



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมความปลอดภัย)

ปริญญา

วิศวกรรมความปลอดภัย

วิศวกรรมศาสตร์

สาขา

คณะ

เรื่อง

การประยุกต์โปรแกรมการจำลองด้านพลวัตของไฟและการอพยพ
เพื่อวิเคราะห์ขีดความสามารถของการอพยพบนอาคารขนาดใหญ่พิเศษ

An Application of Fire Dynamics Simulation with Evacuation
for Performance Analysis on Extra Large Building

นามผู้วิจัย นางสาวขวัญชนก ยศจันทร์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์เสรี เสวตเศรณี, D.Eng.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(รองศาสตราจารย์ธงชัย โรหิตะดิษฐ์ ศรีนพคุณ, Ph.D.)

ประธานสาขาวิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปานจิต ดำรงกุลกำจร, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

สิงห์สีเงิน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การประยุกต์โปรแกรมการจำลองด้านพลวัตของไฟและการอพยพ
เพื่อวิเคราะห์ขีดความสามารถของการอพยพบนอาคารขนาดใหญ่พิเศษ

An Application of Fire Dynamics Simulation with Evacuation
for Performance Analysis on Extra Large Building

โดย

นางสาวขวัญชนก ยศจันทร์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมความปลอดภัย)
พ.ศ. 2557

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ขวัญชนก, ยศจันทร์ 2557: การประยุกต์โปรแกรมการจำลองด้านพลวัตของไฟและการ
อพยพ เพื่อวิเคราะห์ขีดความสามารถของการอพยพบนอาคารขนาดใหญ่พิเศษ ปริญญา
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมความปลอดภัย) สาขาวิศวกรรมความปลอดภัย
คณะวิศวกรรมศาสตร์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก:
รองศาสตราจารย์เสรี เสวตเศรณี, Ph.D. 80 หน้า

การจำลองกรณีที่ 1 กำหนดให้มีการจำลองในอาคารขนาดใหญ่พิเศษ(ส่วนของสายการผลิต)
ซึ่งมีจำนวนพนักงานปฏิบัติงานอยู่ 350 คน ผลการจำลองสถานการณ์การเกิดเหตุเพลิงไหม้ในอาคาร
ได้ทำการส่งประมวลผลในโปรแกรม Fire Dynamics Simulation & Smoke View แสดงเหตุการณ์
จำลองเพลิงไหม้ขึ้นตามเงื่อนไขต่างๆ ที่กำหนดไว้ โดยมีการปลดปล่อยพลังงานความร้อน(Heat
Release Rate of Fire) 500 kw/m^2 หลังจาก 4 นาที พบกว่าปฏิกิริยาของควันได้เคลื่อนที่อย่าง
หนาแน่นไปทั่วทุกพื้นที่

การจำลองกรณีที่ 2 จำลองการอพยพในชั้นที่ 1, 2 และ 3 ของอาคารสำนักงานโรงงานแห่ง
หนึ่งในจังหวัดสมุทรปราการ โดยใช้โปรแกรมจำลองพลศาสตร์อวกาศและการอพยพ FDS 5.2.0
และ Smoke View 5.2.2 กำหนดตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา 3 ตัวแปร ได้แก่ ห้องต้นเพลิง จำนวนผู้ใช้
อาคาร และความกว้างของประตูหนีไฟ พบว่า จำนวนผู้ใช้อาคาร 673 คน แต่ละชั้นมีจำนวนพนักงาน
ต่างกัน คือ 163, 208 และ 302 ตามลำดับชั้น โดยห้องต้นเพลิงอยู่บนชั้น 3 กึ่งกลางสำนักงาน และมี
จำนวนพนักงานที่ไม่สามารถอพยพออกจากอาคารได้ภายใน 5 นาที คิดเป็นร้อยละ 3.71 เปอร์เซนต์

เมื่อกำหนดให้ความกว้างของประตูมีขนาดกว้างขึ้น 50 เซนติเมตร จะมีผลทำให้พนักงาน
อพยพได้อย่างปลอดภัยมากยิ่งขึ้น จากการจำลองในภาพปัจจุบันทั้ง 3 ตัวแปร สามารถสรุปได้ว่า
พนักงานไม่สามารถผู้ใช้อาคารไม่สามารถผู้ใช้อาคารไม่สามารถอพยพออกจากอาคารได้ภายใน 3
นาที ตามข้อเสนอแนะของ NFPA การศึกษางานวิจัยนี้พบว่าการออกแบบเส้นทางหนีไฟของอาคาร
เพื่อให้เป็นไปตามประกาศกระทรวงมหาดไทย ที่มีการกำหนดให้พนักงานอพยพไปยังจุดรวมพลภายใน
5 นาที นั้น พนักงานไม่สามารถอพยพไปยังจุดรวมพล ตามกำหนดระยะเวลาผู้วิจัยจึงทำการออกแบบ
โดยเพิ่มความกว้างของประตูหนีไฟให้มีขนาดใหญ่จากเดิม 50 เซนติเมตร สามารถลดระยะเวลาการ
อพยพของพนักงานได้ถึง 30 วินาที

จากการเพิ่มขนาดความกว้างของประตูนี้ทำให้เกิดความปลอดภัยกับพนักงานที่อพยพออก
จากอาคารได้มากขึ้นและสามารถลดความรุนแรงของเหตุเพลิงไหม้ที่เกิดขึ้นได้ อย่างไรก็ตามควร
กำหนดและคำนวณจำนวนของพนักงานที่อพยพให้เหมาะสมกับความสามารถของการรองรับ ของ
ความกว้างของประตู จะช่วยให้พนักงานมีความปลอดภัยสามารถลดความเสี่ยงจากเหตุเพลิงไหม้ได้

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Kwanchanok Josjant 2014: An Application of Fire Dynamic Simulation with Evacuation for Performance Analysis on Extra Large Building.

Master of Engineering (Safety Engineering), Major Field: Safety Engineering, Faculty of Engineering. Thesis Advisor:

Associate Professor Seree Svaesarancee, D.Eng. 80 pages.

A first simulation was carried for a larger part of the building(production area) where there are 350 people working to simulate the effect smoke travel/ reaction on heat release rate at 500 kw/m^2 after 4 minutes. This intended to demonstrate the effect of smoke travel to educate the occupant on the need for timely evacuation.

A second simulation. This thesis focuses on the study of a safe evacuation time at the 1st floor, 2nd floor and 3rd floor of a large building in Samutprakarn Province, using the Fire Dynamic Simulation Program, FDS 5.2.0 and Smoke View 5.2.2. The study includes three component namely the fire location, the number of evacuees and width of the exit door. The maximum capacity of the people in all 3 floors were 673, with 163 on the 1st floor, 208 on the 2nd floor and 302 on the 3rd floor. The source of the fire occurred at the 3rd floor and after simulation, it was concluded that about 3.71 % of the people were unable to evacuate from the building within the 5 minutes time frame(Thai Law).

NFPA standard requires safe evacuation time of within 3 mins from any part of the building to a place of safety. Therefore this simulation conclude that this will not meet this standard. It was determine that an additional width of 50 cm can substantially reduce the time required to evacuate from the building and therefore enhance the safety of the occupants. The researcher also conclude that by re-designing the width of the exit by additional 50cm, it can reduce the evacuation time by 30 second. This thesis also found that the designed of exit route also contribute to the evacuation time(i.e) time taken to travel from any point in the building to the muster point) not able to meet the 5 minutes time frame as per Thai Law .

In this simulation, the density of the smoke were distributed and travel to all of the area within 301 seconds(approx 5 minutes). With reference to the Thai Law of 5 minutes evacuation time, this was found to be not acceptable or adequate. Evacuation from the building must be accomplished with 3.7 mins, otherwise the smoke will obstruct the orderly evacuation of the people due to poor visibility and loss of control(panic). This simulation will benefit in educating the occupant on the need to meet the recommend safe evacuation time of not more than 3.7 minutes.

Student's signature

_____/_____/_____
Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.เสรี เศรษฐเตนีย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลักและรองศาสตราจารย์ ดร.ธงไชย โรหิตะดิษฐ์ ศรีนพคุณ ที่ได้ให้คำปรึกษาในกาค้นคว้าวิจัยตลอดจนถึงการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์ และขอขอบคุณอาจารย์ทุกท่าน ที่ได้ให้ความรู้ด้านวิชาการตลอดหลักสูตรการเรียนการสอนของภาควิชาวิศวกรรมความปลอดภัยนี้

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา พี่สาว ที่อุปการะเลี้ยงดู อบรม สั่งสอนข้าพเจ้ามาเป็นอย่างดี และเป็นแรงผลักดันสำคัญที่ทำให้ข้าพเจ้าทำวิทยานิพนธ์นี้เสร็จสมบูรณ์

ขอบคุณนายรณฤทธิ์ นาวันสันติราษฎร์นักศึกษาปริญญาโท คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือแนะนำ จนการจัดทำวิทยานิพนธ์นี้แล้วเสร็จ

ขวัญชนก ยศจันทร์
กรกฎาคม 2557

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(5)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	1
การตรวจเอกสาร	2
อุปกรณ์และวิธีการ	46
อุปกรณ์	46
วิธีการ	46
ผลและวิจารณ์	58
ผล	58
วิจารณ์	68
สรุปและข้อเสนอแนะ	71
สรุป	71
ข้อเสนอแนะ	72
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	73
ภาคผนวก	76
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	80

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 การลุกลามของเพลิงไหม้ตามอัตราการปล่อยพลังงานความร้อน	5
2 ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (Convective Coefficient;h)	7
3 ค่า Occupancy Load	22
4 ค่าความกว้างต่อคน (Capacity Factor) เพื่อกำหนดความกว้างของเส้นทางหนีไฟ	23
5 ลักษณะกิจกรรมกับขนาดพื้นที่ต่อคน	24
6 ค่า Occupancy load Factor	26
7 ระยะทางยาวสุดของระยะทางบังคับระยะทางต้นและระยะสัญจร	27
8 ความเร็วของการเดินของคนโดยไม่มีการกีดขวางเปรียบเทียบกับขนาดร่างกาย ในรูปแบบของโปรแกรม FDS + Evac	33
9 องค์ประกอบทางหนีไฟอาคารสำนักงานชั้นที่ 1, 2 และ 3	54
10 แสดงการอพยพการเคลื่อนที่ของคนภายในอาคาร	59
11 ผลการจำลองการอพยพ โดยใช้สถานการณ์ตามจริง คือ ยังไม่ได้เพิ่มขนาดประตูหนีไฟ	64

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 สามเหลี่ยมของไฟ	4
2 ปฏิกิริยาลูกโซ่	5
3 คว้นไฟเกิดกลางโถง	8
4 อัตราการเกิดคว้นไฟกลางโถง	10
5 คว้นไฟเกิดที่ผนัง	10
6 อัตราการเกิดคว้นไฟที่ผนัง	11
7 คว้นไฟเกิดที่มุมห้อง	12
8 อัตราการเกิดคว้นไฟที่มุมห้อง	13
9 คว้นไฟเกิดใต้ระเบียง	14
10 อัตราการเกิดคว้นไฟใต้ระเบียง	15
11 คว้นไฟจากช่องเปิดบนผนัง	15
12 อัตราการเกิดคว้นไฟจากช่องเปิดบนผนัง	16
13 แสดงทฤษฎีการอพยพ	18
14 การจำลองการเกิดคว้นไฟในห้อง j	20
15 การวัดระยะสัญญาณ	28
16 ทางปลายตัน	29
17 รูปร่างของร่างกายมนุษย์การเคลื่อนที่แบบ 2 มิติ Geometry แทนด้วยภาพซ้อนกันของวงกลม	33
18 การสร้างประตูหรือทางออก	34
19 อธิบายขนาดของคนใน Radial factor แต่ละแบบ	36
20 แนวคิดของการวางระบบป้องกันอัคคีภัยของ NFPA 550	39
21 สถาปัตยกรรมกับการป้องกันอัคคีภัย	40
22 ขั้นตอนการเกิดเพลิงไหม้	41
23 แผนผังอาคารสำนักงาน	48
24 แผนผังอาคารสำนักงานชั้นที่ 2	49
25 การสร้าง Mesh	52
26 การกำหนด Materials	52
27 การกำหนด Surface	53
28 การสร้าง Obstruction	53
29 การกำหนดปฏิกิริยา	54
30 การประมวลผลด้วยโปรแกรม FDS ที่อยู่ใน Pyrosim	54

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
31 หลักการสร้างแบบจำลองอาคารทั้งสามชั้นเสร็จเรียบร้อยแล้ว	55
32 หลังทำการประมวลผลด้วย FDS ในโปรแกรม Pyrosim	55
33 แสดงผลในรูปแบบ Microsoft Excel	57
34 แสดงเวลาการอพยพคนออกจากอาคาร กรณีที่เพิ่มประตูทางออกหนีไฟ	67
35 แสดงเวลาการอพยพคนออกจากอาคาร กรณีที่ไม่เพิ่มประตูทางออกหนีไฟ	67
ภาพผนวกที่	
1 การลงโปรแกรม PyroSim	77
2 การตอบรับการขอโปรแกรม PyroSim	77
3 การ Save โปรแกรม PyroSim	78
4 การระบุตำแหน่งของโปรแกรม PyroSim ที่ต้องการจัดการ	79

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

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

การประยุกต์โปรแกรมการจำลองด้านพลวัตของไฟและการอพยพ เพื่อวิเคราะห์ขีด ความสามารถของการอพยพบนอาคารขนาดใหญ่พิเศษ

An Application of Fire Dynamics Simulation with Evacuation for Performance Analysis on Extra Large Building

คำนำ

กฎหมายและมาตรฐานความปลอดภัยสำหรับการออกแบบอาคารในประเทศไทยเป็นเพียงมาตรฐานขั้นต่ำเท่านั้น เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานของต่างประเทศ เช่น ญี่ปุ่น และสหรัฐอเมริกา อาคารสูงหลายโครงการในพื้นที่กรุงเทพมหานคร มีความปลอดภัยไม่เพียงพอเมื่อเกิดเหตุเพลิงไหม้ ทำให้การอพยพออกจากอาคารเป็นไปด้วยความลำบากเพราะ ทางไปสู่ทางหนีไฟไม่สอดคล้องกับจำนวนผู้ใช้อาคาร ซึ่งเกิดจากการออกแบบอาคารไม่ถูกต้อง ตั้งแต่เริ่มก่อสร้าง จึงทำให้เกิดความไม่ปลอดภัยต่อชีวิต ขณะทำการอพยพ สาเหตุการเสียชีวิตที่เกิดจากอัคคีภัยส่วนมากเกิดจากการต่อเติม ดัดแปลงอาคาร และการใช้อาคารผิดประเภท เพราะความไม่เข้าใจอย่างถ่องแท้ในเรื่องของอัคคีภัย รวมถึงวิธีการก่อสร้างอาคารที่ไม่ได้มาตรฐานและมีการนำวัสดุที่ติดไฟ มาเป็นส่วนประกอบอาคาร หรือนำก๊าซไวไฟมาใช้ภายในอาคารอย่างผิดวิธีทำให้เกิดเพลิงลุกไหม้ ดังกรณีของโรงแรมรอยัล ปาล์ม จอมเทียน พัทยาที่ได้นำก๊าซหุงต้มมาใช้ในห้องจัดเลี้ยง และลูกกลามขยายวงกว้างจนไม่สามารถ ควบคุมไฟได้ทำให้มีผู้เสียชีวิต 90 คนบาดเจ็บ 51 คน สาเหตุเนื่องจากเส้นทางหนีไฟมีแก้อื้อและ โต๊ะ จัดเลี้ยงขวางทางออกและบันไดหนีไฟก็เป็นบันไดเวียนจึงไม่สามารถรองรับจำนวนผู้อพยพหนีไฟได้ (คณะกรรมการร่างมาตรฐานความปลอดภัยด้านอัคคีภัย,2544)

ดังนั้นสถาปนิก จะต้องเข้าใจ และสามารถคำนวณวิเคราะห์ความจุของทางไปสู่ทางหนีไฟให้มี ขนาดเพียงพอสัมพันธ์กับจำนวนคนที่อยู่ในอาคาร เมื่อเกิดเหตุเพลิงไหม้และ สามารถอพยพคนออก จากอาคารได้อย่างปลอดภัย สำหรับประเทศไทย สถาปนิกส่วนใหญ่จะออกแบบอาคารตามคู่มือ วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ควรศึกษากฎหมาย และ มาตรฐานที่เกี่ยวข้องหากออกแบบอาคาร ไม่ถูกต้องจะส่งผลให้เกิดความไม่ปลอดภัยในชีวิตและทรัพย์สินรวม ถึงงานระบบป้องกันอัคคีภัยที่ ออกแบบไว้ ก็จะทำงานได้ไม่เต็มประสิทธิภาพ

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาค่าความจุของเส้นทางอพยพ (Occupancy Load) และระยะเวลาในการอพยพ (Evacuation Time) ของอาคารขนาดใหญ่ โดยใช้หลักการคำนวณตามมาตรฐาน NFPA
2. เพื่อจำลองการอพยพคนออกจากอาคารขนาดใหญ่(ส่วนของสำนักงาน) กรณีเพลิงไหม้ โดยใช้โปรแกรมจำลองด้านพลศาสตร์อัคคีภัยร่วมกับการจำลองการอพยพ
3. เพื่อเสนอแนวทางสำหรับการออกแบบเส้นทางอพยพของอาคารขนาดใหญ่พิเศษ (ส่วนของสำนักงาน) ให้สามารถอพยพคนออกจากอาคารได้ในเวลาที่น้อยที่สุด และเกิดความปลอดภัยต่อผู้อยู่อาศัย

ขอบเขต

1. การจำลองเป็นการสร้างแบบจำลองการเกิดไฟไหม้ และ การอพยพคนออกจากอาคารใหญ่พิเศษ เป็นส่วนของสำนักงาน 2 ชั้น ชั้นต้นเพลิงอยู่ที่ชั้น 3 โดยโปรแกรมการจำลองด้านพลศาสตร์อัคคีภัย Pyrosim 2010.1
2. การวิเคราะห์ปัญหาการเกิดอัคคีภัยโดยการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปเท่านั้นไม่มีการทดสอบหรือทดลองในพื้นที่จริง
3. เพลิงไหม้เกิดที่บริเวณชั้น 3 โดยภายในห้องมีระบบป้องกันอัคคีภัยหรือระบบดับเพลิงเข้ามาเกี่ยวข้อง

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถประยุกต์ใช้โปรแกรมการจำลองการอพยพสำหรับหา เวลาที่เกิดขึ้นในการหนีไฟให้สอดคล้องกับข้อกำหนด กฎหมาย และมาตรฐานที่เกี่ยวข้องได้
2. สามารถทราบลักษณะและพฤติกรรมการแผ่กระจายของไฟและควันไฟในพื้นที่ปิดล้อมที่เป็นอาคารขนาดใหญ่พิเศษ

3. ทำให้ทราบข้อบกพร่องของการอพยพคนออกจากอาคารขนาดใหญ่พิเศษที่ออกแบบไว้ และสามารถนำผลที่ได้มาหาแนวทางในการปรับปรุงแก้ไขในพื้นที่ เส้นทางการอพยพที่เหมาะสมและปลอดภัย รวมถึงเป็นไปตามกฎหมาย ข้อกำหนด หรือมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง

นิยามศัพท์

อาคารสถานศึกษา

หมายถึงอาคารหรือส่วนของอาคารซึ่งมีการครอบครองหรือการใช้เพื่อเป็นที่ซึ่งบุคคลมารวมกันอยู่เพื่อทำการศึกษารวมถึงอาคารเรียนหรืออาคารประกอบต่าง ๆ อาคารเหล่านี้หมายถึงมหาวิทยาลัย สถาบันการศึกษาต่างๆ และห้องสมุด

ระยะสัญจร

หมายถึงระยะทางจากตำแหน่งที่ไกลที่สุดที่มีคนอยู่จนถึงประตูทางหนีไฟหรือจุดที่ปลอดภัยที่สุด

ระยะทางบังคับ

หมายถึงเป็นส่วนหนึ่งของเส้นทางไปสู่ทางหนีไฟจากตำแหน่งใดๆ ในอาคารนำไปถึงทางแยกที่มีตั้งแต่ 2 ทางขึ้นไปที่สามารถนำไปสู่ทางหนีไฟได้

ระยะทางปลายตัน

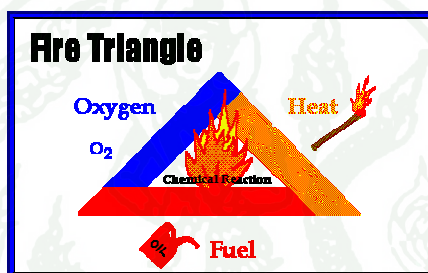
หมายถึงระยะทางจุดศูนย์กลางทางแยกไปถึงผนังหรือกำแพงที่ไม่มีทางออก

การตรวจเอกสาร

ทฤษฎี

1.ทฤษฎีสามเหลี่ยมของไฟ

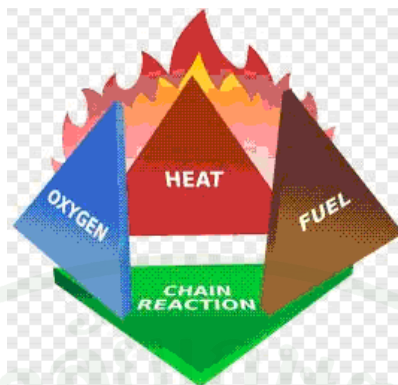
ทฤษฎีสามเหลี่ยมของไฟ (Fire Tetrahedron Theory) อธิบายหลักการเกิดของไฟต้องประกอบด้วยองค์ประกอบสำคัญ 3 อย่างคือออกซิเจนเชื้อเพลิงและความร้อนติดขึ้นมาเป็นไฟและสามารถอธิบายด้วยสามเหลี่ยมของไฟได้แทนแต่ละด้านของสามเหลี่ยมเป็นองค์ประกอบของไฟดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 สามเหลี่ยมของไฟ

ที่มา : Ladwig (1991)

หากสามเหลี่ยมนี้ขาดองค์ประกอบอันใดอันหนึ่งไปความหมายไม่สามารถเกิดการติดไฟขึ้นมาได้นั่นเอง ออกซิเจนที่อยู่ในอากาศแล้ว จะทำปฏิกิริยากับเชื้อเพลิงซึ่งโดยมาก จะเป็นสารที่มีธาตุคาร์บอน หรือ ไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบของการเผาไหม้ การทำปฏิกิริยากันที่อุณหภูมิสูงดังนั้นจึงต้องมีความร้อนหรือแหล่งความร้อนที่สมบูรณ์ได้ สำหรับปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะสามารถกระตุ้นตัวเองหรือเกิดได้โดยปราศจากแหล่งความร้อนจากภายนอกมีปริมาณเชื้อเพลิงและออกซิเจนอย่างเหมาะสมและทำปฏิกิริยาในอัตราที่สามารถให้พลังงานความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้มากระตุ้นปฏิกิริยาของตัวมันเองอย่างต่อเนื่องได้เรียกปฏิกิริยาแบบนี้ว่าปฏิกิริยาลูกโซ่ (Chain Reaction) ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ปฏิกิริยาลูกโซ่

การลุกลามของเพลิงไหม้แบบต่อเนื่องตามทฤษฎี T-Squared Fire (Continuous Growth Fire T- Squared Fire) การเกิดเพลิงไหม้ในรูปแบบทฤษฎี T-Squared Fire จะแสดงถึงอัตราการเผาไหม้โดยแบ่งตามสัดส่วนของเวลาโดยแบ่งออกได้เป็น 4 ระดับโดยเวลาในการลุกลามของเพลิงไหม้จะกำหนดตามอัตราการปล่อยความร้อนที่ 1000 BTU /sec แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การลุกลามของเพลิงไหม้ตามอัตราการปล่อยพลังงานความร้อน

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

ที่มา: NFPA 92A (2000)

2. ทฤษฎีการเคลื่อนที่ของเพลิงในพื้นที่ปิดล้อม (Enclosure Fire Dynamics)

การเคลื่อนที่ของเพลิงภายในพื้นที่ปิดล้อมเป็นทฤษฎีที่สำคัญที่ใช้ในการศึกษาการจำลองการเกิดเพลิงไหม้และการออกแบบระบบป้องกันอัคคีภัยภายในอาคารโดยการจำลองการเกิดเพลิงไหม้นั้นจะเป็นการศึกษาและคาดคะเนถึงการเปลี่ยนแปลงสถานะต่างๆที่เกิดขึ้นภายในห้องขณะเกิดเพลิงไหม้ พฤติกรรมการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงและการพัฒนาของเพลิงไหม้ในระยะเวลาต่างๆรวมทั้งการตอบสนองของอุปกรณ์แจ้งเหตุเพลิงไหม้และระบบป้องกันอัคคีภัยที่ติดตั้งภายในห้องนั้นๆการจำลองพฤติกรรมของเพลิงไหม้ภายในห้องสามารถจำลองได้ 2 แบบคือ

1) การจำลองแบบโซน (Zone Model) เป็นการจำลองแบบแบ่งสภาวะของก๊าซภายในห้องออกเป็นโซนตามคุณสมบัติทางกายภาพของการเป็นเนื้อเดียวกันเช่นช่วงระยะเริ่มต้นของการเกิดเพลิงไหม้ควันร้อนจะลอยตัวอยู่ติดบนเพดานในขณะที่อากาศเย็นจะลอยอยู่ด้านล่างบนพื้นห้องทำให้สามารถแบ่งห้องออกเป็น 2 โซนคือโซนด้านบนที่เป็นควันร้อนและโซนด้านล่างที่เป็นอากาศเย็น

2) แบบจำลองพลศาสตร์การไหล (Computational Fluid Dynamics Model; CFD) เป็นแนวคิดที่สร้างแบบจำลองโดยการแบ่งห้องหรืออาคารที่เกิดเพลิงไหม้ออกเป็นปริมาตรเล็กๆ (Finite Volume) เป็นจำนวนมากทั่วทั้งห้องหรืออาคารจากนั้นใช้สมการการอนุรักษ์พลังงานต่างๆ คำนวณหาสภาวะและคุณสมบัติในการเคลื่อนที่ของไฟและควันไฟในปริมาตรเล็กๆ เหล่านั้น

การใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการคำนวณวิเคราะห์การเกิดเหตุเพลิงไหม้นั้นมีมาตั้งแต่ประมาณปี 1960 จนถึงปัจจุบันโดยจุดประสงค์หนึ่งของการพัฒนาเพื่อนำไปประยุกต์ใช้กับงานที่มีความซับซ้อนและใช้เป็นเครื่องมือสำคัญในการประเมินความเสี่ยงอันตรายจากเพลิงไหม้ต่อมาการพัฒนานำโปรแกรมพลศาสตร์การไหลมาช่วยในการศึกษาพฤติกรรมของการเกิดเพลิงไหม้และการลุกลามของเพลิงและมีการพัฒนาจนเป็นโปรแกรม Fire Dynamics Simulator และ Smoke view โดยสถาบัน National Institute of Standards and Technology (NIST) เพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการคำนวณและศึกษาพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของไฟด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์เทียบเคียงกับการทดลองจริง ผลการศึกษาองค์ประกอบของเพลิงในพื้นที่ปิดล้อมทำให้ทราบและเข้าใจถึงพฤติกรรมของการเกิดเพลิงไหม้และการพัฒนาของเพลิงการส่งถ่ายพลังงานความร้อนในรูปแบบต่างๆ ตลอดจนการเคลื่อนที่ของควันไฟและการเปลี่ยนแปลงของ

อุณหภูมิในแต่ละช่วงเวลาที่มีการเผาไหม้

สำหรับการศึกษาด้านการถ่ายเทความร้อนกลไกการแพร่กระจายหรือการลุกลามของเพลิงไหม้นั้นโปรแกรม Fire Dynamics Simulator จะใช้ทฤษฎีทางอุณหพลศาสตร์ (Thermodynamics) คือ การถ่ายเทความร้อนเข้ามาใช้ในการวิเคราะห์โดยกลไกการถ่ายเทความร้อนจะประกอบด้วย

1) การนำความร้อน (Conduction Heat Transfer) เป็นการถ่ายเทความร้อนวิธีเดียวที่เกิดขึ้นในวัตถุที่เป็นตัวกลาง เมื่อมีความแตกต่างของอุณหภูมิเกิดขึ้นในวัตถุดังกล่าวจะมีความร้อนถ่ายเทจากจุดที่มีอุณหภูมิสูงไปยังจุดที่มีอุณหภูมิต่ำของวัตถุนั้น

2) การพาความร้อน (Convection Heat Transfer) เมื่อความร้อนสัมผัสกับผิววัตถุที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันจะมีการแลกเปลี่ยนพลังงานความร้อนระหว่างอากาศกับวัตถุการแลกเปลี่ยนความร้อนนี้เรียกว่าการถ่ายเทความร้อนแบบการพาโดยควันที่เกิดจากการเผาไหม้จะลอยตัวขึ้นไปเพดานสูงโดยหลักการพาความร้อนซึ่งถ้ามีอุณหภูมิของควันไฟสูงก็สามารถจะทำให้เกิดการลุกลาม

ของไฟได้แสดงตามภาพที่ 7 คว้นที่เกิดจากการพาความร้อนลอยตัวไปสะสมที่เพดานกระบวนการณ์นี้สามารถจำแนกออกได้ 2 ประเภทคือ

3) การพาความร้อนแบบอิสระ (Free Convection) เกิดมาจากความแตกต่างของอุณหภูมิในอากาศเนื่องจากการที่อากาศสัมผัสผิวของวัตถุที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันและทำให้เกิดแรงลอยตัวขึ้น

