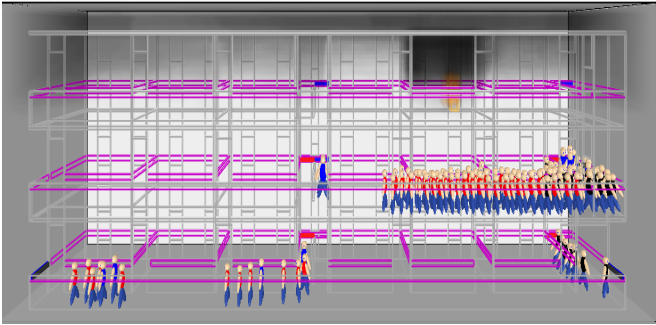
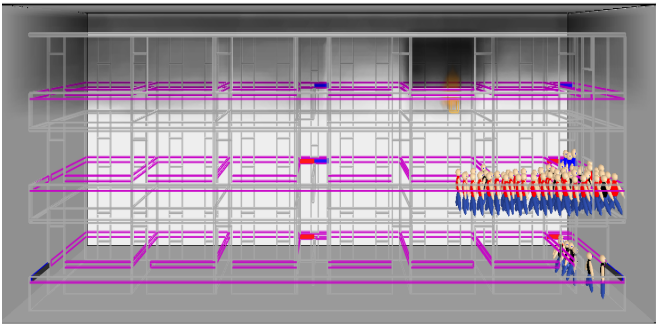
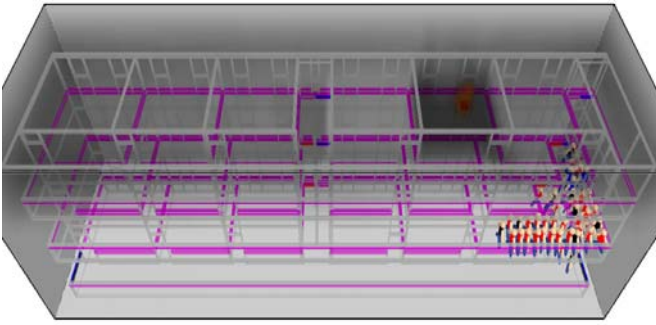
ตารางที่ 13 (ต่อ)

ภาพแสดงสถานการณ์เพลิงไหม้และการอพยพ	เวลา (วินาที)	คำอธิบาย
	50	ผู้ที่อพยพที่ชั้นที่ 2 และชั้นที่ 3 ได้อพยพเคลื่อนที่ไปตามระเบียบทางเดินเพื่อไปสู่อาคารหนีไฟ และอาคารขึ้นลง
	60	ผู้ที่อพยพที่ชั้นที่ 2 และชั้นที่ 3 บางส่วนอพยพเคลื่อนที่ไปตามระเบียบทางเดินเพื่อไปสู่อาคารหนีไฟ ซึ่งมีความปลอดภัยมากกว่าอาคารขึ้นลง
	80	เกิดการแออัดบริเวณระเบียบทางเดินและบันไดทั้ง 2 บันได โดยจะเห็นว่าบันไดหนีไฟจะมีจำนวนผู้อพยพมากกว่าบันไดปกติ

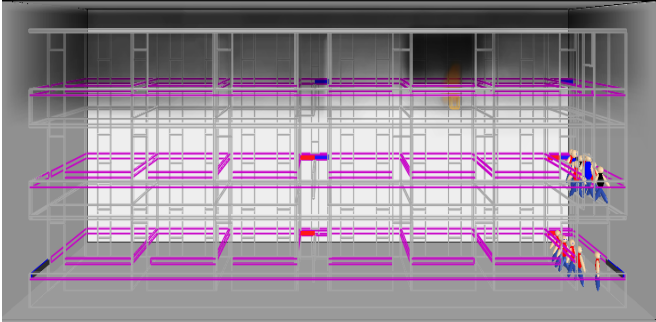
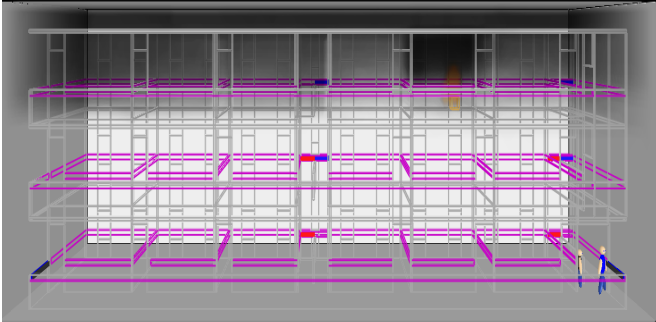
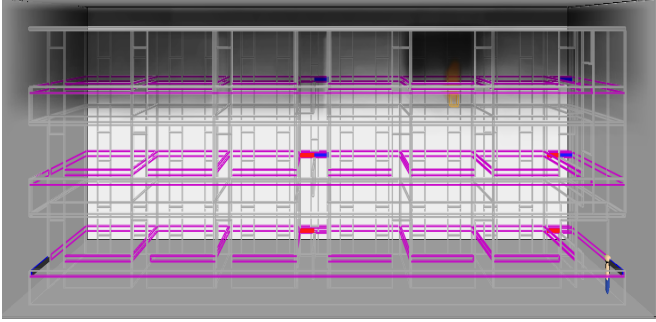
ตารางที่ 13 (ต่อ)

ภาพแสดงสถานการณ์เพลิงไหม้และการอพยพ	เวลา (วินาที)	คำอธิบาย
 Frame: 270 Time: 100.0	100	ยังคงมีผู้อพยพอยู่ที่บริเวณชั้นที่ 3 ในขณะที่ปริมาณควันไฟได้เพิ่มจำนวนมากขึ้น
 Frame: 291 Time: 107.0	107	ผู้อพยพคนสุดท้ายที่ชั้นที่ 3 กำลังลงบันไดหนีไฟไปที่ชั้นที่ 2 และผู้อพยพที่ชั้นที่ 2 อีกส่วนหนึ่งเลือกไปใช้บันไดหนีไฟ
 Frame: 336 Time: 122.0	122	ผู้อพยพคนสุดท้ายของชั้นที่ 1 กำลังอพยพออกนอกอาคารโดยไปที่ประตูซ้าย

ตารางที่ 13 (ต่อ)

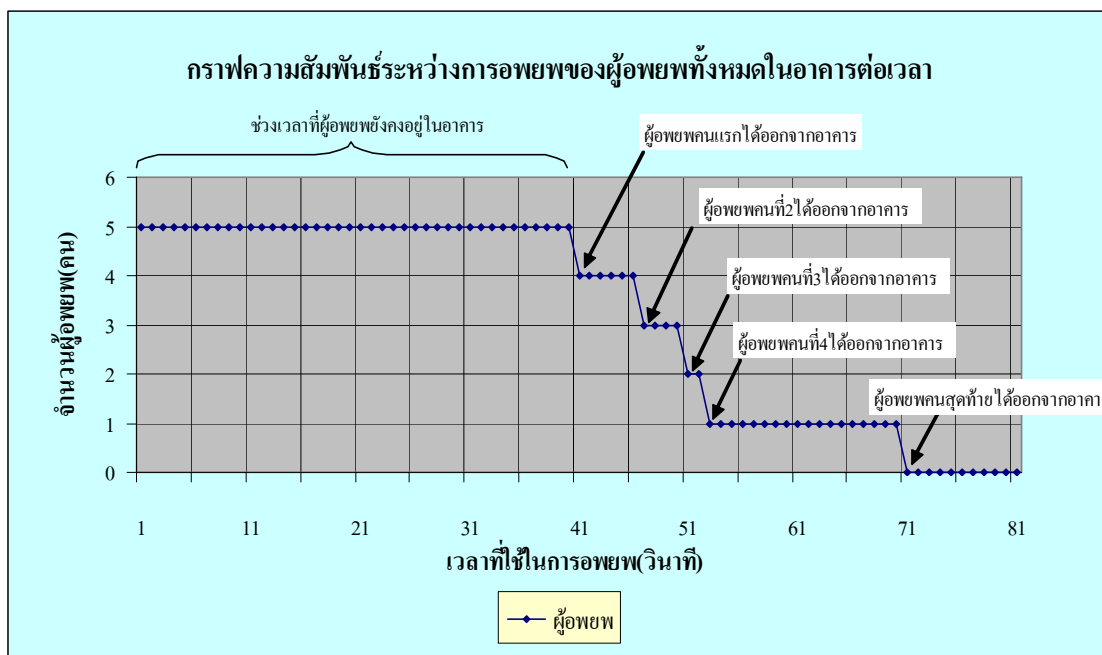
ภาพแสดงสถานการณ์เพลิงไหม้และการอพยพ	เวลา (วินาที)	คำอธิบาย
 Frame: 380 Time: 130.0	130	ที่บริเวณบันไดขึ้น-ลงระหว่างชั้นมีผู้อพยพจากชั้นที่ 3 กำลังลงบันไดชั้นที่ 2 ไปสู่ชั้นที่ 1
 Frame: 461 Time: 170.0	170	ที่บันไดหนีไฟสามารถคลายความแออัดไปได้บ้างเล็กน้อย แต่ยังคงเกิดการแออัดอยู่ และการอพยพก็สามารถเคลื่อนที่ไปได้อย่างต่อเนื่อง
 Frame: 521 Time: 200.0	200	ภาพด้านบน กลุ่มควันได้เพิ่มปริมาณมาก และปกคลุมบริเวณชั้นที่ 3 ทั้งหมด

ตารางที่ 13 (ต่อ)

ภาพแสดงสถานการณ์เพลิงไหม้และการอพยพ	เวลา (วินาที)	คำอธิบาย
 Frame: 601 Time: 240.0	240	ในขณะนี้ไม่มีผู้อพยพอยู่ที่ระเบียบแล้ว มีแต่เพียงบริเวณภายในบันไดหนีไฟ
 Frame: 647 Time: 263.0	263	ผู้อพยพคนสุดท้ายของชั้นที่ 3 กำลังอพยพออกนอกอาคาร
 Frame: 653 Time: 266.0	266	ผู้อพยพคนสุดท้ายกำลังออกไปยังพื้นที่ปลอดภัย การอพยพสิ้นสุดที่เวลา 267 วินาที

ผลจากการจำลองสถานการณ์เพลิงไหม้และการอพยพ ที่ได้กำหนดไว้เป็น โมเดลต่างๆ ทั้ง 7 โมเดลนั้น สามารถนำมาสรุปเป็นกรณีได้ดังนี้

กรณีที่ 1 กำหนดให้ผู้อพยพมีจำนวน 5 คน



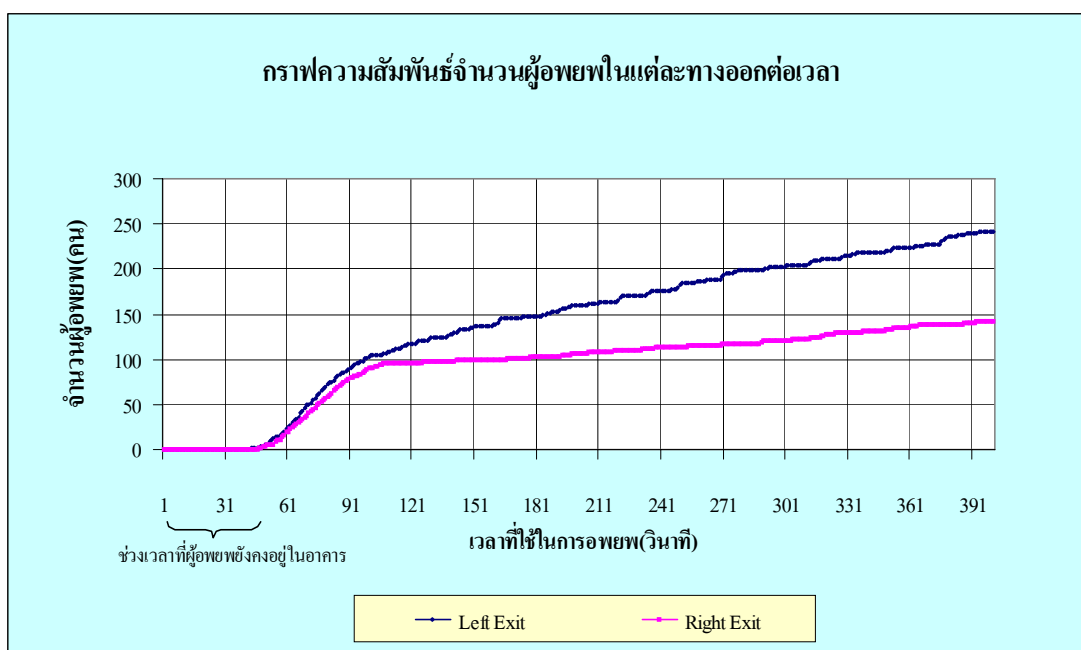
ภาพที่ 18 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการอพยพของผู้อพยพทั้งหมดในอาคารต่อเวลา กรณีที่ 1

จากผลการจำลองสถานการณ์เพลิงไหม้โดยกำหนดให้มีผู้อพยพอยู่ในห้อง 5 คน โดยแบ่งให้เป็นคนแก่ ผู้ใหญ่ ผู้ชาย ผู้หญิง และเด็ก ประเภทละ 1 คน และกำหนดเงื่อนไขให้มีเพลิงไหม้อยู่ที่ทางออกที่ใกล้กับประตูห้อง นั้นผู้ที่ออกมาจากห้องเป็นคนแรกคือ ผู้ชายโดยออกจากห้องที่เวลา 39 วินาที คนที่สองคือผู้ใหญ่ ออกจากห้องที่เวลา 45 วินาที คนที่สามคือผู้หญิง ออกจากห้องที่เวลา 49 วินาทีคนที่สี่ คือเด็ก ออกจากห้องที่เวลา 51 วินาที และคนสุดท้ายคือคนแก่ ออกจากห้องที่เวลา 69 วินาที ซึ่งจากการวิเคราะห์ผลจากภาพเคลื่อนไหว จะเห็นได้ว่าบุคคลแต่ละวัยจะมีการตอบสนองต่อเหตุการณ์นั้นๆ ต่างกัน และความเร็วในการเคลื่อนที่ก็ต่างกัน ซึ่งปัจจัยในสถานการณ์เพลิงไหม้ที่มีผลต่อการเคลื่อนที่คือ ปริมาณและความหนาแน่นของควันไฟ ซึ่งจะทำให้การมองเห็นลดลง ทำให้การเคลื่อนที่ช้าลง โดย(Buchanan,1994) ในประเทศนิวซีแลนด์ก็กำหนดระดับควันที่เป็นอุปสรรคคือระยะมองเห็น (Visibility) ไม่ต่ำกว่า 2 เมตร

กรณีที่ 2 กำหนดให้ผู้อพยพมีจำนวน 384 คน ไม่มีการเปิดหน้าต่าง



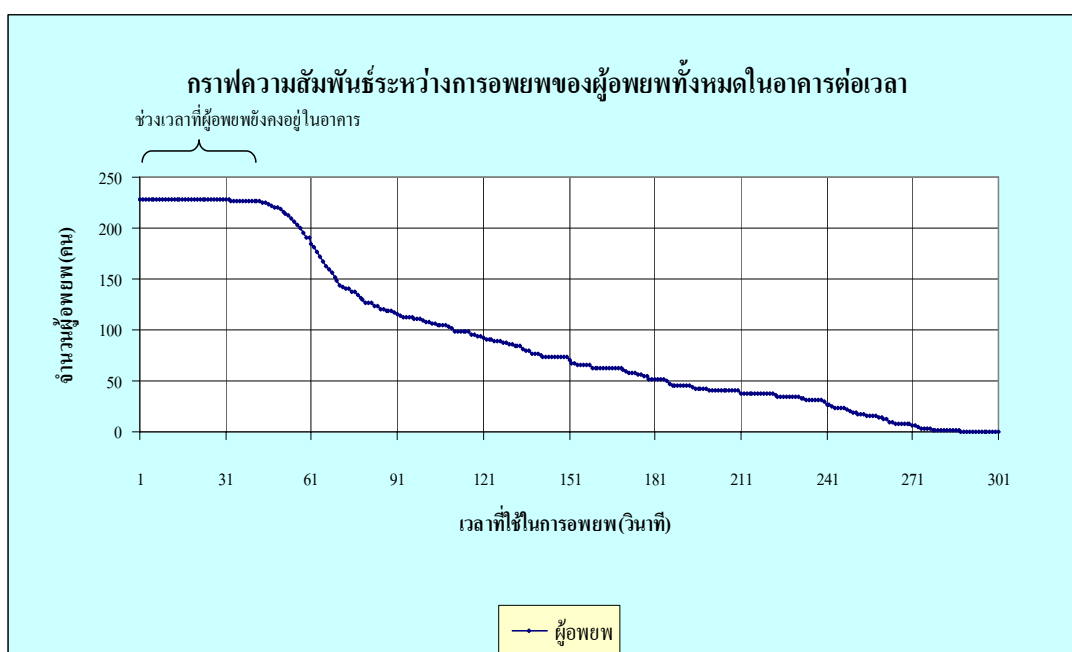
ภาพที่ 19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการอพยพของผู้อพยพทั้งหมดในอาคารต่อเวลา กรณีที่ 2



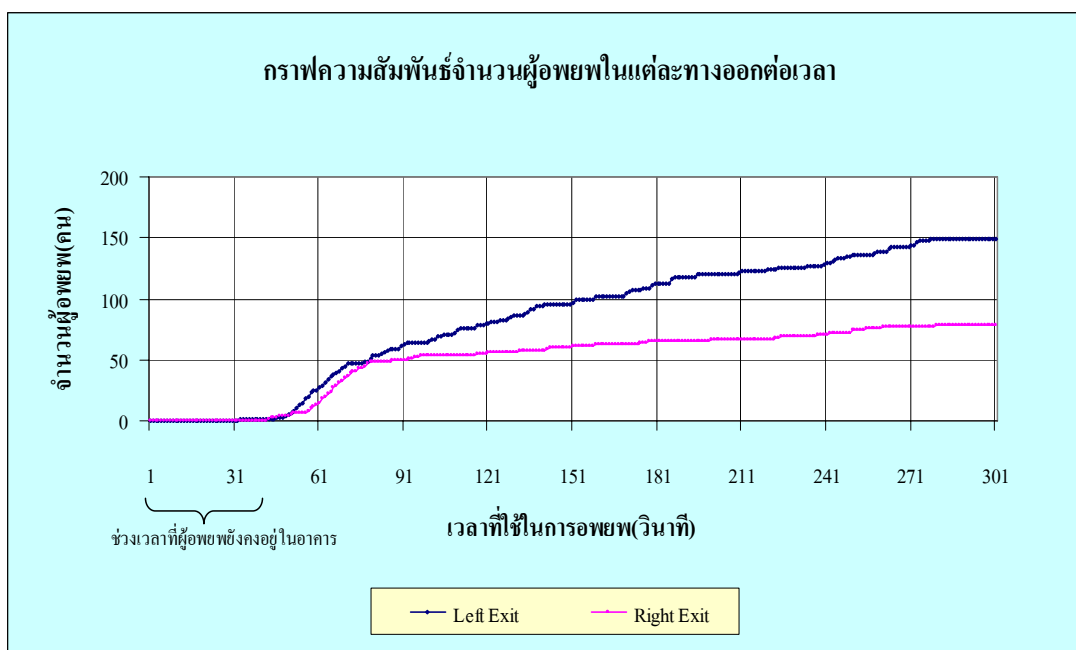
ภาพที่ 20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนผู้อพยพแต่ละทางออกต่อเวลา กรณีที่ 2

ผลจากการจำลองสถานการณ์เพลิงไหม้และการอพยพที่ได้จากกรณีที่ 2 ใช้เวลาในการอพยพทั้งสิ้น 397 วินาที ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับกฎหมายประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่อง การป้องกันและระงับอัคคีภัยในสถานประกอบการเพื่อความปลอดภัยในการทำงานสำหรับลูกจ้าง ซึ่งกำหนดไว้ว่า จะต้องอพยพออกจากบริเวณที่ทำงานสู่ทางออกสุดท้ายได้ ภายในเวลาไม่มากกว่า 5 นาที (300 วินาที) นั้น การจำลองการอพยพสำหรับโมเดลนี้เกินกว่ากฎหมายกำหนด และผู้อพยพส่วนใหญ่ทำการอพยพโดยออกทางประตูด้านซ้ายมากกว่าด้านขวา โดยที่ทางออกด้านซ้ายมีจำนวนผู้อพยพเท่ากับ 242 คน และทางออกด้านขวามีจำนวนผู้อพยพ 142 คน โดยการตัดสินใจในการอพยพไปที่ทางออกใดนั้นทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระยะทางจากบันไดถึงทางออก และความคุ้นเคยของผู้อพยพ

กรณีที่ 3 กำหนดให้ผู้อพยพมีจำนวน 228 คน ไม่มีการเปิดหน้าต่าง



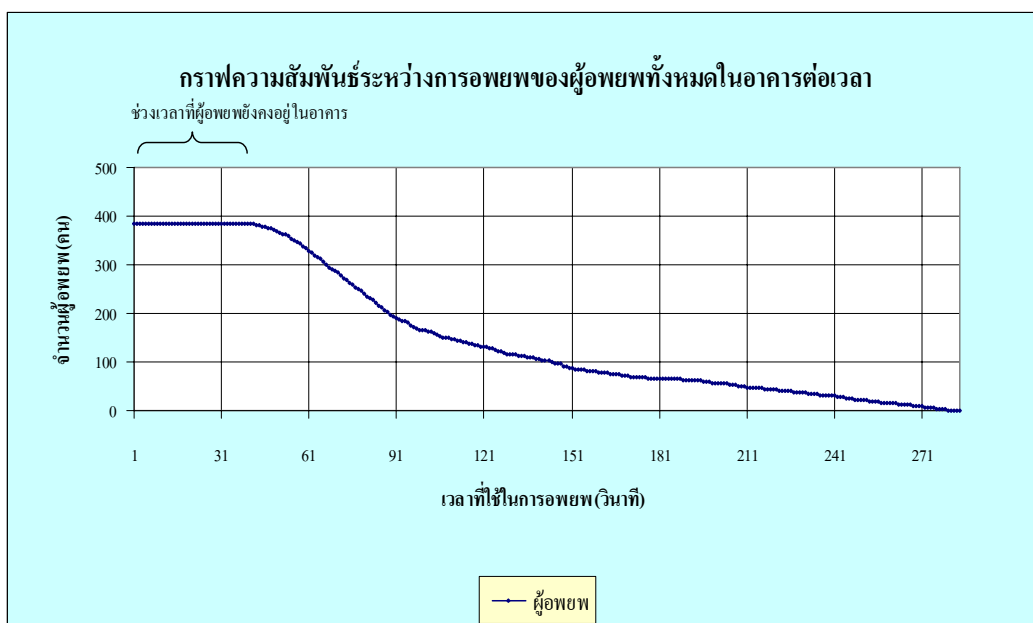
ภาพที่ 21 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการอพยพของผู้อพยพทั้งหมดในอาคารต่อเวลา กรณีที่ 3



