



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย)

ปริญญา

วิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย

วิศวกรรมศาสตร์

สาขา

คณะ

เรื่อง การศึกษาการอพยพหนีไฟในอาคารหอพักนิสิตของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขต
ศรีราชาด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลข

A Study of Fire Evacuation in Student Dormitory at Kasetsart University,
Si Racha Campus by Numerical Method

นามผู้วิจัย นายธีรนนท์ แซ่เล่า

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(อาจารย์สุภัทรชัย ชมพันธุ์, D.Eng.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อาจารย์สุภัทร พัฒน์วิชัยโชติ, วศ.ด.)

ประธานสาขาวิชา

(รองศาสตราจารย์เสรี เสวตเสรณี, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การศึกษาการอพยพหนีไฟในอาคารหอพักนิสิตของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา
ด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลข

A Study of Fire Evacuation in Student Dormitory at Kasetsart University, Si Racha Campus by
Numerical Method

โดย

นายธีรนนท์ แซ่เล่า

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย)

พ.ศ. 2554

ธีรนนท์ แซ่เล่า 2554: การศึกษาการอพยพหนีไฟในอาคารหอพักนิสิตของ
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชาด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลข ปริญาวิศวกรรม
ศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย) สาขาวิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย คณะ
วิศวกรรมศาสตร์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: อาจารย์สุภัทรชัย ชมพันธุ์, D.Eng.
94 หน้า

วิทยานิพนธ์นี้แสดงผลการศึกษาการอพยพหนีไฟออกจากอาคารหอพักนิสิตมหาวิทยาลัย
เกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา ด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลขโดยใช้โปรแกรม FDS ได้ทำการจำลอง
การอพยพในสถานการณ์เพลิงไหม้ภายในอาคารหอพักนิสิต จำนวน 5 ชั้น สูง 16.21 เมตร กว้าง
28.4 เมตร ยาว 50 เมตร ความสูงชั้นละ 2.9 เมตร มี 24 ห้องต่อชั้น มีผู้อาศัย 4 คนต่อห้อง รวม
จำนวนนิสิตใช้อาคารรวม 480 คน มีบันได 2 บันไดอยู่ทั้งสองฝั่งของอาคาร ประตูดังออกสู่ภาย
นอกอาคาร 1 ประตู ไม่ได้ติดตั้งระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิง ลักษณะกลางอาคารเปิดโล่ง จำลอง
สถานการณ์เป็น 4 กรณี คือ กรณีที่ 1 ให้ขนาดประตูทางออก 1 เมตร กรณีที่ 2 ให้ขนาดประตูทาง
ออก 1 เมตร และให้ติดตั้งแผงกั้นควันไฟในตำแหน่งคานก่อนเข้าช่องบันได กรณีที่ 3 ให้ขนาด
ประตูทางออก 2 เมตร และกรณีสุดท้าย ให้ขนาดประตูทางออก 2 เมตร และให้ติดตั้งแผงกั้นควัน
ไฟในตำแหน่งใต้คานก่อนเข้าช่องบันได

ผลการศึกษาพบว่า ขนาดประตูทางออกมีผลต่อเวลาในการอพยพ จากกรณีที่ 1 และ 2 ใช้
เวลาในการอพยพออกจากอาคาร ที่ 462 และ 463 วินาที จากขนาดประตูทางออก 1 เมตร กับกรณีที่
3 และ 4 ใช้เวลาในการอพยพออกจากอาคาร ที่ 278 และ 280 ซึ่งเวลาที่ใช้ในการอพยพแตกต่างกัน
เฉลี่ย 183 วินาที เนื่องจากการรอคอยในบริเวณประตูทางออก จากการตรวจวัดปริมาณก๊าซ
ออกซิเจน และ คาร์บอนมอนอกไซด์ ผลปรากฏว่าปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์มีผลต่อการ
อพยพ จากกรณีที่ 1 และ 3 ไม่มีการติดตั้งแผงกั้นควันไฟทำให้ตำแหน่งใต้คานก่อนช่องบันได มี
ปริมาณควันไฟในปริมาณที่สูงกว่ากรณีที่ 2 และ 4 ที่มีการติดตั้งแผงกั้นควันไฟ แต่จากค่าการ
ตรวจวัดปริมาณก๊าซยังอยู่ในค่าที่เป็นเพียงอุปสรรคต่อการอพยพ จากผลการวิจัย สรุปได้ว่าเวลาใน
การอพยพและปริมาณก๊าซที่ได้จากการตรวจวัดของอาคารหอพักนิสิตยังมีความปลอดภัยไม่มี
ผู้เสียชีวิต หากมีการปรับปรุงตามสมมุติฐานก็สามารถช่วยให้เวลาในการอพยพ และปริมาณก๊าซ
ลดลงได้ ดังนั้น เห็นควรทำการปรับปรุงขนาดประตูทางออก และติดตั้งแผงกั้นควันไฟทั้งสองด้าน
ของบันไดเพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการอพยพ

Teeranon Saelao 2011: A Study of Fire Evacuation in Student Dormitory at Kasetsart University, Si Racha Campus by Numerical Method. Master of Engineering (Fire Protection Engineering), Major Field: Fire Protection Engineering, Faculty of Engineering. Thesis Advisor: Mr. Suphattharachai Chomphan, D.Eng. 94 pages.

This thesis presents a numerical study of fire evacuation at the student dormitory of Kasetsart University, Si Racha campus, by using Fire Dynamics Simulator with Evacuation (FDS+Evac) program. The study attempts to simulate an evacuation of fire situation at the main student dormitory building. The fire storey student dormitory building is 16.21 meters high with the total building dimension, of 28.4 meters by 50 meters. All floors are 2.9 meters high, The building has two stairwells at both ends, however, the first floor has only one exit end. Moreover, the sprinkler system has not been installed in the building, while it is opened in the middle area. This simulation is divided into four cases: the first case has 1 meter exit door, the second case has also 1-meter exit door with a smoke curtain in the beam before the stairs, the third case assumes that the size doors, 2 m and has 2-meter exit door, and the final case uses 2-meter exit door with a smock curtain in the beam before the stairs. The immigrants and the a heat release rate as well as 4 cases at characterized by 480 people and 7 mw.

This study shows that the exit door size effects on the evacuation, the first case and the second case have evacuation time of 460 second and 465 second. The third case and the final case have evacuation time of 270 second and 265 second, respectively. The difference of evacuation time between two size doors are 200 seconds. During to waiting in the exit door, a measurement of the amount of oxygen and carbon monoxide is conducted. The results showed that the amount of carbon monoxide affects the migration of the case 1 and case 3 where there is the smock curtain . The amount of smoke are higher for case 3 and case 4, where the smock curtain exits. However, the amount of the gas is not dangerous for life, but it is a barrier to evacuation. Therefore, it has been concluded that to improve the evacuation performance, the door size should be increased, while the smock curtain should also installed.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ

อ.ดร.สุภัทรชัย ชมพันธุ์ ประธานกรรมการที่ปรึกษาหลัก ที่คอยช่วยเหลือและให้คำปรึกษา
แนะนำ รวมทั้งข้อมูลประกอบในการจัดวิทยานิพนธ์

อ.ดร.สุภัทร พัฒน์วิชัยโชติ กรรมการที่ปรึกษา ที่คอยช่วยเหลือและให้คำปรึกษาแนะนำ
รวมทั้งข้อมูลประกอบในการจัดวิทยานิพนธ์

รองศาสตราจารย์เสรี เศตเศรณี ประธานโครงการภาควิชาวิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย สาขา
วิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อาจารย์ทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวถึง ที่อบรมและให้ความรู้ที่โครงการวิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เจ้าหน้าที่โครงการวิศวกรรมป้องกันอัคคีภัยที่คอยให้ความช่วยเหลือและความสะดวกใน
ระหว่างการศึกษาและจัดทำวิทยานิพนธ์

ด้วยความดีหรือประโยชน์อันใดเนื่องจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอมอบแด่ คุณพ่อ คุณแม่
พี่ๆ น้องๆ ทุกคน ที่มีส่วนในการสนับสนุนมาโดยตลอด

ธีรนนท์ แซ่เล่า

สิงหาคม 2554

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(8)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	35
อุปกรณ์	35
วิธีการ	36
ผลและวิจารณ์	53
ผล	53
วิจารณ์	87
สรุปและข้อเสนอแนะ	90
สรุป	90
ข้อเสนอแนะ	91
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	92
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	94

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	เวลาก่อนการเคลื่อนที่อพยพในอาคารแต่ละประเภท	14
2	ความเร็วในการเดินที่ขึ้นกับหลายปัจจัยที่มีอิทธิพล	15
3	ความเร็วในการเดินบนบันไดในหลายลักษณะขนาดของบันได	16
4	อัตราการเคลื่อนที่อพยพของจำนวนนักเรียนที่อพยพผ่านบันไดในแต่ละชั้น	17
5	เวลาการเดินแบบอิสระและความเร็วในการเดินลงบันไดของกลุ่มตัวอย่าง	17
6	ค่าเฉลี่ยการรับรู้เหตุเพลิงไหม้	18
7	การศึกษาการเปรียบเทียบพฤติกรรมการแสดงออกของประชากรของประเทศ อังกฤษและประเทศอเมริกา	19
8	เหตุผลในการกลับเข้าไปในทิศทางเดิม	20
9	พฤติกรรมการต่อสู้ไฟของเพศและอายุ	21
10	การเปรียบเทียบระยะทางการเคลื่อนที่ผ่านควันของประชากรของประเทศ อังกฤษและประเทศสหรัฐอเมริกา	22
11	ความเร็วในการเดินหลบหลีกสิ่งกีดขวางและขนาดรูปร่าง มีการซ้อนเหลื่อมกัน ของวงกลมที่แทนไหล่คน กำหนดให้ $d_s = R_d - R_s$ สำหรับระนาบขนาดของ ร่างกายที่เปลี่ยนแปลงไปตามค่าในตาราง	24
12	ความชอบของกลุ่มคนส่วนใหญ่ที่ใช้เป็นกระบวนการตัดสินใจในการเลือก ทางออก	30
13	การเลือกขนาดกองเพลิงที่ใช้ในการจำลองสถานการณ์เพลิงไหม้ในเอเชีย	42
14	อุณหภูมิของอากาศที่ผู้อพยพสามารถทนได้	43
15	ปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์ที่ผู้อพยพสามารถทนได้	44
16	แสดงเวลาที่ใช้ทั้งหมดในการอพยพออกจากอาคารหอพักนิสิต	67
17	แสดงจำนวนผู้อพยพที่เลือกใช้บันไดทั้งสองฝั่งของอาคารหอพักนิสิต	67
18	ตารางแสดงอุณหภูมิของชั้นที่ 1 ที่เวลา 465 วินาที	68
19	ตารางแสดงอุณหภูมิของชั้นที่ 2 ที่เวลา 250 วินาที	68
20	ตารางแสดงอุณหภูมิของชั้นที่ 3 ที่เวลา 230 วินาที	69

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
21	ตารางแสดงอุณหภูมิของชั้นที่ 4 ที่เวลา 190 วินาที	69
22	ตารางแสดงอุณหภูมิของชั้นที่ 5 ที่เวลา 130 วินาที	69
23	ปริมาณก๊าซออกซิเจนของชั้นที่ 1 ที่เวลา 465 วินาที	70
24	ปริมาณก๊าซออกซิเจนของชั้นที่ 2 ที่เวลา 250 วินาที	70
25	ปริมาณก๊าซออกซิเจนของชั้นที่ 3 ที่เวลา 230 วินาที	71
26	ปริมาณก๊าซออกซิเจนของชั้นที่ 4 ที่เวลา 190 วินาที	71
27	ปริมาณก๊าซออกซิเจนของชั้นที่ 5 ที่เวลา 130 วินาที	71
28	ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ของชั้นที่ 1 ที่เวลา 465 วินาที	72
29	ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ของชั้นที่ 2 ที่เวลา 250 วินาที	72
30	ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ของชั้นที่ 3 ที่เวลา 230 วินาที	73
31	ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ของชั้นที่ 4 ที่เวลา 190 วินาที	73
32	ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ของชั้นที่ 5 ที่เวลา 130 วินาที	73