4) การพาความร้อนแบบบังคับ (Force Convection) เกิดจากแรงภายนอกมาบังคับให้ความร้อนเคลื่อนที่ผ่านผิววัตถุที่ร้อนหรือเย็นกว่าเนื่องจากอากาศจากการพาความร้อนแบบบังคับมีความเร็วที่สูงกว่าแบบอิสระดังนั้นความร้อนที่ถ่ายเทได้จากความแตกต่างของอุณหภูมิที่มีขนาดเท่าๆกันกับการพาความร้อนแบบอิสระจึงมีปริมาณความร้อนมากกว่าการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์การพาความร้อน (Convection Heat Transfer Coefficient) เป็น h ร้อยที่ซับซ้อนมากในทางปฏิบัติดังนั้นเพื่อความสะดวกจะใช้ค่าประมาณของสัมประสิทธิ์การพาความร้อนตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (Convective Coefficient; h)

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

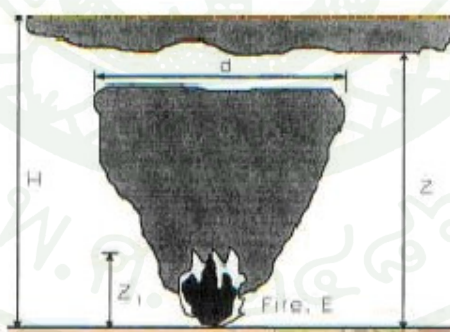
ที่มา: Quintiere (1998)

การแผ่รังสีความร้อน (Radiation Heat Transfer) คือการถ่ายเทความร้อนจากผิวของวัสดุหนึ่งไปยังอีกวัสดุหนึ่งซึ่งมีอุณหภูมิต่างกันโดยไม่ต้องอาศัยตัวกลางพลังงานที่ถ่ายเทของการแผ่รังสีจะอยู่ในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหรือในรูปของโฟตอน อัตราการถ่ายเทความร้อนแบบแผ่รังสี

อัตราการระบายควันและตำแหน่งต้นเพลิง

คณะกรรมการมาตรฐานระบบเครื่องกลในอาคาร (2545) การที่จะทำให้ระดับควันอยู่ในระดับปลอดภัยจะต้องมีการระบายควันการระบายควันไฟออกจากอาคารสามารถทำได้ 2 วิธีคือโดยวิธีธรรมชาติและโดยใช้พัดลมช่วยสิ่งแรกที่ต้องทำคือหาว่าปริมาณควันไฟที่เกิดขึ้นมีจำนวนเท่าใดเมื่อทราบปริมาณควันไฟจะสามารถหาขนาดช่องเปิด (วิธีธรรมชาติ) หรือขนาดพัดลมได้ในการคำนวณเรื่องการควบคุมควันไฟมักจะให้ความร้อนที่เกิดจากการพาความร้อน (Convection Heat, EC) ประมาณ 70% ของพลังงานความร้อนทั้งหมด (E) ในห้องสูงจะมีอากาศโดยรอบมากกว่าห้องธรรมดาอากาศร้อนหรือควันร้อนเมื่อลอยตัวขึ้นจะเหนี่ยวนำอากาศรอบเข้ามาผสมกับควันไฟทำให้ปริมาณควันไฟเพิ่มขึ้นอย่างมากมายดั่งนั้นเมื่อควันลอยสูงขึ้นจึงมักไม่ร้อนมากความหนาแน่นของควันจึงมักจะใกล้เคียงกับอากาศมีค่าประมาณ 1.2 kg/m^3 (0.075 lb/ft^3) การระบายควันที่เพียงพอหมายความว่าเราสามารถควบคุมให้อัตราการระบายควันไฟไม่น้อยกว่าอัตราการเกิดควันไฟเมื่อใดที่อัตราการระบายควันไฟเท่ากับอัตราการเกิดควันไฟเมื่อนั้นระดับของควันไฟจะไม่มีการเปลี่ยนแปลง (Equilibrium) ดังนั้นตำแหน่งของไฟมีความสำคัญต่ออัตราการเกิดควันไฟซึ่งจำแนกการเกิดควันไฟได้ 5 ลักษณะตามตำแหน่งของต้นเพลิงซึ่งแต่ละแบบจะให้พลังงานความร้อนและปริมาณควันไฟที่ไม่เหมือนกันดังนี้

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



ภาพที่ 3 ควันเกิดกลางโถง

ที่มา: คณะกรรมการมาตรฐานระบบเครื่องกลในอาคาร (2545)

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

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

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

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

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

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

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

หรือคิดเป็นปริมาตรการไหล [Volumetric Flow Rate, m^3/s (cfm)]
(ความหนาแน่น $1.2 \text{ kg}/m^3$)

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

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

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

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

โดยที่

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

Q คือ อัตราการเกิดปริมาตรควันไฟ, m^3/s (cfm)

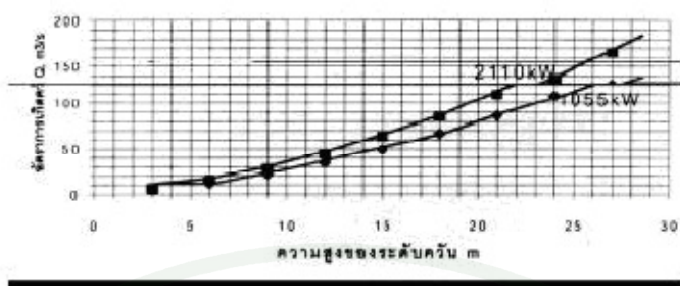
E คือ Fire Heat Release Rate, kW (btu/s)

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

Z คือ ความสูงของระดับควันไฟ, m (ft)

Z_f คือ ความสูงจำกัดของไฟ, m (ft)

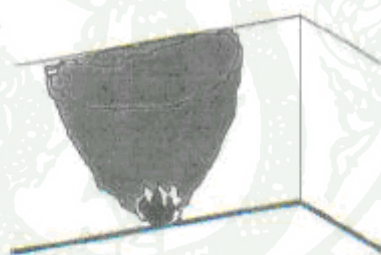
ส่วนมากจะพบว่า $Z > Z_f$ ก็ใช้สมการ (45) เช่นสมมติให้ที่ต้นเพลิงมีความร้อน 1055 kW (1,000 btu/s) และ 2110 kW (2,000 btu/s) จากสมการนี้นำมาเขียนกราฟจะได้ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 อัตราการเกิดควันไฟกลางโถง

ที่มา: คณะกรรมการมาตรฐานระบบเครื่องกลในอาคาร (2545)

2. ควันไฟเกิดที่ผนัง (Wall Plume) ตามภาพที่ 5 ต้นเพลิงลักษณะนี้จะให้พลังงานความร้อนเป็นสองเท่าของต้นเพลิงพื้นที่แต่มั่นจะดึงอากาศข้างเคียงเข้ามาได้ครึ่งหนึ่งของต้นเพลิงอยู่กลางพื้นที่ จะได้ว่ามวลและปริมาตรการเกิดควันไฟมีค่าดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ควันไฟเกิดที่ผนัง

ที่มา: คณะกรรมการมาตรฐานระบบเครื่องกลในอาคาร (2545)

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

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

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

$$Z < Zf, \quad m = C1wEc^{3/5} \quad Z \quad C1w = C^{1/2} = 0.015 \quad (0.0104) \quad (12)$$

$$Z = Zf \quad m = C2wEc \quad C2w = C^{2/2} = 0.00237 \quad (0.0055) \quad (13)$$

$$Z > Z_f, m = C3wEc^{1/3} Z^{5/3} + C4wEc \quad (14)$$

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

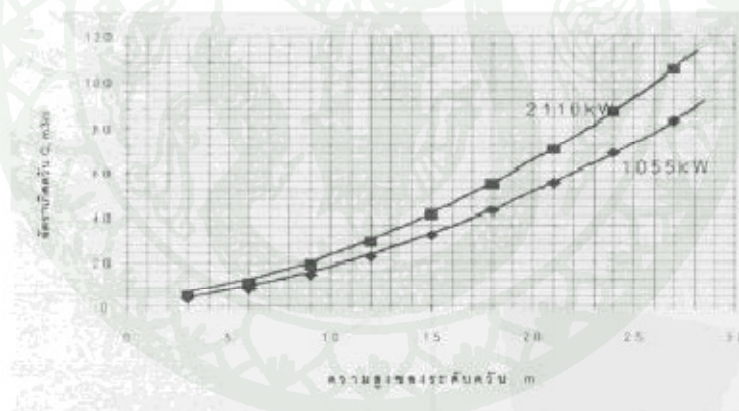
$$Z < Z_f, Q = C5wEc^{3/5} Z \quad C5w = C^{5/2} = 0.0125 \quad (8.32) \quad (15)$$

$$Z = Z_f, Q = C6wEc \quad C6w = C^{6/2} = 0.001975 \quad (4.4) \quad (16)$$

$$Z = Z_f, Q = C7wEc^{1/3} Z^{5/3} + C8wEc \quad (17)$$

$$C7w = C^{7/2} = 0.0295(8.8) \quad C8w = C^{8/2} = 0.00075(1.68)$$

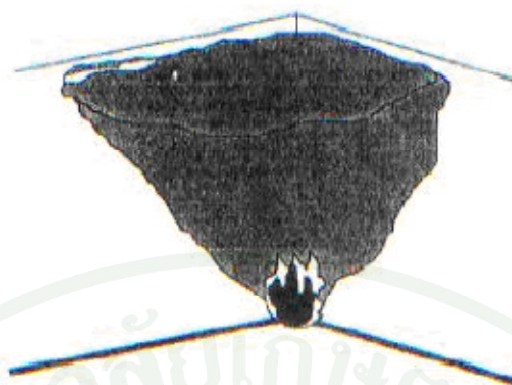
$Z > Z_1$ ที่ต้นเพลิงมีความร้อน 1055kW (1000 btu/s) และ 2110kW (2000 btu/s) ได้กราฟตามภาพที่ 6



ภาพที่ 6 อัตราการเกิดควันไฟที่ผนัง

ที่มา : คณะกรรมการมาตรฐานระบบเครื่องกลในอาคาร (2545)

2. ควันไฟเกิดที่มุมห้อง (Corner Plume) ตามภาพที่ 7 ต้นเพลิงจะให้ความร้อนเป็นสี่เท่าของต้นเพลิงอยู่กลางพื้นที่แต่สามารถดึงอากาศข้างเคียงเข้ามาได้เพียงหนึ่งในสี่ของต้นเพลิงอยู่กลางพื้นที่



ภาพที่ 7 คิวไฟเกิดที่มุมห้อง

ที่มา: คณะกรรมการมาตรฐานระบบเครื่องกลในอาคาร (2545)

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

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

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

$$Z < Z_f, M = C1E_c^{3/5} \quad Z \quad C1c = C^{1/4} = 0.0075 \quad (0.0052) \quad (20)$$

$$Z = Z_f \quad M = C2cE_c \quad C2c = C^{2/4} = 0.001185 \quad (21)$$

$$Z > Z_f \quad M = C3cE_c^{1/3} Z^{5/3} + C4cE_c \quad (22)$$

$$C3c = C^{3/4} = 0.01775 \quad (0.0055) \quad C4c = C^{4/4} = 0.00045 \quad (0.00105)$$

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

$$Z < Z_f \quad Q = C5cE_c^{3/5} \quad Z \quad C5c = C^{5/4} = 0.00625 \quad (4.16) \quad (23)$$

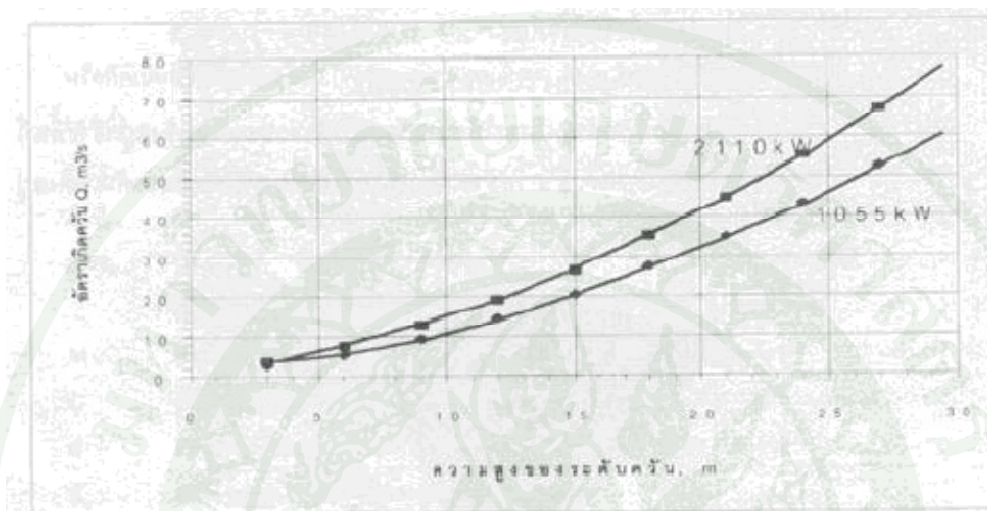
$$Z = Z_f \quad Q = C6cE_c \quad C6c = C^{6/4} = 0.0009875 \quad (2.2) \quad (24)$$

$$Z > Z_f \quad Q = C7cE_c^{1/3} Z^{5/3} + C8cE_c \quad (25)$$

$$C7c = C^{7/4} = 0.01475 \quad (4.4) \quad C8c = C^{8/4} = 0.000375 \quad (0.84)$$

โดยที่

และที่ $Z < Z_1$ ที่ต้นเพลิงมีความร้อน 1055 kW (1000 btu/s) และ 2110 (2000 btu/s) จะได้กราฟตามภาพที่ 8



ภาพที่ 8 อัตราการเกิดควันไฟที่มุมห้อง

ที่มา: คณะกรรมการมาตรฐานระบบเครื่องกลในอาคาร (2545)

3. ควันไฟเกิดได้ระเบียง (Balcony Plume) ดังแสดงในภาพที่ 9 ที่พบเห็นมากได้แก่ ศูนย์การค้าต่างๆที่มีช่องโถงตรงกลางและมีทางเดินหน้าร้านค้าติดกับช่องโถงดังกล่าวเมื่อเกิดเหตุการณ์แบบนี้ควันไฟจะลอยขึ้นไปยังอยู่ตามฝ้าเพดานถ้าฝ้าเพดานมีความลึกมากก็จะเก็บควันไฟไว้ได้นานเมื่อใดที่ควันไฟทะลักเข้ามาในช่องโถงจะทำให้ควันไฟกระจายไปพื้นที่อื่นๆได้ดังนั้นเราจะพบว่าในบางที่โดยเฉพาะต่างประเทศที่มีข้อกำหนดเรื่องการควบคุมควันไฟใช้จะเห็นว่าจะมีการติดตั้งแผ่นกันควันไฟ (Drafft Curtains) รอบๆช่องโถงบางครั้งเป็น Automatic Roller Shutter ที่สามารถปิดได้เมื่อไฟไหม้ได้มีการวิจัยและทำเป็นสูตรหรือสมการต่อไปนี้

$$M = C_9 (EW_2)^{1/3} (Z_b + 0.3H) [1 + 0.063(Z_b + 0.6H)/W]^{2/3} \quad (26)$$

$$Q = C_{10} (EW_2)^{1/3} (Z_b + 0.3H) [1 + 0.063(Z_b + 0.6H)/W]^{2/3} \quad (27)$$

$$C_9 = 0.41(0.124) \quad C_{10} = 0.34(99.2) \quad (28)$$

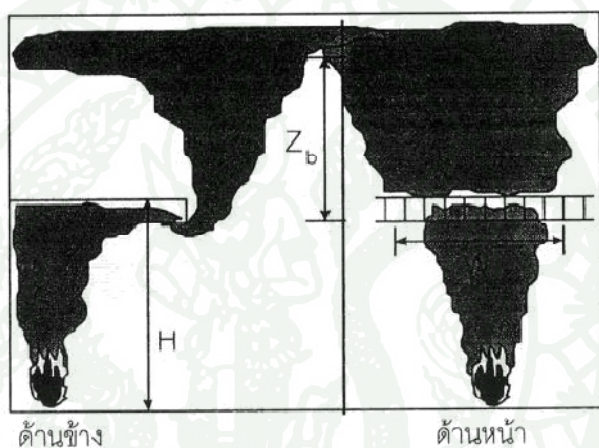
โดยที่

Z_b = ความสูงของควันวัดจากใต้พื้นระเบียง (ขอบล่างที่ต่ำสุด) m (ft)

W = ความกว้างควันไฟที่ม้วนตัวไปตามระเบียง, m (ft)

H = ระยะจากไฟถึงพื้นด้านบนของระเบียง m, ft

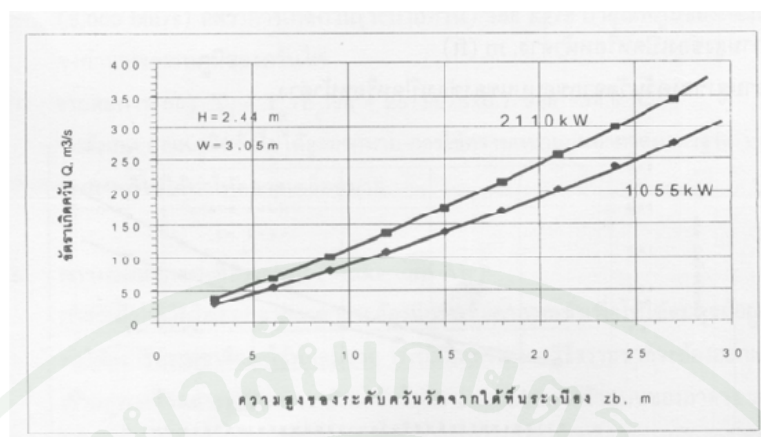
ค่าที่อาจจะยุ่งยากในการประมาณ คือ W หรือระยะที่ควันไฟม้วนตัวไปตามระเบียงที่จะต้องใช้ในสูตรข้างต้นมีนักวิจัยบางคนแนะนำให้ใช้ประมาณ 1.25 เท่าของ kw (btu/s) ความสูงจากไฟถึงใต้พื้นระเบียง (H) ตามภาพที่ 9



ภาพที่ 9 ควันไฟเกิดใต้ระเบียง

ที่มา: คณะกรรมการมาตรฐานระบบเครื่องกลในอาคาร (2545)

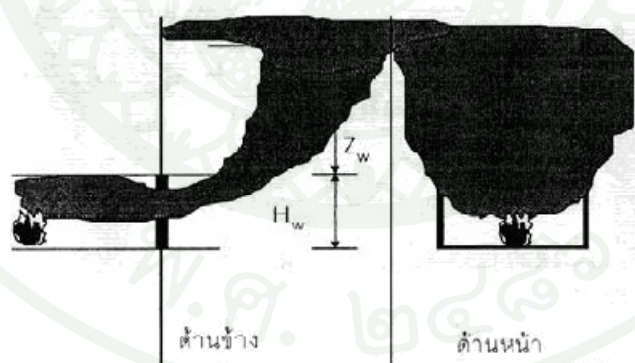
อัตราการเกิดควันไฟสามารถคำนวณหาได้จากสูตรข้างต้นซึ่งสามารถแสดงด้วยกราฟดังภาพที่ 10 โดยกำหนดให้ระยะจากต้นเพลิงถึงระเบียง (H) / 2.44 m (8 ฟุต) และควันไฟม้วนตัวไปได้ระยะทาง (W) 3.05m (10 ฟุต) เมื่ออัตราความร้อนเป็น 1055 kw (1000 btu/s) และ kw (2000 btu/s) ตามลำดับอัตราการเกิดควันไฟที่ใต้ระเบียงแสดงอยู่บนแกน Y ตามภาพที่ 10



ภาพที่ 10 อัตราการเกิดควันไฟได้ระเปียง

ที่มา: คณะกรรมการมาตรฐานระบบเครื่องกลในอาคาร (2545)

ควันไฟจากหน้าต่างหรือช่องเปิดบนผนัง (Window Plume) ตามภาพที่ 11 โถงสูงมีร้านค้ามีผนังปิดแต่มีหน้าต่างเปิดอยู่บานหนึ่งและมีเพลิงไหม้ที่ร้านค้าหรือห้องจัดเลี้ยงขนาดใหญ่ที่มีห้องควบคุมแสงและเสียงอยู่ในระดับบนและมีไฟไหม้ภายในอาคารควบคุมดังกล่าวควันไฟที่ออกมาจากห้องควบคุมจะเข้าลักษณะนี้มีการวิจัยและทำเป็นสมการหรือสูตรสำเร็จเพื่อใช้คำนวณหาอัตราการเกิดควันได้



ภาพที่ 11 ควันไฟจากช่องเปิดบนผนัง

ที่มา: คณะกรรมการมาตรฐานระบบเครื่องกลในอาคาร (2545)

$$M = C_{11} (A_w H_w^{1/2, 1/3}) (z_w + 2.4 A_w^{2/5} H_w^{1/5} - 2.1 H_w)^{5/3} + C_{12} A_w H_w^{1/2} \quad (29)$$

$$Q = C_{13} (A_w H_w^{1/2, 1/3}) (z_w + 2.4 A_w^{2/5} H_w^{1/5} - 2.1 H_w)^{5/3} + C_{14} A_w H_w^{1/2} \quad (30)$$

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

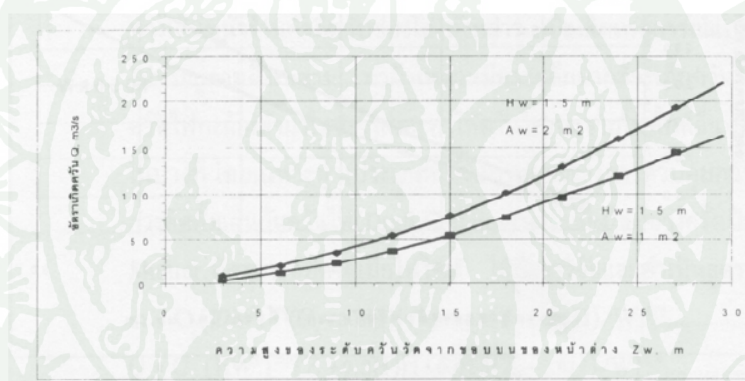
โดยที่

A_w คือ พื้นที่ช่องเปิดหรือช่องหน้าต่าง m^2 (ft^2)

H_w คือ ความสูงช่องเปิดหรือหน้าต่าง, m (ft)

Z_w คือ ความสูงของควันทวัดจากขอบบนของช่องเปิดหรือหน้าต่าง

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



ภาพที่ 12 อัตราการเกิดควันไฟจากช่องเปิดบนผนัง

ที่มา: คณะกรรมการมาตรฐานระบบเครื่องกลในอาคาร (2545)

ทฤษฎีอพยพ

แนวความคิดพื้นฐานของการอพยพหนีไฟ

มาตรฐานการป้องกันอัคคีภัยในประเทศญี่ปุ่น (2546) แนวความคิดพื้นฐานในการวางแผนการอพยพหนีไฟมาจากการวางแผนการอพยพ คือ การที่ต้องสามารถอพยพผู้คนให้ได้หมดก่อนที่ควันไฟจะมีปริมาณมากจนถึงระดับที่เป็นอันตรายต่อผู้อพยพสำหรับปริมาณควันไฟที่มีผลต่อการอพยพหรือมีอันตรายคือควันที่สะสมตัวจนลอยตัวต่ำลงมาจนทำให้ผู้อพยพไม่สามารถมองเห็นเส้นทาง การอพยพได้โดยเวลาในการอพยพต้องน้อยกว่าเวลาที่ควันไฟลอยตัวต่ำลงมา

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

โดยที่

$T_{evacuation}$ คือเวลาในการอพยพทั้งหมดหน่วยเป็นนาที

T_s คือเวลาที่ควันไฟลอยต่ำลงมายู่ระดับที่เป็นอันตรายหน่วยเป็นนาที

โดยที่เวลาในการอพยพทั้งหมดนั้นเป็นการรวมกันระหว่างเวลาที่เริ่มใช้ในการอพยพ(t_{start}) และเวลาที่ใช้ในการอพยพนับจากเริ่มการอพยพ ($t_{evacuation}$) และดังสมการที่ 1 และเวลาที่เริ่มอพยพและเวลาที่ใช้ในการอพยพนั้นสามารถที่จะจำแนกออกได้อีกในสมการที่ 32และสมการที่ 33

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

โดยที่

t_{start} คือเวลาที่คนเริ่มรับรู้หน่วยเป็นนาที

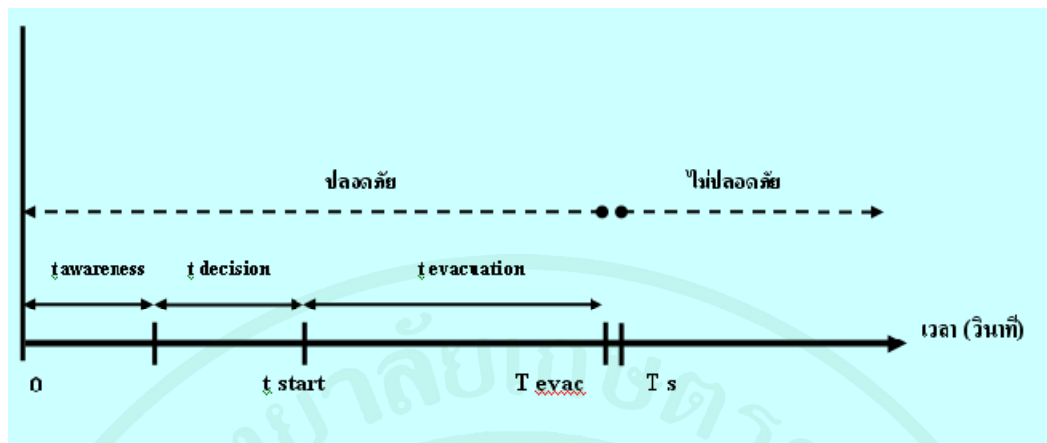
$t_{evacuation}$ คือเวลาที่ใช้ในการอพยพหน่วยเป็นนาที

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

โดยที่

$t_{awareness}$ คือเวลาที่คนเริ่มรับรู้ถึงเพลิงไหม้หน่วยเป็นนาที

$t_{decision}$ คือเวลาที่ใช้ในการตัดสินใจอพยพหน่วยเป็นนาที



ภาพที่ 13 แสดงทฤษฎีการอพยพ

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

โดยที่

t_{travel} คือเวลาที่ใช้ในการเดินทางผ่านเส้นทางอพยพหน่วยเป็นนาที

หาได้จาก

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

t_{queue} คือเวลาที่ใช้ในการผ่านจุดที่แคบที่สุดของเส้นทางอพยพหน่วยเป็นนาที

หาได้จาก

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

L คือความยาวของเส้นทางหนีไฟหน่วยเป็นเมตร

V คือความเร็วในการเดินทางหน่วยเป็นเมตร/วินาที

P คือจำนวนผู้ใช้อาคารหน่วยเป็นคน

B คือความกว้างสุทธิของจุดที่แคบที่สุดของเส้นทางอพยพหน่วยเป็นเมตร

N คือค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยออกหน่วยเป็นคน/นาทึ/เมตร

ส่วนเวลาของการเพิ่มระดับควันไฟในพื้นที่จากระดับของควันเริ่มต้นจนถึงระดับที่มีอันตราย (T_s) นั้นสามารถหาได้จากสมการที่ 37

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

โดยที่

t_j คือเวลาที่ควันไฟที่ล้นไปสู่ห้องอื่นๆโดยคิดที่ทิศทางจากจุดศูนย์กลางเพลิงไหม้ถึงบันไดหนีไฟหน่วยเป็นนาทึโดยที่เวลาที่ควันไฟที่ล้นไปสู่อาคารอื่นๆโดยคิดที่ทิศทางจากจุดศูนย์กลางเพลิงไหม้ถึงบันไดหนีไฟสำหรับการวางแผนการอพยพที่ใช้ในมาตรฐานของประเทศญี่ปุ่นนั้นสามารถหาได้จากสมการที่ 38

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

โดยที่

A_{roomj} คือพื้นที่ของห้องหน่วยเป็นตารางเมตร

H_{roomj} คือความสูงเฉลี่ยของเพดานหน่วยเป็นเมตร

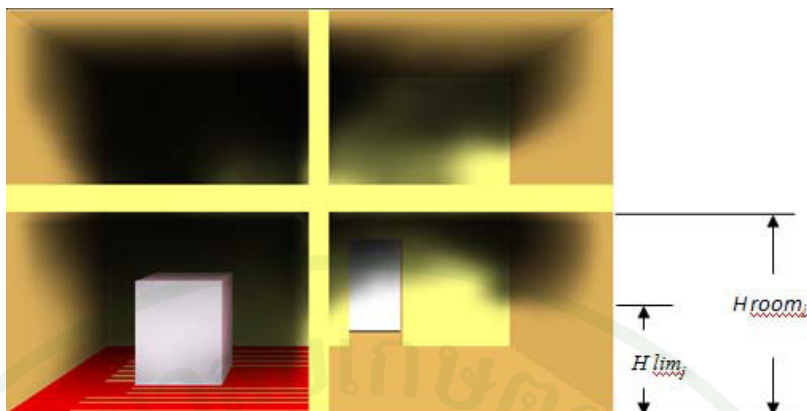
H_{limj} คือความสูงของชั้นควันไฟที่ก่อให้เกิดอันตรายวัดจากระดับพื้นหน่วยเป็นเมตร

V_s คือปริมาณควันไฟที่เกิดขึ้นหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร

V_e คือปริมาณควันไฟที่ระบายออกหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร