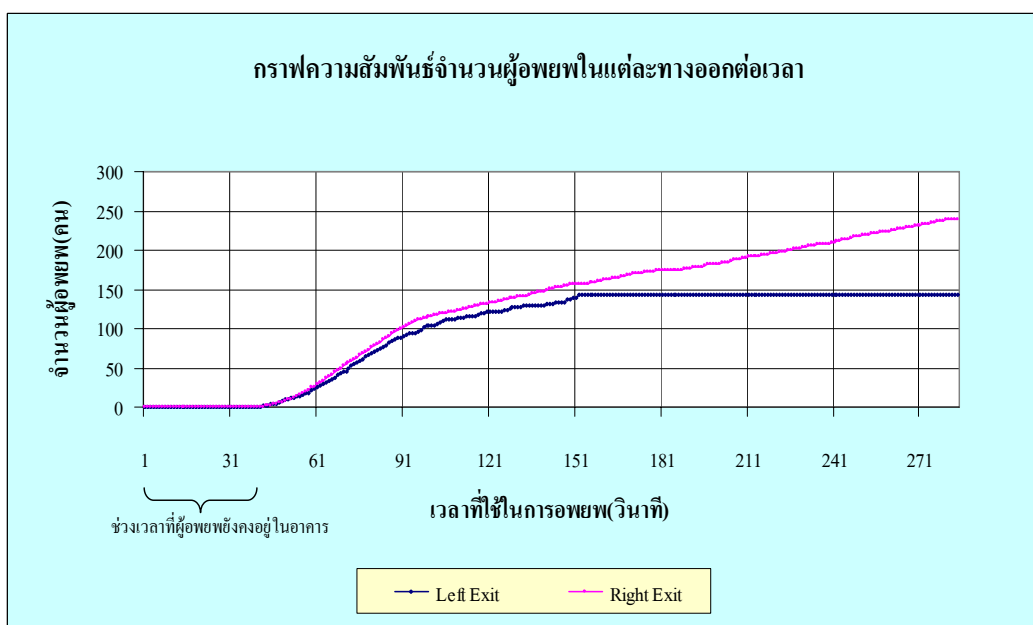
ภาพที่ 22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนผู้อพยพแต่ละทางออกต่อเวลา กรณีที่ 3

ผลจากการจำลองสถานการณ์เพลิงไหม้และการอพยพที่ได้จากกรณีที่ 3 ใช้เวลาในการอพยพทั้งสิ้น 287 วินาที ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับกฎหมายประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่อง การป้องกันและระงับอัคคีภัยในสถานประกอบการเพื่อความปลอดภัยในการทำงานสำหรับลูกจ้าง ซึ่งกำหนดไว้ว่าจะต้องอพยพออกจากบริเวณที่ทำงานสู่ทางออกสุดท้ายได้ ภายในเวลาไม่มากกว่า 5 นาที (300 วินาที) นั้น การจำลองการอพยพสำหรับโมเดลนี้อยู่ในเกณฑ์ที่กฎหมายกำหนดและผู้อพยพส่วนใหญ่ทำการอพยพโดยออกทางประตูด้านซ้ายมากกว่าด้านขวา โดยที่ทางออกด้านซ้ายมีจำนวนผู้อพยพเท่ากับ 149 คน และทางออกด้านขวามีจำนวนผู้อพยพ 79 คน โดยการตัดสินใจในการอพยพไปที่ทางออกใดนั้นขึ้นอยู่กับระยะทางจากบันไดถึงทางออก และความคุ้นเคยของผู้อพยพ

กรณีที่ 4 กำหนดให้ผู้อพยพมีจำนวน 384 คน มีการเปิดหน้าต่างและมีบันไดหนีไฟนอกอาคารเพิ่ม 1 บันได



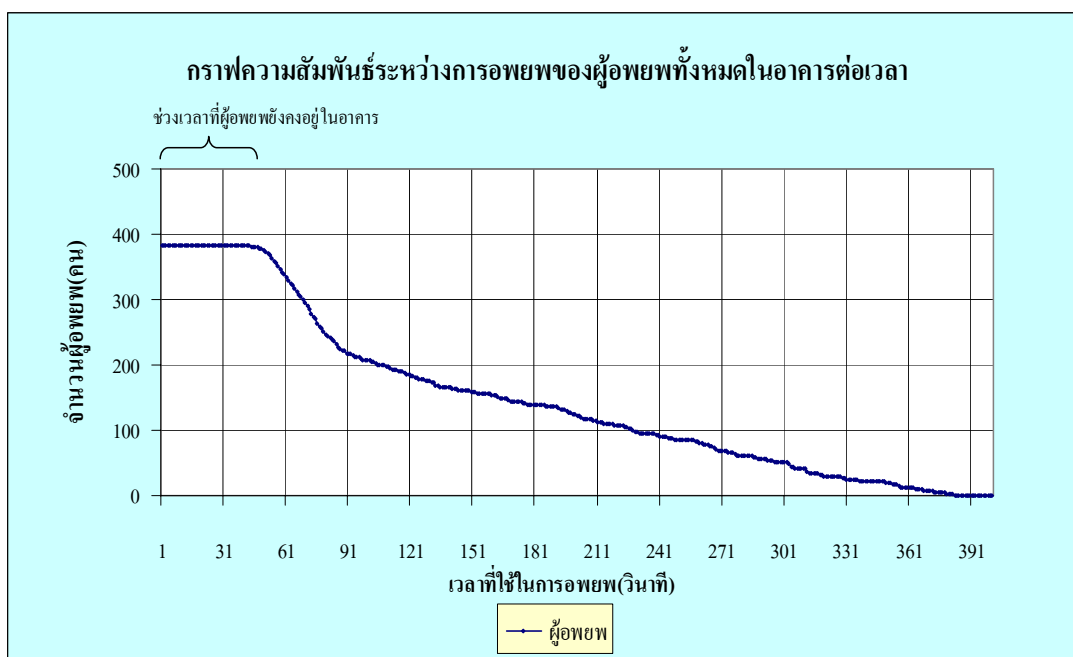
ภาพที่ 23 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการอพยพของผู้อพยพทั้งหมดในอาคารต่อเวลา กรณีที่ 4



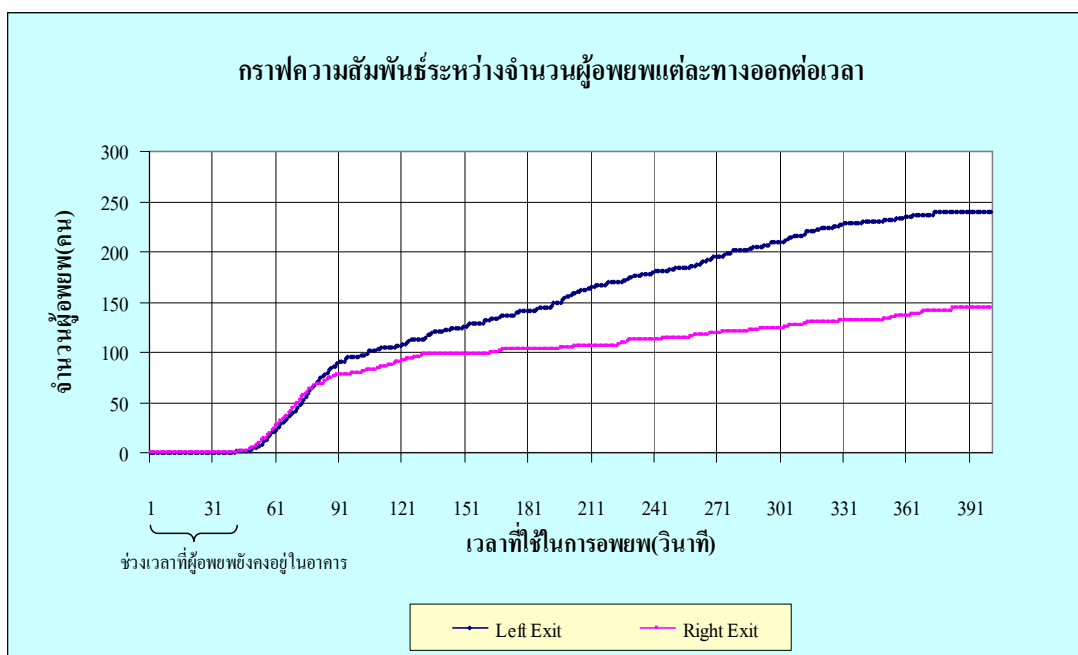
ภาพที่ 24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนผู้อพยพแต่ละทางออกต่อเวลา กรณีที่ 4

ผลจากการจำลองสถานการณ์เพลิงไหม้และการอพยพที่ได้จากกรณีที่ 4 ใช้เวลาในการอพยพทั้งสิ้น 281 วินาทีซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับกฎหมายประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่อง การป้องกันและระงับอัคคีภัยในสถานประกอบการเพื่อความปลอดภัยในการทำงานสำหรับลูกจ้าง ซึ่งกำหนดไว้ว่า จะต้องอพยพออกจากบริเวณที่ทำงานสู่ทางออกสุดท้ายได้ ภายในเวลาไม่มากกว่า 5 นาที (300 วินาที) นั้น การจำลองการอพยพสำหรับโมเดลนี้อยู่ในเกณฑ์ที่กฎหมายกำหนดและผู้อพยพส่วนใหญ่ทำการอพยพโดยออกทางประตูด้านซ้ายมากกว่าด้านขวา โดยที่ทางออกด้านซ้ายมีจำนวนผู้อพยพเท่ากับ 144 คน และทางออกด้านขวามีจำนวนผู้อพยพ 240 คน โดยการตัดสินใจในการอพยพไปที่ทางออกใดนั้นทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระยะทางจากบันไดถึงทางออก และความคุ้นเคยของผู้อพยพและความรู้สึกปลอดภัยของเส้นทางอพยพ

กรณีที่ 5 กำหนดให้ผู้อพยพมีจำนวน 384 คน มีการเปิดหน้าต่าง



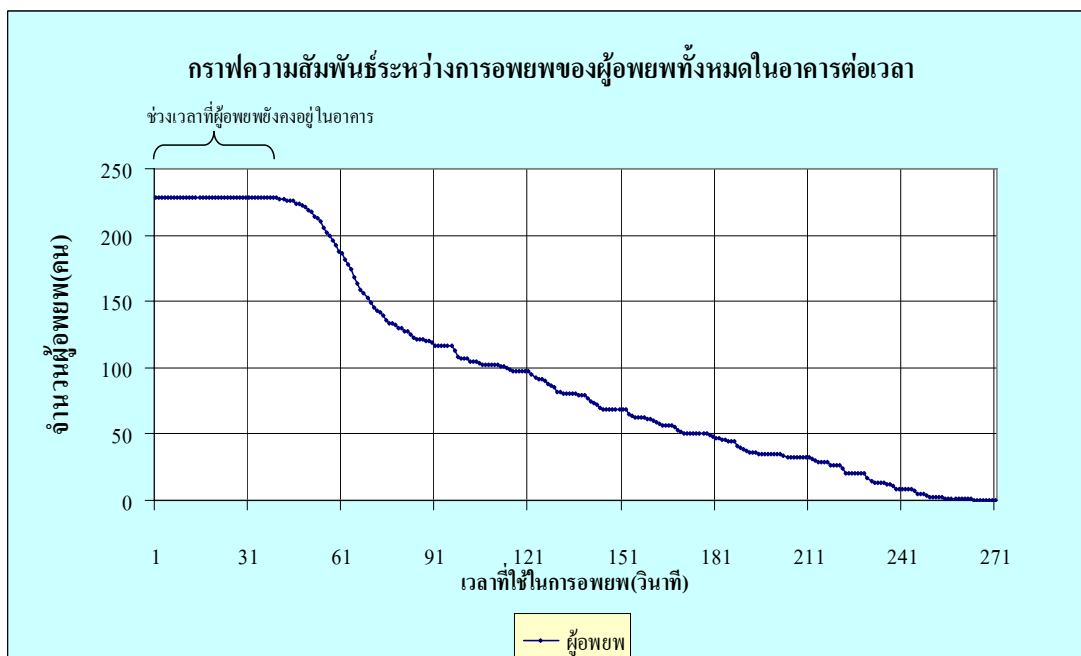
ภาพที่ 25 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการอพยพของผู้อพยพทั้งหมดในอาคารต่อเวลา กรณีที่ 5



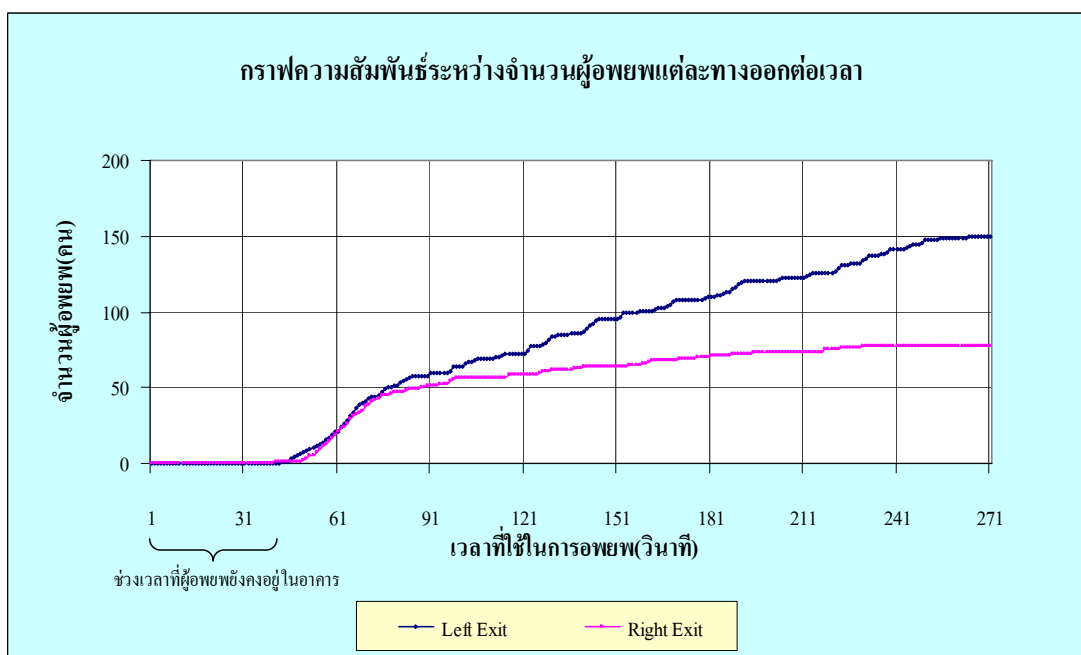
ภาพที่ 26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนผู้อพยพแต่ละทางออกต่อเวลา กรณีที่ 5

ผลจากการจำลองสถานการณ์เพลิงไหม้และการอพยพที่ได้จากกรณีที่ 5 ใช้เวลาในการอพยพทั้งสิ้น 390 วินาที ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับกฎหมายประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่อง การป้องกันและระงับอัคคีภัยในสถานประกอบการเพื่อความปลอดภัยในการทำงานสำหรับลูกจ้าง ซึ่งกำหนดไว้ว่าจะต้องอพยพออกจากบริเวณที่ทำงานสู่ทางออกสุดท้ายได้ ภายในเวลาไม่มากกว่า 5 นาที (300 วินาที) นั้น การจำลองการอพยพสำหรับโมเดลนี้เกินกว่ากฎหมายกำหนด และผู้อพยพส่วนใหญ่ทำการอพยพโดยออกทางประตูด้านซ้ายมากกว่าด้านขวา โดยที่ทางออกด้านซ้ายมีจำนวนผู้อพยพเท่ากับ 240 คน และทางออกด้านขวามีจำนวนผู้อพยพ 144 คน โดยการตัดสินใจในการอพยพไปที่ทางออกใดนั้นทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระยะทางจากบันไดถึงทางออก และความคุ้นเคยของผู้อพยพ

กรณีที่ 6 กำหนดให้ผู้อพยพมีจำนวน 228 คน มีการเปิดหน้าต่าง



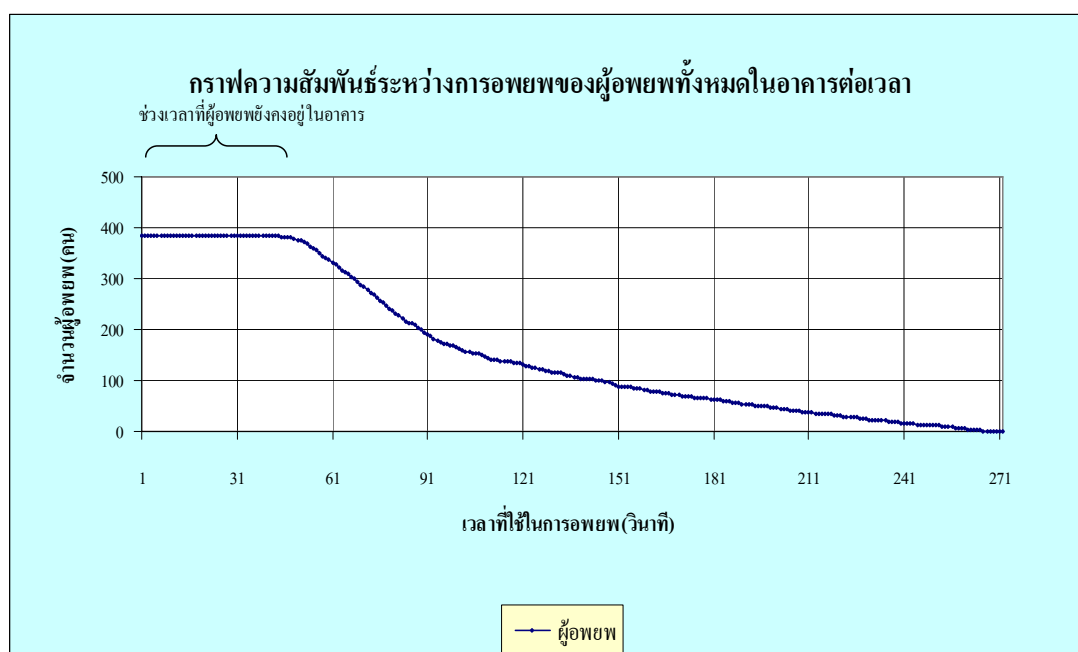
ภาพที่ 27 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการอพยพของผู้อพยพทั้งหมดในอาคารต่อเวลา กรณีที่ 6



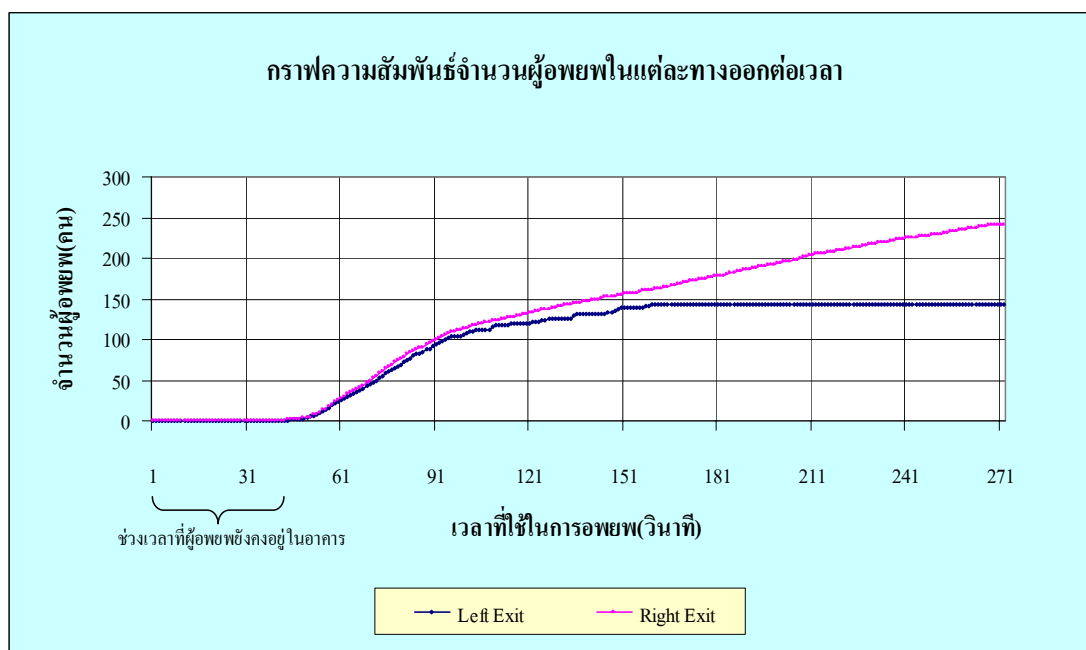
ภาพที่ 28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนผู้อพยพแต่ละทางออกต่อเวลา กรณีที่ 6

ผลจากการจำลองสถานการณ์เพลิงไหม้และการอพยพที่ได้จากกรณีที่ 6 ใช้เวลาในการอพยพทั้งสิ้น 263 วินาที ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับกฎหมายประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่อง การป้องกันและระงับอัคคีภัยในสถานประกอบการเพื่อความปลอดภัยในการทำงานสำหรับลูกจ้าง ซึ่งกำหนดไว้ว่าจะต้องอพยพออกจากบริเวณที่ทำงานสู่ทางออกสุดท้ายได้ ภายในเวลาไม่มากกว่า 5 นาที (300 วินาที) นั้น การจำลองการอพยพสำหรับโมเดลนี้อยู่ในเกณฑ์ที่กฎหมายกำหนดและผู้อพยพส่วนใหญ่ทำการอพยพโดยออกทางประตูด้านซ้ายมากกว่าด้านขวา โดยที่ทางออกด้านซ้ายมีจำนวนผู้อพยพเท่ากับ 150 คน และทางออกด้านขวามีจำนวนผู้อพยพ 78 คน โดยการตัดสินใจในการอพยพไปที่ทางออกใดนั้นทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระยะทางจากบันไดถึงทางออก และความคุ้นเคยของผู้อพยพ

กรณีที่ 7 กำหนดให้ผู้อพยพมีจำนวน 384 คน มีการเปิดหน้าต่างและมีบันไดหนีไฟนอกอาคารเพิ่ม 1 บันได



ภาพที่ 29 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการอพยพของผู้อพยพทั้งหมดในอาคารต่อเวลา กรณีที่ 7



ภาพที่ 30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนผู้อพยพแต่ละทางออกต่อเวลา กรณีที่ 7

ผลจากการจำลองสถานการณ์เพลิงไหม้และการอพยพที่ได้จากกรณีที่ 7 ใช้เวลาในการอพยพทั้งสิ้น 266 วินาที ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับกฎหมายประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่อง การป้องกันและระงับอัคคีภัยในสถานประกอบการเพื่อความปลอดภัยในการทำงานสำหรับลูกจ้าง ซึ่งกำหนดไว้ว่าจะต้องอพยพออกจากบริเวณที่ทำงานสู่ทางออกสุดท้ายได้ ภายในเวลาไม่มากกว่า 5 นาที (300 วินาที) นั้น การจำลองการอพยพสำหรับโมเดลนี้อยู่ในเกณฑ์ที่กฎหมายกำหนด และผู้อพยพส่วนใหญ่ทำการอพยพโดยออกทางประตูด้านซ้ายมากกว่าด้านขวา โดยที่ทางออกด้านซ้ายมีจำนวนผู้อพยพเท่ากับ 143 คน และทางออกด้านขวามีจำนวนผู้อพยพ 241 คน โดยการตัดสินใจในการอพยพไปที่ทางออกใดนั้นขึ้นอยู่กักระยะทางจากบันไดถึงทางออกและความคุ้นเคยของผู้อพยพและความรู้สึกปลอดภัยของเส้นทางอพยพ