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วจากการวัดกับการคำนวณ	6
2	การประมาณค่าของ γ จากตารางเปรียบเทียบที่ได้จากการคำนวณและการทดลอง	7
3	ภาพขนาดรูปร่างของคนโดยการใช้วงกลม 3 วง มาวางซ้อนเหลื่อมกัน	23
4	ภาพแนวคิดของแรงกระทำรอบข้าง	25
5	ภาพการกำหนดครีสมิของเวกเตอร์ R^c และ R^{soc}	26
6	ภาพอาคารหอพักนิสิตมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราช	36
7	ภาพแผนผังภายในอาคารหอพักนิสิตชั้นที่ 1	37
8	ภาพแผนผังภายในอาคารหอพักนิสิตชั้นที่ 2-5	37
9	ภาพบันไดทางขึ้นและลงของชั้นที่ 1 ทางฝั่งซ้าย	38
10	ภาพลักษณะพื้นที่เปิดโล่งกลางอาคาร	38
11	ภาพช่องทางเดินภายในอาคารหอพักชั้นที่ 1	39
12	ภาพช่องทางเดินภายในอาคารหอพักนิสิต	39
13	ภาพทิศทางการอพยพในแต่ละชั้นภายในของอาคารหอพักนิสิต สู่ประตูทางออก	40
14	ภาพเส้นทางการอพยพออกที่ชั้น 1 ทางด้านหน้าอาคารทางบันไดด้านซ้ายและขวา	40
15	ภาพการอพยพภายในบันไดด้านซ้ายของอาคาร	41
16	ภาพการอพยพภายในบันไดด้านขวาของอาคาร	41
17	ภาพอาคารชั้นหนึ่งที่เป็นจุดค้นเพลิง	43
18	ภาพการกำหนดขนาดโครงข่ายเพลิงไหม้ด้วยโปรแกรม Pyrosim 2010	45
19	ภาพด้านหน้าของอาคารหอพักนิสิตด้วยโปรแกรม Pyrosim 2010	45
20	ภาพภายในของอาคารหอพักนิสิตด้วยโปรแกรม Pyrosim 2010	46
21	ภาพพื้นที่ภายในของอาคารหอพักนิสิตชั้นที่ 1 ด้วยโปรแกรม Pyrosim 2010	46
22	ภาพพื้นที่ภายในของอาคารหอพักนิสิตชั้นที่ 2-4 ด้วยโปรแกรม Pyrosim 2010	47
23	ภาพพื้นที่ภายในของอาคารหอพักนิสิตชั้นที่ 5 ด้วยโปรแกรม Pyrosim 2010	47
24	ภาพตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์วัดปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์ชั้นที่ 1	48
25	ภาพตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์วัดปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์ชั้นที่ 2-4	48

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
26	ภาพตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์วัดปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์ชั้นที่ 5
27	ภาพตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์วัดปริมาณออกซิเจนชั้นที่ 1
28	ภาพตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์วัดปริมาณออกซิเจนชั้นที่ 2-4
29	ภาพตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์วัดปริมาณออกซิเจนชั้นที่ 5
30	ภาพตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิชั้นที่ 1
31	ภาพตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิชั้นที่ 2-4
32	ภาพตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิชั้นที่ 5
33	ภาพแสดงขนาดประตูทางออกสู่ภายนอกอาคารจริง 1 เมตร
34	ภาพแสดงขนาดประตูทางออกสู่ภายนอกอาคารจากการปรับปรุง 2 เมตร
35	ภาพแสดงตำแหน่งติดตั้งแผงกั้นควันไฟหน้าห้องบันได ของชั้นที่ 1
36	ภาพแสดงทิศทางการไหลของควันไฟหลังจากติดตั้งแผงกั้นควันไฟหน้าห้องบันได ของชั้นที่ 1
37	การอพยพที่เวลา 95 วินาที ผู้อพยพคนสุดท้ายออกจากชั้นที่ 5
38	การอพยพที่เวลา 185 วินาที ผู้อพยพคนสุดท้ายออกจากชั้นที่ 4
39	การอพยพที่เวลา 220 วินาที ผู้อพยพคนสุดท้ายออกจากชั้นที่ 3
40	การอพยพที่เวลา 250 วินาที ผู้อพยพคนสุดท้ายออกจากชั้นที่ 2
41	การอพยพที่เวลา 460 วินาที ผู้อพยพคนสุดท้ายออกจากอาคาร
42	การอพยพที่เวลา 113 วินาที ผู้อพยพคนสุดท้ายออกจากชั้นที่ 5
43	การอพยพที่เวลา 185 วินาที ผู้อพยพคนสุดท้ายออกจากชั้นที่ 4
44	การอพยพที่เวลา 210 วินาที ผู้อพยพคนสุดท้ายออกจากชั้นที่ 3
45	การอพยพที่เวลา 250 วินาที ผู้อพยพคนสุดท้ายออกจากชั้นที่ 2
46	การอพยพที่เวลา 465 วินาที ผู้อพยพคนสุดท้ายออกจากอาคาร
47	การอพยพที่เวลา 105 วินาที ผู้อพยพคนสุดท้ายออกจากชั้นที่ 5
48	การอพยพที่เวลา 175 วินาที ผู้อพยพคนสุดท้ายออกจากชั้นที่ 4
49	การอพยพที่เวลา 210 วินาที ผู้อพยพคนสุดท้ายออกจากชั้นที่ 3
50	การอพยพที่เวลา 235 วินาที ผู้อพยพคนสุดท้ายออกจากชั้นที่ 2

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
51 การอพยพที่เวลา 265 วินาที ผู้อพยพคนสุดท้ายออกจากอาคาร	63
52 การอพยพที่ 128 วินาที ผู้อพยพคนสุดท้ายออกจากชั้นที่ 5	65
53 การอพยพที่เวลา 179 วินาที ผู้อพยพคนสุดท้ายออกจากชั้นที่ 4	65
54 การอพยพที่เวลา 216 วินาที ผู้อพยพคนสุดท้ายออกจากชั้นที่ 3	65
55 การอพยพที่เวลา 246 วินาที ผู้อพยพคนสุดท้ายออกจากชั้นที่ 2	66
56 การอพยพที่เวลา 270 วินาที ผู้อพยพคนสุดท้ายออกจากอาคาร	66
57 การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันที่เวลา 130 วินาที กรณีที่ 1	74
58 การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันที่เวลา 190 วินาที กรณีที่ 1	75
59 การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันที่เวลา 230 วินาที กรณีที่ 1	75
60 การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันที่เวลา 250 วินาที กรณีที่ 1	75
61 การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันที่เวลา 465 วินาที กรณีที่ 1	76
62 การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันที่เวลา 130 วินาที กรณีที่ 2	76
63 การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันที่เวลา 190 วินาที กรณีที่ 2	77
64 การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันที่เวลา 230 วินาที กรณีที่ 2	77
65 การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันที่เวลา 250 วินาที กรณีที่ 2	77
66 การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันที่เวลา 465 วินาที กรณีที่ 2	78
67 การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันที่เวลา 130 วินาที กรณีที่ 3	78
68 การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันที่เวลา 190 วินาที กรณีที่ 3	79
69 การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันที่เวลา 230 วินาที กรณีที่ 3	79
70 การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันที่เวลา 250 วินาที กรณีที่ 3	79
71 การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันที่เวลา 280 วินาที กรณีที่ 3	80
72 การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันที่เวลา 130 วินาที กรณีที่ 4	80
73 การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันที่เวลา 190 วินาที กรณีที่ 4	81
74 การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันที่เวลา 230 วินาที กรณีที่ 4	81
75 การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันที่เวลา 250 วินาที กรณีที่ 4	81

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
76 การเคลื่อนที่ของกลุ่มคว้นที่เวลา 280 วินาที กรณีที่ 4	82
77 กราฟปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์ชั้นที่ 1	82
78 กราฟปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์ชั้นที่ 2	83
79 กราฟปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์ชั้นที่ 3	83
80 กราฟปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์ชั้นที่ 4	83
81 กราฟอุณหภูมิชั้นที่ 1	84
82 กราฟอุณหภูมิชั้นที่ 2	84
83 กราฟอุณหภูมิชั้นที่ 3	84
84 กราฟอุณหภูมิชั้นที่ 4	85
85 กราฟค่าความสามารถในการมองเห็นชั้นที่ 1	85
86 กราฟค่าความสามารถในการมองเห็นชั้นที่ 2	85
87 กราฟค่าความสามารถในการมองเห็นชั้นที่ 3	86
88 กราฟค่าความสามารถในการมองเห็นชั้นที่ 4	86

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

$X_i(t)$	ตำแหน่งของผู้อพยพ i ที่เวลา t
$f_i(t)$	แรงรอบข้างที่กระทำกับตัวผู้อพยพ
m_i	มวลน้ำหนัก
$\xi_i(t)$	ความผันผวนของแรง
$\frac{dX_i}{dt}$	ความเร็วของผู้อพยพ
$\sum_{j \neq i} (f_{ij}^{soc} + f_{ij}^{att} + f_{ij}^c)$	ผลรวมของแรงกระทำระหว่างผู้อพยพกับผู้อพยพ
$\sum_w (f_{iw}^{soc} + f_{iw}^c)$	ผลรวมของแรงกระทำระหว่างผู้อพยพกับกำแพง
$\sum_k f_{ik}^{att}$	ผลรวมของแรงกระทำระหว่างผู้อพยพกับสิ่งแวดล้อม
$\frac{m_i}{\tau_i} (V_i^o - V_i)$	แรงเคลื่อนที่ของผู้อพยพ
τ_i	ตัวแปรของเวลาที่ใช้หยุดพัก
r_{ij}	ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางวงกลมของผู้อพยพ
d_{ij}	ผลรวมของรัศมีของวงกลม
n_{ij}	เวกเตอร์ จากจุดของผู้อพยพ j ถึง i
ϕ_{ij}	องศา ระหว่างทิศทางการเคลื่อนที่ของผู้อพยพ i ถึง j
A_i, B_i	ตัวแปรของความแข็งแรงและแรงการขยายระยะห่าง
λ_i	ตัวแปรที่ควบคุมแรงกระทำรอบข้าง
Δv_{ij}^t	ความแตกต่างของความเร็วที่ขนานเส้นสัมผัสของจุดสัมผัสวงกลม
Δv_{ij}^n	ความแตกต่างของความเร็วปกติ
t_{ij}	เวกเตอร์ที่ขนานเส้นสัมผัสของวงกลมที่สัมผัสกัน
k	ค่าคงที่ของแรงการยึดในแนวรัศมี
K	ค่าคงที่ของแรงต้านความฝืด
c_d	ตัวแปรการหน่วง
$\phi_i(t)$	มุมของผู้อพยพ i ที่เวลา t
I_i^z	กำลังของแรงเฉื่อย
$\eta_i^z(t)$	แรงบิดขนาดเล็กที่แกว่งไปมา
M_i^c	แรงบิดที่สัมผัสกับผู้อพยพ

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

M_i^{soc}	แรงบิดที่กระทำจากแรงรอบข้าง
M_i^r	แรงบิดของการเคลื่อนที่
R_i^c	รัศมีเวกเตอร์จากจุดศูนย์กลางผู้อพยพ i ถึงจุดสัมผัส
R_i^{soc}	เวกเตอร์จากจุดศูนย์กลางผู้อพยพ i ถึงจุดสัมผัสที่สร้างขึ้นจากแรงรอบข้าง
ω_i^0	ความเร็วเชิงมุมมากที่สุดที่กำหนดไว้ของผู้อพยพในการเลี้ยว
ω_t	อัตราเร็วเชิงมุมเวลา t เวลานั้น
φ_i^0	มุมที่กำหนดให้
v_i^0	จุดของเวกเตอร์
$\tilde{\omega}_i^0$	ความเร็วเชิงมุมที่กำหนด
K_s	สัมประสิทธิ์การทำให้หมดไป
α	สัมประสิทธิ์คงที่ (0.706 m/s)
β	สัมประสิทธิ์คงที่ (-0.057 m ² /s)
$v_{i,min}^o$	ความเร็วขั้นต่ำของผู้อพยพ (0.1 m/s)
R^*	อัตราส่วนของจำนวนขนาดโครงข่ายต่อเส้นผ่านศูนย์กลางสัมพัทธ์
D^*	เส้นผ่านศูนย์กลางสัมพัทธ์
ΔX	ขนาดของจำนวนโครงข่าย

**การศึกษาการอพยพหนีไฟในอาคารหอพักนิสิตของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วิทยาเขตศรีราชาด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลข**