เมื่อ j มีค่าตั้งแต่ 1 ถึง n

เมื่อ n คือจำนวนเต็มใดๆ



ภาพที่ 14 ภาพจำลองการเกิดควันในห้อง j

ค่าความจุของเส้นทางอพยพ

1. การหาค่าความจุตามมาตรฐาน NFPA

ความจุของเส้นทางอพยพคือความสามารถของเส้นทางอพยพที่สามารถรองรับจำนวนคนได้ขนาดความจุของเส้นทางอพยพจะต้องมีขนาดที่เพียงพอต่อจำนวนคนที่ใช้อาคารสามารถทำการอพยพคนทั้งหมดได้อย่างสะดวกโดยความจุของเส้นทางอพยพจะพิจารณาจากความกว้างของเส้นทางหรือบันไดเป็นต้น ซึ่งมาตรฐานการป้องกันอัคคีภัยที่มีใช้ในต่างประเทศจะกำหนดขนาดความกว้างของเส้นทางในการอพยพเป็นค่าที่น้อยที่สุดที่สามารถยอมรับได้แต่ไม่ได้มีการกำหนดค่าตายตัว โดยความกว้างดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับปริมาณคนที่อยู่ภายในอาคารเช่นมาตรฐานการป้องกันอัคคีภัยของสหรัฐอเมริกาหรือที่รู้จักกันในนามของ NFPA โดยได้กำหนดการหาค่าความกว้างของเส้นทางหนีไฟไว้ดังนี้คือ

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

โดยที่

T คือเวลาที่ใช้ในการอพยพทั้งหมดหน่วยเป็นนาที

P คือจำนวนคนภายในอาคารหน่วยเป็นคน

B คือความกว้างของบันไดหนีไฟหน่วยเป็นเมตร

$N \text{ eff}$ คือค่าสัมประสิทธิ์ของการอพยพหน่วยเป็นคน/หน่วย/นาที

W คือค่าความกว้างต่อจำนวนคนภายในอาคารหน่วยเป็นนิ้วต่อคน

2. ความกว้างของบันไดหนีไฟต้องไม่น้อยกว่าค่าที่ได้จากการคำนวณตามสูตร

โดยที่กำหนดให้เวลาที่ใช้ในการอพยพคนออกมาทั้งหมดไม่เกิน 2 นาที

ตัวอย่างเช่นค่าความกว้างต่อจำนวนคนภายในอาคารมีค่าเท่ากับ 0.3 นิ้วต่อคนเวลาที่ใช้ในการอพยพเท่ากับ 45 คน/หน่วย/นาทีโดย 1 หน่วยเท่ากับ 22 นิ้วแทนค่าในสมการที่ 39 จะได้

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

3. ความกว้างของโถงทางเดินจะต้องเพียงพอที่จะอพยพผู้คนหมดภายใน 2 นาที

ตัวอย่างเช่นค่าความกว้างต่อจำนวนคนภายในอาคารมีค่าเท่ากับ 0.2 นิ้วต่อคนเวลาที่ใช้ในการอพยพเท่ากับ 60 คน/หน่วย/นาทีโดย 1 หน่วยเท่ากับ 22 นิ้วแทนค่าในสมการที่ 39 จะได้ $T = 1/[0.2 \times (60 / 22)] = 1.83 \text{ นาที}$

มาตรฐานการป้องกันอัคคีภัยในประเทศญี่ปุ่น (2546) ให้ใช้ตัวเลขสัมประสิทธิ์การอพยพในการคำนวณเป็น 80 คน/เมตร/นาทีสำหรับบันไดหนีไฟและ 90 คน/เมตร/นาทีสำหรับทางหนีไฟในประเทศอื่น ๆ ไม่มีการสำรวจค่าสัมประสิทธิ์ในการอพยพออกมาชัดเจนเนื่องจากจำนวนผู้อพยพมีผลอย่างมากกับการสำรวจได้แก่ความรีบร้อนในการอพยพหรือปริมาณของจำนวนกลุ่มคนในประเทศญี่ปุ่นได้กำหนดค่าสัมประสิทธิ์ในการอพยพคนเป็นค่ามาตรฐานตายตัวสำหรับการคำนวณคือ 1.5 คน/เมตร/วินาทีในแนวราบและ 1.3 คน/เมตร/วินาทีในแนวตั้ง

ความจุของคนในการคำนวณแบบทางหนีไฟตามมาตรฐานความปลอดภัยจากอัคคีภัย NFPA โดยแบ่งออกเป็นการหาความจุของพื้นที่ภายในชั้นโดยใช้ขนาดพื้นที่ของอาคารความกว้าง $\times$ ความยาว โดยไม่ต้องหักทางเดินบันไดโดยวัดจากพื้นที่ด้านในของผนังอาคาร (Gross Area)หารด้วยค่า Factor ของกิจกรรม Occupancy Load Factor เป็นค่าที่กำหนดขนาดพื้นที่ต่อคนตามกิจกรรมของพื้นที่ในแต่ละส่วนภายในชั้นมาเป็นตัวแปรในการหาความจุของพื้นที่ที่สามารถรองรับคนได้ก็คือนัดตารางที่ 4 ส่วนการคำนวณขนาดความกว้างของเส้นทางหนีไฟสามารถหาได้จากสมการที่ 42 โดยใช้ค่าความกว้างต่อคน (Capacity Factor) ดังตารางที่ 3

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

จากนั้นทำการหาความจุคนของพื้นที่ในแต่ละห้องทุกห้องภายในชั้นแล้วนำค่าความจุคนที่ได้จากทุกห้องมารวมกันเป็นปริมาณความจุคนทั้งหมดในพื้นที่ห้องกิจกรรม (Net Area) สูตรคำนวณหา

ปริมาณความจุคนในพื้นที่ชั้นอาคารสุทธิ (Net Area Occupancy) โดยที่ Gross Area คือขนาดพื้นที่ของกิจกรรมการใช้โดยไม่หักทางเดินบันไดความหนาของผิวงานตกแต่งเสาหรือเพอร์นิเจอร์วัดด้านในของอาคารไม่รวมความหนาของผนัง Net Area คือขนาดพื้นที่ใช้งานจริงไม่รวมอุปกรณ์หรือความหนาของผนัง

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

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

ตารางที่ 3 ค่า Occupancy Load Factor

Use	(ft ² per person) ²	(m ² per person) ²
Assembly Use		
Concentrated use, without	7 net	0.65 net
fixed seating	15 net	1.4 net
Less concentrated use, Without fixed seating		
Bench-type seating	1 person/18 line ar in	1 person/455 line ar mm
Fixed seating	Number of Fixed seats	Number of Fixed seats
Waiting spaces	See 12.1.7.2 and 13.1.7.2.	See 12.1.7.2 and 13.1.7.2.
Kitchens	100	9.3
Library stack areas	100	9.3
Library reading rooms	50 net	4.6 net
Swimming pools	50(water surface)	4.6(water surface)
Swimming pool decks	30	2.3
Exercise room with equipment	50	4.6
Exercise rooms without equipment	15	1.4
Stages	15 net	1.4 net
Lighting and access catwalk, galleries, gridirons	100 net	9.3 net

ตารางที่ 3(ต่อ)

Use	(ft ² per person) ²	(m ² per person) ²
Casinos and similar gaming areas	11	1
Skating rinks	50	4.6
Educational Use		
Classrooms	20 net	1.9 net
Shops, laboratories, vocational room	50 net	4.6 net
Day-Care Use	35 net	3.3 net
Health Care Use		
Inpatient treatment departments	240	22.4
Ambulatory health care	100	11.1

ที่มา: ดัดแปลงจาก NFPA (2006)

ตารางที่ 4 ค่าความกว้างต่อคน (Capacity Factor) เพื่อคำนวณความกว้างของเส้นทางหนีไฟ

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

ที่มา : ดัดแปลงจาก NFPA (2006)

การคำนวณความจุคนตามมาตรฐานวสท (2551).

การคำนวณความจุคนของแต่ละพื้นที่หรือห้องใดๆต้องคำนวณโดยนำขนาดพื้นที่ที่ต้องการคำนวณหารด้วยพื้นที่ต่อคนตามตารางที่ 5 ซึ่งใช้ในการคำนวณความจุคนเพื่อใช้ในการหนีไฟ

ตารางที่ 5 (ต่อ)

ลักษณะกิจกรรม ¹	ขนาดพื้นที่ต่อคน
สถานพยาบาล ²	
พื้นที่พักคอยสำหรับผู้ป่วยนอก	1.5
ส่วนพยาบาล(Nurse Station)	10.0
ห้องผู้ป่วยหนัก	20.0
ห้องตรวจ(Consultant/ Exam./Treatment)	5.0
ห้องผู้ป่วยรวม	20.0
ห้องปฏิบัติการ	20.0
ห้องเก็บยา	-
สถานศึกษา	2
ห้องเรียน	1.5
ห้องเรียนคอมพิวเตอร์	3.0
ห้องสมุด	5.0
ห้องเตรียมการเรียน(โรงเรียนประจำ)	1.5
ห้องทดลอง(Laboratory)	5.0
โรงฝึกงาน(Workshop)	5.0
ห้องเรียนกวดวิชา	1.0
ห้องเก็บเอกสาร(File room)	10.0
ศูนย์บริการธุรกิจ(Business Center)	0.0
ห้องมันคง	30.0
ห้องเขียนแบบและออกแบบ	5.0
สถานที่ค้าขาย	2
พื้นที่แสดงสินค้า	1.5
พื้นที่จำหน่ายสินค้าราคาพิเศษ	1.5
ซูเปอร์มาเก็ตซูเปอร์สโตร์	5.0
พื้นที่จำหน่ายสินค้าปกติ	5.0
สถานอุตสาหกรรม	2
พื้นที่การผลิต	3
ใช้แรงงานคนเป็นหลัก	2.0
ใช้แรงงานคนและเครื่องจักรอัตโนมัติ	6.0
ใช้เครื่องจักรอัตโนมัติเป็นหลัก	10.0
ห้องซ่อมเครื่องจักรกล(Machanical Workshop)	10.0

ตารางที่ 5 (ต่อ)

ลักษณะกิจกรรม ¹	ขนาดพื้นที่ต่อคน
ห้องสมุด	5.0
ห้องทดลอง(Labolatory)	5.0
โรงอาหาร	1.0
สถานที่ชุมนุม	2
โรงยิมเนเซียม	3.5
พื้นที่ฝึกซ้อมกีฬา	3.0
ลานสรวายน้ำ	5.0
โบว์ลิ่งไม่รวมพื้นที่เล่น	1.0
สวนสนุกไม่รวมพื้นที่เครื่องเล่น	1.0
ห้องบิลเลียด	5.0
ลานสเกต	3.0
ดิสโกเทค	1.0
คาราโอเกะ	2.5
ไนต์คลับ	2.0
สโมสร/ คลับ/ ศูนย์ออกกำลังกาย	5.0
ห้องเปลี่ยนเสื้อผ้า/ ห้องน้ำ	-
Concourse สถานีขนส่ง	3.0
พื้นที่สถานีขนส่งด้านขาออก	3.0
เวทีการแสดง	-
หลังเวทีการแสดง	3.0
ห้องเปลี่ยนเสื้อผ้าในโรงแรมหรสพ	3.0
พื้นที่พักคอยหรือเข้าคิวแบบยืน	0.3
พื้นที่เข้าชมหรือร่วมงานอัจฉริยะแบบนั่งชมกีฬาการแสดง	1.5
พื้นที่หรือห้องเอนกประสงค์แบบยืน	0.3
พื้นที่หรือห้องจัดคอนเสิร์ตแบบยืน	0.3

หมายเหตุ ¹ พื้นที่ของกิจกรรมการใช้ห้ามหักพื้นที่ของเครื่องจักรอุปกรณ์เฟอร์นิเจอร์ออกก่อนการคำนวณ (Gross Area)

² กรณีสถานประกอบการมีการใช้กิจกรรมหลายกิจกรรมต้องใช้ขนาดพื้นที่ต่อคนตามกิจกรรมที่กำหนดและเลือกขนาดพื้นที่ต่อคนที่ต่ำที่สุดมาคำนวณ

³ ความจุคนของพื้นที่การผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมให้ยึดถือจำนวนคนงานตามที่ได้รับรองจากทางราชการแต่ต้องไม่น้อยกว่าค่าที่คำนวณของสถานอุตสาหกรรม

ที่มา: มาตรฐานการป้องกันอัคคีภัย (2551)

ขีดความสามารถของเส้นทางหนีไฟ

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

ตารางที่ 6 ค่าคำนวณความกว้างของเส้นทางหนีไฟ

ประเภทกิจการ	บันไดหรือทางลาดเอียง (มิลลิเมตรต่อคน)	ทางแนวราบหรือประตู (มิลลิเมตรต่อคน)
กิจการ พ3	2	15
กิจการ ส	8	10
กิจการ ช	10	8
กิจการอื่นๆ	8	5

ที่มา: มาตรฐานการป้องกันอัคคีภัย(2551)

การจัดวางเส้นทางหนีไฟ

ทางหนีไฟต้องอยู่ในตำแหน่งที่สังเกตเห็นได้ง่าย และต้องจัดเตรียมทางไปสู่ทางหนีไฟให้สามารถเข้าสู่ทางหนีไฟได้โดยง่ายตลอดเวลา

- 1) พื้นที่ที่มีทางหนีไฟมากกว่า 1 ทาง ทางหนีไฟแต่ละทางต้องอยู่ห่างกันเพื่อป้องกันการเกิดเพลิงลุกไหม้หรือเหตุฉุกเฉินไปกั้นทางหนีไฟมากกว่า 1 ทาง
- 2) พื้นที่ซึ่งไม่สามารถเข้าสู่ทางหนีไฟได้โดยตรง ต้องจัดให้มีทางไปสู่ทางหนีไฟจากพื้นที่ดังกล่าวไปสู่ทางหนีไฟ 2 ทางที่อยู่ห่างกัน และยินยอมให้ใช้ทางไปสู่ทางหนีไฟร่วมกันได้ ไม่เกินระยะทางบังคับที่ระบุในมาตรฐานนี้ ยกเว้นเป็นพื้นที่ที่ยินยอมให้มีทางหนีไฟแค่ทางเดียว

3) พื้นที่ที่ต้องมีทางหนีไฟ 2 ทาง หรือประตูที่เป็นทางไปสู่ทางหนีไฟ 2 ประตู ระยะห่างระหว่างกันต้องไม่น้อยกว่าครึ่งหนึ่งของความยาวเส้นทะแยงมุมสูงสุดของพื้นที่หรือห้องนั้นๆ โดยวัดจากขอบของประตูทางหนีไฟหรือประตูของทางไปสู่ทางหนีไฟด้านใกล้กัน

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

5) การจัดวางทางหนีไฟและทางไปสู่ทางหนีไฟต้องไม่ให้เกิดทางตัน แต่ถ้าหลีกเลี่ยงไม่ได้ระยะทางตันต้องไม่เกินที่กำหนด
รายละเอียดของทางไปสู่ทางหนีไฟระยะทางบังคับ ระยะทางตัน และระยะสัญญาณต้องไม่เกินที่กำหนดตามตารางที่ 7

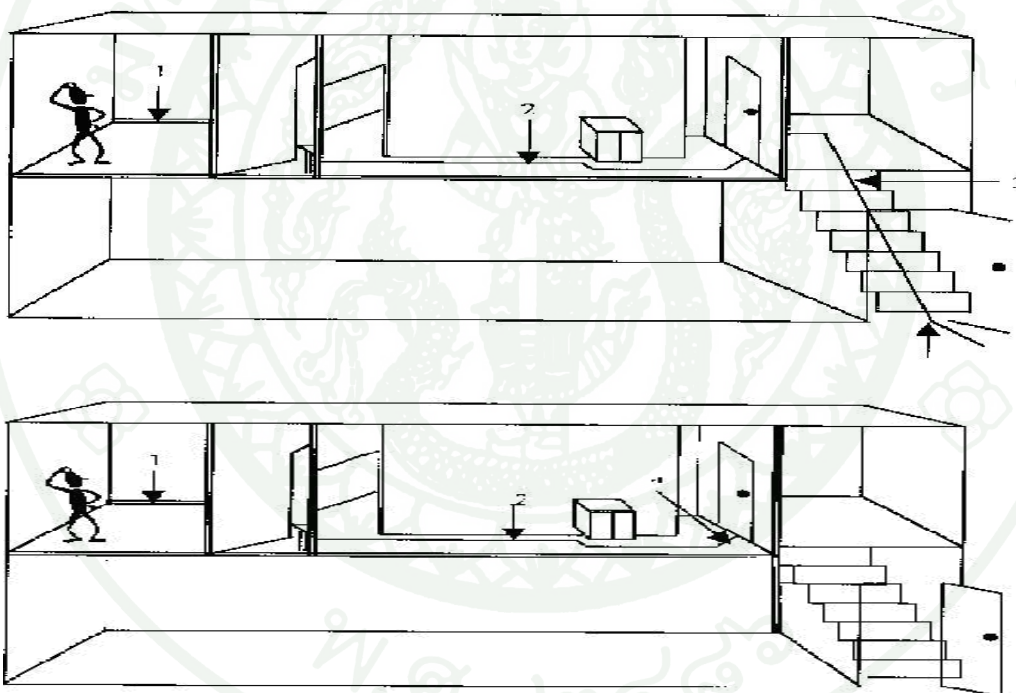
ตารางที่ 7 ระยะทางยาวสุดของระยะทางบังคับระยะทางตันและระยะสัญญาณ

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

- หมายเหตุ ก) ระยะทางสัญจร 30 เมตรสำหรับสถานที่ที่อยู่ต่ำกว่าระดับดิน
 ข) ระยะทางบังคับ 23 เมตรสำหรับสถานที่ที่มีคนอยู่รวมกันน้อยกว่า 50 คน
 ค) สำหรับคลังสินค้าที่มีวัตถุความเสี่ยงต่ำ/วัตถุความเสี่ยงปานกลาง/วัตถุความเสี่ยงสูง
 และ * หมายถึงระยะทางบังคับที่ไม่จำกัดสำหรับคลังสินค้าที่มีวัตถุความเสี่ยงต่ำ
 ง) ระยะทางสัญจรระยะทางบังคับและระยะทางต้นหากติดตั้งระบบดับเพลิงอัตโนมัติยอมให้มีระยะทางให้ไกลออกไปอีก 1.5 เท่าของระยะที่กำหนด

ที่มา: มาตรฐานการป้องกันอัคคีภัย (2551)

การวัดระยะสัญจรให้วัดที่ระดับพื้นตรงกลางทางโดยเริ่มจากตำแหน่งที่ไกลที่สุดที่อาจมีคนอยู่จนถึงตรงกลางประตูทางหนีไฟหรือจุดปลอดภัยที่อยู่ใกล้ที่สุดกรณีเป็นบันไดการวัดระยะสัญจรให้วัดบนเส้นของจุ่มกบันได



ภาพที่ 15 การวัดระยะสัญจร

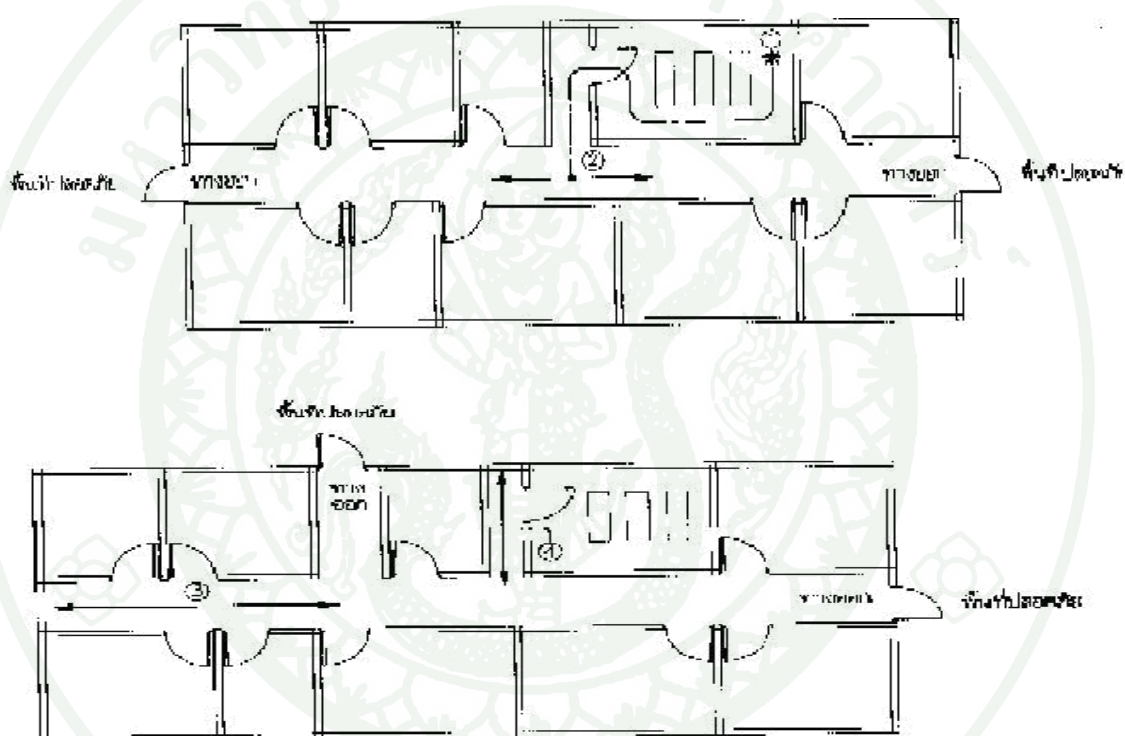
หมายเหตุ การวัดระยะสัญจรจากจุดใดๆถึงทางหนีไฟจะประกอบด้วย

1. จากจุดเริ่มต้นภายในพื้นที่หรือห้องใดๆของอาคารที่ไกลที่สุด
2. หลังจากออกจากพื้นที่หรือห้องใดๆวัดระยะไปตามแนวเส้นทางเดินที่จะนำไปสู่ทางหนีไฟทั้งนี้หากมีอุปสรรคหรือสิ่งกีดขวางใดๆจะต้องวัดระยะโดยอ้อมหลบสิ่งกีดขวางนั้นๆไปบนเส้นทางเดิน

3. ในกรณีที่บันไดหรือทางลาดเอียงใดๆที่ไม่มีการปิดล้อมเพื่อป้องกันควันและไฟหรือการปิดล้อมไม่สมบูรณ์ระยะทางภายในเส้นทางเดินส่วนนี้จะถือเป็นระยะสัญญาณด้วยดังที่แสดงตัวอย่างในรูปก)

4. จุดสิ้นสุดจะอยู่ ณ ตำแหน่งที่เข้าสู่ทางหนีไฟหรือพื้นที่ปลอดภัยหรือที่สาธารณะระดับพื้นดิน

ที่มา: มาตรฐานการป้องกันอัคคีภัย (2551)



ภาพที่ 16 ทางปลายตัน

ระยะจาก 1 ถึง 2 คือทางบังคับ

ระยะ 3 และ 4 คือทางปลายตัน

ประสิทธิภาพการอพยพเคลื่อนย้าย

โดยปกติคนจะไม่ทำอะไรใดๆโดยขาดสติยังคิดหากไม่มีความจำเป็นในการตัดสินใจของคนจะต้องมีช่วงเวลาของการตัดสินใจทำอย่างใดอย่างหนึ่งดังนั้นหากเกิดเหตุการณ์ฉุกเฉินขึ้นการอพยพ

แบบกลุ่มคนจึงต้องมีการตัดสินใจอย่างเร่งด่วนการตัดสินใจที่แสดงออกถึงการแสดงออกของคนในสถานการณ์ฉุกเฉินตามความต้องการที่ชัดเจน (Latane and Darley, 1968) และคนที่อยู่ในกลุ่มเดียวกันมักจะมีการตอบสนองต่อการได้ยินเสียงสัญญาณเตือนจนกระทั่งแน่ใจคนทั้งหมดจึงจะยอมรับว่าเหตุการณ์ฉุกเฉินนั้นซึ่งทั้งหมดการฝึกซ้อมและข้อมูลเวลาจริงในการเกิดเพลิงไหม้จะสามารถช่วยลดความล่าช้าที่อาจเกิดจากการตอบสนองเหตุการณ์นั้นได้(Maclenna, 1986)

Levin (1985) วิเคราะห์และรวบรวมข้อมูลจากหลายแหล่งที่เกี่ยวข้องกับความสัมพันธ์และปฏิกิริยาของคนที่มีความเกี่ยวข้องกันเพื่อให้มีการแบ่งแยกที่ชัดเจนโดยได้แบ่งลำดับขั้นของการตอบสนองดังนี้

1. การตอบสนองโดยเชื่อว่าเกิดเพลิงไหม้แต่ยังไม่แน่ใจ
2. การตอบสนองโดยเชื่อว่าน่าจะมีเหตุเพลิงไหม้
3. การตอบสนองโดยมั่นใจว่าเกิดเพลิงไหม้
4. การตอบสนองโดยเห็นเพลิงไหม้

ปฏิกิริยาของคนในรูปแบบที่ 1 จะมีการหาข้อมูลและในทางกลับกันในรูปแบบที่ 4 นั้นจะมีการตอบสนองทันทีโดยไม่มีข้อมูลในการตัดสินใจส่วนในรูปแบบที่ 2 และ 3 คนส่วนหนึ่งจะมีการหาข้อมูลก่อนและอีกส่วนก็จะพยายามหนีในการตอบสนองนี้รวมไปถึงกรณีที่ยกยอขยับยั้งเพลิงไหม้การเตือนภัยผู้อื่นและอพยพออกจากอาคารโดยจากการทดสอบ พบว่า 50 % ของแบบที่ 2 และ 35 % ของแบบที่ 3 จะพยายามหาข้อมูลก่อนทำการอพยพ

การอพยพเมื่อเกิดเหตุการณ์ฉุกเฉิน

รูปแบบของ Hydraulic Model ซึ่งได้ถูกนำมาใช้เพื่อหาค่าเวลาในการอพยพเคลื่อนย้ายสู่ทางออกที่เป็นจริงคือเวลาที่ต้องการออกจากตัวอาคารปกติเวลาที่ออกสู่ทางออกที่เป็นจริงจะเป็นไปตามเวลาในรูปแบบ Hydraulic Model ตั้งแต่เวลาการเคลื่อนย้ายซึ่งอยู่บนพื้นฐานของข้อมูลจากการจำลองสถานการณ์และประสบการณ์ด้านเพลิงไหม้ซึ่งก็เป็นไปได้ที่เวลาในการเคลื่อนย้ายตามรูปแบบ Hydraulic Model จะใกล้เคียงกับเวลาการเคลื่อนย้ายที่เป็นจริงประสิทธิภาพในการเคลื่อนย้ายเป็นส่วนประกอบหนึ่งของรูปแบบการหาเวลาการเคลื่อนย้ายโดยมีตัวอย่างของส่วนประกอบที่มีประสิทธิภาพดังนี้

1. ความล่าช้าอาจเกิดขึ้นจากการจัดการซึ่งนำไปสู่การไปสู่ทางออกที่ไม่มีประสิทธิภาพหรือการอพยพโดยตรงอื่นๆ

2. เวลาที่ล่าช้าเกี่ยวข้องกับการหยุดแล้วเริ่มต้นเคลื่อนที่ใหม่ในแต่ละจุดการเชื่อมต่อ
3. ความล่าช้าอาจเกิดขึ้นจากความสามารถส่วนตัวที่ไม่ปกติเช่นเริ่มการอพยพเคลื่อนย้ายช้ากว่าคนอื่น
4. ความสมดุลที่ใช้ไปสู่ทางออกอาจเสียไปในขณะที่บางเส้นทางใช้ได้แต่อีกเส้นทางอาจใช้ไม่ได้

ทั้งหมดที่กล่าวมาเป็นเหตุในการลดประสิทธิภาพในการเคลื่อนย้ายได้การใช้การคำนวณตามรูปแบบที่มีผลต่อระบบโดยรวมส่วนประกอบเฉพาะหรือการเปลี่ยนแปลงในระบบอย่างไรก็ตามผลของเวลาอพยพเคลื่อนย้ายตามรูปแบบได้ถูกเปรียบเทียบกับเวลาการอพยพจริงขณะเกิดเพลิงไหม้สิ่งสำคัญเวลาการอพยพเคลื่อนย้ายตามรูปแบบนั้นจะใกล้เคียงกับความเป็นจริง

พฤติกรรมของคนเมื่อเผชิญกับเพลิงไหม้

1. อาการตื่นตระหนกเป็นสิ่งที่แทบไม่มีแม้ในสถานการณ์เพลิงไหม้ขั้นเลวร้ายมีรูปแบบพฤติกรรมที่เป็นปกติการเคลื่อนย้ายไปตามเส้นทางที่ถูกเลือกและมีความสัมพันธ์ที่ดีกับผู้อื่นในสถานการณ์ฉุกเฉินพฤติกรรมต่างๆเป็นไปอย่างมีเหตุมีผล
2. การกระตุ้นรวมถึงกิจกรรมต่างๆในขณะที่เพลิงไหม้เป็นการค้นหาข้อมูลเกี่ยวกับธรรมชาติและความเครียดของสถานการณ์เกี่ยวกับบุคคลอื่นๆ
3. การเคลื่อนย้ายและการตอบสนองต่อเพลิงไหม้โดยทั่วไปโดยปกติจะเป็นไปตามลักษณะสังคมโดยจะมีการเคลื่อนย้ายกันไปเป็นกลุ่ม
4. ปัญหาด้านความบังเอิญอื่นๆที่อาจเกิดขึ้นก็ยังมีอยู่มากในสถานการณ์ฉุกเฉิน