วิจารณ์

การศึกษาวิจัย การจำลองสถานการณ์ไฟไหม้และอพยพโดยใช้โปรแกรม Fire Dynamics Simulator with Evacuation (FDS+Evac) กรณีศึกษาโรงเรียนอนุบาลนั้น ทำให้ทราบข้อมูลจากการจำลองเพื่อนำไปเป็นแนวทางในการวางแผนการอพยพหนีไฟในโรงเรียนซึ่งโดยปกติแล้ว โรงเรียนหรือสถานที่ราชการต่างๆ ก็ไม่เคยมีการซ้อมดับเพลิง ซ้อมอพยพหนีไฟ

หรือถ้ามีก็ยังเป็นส่วนน้อย ไม่เหมือนกับตามสถานประกอบการ ซึ่งกฎหมายไม่ได้บังคับให้สถานที่ราชการต้องทำการฝึกซ้อม เมื่อเกิดเหตุการณ์ไฟไหม้ขึ้น ก็อาจจะทำให้มีผู้เสียชีวิตได้ เนื่องจากการไม่มีการเตรียมตัว ไม่มีแผนในการซ้อมการอพยพหนีไฟเมื่อเกิดเพลิงไหม้ขึ้น ดังนั้นโรงเรียนจึงมีความเสี่ยงต่อการเสียชีวิตเมื่อเกิดเหตุเพลิงไหม้ ยิ่งโดยเฉพาะเป็นเด็กเล็กหรือเด็กปฐมวัยที่ไม่สามารถช่วยเหลือตัวเองได้มากนัก ยังมีความเสี่ยงมากกว่าวัยที่สามารถตอบสนองและตัดสินใจได้เร็วกว่า เรื่องจำนวนผู้ที่อยู่ในอาคารก็มีผลต่อขีดความสามารถในการอพยพ ถ้ามีผู้ที่อยู่ในอาคารมาก การอพยพก็เป็นไปอย่างลำบาก มีการเบียดเสียดกันของผู้ที่อยู่ในอาคารเพื่อแย่งกันออกจากอาคาร นอกจากองค์ประกอบทางด้านร่างกาย การรับรู้ของคนแต่ละวัยและจำนวนผู้ที่อยู่ในอาคารแล้ว ยังมีองค์ประกอบที่เป็นอุปสรรคในการอพยพอีกคือ ลักษณะทางสถาปัตยกรรมของอาคาร ถึงแม้ว่าอาคารนั้นๆ จะมีการออกแบบให้ถูกต้องตามกฎหมายควบคุมอาคารแล้วแต่นั้นก็ไม่ได้เป็นเครื่องยืนยันว่าการอพยพจะสามารถเป็นไปโดยที่ไม่มีอุปสรรคและไม่มีผู้เสียชีวิตเช่น จำนวนบันได ขนาดของบันได ลูกตั้ง-ลูกนอนของบันได ความกว้างของเส้นทางหนีไฟ ความกว้างของประตูทิศทางการเปิดของประตู ความกว้างของทางออก เป็นต้น ซึ่งองค์ประกอบต่างๆ เหล่านี้มีผลต่อความเร็วในการอพยพออกสู่ภายนอกอาคารทั้งสิ้น มาตรฐานที่ใช้ในเรื่องที่เกี่ยวกับการป้องกันอัคคีภัยก็มีหลากหลาย National Fire Protection Association (NFPA) ของประเทศสหรัฐอเมริกา ก็เป็นที่ยอมรับ และถูกนำไปใช้อ้างอิงอย่างแพร่หลาย สำหรับ NFPA ที่มีเนื้อหาเกี่ยวกับขีดความสามารถของเส้นทางหนีไฟในการอพยพนั้นคือ NFPA 101 Life Safety Code ที่ใช้ในปัจจุบันคือ version 2006 มีเนื้อหาเกี่ยวกับเรื่องการคำนวณความจุของคนในอาคารต่อพื้นที่ ความเพียงพอของบันไดหนีไฟและขนาดความกว้างของบันไดต่อปริมาณคนที่เหมาะสม ความกว้างของเส้นทางหนีไฟที่เหมาะสมต่อปริมาณคน เป็นต้น ซึ่งเป็นมาตรฐานที่กำหนดไว้นอกเหนือจากการออกแบบให้ถูกต้องตามกฎหมาย ผลที่ได้จากโปรแกรม FDS+Evac นี้เป็นเวลาการคาดการณ์ในการอพยพตามลักษณะโครงสร้างอาคารเท่านั้น เนื่องจากการจำลองการอพยพไม่ได้นำระบบเตือนภัยและป้องกันอัคคีภัยมาใช้ในการจำลองด้วย ซึ่งผลที่ได้มีทั้งการอพยพที่เป็นไปตามกฎหมายที่ใช้อ้างอิงคือ 5 นาที (300 วินาที) และไม่เป็นไปตามกฎหมายที่ใช้อ้างอิง ได้แก่ กรณีที่ 2 มีผู้อพยพจำนวน 384 คน มีทางออก 2 ทาง ไม่มีการเปิดหน้าต่าง การอพยพใช้เวลาทั้งสิ้น 397 วินาที และกรณีที่ 5 มีผู้อพยพจำนวน 384 คน มีทางออก 2 ทาง มีการเปิดหน้าต่าง การอพยพใช้เวลาทั้งสิ้น 390 วินาที ซึ่งมากกว่าเวลาที่ใช้อ้างอิง อาจทำให้ผู้ที่ยังคงติดค้างอยู่ภายในอาคารเสียชีวิตได้ จากกรณีที่ 3 และกรณีที่ 6 เป็นการแก้ไขตามการคำนวณเรื่องความจุของคนต่อพื้นที่ ตามมาตรฐาน NFPA 101 ซึ่งผลจากการคำนวณได้ลดจำนวนเด็กนักเรียนในห้องลง จากเดิมห้องละ 30 คนเหลือ ห้องละ 17 คน รวมมีผู้อพยพทั้งหมดจำนวน 228 คน มีทางออก 2 ทาง การอพยพใช้เวลาทั้งสิ้น 287 วินาที และ

263 วินาที ซึ่งไม่มากกว่าเวลาที่ใช้อ้างอิง กรณีที่ 4 และกรณีที่ 7 ก็เป็นการแก้ไขอีกรูปหนึ่งคือการเพิ่มบันไดหนีไฟอีก 1 ทาง มีจำนวนผู้อพยพจำนวน 384 คน มีทางออก 2 ทาง การอพยพใช้เวลาทั้งสิ้น 281 วินาทีและ 266 วินาที ไม่มากกว่าเวลาที่ใช้อ้างอิง

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

ผลจากการศึกษาการจำลองสถานการณ์เพลิงไหม้และอพยพ กรณีโรงเรียนอนุบาล โดยโปรแกรม Fire Dynamics Simulator with Evacuation (FDS+Evac) ซึ่งใช้ในการศึกษาพฤติกรรมการอพยพและแสดงผลทั้งในรูปแบบข้อมูลและภาพเคลื่อนไหว และในการวิจัยมีการกำหนดองค์ประกอบที่แตกต่างกันในแต่ละกรณี ซึ่งได้นำหลักกฎหมายและมาตรฐานเรื่องการป้องกันอัคคีภัยมาใช้ โดยมีรายละเอียดการจำลองสถานการณ์สามารถสรุปเป็นกรณีได้ดังนี้

1. กรณีที่ 2 และกรณีที่ 5 กำหนดให้มีผู้อพยพอยู่ในอาคารทั้งสิ้น 384 คน โดยแบ่งเป็นเด็กนักเรียนระดับอนุบาล จำนวน 360 คน จัดให้อยู่ในชั้นเรียนที่ 1 และชั้นเรียนที่ 2 โดยแบ่งห้องละ 30 คน จำนวน 12 ห้อง ครูมีจำนวน 24 คน จัดให้อยู่ที่ชั้นที่ 3 โดยแบ่งห้องละ 4 คน จำนวน 6 ห้อง โดยกรณีที่ 2 เป็นอาคารที่ติดตั้งเครื่องปรับอากาศไม่มีการเปิดหน้าต่าง ส่วนกรณีที่ 5 ไม่มีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศ มีการเปิดหน้าต่าง ผลที่ได้จากการจำลองโดยโปรแกรม ทำให้ทราบถึงพฤติกรรมและเวลาที่ใช้ในการอพยพ สำหรับกรณีที่ 2 ใช้เวลาในการอพยพ ทั้งสิ้น 397 วินาที และกรณีที่ 5 ใช้เวลาในการอพยพ ทั้งสิ้น 390 วินาทีเมื่อเทียบกับเวลาที่ใช้อ้างอิงตามกฎหมาย (300 วินาที) แล้วปรากฏว่ามากกว่า

2. กรณีที่ 3 และกรณีที่ 6 เป็นหนึ่งในวิธีการแก้ไข ซึ่งทำโดยการลดจำนวนผู้ใช้อาคารตามลักษณะของพื้นที่ที่ใช้งานตามมาตรฐาน NFPA 101 จากการคำนวณทำให้ทราบว่าจำนวนนักเรียนในห้องเรียนแต่ละห้องนั้นเหลือห้องละ 17 คน แต่จำนวนของครูนั้นยังคงเท่าเดิมคือ 24 คน เมื่อรวมผู้ใช้อาคารทั้งหมดในกรณีนี้แล้วมีจำนวนทั้งสิ้น 228 คน โดยกรณีที่ 3 เป็นอาคารที่ติดตั้งเครื่องปรับอากาศไม่มีการเปิดหน้าต่าง ส่วนกรณีที่ 6 ไม่มีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศ มีการเปิดหน้าต่างผลที่ได้จากการจำลองโดยโปรแกรม ทำให้ทราบถึงพฤติกรรมและเวลาที่ใช้ในการอพยพ สำหรับกรณีที่ 3 ใช้เวลาในการอพยพทั้งสิ้น 287 วินาที และกรณีที่ 6 ใช้เวลาในการอพยพ ทั้งสิ้น 263 วินาทีเมื่อเทียบกับเวลาที่ใช้อ้างอิงตามกฎหมาย (300 วินาที) ปรากฏว่าไม่มากกว่าเวลาที่กำหนด

3. กรณีที่ 4 และกรณีที่ 7 เป็นการแก้ไขวิธีที่ 2 ซึ่งทำโดยการเพิ่มบันไดหนีไฟอีก 1 บันได แต่เป็นบันไดหนีไฟที่อยู่ด้านนอกอาคารบริเวณริมด้านซ้ายของอาคาร โดยมีจำนวนผู้ที่อยู่ในอาคาร ทั้งหมด 384 คน โดยแบ่งเป็นเด็กนักเรียนระดับอนุบาล จำนวน 360 คน จัดให้อยู่ในชั้นเรียนที่ 1 และชั้นเรียนที่ 2 โดยแบ่งห้องละ 30 คน จำนวน 12 ห้อง ครูมีจำนวน 24 คน จัดให้อยู่ที่ชั้นที่ 3 โดยแบ่งห้องละ 4 คน จำนวน 6 ห้อง โดยกรณีที่ 4 เป็นอาคารที่ติดตั้งเครื่องปรับอากาศไม่มีการเปิดหน้าต่าง ส่วนกรณีที่ 7 ไม่มีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศ มีการเปิดหน้าต่างผล ผลที่ได้จากการทดลองโดยโปรแกรม ทำให้ทราบถึงพฤติกรรมและเวลาที่ใช้ในการอพยพ สำหรับกรณีที่ 4 ใช้เวลาในการอพยพทั้งสิ้น 281 วินาทีและกรณีที่ 7 ใช้เวลาในการอพยพทั้งสิ้น 266 วินาที เมื่อเทียบกับเวลาที่ใช้อ้างอิงตามกฎหมาย (300 วินาที) ปรากฏว่าไม่มากกว่าเวลาที่กำหนด

ซึ่งพฤติกรรมของผู้อพยพในแต่ละกรณีนั้นเมื่อเกิดเพลิงไหม้ขึ้นเมื่อเริ่มรับรู้ถึงสิ่งผิดปกติ และมีการตอบสนองต่อเหตุการณ์นั้นแล้วต่างก็พยายามจะทำการอพยพออกไปสู่ภายนอกให้เร็วที่สุดโดยมีการเลือกเส้นทางอพยพหนีไฟที่ใกล้กับทางออกที่มีความคุ้นเคยมากที่สุด หรือไปที่ทางออกที่ใกล้และปลอดภัยมากที่สุด แต่จะมีอุปสรรคในการอพยพคือ ปริมาณควันมากขึ้นจะทำให้ความเร็วในการอพยพลดลง เนื่องจากการมองเห็นนั้นลดลง และเส้นทางที่ใช้ในการอพยพที่แคบ อย่างเช่น บริเวณบันได จะทำผู้อพยพเบียดแย่งกันออก จะทำให้เสียเวลาในการอพยพมากขึ้น ซึ่งสามารถเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการอพยพได้จากกรณีที่มีการเปิดหน้าต่างและกรณีที่ไม่มี การเปิดหน้าต่าง จะเห็นว่ากรณีที่มีการเปิดหน้าต่างจะใช้เวลาในการอพยพน้อยกว่ากรณีที่ไม่มี การเปิดหน้าต่าง ส่วนกรณีที่กำหนดให้ผู้อพยพในแต่ละชั้นเริ่มที่จะอพยพไม่พร้อมกันนั้น ซึ่งกำหนดโดยเมื่อผู้อพยพคนแรกของชั้นที่ 3 ลงมาถึงชั้นที่ 2 แล้วผู้อพยพชั้นที่ 2 จึงเริ่มอพยพและเมื่อผู้อพยพคนแรกของชั้นที่ 3 ลงมายังชั้นที่ 1 ผู้อพยพที่ชั้นที่ 1 จึงเริ่มอพยพนั้น เมื่อเปรียบเทียบกับ ผลของกรณีที่ 2 แล้วพบว่า มีพฤติกรรมการอพยพที่แตกต่างกันในตอนเริ่มอพยพ แต่หลังจากนั้น พฤติกรรมในการอพยพทั้ง 2 กรณีมีความใกล้เคียงกัน และเวลาในการอพยพก็ใกล้เคียงกันอีกด้วย

ดังนั้นแนวทางในการจัดทำมาตรการการป้องกันและแก้ไขการอพยพผู้ที่อยู่ในอาคารให้มีความปลอดภัยเมื่อเกิดเหตุเพลิงไหม้ มีข้อเสนอดังนี้

1. จากการลดจำนวนผู้ที่อยู่ในอาคารลง ในที่นี้คือเด็กนักเรียนที่อยู่ในห้องเรียนซึ่งจากเดิม กำหนดให้มีจำนวนเด็กนักเรียน 30 คนต่อ 1 ห้องลดลงเหลือ 17 คนต่อ 1 ห้องทำให้มีผลต่อการอพยพ คือเมื่อจำนวนผู้อพยพลดลงตามจำนวนที่กำหนด ก็ทำให้เวลาที่ใช้ในการอพยพนั้น

น้อยลง ซึ่งจะเห็นได้ว่าเวลาในการอพยพนั้นลดลงเกือบ 2 นาทีเมื่อเปรียบเทียบระหว่างกรณีที่ 2 กับกรณีที่3 และเปรียบเทียบระหว่างกรณีที่5 กับกรณีที่6 (110 วินาทีและ 127 วินาที) ซึ่งแสดงถึงการอพยพจะมีความปลอดภัยยิ่งขึ้น

2. สำหรับการเพิ่มบันไดหนีไฟภายนอกอาคาร (หากสามารถทำได้) ได้กำหนดให้อยู่ด้านริมอาคารด้านใดด้านหนึ่งหรือทั้ง 2 ด้าน เพื่อความปลอดภัยมากยิ่งขึ้น แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นก็ต้องคำนึงถึงความเป็นไปได้ของการก่อสร้างและงบประมาณ ซึ่งเมื่อทำการเพิ่มบันไดหนีไฟแล้ว ทำให้ผู้อพยพมีเส้นทางเลือกที่จะอพยพได้มากขึ้น ทำให้การอพยพใช้เวลาลดลง โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างกรณีที่2 กับกรณีที่4 และเปรียบเทียบระหว่างกรณีที่5 กับกรณีที่7 ปรากฏว่าเวลาที่ใช้ในการอพยพนั้นลดลงเกือบ 2 นาที (116 วินาทีและ 124 วินาที) ยิ่งทำให้การอพยพนั้นมีความปลอดภัยมากยิ่งขึ้น

3. การจัดทำป้ายและสัญลักษณ์ ของเส้นทางหนีไฟ บันไดหนีไฟและทางออกหนีไฟ รวมถึงการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับและแจ้งเหตุเพลิงไหม้ หรือ การติดตั้งระบบดับเพลิงอัตโนมัติ รวมถึงการติดตั้งอุปกรณ์ดับเพลิงแบบมือถือ เพื่อให้เกิดความปลอดภัยมากที่สุดซึ่งก็ต้องพิจารณาถึงงบประมาณในการติดตั้งระบบแต่ละระบบด้วย

4. การจัดทำแผนการอพยพหนีไฟ การซ้อมอพยพหนีไฟและการฝึกอบรมการดับเพลิง สำหรับครูและเด็กนักเรียนที่อยู่ภายในอาคารให้เตรียมพร้อมกับเหตุการณ์เพลิงไหม้ เมื่อเวลาเกิดเพลิงไหม้ขึ้นแล้วจะได้อพยพไปตามแผนที่ได้ซ้อมเอาไว้ โดยอาจเชิญหน่วยงานภายนอกมาทำการฝึกอบรม

5. ควรมีการตรวจสอบอาคารหรือจุดเสี่ยงต่างๆ ภายในอาคารที่อาจจะเกิดเพลิงไหม้ เพื่อเป็นการป้องกันเอาไว้ก่อน เช่น เตารับ-เตาเสียบ สวิตช์ไฟต่างๆ สายไฟทั้งที่เครื่องใช้ไฟฟ้าและสายไฟบนผนัง รวมถึงการตรวจสอบเครื่องใช้ไฟฟ้าที่อาจมีสภาพที่ไม่ปลอดภัยอาจช็อตและเกิดไฟไหม้ได้

ข้อเสนอแนะ

1. จากการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการจำลองสถานการณ์เพลิงไหม้และการอพยพนั้น จะเห็นได้ว่าเครื่องมือที่ใช้ในการจำลอง คือ โปรแกรม FDS+Evac นั้นมีประโยชน์อย่างมากในการนำมาศึกษาและวิเคราะห์พฤติกรรมการอพยพของผู้คนที่อยู่ภายในอาคาร รวมถึงการศึกษาในเรื่องของพฤติกรรมของไฟ โครงสร้างอาคารเมื่อเกิดเพลิงไหม้ ลักษณะของควัน และคุณสมบัติอื่นอีกหลายด้าน ซึ่งสามารถแสดงผลออกมาเป็นภาพเคลื่อนไหวให้เห็นเสมือนจริง แต่ผู้ที่ทำการศึกษาและใช้โปรแกรมนั้น จะต้องทำการศึกษาถึง รายละเอียดของโปรแกรม ฐานข้อมูลของโปรแกรม เพื่อให้การประมวลผลออกมาได้ใกล้เคียงกับสถานการณ์จริงที่สุด

2. การออกแบบอาคารเรียนนอกจากจะออกแบบเพื่อให้ถูกต้องตามกฎหมายควบคุมอาคารแล้ว ผู้ทำการออกแบบหรือสถาปนิกควรพิจารณาถึงมาตรฐานต่างๆ เช่น มาตรฐานด้านการป้องกันและระงับอัคคีภัย ที่อาจจะมีความเข้มมากกว่ากฎหมายด้วย เนื่องจากกฎหมายที่เรานำมาใช้นั้นอาจไม่ได้มีรายละเอียดลงลึก ดังนั้นผู้ออกแบบจึงควรมองที่จุดนี้ด้วย

3. การจำลองนี้สามารถนำไปทดสอบเพื่อเป็นแนวทางสำหรับอาคารเรียนที่มีลักษณะใกล้เคียงกันโดยสามารถกำหนดองค์ประกอบต่างๆ ให้เข้ากับอาคารนั้นๆ เพื่อเป็นการทดสอบหรือเปรียบเทียบให้เห็นถึงปัญหา เพื่อที่จะได้ทำการแก้ไขให้ทันทั่วทั้งที่และมีความปลอดภัย

4. อาคารเรียนสำหรับนักเรียนระดับอนุบาลแต่ละแห่งควรมีระบบเตือนภัยหรือระบบดับเพลิงที่มีมาตรฐานและมีประสิทธิภาพเป็นอย่างดี เนื่องจากเด็กวัยนี้ ยังไม่สามารถที่ช่วยเหลือตัวเองได้มากนักยังอยู่ในสถานะตื่นตระหนกด้วยแล้วจะทำให้ การตัดสินใจทำอะไรนั้นอาจจะไม่สามารถทำได้หรือทำได้ยาก ดังนั้นจึงควรมีระบบต่างๆ ที่ดีเพื่อเป็นการช่วยเหลืออีกทางหนึ่ง

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมสวัสดิการ และคุ้มครองแรงงาน กระทรวงแรงงาน และสวัสดิการสังคม. 2545. ประกาศ
กระทรวงมหาดไทย เรื่องการป้องกันและระงับอัคคีภัยในสถานประกอบการ เพื่อความ
ปลอดภัยในการทำงานสำหรับลูกจ้าง. โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์,
กรุงเทพมหานคร.

เกชา ชีระโกเมน. 2542. การปรับปรุงอาคารเพื่อให้เกิดความปลอดภัยจากอัคคีภัย. แหล่งที่มา:
<http://www.se-ed.net/winyou/aticle04/firep.htm>, 15 กรกฎาคม 2549

_____. 2545. ปัญหาในการจัดระบบการป้องกันอัคคีภัยสำหรับอาคาร, น. 1-53. ใน เกชา
ชีระโกเมน และ โสภณ เหล่าสุวรรณ, บรรณาธิการ ประสพการณ์วิศวกรรมงานระบบ
ระบบป้องกันอัคคีภัย. สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์,
กรุงเทพมหานคร.

คณะกรรมการร่างมาตรฐานความปลอดภัย. 2545ก. มาตรฐานการป้องกันอัคคีภัย. วิศวกรรม
สถาน แห่งประเทศไทย, กรุงเทพมหานคร.