**A Study of Fire Evacuation in Student Dormitory at Kasetsart University,
Si Racha Campus by Numerical Method**

คำนำ

การอพยพหนีไฟ หรือการอพยพฉุกเฉินภายในอาคารเป็นสิ่งจำเป็นในกรณีเกิดเหตุการณ์เพลิงไหม้หรือเหตุการณ์ร้ายแรงอื่นๆ เช่น แผ่นดินไหว แก๊สพิษรั่วไหล การจับตัวประกัน การวางระเบิด ซึ่งผู้ที่มีสติ หรือผู้ที่ผ่านการฝึกอบรมมา จะช่วยให้สามารถอพยพออกมายังสถานที่ที่ปลอดภัยได้ในเวลาอันรวดเร็ว โดยขั้นตอนการอพยพหนีไฟ จะขึ้นกับเรื่องของเวลาในการอพยพของพื้นที่ที่ครอบครองแต่ละประเภท การเลือกใช้เส้นทางในการอพยพ ความหนาแน่นของจำนวนประชากร เพศ อายุ ความเร็วในการอพยพ สิ่งกีดขวางในเส้นทางอพยพ ปริมาณสารพิษที่เพิ่มขึ้นในกระบวนการเผาไหม้จากวัสดุตกแต่งภายในอาคาร ความคุ้นเคยกับพื้นที่ภายในของอาคาร ความกว้างของประตูและเส้นทางอพยพ ขนาดและรูปทรงต่างๆของอาคาร การจัดวางแผนผังภายในอาคารในส่วนในพื้นที่อพยพจะมีอิทธิพลต่อเวลาที่ใช้ในการอพยพ และถึงแม้จะมีการจัดวางแผนผังที่ดีแล้วก็ตามก็ควรที่จะต้องมีการทดสอบ วัสดุถึงประสิทธิภาพ และขีดความสามารถที่ใช้ในการอพยพให้เพิ่มขึ้นด้วย

การใช้โปรแกรมแบบจำลองการอพยพหนีไฟก็เป็นอีกทางเลือกหนึ่ง ซึ่งในปัจจุบันนี้ได้มีการนำมาใช้อย่างกว้างขวางมากขึ้น เพราะเป็นอีกวิธีหนึ่งที่จะช่วยให้เห็นถึงศักยภาพ หรือข้อบกพร่องของพื้นที่ที่ใช้เป็นเส้นทางในการอพยพ ทั้งยังประหยัดในเรื่องของเวลาและค่าใช้จ่ายในการทดลองอพยพจริง การนำแบบไปแก้ไขก่อนทำการก่อสร้างจริง นอกจากนี้ยังสามารถนำไปทำเป็นแผนฝึกอบรมการอพยพสำหรับพนักงานหรือผู้ที่มีความเกี่ยวข้องในการใช้งานอาคารนั้นๆ

งานวิจัยนี้จะทำการศึกษาระยะเวลาและลักษณะการไหลของคนที่ต้องการอพยพโดยใช้โปรแกรม Fire Dynamics Simulator with Evacuation (FDS+Evac) มาทำการศึกษาการอพยพภายในอาคารหอพักนิสิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชาเพื่อศึกษาพฤติกรรมการอพยพของผู้ใช้อาคาร ลักษณะการกระจายตัวของเพลิงไหม้ เพื่อนำไปเป็นแนวทางในการปรับปรุง

อาคารหอพักนิสิต เพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการอพยพเพิ่มมากขึ้น ลดการสูญเสียหรืออันตราย
ของผู้ใช้อาคาร



วัตถุประสงค์

1. วิเคราะห์การลุกลามและการกระจายตัวของควันไฟ และการอพยพออกจากอาคาร เพื่อหาจุดบกพร่องของอาคาร
2. เพื่อเสนอแนะแนวทางแก้ไขอาคารให้มีความปลอดภัยต่อชีวิตมากยิ่งขึ้น

ขอบเขตงานวิจัย

การจำลองเหตุการณ์เพลิงไหม้จะจำลองให้ห้องต้นเพลิงอยู่ชั้นที่ 1 ใกล้กับบันไดที่เปิดโล่ง เพื่อเน้นศึกษาผลกระทบจากควันไฟต่อบันไดที่เปิดโล่ง และจำนวนคนที่ใช้ในการวิเคราะห์ประมาณจากจำนวนคนที่ใช้จริงคือห้องละ 4 คน

การตรวจเอกสาร

งานวิจัยนี้ใช้แบบจำลองการอพยพด้วยแบบจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณชื่อ Fire Dynamics Simulator with Evacuation (FDS + Evac) โปรแกรมดังกล่าวประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก ได้แก่ ส่วนของการจำลองเพลิงไหม้ และส่วนของการอพยพซึ่งเป็นภาคเสริมของโปรแกรม FDS โปรแกรมดังกล่าวได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ซึ่งปัจจุบันเป็นโปรแกรมรุ่นที่ 5 โปรแกรม FDS + Evac เป็นโปรแกรมที่ถูกพัฒนาจากสถาบันสองสถาบัน ได้แก่ National Institute of Standards and Technology (NIST) ประเทศสหรัฐอเมริกา เป็นผู้พัฒนา FDS และ VTT Technology Research Centre of Finland ประเทศฟินแลนด์ เป็นผู้พัฒนาโปรแกรมในส่วนการอพยพ (Evacuation) โปรแกรมดังกล่าวเป็นโปรแกรมที่ไม่มีค่าใช้จ่าย (Freeware) สามารถดาวน์โหลดได้ที่ <http://www.vtt.fi/proj/fdsevac/> โปรแกรม Pyrosim 2010 เป็นโปรแกรมที่ใช้ช่วยในการสร้างแบบจำลองของพื้นที่ที่ใช้ในการอพยพ เนื่องจากมีความสะดวกกว่าในการสร้างแบบจำลองจากโปรแกรม FDS + Evac โดยไฟล์ที่ได้จากโปรแกรม Pyrosim 2010 จะมีนามสกุลเป็น .psm ซึ่งตัวโปรแกรมเองสามารถแปลงไฟล์ดังกล่าวนี้ให้เป็นนามสกุล .fds ได้ เพื่อความสะดวกในการนำไปใช้งานในโปรแกรม FDS ต่อไป

โปรแกรม FDS + Evac เป็นโปรแกรมแบบจำลองการอพยพ ที่มีการเพิ่มเติมจากโปรแกรมเดิม คือ FDS ซึ่งเป็นโปรแกรมแบบจำลองการเกิดควันและไฟ การทำงานของโปรแกรม FDS + Evac เหมือนกับของโปรแกรม FDS โดยต้องทำการป้อนค่าเริ่มต้นต่างๆ ของแบบจำลองการอพยพ เช่น ขนาดโครงข่ายพื้นที่อพยพ จำนวนและประเภทของผู้อพยพ ระยะเวลาเริ่มต้นอพยพ หรือระยะเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการอพยพ หลังจากใส่ค่าเริ่มต้นเสร็จก็นำไฟล์เริ่มต้นที่มีนามสกุล .fds ไปทำการรันบนโปรแกรม DOS และจะได้ไฟล์ผลลัพธ์หลังการประมวลผลออกมาซึ่งมีทั้งไฟล์ที่เป็น Excel และไฟล์ที่มีนามสกุล .smv ซึ่งไฟล์ดังกล่าวนี้จะเป็นไฟล์ที่ใช้แสดงผลการเคลื่อนที่อพยพในพื้นที่อพยพออกมา โดยนำไปเปิดในโปรแกรม Smokeview เพื่อดูภาพต่อไป

1. ทฤษฎีพื้นฐานของโปรแกรม FDS+EVAC

การเกิดเหตุเพลิงไหม้ ล้ำควันซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ที่สมบูรณ์จะลอยตัวขึ้นในแนวตั้งซึ่งล้ำควันร้อนที่ลอยตัวสูงขึ้นจากกองเพลิงเรียกว่า ล้ำควัน (Plume) เนื่องจากแรงลอยตัว (Buoyancy Force) ที่เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นเมื่อมีความเร็วลมพัดเข้ามาทางด้านข้าง (Crosswind) ก็จะทำให้ล้ำควันนั้นเอียงออกจากแนวแกนสมมาตรซึ่งเราเรียกว่า ล้ำควันเอียง (Inclined Fire Plume) โดย Oka *et al.* (2008) ได้ทำการทดลองและเอาผลลัพธ์ที่ได้มาพัฒนาและคิดค้นสูตรสมการ ใหม่ๆ เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นตามแกนล้ำควันเอียงดังต่อไปนี้

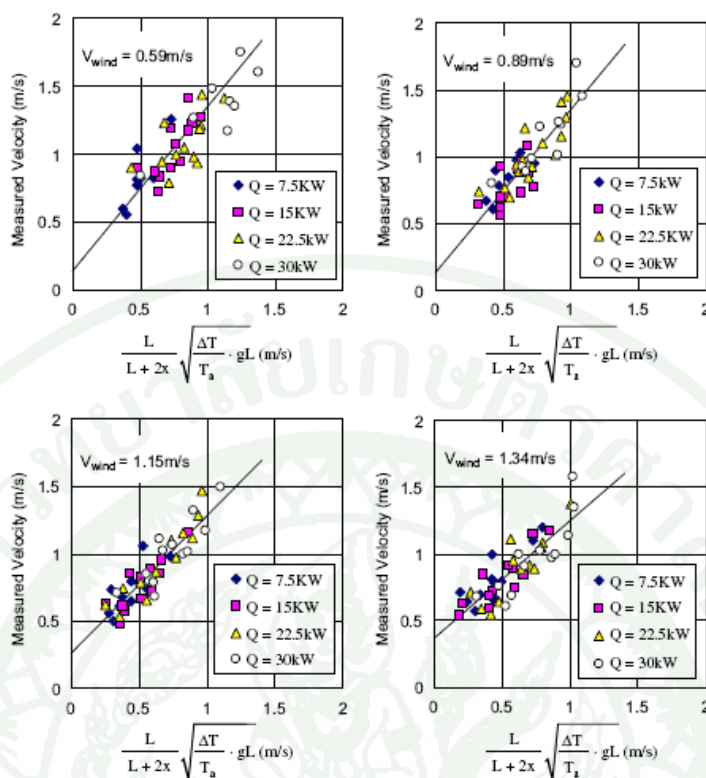
1.1 ความเร็วของล้ำควันร้อนตามแกนล้ำควันสมมาตรในกรณีที่ไม่มีลมพัดเข้ามาทางด้านข้าง

$$V_{cal} = \sqrt{\gamma V_{up}^2 + \varepsilon V_{wind}^2} \quad (1)$$

1.2 ความเร็วของล้ำควันร้อนที่เพิ่มขึ้นตามแกนล้ำควันเอียงในกรณีที่มีลมพัดเข้ามาทางด้านข้าง

$$V_{cal} \approx V_{up} = \gamma \left(\frac{L}{L + 2x} \right) \sqrt{\frac{\Delta T}{T_a} g L} \quad (2)$$

ความยาวต่างๆตามรูปเรขาคณิต คือสมการ $\frac{L}{(L + 2x)}$ และให้ x คือระยะในแนวนอนจากศูนย์กลางของ Burner ถึงจุดเป้าหมายที่จะวัด (measurement point) และถ้าล้ำควันเพิ่มมากขึ้นไปตามแนวตั้งโดยที่ไม่มีลมพัดเข้ามาค่าของ x จะมีค่าเท่ากับศูนย์และ L คือค่าของความสูงจากพื้นผิวของแหล่งกำเนิดกองเพลิงและในกรณีที่มียกระแสมแรงพัดเข้ามาทางด้านข้างมากจะทำให้ค่า γV_{up}^2 ในรากที่สองเทอมแรกของสมการที่ (1) ลดลงเพราะค่าของ ΔT มีอุณหภูมิลดลงโดยที่มีความเร็วลมที่พัดเข้ามาทางด้านข้างเพิ่มขึ้น ส่วนความเร็วที่หาได้ส่วนใหญ่มาจากในรากที่สองเทอมที่สองของสมการที่ (1) และค่าที่ได้ของ V_{cal} จะใกล้เคียงกับค่าของ V_{wind} ในช่วงที่ห่างจากกองเพลิงโดยที่ $V_{cal} \approx \varepsilon V_{wind}$

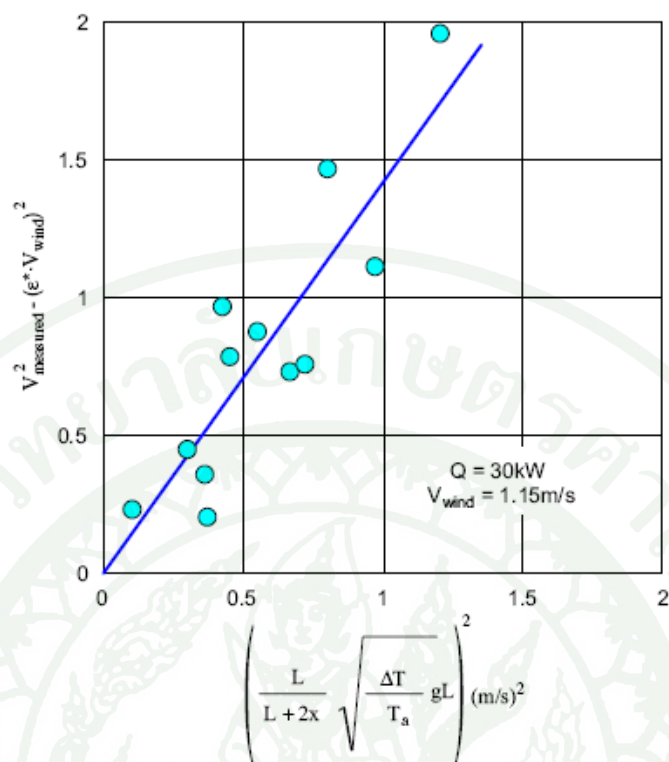


ภาพที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วจากการวัดกับการคำนวณ $\left(\frac{L}{L+2x} \right) \sqrt{\frac{\Delta T}{T_a} gL}$ (m/s)