การหาทางออก

การหาเส้นทางออกถือเป็นเรื่องที่มีความสำคัญกับจำนวนคนที่อพยพโดยส่วนมากจะมีปัญหาตามมามากมายเมื่ออาคารมีทางออกหลายทางซึ่งการแก้ปัญหาในการหาทางออกคือการจัดทำเครื่องหมายบอกทิศทางของทางหนีไฟซึ่งมาตรฐานการป้องกันอัคคีภัยส่วนใหญ่จะระบุไว้ด้วยเสมอ (Ozel, 1986) วิจัยเกี่ยวกับการหาทางออกกรณีอพยพหนีไฟเมื่อมีเหตุการณ์เกิดเพลิงไหม้ความสามารถในการอพยพของแต่ละคนในการหาทางออกขึ้นอยู่กับตำแหน่งที่ยืนอยู่ของคนโดยคนส่วนใหญ่จะพยายามนึกถึงทางออกหรือทางหนีไฟตามรูปแบบความคิดของตนเองที่พอนึกได้และมีข้อกำหนดอื่นๆที่มีผลต่อการหาทางออกได้แก่ความสับสนของพื้นที่ตามลักษณะของอาคาร

เครื่องหมายต่างๆและการหาทางออกนั้นจะมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการอพยพกรณีที่มีพื้นที่ต่อจำนวนคนมีน้อยมากและคนที่ไม่คุ้นเคยต่อเส้นทาง การอพยพการอพยพจะมีประสิทธิภาพที่ดีได้เมื่อเส้นทางออกเป็นรูปแบบธรรมดาและทางออกเป็นจุดที่ปลอดภัยต่อผู้อพยพประสิทธิภาพในการหาทางออกจะลดลงหากมีความสับสนเพิ่มมากขึ้น (SFPE Handbook)

ความขัดแย้งของเส้นทางที่บรรจบกัน

เส้นทาง การอพยพคนเมื่อเกิดเหตุเพลิงไหม้นั้นเปรียบได้กับการไหลของน้ำที่ไหลต่อเนื่องกันของ 2 เส้นทางมาบรรจบกันของแต่ละเส้นทางความสามารถในการรองรับการอพยพคนในพื้นที่นั้นได้ (MacLennan, 1986) สังเกตการเคลื่อนย้ายจากการจำลองการอพยพได้ว่าเมื่อเส้นทางหนึ่งหยุดเคลื่อนย้ายในขณะที่อีกเส้นทางหนึ่งเข้ามาบรรจบกันการที่เข้ามาบรรจบกันนี้เองจะมีผลอย่างมากเมื่อจำนวนคนที่มีมากจนทำให้ไม่สามารถเคลื่อนที่ไปได้ซึ่งเป็นเรื่องปกติเมื่อเกิดการเข้ามาบรรจบกันของเส้นทางโดยสามารถสรุปได้ว่า 30 - 50 % บริเวณนั้นได้นั้นความเร็วของการเคลื่อนที่จะลดลง

ประสิทธิภาพของความกว้าง

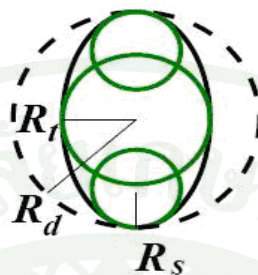
การเคลื่อนที่ของคนไปสู่ทางออกของอาคารที่เกี่ยวข้องกับส่วนอื่นๆเช่นผนังการเคลียร์พื้นที่จึงจำเป็นกับการรักษาสมดุลในการเคลื่อนย้ายการอธิบายเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของกลุ่มคนเกิดขึ้นเมื่อความกว้างมีผลต่อการอพยพเคลื่อนย้ายผลกระทบของความกว้างและระดับชั้นของส่วนประกอบ (Pauls and Fruin, 2000) และ (Habicht and Braaksma) ซึ่งความกว้างของพื้นที่ว่างจะกำหนดจาก

1. จากผนังด้านหนึ่งไปถึงอีกด้านหนึ่งของทางเดิน
2. ความกว้างของชั้นบันได
3. ความกว้างของทางเดินจริงของประตูทางออก
4. พื้นที่ระหว่างแถวที่นั่งกับส่วนอื่นๆที่จัดไว้
5. พื้นที่ระหว่างที่นั่งในแถวที่จัดไว้

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” ซึ่งวิธีการนี้สามารถให้คนที่อพยพมีกลยุทธ์ในการหนีไฟเป็นของตนเองรูปแบบการจำลองการเคลื่อนที่ของคนเป็นการเคลื่อนที่แบบซ้อนแบบ 2 มิติ Geometry แทนด้วยสัญลักษณ์วงกลมซ้อนกัน 3 วงดังภาพที่ 19 ส่วนการวัดความเร็วในการเคลื่อนที่ของคนในแต่ละประเภทสามารถแสดงดังตารางที่ 8



ภาพที่ 17 รูปร่างของร่างกายมนุษย์การเคลื่อนที่ซ้อนแบบ 2 มิติ Geometry แทนด้วยการซ้อนกันของวงกลม

ที่มา: Korhonen and Hostikka (2008)

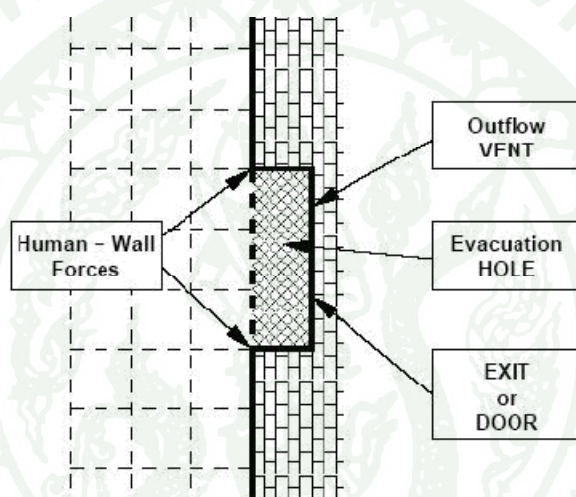
ตารางที่ 8 ความเร็วในการเดินของคนโดยไม่มีการกีดขวางเปรียบเทียบกับขนาดของร่างกายในรูปแบบของโปรแกรม FDS+Evac

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

ที่มา: Korhonen and Hostikka (2008)

ขั้นตอนการจำลองรูปแบบการอพยพนั้นมีการพัฒนาโดยสถาบัน VTT ซึ่งโปรแกรม FDS+Evac เป็นโปรแกรมที่สามารถทำงานบน Single Computer Mode หรืออื่นๆได้แต่รูปแบบของควันหรือแก๊สพิษต้องใช้ Multiple Processor ดังนั้นจึงต้องพิจารณาว่าเมื่อไหร่ที่ต้องใช้การประมวลผลการอพยพด้วย Single Processor หรือ Multiple Processor โดยรูปแบบการจำลองการอพยพโดยโปรแกรม FDS+Evac นั้นสามารถที่จะค้นหาได้ผ่านเว็บไซต์ <http://www.fdsnmv.net/> ซึ่งสามารถที่จะทำการ Download โปรแกรมเวอร์ชันล่าสุดของโปรแกรม FDS-Smokeview ได้ที่ <http://www.vtt.fi/fdsevac> ซึ่งในเว็บไซต์มีวิธีการใช้งานการอ้างอิงด้านเทคนิคและตัวอย่างการใช้งานโปรแกรม FDS+Evac

1. ขีดความสามารถของโปรแกรม FDS+ Evac การจัดทำสิ่งที่สามารถคำนวณของโปรแกรม FDS+Evac ในตอนนี้คืออาคารที่มีรูปแบบของอาคารในแนวนอนเช่นอาคารกีฬาอาคารที่มีที่นั่ง (Stand) อาคารการแสดงดนตรี เป็นต้นแต่ยังไม่สามารถที่จะใช้ Flow ร่วมกับอาคารที่มีรูปแบบ ส่วนประกอบของบันไดได้อย่างสมบูรณ์ดังนั้นโปรแกรม FDS+ Evac จึงยังไม่เหมาะกับรูปแบบของ อาคารสูงโดยในการคำนวณการอพยพจำเป็นต้องมี 2D Evacuation Meshes ซึ่งไม่ควรที่จะมีความ ละเอียดมากจนเกินไปเนื่องจากจะทำให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับ Flow ได้ในระหว่างที่มีการประมวลผล ของการอพยพซึ่งปกติแล้วขนาดของ Meshes Cell จะมีขนาดประมาณ 0.25 เมตรหรือมากกว่าโดย ประตู่หรือทางออกควรทำให้อยู่ในกำแพงเล็กน้อยโดยการทำเป็นรูภายในกำแพงซึ่งขนาดของทางออก จะขึ้นอยู่กับ Mesh Resolution



ภาพที่ 18 การสร้างประตู่หรือทางออก

ที่มา: Korhonen and Hostikka (2008)

โปรแกรม FDS+ Evac จะจำกัดจำนวนคนใน Main Evacuation Meshes ซึ่งหากคนเกิน จำนวนที่จำกัดจะแสดงข้อความ Error เช่นกรณีมีคนจำนวน 673 คนพยายามที่จะเข้าไปในทางออก หรือประตู่ซึ่งโดยปกติแล้วใน Main Evacuation Meshes จะคลุมทั้งชั้นของอาคารซึ่งอาจจะมี จำนวนประตู่หรือทางออกหลายทางได้ตามจำนวนชั้นซึ่งจะมีข้อจำกัดเดียวก็คือขนาด Memory ของ เครื่องคอมพิวเตอร์และโปรแกรมสามารถที่จะจำลองเหตุการณ์ใหม่รวมกับการจำลองการอพยพได้ พร้อมกันซึ่งปริมาณควันหรือแก๊สจะมีผลต่อการเคลื่อนที่และการตัดสินใจเคลื่อนที่หรืออพยพของคน โดยความหนาแน่นของควันหรือแก๊สที่เกิดจากการเผาไหม้สามารถทำให้ความเร็วการเดินของคน ลดลงและจะส่งผลต่อการตัดสินใจในการเลือกเส้นทางออกเมื่อเกิดการอพยพคนเรามักมีทางเลือกใน การหาทางออกได้แตกต่างกันจึงต้องมีการจำลองวิธีการหาทางออกเพื่อดูความหลากหลายดังนั้นจึง ต้องคำนวณการหาทางออกหลายๆครั้งต่อการจำลองเพลิงไหม้ 1 ครั้ง

2. พื้นฐานโปรแกรม FDS+Evac

รายละเอียดข้อมูลของโปรแกรม Fire Dynamic Simulation (FDS) นั้นในส่วนจํานวนของรายละเอียดของโปรแกรมนั้นจะประกอบไปด้วยชื่อโปรแกรมและเวอร์ชันโดยชื่อของโปรแกรมการเกิดไฟคือ NIST Fire Dynamic Simulation หรือเรียกสั้นๆว่า FDS โดยเป็นโปรแกรม Fortran 90 โดยจะใช้ในการแก้สมการ Fluid Dynamic และมีโปรแกรม Smoke view ซึ่งเป็นโปรแกรมที่คล้ายคลึงกันซึ่งเขียนมาจากภาษา C/openGL ซึ่งจะแสดงผลออกมาในลักษณะเป็นภาพ Animation ส่วนโปรแกรมจำลองการอพยพที่พัฒนาโดย VTT และเมื่อนำรวมเข้าด้วยกันกับ FDS Module จึงกลายมาเป็นโปรแกรม FDS + Evac โดยที่การคำนวณการอพยพของโปรแกรมในเวอร์ชันปัจจุบันคือ FDS 5.2.0 ซึ่งชนิดของโปรแกรม (Model Type) โปรแกรม FDS+ Evac เป็นการจำลองแบบมีการรวมกันระหว่างการประมวลผลแบบ Agent - Based egress และแบบ Computational Fluid Dynamics (CFD) โดยข้อมูลที่ใส่ใน Input Data ที่จำเป็นในการทำงานของโปรแกรม FDS+Evac นั้นค่า Input Data Parameter ต่างๆที่จำเป็นในการสั่งให้โปรแกรม FDS+Evac ทำงานคือข้อมูลในรูปแบบของ Text Files ซึ่งจะคล้ายกับข้อมูลของโปรแกรม FDS ส่วนของผลลัพธ์ของการประมวลผลของโปรแกรม FDS+Evac สามารถคำนวณหาค่าตำแหน่งความเร็วและปริมาตรของควัน แก๊สพิษและสามารถเห็นการเคลื่อนที่ของคนแต่ละคนได้โดยใช้โปรแกรม Smoke view แม้ว่าโปรแกรม FDS+Evac จะสามารถทำงานหรือประมวลผลได้ในทุกเหตุการณ์แต่ก็ยังมีย่อจํากัดในส่วน ของค่าดังนี้

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

ข. Reduced Visibility: ค่าความเข้มข้นของควันและแก๊สพิษต่างๆที่เกิดจากการเผาไหม้ สามารถคำนวณได้โดยโปรแกรม FDS จะถูกใช้งานเพื่อลดความเร็วในการเคลื่อนที่ของคนในแบบจำลอง

ค. Incapacitation: โปรแกรมความเสียหายซึ่งใช้แนวคิดของ FED

ง. Exit Route Selection: การควบคุมจํานวนทางออกหรือประตูจํานวนมากหรือน้อย สามารถทำให้เกิดการใช้งานที่แตกต่างกันไป

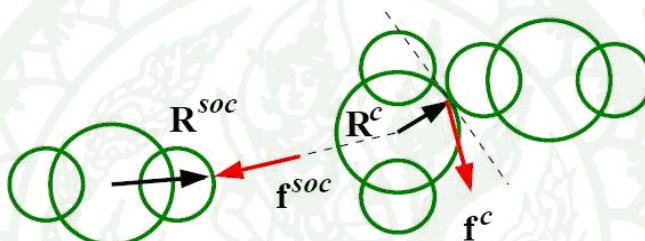
จ. Detection and Reaction Time: เวลา ก่อนการอพยพจะถูกกำหนดโดย User Input ซึ่งจะต้องใช้การกระจายเวลาในการตรวจสอบและวิจัย

ฉ. Application: โปรแกรม FDS+Evac ในเวอร์ชันปัจจุบันจะยังไม่นำเรื่องของลิฟต์เข้ามา เกี่ยวข้อง ดังนั้นสถานที่แสดงดนตรีและสนามกีฬาอาจจะทำให้สามารถจำลองได้ยากเนื่องจากข้อจํากัด

จาก Rectangular Computational Mesh ด้านจำนวนคนที่อพยพในเวอร์ชันปัจจุบันสามารถได้มากที่สุด 10,000 คน

3. ทฤษฎีพื้นฐานการอพยพของโปรแกรม

จุดเริ่มต้นของรูปแบบการคำนวณการเคลื่อนที่ของคนในโปรแกรม FDS+Evac ซึ่งการปรับเปลี่ยนสัญลักษณ์ของคนจาก 1 วงกลมเป็น 3 วงกลมโดยการเคลื่อนที่ของคนในโปรแกรม FDS+Evac ใช้กฎของ Mechanic เพื่อติดตามทิศทางไปของคน (Langton, 2006 and Korhonen, 2007) โดยการใช้การคำนวณโดยรูปร่างของคนในโปรแกรม FDS+Evac จะคล้ายคลึงกับใน Simplex MassEgress แสดงดังภาพที่ 10 (คน - คน) คนเดียวคนใน Social คน 2 คน



ภาพที่ 19 ขนาดของคนใน Radial factor

โดยโปรแกรม FDS + Evac คนจะถูกนำทางไปยังประตูทางออกโดยสนามทางเดินเป็นทิศทางแบบ Vector ดังภาพที่ 21 โดยการกำหนดทางออกเดียวให้เป็นเหมือนพัดลมจึงเหมาะกับการกำหนดทิศทางออกตามที่กำหนดไว้ถึงแม้ว่าจะไม่ใช่วิธีที่มีระยะทางที่สั้นที่สุดแต่ก็ใกล้เคียงเพราะจะสามารถนำคนไปในทิศทางที่ถูกต้องไม่นำคนไปสู่ทิศทางที่แคบกว่าซึ่งจะทำให้เกิดการติดขัดและถึงแม้เป็นในสถานที่ใหญ่ๆ อย่างเช่นสนามกีฬาที่ไม่สามารถเคลื่อนที่ออกนอกทิศทางที่คนส่วนใหญ่เคลื่อนที่มุ่งไปได้อยู่แล้วซึ่งสัญลักษณ์แทนคนที่เป็นวงกลม 3 วงถูกใช้ในการทดลองเพื่อให้ได้รูปแบบการเคลื่อนที่คล้ายจริงมากที่สุด

4. เพลงและปฏิกิริยาของคน

เพลงมีอิทธิพลต่อการสภาวะการอพยพอาจทำให้คนเราได้รับอันตรายหรือหากเป็นกรณีที่เกิดเหตุการณ์ร้ายแรงอาจทำให้เกิดการปิดกั้นทางออกหลักและอีกนัยหนึ่งก็สามารถที่จะมองได้ว่าคนอาจมีอิทธิพลต่อเพลงเช่นกันโดยการเปิดประตูหรือการใช้อุปกรณ์ดับเพลิงซึ่งในปัจจุบันผลกระทบของควันทันทีมีความเร็วในการเคลื่อนที่ของคนและความเป็นพิษของควันทันทีมีผลในการคำนวณการเคลื่อนที่ของโปรแกรม FDS+Evac ความหนาแน่นของควันทันทีมีผลต่อการการมองเห็นประตูทางออก

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

โดยที่

FED_{tot} คือ Toxic Effect ของก๊าซที่เกิดขึ้นหลังจากเกิดเหตุเพลิงไหม้ทั้งหมด

FED_{CO} คือ Toxic Effect ของที่ CO เกิดขึ้นหลังจากเกิดเหตุเพลิงไหม้

FED_{O_2} คือ Toxic Effect ของที่ O_2 เกิดขึ้นหลังจากเกิดเหตุเพลิงไหม้

HV_{CO_2} คือค่า Hyperventilation Factor ของ CO_2

Toxic Effect ของก๊าซที่เกิดขึ้นหลังจากเกิดเหตุเพลิงไหม้นั้นจากแนวคิดของPuser's Fractional Effect Dose (FED) โดยโปรแกรม FDS+Evac ในเวอร์ชันปัจจุบันนั้นใช้เพียงความเข้มข้นของ CO , CO_2 และ O_2 ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 43 โดยทั้งนี้จะไม่รวมถึงผลกระทบจาก HCN CO_2 ซึ่งมีความเข้มข้นน้อยจนไม่น่าจะเกิดอันตรายสัดส่วนของปริมาณที่ทำให้เกิดอันตรายจาก CO สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 44 ส่วน O_2 สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 45

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

$$FED_{O_2} = t \frac{\exp [8.13 - 0.54 (20.9 - CO_2)]}{\exp [8.13 - 0.54 (20.9 - CO_2)]} \quad (45)$$

คนอพยพจะถูกพิจารณาได้ว่าได้รับอันตรายเมื่อมีค่า FED สูงกว่าค่าโดยรวมโดยคนที่ได้รับอันตรายจะถูกพิจารณาให้ความเร็วในการเคลื่อนที่เป็นศูนย์ขนาดร่างกายไม่เปลี่ยนแปลง

5. การเลือกทางออก

โปรแกรม FDS+Evac จะพิจารณาคนอพยพแต่ละคนจะสังเกตสถานที่และอากัปกริยาของผู้อพยพอื่นเพื่อประเมินการหาทางออกที่เร็วที่สุดระยะเวลาในการอพยพโดยการประเมินจะประกอบด้วยระยะเวลาในการเดินรวมกับการต่อแถวโดยเวลาในการเดินหาได้จากระยะทางในการเดินทางด้วยความเร็วในการเดินเวลาในการต่อแถวหาได้จากพฤติกรรมรวมกับสถานที่ของผู้อพยพอื่นรวมถึงยังสมมติให้ผู้อพยพสามารถเปลี่ยนเส้นทางได้หากพบทางออกที่ดีกว่าความคุ้นเคยกับทางออกของคนอพยพแต่ละคนในโปรแกรม FDS+Evac สามารถกำหนดได้โดยผู้ใช้โปรแกรมหรือจะให้โปรแกรมกำหนดให้เป็นแบบสุ่มก็ได้วิธีหรือขั้นตอนการเลือกทางออกจะประกอบด้วย 2 ส่วนคือทางออกที่แบ่งตาม Preference และทางออกที่ถูกเลือกโดยการลดเวลาในการอพยพโดยประมาณโดยทางออกที่เราคุ้นเคยเราจะรู้สึกว่ามีอันตรายน้อยซึ่งเป็นสาเหตุทางด้านจิตวิทยาและตัวผู้อพยพมักจะชอบทางออกที่คุ้นเคยถึงแม้จะใช้เวลาในการเดินนานเพราะเหตุผลนี้การฝึกซ้อมเหตุการณ์ฉุกเฉินจึงต้องมีการใช้ทางหนีไฟ

6. กลุ่มคน / ผู้ชน

ผู้ชนประกอบด้วยคนกลุ่มเล็กๆตัวอย่างเช่นครอบครัวซึ่งกลุ่มคนเหล่านี้มักจะทำกิจกรรมต่างๆด้วยกันโดยพฤติกรรมเหล่านี้ก็สามารถที่จะนำมาใช้ในการคำนวณของโปรแกรมFDS+Evac ด้วยเช่นกัน (Helbing, 1995) ได้แบ่งการกระทำของกลุ่มคนเป็น 2 ขั้นตอนคือ

6.1 ขั้นตอนการรวมตัวคนแต่ละคนจะเดินเข้าหากันเพื่อรวมกลุ่ม

6.2 ขั้นตอนการออกไปสู่พื้นที่ด้านนอกโดยกลุ่มคนจะออกสู่พื้นที่ด้านนอกไปยังทางออกที่ได้เลือกไว้แล้วพร้อมกันซึ่งทั้ง 2 ขั้นตอนนี้ในโปรแกรมจะเริ่มจากการที่แต่ละคนจะพยายามเดินมาอยู่ตรงกลางให้อยู่ในระยะจุดศูนย์กลางอยู่ห่างจากแต่ละคนในระยะที่ใกล้กันเมื่อนั้นจึงถือว่าขั้นนี้สมบูรณ์ จากนั้นจึงเริ่มเดินไปสู่ทางออกในระหว่างการเดินทางทุกๆคนในกลุ่มก็พยายามอยู่รวมกันซึ่งมีผลต่อความเร็วในการเดินและเพิ่มแรงในการมุ่งไปสู่จุดหมาย

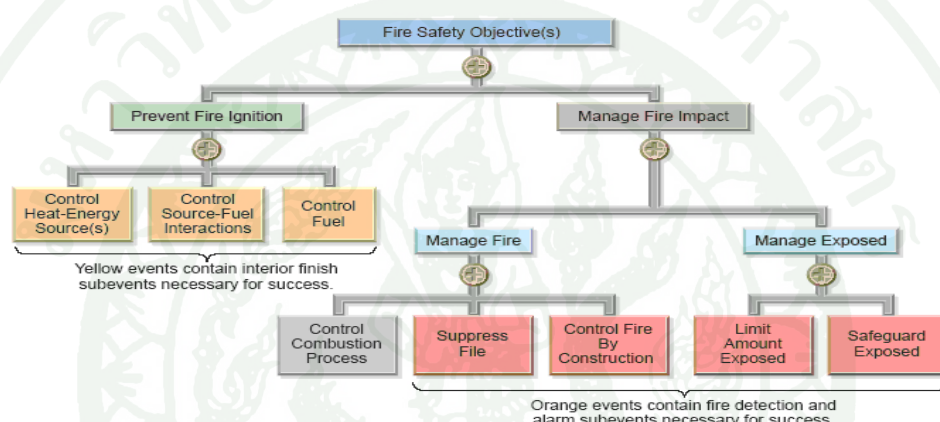
7. การคำนวณการเคลื่อนที่ของคน

สมการการเคลื่อนและตำแหน่งของการหมุนของการเคลื่อนที่สามารถแก้ไขได้โดยการใช้ความเร็วที่ปรับแล้วซึ่งลำดับขั้นเวลาที่ใช้ในคำสั่งโดยจะถูกปรับค่าในการจำลองโดยแรงที่สูงสุดที่กระทำต่อคนโดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0.001 วินาทีและ 0.00001 วินาทีซึ่งขึ้นอยู่กับรูปแบบคำสั่งของประตูทางออกเวลาที่ใช้ในการอพยพโดยประมาณของโปรแกรม FDS+Evacในเวอร์ชันปัจจุบันทำโดยการหารระยะทางที่ไปสู่ประตูด้วยความเร็วในการเดินที่ไม่มีสิ่งกีดขวางในการคำนวณทำตลอดเส้นทางอพยพและประมาณระยะเวลาที่ใช้ในการร่อนแถวที่บริเวณด้านหน้าประตูส่วนความหนาแน่นของควันหรือควันพิษสามารถคำนวณได้โดย FDS 5 Fire Simulation โดยที่ผู้ใช้งานใส่ Input เป็นเวลาของการตรวจจับและเวลาในการตอบสนองสำหรับคนที่กำลังอพยพความหนาแน่นของควันหรือก๊าซพิษนั้นมีผลต่อรูปแบบคำสั่งในการเลือกประตูทางออก

หลักการออกแบบการป้องกันและระงับอัคคีภัย

การกำหนดหัวข้อการป้องกันอัคคีภัยที่เอื้ออำนวยต่อการป้องกันอัคคีภัยตามแนวทางของการออกแบบระบบป้องกันและระงับอัคคีภัยของอาคารสูงหรืออาคารขนาดใหญ่หรืออาคารขนาดใหญ่พิเศษส่วนมากจะยึดถือตามค่ามาตรฐานสากลโดยนำค่าที่ถูกกำหนดไว้มาใช้งานและในบางครั้งพบว่าพื้นที่ที่ถูกออกแบบไว้มีข้อจำกัดด้านงานสถาปัตยกรรมและพฤติกรรมของผู้บริโภคที่มักจะยึดถือความสะดวกสบายเป็นหลักในการใช้งานส่งผลให้บางครั้งเกิดความไม่ปลอดภัยตามมารวมถึงระบบที่ออกแบบเพื่อป้องกันและระงับอัคคีภัยทำงานได้ไม่เต็มประสิทธิภาพด้วยเหตุนี้จึงเป็นที่มาของวิทยานิพนธ์นี้จะทำให้ใช้หลักการของการเคลื่อนที่ของไฟในพื้นที่ปิดล้อม(Enclosure Fire Dynamics) มาช่วยในการออกแบบโดยให้อิงกับมาตรฐานที่ใช้ในประเทศและสอดคล้องกับการนำไปใช้ตามที่กฎหมายได้ออกไว้ในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร(ฉบับที่1) พ.ศ. 2522,

พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2535, พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร(ฉบับที่ 3) 2543 ดังนั้นระบบป้องกันอัคคีภัยที่จำเป็นต้องจัดทำเพื่อให้การป้องกันอัคคีภัยของอาคารเป็นไปตามมาตรฐานและกฎเกณฑ์ (Fire Safety Codes and Regulation) ที่ประเทศไทยได้มีการนำมาตรฐานของ National Fire Protection Association [NFPA] บางหมวดหมู่มาใช้ในประเทศเพื่อความเหมาะสมบางประการเช่นแนวคิดเรื่องป้องกันและระงับอัคคีภัยโดยมีการนำมาตรฐาน NFPA 550 Guide to the Fire Safety Concepts Tree 2002 edition ที่วางระบบการป้องกันการเกิดจุดติดไฟ (Prevent Fire Ignition) และการจัดการผลกระทบที่เกิดจากไฟ (Manage Fire Impact) ภาพที่ 20 ที่มีการแบ่งหมวดหมู่เพื่อดำเนินการประเมินผลตามหลักเกณฑ์ของงานป้องกันและระงับอัคคีภัย



ภาพที่ 20 แนวคิดของการวางระบบป้องกันอัคคีภัยของ NFPA 550

ที่มา: National Fire Protection Association (2002)

สำหรับในประเทศไทย (เกชา,2545) แนวความคิดในการออกแบบทางด้านสถาปัตยกรรมกับการป้องกันอัคคีภัยไว้ด้วยกันซึ่งจะแบ่งเป็น 2 ส่วนคือการออกแบบเพื่อการป้องกันอัคคีภัยเชิงรุก (Active) และการออกแบบเพื่อป้องกันอัคคีภัยเชิงรับ (Passive) ดังภาพที่ 21



ภาพที่ 21 สถาปัตยกรรมกับการป้องกันอัคคีภัย

ที่มา: เกชา (2542)

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

ขั้นตอนการเกิดเพลิงไหม้เริ่มเกิดไฟจากจุดเผาไหม้เล็กๆไฟขยายตัวไปยังเชื้อเพลิงที่อยู่ใกล้ๆหรือลุกลามไปตามผิวหน้าของวัสดุในห้องนั้นไฟลามไปถึงหน้าต่างและประตูทำให้เกิดความเสียหายหรือแตกหักแสงสว่างจากเปลวไฟสังเกตเห็นได้อย่างชัดเจนก๊าซร้อนและควันเริ่มมีปริมาณมากขึ้นไฟและควันไหลลามลามไปตามช่องว่างและรอยแตกของอาคารพร้อมๆกับในชั้นที่อุณหภูมิขึ้นสูงมากอันตรายมีมากขึ้นจุดรองรับน้ำหนักของอาคารเริ่มทรุดตัวจุดรองรับน้ำหนักต่างๆพังลงมาอาคารยุบและพังทลาย

ความปลอดภัยจากอัคคีภัยด้วยแนวทางของการป้องกันเชิงรับสิ่งที่จะต้องพิจารณาของระบบป้องกันอัคคีภัยคือการหยุดการลามไฟเพื่อลดความสูญเสียที่เกิดกับชีวิตและทรัพย์สินให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้การป้องกันการลามไฟประกอบด้วยวิธีการดังนี้