_____. 2545. มาตรฐานการควบคุมควันไฟ. วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย,
กรุงเทพมหานคร.

เฉลิมพล กำกนตรง. 2550. การประยุกต์โปรแกรมการจำลองด้านพลวัตของไฟและการจำลองการ
อพยพ เพื่อวิเคราะห์ขีดความสามารถการอพยพจากอาคารชุดพักอาศัยขนาดกลาง.
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ณัฐกรณ์ เสถฐิตต์. 2546. เรื่องโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยจำลองสถานการณ์ การหนีไฟ
ภายในอาคารโดยใช้บันไดหนีไฟ. วิทยานิพนธ์ ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

- นิวัฒน์ ศิริกุล. 2542. การศึกษาเวลาในการหนีไฟภัยในอาคาร - กรณีประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- พิชัญ จันทรานูวัฒน์. 2547. กฎหมายควบคุมอาคารแบบเชิงประสิทธิผล. น. 18-19 ใน เอกสารประกอบการประชุมทางวิชาการวิศวกรรมป้องกันอัคคีภัยแห่งชาติ ครั้งที่ 1. วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, กรุงเทพมหานคร.
- มาตรฐานการป้องกันอัคคีภัยประเทศญี่ปุ่น. 2546. คู่มือด้านเทคนิคสำหรับการออกแบบระบบป้องกันอัคคีภัย. ม.ป.ท.
- วิฑูรย์ ภูสวนทเรศ. 2549. โปรแกรมออกแบบทางหนีไฟของอาคาร ตามมาตรฐาน NFPA. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สมเกียรติ เวชพฤกษ์พิทักษ์ 2549. การศึกษาแผนอพยพโดยใช้โปรแกรมการจำลองด้านพลศาสตร์ อัคคีภัยและการจำลองการอพยพ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สุทัศน์ จุฬามณี. 2546. เรื่องการอพยพคนลงจากอาคารสูง. เซฟตี้ไลฟ์แมกซีน 45: 40-50.
- สุรินทร์ สุจินต์ธรรมสาร. 2549. การออกแบบป้องกันอัคคีภัยสำหรับอาคารสูงโดยใช้การจำลองด้านพลศาสตร์อัคคีภัย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- อัศวิน นววงศ์. 2546. เรื่องโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยจำลองสถานการณ์ วิเคราะห์และประเมินการหนีไฟภายในอาคาร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- Associated Fire Protection. 2006. **How Fire Burn: Fire Protection Basics**. Available Source: <http://www.associatedfire.com/howfiresburn>, Feb 25, 2006.
- Buchanan A.H, Fire Engineering Design Guide, Center of Advanced Engineering, University of Canterbury, New Zealand, 1994.
- Hoskin, K. 2004. www.civil.canterbury.ac.nz

- Karlsson, B. and J.G. Quintiere. 2000. **Enclosur Fire Dynamics**. p.43. CRC Press LLc, 2000
N.W. Corporate Blvd, Boca Raton, Florida 33431, U.S.A.
- Korhonen and Hostikka. 2007. **FDS+Evac Technical Reference + User's Guide**. VTT
Technical Research Centre of Finland. Available Source: <http://www.fds-smv.net/>, august
26, 2007
- 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
FireProtection Association, One Batterymarch Park, Quincy, MA 02269-9101, U.S.A.
- 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.
- Ron Cote, P.E. and Gregory E. Harrington P.E. 2006. **NFPA 101 Life Safety Code Hand Book**.
2006 Edition, National Fire Protection Association.

ภาคผนวก

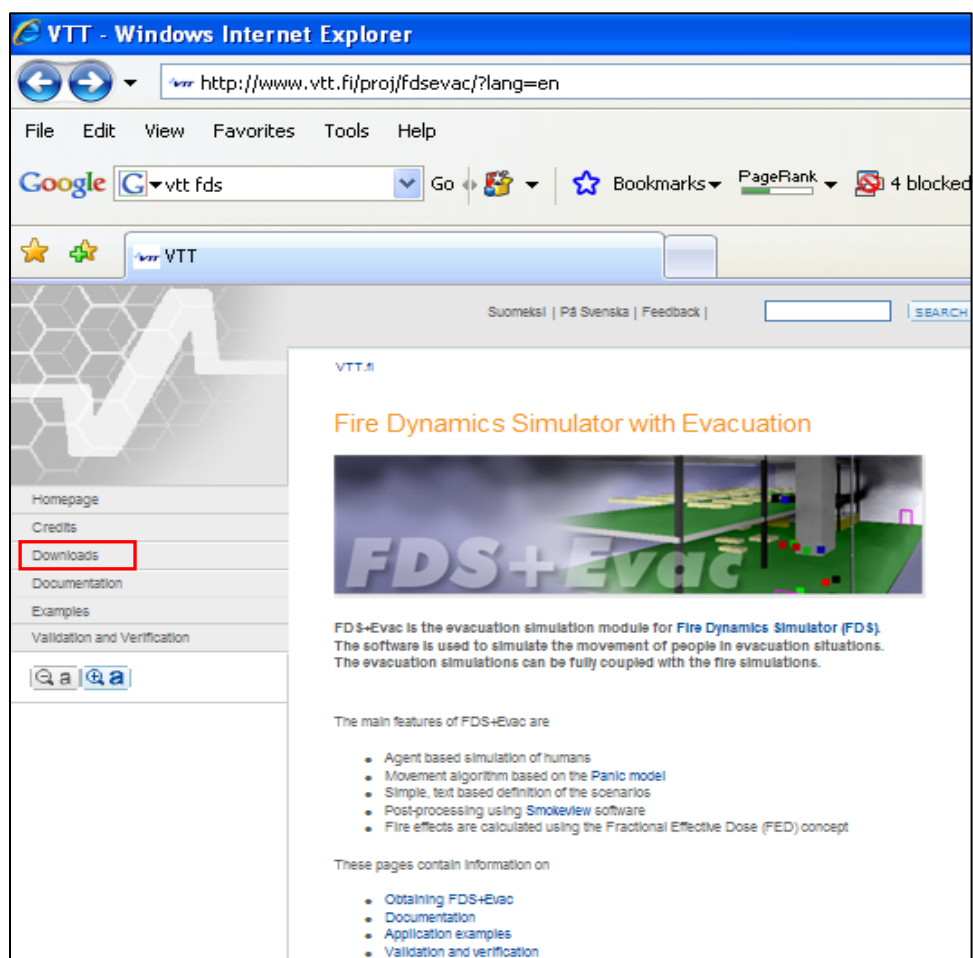
ภาคผนวก ก

การติดตั้งโปรแกรม ขั้นตอนการใช้งานโปรแกรม

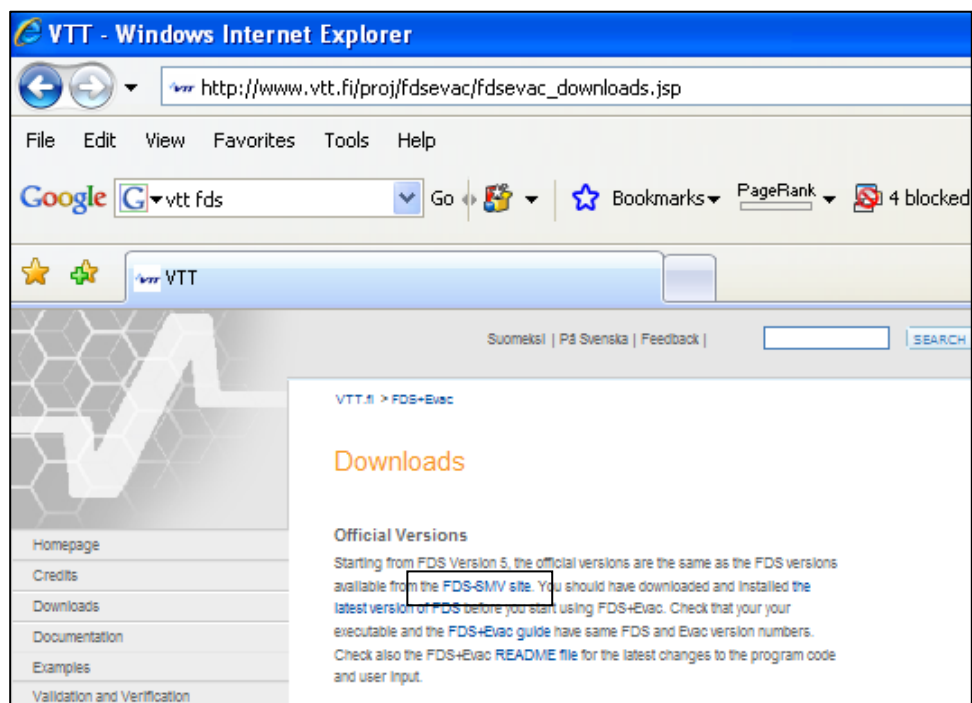
การติดตั้งโปรแกรม

1. การ download โปรแกรม FDS+Evac

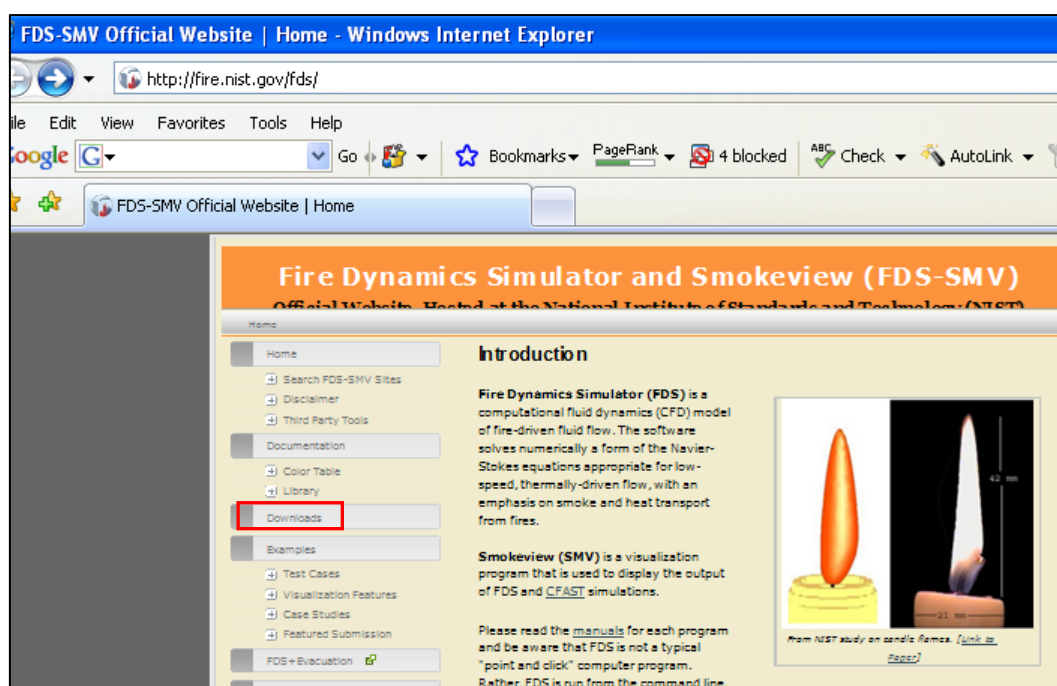
ขั้นตอนที่ 1 เข้าไปที่เว็บไซต์ ของ <http://www.vtt.fi/proj/fdsevac/?lang=en> หลังจากนั้นให้ไปที่ link Download



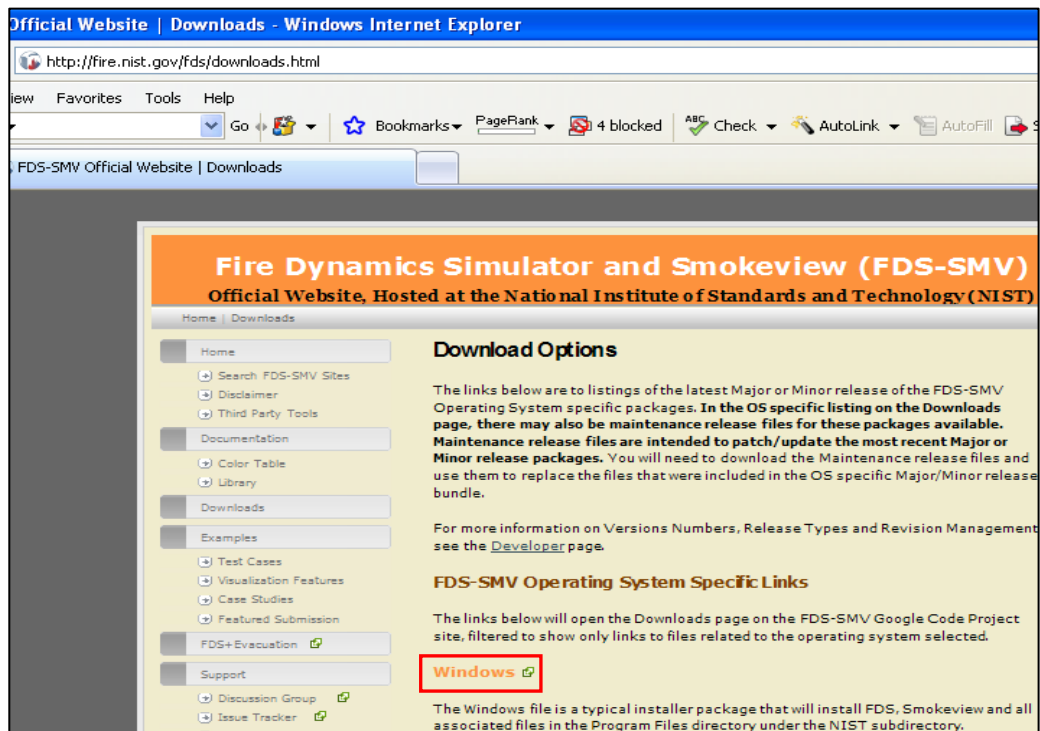
ขั้นตอนที่ 2 เลือกที่ link ของ FDS-SMV site.



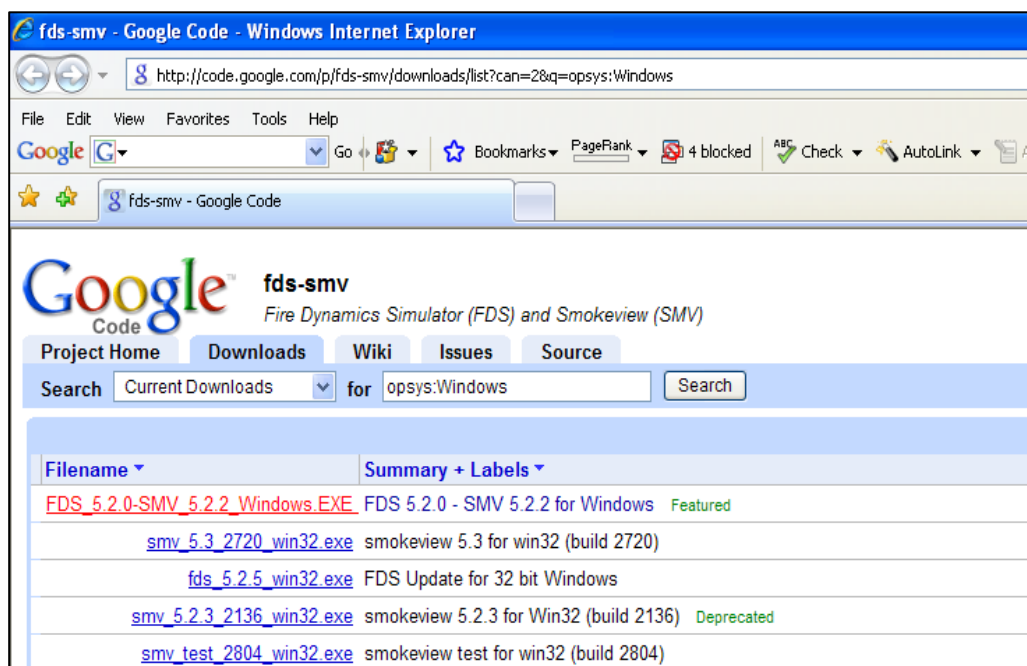
ขั้นตอนที่ 3 จะเข้าไปที่เว็บไซต์ของ National Institute of Standards and Technology (NIST) จากนั้นเลือก link download



ขั้นตอนที่ 4 เลือก download สำหรับ ระบบปฏิบัติการวินโดวส์

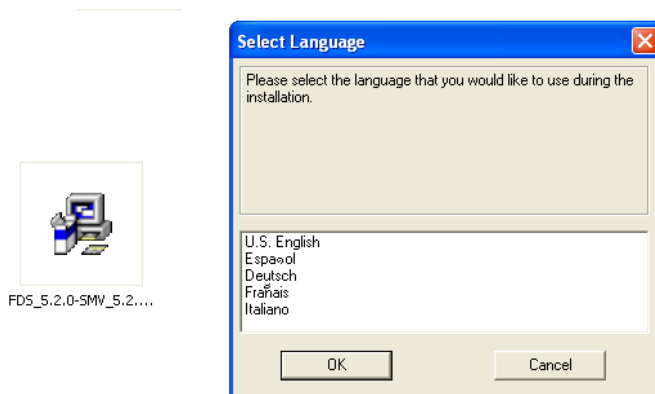


ขั้นตอนที่ 5 ทำการdownload โปรแกรม FDS_5.2.0-SMV_5.2.2 for Windows.EXE

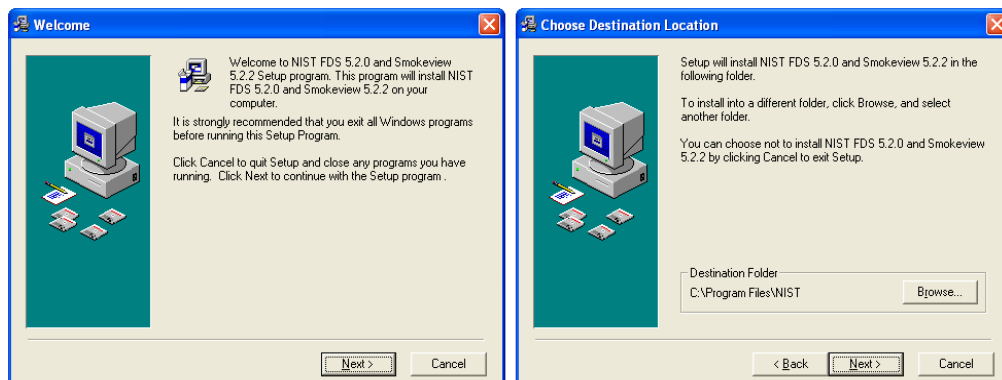


2. การติดตั้งโปรแกรม FDS_5.2.0-SMV_5.2.2

ขั้นตอนที่ 1 หลังจากที่ได้ download โปรแกรมเรียบร้อยแล้วให้ดับเบิลคลิกที่ไอคอน จากนั้นให้เลือกภาษา

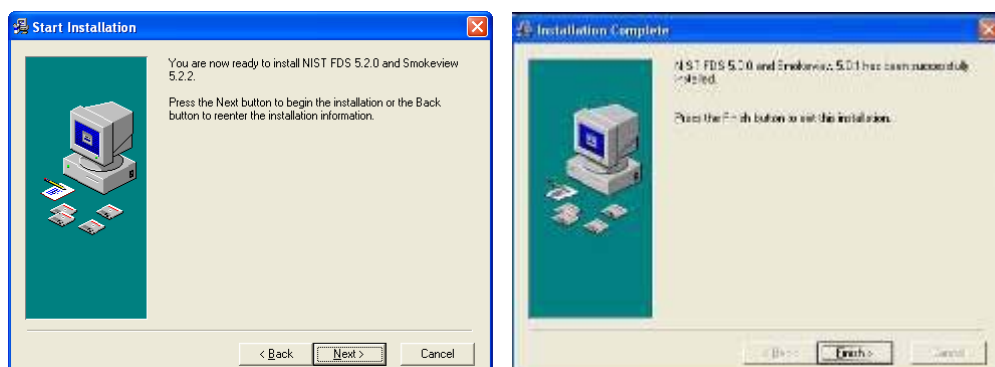


ขั้นตอนที่ 2 คลิกที่ next แล้วเลือกตำแหน่งปลายทางที่จะติดตั้งโปรแกรม



ขั้นตอนที่ 3 คลิกที่ next เพื่อยืนยันที่จะทำการติดตั้งโปรแกรม เมื่อโปรแกรมติดตั้งเสร็จให้

กด finish



การใช้งานโปรแกรม FDS+Evac

ขั้นตอนที่ 1 สร้างไฟล์ที่เป็น Input file เพื่อสร้างโมเดล เนื่องจากโปรแกรม FDS+Evac นั้นจะประมวลผลบน DOS ดังนั้น Input file จึงเป็นไฟล์ text ที่มีนามสกุลเป็น xxxx.fds

```

3floors-net4.fds - Notepad
File Edit Format View Help
&HEAD CHID='evacschool_pop30_1exit', TITLE='3 Floor Evacuation Test' /

Fire mesh(es).
&MESH IJK=110,28,30, XB=-0.10,33.2,-0.10,6.60,0.00,9.50 /

Main evacuation meshes for the floors. These meshes contains the
humans. Evacuation meshes should all have an unique ID string
defined.
&MESH IJK=110,28,1, XB=-0.10,32.20,-0.10,5.60,1.0,1.2,
EVACUATION=.TRUE., EVAC_HUMANS=.TRUE., ID='MainEvacGrid', EVAC_Z_OFFSET=1.0/

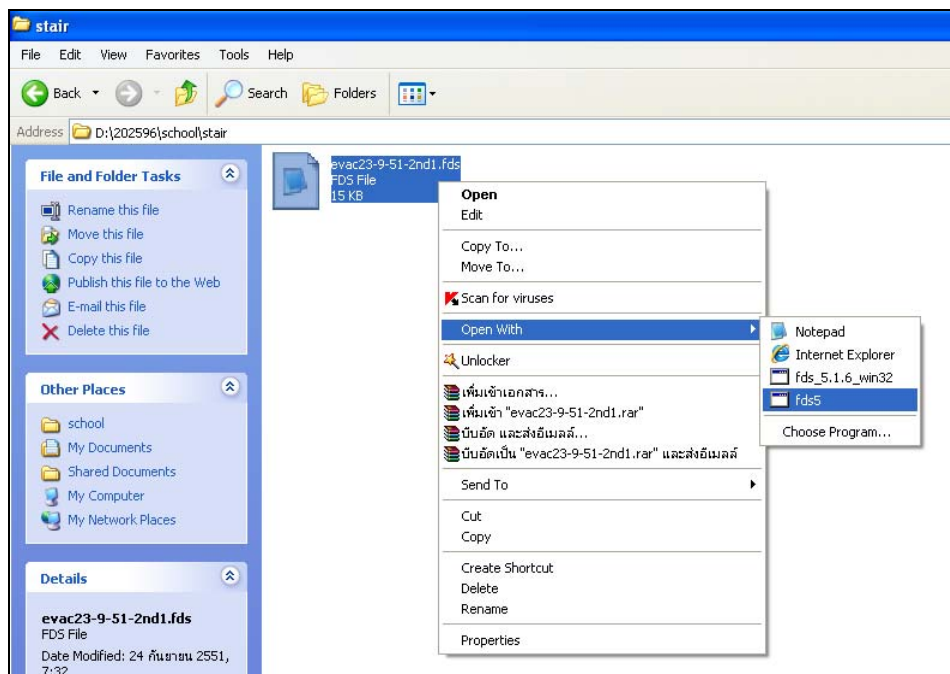
&MESH IJK=110,28,1, XB=-0.10,32.20,-0.10,5.60,3.55,4.95,
EVACUATION=.TRUE., EVAC_HUMANS=.TRUE., ID='MainEvacGrid2', EVAC_Z_OFFSET=1.0/

&MESH IJK=110,28,1, XB=-0.10,32.20,-0.10,5.60,6.70,8.10,
EVACUATION=.TRUE., EVAC_HUMANS=.TRUE., ID='MainEvacGrid3', EVAC_Z_OFFSET=1.0/