ที่มา: Oka *et al.* (2008)

1.3 ความเร็วของลำควันร้อนที่เพิ่มขึ้นตามลำควันเย็น ในขณะที่มีอุณหภูมิสูงขึ้นและมีความเร็วลมพัดเข้ามาทางด้านข้างสามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$V_{cal} = \left[\left(\gamma \frac{L}{L+2x} \sqrt{\frac{\Delta T}{T_a} gL} \right)^2 + (\varepsilon V_{wind})^2 \right]^{1/2} \quad (3)$$



ภาพที่ 2 การประมาณค่าของ γ จากตารางเปรียบเทียบที่ได้จากการคำนวณและการทดลอง

ที่มา: Oka *et al.* (2008)

1.4 แบบจำลองพลศาสตร์อัคคีภัย (Fire Dynamics Simulator) หรือ FDS เป็น โปรแกรมทางด้าน พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamics) หรือ CFD สำหรับจำลอง การเคลื่อนที่ของไฟโดยใช้ระเบียบวิธีปริมาตรจำกัด (Finite Volume Method) ในการแก้สมการ การเคลื่อนที่ของของไหลซึ่งเป็นการไหลที่ความเร็วต่ำ (Low Speed) ได้รับการพัฒนาโดย NIST (National Institute of Standards and Technology) โดยแก้สมการอนุรักษ์ซึ่งประกอบไปด้วย

1.4.1 Navier-Stokes Equations

สมการอนุรักษ์มวล (Conservation of Mass)

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot \rho \mathbf{u} = 0 \quad (4)$$

สมการอนุรักษ์สปีชีส์ (Conservation of Species)

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho Y_i) + \nabla \cdot \rho Y_i \mathbf{u} = \nabla \cdot \rho D_i \nabla Y_i + \dot{m}_i''' \quad (5)$$

สมการอนุรักษ์โมเมนตัม (Conservation of Momentum)

$$\rho \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + (\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} + \nabla \bar{p} - \nabla \cdot \boldsymbol{\tau} = \mathbf{f} \quad (6)$$

สมการอนุรักษ์พลังงาน (Conservation of Energy)

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho h) + \nabla \cdot \rho h \mathbf{u} = \frac{dp}{dt} + \dot{q}''' + \nabla \cdot k \nabla T + \nabla \cdot \sum_i \rho h_i D_i \nabla Y_i - \nabla \cdot \bar{q}_r \quad (7)$$

โดยที่

ρ = ความหนาแน่น (Density)

$\mathbf{u}$ = เวกเตอร์ความเร็ว (Velocity vector)

Y_i = เศษส่วนโดยมวลของมวลย่อยที่ i (Mass Fraction)

$\dot{m}_i'''$ = อัตราการทำปฏิกิริยาต่อปริมาตรของมวลย่อยที่ i (Mass Production Rate of i species per unit volume)

D_i = สัมประสิทธิ์การแพร่ของมวลย่อยที่ i (Diffusion Coefficient)

$\bar{f}$ = แรงภายนอกที่กระทำต่อของไหล

$\boldsymbol{\tau}$ = แรงเค้นเฉือน (Viscous stress tensor)

h = เอนทาลปี (Enthalpy)

$\bar{q}_r$ = ฟลักซ์การแผ่รังสีความร้อน (Radiative Heat Flux Vector)

k = สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal Conductivity)

T = อุณหภูมิ (Temperature)

การใช้โปรแกรม FDS ต้องกำหนดโดเมนของการคำนวณ (Computational Domain) และ ค่าขอบเขต (Boundary Conditions) โดยโปรแกรม จะทำการแบ่ง โดเมนออกเป็น ปริมาตร (Finite Volume) ขนาดเล็กจำนวนมากเรียกว่าการสร้างกริด (Grid Generation) ในสภาวะ

ต่างๆ ภายในปริมาตรที่จำกัด จะถูกคำนวณโดยใช้สมการข้างต้นทั้งนี้จำนวนกริดหรือขนาดกริดที่ใช้กำหนดในแบบจำลองจะต้องได้ผลการคำนวณที่ถูกต้อง และมีความเที่ยงตรงตามทฤษฎี รวมถึงมีระยะเวลาในการคำนวณด้วยคอมพิวเตอร์ (CPU Time) ที่เหมาะสม

1.4.2 FDS ใช้ระเบียบวิธี Large Eddy Simulation (LES) ในแบบจำลองเชิงตัวเลขมี 2 ระเบียบวิธีที่นำมาใช้พิจารณา ค่าความหนืดเชิงพลวัต (Dynamic Viscosity) หรือ μ ได้แก่ ระเบียบวิธี Large Eddy Simulation (LES) และระเบียบวิธี Direct Numerical Simulation (DNS) โดยระเบียบวิธีที่เหมาะสมกับ การจำลองเพลิงไหม้สำหรับพื้นที่ภายนอกอาคาร (Outdoor Fire Model) จะใช้ระเบียบวิธี Large Eddy Simulation (LES) ซึ่งใช้ Sub grid Scale Model ของ Smagorinsky สำหรับการจำลองสภาวะการไหล แบบปั่นป่วนในส่วนของการเผาไหม้เพื่อแก้ปัญหาขนาด กริดที่ไม่สามารถทำให้ละเอียดเพียงพอที่จะจำลองพฤติกรรมของการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงกับอากาศ ทั้งนี้จากการวิเคราะห์ของ Smagorinsky ค่าความหนืดดังกล่าวสามารถอธิบายได้ดังนี้

$$\mu_{LES} = \rho(C_s \Delta)^2 \left[2(\text{defu}) \cdot (\text{defu}) - \frac{2}{3} (\nabla \cdot \mathbf{u})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (8)$$

โดย C_s เป็นค่าคงที่ของ Smagorinsky, Δ เป็นขนาดของ Filter และพจน์แปลงรูปสัมพันธ์กับฟังก์ชันการกระจาย (Dissipation Function) ดังสมการที่ (8) ซึ่งเป็นฟังก์ชันการกระจายเป็นการถ่ายโอนพลังงานจลน์ไปเป็นพลังงานความร้อนในระเบียบวิธี LES ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal Conductivity) และค่าสัมประสิทธิ์การแพร่สสาร (Material Diffusivity) จะสัมพันธ์กับค่าความหนืดแบบปั่นป่วน (Turbulent Viscosity) ในการคำนวณจะกำหนดให้ Prandtl Number (Pr) และ Schmidt Number (Sc) มีค่าคงที่ในการจำลองของ FDS ค่าคงที่ของ Smagorinsky จะกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 0.2 ตลอดทุกกรณี

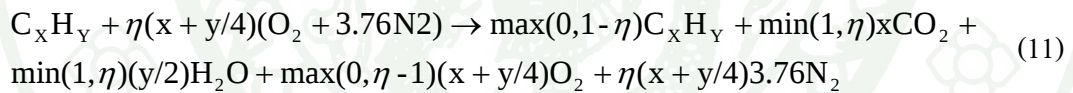
1.4.3 แบบจำลองการเผาไหม้สัดส่วนสารผสม (Mixture Fraction Based Infinitely Fast Chemical Reaction) โดย FDS ใช้แบบจำลองบนสมมติฐานที่ว่าอัตราการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงกับอากาศ ถูกควบคุมโดยอัตราที่เชื้อเพลิงกับอากาศผสมกัน (Mixed Controlled) เชื้อเพลิงจะทำปฏิกิริยากับอากาศอย่างรวดเร็ว (Infinitely Fast Chemical Reaction) ได้เป็นก๊าซผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ในการจำลองเพลิงไหม้ภายนอกอาคาร (Fires and Flow in Outdoor) [1] FDS สามารถกำหนดให้มีลมเคลื่อนที่ผ่าน เพื่อให้การจำลองสอดคล้องกับสถานการณ์จริงมากยิ่งขึ้น

ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของมวลกับสารผสมเรียกว่า ความสัมพันธ์สถานะ (State Relation) ความสัมพันธ์สถานะที่เกิดจาก เปลวไฟที่แพร่แบบราบเรียบ (Laminar Diffusion Flame) เป็นฟังก์ชันแบบเชิงเส้นซึ่งนำไปสู่การอธิบายปรากฏการณ์เปลวไฟโดย อัตราการปล่อยพลังงานความร้อนสามารถคำนวณได้จากอัตราการใช้ออกซิเจนที่ผิวนอกของ เปลวไฟโดยใช้ สมมติฐานว่าทั้งสองค่านี้เป็นสัดส่วนโดยตรงต่อกัน และไม่ขึ้นอยู่กับเชื้อเพลิงซึ่งรูปแบบทั่วไป ของปฏิกิริยาการเผาไหม้แสดงได้ดังสมการ

จากสมการปริมาณสัมพันธ์ (9) อัตราการใช้เชิงมวลของเชื้อเพลิง และตัวออกซิไดส์ สัมพันธ์ดังนี้

$$\frac{\dot{m}_F}{\nu_F M_F} = \frac{\dot{m}_O}{\nu_O M_O} \quad (10)$$

ความสัมพันธ์สถานะสำหรับทั้งตัวทำปฏิกิริยา และผลิตภัณฑ์สามารถอนุพัทธ์ (Derived) โดยพิจารณาปฏิกิริยาอุณหเคมีของเชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอน



พารามิเตอร์ η มีค่าตั้งแต่ 0 ซึ่งแสดงถึงสถานะที่มีแต่เชื้อเพลิงไม่มีออกซิเจนถึง α ซึ่งแสดงถึงสถานะที่มีแต่ออกซิเจน และไม่มีเชื้อเพลิง การสมนัยกันระหว่าง η และ Z สามารถหาได้โดยการใช้นิยามของ Z เพื่อหาสัดส่วนผสมดังสมการ (12) กับฝั่งซ้ายของสมการ (11) และ สัดส่วนเชิงมวลของผลิตภัณฑ์ได้จากฝั่งขวาของสมการ (11)

$$Z = \frac{sY_F - (Y_O - Y_O^\alpha)}{sY_F^l + Y_O^\alpha}; s = \frac{\nu_O M_O}{\nu_F M_F} \quad (12)$$

นิพจน์ของอัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อน สามารถอนุพัทธ์ได้จากสมการ การอนุรักษ์ และความสัมพัทธ์สถานะของออกซิเจน ซึ่งอัตราการปล่อยพลังงานความร้อนเป็น ฟังก์ชันของอัตราการใช้ออกซิเจน

$$\dot{q}''' = \Delta H_o \dot{m}_o''' \quad (13)$$

โดย ΔH คือ อัตราการปล่อยพลังงานความร้อนเทียบกับปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการเผาไหม้ซึ่งมีค่าประมาณ 13,100 กิโลจูลต่อกิโลกรัม

จากการอนุรักษ์เชิงมวลของออกซิเจน คือ

$$\rho \frac{DY_o}{Dt} = \nabla \cdot \rho \nabla Y_o + \dot{m}_o''' \quad (14)$$

สัดส่วนสารผสมเป็นไปตามกฎการอนุรักษ์ ซึ่งได้มาจากการอนุรักษ์การรวมเชิงเส้นของเชื้อเพลิงกับออกซิเจน

$$\rho \frac{DZ}{Dt} = \nabla \cdot \rho D \nabla Z \quad (15)$$

สามารถเปลี่ยนรูปไปเป็นนิพจน์ของอัตราการปล่อยพลังงานความร้อน โดยใช้สมการอนุรักษ์ของสารผสม (15) และความสัมพันธ์สถานะของออกซิเจน $Y_o(Z)$

$$-\dot{m}_o''' = \nabla \cdot \left(\rho D \frac{dY_o}{dZ} \nabla Z \right) - \frac{dY_o}{dZ} \nabla \cdot \rho D \nabla Z = \rho D \frac{d^2 Y_o}{dZ^2} |\nabla Z|^2 \quad (16)$$