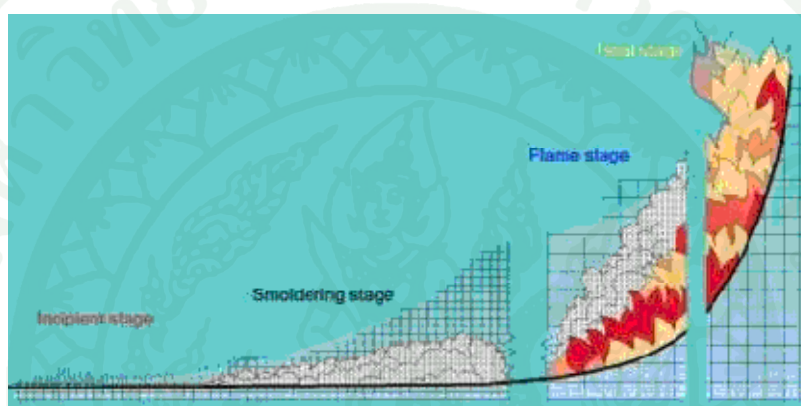
ก. ควบคุมการเกิดควันไฟและการกระจายตัวของควันไฟเพื่อระบายน้ไฟออกนอกบริเวณขณะเกิดเพลิงไหม้อาคารลดหรือป้องกันการแพร่กระจายของควันด้วยการออกแบบการใช้งานการติดตั้งการทดสอบและซ่อมบำรุงระบบรวมถึงการเพิ่มเติมอุปกรณ์ให้แก่ระบบปรับอากาศและระบบหัวกระจายน้ำในระบบดับเพลิงให้ทำงานร่วมกับระบบควบคุมควันไฟได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ข. การป้องกันการลามไฟเมื่ออพยพหนีไฟให้เป็นไปอย่างปลอดภัยโดยที่ผนังปิดล้อมพื้นที่ต้องมีอัตราทนไฟ 2 ชั่วโมงและมีระบบอัดอากาศเพื่อป้องกันการแพร่กระจายเข้ามาในพื้นที่ปิดล้อมมีความดันขณะใช้งานไม่น้อยกว่า 38.6 ปาสกาล (0.15 นิ้วน้ำ) โดยมีการพิจารณาของความเร็วของอากาศที่ผ่านประตูหนีไฟเพื่อป้องกันควันย้อนกลับด้วยการกำหนดให้อาคารที่มีระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิงความเร็วที่ผ่านประตูต่ำสุดที่ยอมได้ 0.30 เมตรต่อวินาทีและอาคารที่ไม่มีระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิงความเร็วที่ผ่านประตูต่ำสุดที่ยอมได้ 0.80 เมตรต่อวินาทีในขณะที่ความเร็วของอากาศที่จ่ายออกจากช่องท้ออัดอากาศจะต้องอยู่ในช่วง 2-3 เมตรต่อวินาทีวัสดุที่ใช้ในงานท้อลมทั้งหมดจะต้องไม่ติดไฟและวัสดุจะต้องมีค่าอุณหภูมิของการหลอมละลายไม่น้อยกว่า 1,000 องศาเซลเซียส (วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, 2540)

ค. การใช้วัสดุประเภทไม่ลามไฟหรือสร้างความเสถียรภาพของโครงสร้างวัสดุประเภทป้องกันโครงสร้างของอาคารขณะเกิดเพลิงไหม้ไม่ให้เกิดการแตกกร้าวการทลายตัวเป็นการเลือกวัสดุของโครงสร้างอาคารให้มีโครงสร้างทนไฟตั้งแต่เริ่มการออกแบบ

2. การป้องกันเชิงรุก (Active Fire Safety) เป็นการป้องกันอัคคีภัยเมื่อเพลิงไหม้ได้เกิดขึ้นแล้วซึ่งจะต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์การเฝ้าระวังอุปกรณ์การป้องกันการลุกลามของไฟและอุปกรณ์สำหรับการควบคุมควันไฟ

2.1 ระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้ความสามารถของอุปกรณ์ตรวจจับเพลิงไหม้จะจำแนกตามระยะเวลาของการเกิดเพลิงไหม้เริ่มต้นตั้งแต่การเป็นสถานะของเชื้อเพลิงที่เป็นของแข็งกลายเป็นเชื้อเพลิงที่อยู่ในสถานะก๊าซจากนั้นควันไฟจะก่อตัวขึ้นและเกิดเปลวไฟขึ้นและในที่สุดจะเกิดความร้อนจากเปลวไฟแพร่กระจายออกไปดังภาพที่ 22



ภาพที่ 22 ขั้นตอนการเกิดเพลิงไหม้

ที่มา: National Fire Protection Association (1999)

จากภาพที่ 22 สามารถแบ่งระยะเวลาการเกิดเพลิงไหม้ได้เป็น 4 ระยะคือ

ระยะที่ 1 ระยะเริ่มต้น (Incipient Stage) จะไม่สามารถมองเห็นอนุภาคของควันไฟและเปลวไฟและจะรู้สึกถึงความร้อนอุปกรณ์ตรวจจับที่เหมาะสมคืออุปกรณ์ตรวจจับไอออนและก๊าซจากการเผาไหม้

ระยะที่ 2 ระยะเกิดควัน (Smoldering Stage) สามารถมองเห็นเปลวไฟและจะรู้สึกถึงความร้อนแต่จะมองเห็นควันไฟอุปกรณ์ตรวจจับที่เหมาะสมคืออุปกรณ์ตรวจจับควันไฟ

ระยะที่ 3 ระยะเกิดเปลวไฟ (Flame Stage) สามารถมองเห็นเปลวไฟควันไฟและเริ่มรู้สึกถึงความร้อนอุปกรณ์ตรวจจับที่เหมาะสมคืออุปกรณ์ตรวจจับเปลวไฟ

ระยะที่ 4 ระยะเกิดความร้อน (Heat Stage) สามารถมองเห็นเปลวไฟควันไฟโดยจะไม่สามารถควบคุมความร้อนได้อากาศร้อนจะแผ่ขยายตัวออกไปอุปกรณ์ตรวจจับที่เหมาะสมคืออุปกรณ์ตรวจจับความร้อน

2.2 ระบบดับเพลิงอัตโนมัติซึ่งเป็นระบบที่ใช้ระงับเพลิงเมื่อเกิดเพลิงไหม้ขึ้นโดยปกติอุปกรณ์ที่สำคัญในระบบนี้คือหัวกระจายน้ำดับเพลิง

2.3 ระบบควบคุมควัน เนื่องจากควันไฟเป็นสาเหตุสำคัญที่สุดที่ทำให้เสียชีวิตขณะเกิดเพลิงไหม้จึงต้องมีระบบควบคุมควันไฟเพื่อระบายควันไฟไปยังพื้นที่ที่ไม่เป็นอันตรายต่อชีวิตการควบคุมควันไฟเป็นสิ่งสำคัญมากในการป้องกันชีวิตเนื่องจากควันไฟเป็นสาเหตุสำคัญของการเสียชีวิตมากกว่าความร้อนเพราะควันไฟสามารถแพร่กระจายตัวได้อย่างรวดเร็วและสามารถไหลผ่านช่องเปิดต่างๆได้รวมทั้งยังลดความสามารถในการมองเห็นจึงทำให้ไม่สามารถหาทางออกจากอาคารเมื่อเกิดอัคคีภัยได้ดังนั้นจุดมุ่งหมายของระบบควบคุมควันไฟคือการป้องกันไม่ให้ควันไฟเข้าสู่บริเวณบันไดโถงลิฟต์และชะลอการแพร่กระจายของควันไฟรวมทั้งการระบายควันไฟก๊าซพิษและความร้อนออกจากบริเวณที่เกิดอัคคีภัยการเสียชีวิตส่วนใหญ่นั้นเกิดจากควันไฟเนื่องจากองค์ประกอบของควันจะมีก๊าซพิษอยู่หลายชนิดด้วยกัน เช่น ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ ก๊าซไฮโดรเจนคลอไรด์ ก๊าซแอมโมเนีย และเขม่าควันไฟเป็นต้น แต่ก๊าซที่เป็นปัจจัยสำคัญในการเสียชีวิตของการเกิดอัคคีภัยในอาคารสำนักงานทั่วไปคือก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และเขม่าควันไฟ

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นิวัฒน์ (2542) การศึกษาเวลาในการหนีภัยในอาคารพิจารณาการหนีไฟที่ใช้สำหรับอาคารเพื่อนำไปสร้างเวลาของการเคลื่อนหรืออพยพคนจากอาคารเมื่อเกิดเพลิงไหม้ก่อนที่จะมีควันไฟเข้ามาในพื้นที่หนีไฟให้มีการกำหนดเวลาการอพยพอย่างเหมาะสมกับประเทศไทยโดยการวิจัยนี้ใช้สูตรเวลาอพยพหนีไฟของนักวิจัยชาวอเมริกา Paul (1980) ในที่นี้ได้ทำการทดลองโดยใช้นักศึกษาสถาบันเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตภาคใต้จังหวัดสงขลาจำนวน 102 คนใช้เวลาการทดลอง 20 ครั้งในระยะเวลา 20 วันพบว่าความเร็วเฉลี่ยในการเคลื่อนที่บนทางราบลงบันไดมีค่า 54.12 และ 8.87 เมตรต่อวินาทีอัตราอพยพบนทางราบผ่านประตูและลงบันไดมีค่า 81.98, 55.01 และ 54.68 คนต่อวินาทีต่อความกว้างหนึ่งเมตรตามลำดับผลการทดลองที่สามารถจำลองเป็นสูตรคณิตศาสตร์แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและความหนาแน่นที่ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวกำหนด (r^2) สูงเกิน 0.9 ในหลายกรณี

พันธุ์พร (2542) อาคารสูงในเขตคลองเตยกรุงเทพมหานครประเภท 16-25 ชั้นและอาคารที่สูงมากกว่า 25 ชั้นมีการเตรียมความพร้อมของระบบป้องกันอัคคีภัยในแต่ละปัจจัยผ่านเกณฑ์กำหนดมากกว่าอย่างมีนัยสำคัญ($P>0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับอาคารสูงประเภท 5-10 ชั้นและอาคาร 11-15 ชั้นและผลการใช้สถิติวิเคราะห์ข้อมูลได้ข้อสรุปว่าอาคารสูงในเขตคลองเตยมีข้อบกพร่องเกี่ยวกับทางและบันไดหนีไฟรวมทั้งระบบไฟฟ้าจัดเป็นประเด็นปัญหาที่สำคัญของปัจจัยเสริมซึ่งอาคารสูงโดยส่วนใหญ่มีรายการที่ต้องแก้ไขตามกฎหมายกระทรวงฉบับที่ 47 (พ.ศ.2540) เนื่องจากไม่มีแผนผังที่ใช้แสดงอาคารแต่ละชั้นตำแหน่งห้องทุกห้องตำแหน่งที่เก็บอุปกรณ์ดับเพลิงและประตูหรือทางหนีไฟ ผลการศึกษาพบว่ามาตรการป้องกันอัคคีภัยในอาคารสูงที่เกี่ยวกับมาตรการทางกฎหมายประกอบการปฏิบัติตามกฎหมายในการก่อสร้างอาคารสูงอย่างมีประสิทธิภาพและจริงจังจะส่งผลให้ป้องกันการเกิดอัคคีภัยในอาคารสูงมีประสิทธิภาพตามไปด้วยซึ่งจะส่งผลกระทบต่อผู้ใช้อาคารสูงและผู้เกี่ยวข้องในที่สุดนอกจากนี้ยังนำไปสู่การกำหนดเป็นมาตรการในการป้องกันและบรรเทาความเสียหายจากการเกิดอัคคีภัยในอาคารสูงด้วย

สุทัศน์ (2544) ศึกษาการอพยพคนลงจากอาคารสูงโดยพิจารณาความสามารถของพฤติกรรมมนุษย์แต่ละคนเป็นบรรทัดฐานเพื่อทำการวิจัยถึงทางหนีไฟการปิดล้อมพื้นที่ด้วยวัสดุทนไฟและไม่ติดไฟตลอดจนลูกชั้นบันไดว่ามีผลกระทบต่อการหนีไฟเพียงใดในแนวความคิดการออกแบบเพื่อป้องกันอัคคีภัยสถาปนิกต้องให้ความสำคัญในการออกแบบเพื่อการป้องกันอัคคีภัยเป็น 2 เท่าดังนั้นในการออกแบบสิ่งสำคัญที่สถาปนิกผู้ออกแบบควรรู้คือ

- 1) การป้องกันชีวิตต่ออัคคีภัยนั้นสามารถป้องกันได้โดยการหลบหนีจากควันเพราะควันเป็นผู้ที่ทำให้คนเสียชีวิตได้มากกว่าความร้อนของไฟ
- 2) การออกแบบโครงสร้างต้องคำนึงถึงการเลือกใช้วัสดุทนไฟและไม่ติดไฟมาใช้ อีกทั้งการออกแบบการจำกัดวงพื้นที่ของการแพร่กระจายความร้อน

เกชา (2545) ได้ทำการวิเคราะห์ว่าปัญหาในการจัดระบบการป้องกันอัคคีภัยสำหรับอาคารสาธารณะต้องเริ่มจากส่วนที่เรียกว่ามาตรการเชิงรับ (Passive Fire Prevention) ประกอบด้วยการแบ่งพื้นที่ป้องกันการจัดทำทางหนีไฟและบันไดหนีไฟการปิดล้อมช่องแนวตั้งและช่องทางที่ไฟจะสามารถลุกลามได้หลังจากนั้นต้องเสริมด้วยส่วนที่เรียกว่ามาตรการเชิงรุก (Active Fire Prevention) ประกอบด้วยระบบเตือนภัยและระบบดับเพลิง

ณัฐกรณ์ (2546) ออกแบบอาคารสูงและอาคารขนาดใหญ่ซึ่งเป็นอาคารที่มีผู้ใช้งานเป็นจำนวนมากพบว่าต้องคำนึงถึงการสัญจรของผู้ใช้งานทั้งในแนวนอนและแนวตั้งรวมทั้งการระบายผู้ใช้ออกจากอาคารเมื่อเกิดอัคคีภัยขึ้นด้วยโดยในกฎกระทรวงฉบับที่ 33 ปีพ.ศ. 2533 ก็มีข้อกำหนดมาตรฐานในการออกแบบต่างๆเพื่อความปลอดภัยจากอัคคีภัยสำหรับอาคารสูงและอาคารขนาดใหญ่ไว้ด้วยในเรื่องของประสิทธิภาพการระบายผู้ใช้ออกจากอาคารนั้นผู้ออกแบบไม่สามารถมองเห็นภาพ

และปัญหาที่เกิดขึ้นจากการระบายผู้ใช้ออกจากอาคารนั้นได้ชัดเจนหากเกิดปัญหาขึ้นหลังจากที่มีการก่อสร้างไปแล้วจะทำให้การแก้ปัญหาทำได้โดยยากซึ่งถ้ามีเครื่องมือที่ให้ข้อมูลเพื่อช่วยในการออกแบบการสัญจรและระบายผู้ใช้หรือช่วยวัดประสิทธิภาพของอาคารที่ออกแบบได้จะช่วยทำให้การออกแบบอาคารมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

สุรินทร์ (2549) ศึกษาการเกิดอัคคีภัยในอาคารสูงโดยต้นเพลิงมาจากกองเอกสารไฟและควันจะพัฒนาตัวอย่างรวดเร็วโดยเมื่อความร้อนของเพดานจะมีอุณหภูมิสูงถึง 620 องศาเซลเซียสและควันจะใช้เวลาประมาณ 3 นาทีที่จะกระจายตัวหนาแน่นเต็มห้องอุณหภูมิในแต่ละชั้นความสูงของห้องจะมีค่าต่างกันโดยที่เวลา 100 วินาทีที่ความสูงจากพื้นห้อง 3.2, 2.1 และ 1.0 เมตรอุณหภูมิห้องโดยรอบจะมีค่าประมาณ 140, 77 และ 30 องศาเซลเซียสตามลำดับในส่วนของการออกแบบจำนวนการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับความร้อนและระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิงจะต้องติดตั้งทั้งหมด 50 และ 64 หัวตามลำดับจึงจะเหมาะสมกับประเภทของพื้นที่และเป็นไปตามมาตรฐานของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย(2545) สำหรับการออกแบบระบบควบคุมควันนั้นจะต้องใช้ปริมาณอากาศอัดเข้าสู่บันไดหนีไฟเท่ากับ 7.74 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาทีเมื่อนำมาจำลองสภาวะโดยใช้การสร้างภาพเสมือนพบว่าปริมาณอากาศที่ใช้สามารถผลักดันไม่ให้ควันเข้าสู่บันไดหนีไฟได้

Hostikka และ คณะ (2008). ทำการทดลองเพื่อยืนยันความถูกต้องของโปรแกรม FDS+Evac ทำการจำลองการอพยพด้วยโปรแกรม FDS+Evac เปรียบเทียบกับการติดตั้งกล้องวิดีโอและอุปกรณ์ Radio Frequency Identification ที่ผู้อพยพพบว่าการจำลองและการอพยพจริงมีความสอดคล้องกัน

กฎหมาย

กฎกระทรวงกำหนดมาตรฐานการบริหาร จัดการและดำเนินการด้านความปลอดภัยอาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับการป้องกันและระงับอัคคีภัย พ.ศ. 2555



อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. ระบบคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์เสริม

1.1 คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ACER รุ่น Aspire5583 NWXMi หน่วยความจำ ขนาด 2 GB

1.2 เครื่องพิมพ์เอกสาร

2. โปรแกรมคอมพิวเตอร์

1.1 โปรแกรม Microsoft Windows XP Professional

1.2 โปรแกรม Fire Dynamic Simulation version 5.2.0 and Smoke view version 5.2.2

1.3 โปรแกรม Pyrosim version 2010.1

วิธีการ

การศึกษาแบ่งออกเป็นสองกรณี คือ

กรณีที่ 1 โดยต้องการศึกษาพฤติกรรมการเกิดควัน เมื่อได้ผลจากการจำลองแล้วจะนำเวลาที่เกิดพฤติกรรมของควันไปเปรียบเทียบกับเวลาที่ใช้อ้างอิง กฎหมายประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่อง การป้องกันและระงับอัคคีภัยในสถานประกอบการเพื่อความปลอดภัยในการทำงานสำหรับลูกจ้าง ซึ่งกำหนดไว้ว่า ลูกจ้างที่อยู่ในอาคารจะต้องอพยพออกจากบริเวณที่ทำงานสู่ทางออกสุดท้ายได้ภายในเวลาไม่เกิน 5 นาที (300 วินาที) แล้วทำการวิเคราะห์พฤติกรรมการเกิดควันจากโมเดลที่สร้างไว้โดยมีรายละเอียดและวิธีการดังต่อไปนี้

ทำการสร้างโมเดลการจำลองสถานการณ์ กำหนดให้เป็นอาคารขนาดใหญ่พิเศษ เป็นหนึ่งในโรงงานทั้งหมด 6 โรงงาน ซึ่งอาคารนี้สูง 2 ชั้น การจำลองในส่วนของการเตรียมวัตถุดิบเพื่อการผลิต และในส่วนของสำนักงานมีทั้งคนท้องและพนักงานที่นั่งปฏิบัติงานอยู่ในสายการผลิต ประมาณ 350 คน โดยมีการกำหนดเงื่อนไขและสภาพของพื้นที่ไว้ดังนี้ คือ กำหนดให้มีการจำลองการเกิดเหตุเพลิงไหม้ในอาคารซึ่งจะทดลองตั้งแต่วินาทีแรกจนถึงเวลาที่ 421 วินาที (7 นาที) โดยต้องการศึกษา

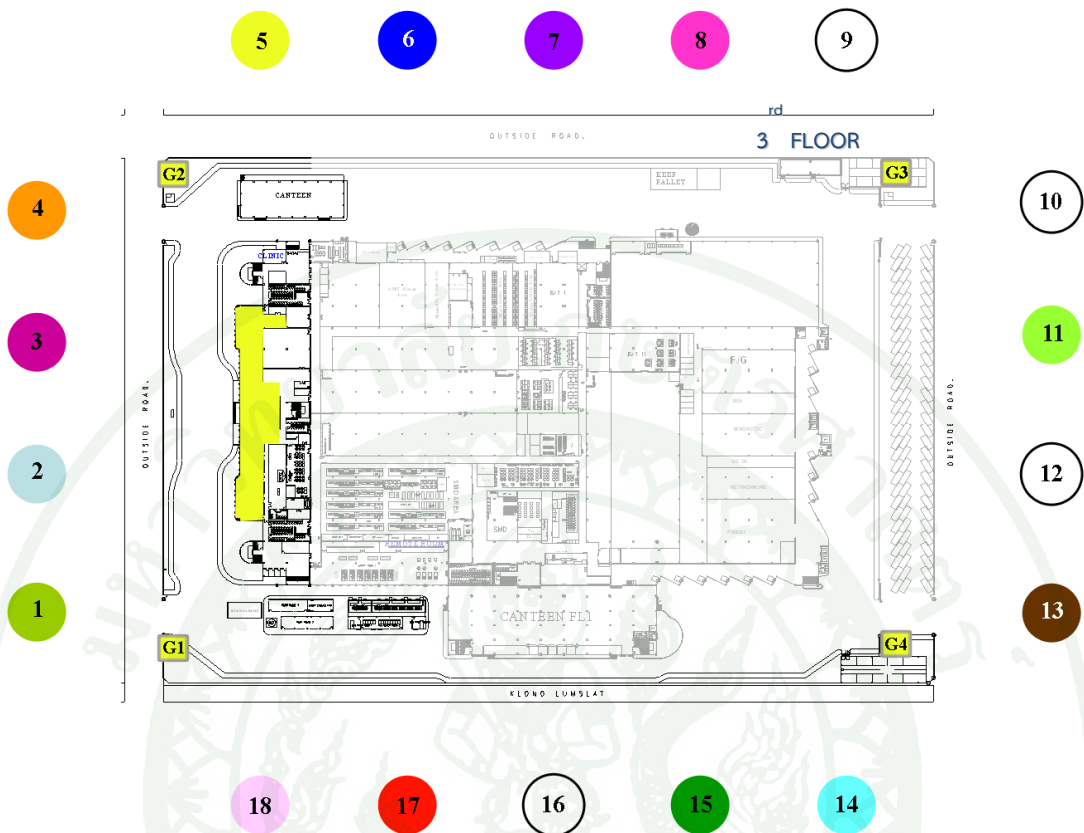
พฤติกรรมเกิดการเกิดควัน เมื่อได้ผลจากการจำลองแล้วจะนำเวลาที่เกิดพฤติกรรมของควันไปเปรียบเทียบกับเวลาที่ใช้อ้างอิง กฎหมายประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่องการป้องกันและระงับอัคคีภัยในสถานประกอบการเพื่อความปลอดภัยในการทำงานสำหรับลูกจ้าง ซึ่งกำหนดไว้ว่า ลูกจ้างที่อยู่ในอาคารจะต้องอพยพออกจากบริเวณที่ทำงานสู่ทางออกสุดท้ายได้ภายในเวลาไม่เกิน 5 นาที (300 วินาที) แล้วทำการวิเคราะห์พฤติกรรมเกิดการเกิดควันจากโมเดลที่สร้างไว้

กรณีที่ 2

1. ผลการศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการอพยพจำนวน 3 ตัวแปร ได้แก่ ห้องต้นเพลิง จำนวนผู้ใช้อาคาร และความกว้างของประตูทางออกหนีไฟ
2. ผลการศึกษาการออกแบบเส้นทางหนีไฟกำหนดให้จำนวนคนที่ส่งไปโปรแกรมในส่วนสำนักงานของอาคารขนาดใหญ่พิเศษนี้ มีจำนวนทั้งหมด 673 คน โดยแบ่งเป็น จำนวนคนชั้นที่ 1 มีจำนวนทั้งหมด 163 คน จำนวนคนชั้นที่ 2 มีจำนวนทั้งหมด 208 คน จำนวนคนชั้นที่ 3 มีจำนวนทั้งหมด 302 คน

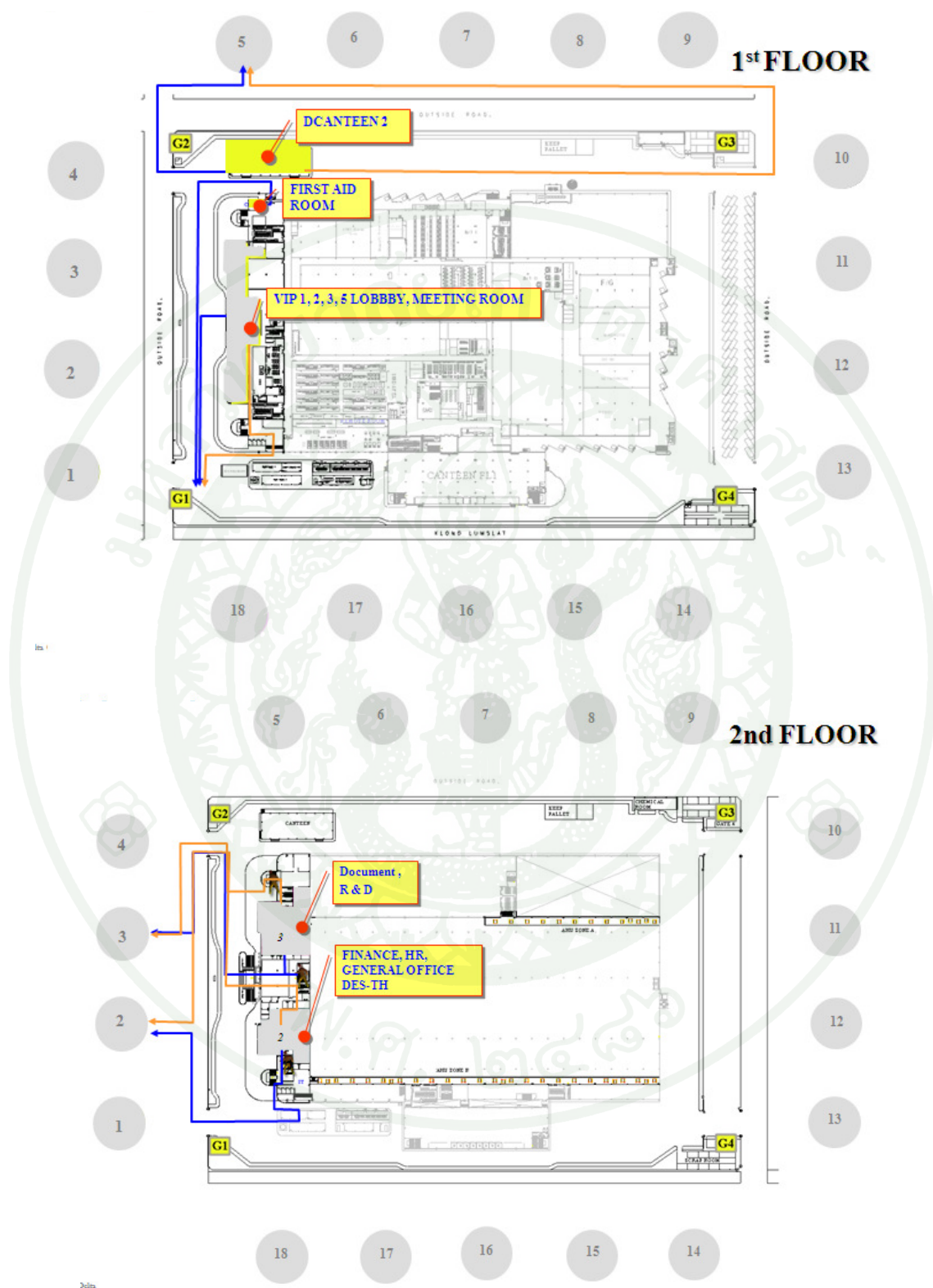
การอพยพ โดยกำหนดให้คนอพยพออกตามแผนผังทางออกหนีไฟตามแผนฉุกเฉินของบริษัท ฯโดยกำหนดให้คนชั้นที่ 1 ในโซนของห้องประชุมทั้งหมด และบริเวณของส่วนประชาสัมพันธ์ อพยพออกในเส้นทางหลัก คือ ประตูหน้า Lobby คนชั้นที่ 2 กำหนดให้อพยพออกในเส้นทางหลัก คือ อพยพออกบริเวณตู้ฝังสำนักงานของแผนก IT ผ่านห้อง recruitment ชั้น 1 อพยพมายังจุดรวมพลที่กำหนดให้คนชั้นที่ 3 กำหนดให้คนอพยพออกในเส้นทางหลัก คือ อพยพออกในประตูหนีไฟด้านห้องฝึกอบรม ผ่านบันไดชั้นลอยไป ลงไปยังชั้น 1 ผ่านห้อง recruitment