```

ขั้นตอนที่ 2 ทำการรันโปรแกรมหรือ compiling โดย คลิกขวาเลือก open with แล้วเลือก

fds5



ขั้นตอนที่ 3 โปรแกรมจะทำการ compiling เพื่อสร้าง output file

```

D:\New Version\fds_5.1.6_win32.exe

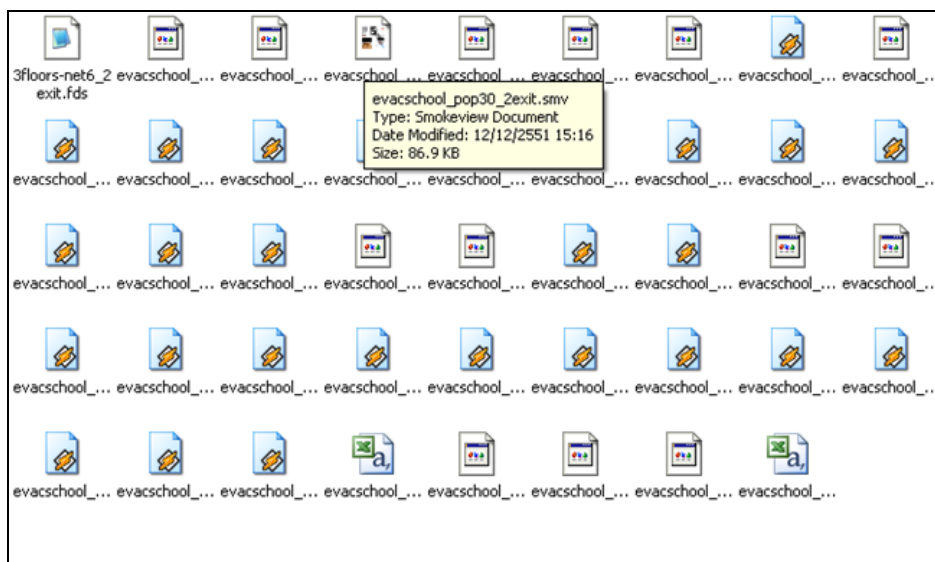
Fire Dynamics Simulator
Compilation Date : Sat, 10 May 2008
Version : 5.1.6 Serial
SUN Revision No. : 1673

Job TITLE : 3 Floor Evacuation Test
Job ID string : evacschool_pop30_2exit

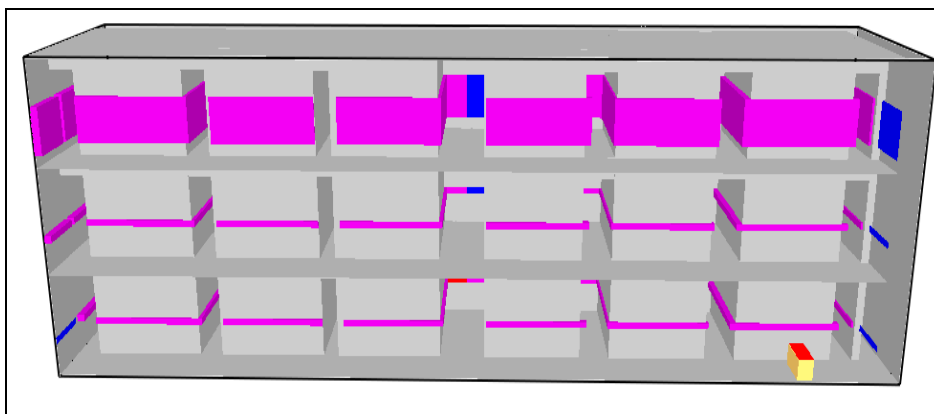
Time Step: -40, Simulation Time: 0.00 s
Time Step: -30, Simulation Time: 0.00 s
Time Step: -20, Simulation Time: 0.00 s
Time Step: -10, Simulation Time: 0.00 s
Time Step: -9, Simulation Time: 0.00 s
Time Step: -8, Simulation Time: 0.00 s
Time Step: -7, Simulation Time: 0.00 s
Time Step: -6, Simulation Time: 0.00 s
Time Step: -5, Simulation Time: 0.00 s
Time Step: -4, Simulation Time: 0.00 s
Time Step: -3, Simulation Time: 0.00 s
Time Step: -2, Simulation Time: 0.00 s
Time Step: -1, Simulation Time: 0.00 s
Time Step: 0, Simulation Time: 0.00 s
Time Step: 1, Simulation Time: 0.15 s
Time Step: 2, Simulation Time: 0.29 s
Time Step: 3, Simulation Time: 0.44 s
Time Step: 4, Simulation Time: 0.50 s
Time Step: 5, Simulation Time: 0.73 s
Time Step: 6, Simulation Time: 0.87 s
Time Step: 7, Simulation Time: 1.02 s
Time Step: 8, Simulation Time: 1.17 s
Time Step: 9, Simulation Time: 1.31 s
Time Step: 10, Simulation Time: 1.41 s
Time Step: 20, Simulation Time: 2.01 s

```

ขั้นตอนที่ 4 เมื่อโปรแกรม compiling เสร็จตามเวลาที่กำหนดไว้ใน Input file แล้ว โปรแกรมก็จะสร้าง output file ออกมาซึ่งจะมี 2 แบบคือ เป็นภาพเคลื่อนไหวซึ่งเป็นไฟล์ที่มีนามสกุล xxx.smv และเป็นข้อมูลตัวเลขที่เป็นไฟล์ excel



ก . output file ที่แสดงผลเป็นภาพเคลื่อนไหวที่เป็นไฟล์นามสกุล xxx.smv



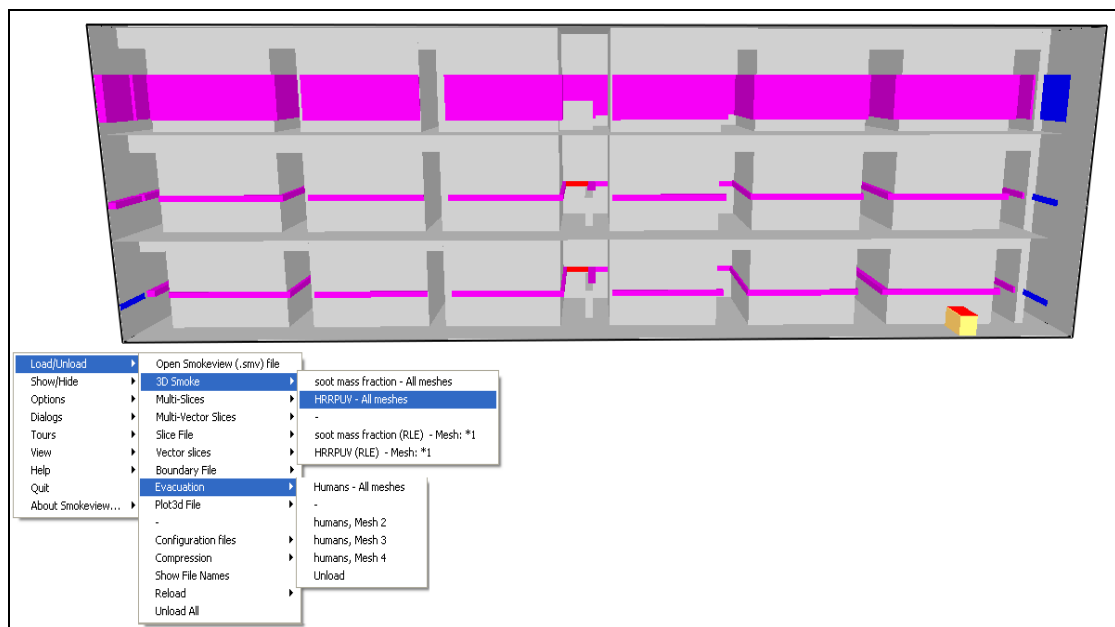
ข . output file ที่แสดงผลเป็นข้อมูลตัวเลขที่เป็นไฟล์ excel

Microsoft Excel - evacschool_pop30_2exit_evac.csv

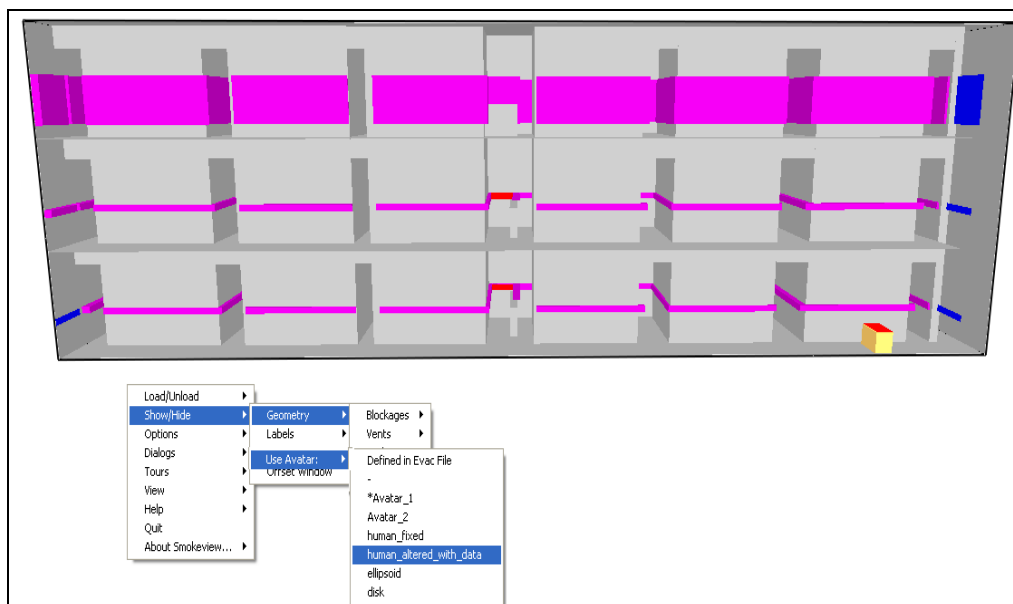
	A1	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
1	27																		
2	Time	Humans	Floor	Floor	Floor	Exit	Exit	Exit	Exit	Exit	Exit	Exit	Exit	Door	Door	Exit	Exit	Exit	Exit
3	Time	Inside	Inside	Inside	Inside	Counter	Counter	Counter	Counter	Counter	Counter	Counter	Counter	Counter	Counter	Target	Target	Target	Target
4	s	All Nodes	MainEvac	MainEvac	MainEvac	LeftExit	RightExit	2ndExit	3rdExit	RightCount	LeftCount	2ndCount	3rdCount	STAIR3_U	STAIR3_D	LeftExit	RightExit	2ndExit	3rdExit
5	0.00E+00	396	180	180	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	1.02E+00	396	180	180	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	11	17	4
7	2.01E+00	396	180	180	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	11	17	4
8	3.01E+00	396	180	180	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	11	17	4
9	4.00E+00	396	180	180	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	11	17	4
10	5.05E+00	396	180	180	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	11	17	4
11	6.04E+00	396	180	180	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	11	17	4
12	7.03E+00	396	180	180	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	11	17	4
13	8.04E+00	396	180	180	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	11	17	4
14	9.03E+00	396	180	180	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	11	17	4
15	1.00E+01	396	180	180	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	11	17	4
16	1.10E+01	396	180	180	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	11	17	4
17	1.20E+01	396	180	180	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	11	17	4

ขั้นตอนที่ 5 การแสดงผลใช้งานฟังก์ชันต่างๆในโปรแกรม

ก. ฟังก์ชันการใช้งานในกลุ่มการแสดงผล Load/Unload เช่น การเผาไหม้(3D Smoke) การอพยพ(Evacuation) แสดงความเร็ว (Vector slices) และอื่นๆ

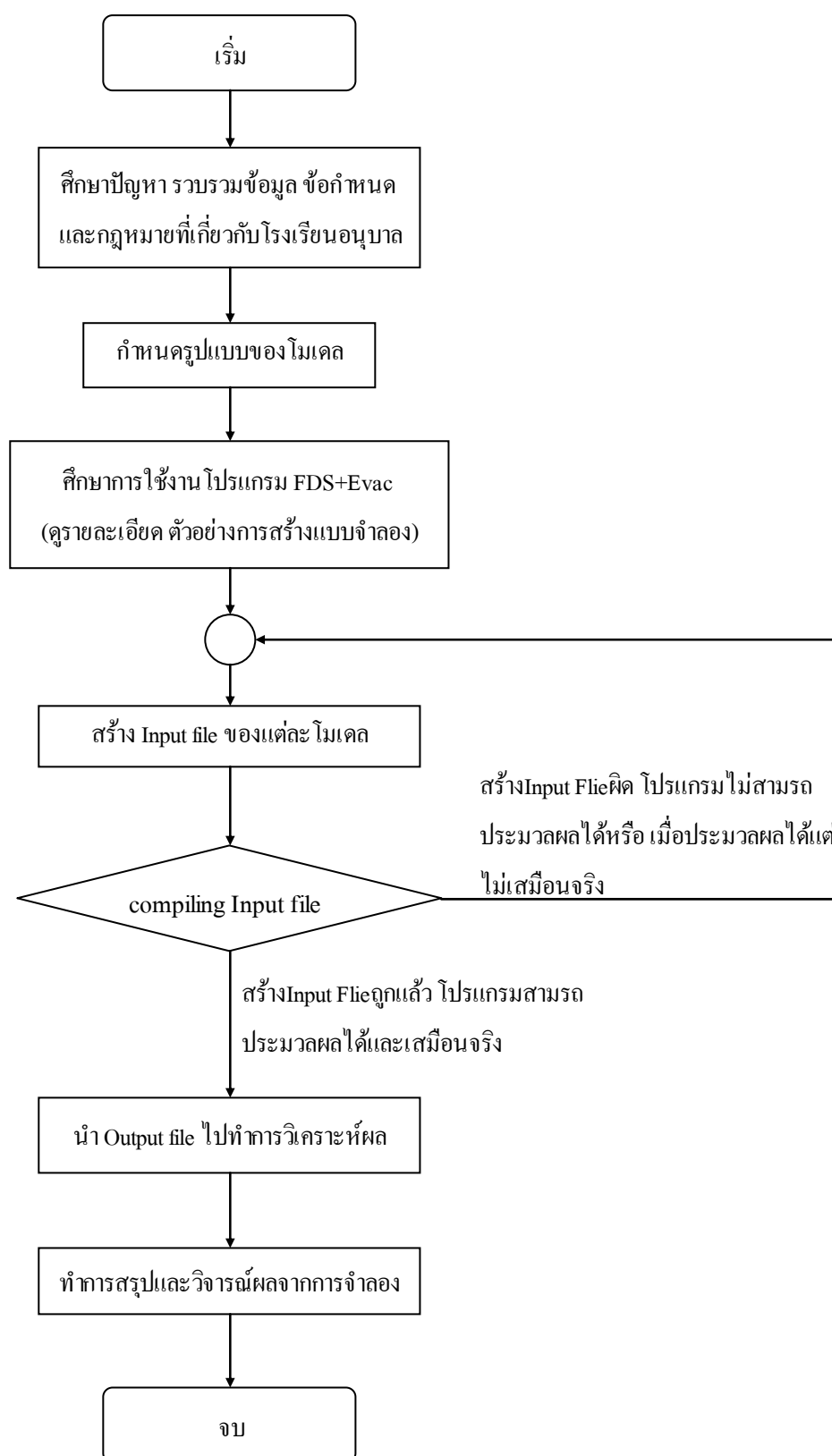


ข. ฟังก์ชันการใช้งานในกลุ่มการแสดงผล Show/Hide เช่น ทำให้โครงสร้างเห็นแบบโปร่ง (Outline) การแสดงผลของการอพยพให้เป็นวัตถุ หรือให้เป็นตัวคน(Use Avatar) และอื่นๆ

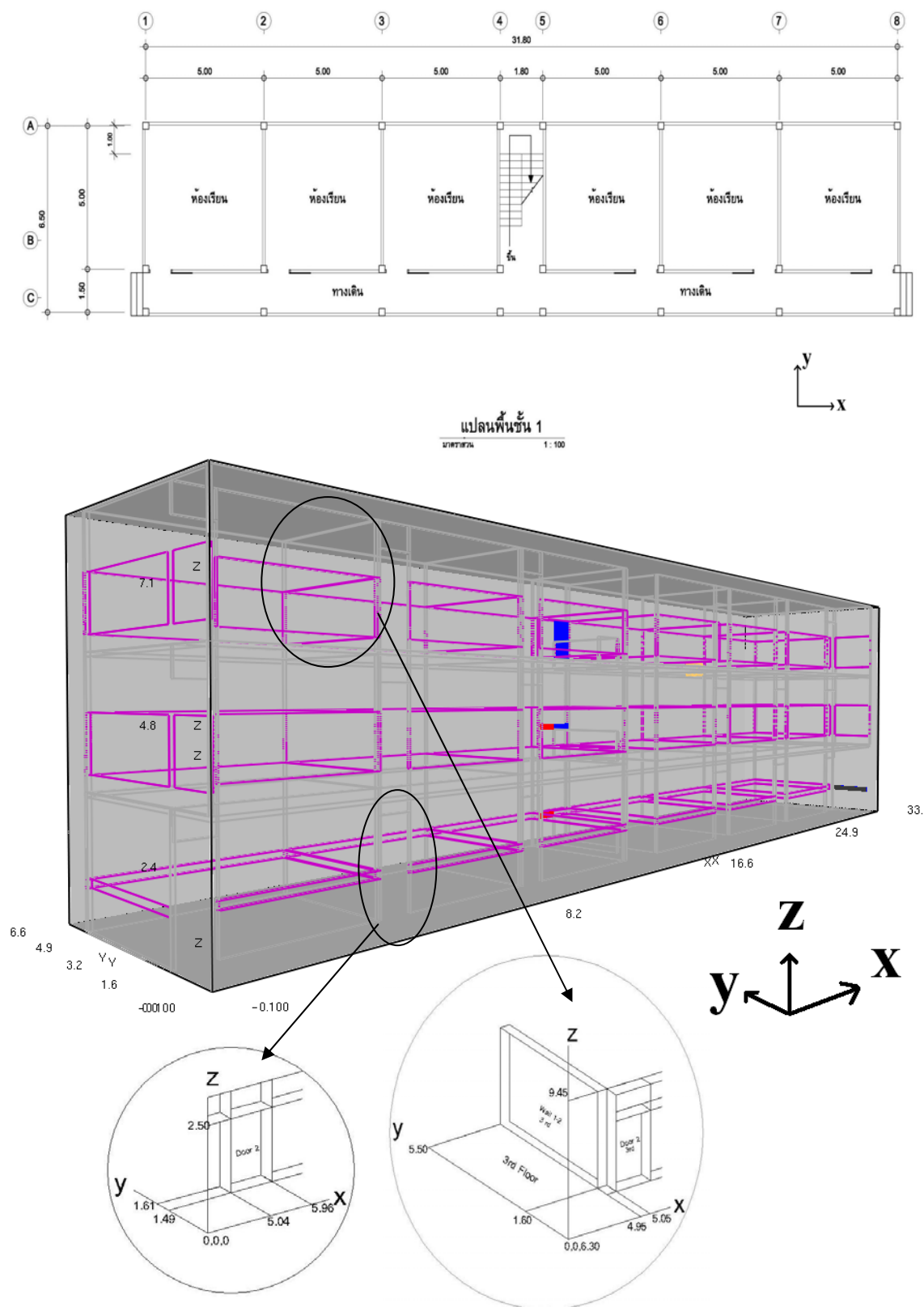


ภาคผนวก ข
แบบจำลองและการสร้างแบบจำลอง

การสร้างแบบจำลอง



ตัวอย่างแบบจำลองการสร้างแบบจำลอง กรณีที่ 5



ลักษณะการใช้งานของโปรแกรมFDS+Evac นี้จะเป็นการป้อนชุดคำสั่งที่ถูกกำหนดขึ้นมาในโปรแกรมโดยการที่จะป้อนชุดคำสั่งนั้นนอกจากจะต้องทราบว่าโปรแกรมFDS+Evacมีชุดคำสั่งอะไรบ้าง แล้วยังต้องรู้ว่าก่อนที่จะป้อนชุดคำสั่งนั้น จะต้องใส่เครื่องหมาย & ที่หน้าชุดคำสั่งนั้นๆ ไม่เช่นนั้นแล้วโปรแกรมจะไม่สามารถทำการประมวลผลให้ได้ และเมื่อจบในชุดคำสั่งนั้นๆ จะต้องใส่เครื่องหมาย / ปิดท้ายเพื่อให้โปรแกรมทราบว่าเราได้ป้อนชุดคำสั่งนั้นจบแล้ว จากนั้นจึงเริ่มต้นสร้างโมเดลโดยจะต้องเริ่มที่ชุดคำสั่งเริ่มต้นของโปรแกรม ดังนี้

```
&HEAD CHID='evacschool_pop30_1exit', TITLE='3 Floor Evacuation Test' /
เป็นชุดคำสั่งเริ่มต้นโปรแกรม ใช้เพื่อเป็นการประกาศชื่อของโครงการและชื่อเรื่อง
```

Fire mesh(es).

```
&MESH IJK=110,28,30, XB=-1.10,33.2,-1.10,6.60,0.00,10.50 /
```

ชุดคำสั่งMESH ใช้เพื่อกำหนดขอบเขตและความละเอียดของโมเดล ซึ่งมีคำสั่งย่อยต่างๆ และ คำสั่งXBเป็นการประกาศขอบเขตของพื้นที่ทั้งหมดของโมเดล ซึ่งจะกำหนดเป็นระบบพิกัด $x_0, x_1, y_0, y_1, z_0, z_1$ ส่วน IJK จะเป็นการกำหนดความละเอียดของพื้นที่ที่ได้กำหนดไว้ออกเป็นตารางกริด เช่น จากตัวอย่าง ระยะในแนวแกนx มีระยะเริ่มต้นตั้งแต่ -1.10 เมตรถึง 33.2 เมตรซึ่งจะแบ่งช่วงกริดออกเป็น110 ช่อง ทั้งนี้ตำแหน่ง x_0, y_0, z_0 ของโมเดลนี้คือ -1.10,-1.10,0.00 และตำแหน่ง x_1, y_1, z_1 ของโมเดลนี้คือ 33.2,6.60,10.50

Main evacuation meshes for the floors. These meshes contains the

humans. Evacuation meshes should all have an unique ID string defined.

```
&MESH IJK=110,28,1, XB=-0.10,32.20,-0.10,5.60,1.0,1.2,
EVACUATION=TRUE., EVAC_HUMANS=TRUE., ID='MainEvacGrid',
EVAC_Z_OFFSET=1.0/
&MESH IJK=110,28,1, XB=-0.10,32.20,-0.10,5.60,3.55,4.95,
EVACUATION=TRUE.,EVAC_HUMANS=TRUE.,
ID='MainEvacGrid2',EVAC_Z_OFFSET=1.0/
&MESH IJK=110,28,1, XB=-0.10,32.20,-0.10,5.60,6.70,8.10,
```

EVACUATION=TRUE.,EVAC_HUMANS=TRUE.,ID='MainEvacGrid3'
 ,EVAC_Z_OFFSET=1.0/

ชุดคำสั่งMESHนี้จะเป็นชุดการอพยพใช้เพื่อประกาศพื้นที่การอพยพของคนในโปรแกรม โดยการเพิ่มคำสั่งEVACUATION=TRUE.และตามด้วยEVAC_HUMANS=TRUE เข้าไปให้คนที่อยู่ในโมเดลสามารถอพยพเคลื่อนที่ไปตามพื้นที่ต่างๆ ได้ โดยจะแบ่งพื้นที่เป็นชั้นๆ ซึ่งแต่ละชั้นจะมีการตั้งชื่อให้แตกต่างกัน เช่นถ้ามี4ชั้นก็ต้องมีคำสั่ง MESH ขึ้นมาอีก 1 ชุด และกำหนดขอบเขตของชั้นที่ 4 ใส่ชุดคำสั่งEVACUATION=TRUE.และตามด้วยEVAC_HUMANS=TRUE จากนั้นเป็นการตั้งชื่อของชั้นนั้น อาจตั้งคล้ายๆกันเป็น MainEvacGrid4

Additional door flow fields.