แบบจำลองเพลิงไหม้ในพื้นที่ภายนอกอาคารในการจำลองเพลิงไหม้ในพื้นที่ภายนอกอาคาร (Outdoor) มีลักษณะไม่แตกต่างกับการจำลองเพลิงไหม้ภายในอาคาร (Indoor) เนื่องจากมีหลายตัวแปร (Parameters) ที่คล้ายกัน แต่ในการจำลองเพลิงไหม้ภายนอกอาคารสามารถกำหนดการเคลื่อนที่ของลมให้เป็นไปตามสภาพความจริงที่เมื่อความสูงเพิ่มขึ้นความเร็วของลมจะเพิ่มขึ้นตามไปด้วยในโปรแกรม FDS สามารถกำหนดเงื่อนไขที่เกี่ยวข้องกับความเร็วลมได้โดยใช้คำสั่ง PROFILE ในบรรทัดของคำสั่ง SURF ซึ่งสามารถกำหนดลักษณะของลมได้เช่น PROFILE = 'PARABOLIC' จะสร้างลมที่มีลักษณะโค้งจากสมการที่ (17)

$$u(z) = u_0 (z / z_0)^P \quad (17)$$

โดย $u(z)$ คือ ความเร็วลมที่ระดับความสูงต่างๆ มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที, u_0 คือ ความเร็วลมมีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที, z คือ ความสูงของระดับต่างๆ ที่สนใจมีหน่วยเป็นเมตร, z_0 คือ ความสูงทั้งหมดของวัตถุมีหน่วยเป็นเมตร และ P คือ ฟังก์ชันของพื้นผิววัตถุ

ตัวแปรไร้หน่วยในการจำลองเพลิงไหม้ (Dimensionless Parameters in Fire Phenomenon) การใช้ขนาด (Δz) ที่เหมาะสมนอกจากจะจำลองพฤติกรรมเคลื่อนที่ของลำควันได้แล้ว ขนาดของกริดที่เหมาะสมควรบอกถึงอัตราการปล่อยพลังงานความร้อนของเพลิงไหม้ ซึ่ง Ma and Quintiere (2003) ได้ใช้ FDS (Version 2) จำลองพฤติกรรมเผาไหม้ของอ่างไฟ (Pool Fire) และการเคลื่อนที่ของลำควันโดยเสนอไร้หน่วย R^* เพื่อเป็นตัวแปรที่รวมขนาดของกริดและอัตราการปล่อยพลังงานความร้อนเข้าด้วยกันตามสมการดังนี้

$$R^* = \frac{\Delta z}{\left(\frac{\dot{Q}}{\rho_\alpha C_T T_\alpha \sqrt{g}} \right)^{2/5}} \quad (18)$$

โดย R^* คือ ขนาดของกริดในเทอมตัวแปรไร้หน่วย, Δz คือขนาดของกริด, $\dot{Q}$ คืออัตราการปล่อยพลังงานความร้อน ρ_α , T_α และ C_p คือ ความหนาแน่น, อุณหภูมิ และความจุความร้อนจำเพาะของอากาศที่อุณหภูมิห้อง และ g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกมีค่า 9.81 เมตรต่อวินาที²

Quintiere and Grove. (1998) พบว่า $R^* = 0.05$ จะให้ผลการคำนวณอุณหภูมิของลำควันในช่วงเปลวไฟต่อเนื่อง (Continuous Flame) มีความแม่นยำสูงสุด ทั้งนี้เพราะขนาดของกริดสามารถจำลองพฤติกรรมเผาไหม้ของเปลวไฟได้ อย่างไรก็ตามในการจำลองเพลิงไหม้ของการวิจัยนี้ค่า R^* ดังกล่าวอาจไม่เหมาะสม เนื่องจากต้องใช้ระยะเวลาในการคำนวณมาก และนอกจากนี้ผลการคำนวณที่สนใจจะอยู่ในช่วงลำควัน ซึ่งสามารถใช้ขนาดของกริดที่ใหญ่กว่าได้ เพราะในช่วงลำควันมีขนาดที่ใหญ่กว่าช่วงเปลวไฟต่อเนื่อง

2. ขั้นตอนในการอพยพ

2.1 ส่วนประกอบของเวลาในการอพยพหนีไฟ

เวลาในการอพยพสำหรับแต่ละบุคคลเป็นช่วงของเวลาทั้งหมด เริ่มตั้งแต่เกิดการลุกไหม้จนกระทั่งคนเริ่มอพยพออกจากอาคารไปสู่จุดที่ปลอดภัย จะประกอบไปด้วยองค์ประกอบ 4 ส่วนดังนี้

เวลาที่เกิดเพลิงไหม้จนมีการแจ้งเตือน (Time to Notification)

เซนเซอร์จับได้และมีการแจ้งเตือนจนกระทั่งคนรู้สึกตัว (Reaction Time)

คนรู้สึกตัวและเริ่มจะทำการหนี (Preevacuation Time)

คนเริ่มหนีจนกระทั่งไปอยู่ในจุดที่ปลอดภัย (Travel or Movement Time)

โดยใน 3 ส่วนแรกเรียกรวมกันว่า Delay Time หรือ Premovement Time ค่าที่ได้นั้นได้มาจากการเก็บข้อมูลไม่สามารถคำนวณได้ ส่วน Travel or Movement Time ค่าที่ได้มาจากการคำนวณ และสามารถเขียนเป็นความสัมพันธ์ได้ดังนี้

เวลาที่ใช้ในการอพยพไปยังจุดปลอดภัย = เวลาก่อนการเคลื่อนที่ + เวลาที่คนเริ่มหนีไปยังจุดปลอดภัย

(19)

เวลาก่อนการเคลื่อนที่ (Premovement Time) คือ เวลาหลังจากที่มีสัญญาณการแจ้งเตือนอพยพจนถึงเวลาที่ผู้อพยพรู้สึกตัวแล้วกำลังจะเริ่มทำการอพยพ มีผลกระทบมาจากหลายปัจจัยตามตารางด้านล่าง

ตารางที่ 1 เวลาก่อนการเคลื่อนที่อพยพในอาคารแต่ละประเภท

Building Type		Mean Pre-Movement Time (s)	Range	Count	Reference
Offices		113.4	0-540	19 ^a	(13)
Shops and commercial places		108.6	0-420	16 ^a	
Publics entertainment places		120	0-540	28 ^a	(5)
Large Retail Store	Food hall	37.1	21.1-45.0	410	
	Lingerie	22.3	18.0-29.0		
	Children wear	29.6	22.4-37.0		
	Household	27.1	19.3-34.8		
	Menswear	24.7	22.3-26.6		
	Ladies shoe	29.5	23.0-36.0		
	Ladies wear	29.3	18.2-45.6		
	Customer services	21.1	19.0-23.1		
School	Staff	70.8	0-246	17	(14)
	student	73.7	8-200	228	
Hospital	Pathology	52	26.6-91.9	9	
	and physiotherapy				
	All	48.3	26.0-91.0	12	
	Waiting room				
	staff	26.0	16.0-43.0	4	
	Patients	36.3	34.0-40.0	4	

ที่มา: Shi* *et al.* (2009)

2.2 ความเร็วที่ใช้ในการเคลื่อนที่อพยพ

ความเร็วในการเคลื่อนที่อพยพ (Travel Speed) เป็นตัวแปรที่สำคัญที่ใช้ในแบบจำลองการอพยพ โดยขึ้นกับหลายปัจจัย ตามตารางข้างล่างดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2 ความเร็วในการเดินที่ขึ้นกับหลายปัจจัยที่มีอิทธิพล

Influencing factors		Speed (m/s)	Range (m/s)	Reference
Walking type	Free move		1.2-1.8	(17)
	Exit move		0.8-1.5	
Walking conditions for corridors, doorway on ship	Low	1.4		(6)
	Optimum	0.70		
	Moderate	0.39		
	Crush	0.10		
Place type	Public place		0.51-1.27	(19)
	High-rise	1.05	0.57-1.20	
	Apartment	0.95	0.56-1.12	
Occupant type ^a	Children	1.08		(18)
	Female elderly	1.04		
	Male elderly	1.05		
	Elderly	1.04		
	Female adult	1.24		
	Male adult	1.30		
	adult	1.27		

ที่มา: Shi* *et al.* (2009)

ตารางที่ 3 ความเร็วในการเดินบนบันไดในหลายลักษณะขนาดของบันได

Stair characteristic		Speed (m/s)	Remark	Reference
Stair dimension	0.20: 0.25 ^a	0.85		
	0.18: 0.25	0.95		(22)
	0.17: 0.30	1.00		
	0.17: 0.33	1.05		
gradient		Up-stair	Down-stair	
Slope gradient	20°	0.9		
	25°	0.8		
	30°	0.7		(23)
	35°	0.6		
	40°	0.5		
	45°	0.4		
Wide		0.55	Step height	(22)
			0.15-0.21 m.	
			Step width 0.18 m.	
			Radius 0.85 m.	
			Walk radius 0.55 m.	
	Spiral stair	Narrow	0.50	Step height 0.20 m.
Step width 0.21 m .				
Radius 0.65 m.				
Walk radius 0.4 m.				

ที่มา: Shi* *et al.* (2009)

ตารางที่ 4 อัตราการเคลื่อนที่อพยพของจำนวนนักเรียนที่อพยพผ่านบันไดในแต่ละชั้น

Floor	Time (s)	Number of ingoing students	Average flow rate (s ⁻¹)	Total number of students
4	12.00-30.40	35	1.9	35
3	19.16-44.63	41	1.6	47
	49.06-55.76	6	0.7	
2	18.39-22.63	7	1.7	61
	26.03-68.50	54	1.3	
1	9.73-14.73	7	1.4	12
	22.43-25.87	5	1.5	

ที่มา: Xu and Song (2009)

ตารางที่ 5 เวลาการเดินทางแบบอิสระและความเร็วในการเดินลงบันไดของกลุ่มตัวอย่างนักเรียน 6 คน

Floor	4F=>3F	3F=>2F	3F=>2F	2F=>1F	2F=>1F	2F=>1F
Time (s)	7.46	9.04	8.28	6.72	6.00	6.72
Speed (m/s)	0.99	0.80	0.88	1.17	1.33	1.17

ที่มา: Xu and Song (2009)

2.3 พฤติกรรมที่เกิดขึ้นระหว่างการอพยพ

ลักษณะของพฤติกรรมเฉพาะบุคคลและเป็นกลุ่มได้มีการศึกษาค้นคว้ามาตั้งแต่ในสมัยอดีตด้วยการเก็บรวบรวมข้อมูลจากผู้ซึ่งประสบเหตุหรืออยู่ในเหตุการณ์เพลิงไหม้ ผลกระทบของไฟที่มีผลต่อพฤติกรรมผู้อพยพมีความไม่แน่นอน เนื่องจากขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ลักษณะของไฟที่เกิดขึ้น ช่วงเวลาที่พบไฟไหม้ สภาพแวดล้อม พฤติกรรมที่แสดงออกมาทั้งเฉพาะบุคคลและเป็นกลุ่มเป็นวิธีแสดงออกโดยทั่วไปของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเมื่อเข้าสู่สภาวะวิกฤต หากทางเอาตัวรอด มีรูปแบบวิธีที่แสดงออกมาหลากหลายลักษณะ

2.3.1 การรับรู้เหตุเพลิงไหม้ เริ่มแรกผู้อพยพสามารถรับรู้ได้ถึงไฟไหม้โดยใช้ประสาทสัมผัสการรับรู้จากกลิ่นของควัน การสังเกตส่วนบุคคล การได้ยินเสียงสัญญาณแจ้งเตือน มีการเก็บข้อมูลเสียงที่มีหลากหลายประเภทที่ทำให้ผู้อพยพหรือผู้ที่อยู่ในพื้นที่นั้นทราบ รับรู้ว่ามีเหตุเพลิงไหม้เกิดขึ้น ตามตารางด้านล่างนี้เป็นผลการเก็บข้อมูลของประชากรในประเทศอเมริกา

ตารางที่ 6 ค่าเฉลี่ยการรับรู้เหตุเพลิงไหม้

Means of Awareness	Participants	Percent
Smelled smoke	148	26.0
Notified by others	121	21.3
Noise	106	18.6
Notified by family	76	13.4
Saw smoke	52	9.1
Saw fire	46	8.1
Explosion	6	1.1
Felt heat	4	0.7
Saw/heard fire department	4	0.7
Electricity went off	4	0.7
Pet	2	0.3
N = 11	569	100.0

ที่มา: National Fire Protection Association. (2003)

2.3.2 กระบวนการตัดสินใจ การตัดสินใจของแต่ละบุคคลบุคคล ใช้กระบวนการทั้งหมด 6 ขั้นตอน คือ การจำได้หรือการตระหนักรู้ ความมีเหตุมีผล ความแน่นอนหรือชัดเจน การหาค่าออกมา การพิจารณาค่า การประเมินค่าเริ่มต้นใหม่