1. การศึกษาการอพยพเมื่อกำหนดให้ห้องต้นเพลิงเกิดจากสำนักงานชั้น 1 ในส่วนงานของตู้เอกสาร โดยมีพนักงานทั้งสิ้น 163 คน เวลาที่ใช้ในการจำลองการศึกษาการอพยพ 300 วินาที(5 นาที)
2. การศึกษาการอพยพเมื่อกำหนดให้ห้องต้นเพลิงเกิดจากสำนักงานชั้น 2 ในส่วนงานของตู้เอกสาร โดยมีพนักงานทั้งสิ้น 208 คน เวลาที่ใช้ในการจำลองการศึกษาการอพยพ 300 วินาที (5 นาที)
3. การศึกษาการอพยพเมื่อกำหนดให้ห้องต้นเพลิงเกิดจากสำนักงานชั้น 3 ในส่วนงานของตู้เอกสาร โดยมีพนักงานทั้งสิ้น 302 คน เวลาที่ใช้ในการจำลองการศึกษาการอพยพ 300 วินาที (5 นาที) (การศึกษากำหนดให้ห้องต้นเพลิงเกิดจากสำนักงานชั้น 3 ในส่วนงานของตู้เอกสาร)
ลักษณะอาคารเป็นอาคารขนาดใหญ่พิเศษจำนวน 2 ชั้น โดยมีชั้นลอย 1 ชั้น รวมทั้งหมด 3 ชั้นดังภาพที่ 23 และ 24



ภาพที่ 23 แผนผังอาคารสำนักงาน

ที่มา: บริษัทฯ เอกชนแห่งหนึ่งในจังหวัดสมุทรปราการ (2557)



ภาพที่ 24 แผนผังอาคารสำนักงานชั้นที่ 2

ที่มา: บริษัทฯ เอกชนแห่งหนึ่งในจังหวัดสมุทรปราการ(2557)

องค์ประกอบของเส้นทางหนีไฟมีบันไดทั่วไปซึ่งกำหนดให้เป็นบันไดหนีไฟ 2 บันไดและประตูหนีไฟ 2 ประตูดังภาพที่ 24 รายละเอียดขององค์ประกอบของทางหนีไฟมีดังนี้

2. ศึกษาทฤษฎีและมาตรฐาน

2.1 ศึกษาทฤษฎีการเกิดเพลิงไหม้การเกิดควันการอพยพ

2.2 มาตรฐาน NFPA 101 ข้อเสนอแนะเวลาในการอพยพกำหนดไว้ที่ 3 นาที

3. กำหนดตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาและออกแบบเส้นทางหนีไฟ

3.1 ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาการอพยพในอาคารขนาดใหญ่พิเศษ(สำนักงาน) มี 3 ตัวแปรได้แก่ห้องต้นเพลิง จำนวนผู้ใช้อาคาร และความกว้างของประตูห้อง สามารถแบ่งได้ดังนี้

3.1.1 กำหนดให้ห้องต้นเพลิงมีตำแหน่งอยู่บริเวณกึ่งกลางสำนักงานดังภาพที่ 28 จำนวนผู้ใช้อาคารเต็มพื้นที่ 302 คน เป็นผู้ใหญ่ทั้งหมด

3.1.2 จำนวนผู้ใช้อาคารเพื่อศึกษาจำนวนผู้ใช้อาคารที่มีผลต่อการอพยพกำหนดต้นเพลิงเกิดจากไฟฟ้าลัดวงจรปฏิกิริยาไฟไหม้เริ่มลามไปที่ชั้น 2 และชั้น 1 ตามลำดับ

3.1.3 ความกว้างของประตูห้องเพื่อศึกษาความกว้างของประตูห้องที่มีผลต่อการอพยพกำหนดต้นเพลิงได้ลามไปติดไฟที่ตู้เก็บเอกสารคาดว่าเพลิงเกิดจากห้องไฟฟ้าลัดวงจร กำหนดให้ห้องต้นเพลิงมีตำแหน่งอยู่บริเวณกึ่งกลางสำนักงานสภาพปัจจุบันมีขนาด 140 เมตรในการศึกษาจึงกำหนดความกว้างของประตูห้องมีขนาดตามจริง และมีการทดลองและเพิ่มความกว้างของประตูเป็น 50 เซนติเมตรจำนวนผู้ใช้อาคารเต็มพื้นที่ 673 คนเป็นผู้ใหญ่ทั้งหมด

3.2 การออกแบบเส้นทางหนีไฟจากการศึกษาการออกแบบเส้นทางหนีไฟของอาคารสำนักงานโดยใช้ประโยชน์ของพื้นที่ใกล้เคียงกับสภาพปัจจุบันและมีผลกระทบต่อโครงสร้างเดิมน้อยที่สุดการออกแบบเส้นทางหนีไฟได้กำหนดให้เป็นไปตามแผนผังการอพยพหนีไฟตามที่บริษัทกำหนดในส่วนของสำนักงาน ทั้ง 3 ชั้น และได้มีการจำลองการเกิดไฟไหม้และการเกิดควัน กำหนดให้มีการจำลองการเกิดเหตุเพลิงไหม้ในอาคารซึ่งจะทดลองตั้งแต่วินาทีแรกจนถึงเวลาที่ 421 วินาที (7 นาที) โดยต้องการศึกษาพฤติกรรมการเกิดควัน เมื่อได้ผลจากการจำลองแล้วจะนำเวลาที่เกิดพฤติกรรมของควันไปเปรียบเทียบกับเวลาที่ใช้อ้างอิง กฎหมายประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่องการป้องกันและระงับอัคคีภัยในสถานประกอบการเพื่อความปลอดภัยในการทำงานสำหรับลูกจ้าง ซึ่งกำหนดไว้ว่าลูกจ้างที่อยู่ในอาคารจะต้องอพยพออกจากบริเวณที่ทำงานสู่ทางออกสุดท้ายได้ภายในเวลาไม่เกิน 5 นาที (300 วินาที) แล้วทำการวิเคราะห์พฤติกรรมการเกิดควันจากโมเดลที่สร้างไว้

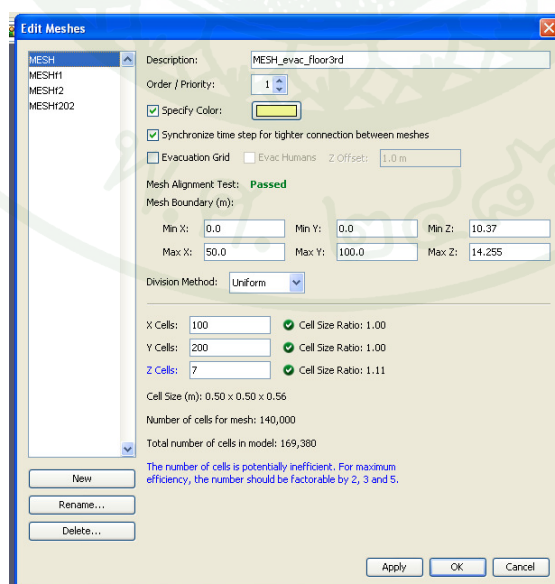
4. การจัดทำแบบจำลองพลศาสตร์อัคคีภัยและการจำลองการอพยพแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้

4.1 การสร้างแบบจำลองโครงสร้างอาคารด้วยโปรแกรม Pyrosim version 2010.1 ข้อดีของโปรแกรมนี้คือช่วยให้สร้างแบบจำลองโครงสร้างมีความสะดวกและรวดเร็วมากยิ่งขึ้นจำลองการเกิดเพลิงไหม้สามารถแจ้งข้อผิดพลาดเมื่อทำการประมวลผลไม่ผ่านและสามารถใช้ร่วมกับโปรแกรม FDS ได้ข้อเสียคือไม่สามารถจำลองการอพยพได้และเป็นโปรแกรมลิขสิทธิ์ต้องขออนุญาตก่อนนำมาใช้ในการศึกษาโดยมีระยะเวลาจำกัด

4.2 การสร้างแบบจำลองการอพยพด้วยโปรแกรม Fire Dynamics Simulation version 5.2.0 และ Smoke view version 5.2.2 (FDS + Evac) ข้อดีของโปรแกรมนี้คือจำลองการเกิดเพลิงไหม้ร่วมกับการจำลองการอพยพได้ไม่เป็นโปรแกรมลิขสิทธิ์สามารถนำมาใช้ในการศึกษาได้โดยไม่จำกัดเวลาข้อเสียคือต้องเขียนชุดคำสั่งเพื่อจำลองโครงสร้างทำให้ใช้เวลามากกว่าโปรแกรมPyroSim และไม่มีการแจ้งข้อผิดพลาดเมื่อทำการประมวลผลไม่ผ่านทำให้ต้องใช้เวลาในการหาสาเหตุของข้อผิดพลาดเพิ่มขึ้น

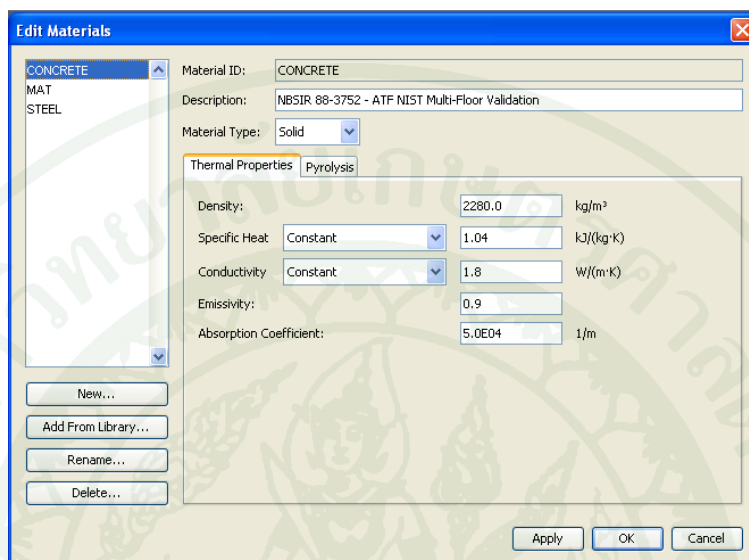
4.3 การสร้างแบบจำลองโครงสร้างอาคารด้วยโปรแกรม Pyrosim version 2010.1

4.3.1 การสร้าง Mesh เพื่อให้การสร้างแบบจำลองโครงสร้างเสมือนจริงมากที่สุดควรกำหนด mesh cell ให้มีขนาดเท่ากับของจริงทั้งแกน X, Y และ Z โดยเลือกเมนู Model คลิกEdit Mesh คลิกปุ่ม New กำหนดค่า MAX X, Y และ Z กำหนด Mesh cell แกน X, Y และ Z คลิกปุ่ม OK



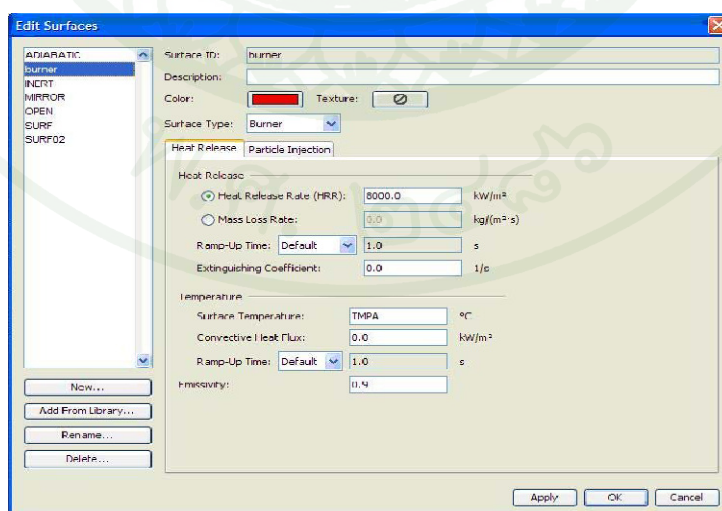
ภาพที่ 25 การสร้าง Mes

4.3.2 การกำหนด Materials การกำหนดของเหลวที่เป็นเชื้อเพลิงโดยเลือก EditMaterials คลิก New ช่อง Material Name ให้พิมพ์ชื่อ Material Type ให้เลือก Solid คลิก OK



ภาพที่ 26 การกำหนด Materials

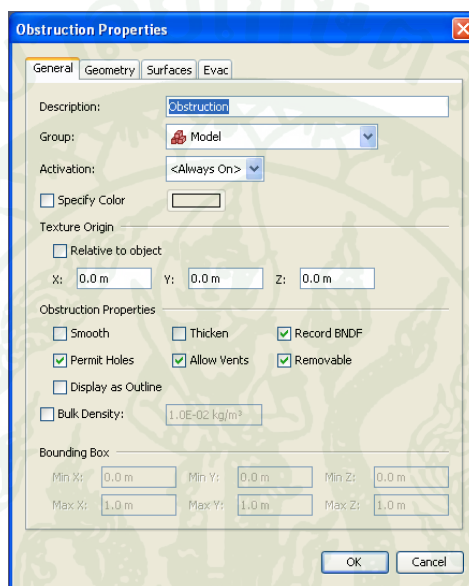
4.3.3 การกำหนด Surface โดยเลือกเมนู Model คลิก Edit Surface Properties เลือก Surface Type แบ่งออกเป็น 3 ประเภทได้แก่ Adiabatic, Inert และ Burner พารามิเตอร์ของ Burner แบ่งเป็น 2 อย่างได้แก่ Heat Release Option และ Partical Option



ภาพที่ 27 การกำหนด Surface

4.3.4 การสร้าง Geometry การสร้างแบบจำลองโครงสร้างสามารถทำได้โดยเลือก 2D VIEW เพื่อสร้าง Obstruction มีขั้นตอนดังนี้

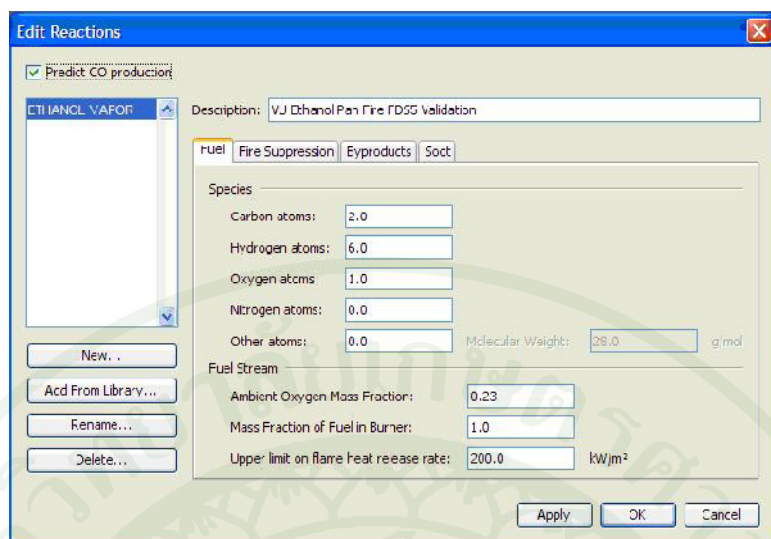
เลือกเมนู Model คลิก New Obstruction หน้าจอขึ้น Obstruction Properties ให้กำหนดค่า MIN Z และ MAX Z และ Surface Property ของ Obstruction การสร้างกำแพงสามารถเลือกคำสั่ง Wall และการสร้างหน้าต่างประตูหรือทางออกให้เลือกคำสั่ง Wall Hole หรือหากต้องการให้เกิดความรวดเร็วในการสร้างห้องสามารถเลือกใช้คำสั่ง Room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



ภาพที่ 28 การสร้าง Obstruction

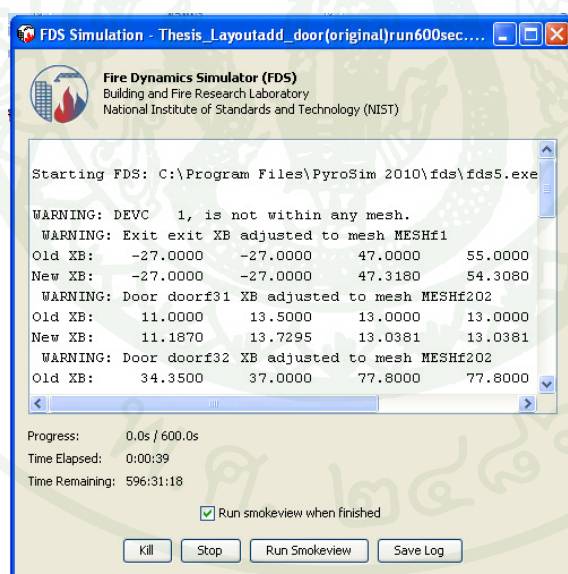
4.3.5 การกำหนดปฏิกิริยามีขั้นตอนดังนี้

เลือกเมนู Model คลิก Edit Reaction บท Fuel tab ยกตัวอย่างเช่น กำหนดให้ปฏิกิริยาเกิดจาก Ethanol ให้ใส่เลขอะตอมของ Ethanol โดยมีคาร์บอน 2 อะตอมไฮโดรเจน 6 อะตอมและออกซิเจน 1 อะตอม (แต่เนื่องจากการจำลองนี้ไม่มีการกำหนด Reaction)



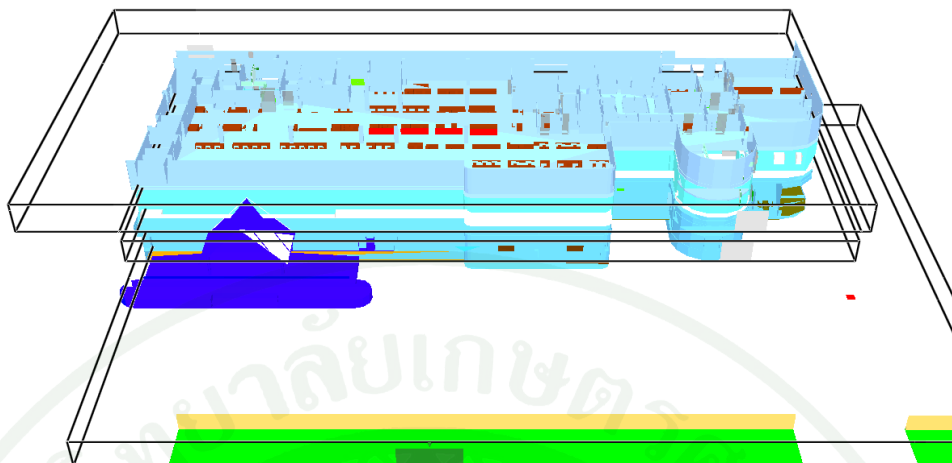
ภาพที่ 29 การกำหนดปฏิกิริยา

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

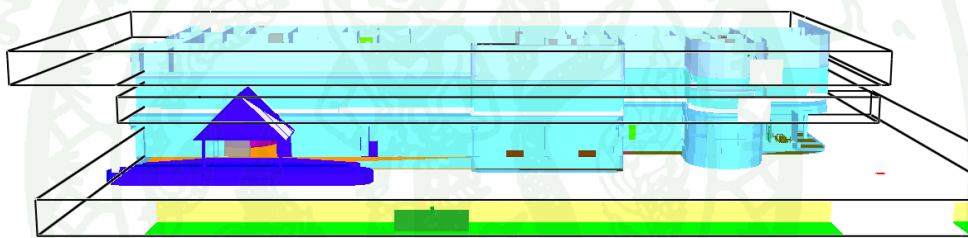


ภาพที่ 30 การประมวลผลด้วยโปรแกรม FDS ที่อยู่ใน Pyrosim

หลังประมวลผลด้วย FDS แล้วเสร็จจะได้ Output File เป็น File นามสกุลfds ซึ่งจะถูกนำไปใช้เป็น Input File ในโปรแกรม FDS+Evac เพื่อสร้างแบบจำลองการอพยพต่อไปผลการสร้างแบบจำลองโครงสร้างอาคารด้วยโปรแกรม Pyrosim



ภาพที่ 31 หลังการสร้างแบบจำลองอาคารทั้ง 3 ชั้นเสร็จเรียบร้อยแล้ว



ภาพที่ 32 หลังทำการประมวลผลด้วย FDS ในโปรแกรม Pyrosim

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

4.4.1 ชุดคำสั่ง Input Files ที่อยู่ในรูปของ Text Files ประกอบไปด้วย

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

4.4.1.2 เวลาในการ Simulate โปรแกรม FDS+Evac ซึ่งการกำหนดเวลาใน Simulate นั้นขึ้นอยู่กับผู้ใช้งานทั้งนี้ผู้วิจัยกำหนดเวลาไว้ที่ 300 วินาทีเป็น Input Files ที่ได้จากโปรแกรม PyroSim

4.4.1.3 ตำแหน่งและชนิดของผนังคอนกรีตเป็น Input Files ที่ได้จากโปรแกรม PyroSim

4.4.1.4 ตำแหน่งการเกิดเพลิงไหม้สร้างจากโปรแกรม FDS+Evac

4.4.1.5 ตำแหน่งประตูออกของผู้อพยพสร้างจากโปรแกรม FDS+Evac

4.4.1.6 ตำแหน่งประตูและบันไดหนีไฟสร้างจากโปรแกรม FDS+Evac

4.4.1.7 ลักษณะของผู้อพยพสร้างจากโปรแกรม FDS+Evac โดยกำหนดให้ผู้
อพยพเป็นผู้หญิงและผู้ชาย

4.4.1.8 ตำแหน่งและจำนวนของผู้อพยพในแต่ละห้องสร้างจากโปรแกรม
FDS+Evac กำหนดให้จำนวนคนที่ใส่ลงไปในโปรแกรมในส่วนสำนักงานของอาคารขนาดใหญ่พิเศษนี้
มีจำนวนทั้งหมด 673 คน โดยแบ่งเป็น จำนวนคนชั้นที่ 1 มีจำนวนทั้งหมด 163 คน จำนวนคนชั้นที่
2 มีจำนวนทั้งหมด 208 คนจำนวนคนชั้นที่ 3 มีจำนวนทั้งหมด 302 คน

4.2.2 การประมวลผลข้อมูลโดยโปรแกรม FDS+Evac ผลที่ได้จากการประมวลชุดคำสั่ง
จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ

4.2.2.1 ผลที่แสดงในรูปข้อมูล (Data Files) โดยผลที่แสดงออกมาในรูปของ
ข้อมูลเป็นผลของการจำลองการเกิดเพลิงไหม้และผลการจำลองการอพยพจะแสดงผลในรูปโปรแกรม
Microsoft Excel ดังภาพที่ 38

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
	AgentsIn	AgentsIn	AgentsIn	AgentsIn	AgentsIn	AgentsIn	AgentsIn	AgentsIn	AgentsIn	AgentsIn	AgentsIn	AgentsIn	AgentsIn	AgentsIn	AgentsIn	AgentsIn	FED_Index	FED_Index			
	AgentsIn	AgentsIn	AgentsIn	AgentsIn	AgentsIn	AgentsIn	AgentsIn	AgentsIn	AgentsIn	AgentsIn	AgentsIn	AgentsIn	AgentsIn	AgentsIn	AgentsIn	AgentsIn	FED_Index	FED_Index			
1	5	671	163	208	300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00E+00	0.00E+00			
2	EVAC_Tim	671	163	208	300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00E+00	0.00E+00			
3	0.00E+00	671	163	208	300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00E+00	0.00E+00			
4	8.30E-01	671	163	208	300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00E+00	0.00E+00			
5	1.22E+00	671	163	208	300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00E+00	0.00E+00			
6	2.08E+00	671	163	208	300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00E+00	0.00E+00			
7	2.49E+00	671	163	208	300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00E+00	0.00E+00			
8	3.08E+00	671	163	208	300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00E+00	0.00E+00			
9	3.65E+00	671	163	208	300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00E+00	0.00E+00			
10	4.25E+00	671	163	208	300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00E+00	0.00E+00			
11	4.85E+00	671	163	208	300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00E+00	0.00E+00			
12	5.46E+00	671	163	208	300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00E+00	0.00E+00			
13	6.01E+00	671	163	208	300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00E+00	0.00E+00			
14	6.61E+00	671	163	208	300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.95E-06	1.95E-06			
15	7.27E+00	671	163	208	300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.95E-06	1.95E-06			
16	7.83E+00	671	163	208	300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.95E-06	1.95E-06			
17	8.49E+00	671	163	208	300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.95E-06	1.95E-06			
18	9.00E+00	671	163	208	300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.95E-06	1.95E-06			
19	9.63E+00	671	163	208	300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.95E-06	1.95E-06			
20	1.03E+01	671	163	208	300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.95E-06	1.95E-06			
21	1.08E+01	671	163	208	300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	4.00E-06	4.00E-06			
22	1.14E+01	671	163	208	300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1.10E-05	1.10E-05			
23	1.20E+01	671	163	208	300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	1.70E-05	1.70E-05			
24	1.27E+01	671	163	208	300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	2.40E-05	2.40E-05			
25	1.32E+01	671	163	208	300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	2.40E-05	2.40E-05			
26	1.38E+01	671	163	208	300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	2.40E-05	2.40E-05			
27	1.44E+01	671	163	208	300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	2.40E-05	2.40E-05			
28	1.51E+01	671	163	208	300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	2.71E-05	2.71E-05			
29	1.56E+01	671	163	208	300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	3.23E-05	3.23E-05			
30	1.63E+01	671	164	207	300	0	0	0	1	0	0	0	0	0	10	0	3.87E-05	3.87E-05			
31	1.69E+01	671	164	207	300	0	0	0	1	0	0	0	0	0	10	0	4.48E-05	4.48E-05			
32	1.74E+01	671	164	207	300	0	0	0	1	0	0	0	0	0	11	0	4.93E-05	4.93E-05			
33	1.80E+01	671	165	206	300	0	0	0	2	0	0	0	0	1	10	0	5.48E-05	5.48E-05			
34	1.86E+01	671	166	205	300	0	0	0	3	0	0	0	0	2	10	0	6.05E-05	6.05E-05			
35	1.93E+01	671	167	204	300	0	0	0	4	0	0	0	0	2	10	0	6.59E-05	6.59E-05			
36	1.98E+01	671	167	204	300	0	0	0	4	0	0	0	0	3	10	0	6.96E-05	6.96E-05			

ภาพที่ 33 แสดงผลในรูปแบบ Microsoft Excel

4.2.2.2 ผลที่แสดงในรูปแบบของกราฟิกของโปรแกรม FDS+Evac สามารถแสดงออกมาในรูปแบบของกราฟิกโดยใช้โปรแกรม Smoke View โดยการแสดงผล animation ด้วยโปรแกรม Smoke View

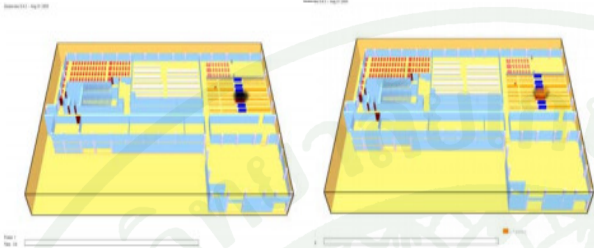
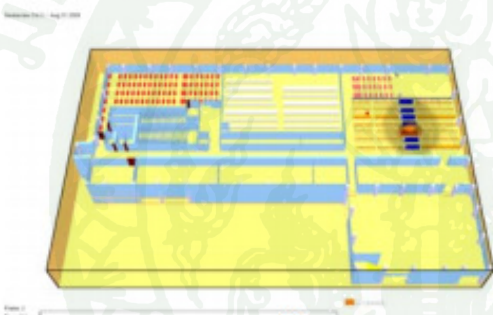
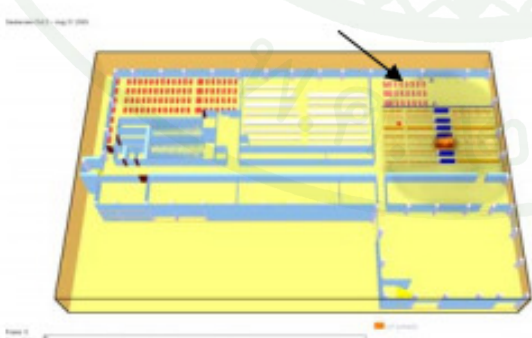
ผลและวิจารณ์

ผล

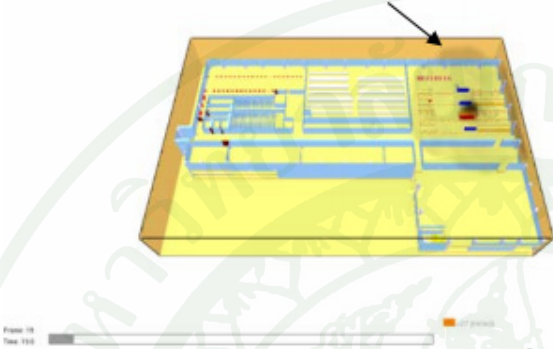
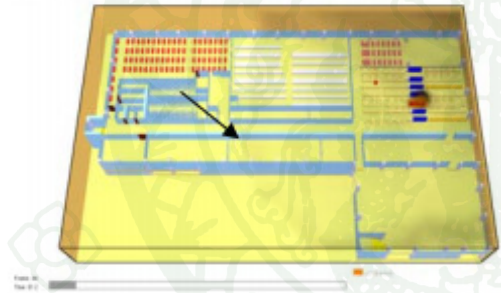
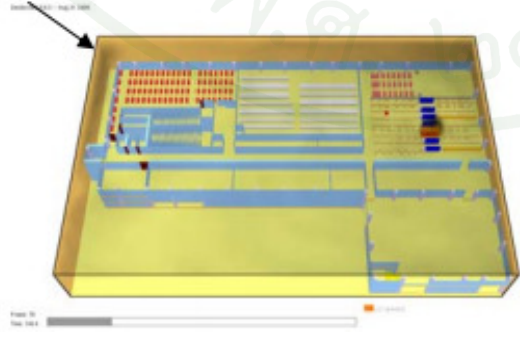
กรณีศึกษาที่ 1