Note: main evacuation grid and the door flow grids should have same XB and IJK.

&MESH IJK=110,28,1, XB=-0.10,32.20,-0.10,5.60,1.0,1.2,
 EVACUATION=TRUE., ID='LeftExitGrid' / Left, 1st floor
 &MESH IJK=110,28,1, XB=-0.10,32.20,-0.10,5.60,1.0,1.2,
 EVACUATION=TRUE., ID='RightExitGrid' / Right, 1st floor
 &MESH IJK=110,28,1, XB=-0.10,32.20,-0.10,5.60,3.55,4.95,
 EVACUATION=TRUE., ID='FireExit2' / 2nd floor
 &MESH IJK=110,28,1, XB=-0.10,32.20,-0.10,5.60,6.70,8.10,
 EVACUATION=TRUE., ID='FireExit3' / 3rd floor

ชุดคำสั่งMESHนี้ใช้เพื่อ การประกาศให้ผู้อพยพในโปรแกรมรู้จักว่าในแต่ละชั้นนั้นมีทางออกทางใดบ้างที่ได้กำหนดไว้ในโปรแกรมและแต่ละทางออกมีชื่ออะไร

&TIME TWFIN=440.0 /

เป็นคำสั่งที่ใช้ในการกำหนดระยะเวลาในการจำลองสถานการณ์มีหน่วยเป็นวินาที

```

&MISC SURF_DEFAULT='WALL',
    EVAC_SURF_DEFAULT = 'EVAC_WALL' /
&DUMP SMOKE3D=.TRUE.,
    NFRAMES=200.,
    DT_PART=0.5,
    DT_HRR=1.0,
    DT_SLCF=1.0,
    DT_BNDF=5.0,
    DT_PL3D=100.0,
    DT_ISOF=5.0 /

```

```

&MATL ID          = 'FOAM'
    HEAT_OF_REACTION  = 500.
    HEAT_OF_COMBUSTION = 20000.
    CONDUCTIVITY      = 0.2
    SPECIFIC_HEAT     = 1.0
    DENSITY           = 100.
    N_REACTIONS       = 1
    NU_FUEL           = 1.
    REFERENCE_TEMPERATURE= 200. /

```

```

&SURF ID          = 'FOAM SLAB'
    COLOR          = 'PINK'
    MATL_ID        = 'FOAM'
    THICKNESS      = .1
    BURN_AWAY      = .TRUE.
    BACKING        = 'EXPOSED' /

```

```

&MATL ID          = 'GYPSUM PLASTER'
    FYI           = 'Quintiere, Fire Behavior'
    CONDUCTIVITY  = 0.48
    SPECIFIC_HEAT = 0.84
    DENSITY       = 1440. /

```

```

&SURF ID      = 'WALL'
  RGB          = 168,168,168
  MATL_ID      = 'GYPSUM PLASTER'
  THICKNESS    = 0.10 /

&SURF ID = 'OUTFLOW', VEL = +0.000001, TAU_V=0.1 /
&SURF ID='EVAC_SURF', TRANSPARENCY=0, RGB = 51,51,51 /
&SURF ID  = 'EVAC_WALL', RGB= 200,0,200 / or COLOR

```

ชุดคำสั่งที่ได้ทำเครื่องหมายปีกกาไว้ นั้น มีไว้เพื่อกำหนดเกี่ยวกับวัสดุต่างๆ และพื้นผิวที่กำหนดให้อยู่ในโมเดลซึ่งก็จะมีคำสั่งย่อยๆ ออกไปที่จะเป็นการกำหนดคุณสมบัติของวัสดุนั้นๆ เช่น ชื่อวัสดุ, สีของวัสดุ, การนำความร้อน ความหนาแน่น เป็นต้น

```

&SURF ID = 'FIRE', HRRPUA=1500., COLOR='RED' /

```

ชุดคำสั่งนี้ใช้เพื่อกำหนดชื่อของต้นเพลิงและอัตราการปล่อยพลังงานความร้อน

Ordinary fire calculation geometry input.

```

&OBST XB= -0.10,32.20, -0.10,5.60, 0.00,0.00, SURF_ID='WALL'/ floor 1st
&OBST XB= -0.10,0.00, 1.50,5.50, 0.00,3.15, SURF_ID='WALL'/ left wall
&OBST XB= 4.95,5.05, 1.60,5.50, 0.00,3.15, SURF_ID='WALL'/ 1-2 wall
&OBST XB= 10.00,10.10, 1.60,5.50, 0.00,3.15, SURF_ID='WALL'/ 2-3 wall
&OBST XB= 15.05,15.15, 1.60,5.50, 0.00,3.15, SURF_ID='WALL'/ 3-stair wall
&OBST XB= 16.95,17.05, 1.60,5.50, 0.00,3.15, SURF_ID='WALL'/ stair-4 wall
&OBST XB= 22.00,22.10, 1.60,5.50, 0.00,3.15, SURF_ID='WALL'/ 4-5 wall
&OBST XB= 27.05,27.15, 1.60,5.50, 0.00,3.15, SURF_ID='WALL'/ 5-6 wall
&OBST XB= 32.10,32.20, 1.60,5.50, 0.00,3.15, SURF_ID='WALL'/ right wall
&OBST XB= -0.10,32.20 ,5.50,5.60, 0.00,3.15, SURF_ID='WALL'/ behind wall
&OBST XB= -0.10,15.15, 1.50,1.60, 0.00,3.15, SURF_ID='WALL'/ left before wall
&OBST XB= 16.95,32.20, 1.50,1.60, 0.00,3.15, SURF_ID='WALL'/ right before wall
&OBST XB= 16.00,16.10, 2.50,5.30, 0.00,1.00, SURF_ID='WALL'/ handrail - 1st
^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^ floor 1 st ^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^
&OBST XB= -0.10,32.20, -0.10,5.60, 3.05,3.15, SURF_ID='WALL'/ floor 2nd

```

&OBST XB= -0.10,0.00, 0.00,5.50, 3.15,6.30, SURF_ID='WALL'/ left wall - 2 nd
 &OBST XB= 4.95,5.05, 1.60,5.50, 3.15,6.30, SURF_ID='WALL'/ 1-2 wall - 2 nd
 &OBST XB= 10.00,10.10, 1.60,5.50, 3.15,6.30, SURF_ID='WALL'/ 2-3 wall - 2 nd
 &OBST XB= 15.05,15.15, 1.60,5.50, 3.15,6.30, SURF_ID='WALL'/ 3-stair wall - 2 nd
 &OBST XB= 16.95,17.05, 1.60,5.50, 3.15,6.30, SURF_ID='WALL'/ stair-4 wall - 2nd
 &OBST XB= 22.00,22.10, 1.60,5.50, 3.15,6.30, SURF_ID='WALL'/ 4-5 wall - 2nd
 &OBST XB= 27.05,27.15, 1.60,5.50, 3.15,6.30, SURF_ID='WALL'/ 5-6 wall - 2nd
 &OBST XB= 32.10,32.20, -0.10,5.50, 3.15,6.30, SURF_ID='WALL'/ right wall - 2nd
 &OBST XB= -0.10,32.20, 5.50,5.60, 3.15,6.30, SURF_ID='WALL'/ behind wall- 2 nd
 &OBST XB= -0.10,15.15, 1.50,1.60, 3.15,6.30, SURF_ID='WALL'/ left before wall -2 nd
 &OBST XB= 16.95,32.20, 1.50,1.60, 3.15,6.30, SURF_ID='WALL'/ right before wall - 2nd
 &OBST XB= 16.00,16.10, 2.50,5.30, 3.15,4.15, SURF_ID='WALL'/ handrail - 2nd
 ^^^ floor 2 nd ^^^
 &OBST XB= -0.10,32.20, -0.10,5.60, 6.20,6.30, SURF_ID='WALL'/ floor3 rd
 &OBST XB= -0.10,32.20, -0.10,5.60, 9.45,9.45, SURF_ID='WALL'/ roof
 &OBST XB= -0.10,0.00, 0.00,5.50, 6.30,9.45, SURF_ID='WALL'/ left wall - 3rd
 &OBST XB= 4.95,5.05, 1.60,5.50, 6.30,9.45, SURF_ID='WALL'/ 1-2 wall - 3rd
 &OBST XB= 10.00,10.10,1.60,5.50,6.30,9.45, SURF_ID='WALL'/ 2-3 wall - 3rd
 &OBST XB= 15.05,15.15, 1.60,5.50, 6.30,9.45, SURF_ID='WALL'/ 3-stair wall - 3rd
 &OBST XB= 16.95,17.05, 1.60,5.50, 6.30,9.45, SURF_ID='WALL'/ stair-4 wall - 3rd
 &OBST XB= 22.00,22.10, 1.60,5.50, 6.30,9.45, SURF_ID='WALL'/ 4-5 wall - 3rd
 &OBST XB= 27.05,27.15, 1.60,5.50, 6.30,9.45, SURF_ID='WALL'/ 5-6 wall - 3rd
 &OBST XB= 32.10,32.20, -0.10,5.50, 6.30,9.45, SURF_ID='WALL'/ right wall - 3rd
 &OBST XB= -0.10,32.20, 5.50,5.60, 6.30,9.45, SURF_ID='WALL'/ behind wall - 3rd
 &OBST XB= -0.10,15.15, 1.50,1.60, 6.30,9.45, SURF_ID='WALL'/ left before wall - 3rd
 &OBST XB= 16.95,32.20, 1.50,1.60, 6.30,9.45, SURF_ID='WALL'/ right before wall - 3rd
 &OBST XB= 16.00,16.10, 2.50,5.30, 6.30,7.30, SURF_ID='WALL'/ handrail - 3rd
 &OBST XB= 15.05,16.10, 2.50,2.60, 6.30,7.30, SURF_ID='WALL'/ handrail - 3rd
 ^^^ floor 3 rd ^^^
 &OBST XB = 15,15,16.95, 5.30,5.50, 0.00, 9.45 , SURF_ID='WALL', RGB= 168,168,168 /Stair

สำหรับชุดคำสั่ง OBST นั้นใช้เพื่อสร้างวัตถุเพื่อให้มีขนาดต่างๆตามที่กำหนดเป็นระบบ พิกัด $x_0, x_1, y_0, y_1, z_0, z_1$ โดยในการสร้างวัตถุต่างๆ นั้นจะต้องกำหนดพิกัดขึ้นมาตามแบบแปลนของ โครงสร้างก่อนว่าวัตถุชิ้นนี้มีตำแหน่งเริ่มต้นที่จุดไหน เช่น &OBST XB= -0.10,32.20, -0.10,5.60, 6.20,6.30, SURF_ID='WALL'/ floor3 rd สำหรับตัวอย่างคำสั่งชุดนี้ เป็นการสร้างวัตถุที่เป็นพื้นชั้น ที่ 3 โดยมีจุดเริ่มต้นที่แกน x หรือ x_0 อยู่ที่ -0.10 เมตร และมีความยาวไปจนถึงค่า x_1 เท่ากับ 32.20 เมตร ส่วนจุดเริ่มต้นทางแกน y หรือ y_0 อยู่ที่ -0.10 เมตร และยาวไปจนถึงค่า y_1 เท่ากับ 5.60 เมตร และความหนาของพื้นคือ แกน z โดยมีจุดเริ่มต้นทางแกน z หรือ z_0 อยู่ที่ 6.20 เมตร และหนาไป จนถึงค่า z_1 เท่ากับ 6.30 เมตร แล้วจึงกำหนดให้วัตถุที่สร้างขึ้นมามีพื้นผิวเป็นอะไร ในที่นี้ กำหนดให้เป็น WALL ซึ่งได้ประกาศคุณสมบัติวัสดุ WALL ไว้ก่อนหน้านี้แล้ว

&HOLE XB= -0.11,0.01, -0.01,1.51, 0.00,3.15 / exit left Door

&HOLE XB= 32.09,32.21, -0.01,1.51, 0.00,3.15 / exit right Door

&HOLE XB= -0.01, 0.91, 1.49,1.61, 0.00,2.50/ Door 1

&HOLE XB= 5.04,5.96, 1.49,1.61, 0.00,2.50/ Door 2

&HOLE XB= 10.09,10.92, 1.49,1.61, 0.00,2.50/ Door 3

&HOLE XB= 20.91,22.01, 1.49,1.61, 0.00,2.50 / Door 4

&HOLE XB= 25.96,27.06, 1.49,1.61, 0.00,2.50/ Door 5

&HOLE XB= 31.19,32.11, 1.49,1.61, 0.00,2.50 / Door 6

&HOLE XB= 0.80,1.70, 5.50,5.60, 0.80,2.00 / windowL1 -1st

&HOLE XB= 3.30,4.20, 5.50,5.60, 0.80,2.00 / windowR1 -1st

&HOLE XB= 5.85,6.75, 5.50,5.60, 0.80,2.00 / windowL2 -1st

&HOLE XB= 8.35,9.25, 5.50,5.60, 0.80,2.00 / windowR2 -1st

&HOLE XB= 10.90,11.80, 5.50,5.60, 0.80,2.00 / windowL3 -1st

&HOLE XB= 13.40,14.30, 5.50,5.60, 0.80,2.00 / windowR2 -1st

&HOLE XB= 17.85,18.75, 5.50,5.60, 0.80,2.00 / windowL4 -1st

&HOLE XB= 20.35,21.25, 5.50,5.60, 0.80,2.00 / windowR4 -1st

&HOLE XB= 22.90,23.80, 5.50,5.60, 0.80,2.00 / windowL5 -1st

&HOLE XB= 25.40,26.30, 5.50,5.60, 0.80,2.00 / windowR5 -1st

&HOLE XB= 27.95,28.85, 5.50,5.60, 0.80,2.00 / windowL6 -1st

&HOLE XB= 30.45,31.35, 5.50,5.60, 0.80,2.00 / windowR6 -1st

&HOLE XB= -0.01, 0.91, 1.49, 1.61, 3.15, 5.65/ Door 1 -2 nd
 &HOLE XB= 5.04, 5.96, 1.49, 1.61, 3.15, 5.65 / Door 2 - 2 nd
 &HOLE XB= 10.09, 10.92, 1.49, 1.61, 3.15, 5.65/ Door 3 - 2nd
 &HOLE XB= 20.91, 22.01, 1.49, 1.61, 3.15, 5.65 / Door 4 - 2nd
 &HOLE XB= 25.96, 27.06, 1.49, 1.61, 3.15, 5.65 / Door 5 - 2nd
 &HOLE XB= 31.19, 32.11, 1.49, 1.61, 3.15, 5.65 / Door 6 - 2nd
 &HOLE XB= 0.80, 1.70, 5.50, 5.60, 3.95, 5.15 / windowL1 -2nd
 &HOLE XB= 3.30, 4.20, 5.50, 5.60, 3.95, 5.15 / windowR1 -2nd
 &HOLE XB= 5.85, 6.75, 5.50, 5.60, 3.95, 5.15 / windowL2 -2nd
 &HOLE XB= 8.35, 9.25, 5.50, 5.60, 3.95, 5.15 / windowR2 -2nd
 &HOLE XB= 10.90, 11.80, 5.50, 5.60, 3.95, 5.15 / windowL3 -2nd
 &HOLE XB= 13.40, 14.30, 5.50, 5.60, 3.95, 5.15 / windowR2 -2nd
 &HOLE XB= 17.85, 18.75, 5.50, 5.60, 3.95, 5.15 / windowL4 -2nd
 &HOLE XB= 20.35, 21.25, 5.50, 5.60, 3.95, 5.15 / windowR4 -2nd
 &HOLE XB= 22.90, 23.80, 5.50, 5.60, 3.95, 5.15 / windowL5 -2nd
 &HOLE XB= 25.40, 26.30, 5.50, 5.60, 3.95, 5.15 / windowR5 -2nd
 &HOLE XB= 27.95, 28.85, 5.50, 5.60, 3.95, 5.15 / windowL6 -2nd
 &HOLE XB= 30.45, 31.35, 5.50, 5.60, 3.95, 5.15 / windowR6 -2nd
 &HOLE XB= -0.01, 0.91, 1.49, 1.61, 6.30, 8.80/ Door 1 - 3rd
 &HOLE XB= 5.04, 5.96, 1.49, 1.61, 6.30, 8.80 / Door 2 - 3rd
 &HOLE XB= 10.09, 10.92, 1.49, 1.61, 6.30, 8.80 / Door 3 - 3rd
 &HOLE XB= 20.91, 22.01, 1.49, 1.61, 6.30, 8.80 / Door 4 - 3rd
 &HOLE XB= 25.96, 27.06, 1.49, 1.61, 6.30, 8.80 / Door 5 - 3rd
 &HOLE XB= 31.19, 32.11, 1.49, 1.61, 6.30, 8.80 / Door 6 - 3rd
 &HOLE XB= 0.80, 1.70, 5.50, 5.60, 7.10, 8.30/ windowL1 -3rd
 &HOLE XB= 3.30, 4.20, 5.50, 5.60, 7.10, 8.30 / windowR1 -3rd
 &HOLE XB= 5.85, 6.75, 5.50, 5.60, 7.10, 8.30 / windowL2 -3rd
 &HOLE XB= 8.35, 9.25, 5.50, 5.60, 7.10, 8.30 / windowR2 -3rd
 &HOLE XB= 10.90, 11.80, 5.50, 5.60, 7.10, 8.30 / windowL3 -3rd
 &HOLE XB= 13.40, 14.30, 5.50, 5.60, 7.10, 8.30 / windowR2 -3rd

&HOLE XB= 17.85,18.75, 5.50,5.60, 7.10,8.30 / windowL4 -3rd

&HOLE XB= 20.35,21.25, 5.50,5.60, 7.10,8.30 / windowR4 -3rd

&HOLE XB= 22.90,23.80, 5.50,5.60, 7.10,8.30 / windowL5 -3rd

&HOLE XB= 25.40,26.30, 5.50,5.60, 7.10,8.30 / windowR5 -3rd

&HOLE XB= 27.95,28.85, 5.50,5.60, 7.10,8.30 / windowL6 -3rd

&HOLE XB= 30.45,31.35, 5.50,5.60, 7.10,8.30 / windowR6 -3rd

คำสั่ง HOLE นั้นจะใช้ในการทำวัตถุที่สร้างไว้แล้วจากOBSTให้เป็นรู เช่นทำเป็นช่องทางออก หรือ
ช่องหน้าต่าง การกำหนดขนาดต่างๆ ก็กำหนดเป็นระบบพิกัด $x_0, x_1, y_0, y_1, z_0, z_1$

The fire as an burner.

&OBST XB= 25.50,26.00, 5.00,5.50, 6.30,6.80, SURF_ID='INERT' /

&VENT XB= 25.50,26.00, 5.00,5.50, 6.80,6.80, SURF_ID='FIRE',

EVACUATION=.FALSE. /

ชุดคำสั่ง 2 ชุดนี้เป็นการกำหนดตำแหน่งของเชื้อเพลิง ชนิดของเชื้อเพลิง และตัวที่ทำให้เกิดเพลิงไหม้
ที่ชื่อ FIRE ที่ได้กำหนดคุณสมบัติไว้แล้วก่อนหน้านี้

Evacuation geometry input.

Fire geometry holes should be duplicated, if they are also wanted

to show up in the evacuation geometry.

&HOLE XB= -0.11,0.01, -0.01,1.51, 0.00,3.15, EVACUATION=.TRUE./ left exit

&HOLE XB= 21.59, 21.71, -0.01, 1.51, 0.00, 3.15, EVACUATION=.TRUE./ right exit

&HOLE XB= -0.01, 0.91, 1.49,1.71, 0.00,2.50, EVACUATION=.TRUE./ Door 1

&HOLE XB= 5.04,5.96, 1.49,1.71, 0.00,2.50 , EVACUATION=.TRUE./ Door 2

&HOLE XB= 10.09,10.92, 1.49,1.71, 0.00,2.50 , EVACUATION=.TRUE./ Door 3

&HOLE XB= 20.91,22.01, 1.49,1.71, 0.00,2.50, EVACUATION=.TRUE./ Door 4

&HOLE XB= 25.96,27.06, 1.49,1.71, 0.00,2.50, EVACUATION=.TRUE./ Door 5

&HOLE XB= 31.19,32.11, 1.49,1.71, 0.00,2.50, EVACUATION=.TRUE./ Door 6

&HOLE XB= -0.01,0.91, 1.49,1.71, 3.15,5.65, EVACUATION=.TRUE./ Door 1 -2 nd

&HOLE XB= 5.04,5.96, 1.49,1.71, 3.15,5.65, EVACUATION=.TRUE./ Door 2 - 2 nd

&HOLE XB= 10.09,10.92, 1.49,1.71, 3.15,5.65, EVACUATION=.TRUE./ Door 3 - 2nd

&HOLE XB= 20.91,22.01, 1.49,1.71, 3.15,5.65, EVACUATION=.TRUE./ Door 4 - 2nd
 &HOLE XB= 25.96,27.06, 1.49,1.71, 3.15,5.65, EVACUATION=.TRUE./ Door 5 - 2nd
 &HOLE XB= 31.19,32.11, 1.49,1.71, 3.15,5.65, EVACUATION=.TRUE./ Door 6 - 2nd
 &HOLE XB= -0.01,0.91, 1.49,1.71, 6.30,8.80, EVACUATION=.TRUE./ Door 1 - 3rd
 &HOLE XB= 5.04,5.96, 1.49,1.71, 6.30,8.80, EVACUATION=.TRUE./ Door 2 - 3rd
 &HOLE XB= 10.09,10.92, 1.49,1.71, 6.30,8.80, EVACUATION=.TRUE./ Door 3 - 3rd
 &HOLE XB= 21.19,22.01, 1.49,1.71, 6.30,8.80, EVACUATION=.TRUE./ Door 4 - 3rd
 &HOLE XB= 25.96,27.06, 1.49,1.71, 6.30,8.80, EVACUATION=.TRUE./ Door 5 - 3rd
 &HOLE XB= 31.19,32.11,1.49,1.71,6.30,8.80, EVACUATION=.TRUE./ Door 6 - 3rd

ชุดคำสั่งHOLEที่ได้ประกาศไปแล้วก่อนหน้านี้เป็นการประกาศเพื่อต้องการเจาะช่อง
 ให้วัตถุที่ได้สร้างขึ้นมาแต่ HOLE ในชุดคำสั่งนี้เป็นการประกาศเพื่อต้องการให้ช่องที่ได้เจาะไว้
 สามารถอพยพหรือเคลื่อนย้ายผ่านช่องนั้นไปได้ โดยการประกาศให้เหมือนกับชุดคำสั่งเดิม
 เพียงแต่จะเพิ่มคำสั่ง EVACUATION=.TRUE. เข้าไปเพื่อให้คนที่อยู่ในโปรแกรมสามารถรู้ว่าช่อง
 ที่เจาะเอาไว้สามารถเคลื่อนผ่านไปได้

Define the evacuation vents for the main evacuation meshes, there
 should be an evacuation vent at every place, where humans can
 go 'inside' some door, exit, etc object.