2.3.3 การปฏิบัติหรือการแสดงออก โดยทั่วไปสามารถจำแนกเป็นพฤติกรรมของการปฏิบัติเบื้องต้นที่แสดงออกมาของผู้อพยพได้ 5 อย่าง คือ การอพยพ การกลับเข้าไปทิศทางเดิมอีกครั้ง การต่อสู้กับไฟ การเคลื่อนที่ผ่านควัน การเปลี่ยนทิศทาง แสดงผลตามตารางด้านล่างนี้

ตารางที่ 7 การศึกษาการเปรียบเทียบพฤติกรรมการแสดงออกของประชากรของประเทศอังกฤษ
และประเทศอเมริกา

Behavior	British (Percent, P_1)	U.S. (Percent, P_2)	$P_1 - P_2$	$SE_{P_1 - P_2}^a$	CR_b
Evacuation	54.5	80	25.5	2.30	11.09 ^c
Reentry	43.0	27.9	15.1	2.30	6.51 ^c
Fire fighting	14.7	22.9	8.2	1.74	4.71 ^c
Moved through smoke	60.0	62.7	2.7	2.29	1.18
Turned back	26.0	18.3	7.7	2.01	3.83 ^c
	2193	584			

หมายเหตุ a คือ ค่าผิดพลาดมาตรฐาน b คือ อัตราส่วนวิกฤต c คือ อัตราส่วนวิกฤตที่สำคัญ

ที่มา: National Fire Protection Association. (2003)

ตารางที่ 8 เหตุผลในการกลับเข้าไปในทิศทางเดิม

Reason	Participants	
	Number	Percent
Fight fire	36	22.2
Obtain personal property	28	17.2
Check on fire	18	11.0
Notify others	13	8.0
Assist fire department	12	7.4
Retrieve pets	12	7.4
Call fire department	9	5.5
Assist evacuation	4	2.5
To be taken to hospital	3	1.8
Turn power back on	2	1.2
Rescue from balcony	1	0.6
Help injured family member	1	0.6
Turned off gas	1	0.6
Open windows	1	0.6
Close door	1	0.6
No apparent danger	1	0.6
Entered nondanger area	1	0.6
Job responsibility	1	0.6
Due to fire	1	0.6
Told to by others	1	0.6
Not reported	16	9.9
N = 21	136	100
Range = 1-36	Percent of participant Population = 27.9	

ที่มา: National Fire Protection Association. (2003)

ตารางที่ 9 พฤติกรรมการต่อสู้ไฟของเพศและอายุ

Participants		
	Number	Percent
Sex		
Male	84	62.7
Female	50	37.3
Total	134	100.0
Age		
7-17	8	5.9
18-27	31	23.1
28-37	41	30.6
38-47	27	20.1
48-57	16	11.9
58-67	2	1.5
68-80	3	2.2
Unknown	6	4.7
Total	134	100.0
Percent of participant population = 22.9		

ที่มา: National Fire Protection Association. (2003)

ตารางที่ 10 การเปรียบเทียบระยะทางการเคลื่อนที่ผ่านควันของประชากรของประเทศอังกฤษและ
ประเทศสหรัฐอเมริกา

Distance Moved (ft)	British (Percent, P_1)	U.S. (Percent, P_2)	$P_1 - P_2$	$SE_{P_1 - P_2}^a$	CR_b
0-2	3.0	2.3	0.7	1.02	0.69
3-6	18.0	8.4	9.6	2.23	4.30 ^c
7-12	30.0	17.1	12.9	2.71	4.76 ^c
13-30	19.0	45.5	26.5	2.62	10.11 ^c
31-36	5.0	2.0	3.0	1.25	2.40 ^d
37-45	4.0	4.1	0.1	1.19	0.08
46-60	5.0	11.0	6.0	1.47	4.08 ^c
60+	15.0	9.6	5.4	2.10	2.57 ^d
	1316	322			

หมายเหตุ a คือ ค่าผิดพลาดมาตรฐาน b คือ อัตราส่วนวิกฤต c, d คือ อัตราส่วนวิกฤตที่สำคัญ

ที่มา: National Fire Protection Association. (2003)

3. ทฤษฎีพื้นฐานสำหรับแบบจำลองการอพยพของโปรแกรม FDS+EVAC

Merchant (1976) อธิบายไว้ว่า เวลาที่ใช้ในการอพยพ (Escape Time, T_{escape}) มีองค์ประกอบหลักด้วยกัน 3 ส่วน คือ

$$T_{\text{escape}} = T_p + T_a + T_{rs} \quad (20)$$

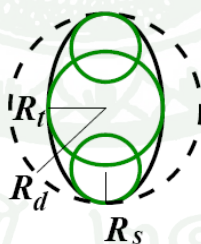
T_p = ช่วงเวลาที่ใช้ในการรับรู้ที่เกิดเพลิงไหม้ (Perception Time)

T_a = ช่วงเวลาที่ตอบสนองต่อเหตุการณ์เพลิงไหม้ (Action Time)

T_{rs} = ช่วงเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ไปยังจุดที่ปลอดภัย (Travel Time)

โปรแกรมแบบจำลองการอพยพสามารถคำนวณได้แค่ในส่วนของเวลาที่ใช้ในการอพยพเท่านั้น ส่วนเวลาการรับรู้ที่เกิดเพลิงไหม้และเวลาตอบสนองต่อเหตุเพลิงไหม้ไม่สามารถคำนวณได้แต่โปรแกรมเองสามารถกำหนดเวลาเริ่มต้นการอพยพหรือเวลาตอบสนองต่อเหตุได้ว่าจะให้ผู้อพยพเริ่มทำการอพยพที่เวลาเท่าไร ยังมีอิทธิพลอื่นที่ยังเป็นปัจจัยสำคัญที่เกี่ยวข้องกับ Travel Time คือ จำนวนประชากร ความเร็วในการอพยพ ความหนาแน่นของจำนวนคน ความกว้างของประตูและเส้นทางอพยพ ระยะทางที่ไปยังสถานที่ปลอดภัย ขนาดรูปทรงของอาคาร ความคุ้นเคยกับพื้นที่ ปริมาณสารพิษที่เพิ่มขึ้นในกระบวนการเผาไหม้จากวัสดุตกแต่งภายในอาคาร การใช้โปรแกรมแบบจำลองการอพยพนี้ไฟเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่จะช่วยให้เห็นถึงศักยภาพ หรือ ข้อบกพร่องของพื้นที่ที่ใช้ในการอพยพและยังประหยัดในเรื่องของเวลาและค่าใช้จ่ายในการทดลอง ซักซ้อมทำแผนอพยพ การแก้ไขแบบภายในอาคารก่อนการสร้างจริง

แบบจำลองการอพยพนี้ไฟเป็นการแสดงพฤติกรรมเฉพาะของแต่ละบุคคล ผู้อพยพมีบุคลิกส่วนตัวในการตัดสินใจหาทางเส้นทางอพยพอย่างต่อเนื่อง ภายในพื้นที่ว่างของอาคาร โดยได้รับอิทธิพลมาจากแรงปฏิกิริยาจากบุคคลอื่นและความหนาแน่นของกลุ่มฝูงชน แบบจำลองการเคลื่อนที่ของผู้อพยพถูกแสดงผลเป็นแบบ 2 มิติ บนพื้นที่อาคารที่ใช้อพยพ มีการใช้วงกลม 3 วง ซ้อนกันแทนรูปร่างคน โดยขนาดรูปร่างและความเร็วที่ใช้ในการเคลื่อนที่อพยพขึ้นกับชนิดของผู้อพยพ ตามรูปและตารางด้านล่าง ซึ่งเหมือนกับโปรแกรม SIMULEX



ภาพที่ 3 ภาพขนาดรูปร่างของคนโดยการใช้วงกลม 3 วง มาวางซ้อนเหลื่อมกัน

ที่มา: VTT Technical Research Centre of Finland (2008)

ตารางที่ 11 ความเร็วในการเดินหลบหลีกสิ่งกีดขวางและขนาดรูปร่าง มีการซ้อนเหลื่อมกันของวงกลมที่แทนไหล่คน กำหนดให้ $d_s = R_d - R_s$ สำหรับระนาบขนาดของร่างกายที่เปลี่ยนแปลงไปตามค่าในตาราง

Body type	R_d (m)	R_t / R_d (-)	R_s / R_d (-)	d_s / R_d (-)	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

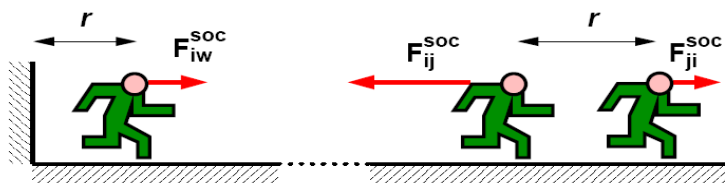
ที่มา: VTT Technical Research Centre of Finland (2008)

3.1 แบบจำลองการเคลื่อนที่ของผู้อพยพ

สมการการเคลื่อนที่ของแต่ละบุคคล เป็นระเบียบวิธีของ Helbing et al. (2000) ที่นำมาใช้ เป็นการแสดงจุดเริ่มต้นการเคลื่อนที่ของผู้อพยพ ซึ่งเรียกว่า แรงรอบข้าง (Social Force)

$$m_i \frac{d^2 X_i(t)}{dt^2} = f_i(t) + \xi_i(t) \quad (21)$$

โดยที่	$X_i(t)$	แทน	ตำแหน่งของผู้อพยพ i ที่เวลา t
	$f_i(t)$	แทน	แรงรอบข้างที่กระทำกับตัวผู้อพยพ
	m_i	แทน	มวลน้ำหนัก
	$\xi_i(t)$	แทน	ความผันผวนของแรง
	$\frac{dX_i}{dt}$	แทน	ความเร็วของผู้อพยพ



ภาพที่ 4 ภาพแนวคิดของแรงกระทำรอบข้าง

ที่มา: VTT Technical Research Centre of Finland (2008)

สมการของแรงที่มากระทำกับผู้อพยพ เป็นผลรวมของแรงรวม ประกอบด้วย แรงกระทำระหว่างผู้อพยพกับผู้อพยพ ผู้อพยพกับกำแพง ผู้อพยพกับสิ่งแวดล้อม เป็นตัวกระตุ้นให้เกิดการอพยพ และแรงการเคลื่อนที่ของผู้อพยพ

$$f_i = \frac{m_i}{\tau_i} (V_i^o - V_i) + \sum_{j \neq i} (f_{ij}^{soc} + f_{ij}^{att} + f_{ij}^c) + \sum_w (f_{iw}^{soc} + f_{iw}^c) + \sum_k f_{ik}^{att} \quad (22)$$

โดยที่

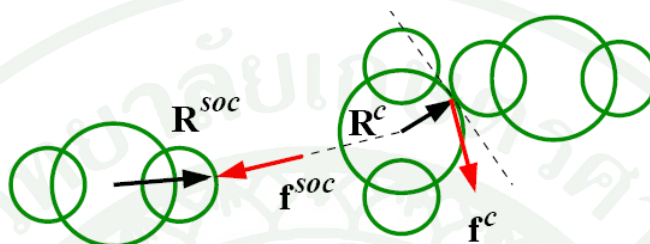
$\sum_{j \neq i} (f_{ij}^{soc} + f_{ij}^{att} + f_{ij}^c)$	แทน ผลรวมของแรงกระทำระหว่างผู้อพยพกับผู้อพยพ
$\sum_w (f_{iw}^{soc} + f_{iw}^c)$	แทน ผลรวมของแรงกระทำระหว่างผู้อพยพกับ กำแพง
$\sum_k f_{ik}^{att}$	แทน ผลรวมของแรงกระทำระหว่างผู้อพยพกับ สิ่งแวดล้อม
$\frac{m_i}{\tau_i} (V_i^o - V_i)$	แทน แรงเคลื่อนที่ของผู้อพยพ
τ_i	แทน ตัวแปรของเวลาที่ใช้หยุดพัก

สมการแรงกระทำรอบข้าง (Social force) ยังคงเป็นระเบียบวิธีของ Helbing *et al.* (2000) ที่นำมาใช้

$$f_{ij}^{soc} = A_i e^{-(r_{ij} - d_{ij})/B_i} (\lambda_i + (1 - \lambda_i) \frac{1 + \cos \phi_{ij}}{2}) n_{ij} \quad (23)$$

โดยที่	r_{ij}	แทน ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางวงกลมของผู้อพยพ
	d_{ij}	แทน ผลรวมของรัศมีของวงกลม

- n_{ij} แทน เวกเตอร์ จากจุดของผู้อพยพ j ถึง i
 φ_{ij} แทน องศาหว่านทิศทางการเคลื่อนที่ของผู้อพยพ i ถึง j
 A_i, B_i แทน ตัวแปรของความแข็งแรงและแรงการขยายระยะห่าง
 λ_i แทน ตัวแปรที่ควบคุมแรงกระทำรอบข้าง