ผลการทดลองภาพเสมือนจริงของอาคารขนาดใหญ่พิเศษ เป็นหนึ่งในโรงงานทั้งหมด 6 โรงงาน ซึ่งอาคารนี้สูง 2 ชั้น และต้นเพลิงได้เกิดที่ชั้น 2 ส่วนของสายการผลิต โดยเป็นพื้นที่ที่ใช้เตรียมวัตถุดิบเพื่อส่งเข้าไปประกอบเป็นผลิตภัณฑ์ต่อไป การทำงานของช่างเทคนิค ทำให้เกิดประกายไฟและเกิดการติดไฟขึ้นระหว่างการปฏิบัติงาน ซึ่งประกายไฟได้ไปติดกับสารเคมีที่อยู่ในสายการผลิต ทำให้เกิดการลุกลามเกิดขึ้นทั่วทั้งพื้นที่ในส่วนของสำนักงานมีทั้งคนทำงานและพนักงานที่ปฏิบัติงานอยู่ในสายการผลิต ประมาณ 350 คน โดยมีการกำหนดเงื่อนไขและสภาพของพื้นที่ไว้ดังนี้ คือ กำหนดให้มีการจำลองการเกิดเหตุเพลิงไหม้ในอาคารซึ่งจะทดลองตั้งแต่วินาทีแรกจนถึงเวลาที่ 421 วินาที (7 นาที) ผลการจำลองสถานการณ์การเกิดเหตุเพลิงไหม้ในอาคารได้ทำการส่งประมวลผลในโปรแกรม Fire Dynamics Simulation & Smoke View แสดงเหตุการณ์จำลองเพลิงไหม้ขึ้นตามเงื่อนไขต่างๆ ที่กำหนดไว้ โดยมีการปลดปล่อยพลังงานความร้อน (Heat Release Rate of Fire) 500 kw/m^2 เพื่อศึกษาอัตราการปลดปล่อยความร้อนของไฟจากผลการทดลองพบว่าเริ่มเกิดควันและการเกิดไฟไหม้ที่เวลา 4 วินาทีพร้อมกันในจุดเกิดเหตุและเกิดการขยายตัวมากขึ้นของการเกิดควันและการเกิดไฟไหม้ที่เวลา 7 วินาที เกิดการขยายตัวของ การเกิดควันไปทั่วพื้นที่ส่วนการผลิตที่เวลา 18 วินาทีและพื้นที่อื่นนอกเหนือจากพื้นที่อื่นนอกเหนือจากพื้นที่ส่วนการผลิตที่เวลา 19 วินาทีและเกิดการขยายตัวของ การเกิดควันกระจายตัวหนาแน่นไปยังพื้นที่อื่นๆมากขึ้นที่เวลา 61 วินาทีกลุ่มควันปกคลุมไปทั่วทุกพื้นที่ในโมเดลที่ใช้จำลองที่เวลา 79 วินาทีกลุ่มควันเริ่มลอยต่ำที่เวลา 187 วินาที(3 นาที)และมากขึ้นที่เวลา 279 วินาที กลุ่มควันลอยต่ำและปกคลุมทุกพื้นที่อย่างหนาแน่นที่เวลา 301 วินาที(5 นาที) ซึ่งเป็นเวลาที่กฎหมายกำหนดให้ทุกคนที่อยู่ในอาคารอพยพออกมาจากจุดปฏิบัติไปยังจุดที่ปลอดภัย โดยกลุ่มควันลอยต่ำและปกคลุมทุกพื้นที่อย่างหนาแน่นที่เวลา 360 วินาที(6 นาที)และมีการปกคลุมอย่างหนาแน่นที่เวลา 421 วินาที (7 นาที) และอุณหภูมิของการเกิดควันที่เกิดขึ้นระหว่าง 20-50 องศาเซลเซียส ซึ่งสีน้ำเงินจะแสดงถึงอุณหภูมิต่ำสุดแต่สีแดงจะแสดงถึงอุณหภูมิที่สูงที่สุด ดังรูปประกอบ

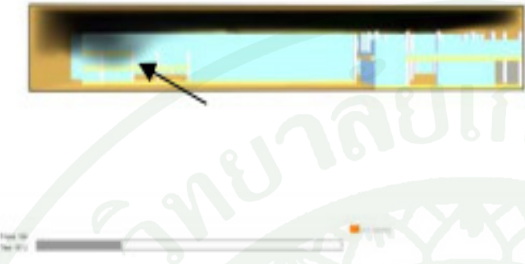
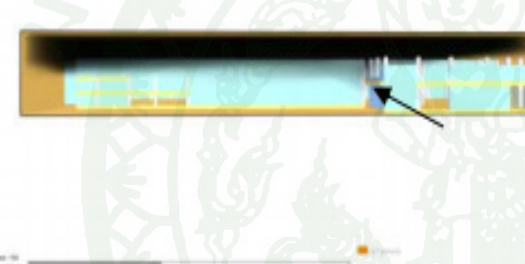
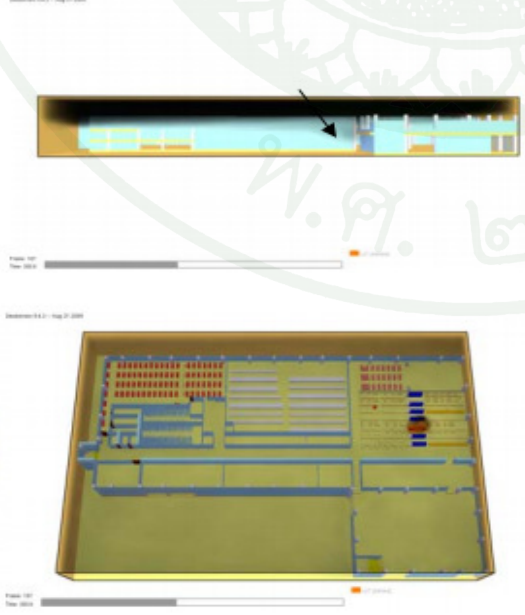
ตารางที่ 10 แสดงการอพยพการเคลื่อนที่ของคนภายในอาคาร

ภาพแสดงการอพยพการเคลื่อนที่ของคนภายในอาคาร	เวลา (วินาที)	คำอธิบาย
	4	สังเกตเหตุการณ์เริ่มเกิดควันและการเกิดไฟไหม้ที่เวลา 4 วินาทีพร้อมกันในจุดเกิดเหตุ
	7	สังเกตเหตุการณ์เกิดการขยายตัวมากขึ้นของการเกิดควันและการเกิดไฟไหม้ที่เวลา 7 วินาที
	18	สังเกตเหตุการณ์เกิดการขยายตัวของ การเกิดควันไปทั่วพื้นที่ส่วนการผลิตที่เวลา 18 วินาที

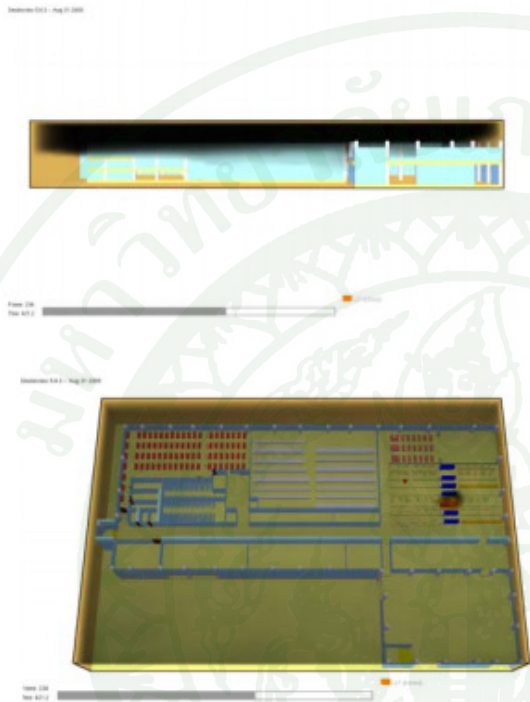
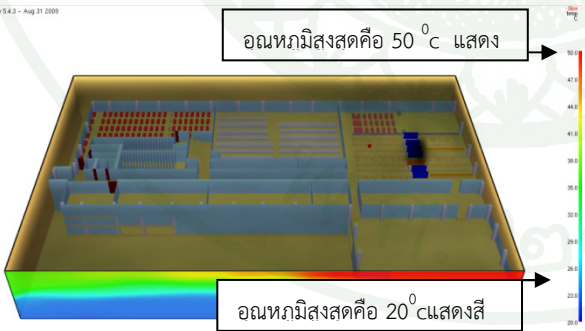
ตารางที่ 10 (ต่อ)

ภาพแสดงการอพยพการเคลื่อนที่ของคนภายในอาคาร	เวลา (วินาที)	คำอธิบาย
 Figure 10 Time: 19s	19	สังเกตเหตุการณ์เกิด การขยายตัวของการ เกิดควันไปยังพื้นที่ อื่นนอกเหนือจาก พื้นที่ส่วนการผลิตที่ เวลา 19 วินาที
 Figure 10 Time: 30s	30	สังเกตเหตุการณ์เกิด การขยายตัวของการ เกิดควันกระจายตัว หนาแน่นไปยังพื้นที่ อื่นๆ มากขึ้น
 Figure 10 Time: 79s	79	สังเกตเหตุการณ์เกิด การขยายตัวของกลุ่ม ควันปกคลุมไปทั่วทุก พื้นที่ในโมเดลที่ใช้ จำลองที่เวลา 79 วินาที

ตารางที่ 10 (ต่อ)

ภาพแสดงการอพยพการเคลื่อนที่ของคนภายในอาคาร	เวลา (วินาที)	คำอธิบาย
	187 (3 นาที)	สังเกตเห็นกลุ่มควันที่ ลอยต่ำที่เวลา 187 วินาที (3 นาที)
	279	สังเกตเห็นกลุ่มควันที่ ลอยต่ำและปกคลุม พื้นที่ที่เวลา 279 วินาที
	301 (5 นาที)	สังเกตเห็นกลุ่มควัน ลอยต่ำและปกคลุม ทุกพื้นที่อย่าง หนาแน่นที่เวลา 301 วินาที(5 นาที)

ตารางที่ 10 (ต่อ)

ภาพแสดงการอพยพการเคลื่อนที่ของคนภายในอาคาร	เวลา (วินาที)	คำอธิบาย
	421 (7 นาที)	สังเกตเห็นกลุ่มควัน ลอยต่ำและปกคลุม ทุกพื้นที่อย่าง หนาแน่นที่เวลา 421 วินาที (7 นาที)
		แสดงถึงอุณหภูมิของ การเกิดควันที่เกิดขึ้น ระหว่าง 20-50 องศาเซลเซียส ซึ่งสี น้ำเงินจะแสดงถึง อุณหภูมิต่ำสุดแต่สี แดงจะแสดงถึง อุณหภูมิที่สูงที่สุด

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

ผลการจำลองการเกิดเหตุเพลิงไหม้เพื่อศึกษาพฤติกรรมการเกิดควันในกรณีไฟไหม้ โดยใช้โปรแกรม Fire Dynamics Simulation ในการจำลองการเกิดไฟไหม้ เพื่อศึกษาระยะเวลาการเกิดควัน โดยนำไปเปรียบเทียบกับเวลาในกฎหมายประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่องการป้องกันและระงับอัคคีภัยในสถานประกอบการ พบว่าการเกิดควันและไฟไหม้เกิดขึ้นพร้อมกันที่เวลา 4 วินาที กลุ่มควันเริ่มลอยต่ำที่เวลา 187 วินาที (3 นาที) และแผ่ขยายอย่างหนาแน่นที่เวลา 279 วินาที (4.39 นาที) จากนั้นกลุ่มควันหนาแน่นมากทั่วทุกพื้นที่ที่เวลา 301 วินาที (5 นาที) และหนาแน่นมากขึ้นในเวลา 360 วินาที (6 นาที) และ 421 วินาที (7 นาที) ตามลำดับ

ผลที่ได้จากการจำลองเมื่อเปรียบเทียบกับกฎหมายประกาศกระทรวงมหาดไทยซึ่งกำหนดให้อพยพออกภายในเวลาไม่เกิน 300 วินาที (5 นาที) สรุปได้ว่า ควรจะอพยพพนักงานออกจากอาคารภายในเวลา 187 วินาที (3.7 นาที) หรืออย่างน้อยที่สุดไม่ควรเกิน 301 วินาที (5 นาที) เนื่องจากปริมาณควันไฟเป็นอุปสรรคต่อการอพยพและทำให้การมองเห็นลดลงอาจทำให้การเคลื่อนที่ช้าลง ซึ่งผลของการศึกษาพฤติกรรมการเกิดควันนั้น จะสามารถใช้ในการวางแผนทางการพัฒนาวิธีการอพยพให้มีประสิทธิภาพ ไม่เกินระยะเวลาที่กฎหมายกำหนดและลดความสูญเสีย เพิ่มความปลอดภัยสำหรับพนักงานและผู้ใช้อาคารได้ อุณหภูมิสูงสุดคือ 50°C แสดงสีแดง อุณหภูมิสูงสุดคือ 20°C แสดงสีน้ำเงิน

ข้อเสนอแนะ

การทดลองพบว่าความหนาแน่นจากการเกิดควันเป็นอุปสรรคต่อการอพยพคนออกนอกอาคารสามารถสรุปข้อเสนอแนะจากผลที่ได้จากการจำลองโดยควรจัดให้มีการทบทวนและปรับปรุงแผนการโต้ตอบภาวะฉุกเฉินขึ้นในอาคารเพื่อศึกษาวิธีการ แนวทาง ในการเตรียมความพร้อมในกรณีเกิดเหตุเพลิงไหม้ เช่น การดับเพลิงเบื้องต้น เส้นทางที่ใช้ในการอพยพ จำนวนพนักงานที่ถูกระบุให้อพยพในเส้นทางหลักและหรือเส้นทางสำรอง โดยเปรียบเทียบกับมาตรฐานของต่างประเทศ เช่น NFPA หรือกฎหมายไทยควบคู่กัน เพื่อควบคุมเวลาในการอพยพไม่เกิน 300 วินาที (5 นาที) เพื่อให้เป็นไปตามระยะเวลาที่กฎหมายกำหนด เพราะหากใช้เวลาในการอพยพเกินเวลาที่กฎหมายกำหนดไว้ อาจส่งผลให้เกิดการบาดเจ็บหรือความสูญเสียกับพนักงานระหว่างการอพยพได้ ซึ่งผลของการศึกษาปฏิบัติการเกิดควันนั้น จะสามารถนำไปเป็นข้อมูลพื้นฐาน เพื่อใช้ในการวางแผนทางการพัฒนาวิธีการอพยพให้มีประสิทธิภาพและลดความสูญเสีย เพิ่มความปลอดภัยสำหรับพนักงานและผู้ใช้อาคารได้ ให้เป็นไปตามมาตรฐาน NFPA และกฎหมายความปลอดภัยได้

กรณีที่ 2

หลังจัดทำแบบจำลองโครงสร้างโดยโปรแกรม Pyrosim 2010.1 และจำลองการอพยพและทำการประมวลผล Input Files โดยโปรแกรม FDS + Evac ผลจากการศึกษาแบ่งออกได้เป็น 2 ข้อ ดังนี้

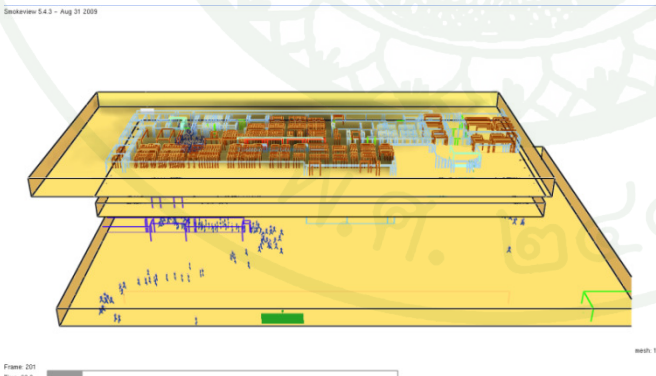
1. ผลการศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการอพยพจำนวน 3 ตัวแปรได้แก่ห้องต้นเพลิงจำนวนผู้ใช้อาคารและความกว้างของประตูห้อง

2. ผลการศึกษาการออกแบบเส้นทางหนีไฟ

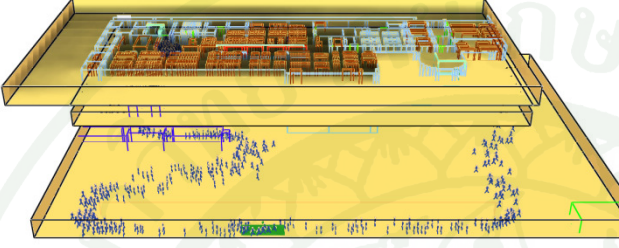
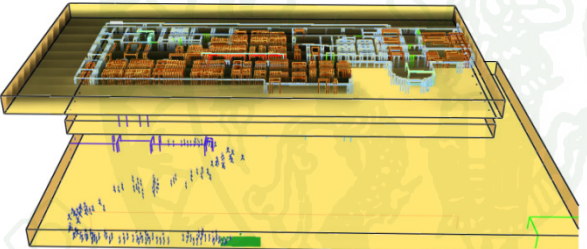
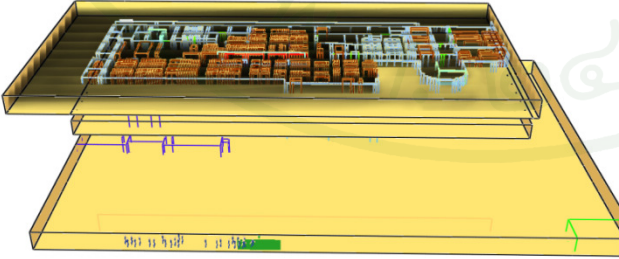
2.1. ผลการศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการอพยพจำนวน 3 ตัวแปรได้แก่ห้องต้นเพลิงจำนวนผู้ใช้อาคารและความกว้างของประตูห้อง

การจำลองการอพยพเมื่อกำหนดให้ห้องต้นเพลิงมีตำแหน่งเดียวคือชั้น 3 จุดกึ่งกลางของสำนักงานจำนวนทั้งหมด 673 คน โดยแบ่งเป็น จำนวนคนชั้นที่ 1 มีจำนวนทั้งหมด 163 คน จำนวนคนชั้นที่ 2 มีจำนวนทั้งหมด 208 คนจำนวนคนชั้นที่ 3 มีจำนวนทั้งหมด 302 คน เวลาที่ใช้ในการจำลองการศึกษาการอพยพ 5 นาที (300 วินาที)

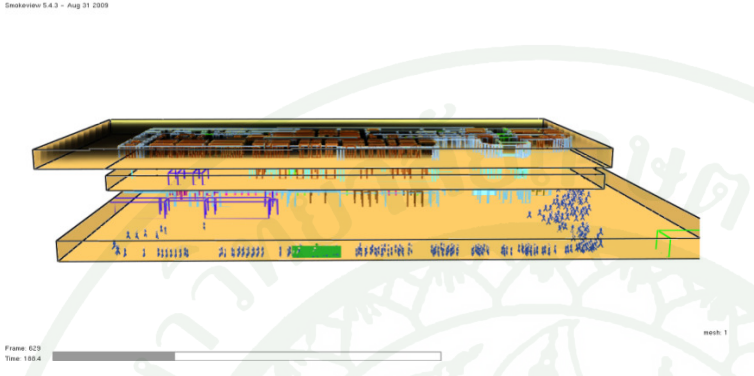
ตารางที่ 11 ผลการจำลองการอพยพ โดยใช้สถานการณ์ตามจริง คือ ยังไม่ได้เพิ่มขนาดประตูหนีไฟ

ผลการจำลอง	รายละเอียด
	ตั้งแต่เริ่มเกิดเพลิงไหม้จนกระทั่งเวลา 1 นาที พนักงานคนแรกที่อพยพ ยังไม่ถึงจุดรวมพล ดังภาพ

ตารางที่ 11 (ต่อ)

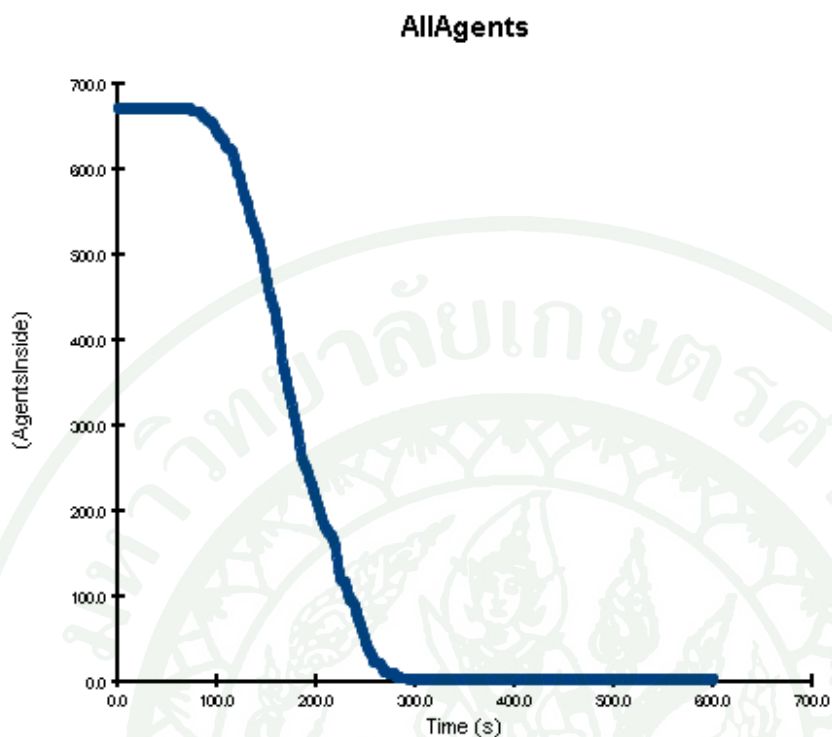
ผลการจำลอง	รายละเอียด
Smokeview 5.4.3 - Aug 31 2009  Frame: 402 Time: 120.2	ในนาทิตี่ 2 ผู้ใช้อาคารส่วนใหญ่ เคลื่อนที่ออกจากประตูอพยพไปยังประตูที่ใกล้ที่สุด และยังคงมีผู้ติดค้างจำนวนมากในสำนักงาน
Smokeview 5.4.3 - Aug 31 2009  Frame: 601 Time: 240.0	ในนาทิตี่ 4 พนักงานได้อพยพลงมาจากชั้นที่ 3 และชั้นที่ 2 หมดเรียบร้อยแล้ว แต่ยังเหลือ พนักงานบางส่วนที่ยังคง อพยพมายังจุดรวมพล
Smokeview 5.4.3 - Aug 31 2009  Frame: 1002 Time: 300.1	ในนาทิตี่ 5 พบว่าพนักงานส่วนใหญ่ได้อพยพออกจากอาคารเกือบหมด แต่ยังคงเหลือพนักงาน 25 คนที่ยังคงอพยพ แต่เดินมาใกล้จุดรวมพลเรียบร้อยแล้ว และพบว่าพนักงานคนสุดท้ายอพยพออกจากอาคารไปถึงจุดรวมพลหลังจาก 5 นาที (321 วินาที)

ตารางที่ 11 (ต่อ)

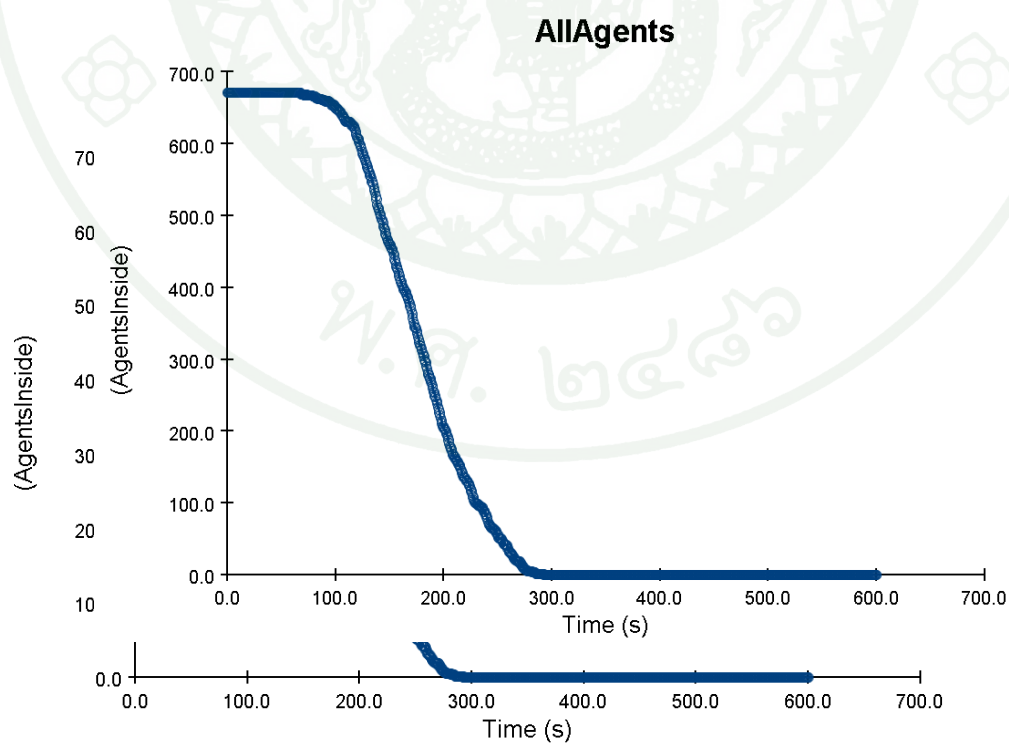
ผลการจำลอง	รายละเอียด
	วินาทีที่ 188 (3 นาที) พนักงานคนสุดท้ายอพยพ ออกจากตัวอาคาร

จากผลการจำลองการอพยพอาคารเรียนชั้นที่ 5 เมื่อกำหนดตัวแปร 3 ตัวแปร ได้แก่ ห้องต้นเพลิง จำนวนคน และความกว้างของประตูห้อง สามารถสรุปผลได้ดังนี้

จากผลการจำลอง พบว่าหลังจากที่ได้เพิ่มขนาดความกว้างของประตู 50 เซนติเมตร สามารถลดระยะเวลาการอพยพขอพนักงานได้ถึง 30 วินาที



ภาพที่ 34 แสดงเวลาการอพยพคนออกจากอาคาร กรณีที่ เพิ่มประตูทางออกหนีไฟ



ภาพที่ 35 แสดงเวลาการอพยพคนออกจากอาคาร กรณีที่ ไม่ได้เพิ่มประตูทางออกหนีไฟ

วิจารณ์

จากผลการการจำลองการเกิดเหตุเพลิงไหม้เพื่อศึกษาพฤติกรรมการเกิดควันในกรณีไฟไหม้โดยใช้โปรแกรม Fire Dynamics Simulation ในการจำลองการเกิดไฟไหม้เพื่อศึกษาระยะเวลาการเกิดควัน โดยนำไปเปรียบเทียบกับเวลาในกฎหมายประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่องการป้องกันและระงับอัคคีภัยในสถานประกอบการ พบว่าการเกิดควันและไฟไหม้เกิดขึ้นพร้อมกันที่เวลา 4 วินาที กลุ่มควันเริ่มลอยต่ำที่เวลา 187 วินาที (3 นาที) และแผ่ขยายอย่างหนาแน่นที่เวลา 279 วินาที (4.39 นาที) จากนั้นกลุ่มควันหนาแน่นมากทั่วทุกพื้นที่ที่เวลา 301 วินาที (5 นาที) และหนาแน่นมากขึ้นในเวลา 360 วินาที (6 นาที) และ 421 วินาที (7 นาที) ตามลำดับ

ผลที่ได้จากการจำลองเมื่อเปรียบเทียบกับกฎหมายประกาศกระทรวงมหาดไทยซึ่งกำหนดให้อพยพออกภายในเวลาไม่เกิน 300 วินาที (5 นาที) สรุปได้ว่า ควรจะอพยพพนักงานออกจากอาคารภายในเวลา 187 วินาที (3.7 นาที) หรืออย่างน้อยที่สุดไม่ควรเกิน 301 วินาที (5 นาที) เนื่องจากปริมาณควันไฟเป็นอุปสรรคต่อการอพยพและทำให้การมองเห็นลดลงอาจทำให้การเคลื่อนที่ช้าลง ซึ่งผลของการศึกษาพฤติกรรมการเกิดควันนั้น จะสามารถใช้ในการวางแผนทางการพัฒนาวิธีการอพยพให้มีประสิทธิภาพ ไม่เกินระยะเวลาที่กฎหมายกำหนดและลดความสูญเสีย เพิ่มความปลอดภัยสำหรับพนักงานและผู้ใช้อาคารได้