This vent is not at an outer boundary of the domain nor at a solid
 object, thus, there should be an OBST behind it.

Left Exit, 1st Floor:

&VENT XB= -0.10,-0.10, 0.00,1.50, 1.0,1.2, SURF_ID='OUTFLOW',
 MESH_ID='MainEvacGrid', EVACUATION=.TRUE., RGB=0,0,255 /

Right Exit, 1st Floor:

&VENT XB= 32.20,32.20, 0.00,1.50, 1.0,1.2, SURF_ID='OUTFLOW',
 MESH_ID='MainEvacGrid', EVACUATION=.TRUE., RGB=0,0,255 /

Fire Exit

&VENT XB= 15.15,16.05, 5.30,5.30, 1.0,1.2, SURF_ID='OUTFLOW',
 MESH_ID='MainEvacGrid', EVACUATION=.TRUE., COLOR='RED' /

```
&VENT XB= 15.15,16.05, 5.30,5.30 ,4.15,4.35, SURF_ID='INERT',
MESH_ID='MainEvacGrid2', EVACUATION=.TRUE., COLOR='RED' /
&VENT XB= 16.05,16.95, 5.30,5.30 ,4.15,4.35, SURF_ID='OUTFLOW',
MESH_ID='MainEvacGrid2', EVACUATION=.TRUE., COLOR='BLUE' /
&VENT XB= 16.05,16.95, 5.30,5.30 ,6.70,8.10, SURF_ID='OUTFLOW',
MESH_ID='MainEvacGrid3', EVACUATION=.TRUE., COLOR='BLUE' /
```

สำหรับในคำสั่งชุดนี้จะใช้ในกรณีที่มีการประกาศให้คนในโปรแกรมทราบว่า มีทางออก หรือช่องทางออกแต่ละทางอยู่ที่ใดบ้างและอยู่ที่ชั้นไหน ตำแหน่งไหน โดยการประกาศชื่อตามที่เคยตั้งไว้ในตอนแรกที่ชุดคำสั่ง MESH ซึ่งคำสั่ง VENT จะเป็นเหมือนสัญลักษณ์ทำให้ทราบว่าเราได้กำหนดตำแหน่งของช่องทางไว้ที่ใดบ้าง ตามพิกัดที่เรากำหนด ซึ่งสามารถกำหนดสีได้ และยังบอกให้ทราบว่าช่องทางนั้นเป็นทางออกหรือทางเข้า ตามชุดคำสั่ง SURF_ID ถ้าหากเป็น OUTFLOW ก็หมายถึงสามารถผ่านช่องทางนั้นไปได้ แต่ถ้าเป็น INERT แสดงว่าเป็นทางเข้าไม่สามารถออกไปได้

```
&DOOR ID='STAIR3_IN', IOR = +2,
FYI = 'Comment line',
COLOR_INDEX=4,
EXIT_SIGN=.TRUE.,
TO_NODE='STAIR2_OUT',
VENT_FFIELD='MainEvacGrid3',
XYZ= 16.5, 5.3, 6.7,
XB = 16.05,16.95, 5.30,5.50, 6.70,6.70, /
&ENTR ID='STAIR2_OUT',IOR=-2,
FYI='Comment line',
FLOW_FIELD_ID = 'MainEvacGrid2',
PERS_ID = 'Average',
XB=15.15,16.05, 5.30,5.50 ,4.15,4.35 ,
MAX_FLOW = 0.0 /
&DOOR ID='STAIR2_IN', IOR = +2,
```

```

FYI = 'Comment line',
COLOR_INDEX=4,
EXIT_SIGN=.TRUE.,
TO_NODE='STAIR1_OUT',
VENT_FFIELD='MainEvacGrid2',
XYZ= 16.5, 5.3 4.15,
XB = 16.05,16.95, 5.30,5.50, 4.15,4.15, /
&ENTR ID='STAIR1_OUT', IOR = -2,
FYI = 'Comment line',
FLOW_FIELD_ID = 'MainEvacGrid',
PERS_ID = 'Average',
XB = 15.15,16.05, 5.30,5.50, 1.0,1.0,
MAX_FLOW = 0.0 /

```

คำสั่งชุด DOOR และ ENTRANCE นั้นเป็นคำสั่งสำหรับใช้เป็นทางออกและทางเข้า ซึ่งเมื่อกำหนดให้รู้จักทางออกคือ DOOR แล้วเมื่อคนเข้าไปใน DOOR ก็จะสามารถกำหนดให้ไปออกที่ ENTR ใดๆ ได้ตามที่เรากำหนด โดยเราต้องตั้งชื่อให้กับแต่ละ DOOR และแต่ละ ENTR ก่อนเพื่อให้ทราบว่าแต่ละทางออกนั้นอยู่ที่ตำแหน่งไหน จากนั้นก็กำหนดทิศทางการเคลื่อนที่ ซึ่งหากเป็น DOOR จะต้องกำหนดทิศทางก่อนจะเข้า DOOR เช่นหาก DOOR นั้นอยู่ในตำแหน่ง y ใดๆ การที่คนจะไปหา DOOR นั้นคนในโปรแกรมต้องเคลื่อนที่ขึ้น ก็จะต้องกำหนดค่า IOR = +2 เนื่องจากเครื่องหมาย +,- คือทิศทางไปตามแกน ส่วนตัวเลขจะมี 2 ตัว เลข 1 แทนแกน x เลข 2 แทนแกน y จากนั้นต้องประกาศ EXIT_SIGN=.TRUE. ให้คนในโปรแกรมได้ทราบว่าสามารถออกไปได้ และเมื่อผ่านเข้าประตูไปแล้วจะต้องกำหนดให้ไปออกยังทางออกที่กำหนด คือ ENTR และสุดท้ายคือขนาดและตำแหน่งของทางออกที่กำหนด ส่วน ENTR เป็นส่วนที่ออกมาจาก DOOR ซึ่งต้องกำหนดทิศทางเหมือนกันแต่จะเป็นทิศทางที่คิดจากทางออก ออกไป เช่น หาก ENTR นั้นมีตำแหน่งอยู่ที่ y ใดๆ หากต้องการที่คนออกจาก ENTR เคลื่อนที่ลง ก็จะต้องกำหนดค่า IOR = -2

An exit namelist defines an exit door which takes humans out of the calculation.

```
&EXIT ID='LeftExit', IOR=-1,
```

```

FYI= 'Comment line',
VENT_FFIELD= 'LeftExitGrid',
XYZ= 0.00, 0.70, 1.00,
XB= -0.10,0.00, 0.0,1.5, 1.0,1.2/
&VENT XB= 0.00,0.00, 0.0,1.5, 0.0,1.5, SURF_ID= 'OUTFLOW',
MESH_ID= 'LeftExitGrid', EVACUATION= .TRUE./ Left Exit Fan
&EXIT ID= 'RightExit', IOR= +1,
FYI= 'Comment line',
VENT_FFIELD= 'RightExitGrid',
XYZ= 32.1, 0.70, 1.00,
XB= 32.10,32.20, 0.0,1.5, 1.0,1.2/
&VENT XB= 32.10,32.10, 0.0,1.5, 0.40,1.6, SURF_ID= 'OUTFLOW',
MESH_ID= 'RightExitGrid', EVACUATION= .TRUE./ Right Exit Fan

```

สำหรับชุดคำสั่งEXITนั้นจะใช้งานเหมือนกับชุดคำสั่งDOOR คือมีการกำหนดชื่อทางออก ขนาด ตำแหน่ง แต่EXITจะเป็นทางออกสุดท้าย

Next is just a counter.

```

&EXIT ID= 'RightCounter', IOR= +1,
FYI= 'Comment line',
COUNT_ONLY= .TRUE.,
XB= 31.00,31.00, 0.0,1.6, 1.0,1.2/

```

ส่วนในชุดคำสั่ง EXIT นี้จะเป็นการกำหนดให้มีตัวนับคนที่ทางออกแต่ละทาง ที่ตำแหน่งที่กำหนดขึ้นมาใหม่

Evacuation calculation, human properties

```

&PERS ID= 'Adult',
FYI= 'Male+Female diameter and velocity',
DEFAULT_PROPERTIES= 'Adult',
PRE_EVAC_DIST= 1,

```

```

PRE_MEAN=20.0,PRE_LOW=15.0,PRE_HIGH=25.0,
DET_EVAC_DIST=1,
DET_MEAN=20.0,DET_LOW=15.00,DET_HIGH=25.0,
DENS_INIT= 4.0,
COLOR_METHOD = 0 /
&PERS ID='Male',
FYI='Male diameter and velocity',
DEFAULT_PROPERTIES='Male',
PRE_EVAC_DIST=1,
PRE_MEAN=20.0,PRE_LOW=15.00,PRE_HIGH=25.0,
DET_EVAC_DIST=1,
DET_MEAN=20.0,DET_LOW=15.00,DET_HIGH=25.0 /
&PERS ID='Female',
FYI='Female diameter and velocity',
DEFAULT_PROPERTIES='Female',
PRE_EVAC_DIST=1,
PRE_MEAN=20.0,PRE_LOW=15.00,PRE_HIGH=25.0,
DET_EVAC_DIST=1,
DET_MEAN=20.0,DET_LOW=15.00,DET_HIGH=25.0 /
&PERS ID='Child',
FYI='Child diameter and velocity',
DEFAULT_PROPERTIES='Child',
PRE_EVAC_DIST=1,
PRE_MEAN=20.0,PRE_LOW=15.00,PRE_HIGH=25.0,
DET_EVAC_DIST=1,
DET_MEAN=20.0,DET_LOW=15.00,DET_HIGH=25.0 /
&PERS ID='Elderly',
FYI='Elderly diameter and velocity',
DEFAULT_PROPERTIES='Elderly',
PRE_EVAC_DIST=1,

```

PRE_MEAN=20.0,PRE_LOW=15.00,PRE_HIGH=25.0,
 DET_EVAC_DIST=1,
 DET_MEAN=20.0,DET_LOW=15.00,DET_HIGH=25.0 /

ชุดคำสั่งPER เป็นการประกาศคุณสมบัติของคนที่จะกำหนดให้อยู่ในโมเดล ซึ่งจะมีอยู่ 5 ประเภทคือ Adult, Male, Female, Child, Elderly และสามารถกำหนดเวลาที่คนแต่ละวัยจะสามารถรับรู้ถึงเหตุการณ์เพลิงไหม้ ซึ่งมีทั้งเวลาที่รับรู้เร็วที่สุด (DET_LOW) ช้าที่สุด (DET_HIGH) และเวลาปกติ (DET_MEAN) นอกจากนั้นยังสามารถกำหนดเวลาเริ่มต้นอพยพได้ซึ่งมีทั้งเวลาที่จะเริ่มอพยพเร็วที่สุด (PRE_LOW) ช้าที่สุด (PRE_HIGH) และเวลาปกติ (PRE_MEAN) ซึ่งเวลาทั้งหมดมีหน่วยเป็นวินาที

Initial positions of the humans

1st Floor:

&EVAC ID = 'HumanLeftDoorsKnown',

NUMBER_INITIAL_PERSONS =30,

XB = 0.00,4.95, 1.6,5.5, 1.00,1.20

KNOWN_DOOR_NAMES = 'LeftExit',

KNOWN_DOOR_PROBS = 1.0,

QUANTITY = 'GREEN',

PERS_ID = 'Child' / room1 - 1st

&EVAC ID = 'HumanLeftDoorsKnown',

NUMBER_INITIAL_PERSONS =30,

XB = 5.05,10.00, 1.6,5.5, 1.00,1.20

KNOWN_DOOR_NAMES = 'LeftExit',

KNOWN_DOOR_PROBS = 1.0,

QUANTITY = 'GREEN',

PERS_ID = 'Child' / room2 - 1st

&EVAC ID = 'HumanLeftDoorsKnown',

NUMBER_INITIAL_PERSONS =30,

XB = 10.10,15.05, 1.6,5.5, 1.00,1.20

KNOWN_DOOR_NAMES = 'LeftExit',
 KNOWN_DOOR_PROBS = 1.0,
 QUANTITY = 'GREEN',
 PERS_ID = 'Child' / room3 - 1st
 &EVAC ID = 'HumanRightDoorsKnown',
 NUMBER_INITIAL_PERSONS = 30,
 XB = 17.05,22.00, 1.6,5.5, 1.00,1.20
 KNOWN_DOOR_NAMES = 'RightExit',
 KNOWN_DOOR_PROBS = 1.0,
 QUANTITY = 'YELLOW',
 PERS_ID = 'Child' / room4 - 1st
 &EVAC ID = 'HumanRightDoorsKnown',
 NUMBER_INITIAL_PERSONS = 30,
 XB = 22.10,27.05, 1.6,5.5, 1.00,1.20
 KNOWN_DOOR_NAMES = 'RightExit',
 KNOWN_DOOR_PROBS = 1.0,
 QUANTITY = 'YELLOW',
 PERS_ID = 'Child' / room5 - 1st
 &EVAC ID = 'HumanRightDoorsKnown',
 NUMBER_INITIAL_PERSONS = 30,
 XB = 27.15,32.10, 1.6,5.5, 1.00,1.20
 KNOWN_DOOR_NAMES = 'RightExit',
 KNOWN_DOOR_PROBS = 1.0,
 QUANTITY = 'YELLOW',
 PERS_ID = 'Child' / room6 - 1st

-----FL 1st-----

2nd Floor:

&EVAC ID = 'HumanLeftDoorsKnown',
 NUMBER_INITIAL_PERSONS = 30,
 XB = 0.00,4.95, 1.6,5.5, 3.55,4.95

KNOWN_DOOR_NAMES = 'LeftExit',
 KNOWN_DOOR_PROBS = 1.0,
 QUANTITY = 'RED',
 PERS_ID = 'Child' / room1 - 2nd
 &EVAC ID = 'HumanLeftDoorsKnown',
 NUMBER_INITIAL_PERSONS = 30,
 XB = 5.05,10.00, 1.6,5.5, 3.55,4.95
 KNOWN_DOOR_NAMES = 'LeftExit',
 KNOWN_DOOR_PROBS = 1.0,
 QUANTITY = 'RED',
 PERS_ID = 'Child' / room2 - 2nd
 &EVAC ID = 'HumanLeftDoorsKnown',
 NUMBER_INITIAL_PERSONS = 30,
 XB = 10.10,15.05, 1.6,5.5, 3.55,4.95
 KNOWN_DOOR_NAMES = 'LeftExit',
 KNOWN_DOOR_PROBS = 1.0,
 QUANTITY = 'RED',
 PERS_ID = 'Child' / room3 - 2nd
 &EVAC ID = 'HumanBothDoorsKnown',
 NUMBER_INITIAL_PERSONS = 30,
 XB = 17.05,22.00, 1.6,5.5, 3.55,4.95
 KNOWN_DOOR_NAMES = 'LeftExit',RightExit',
 KNOWN_DOOR_PROBS = 0.5,1.0,
 QUANTITY = 'BLACK',
 PERS_ID = 'Child' / room4 - 2nd
 &EVAC ID = 'HumanBothDoorsKnown',
 NUMBER_INITIAL_PERSONS = 30,
 XB = 22.10,27.05, 1.6,5.5, 3.55,4.95
 KNOWN_DOOR_NAMES = 'LeftExit',RightExit',
 KNOWN_DOOR_PROBS = 0.5,1.0,

QUANTITY = 'BLACK',

PERS_ID = 'Child' / room5 - 2nd

&EVAC ID = 'HumanBothDoorsKnown',

NUMBER_INITIAL_PERSONS = 30,

XB = 27.15,32.10, 1.6,5.5, 3.55,4.95

KNOWN_DOOR_NAMES = 'LeftExit','RightExit',

KNOWN_DOOR_PROBS = 0.5,1.0,

QUANTITY = 'BLACK',

PERS_ID = 'Child' / room6 - 2nd

-----FL 2nd-----

&EVAC ID = 'HumanBothDoorsKnown',

NUMBER_INITIAL_PERSONS = 4,

XB = 0.00,4.95, 1.6,5.5, 6.70,8.10

KNOWN_DOOR_NAMES = 'LeftExit','RightExit',

KNOWN_DOOR_PROBS = 1.0,1.0,

QUANTITY = 'BLUE',

PERS_ID = 'Female' / room1 - 3rd

&EVAC ID = 'HumanBothDoorsKnown',

NUMBER_INITIAL_PERSONS = 4,

XB = 5.05,10.00, 1.6,5.5, 6.70,8.10

KNOWN_DOOR_NAMES = 'LeftExit','RightExit',

KNOWN_DOOR_PROBS = 1.0,1.0,

QUANTITY = 'BLUE',

PERS_ID = 'Female' / room2 - 3rd

&EVAC ID = 'HumanBothDoorsKnown',

NUMBER_INITIAL_PERSONS = 4,

XB = 10.10,15.05, 1.6,5.5, 6.70,8.10

KNOWN_DOOR_NAMES = 'LeftExit','RightExit',

KNOWN_DOOR_PROBS = 1.0,1.0,

QUANTITY = 'BLUE',

PERS_ID = 'Female' / room3 - 3rd
 &EVAC ID = 'HumanBothDoorsKnown',
 NUMBER_INITIAL_PERSONS = 4,
 XB = 17.05,22.00, 1.6,5.5, 6.70,8.10
 KNOWN_DOOR_NAMES = 'LeftExit','RightExit',
 KNOWN_DOOR_PROBS = 0.5,1.0,
 QUANTITY = 'BLUE',
 PERS_ID = 'Female' / room4 - 3rd
 &EVAC ID = 'HumanBothDoorsKnown',
 NUMBER_INITIAL_PERSONS = 4,
 XB = 22.10,27.05, 1.6,5.5, 6.70,8.10
 KNOWN_DOOR_NAMES = 'LeftExit','RightExit',
 KNOWN_DOOR_PROBS = 0.5,1.0,
 QUANTITY = 'BLUE',
 PERS_ID = 'Male' / room5 - 3rd
 &EVAC ID = 'HumanBothDoorsKnown',
 NUMBER_INITIAL_PERSONS = 4,
 XB = 27.15,32.10, 1.6,5.5, 6.70,8.10
 KNOWN_DOOR_NAMES = 'LeftExit','RightExit',
 KNOWN_DOOR_PROBS = 0.5,1.0,
 QUANTITY = 'BLUE',
 PERS_ID = 'Female' / room6 - 3rd

-----FL 3rd-----

ชุดคำสั่ง EVAC เป็นการกำหนดคนหรือกลุ่มคนว่าจะให้มีชื่ออะไร (คำสั่ง ID) มีจำนวนกี่คน (คำสั่ง NUMBER_INITIAL_PERSONS) ในขอบเขตนี้หรือจะกำหนดให้มี1คนอยู่ที่พิกัดนี้ (คำสั่ง XB) และคนนั้นหรือกลุ่มคนนั้นรู้จักประตูใดบ้างในโมเดล (คำสั่ง KNOWN_DOOR_NAMES) และมีความคุ้นเคยมากน้อยเพียงไร (คำสั่ง KNOWN_DOOR_PROBS) ซึ่งค่านี้จะกำหนดโดยใช้ค่าความน่าจะเป็น และยังสามารถกำหนดคสีเพื่อให้คนหรือกลุ่มคนนั้นได้ (คำสั่ง QUANTITY) จากนั้นจะเป็นการกำหนดว่าจะให้คนหรือกลุ่มคนนั้นเป็นประเภทใด (คำสั่ง PERS_ID) ใน5ประเภท

An evacuation hole, e.g., do not put humans on top of the fire.