ภาพที่ 5 ภาพการกำหนดรัศมีของเวกเตอร์ R^c และ R^{soc}

ที่มา: VTT Technical Research Centre of Finland (2008)

สมการของแรงสัมผัสที่กระทำระหว่างผู้อพยพด้วยกัน

$$f_{ij}^c = (k(d_{ij} - r_{ij}) + c_d \Delta v_{ij}^n) n_{ij} + K(d_{ij} - r_{ij}) \Delta v_{ij}^t t_{ij} \quad (24)$$

โดย Δv_{ij}^t แทน ความแตกต่างของความเร็วที่ขนานเส้นสัมผัสของจุดสัมผัสวงกลม

Δv_{ij}^n แทน ความแตกต่างของความเร็วปกติ

t_{ij} แทน เวกเตอร์ที่ขนานเส้นสัมผัสของวงกลมที่สัมผัสกัน

k แทน ค่าคงที่ของแรงการยืดในแนวรัศมี

K แทน ค่าคงที่ของแรงต้านความผิด

c_d แทน ตัวแปรการหน่วง

สมการการเคลื่อนที่การหมุนของผู้อพยพแต่ละคน นอกเหนือจากที่ผู้อพยพจะมีองศาของการเคลื่อนที่อย่างแล้ว ก็ยังมีความอิสระในเรื่ององศาการหมุนด้วย

$$I_i^z \frac{d^2 \varphi_i(t)}{dt^2} = M_i^z(t) + \eta_i^z(t) \quad (25)$$

โดย $\varphi_i(t)$ แทน มุมของผู้อพยพ i ที่เวลา t
 I_i^z แทน กำลังของแรงเฉื่อย
 $\eta_i^z(t)$ แทน แรงบิดขนาดเล็กที่แกว่งไปมา
 $M_i^z(t)$ แทน ผลรวมของแรงบิดที่กระทำกับผู้อพยพจากสิ่งแวดล้อม

สมการผลรวมของแรงบิดที่กระทำกับผู้อพยพจากสิ่งแวดล้อม

$$M_i^z = M_i^c + M_i^{soc} + M_i^r \quad (26)$$

โดย M_i^c แทน แรงบิดที่สัมผัสกับผู้อพยพ
 M_i^{soc} แทน แรงบิดที่กระทำจากแรงรอบข้าง
 M_i^r แทน แรงบิดของการเคลื่อนที่

สมการแรงบิดที่สัมผัสกับผู้อพยพ

$$M_i^c = \sum_{j \neq i} (R_i^c \times f_{ij}^c) \quad (27)$$

โดย R_i^c แทน รัศมีเวกเตอร์จากจุดศูนย์กลางผู้อพยพ i ถึงจุดสัมผัส
 สมการแรงบิดที่กระทำจากแรงรอบข้าง

$$M_i^{soc} = \sum_{j \neq i} (R_i^{soc} \times f_{ij}^{soc}) \quad (28)$$

โดย R_i^{soc} แทน เวกเตอร์จากจุดศูนย์กลางผู้อพยพ i ถึงจุดสัมผัสที่สร้างขึ้นจากแรงรอบข้าง

สมการแรงบิดของการเคลื่อนที่

$$M_i^r = \frac{I_i^z}{\tau_i^z} ((\varphi_i(t) - \varphi_i^0) \omega_i^0 - \omega(t)) = \frac{I_i^z}{\tau_i^z} (\tilde{\omega}_i^0 - \omega(t)) \quad (29)$$

โดย ω_i^0 แทน ความเร็วเชิงมุมมากที่สุดที่กำหนดไว้ของผู้พยพในการเลี้ยว
 ω_t แทน อัตราเร็วเชิงมุมเวลา ณ เวลานั้น
 φ_i^0 แทน มุมที่กำหนดให้
 v_i^0 แทน จุดของเวกเตอร์
 $\tilde{\omega}_i^0$ แทน ความเร็วเชิงมุมที่กำหนด

3.2 ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นระหว่างผู้พยพกับไฟ

Frantzich and Nilsson (2003) ได้ทำการทดลองผลกระทบของความหนาแน่นควันที่มีผลต่อความความเร็วในการเดินของผู้พยพโดยพวกเขาได้ใช้ความหนาแน่นควันมากกว่าของ Jin และมีการสร้างเป็นสมการขึ้นจากการทดลอง

$$v_i^o(K_s) = \text{Max} \left\{ v_{i,\min}^o, \frac{v_i^o}{\alpha} (\alpha + \beta K_s) \right\} \quad (30)$$

โดย K_s แทน สัมประสิทธิ์การทำให้หมดไป
 α แทน สัมประสิทธิ์คงที่ (0.706 m/s)
 β แทน สัมประสิทธิ์คงที่ (-0.057 m²/s)
 $v_{i,\min}^o$ แทน ความเร็วขั้นต่ำของผู้พยพ (0.1 m/s)

ผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการเผาไหม้ คือ ปริมาณสารพิษที่เป็นอันตรายต่อผู้พยพสามารถทำให้เสียชีวิตได้ โดยเลือกนำมาเฉพาะก๊าซที่ทำให้ผู้พยพอาจหมดสติได้ สามารถนำมาเขียนเป็นอัตราส่วนความหนาแน่นของ Purser ได้ หรือ เรียกว่า ดัชนีบ่งชี้ของอัตราส่วนที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพ

$$\text{FED}_{\text{tot}} = \text{FED}_{\text{CO}} \times \text{HV}_{\text{CO}_2} + \text{FED}_{\text{O}_2} \quad (31)$$

อัตราส่วนของ CO ที่ก่อให้เกิดอันตรายหรือทำให้ความสามารถลดลง

$$\text{FED}_{\text{CO}} = 4.607 \times 10^{-7} (C_{\text{CO}})^{1.036} \cdot t \quad (32)$$

อัตราส่วนของ O₂ ที่ก่อให้เกิดอันตรายหรือภาวะที่เลือดขาดออกซิเจน

$$FED_{O_2} = \frac{t}{60 \exp[8.13 - 0.54(20.9 - C_{O_2})]} \quad (33)$$

โดย C_{O_2} แทน เปอร์เซ็นต์ความหนาแน่นโดยปริมาตรของออกซิเจน

ปัจจัยของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ก่อให้เกิดภาวะหายใจติดขัดไม่สะดวก

$$HV_{CO_2} = \frac{\exp(0.1930C_{CO_2} + 2.004)}{7.1} \quad (34)$$

โดย C_{CO_2} แทน เปอร์เซ็นต์ความหนาแน่นโดยปริมาตรของคาร์บอนไดออกไซด์

3.3 การเลือกทางออก

การประมาณเวลาในการอพยพประกอบด้วยเวลาโดยประมาณของการเดินและเวลาโดยประมาณของการรอคิว เวลาการเดินถูกประมาณด้วยระยะทางหารด้วยความเร็วในการเดิน และเวลาประมาณของการรอคิวเป็นผลมาจากการการกระทำและตำแหน่งของผู้อพยพคนอื่นๆ นอกจากตำแหน่งของทางออก การปฏิบัติของผู้อพยพคนอื่นๆ ยังมีปัจจัยอื่นที่มีอิทธิพลต่อกระบวนการตัดสินใจของผู้อพยพ มีเงื่อนไขที่สัมพันธ์กับไฟ ความคุ้นเคยของทางออก การมองเห็นเส้นทางอพยพ ความคุ้นเคยของทางออกเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความจำเป็นในการตัดสินใจเลือกทางออก เพราะถ้าการไม่รู้ทางออกจะส่งผลให้การพิจารณาในการตัดสินใจช้าเพิ่มขึ้น

กระบวนการเลือกทางออกประกอบด้วย 2 ช่วง คือ ช่วงแรกทางออกจะถูกแบ่งออกโดยเน้นไปตามกลุ่มคนส่วนใหญ่ตามตารางด้านล่าง และช่วงที่สอง ทางออกจะถูกเลือกจากกลุ่มคนส่วนใหญ่จากเวลาในการอพยพที่น้อยที่สุด สำหรับในโปรแกรมการใส่ค่าชุดคำสั่งในการเลือกทางออกของผู้อพยพ ผู้ใช้งานสามารถระบุได้ว่าจะให้เป็นการสุ่มเลือกทางออกหรือให้ผู้อพยพเลือกใช้ทางออกนั้นๆ ได้เลย

ตารางที่ 12 ความชอบของกลุ่มคนส่วนใหญ่ที่ใช้เป็นกระบวนการตัดสินใจในการเลือกทางออก

Preference	Visible	Familiar	Disturbing condition	Color
1	Yes	Yes	No	Black
2	No	Yes	No	Yellow
3	Yes	No	No	Blue
4	Yes	Yes	Yes	Red
5	No	Yes	Yes	Green
6	Yes	No	Yes	Magenta
No preference	No	No	No	Cyan
No preference	No	No	Yes	Cyan

ที่มา: VTT Technical Research Centre of Finland (2008)

3.4 กลุ่มผู้อพยพ

Helbing ได้ทำการพัฒนาพฤติกรรมของกลุ่มผู้อพยพในแบบจำลองจากสมการ โดยได้ทำการแบ่งแบบจำลองการกระทำของกลุ่มออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ

- 3.4.1. ขั้นตอนการรวมกลุ่ม ผู้อพยพจะทำการเดินมาข้างหน้าเพื่อมาทำการจับกลุ่มกัน
- 3.4.2. ขั้นตอนการอพยพ กลุ่มผู้อพยพจะเคลื่อนที่ไปด้วยกันทั้งหมดตามเส้นทางออกที่ได้ถูกเลือกไว้

กลุ่มผู้อพยพจะมีแรงดึงดูดระหว่างกัน เรียกว่า แรงกระทำของกลุ่ม โดยจะพยายามรักษาการรวมกลุ่มกันไว้ในขณะทำการเคลื่อนที่ไปหาทางออก ค่าแรงกระทำของกลุ่มก็จะมีค่าแตกต่างกันไปในแต่ละกลุ่มผู้อพยพ แบบจำลองของกลุ่มยังไม่สามารถใช้ได้โปรแกรม FDS แต่จะมีการเพิ่มเติมเข้าไปในภายหลังสำหรับโปรแกรมตัวล่าสุด

3.5 วิธีการระบบวิธีเชิงตัวเลข

สมการการเคลื่อนที่และการหมุนถูกแก้ไขโดยการปรับปรุงความเร็วของกระบวนการของเวอร์เล็ท จังหวะเวลาที่ใช้ในกระบวนการถูกปรับเปลี่ยนระหว่างการจำลองสถานการณ์โดยมีแรงมากที่สุดจากภายนอกกระทำที่ตัวผู้อพยพ เวลาการอพยพโดยประมาณที่ใช้ในกระบวนการเลือกประตูทางออกมีอยู่ในตัวโปรแกรม FDS+Evac ตัวปัจจุบัน ระยะทางควรคำนวณตามระยะทางที่เริ่มเคลื่อนที่ไปจนถึงประตูทางออก ซึ่งจะมีทั้งทางที่มองเห็นและมองไม่เห็น เวลาในการอพยพควรบวกด้วยเวลาการรอคิวที่ประตูทางออกด้วย และผู้อพยพเองสามารถปรับเปลี่ยนเป้าหมายในการเลือกเส้นทางอพยพได้ทุกวินาที การคำนวณความหนาแน่นควันด้วยโปรแกรม FDS สามารถนำมาใช้เป็นตัวตรวจจับควันได้ ผู้ใช้สามารถระบุเวลาในการตรวจจับควันและเวลาในการแจ้งเตือนผู้อพยพให้ทำการอพยพหนีไฟ โดยสามารถตั้งค่าความหนาแน่นควัน มีหน่วยเป็น mg/m^3 แต่ในส่วนการแจ้งเตือนจากพฤติกรรมของผู้อพยพเองยังไม่สามารถใช้ได้สำหรับเวอร์ชันนี้

4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Peter and Eric (1995) ทำการศึกษาการอพยพคนในพื้นที่ขนาดใหญ่โดยใช้โปรแกรม Simulex ซึ่งเป็นโปรแกรมแรกที่ใช้ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในการเดินและระยะห่างระหว่างบุคคล โดยบุคคลที่เกิดขวางจะถูกนำไปพิจารณาเพื่อใช้ในการเลือกเส้นทางหนีไฟ ตัวแทนของคนในแบบจำลองถูกแทนด้วยวงกลม 3 วงซ้อนกัน จากแบบจำลองพบว่าตัวแทนจะอพยพออกทางออกที่ใกล้สุด โดยป้ายสัญลักษณ์ทางหนีไฟและความคุ้นเคยกับเส้นทางหนีไฟในอาคารไม่มีผลต่อการเลือกเส้นทางหนีไฟ ซึ่งปัจจัยดังกล่าวจะถูกนำไปพัฒนาสำหรับโปรแกรมรุ่นต่อไป