เมื่อผู้อพยพรับรู้ว่ามีเหตุการณ์เพลิงไหม้เกิดขึ้นผู้อพยพจะไม่ทำการอพยพทันทีโดยผู้อพยพจะใช้เวลาในการตัดสินใจก่อนทำการอพยพเมื่อผู้อพยพตัดสินใจอพยพแล้วจะเกิดการเคลื่อนที่ของผู้อพยพกราฟจะโค้งลงอย่างรวดเร็ว (มาตรฐานการป้องกันอัคคีภัยประเทศญี่ปุ่น, 2546) ผู้อพยพจะเคลื่อนที่ไปที่ประตูและทางออกหนีไฟการเคลื่อนที่ของผู้อพยพจะทำให้บริเวณประตูและทางออกหนีไฟมีผู้อพยพจำนวนมากเคลื่อนที่มารวมกันทำให้การเคลื่อนที่ออกจากประตูและทางออกหนีไฟไม่สะดวกซึ่งมีผลทำให้ใช้เวลาในการอพยพมากขึ้น (MacLennan, 1995) จากการศึกษาผลการจำลองการอพยพทั้ง 3 ตัวแปรได้แก่จำนวนคนห้องต้นเพลิงและความกว้างของประตูห้องพบว่าตำแหน่งของห้องต้นเพลิงมีผลต่อการอพยพมีจำนวนผู้อาศัยอาคาร 302 คน ซึ่งหนาแน่นกว่าชั้นอื่นๆไม่สามารถอพยพได้ภายใน 3 นาที คิดเป็นร้อยละ ก่อนการเพิ่มขนาดประตู และหลังจากเพิ่มประตูแล้วตามลำดับตำแหน่งของห้องต้นเพลิงที่อยู่ทางปลายตันจะก่อให้เกิดอันตรายต่อ ผู้อพยพมากกว่าห้องต้นเพลิงที่อยู่บริเวณอื่น ความกว้างของประตูที่เพิ่มมากขึ้นมีผลทำให้ผู้อาศัยอาคารสามารถอพยพหนีไฟออกจากอาคารได้อย่างปลอดภัยมากยิ่งขึ้นผู้อพยพไม่สามารถอพยพออกจากอาคารดังกล่าวได้อย่างปลอดภัยภายใน 3 นาทีตามข้อเสนอแนะของ NFPA 101 การใช้เวลาในการอพยพเกินกว่าที่มาตรฐาน NFPA 101 กำหนดมีโอกาสที่ผู้อาศัยอาคารจะหายใจเอาก๊าซพิษและควันไฟเข้าไปในร่างกายในปริมาณมากจะทำให้ผู้อพยพเกิดการเสียชีวิตได้เนื่องจากในช่วงระยะเวลาการเกิดเพลิงไหม้ 1 – 3 นาทีเป็นช่วงที่เชื้อเพลิงเริ่มขับไอก๊าซพิษและควันไฟออกมาซึ่งสาเหตุที่ทำให้คนเสียชีวิตมากที่สุดในเหตุการณ์เพลิงไหม้คือควันไฟมากกว่าความร้อนเพราะควันไฟแพร่กระจายตัวได้อย่างรวดเร็ว (มาตรฐานการควบคุมควันไฟ, 2545)

เมื่อศึกษาด้านการออกแบบเส้นทางหนีไฟของอาคารทั้ง 3 ชั้นจากผลการจำลองอพยพในสภาพปัจจุบันทั้ง 3 ตัวแปรพบว่าจากผลการจำลองการอพยพในอาคารทั้ง 3 ชั้นพบว่าเมื่อกำหนดตัวแปร 3 ตัวแปร ได้แก่ ห้องต้นเพลิง จำนวนคน และความกว้างของประตูห้อง สามารถสรุปผลได้ดังนี้

จากผลการจำลอง พบว่าหลังจากที่ได้เพิ่มขนาดความกว้างของประตู 50 เซนติเมตร สามารถลดระยะเวลาการอพยพของพนักงานได้ถึง 30 วินาที จะเห็นได้ว่าผลการออกแบบเส้นทางหนีไฟใหม่นั้นสามารถช่วยให้ผู้ใช้ชั้นเรียนมีความปลอดภัยมากขึ้นสามารถลดความรุนแรงของเหตุเพลิงไหม้ที่เกิดขึ้นได้

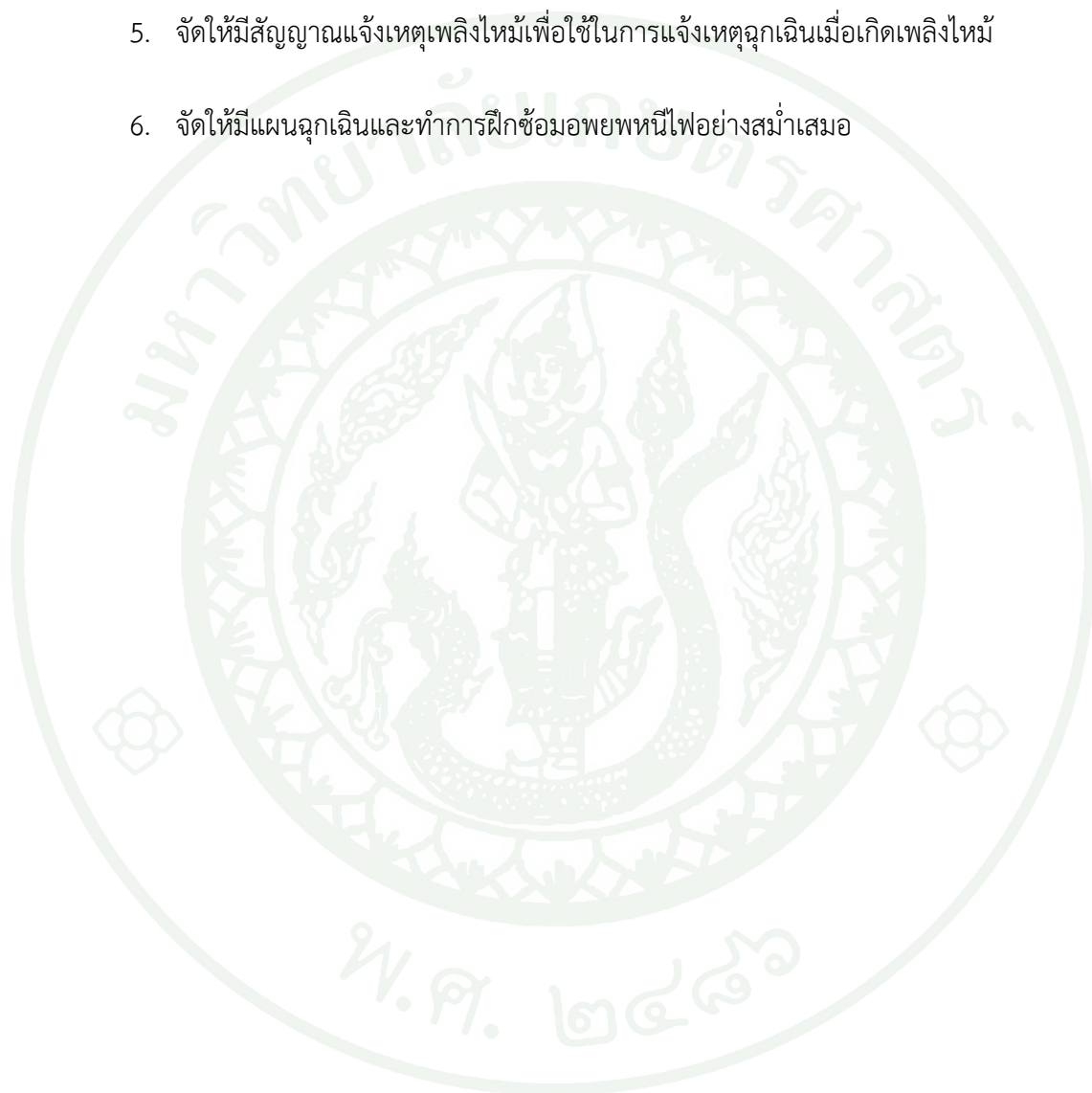
สรุปได้ว่าจากผลการทดลองพบว่าความหนาแน่นจากการเกิดควันเป็นอุปสรรคต่อการอพยพคนออกนอกอาคารสามารถสรุปข้อเสนอนี้จากผลที่ได้จากการจำลองควรจัดให้มีการทบทวนและปรับปรุงแผนการโต้ตอบภาวะฉุกเฉินขึ้นในอาคารเพื่อศึกษาวิธีการ แนวทาง ในการเตรียมความพร้อมในกรณีเกิดเหตุเพลิงไหม้ เช่น การดับเพลิงเบื้องต้น เส้นทางที่ใช้ในการอพยพ จำนวนพนักงานที่ถูกระบุให้อพยพในเส้นทางหลักและหรือเส้นทางสำรอง โดยเปรียบเทียบกับมาตรฐานของต่างประเทศ เช่น NFPA หรือกฎหมายไทยควบคู่กัน เพื่อควบคุมเวลาในการอพยพไม่เกิน 300 วินาที (5 นาที) เพื่อให้เป็นไปตามระยะเวลาที่กฎหมายกำหนด เพราะหากใช้เวลาในการอพยพเกินเวลาที่กฎหมายกำหนดไว้ว่าจะส่งผลให้เกิดการบาดเจ็บหรือความสูญเสียกับพนักงานระหว่างการอพยพได้

ซึ่งผลของการศึกษาปฏิบัติการเกิดควันนั้น จะสามารถนำไปเป็นข้อมูลพื้นฐาน เพื่อใช้ในการวางแผนการพัฒนาวิธีการอพยพให้มีประสิทธิภาพและลดความสูญเสีย เพิ่มความปลอดภัยสำหรับพนักงานและผู้ใช้อาคารได้ให้เป็นไปตามมาตรฐาน NFPA และกฎหมายความปลอดภัยได้และสาเหตุหลักที่ทำให้ผู้อพยพไม่สามารถออกจากอาคารได้อย่างปลอดภัยคือแนวทางในการป้องกันความสูญเสียจากการเสียชีวิตที่เกิดขึ้นเพื่อให้ผู้อาคารสามารถอพยพออกจากชั้นดังกล่าวได้อย่างปลอดภัยมีดังนี้

1. การปรับปรุงโครงสร้างโดยการออกแบบเส้นทางหนีไฟให้สอดคล้องตามมาตรฐานของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยโดยการมีการเพิ่มความกว้างของทางออกหนีไฟให้มีขนาดกว้างขึ้นเพื่อป้องกันอันตรายขณะทำการอพยพเมื่อห้องต้นเพลิงอยู่บริเวณทางปลายตัน (หากสามารถปรับปรุงโครงสร้างได้)

2. กำหนดเส้นทางและจำนวนคนในการใช้อาคารให้เหมาะสมเพื่อให้มีปริมาณความจุในพื้นที่สอดคล้องตามมาตรฐาน NFPA

3. ติดตั้งป้ายหรือสัญลักษณ์เพื่อบอกตำแหน่งและทิศทางการหนีไฟแสดงให้เห็นชัดเจนและทั่วถึงตลอดเส้นทางหนีไฟและมีไฟแสงสว่างให้สามารถมองเห็นได้ชัดเจนตลอดทั้งกลางวันและกลางคืน
4. ตรวจสอบถึงดับเพลิงสม่ำเสมอเพื่อให้สามารถใช้งานได้ทันทีเมื่อเกิดเหตุเพลิงไหม้
5. จัดให้มีสัญญาณแจ้งเหตุเพลิงไหม้เพื่อใช้ในการแจ้งเหตุฉุกเฉินเมื่อเกิดเพลิงไหม้
6. จัดให้มีแผนฉุกเฉินและทำการฝึกซ้อมอพยพหนีไฟอย่างสม่ำเสมอ



สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาการอพยพในอาคารสำนักงานซึ่งมีทั้งหมด 3 ชั้นโดยการนำหลักของวิศวกรรมความปลอดภัยด้านอัคคีภัยมาใช้ในการศึกษาตลอดจนนำทฤษฎีพลศาสตร์อัคคีภัยมาประยุกต์ใช้ในการศึกษาวิจัยโดยนำโปรแกรมที่ใช้หลักพลศาสตร์อัคคีภัยมาใช้ในการวิจัยได้แก่โปรแกรม PyroSim ใช้ในการสร้างแบบจำลองโครงสร้างและโปรแกรม Fire Dynamics Simulation and Smoke view (FDS+Evac) มาใช้ในการจำลองการอพยพ

ผลที่ได้จากการจำลองเมื่อเปรียบเทียบกับกฎหมายประกาศกระทรวงมหาดไทยซึ่งกำหนดให้อพยพออกจากภายในเวลาไม่เกิน 300 วินาที (5 นาที) สรุปได้ว่า ควรจะอพยพพนักงานออกจากอาคารภายในเวลา 187 วินาที (3.7 นาที) หรืออย่างน้อยที่สุดไม่ควรเกิน 301 วินาที (5 นาที) เนื่องจากปริมาณควันไฟเป็นอุปสรรคต่อการอพยพและทำให้การมองเห็นลดลงอาจทำให้การเคลื่อนที่ช้าลง ซึ่งผลของการศึกษาพฤติกรรมการเกิดควันนั้น จะสามารถใช้ในการวางแผนทางการพัฒนาวิธีการอพยพให้มีประสิทธิภาพ ไม่เกินระยะเวลาที่กฎหมายกำหนดและลดความสูญเสีย เพิ่มความปลอดภัยสำหรับพนักงานและผู้ใช้อาคารได้

ผลการศึกษาการจำลองตัวแปร 3 ตัวแปรได้แก่ห้องต้นเพลิงจำนวนผู้ใช้อาคารและความกว้างของประตูห้องต่างก็มีผลต่อการอพยพรวมถึงพฤติกรรมการเกิดควันมีผลก่อให้เกิดอันตรายกับผู้อพยพ การกำหนดจำนวนผู้ใช้อาคารที่เหมาะสมจะช่วยให้ผู้อพยพสามารถอพยพออกจากชั้นได้อย่างปลอดภัยและความกว้างของประตูห้องที่เพิ่มขึ้นมีส่วนช่วยให้ผู้ใช้อาคารสามารถอพยพออกจากอาคารได้ปลอดภัยเพิ่มขึ้นด้วยการจำลองอพยพในสภาพปัจจุบันพบว่าผู้ใช้อาคารไม่สามารถอพยพออกจากอาคารได้ภายใน 3 นาทีตามข้อเสนอแนะของ NFPA

สาเหตุที่ผู้ใช้อาคารไม่สามารถอพยพออกจากอาคารได้ภายใน 3 นาทีมาจากพฤติกรรมการเกิดควัน มาตรฐานของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยผู้วิจัยจึงทำการออกแบบประตู โดยการเพิ่มขนาดของประตูหนีไฟให้มีความกว้างมากขึ้นกว่าเดิม 50 เซนติเมตรและสามารถทำให้ผู้ใช้อาคารลดระยะเวลาในการอพยพออกมาได้เร็วขึ้น 30 วินาที ซึ่งเป็นไปตามประกาศกระทรวงมหาดไทยกำหนด ว่าด้วยเรื่องการป้องกันและระงับอัคคีภัยในสถานประกอบกิจการ

การออกแบบเส้นทางหนีไฟใหม่ช่วยให้ผู้ใช้อาคารมีความปลอดภัยจากการอพยพหนีไฟมากขึ้นและลดความรุนแรงของเหตุเพลิงไหม้ที่เกิดขึ้นได้อย่างไรก็ตามความปลอดภัยด้านอัคคีภัยต้องใช้มาตรการเชิงป้องกันอื่นร่วมด้วยนอกเหนือจากการออกแบบเส้นทางหนีไฟที่ปลอดภัยทั้งนี้อาจใช้มาตรการป้องกันอื่นร่วมด้วยเช่นการกำหนดจำนวนผู้ใช้อาคารให้เหมาะสมในการฝึกซ้อมหนีไฟการจัดการด้านความปลอดภัยเกี่ยวกับสารเคมี เป็นต้น

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถใช้เป็นแนวทางในการออกแบบเส้นทางหนีไฟของอาคารโดยการนำมาตรฐานของ NFPA เกี่ยวกับการออกแบบเส้นทางหนีไฟมาใช้ร่วมกับโปรแกรมจำลองการอพยพจะช่วยให้ผู้ออกแบบเห็นภาพเสมือนจริงสามารถวิเคราะห์ขีดความสามารถของเส้นทางหนีไฟที่ออกแบบได้ก่อนนำมาใช้ก่อสร้างจริง

อย่างไรก็ตามผลการจำลองที่ได้จึงเป็นเพียงการคาดการณ์เท่านั้นเพราะขนาดของต้นเพลิงที่กำหนดเป็นเพียงการสมมติสถานการณ์เพื่อใช้ในการจำลองประกอบกับไม่ได้นำระบบป้องกันอัคคีภัยของอาคารมาพิจารณาในการออกแบบจำลอง

ข้อเสนอแนะ

1. เมื่อมีการออกแบบอาคารเพื่อก่อสร้างเพิ่มเติมควรพิจารณาเรื่องเส้นทางหนีไฟของอาคารด้วยเพื่อให้ผู้ใช้อาคารมีความปลอดภัยขณะทำการอพยพหนีไฟ
2. ควรจำกัดจำนวนผู้ใช้อาคารตามความจุของอาคารตามที่ได้ทำการออกแบบไว้เพื่อให้เกิดความปลอดภัยในการใช้เส้นทางหนีไฟในการอพยพ
3. ควรทำการศึกษาการอพยพเพิ่มเติมโดยกำหนดจำนวนผู้ใช้อาคารให้สอดคล้องกับความจุคนในพื้นที่ตามมาตรฐานของ NFPA หรือวสท. เพื่อวิเคราะห์ขีดความสามารถในการอพยพเมื่อได้กำหนดความจุคนให้สอดคล้องกับมาตรฐาน
4. ควรทำการฝึกซ้อมอพยพหนีไฟให้กับผู้ใช้อาคารเพื่อทราบถึงวิธีปฏิบัติการเลือกใช้เส้นทางหนีไฟที่ปลอดภัยในการอพยพเพื่อให้ความพร้อมเมื่อมีเหตุฉุกเฉินเพลิงไหม้เกิดขึ้น

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงานกระทรวงแรงงานและสวัสดิการสังคม. 2545.ประกาศ
กระทรวงมหาดไทย เรื่องการป้องกันและระงับอัคคีภัยในสถานประกอบการ เพื่อความ
ปลอดภัยในการทำงานสำหรับลูกจ้าง. โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, กรุงเทพมหานคร.

เกชาธีระโกเมน. 2545. ปัญหาในการจัดระบบการป้องกันอัคคีภัยสำหรับอาคาร, น 1-53.

เกชาธีระโกเมนและโสภณเหล่าสุวรรณ, บรรณาธิการ. ประสบการณ์วิศวกรรมงานระบบระบบ
ป้องกันอัคคีภัย. สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, กรุงเทพฯ.

คณะกรรมการวิชาการสาขาวิศวกรรมเครื่องกล. 2540. มาตรฐานการป้องกันอัคคีภัย. วิศวกรรม
สถานแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.

_____. 2551. มาตรฐานการป้องกันอัคคีภัย, พิมพ์ปรับปรุงครั้งที่ 1, วิศวกรรมสถานแห่ง
ประเทศไทย, กรุงเทพฯ.

ณัฐกรณ์เสถียรรัตน์. 2546. เรื่องโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยจำลองสถานการณ์การหนีไฟภายใน
อาคารโดยใช้บันไดหนีไฟ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เดลินิวส์. 2552. ซานติกา. แหล่งที่มา: <http://www.dailynews.co.th/web/html>, 13 มกราคม
2552.

ไทยรัฐ. 2552. เสือป่าพลางซ่า. แหล่งที่มา: <http://www.thairath.co.th>, 5 มกราคม 2552.

นิวัฒน์ศิริกุล. 2542. การศึกษาเวลาในการหนีไฟภายในอาคาร - กรณีประเทศไทย. วิทยานิพนธ์
ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

พันธุ์พรนพพลภ. 2546. ความปลอดภัยในการป้องกันและบรรเทาความเสียหายจากอัคคีภัยของ
อาคารสูงในกรุงเทพมหานคร. กรุงเทพฯ.

ภูเมศวร์ หิรัวัฒน์วงศ์. 2552. การจำลองสถานการณ์เพลิงไหม้และการอพยพ: กรณีศึกษาโรงเรียน
อนุบาล. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

มาตรฐานการป้องกันอัคคีภัยในประเทศญี่ปุ่น. 2546. คู่มือด้านเทคนิคสำหรับการออกแบบระบบ
ป้องกันอัคคีภัย.

วิฑูรย์ ภูวนทเรศ. 2549.โปรแกรมออกแบบทางหนีไฟของอาคารตามมาตรฐาน NFPA. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สมเกียรติ เวชพฤษ์พิทักษ์. 2549. การศึกษาแผนอพยพโดยใช้โปรแกรมการจำลองด้าน พิศาสตร์อัคคีภัยและการจำลองการอพยพ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์.

สุทัศน์หามณี. 2544. เรื่องการอพยพคนลงจากอาคารสูง. เซฟตี้ไลฟ์แมกซีน45: 40-50.

สุรินทร์สุจินต์ธรรมสาร. 2549. การออกแบบป้องกันอัคคีภัยสำหรับอาคารสูงโดยใช้แบบจำลอง พิศาสตร์อัคคีภัย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อารยา คำช่วย. 2552. การประยุกต์ใช้โปรแกรมจำลองด้านพิศาสตร์อัคคีภัยและการอพยพ สำหรับที่พักคนงานโครงการก่อสร้างขนาดใหญ่. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์.

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

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

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

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

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

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

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

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

National Fire Protection Association.1999. **NFPA 72 National Fire Alarm Code 1999Edition.** National Fire Protection Association, Quincy, Massachusetts.

_____. 2002a. **NFPA 550 Guideto the Fire Safety Concepts**

_____.2002b. **Tree 2002 edition.**NationalFireProtectionAssociation,Quincy, Massachusetts.

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

National Institute of Standards and Technology.2004. **Fire Dynamic Simulator (FDS) andSmoke view.** (ComputationalFluid Dynamics Model).

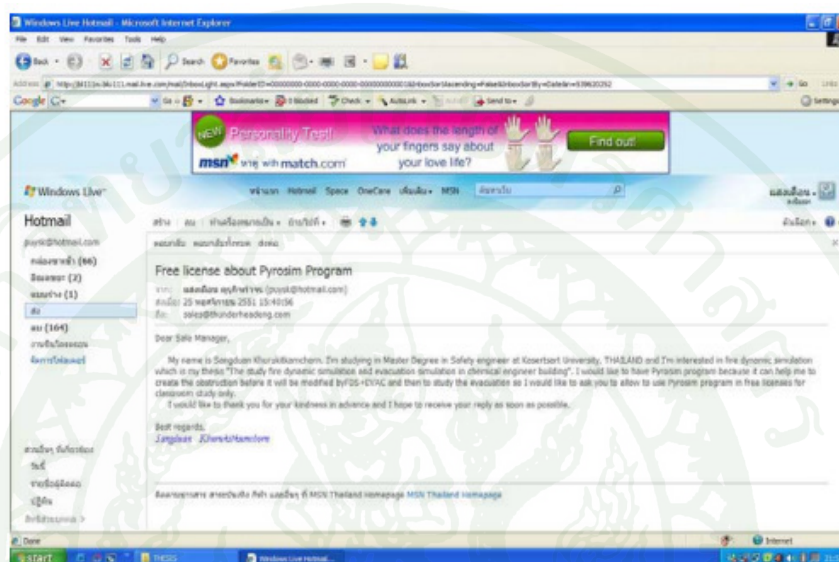
Ozel. 1995. **The SFPE Handbookof Fire Protection Engineering.2nd ed.** National FireProtection Association, One Batterymarch Park, Quincy, MA 02269-9101,U.S.A.

Quintiere,J. G.1998. **Principlesof FireBehavior.**ThomsomLearning, Inc., United StatesofAmerica

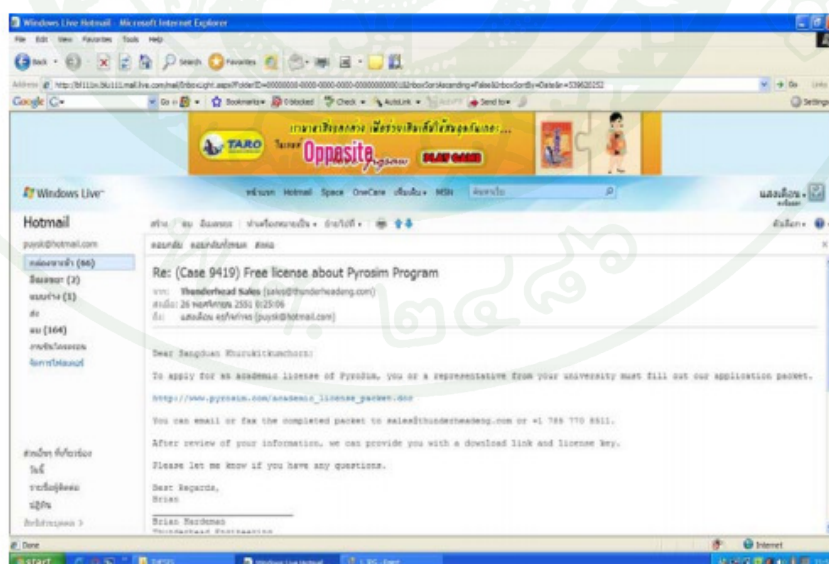


การลงโปรแกรม Pyrosim

ขั้นตอนที่ 1 การขออนุญาตใช้โปรแกรม PyroSim จากเจ้าของลิขสิทธิ์ thunderheadeng.com

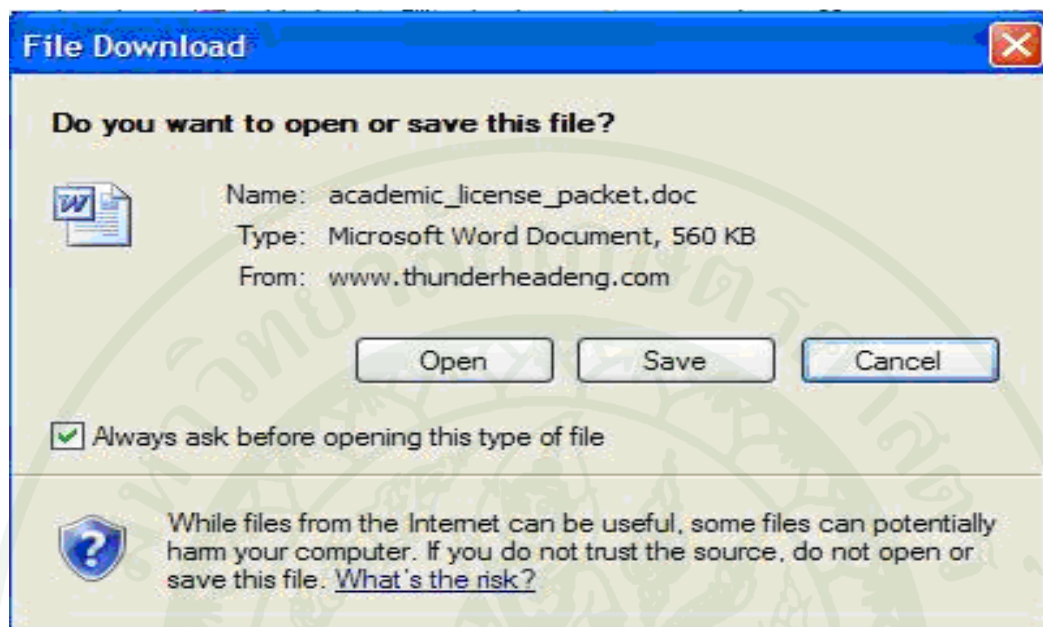


ภาพผนวกที่ 1 การขอใช้โปรแกรม PyroSim



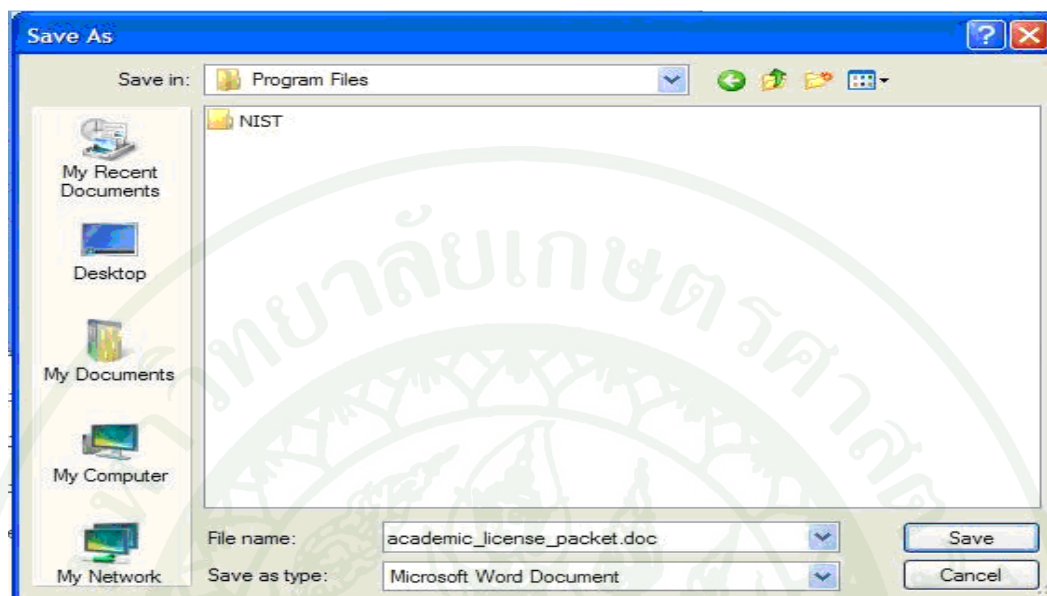
ภาพผนวกที่ 2 การตอบรับการขอใช้โปรแกรม PyroSim

ขั้นตอนที่3 การบันทึกโปรแกรมPyroSim



ภาพผนวกที่ 3 การSaveโปรแกรมPyroSim

ขั้นตอนที่ 4 การระบุตำแหน่งของโปรแกรมPyroSim ที่ต้องการจัดเก็บ



ภาพผนวกที่ 4 การระบุตำแหน่งของโปรแกรมPyroSim ที่ต้องการจัดเก็บ

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวขวัญชนก ยศจันทร์
วัน เดือน ปีเกิด	วันที่ 6 มกราคม พ.ศ. 2524
สถานที่เกิด	จังหวัดอุดรธานี
ประวัติการศึกษา	วท.บ (อาชีวอนามัยและความปลอดภัย) มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ
ตำแหน่งหน้าที่การทำงานในปัจจุบัน	Quality & Document Control Officer
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	บริษัท Vause Oilfield Services Ltd.
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-