&EVHO ID = 'Evho_Fire',

FYI = 'Do not put humans close to the fire',

XB= 25.50,26.00, 5.00,5.50, 6.70,8.10 /

ชุดคำสั่ง EVHO นี้เป็นการประกาศไม่ให้คนในโปรแกรมสามารถเข้าไปหรือผ่านบริเวณนั้นได้

&BNDF QUANTITY='WALL_TEMPERATURE' /

&SLCF PBX=2.40, QUANTITY='TEMPERATURE' /

&SLCF PBZ = 1.000, QUANTITY = 'VELOCITY', VECTOR = .TRUE. /

&SLCF PBZ = 3.600, QUANTITY = 'VELOCITY', VECTOR = .TRUE. /

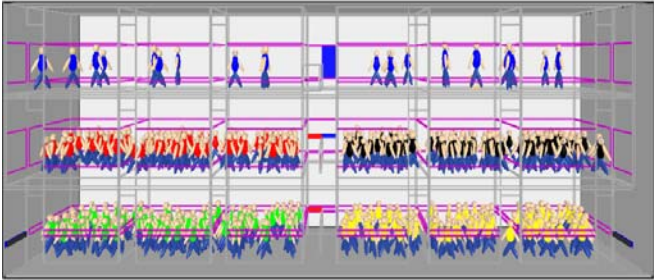
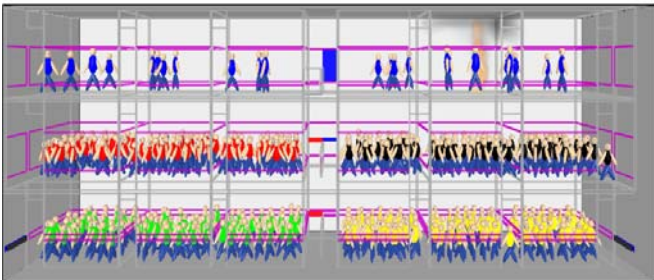
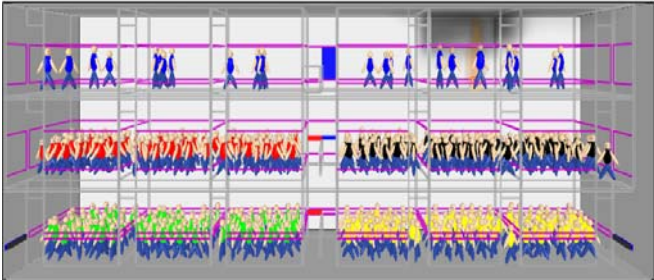
คำสั่ง SLCF เป็นการกำหนดการแสดงผลในรูปแบบต่างๆ เช่นความเร็ว (QUANTITY = VELOCITY) ที่ระนาบที่กำหนดไว้เช่น PBZ = 3.600 คือแสดงผลในแนวแกน Z ที่ระดับ 3.60 เมตร

&TAIL / เป็นคำสั่งสิ้นสุดที่ใช้เมื่อเสร็จสิ้นการสร้าง Input file ของโมเดลนั้นๆ

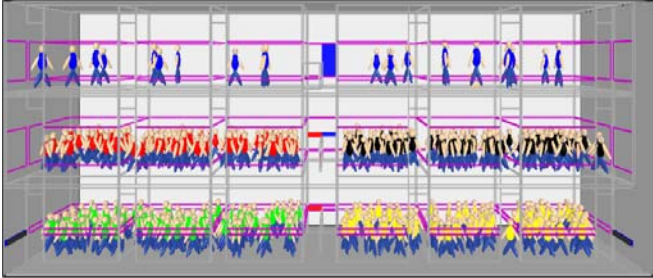
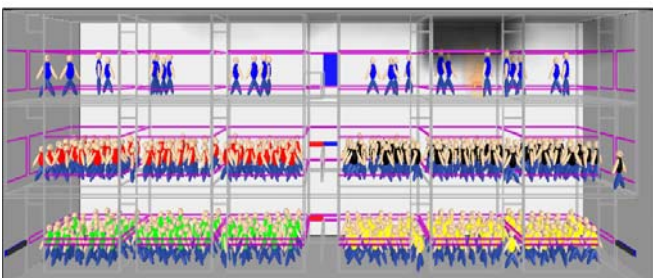
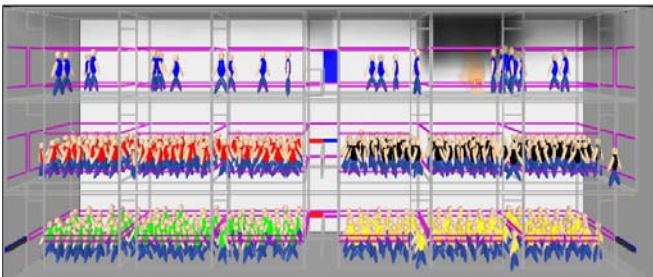
ภาคผนวก ค

แบบจำลองกรณีที่กำหนดเวลาในการเริ่มอพยพไม่พร้อมกันในแต่ละชั้น

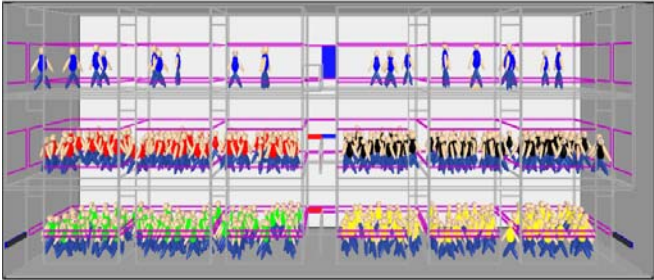
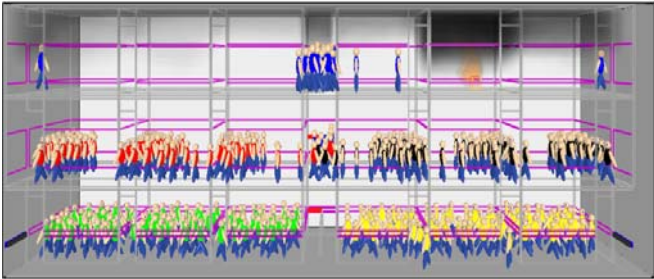
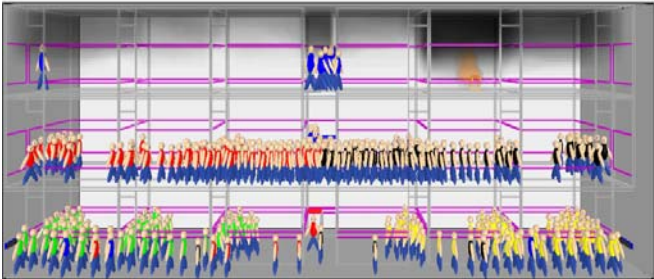
ตารางผนวกที่ ค1 ผลการจำลองสถานการณ์เพลิงไหม้และอพยพกรณีกำหนดเวลาในการเริ่มอพยพ
ไม่พร้อมกันในแต่ละชั้น กำหนดให้มีผู้อพยพจำนวน 384 คน

ภาพแสดงสถานการณ์เพลิงไหม้และการอพยพ	เวลา (วินาที)	คำอธิบาย
 Frame: 1 Time: 0.0	0	สถานการณ์ปกติ ยังไม่เกิด เพลิงไหม้
 Frame: 12 Time: 5.0	5	มีเพลิงไหม้เกิดขึ้นที่บริเวณ ห้องพักรูบนชั้นที่ 3 ห้อง กลางด้านซ้ายของอาคาร
 Frame: 37 Time: 14.0	15	ผู้ที่อยู่ในอาคารบางคนเริ่ม รับรู้ถึงสิ่งผิดปกติที่เกิดขึ้น

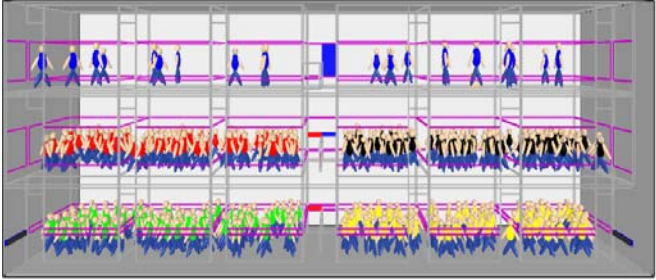
ตารางผนวกที่ ค1 (ต่อ)

ภาพแสดงสถานการณ์เพลิงไหม้และการอพยพ	เวลา (วินาที)	คำอธิบาย
 Frame: 1 Time: 0:0	30	ภาพด้านบน กลุ่มควันได้ลอยปกคลุมไปยังระเบียงทางเดินและห้องข้างเคียง
 Frame: 55 Time: 0:0	30	ผู้อพยพบางคนมีการตอบสนองต่อสิ่งผิดปกติที่เกิดขึ้น
 Frame: 91 Time: 4:0	40	ผู้ที่อยู่ในอาคารทำการอพยพออกนอกอาคาร

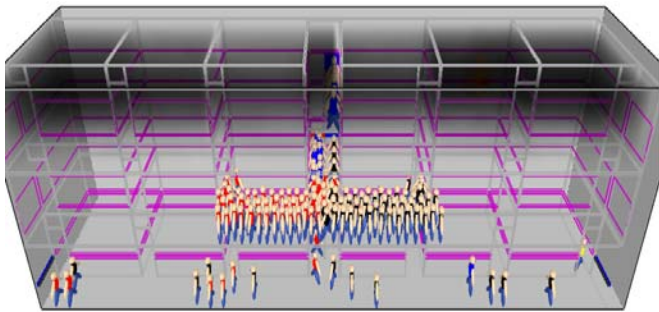
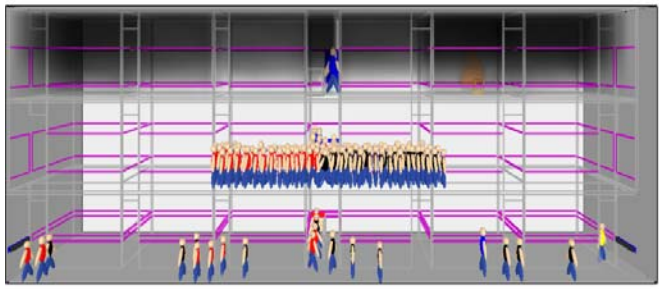
ตารางผนวกที่ ค1 (ต่อ)

ภาพแสดงสถานการณ์เพลิงไหม้และการอพยพ	เวลา (วินาที)	คำอธิบาย
 Frame: 1 Time: 0:0 Frame: 120 Time: 0:0	50	ผู้อพยพที่ชั้นที่ 2 ได้เริ่มอพยพเมื่อผู้อพยพคนแรกที่อยู่ชั้นที่ 3 ได้อพยพลงบันไดไปยังชั้นที่ 2
 Frame: 150 Time: 0:0	60	ผู้อพยพที่อยู่ชั้นที่ 2 ได้เริ่มอพยพออกมายังระเบียงและเคลื่อนไปยังบันได กลุ่มควันได้เพิ่มปริมาณและปกคลุมไปยังระเบียงและห้องข้างเคียง
 Frame: 211 Time: 0:1	80	ผู้อพยพที่อยู่ชั้นที่ 1 ต่างพากันอพยพออกจากห้องและที่บริเวณชั้นที่ 3 ยังมีผู้อพยพที่ยังคงอยู่ในห้อง เกิดการแออัดอย่างมากที่บันไดชั้น 2 มีการเบียดเสียดเพื่อแย่งกันลงบันได

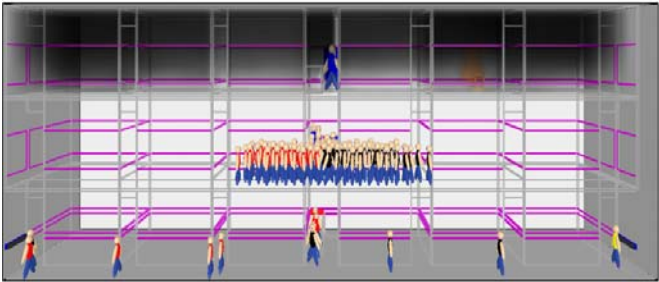
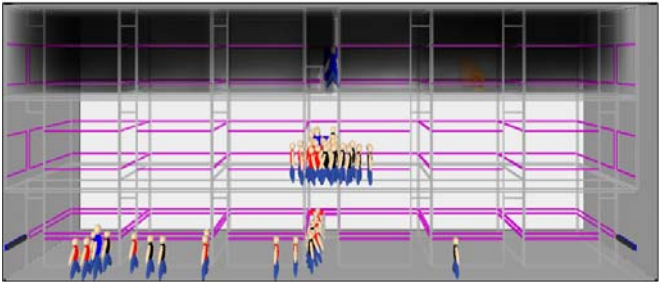
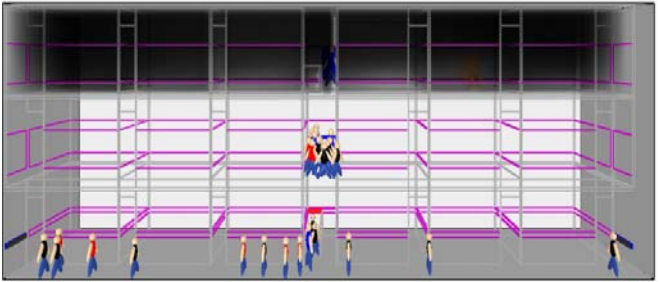
ตารางผนวกที่ ค1 (ต่อ)

ภาพแสดงสถานการณ์เพลิงไหม้และการอพยพ	เวลา (วินาที)	คำอธิบาย
 Frame: 1 Time: 0:0 Frame: 271 Time: 100.1 94 (ผู้พลัด)	100	ภาพด้านบน กลุ่มควันได้ปกคลุมระเบียงชั้นที่ 3 และกระจายเข้าไปยังห้องริมด้านขวาของอาคารและบริเวณบันได
 Frame: 271 Time: 100.1 94 (ผู้พลัด)	100	ผู้อพยพที่บริเวณชั้นที่ 2 ส่วนใหญ่ทำการอพยพออกจากห้องมายังระเบียง
 Frame: 421 Time: 150.1 94 (ผู้พลัด)	150	ยังคงเหลือผู้อพยพคนสุดท้ายที่อยู่ชั้นที่ 1 อีก 1 คนที่ยังคงอยู่ภายในห้อง ส่วนการอพยพที่บริเวณระเบียงที่ชั้น 2 ยังคงแออัด

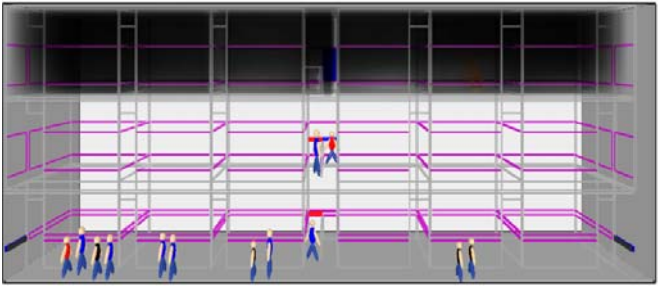
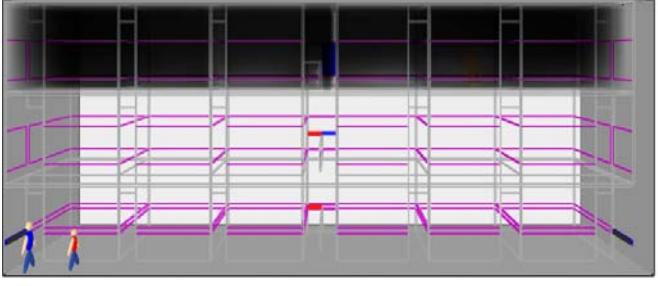
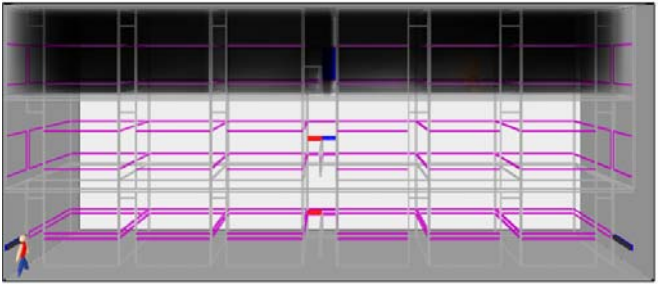
ตารางผนวกที่ ค1 (ต่อ)

ภาพแสดงสถานการณ์เพลิงไหม้และการอพยพ	เวลา (วินาที)	คำอธิบาย
 Frame: 521 Time: 200.0	200	กลุ่มควันได้ปกคลุมทั่วทั้งบริเวณในชั้นที่ 3 ซึ่งเป็นอุปสรรคในการมองเห็นและการเคลื่อนที่ของผู้อพยพ
 Frame: 521 Time: 200.0	200	ผู้อพยพภายในอาคารทยอยเคลื่อนตัวไปตามระเบียงและบันไดเพื่อไปยังทางออกถึงแม้จะมีปริมาณลดลงเรื่อยๆแต่ก็ยังแออัดอยู่
 Frame: 531 Time: 230.0	230	ผู้อพยพที่อยู่ชั้นที่ 3 ที่อยู่บริเวณบันไดชั้น 2 สามารถเบียดผู้อพยพที่ชั้นที่ 2 ลงบันไดมาชั้นที่ 1 ได้บ้าง

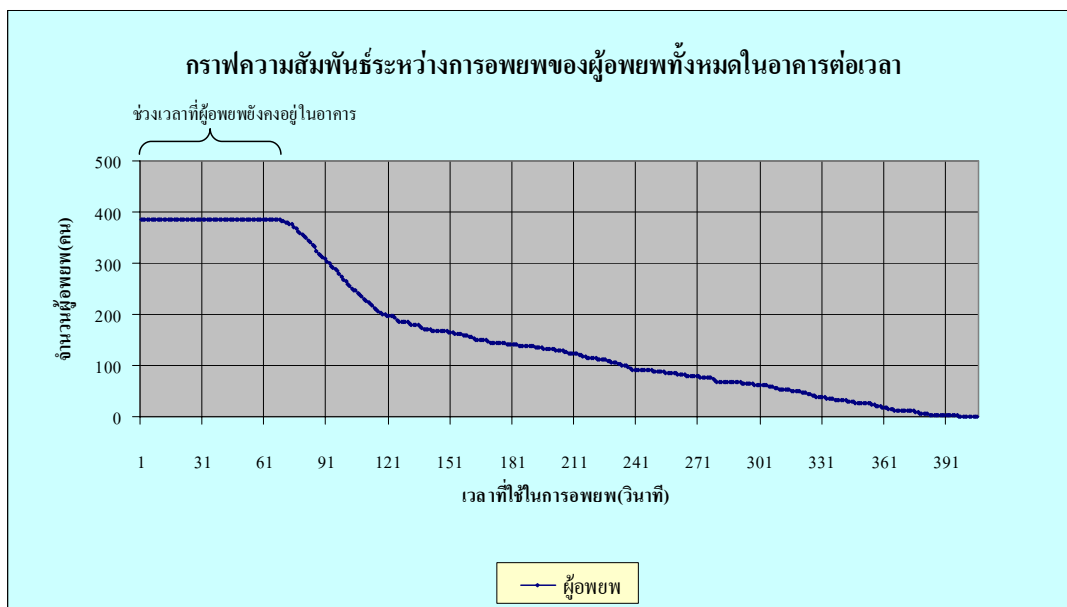
ตารางผนวกที่ ค1 (ต่อ)

ภาพแสดงสถานการณ์เพลิงไหม้และการอพยพ	เวลา (วินาที)	คำอธิบาย
 Frame: 535 Time: 237.0	237	ผู้อพยพคนสุดท้ายที่ชั้นที่ 1 กำลังอพยพออกนอกอาคาร และการอพยพยังคงเป็นไปอย่างต่อเนื่อง ในขณะนี้ผู้อพยพที่ชั้นที่ 2 ก็ลดลงไปมาก
 Frame: 723 Time: 300.0	300	ขณะนี้เหลือผู้อพยพที่บริเวณบันไดและระเบียงชั้นที่ 2 อีกเล็กน้อย
 Frame: 799 Time: 325.0	339	ผู้อพยพคนสุดท้ายที่อยู่ที่ชั้นที่ 3 ได้ลงบันไดมายังชั้นที่ 2

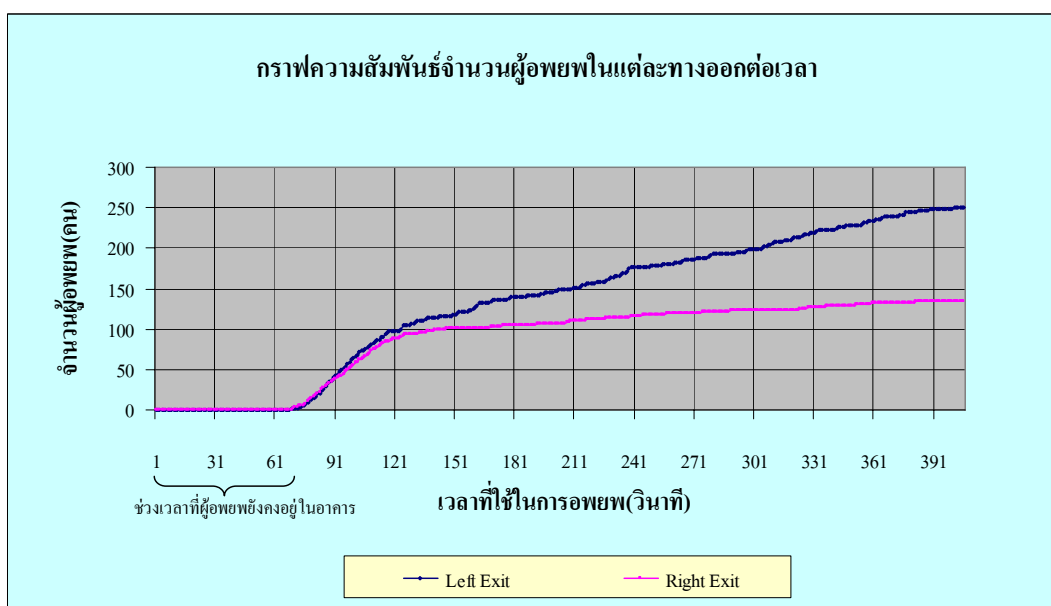
ตารางผนวกที่ ค1 (ต่อ)

ภาพแสดงสถานการณ์เพลิงไหม้และการอพยพ	เวลา (วินาที)	คำอธิบาย
 Frame: 359 Time: 383.0	369	ผู้อพยพคนสุดท้ายของชั้นที่ 2 และชั้นที่ 3 กำลังลงบันไดมายังชั้นที่ 1
 Frame: 310 Time: 254.5	395	ผู้อพยพคนสุดท้ายที่อยู่ชั้นที่ 3 ที่เป็นครูกำลังอพยพไปสู่ทางออกซึ่ง ครูได้เดินแซงเด็กนักเรียนที่ลงมาก่อน
 Frame: 319 Time: 225.0	399	ผู้อพยพคนสุดท้ายกำลังออกจากอาคาร การอพยพสิ้นสุดที่วินาทีที่ 400

กรณีที่กำหนดเวลาในการเริ่มอพยพไม่พร้อมกันในแต่ละชั้น กำหนดให้ผู้อพยพมีจำนวน 384 คน ไม่มีการเปิดหน้าต่าง



ภาพผนวกที่ ค1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการอพยพของผู้อพยพทั้งหมดในอาคารต่อเวลา



ภาพผนวกที่ ค2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนผู้อพยพแต่ละทางออกต่อเวลา

ผลจากการจำลองสถานการณ์เพลิงไหม้และการอพยพที่ได้จากกรณีนี้ ใช้เวลาในการอพยพทั้งสิ้น 400 วินาที ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับกฎหมายประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่อง การป้องกันและระงับอัคคีภัยในสถานประกอบการเพื่อความปลอดภัยในการทำงานสำหรับลูกจ้าง ซึ่งกำหนดไว้ว่า จะต้องอพยพออกจากบริเวณที่ทำงานสู่ทางออกสุดท้ายได้ ภายในเวลาไม่มากกว่า 5 นาที (300 วินาที) นั้น การจำลองการอพยพสำหรับโมเดลนี้เกินกว่ากฎหมายกำหนด และผู้อพยพส่วนใหญ่ทำการอพยพโดยออกทางประตูด้านซ้ายมากกว่าด้านขวา โดยที่ทางออกด้านซ้ายมีจำนวนผู้อพยพเท่ากับ 250 คน และทางออกด้านขวามีจำนวนผู้อพยพ 134 คน โดยการตัดสินใจในการอพยพไปที่ทางออกใดนั้นทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระยะทางจากบันไดถึงทางออก และความคุ้นเคยของผู้อพยพ

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล

นายภูเมศวร์ หิริวัฒนวงศ์

วัน เดือน ปี ที่เกิด

วันที่ 20 กรกฎาคม 2522

สถานที่เกิด

กรุงเทพมหานคร

ประวัติการศึกษา

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา

สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล คลองหก