Madrzykowski *et al.* (1999) ได้ทำวิจัยเรื่องการศึกษาระเบียบวิธีตัวเลขโดยยกตัวอย่างไฟไหม้อาคารบ้านแฝดสองชั้นที่ไอโอวา (Iowa) เมื่อวันที่ 22 ธันวาคม 1999 โดยนำข้อมูลที่ได้มาเปรียบเทียบกับเหตุการณ์ซึ่งเกิดขึ้นจริงเพื่อสืบสวนหาสาเหตุที่แท้จริง และพัฒนาวัสดุในการก่อสร้าง มีการตั้งสมมติฐานว่าไฟเริ่มลุกไหม้จาก เตาไฟภายในครัวแล้วแผ่กระจายไปยังบันไดชั้นสองใช้เวลาประมาณ 9 นาทีนับตั้งแต่เกิดประกายไฟ Input ที่กำหนดในโปรแกรม FDS ประกอบไปด้วย เรายกชนิดของโครงสร้าง ขนาดของเซลล์ ที่อยู่ของต้นกำเนิดเพลิง พลังงานที่ปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิดเพลิง คุณสมบัติในเรื่องอุณหภูมิของวัสดุ โครงสร้าง ตำแหน่งที่วางของเฟอร์นิเจอร์ รวมไปถึงตำแหน่งและเวลาการเปิดช่องเปิดต่าง ๆ ซึ่งมีผลต่อการเติบโตของไฟ (Fire Growth) และการแพร่กระจายของเพลิง ซึ่งข้อมูลที่ใส่เข้าไปได้มาจาก 3 แหล่งคือ การสืบสวนของ Bureau of Alcohol Tobacco and Firearms (ATF), การสืบสวนของ National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) และคุณสมบัติของวัสดุจากฐานข้อมูลของ FDS

Gwynne *et al.* (2000) ทำการศึกษาพฤติกรรมการอพยพในขณะที่เกิดเหตุเพลิงไหม้โดยใช้โปรแกรม Exodus รุ่น 3.0 ซึ่งโปรแกรมประกอบด้วยส่วนสำคัญ 5 ส่วน ที่ใช้ประกอบการจำลองการอพยพ คือ ผู้ใช้อาคาร ลักษณะอาคาร การเคลื่อนที่ ก๊าซพิษและพฤติกรรม งานวิจัยนี้เพื่อศึกษาการเลือกทางออกที่ดีที่สุดบนพื้นฐานการพิจารณาลักษณะรูปร่างอาคาร ความหนาแน่นของควันและเพศ โดยผลกระทบเนื่องมาจากควัน ความร้อนและก๊าซพิษ ความหนาแน่นของควันจะมีผลกระทบต่อความเร็วในการอพยพซึ่งข้อมูลดังกล่าวได้จากการทดลองของจิน (Jim) และค่าสถานะที่สามารถทนได้มาจากการคำนวณสัดส่วนของก๊าซในอากาศ

Madrzykowski and Vettori (2000) ศึกษากรณีการเกิดเพลิงไหม้ที่ 3146 Cherry Road NE, Washington D.C. เมื่อวันที่ 30 พฤษภาคม 1999 Input ที่กำหนดในโปรแกรม FDS ประกอบไปด้วย เรขาคณิตของโครงสร้าง ขนาดของเซลล์ ที่อยู่ของต้นกำเนิดเพลิง พลังงานที่ปล่อยออกมาจาก แหล่งกำเนิดเพลิง

Gwynne *et al.* (2001) ได้ทำการทดลองโดยการใช้โปรแกรมแบบจำลองการอพยพใน อาคาร EXODUS รุ่น 3.0 ซึ่งมีความสามารถทำการจำลองการอพยพกลุ่มคนขนาดใหญ่ในพื้นที่ปิด ล้อม โดยทำการทดลอง 2 กรณี คือ กรณีที่ 1 พฤติกรรมการอพยพที่ทำให้เกิดการเดินไม่ตรง และ กรณีที่ 2 พฤติกรรมการตัดสินใจเปลี่ยนทิศทางการอพยพ

Gupta and Yadav (2004) ได้ทำการศึกษาการอพยพภายในอาคารโดยการใช้โปรแกรม แบบจำลอง Safe and Accessible Fire Escape-Route (SAFE-R) ทำการเปรียบเทียบกับ โปรแกรม EVACNET โดยใช้ทฤษฎีของโครงข่ายและกราฟ เพื่อใช้ในการระบุความสามารถในการหา เส้นทางเคลื่อนที่ของผู้อพยพ เวลาของการอพยพในแต่ละเส้นทางจะหาจากระยะทางการอพยพ เทียบกับความเร็วในการเดิน โดยมั่นใจว่าใช้เวลาในการอพยพน้อยสุด เส้นทางอพยพจะถูกกำหนด ตามลำดับของการเชื่อมต่อของพื้นที่ เริ่มต้นจากจุดกลมและสิ้นสุดที่จุดกลมซึ่งเป็นพื้นที่ปลอดภัย การอพยพจะถูกกำหนดไม่ให้ย้อนกลับทางเดิมและผ่านตำแหน่งเดิม ตัวโปรแกรมจะทำการสร้าง เส้นทางอพยพและจัดการด้วยระเบียบวิธีการเลือกเส้นทางที่สิ้นสุดเป็นเส้นทางแรกและเส้นทาง ที่ยาวสุดเป็นลำดับสุดท้าย มีการคำนวณจำนวนผู้อพยพที่เคลื่อนที่ผ่านในแต่ละเส้นทางภายใต้ เงื่อนไขว่า จำนวนผู้อพยพในช่วงเวลาเฉพาะนั้นห้ามมากกว่าจำนวนคนที่เคลื่อนที่ผ่านต่อช่วงเวลา หนึ่งที่อพยพในเส้นทางออกสุดท้าย กระบวนการจะดำเนินการจนกระทั่งผู้อพยพคนสุดท้ายออก จากภายในอาคาร

Timo and Simo (2007) ทำการทดสอบชุดคำสั่งการเคลื่อนที่ของโปรแกรม FDS+Evac โดยใช้แบบจำลองที่มีรูปร่างไม่ซับซ้อน ซึ่งตัวแทนถูกกำหนดค่าความเร็วที่ใช้ในการเดิน กำหนด ตำแหน่งทางออกและการหลบสิ่งกีดขวาง โดยประมวลผลเฉพาะส่วนของการอพยพเพียงอย่างเดียว ไม่ได้ประมวลผลพร้อมกับการเผาไหม้ การทดสอบผลกระทบเนื่องมาจากควันจะถูกวิเคราะห์ แยกต่างหาก

Hostikka *et al.* (2007) ได้ทำการทดลองการอพยพของห้องสมุดกลางที่มหาวิทยาลัยเฮลซิงกิ เพื่อสำหรับใช้เป็นโปรแกรมฝึกทักษะเจ้าหน้าที่ห้องสมุดในการอพยพ โดยมีการแจ้งเจ้าหน้าที่และมีการแปะข้อความแจ้งการอพยพที่ประตูเข้าออก สำหรับแจ้งผู้ให้บริการทราบแต่ไม่ได้ระบุเวลา มีการติดตั้งกล้องบันทึกที่ประตู 1 และ 4 ส่วนทางออกอื่นๆ มีคนทำการจดบันทึกภายในห้องสมุด มีคนทำการจดบันทึกและสังเกตพฤติกรรมของผู้อพยพ มีการติดตั้งแผ่นโลหะที่ตัวเจ้าหน้าที่ 33 คน ซึ่งเป็นอุปกรณ์เซ็นเซอร์เมื่อมีการผ่านเข้าออกประตู ส่วนประตูที่ 2 และ 6 กำหนดให้ไม่สามารถใช้งานได้

Shaoboo *et al.* (2009) ได้ทำการสร้างแบบจำลองการอพยพภายในห้องเรียนด้วยการพิจารณาความหนาแน่นของผู้อพยพรอบๆ พื้นที่ทางออก โดยการใช้โปรแกรม Cellular Automation Model (CA) นำมาทำการเปรียบเทียบกับผลการทดลองอพยพจริง

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เครื่องคอมพิวเตอร์แบบพกพา Intel® Core™ i5 CPU M 480 @ 2.67GHz ความจุ Hard Disk ขนาด 500 GB หน่วยความจำ (RAM) 4 GB ความเร็ว Hard Disk 2.66 GHz
2. โปรแกรม Fire Dynamics Simulator with Evacuation FDS+Evac, Version 5.0 ของสถาบัน VTT Technical Research Center of Finland
3. โปรแกรม Pyrosim Version 20010.1 ของบริษัท Thunderhead Engineer Consultant Incorporation

วิธีการ

1. สร้างแบบจำลอง 3 มิติของอาคารหอพักนิตดด้วยโปรแกรม Pyrosim
2. จำลองเหตุการณ์เพลิงไหม้และการอพยพหนีไฟด้วยโปรแกรม FDS+Evac
3. ปรับปรุงอาคารเพื่อให้เกิดความปลอดภัยยิ่งขึ้น

ขั้นตอนการทำวิจัย

1. สร้างแบบจำลองอาคารหอพักนิสิตมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา

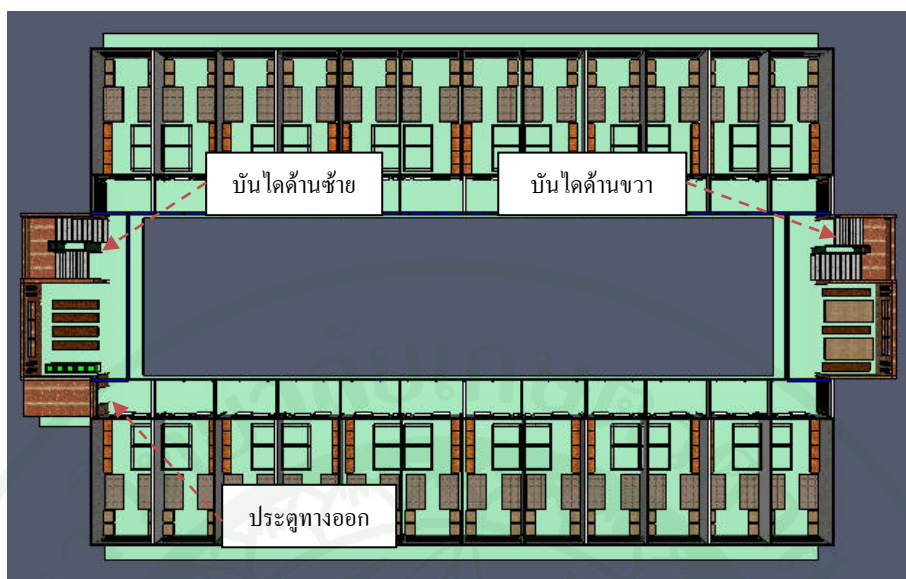
1.1 ลักษณะรูปร่างของอาคาร

ลักษณะอาคารหอพักนิสิตเป็นอาคารสูง 5 ชั้น มีทางเข้าออกทางด้านหน้าอาคารสู่ทางสาธารณะ 1 ทางที่ชั้นล่างสุด ซึ่งมีขนาดความกว้างของประตู 1 เมตร มีบันไดขึ้นลงใช้งานปกติ 2 บันได อยู่ทางด้านฝั่งขวาและฝั่งซ้ายของอาคาร ขนาดความกว้างของบันไดแต่ละด้านเท่ากันที่ 1.5 เมตร โดยอาคารหอพักนิสิตไม่มีบันไดหนีไฟ อาคารมีขนาดกว้าง 28.4 เมตร ยาว 50 เมตร สูง 16.21 เมตร อาคารแบ่งออกเป็น 5 ชั้น พื้นที่ภายในเป็นพื้นที่เปิดโล่งกลางอาคาร มีช่องทางเดิน ขนาด 2 เมตร ข้างบันไดทั้งสองด้านเป็นห้องอเนกประสงค์ ภายในห้องพักจะเป็นพื้นที่ขนาด 3.5×7.3 ตารางเมตร ภายในอาคารมีหัวจ่ายน้ำดับเพลิงอยู่ในส่วนของพื้นที่อเนกประสงค์ข้างบันไดของทุกชั้นทั้งสองด้านของอาคาร พื้นที่โดยรอบอาคารส่วนใหญ่ไม่มีช่องทางเดินรถ มีเพียงพื้นที่ด้านประตูทางออกที่ติดถนนที่มีขนาดไม่เกิน 6 เมตร ชั้นบนของอาคารมีดาดฟ้าไว้สำหรับซ่อมแซมหลังคา

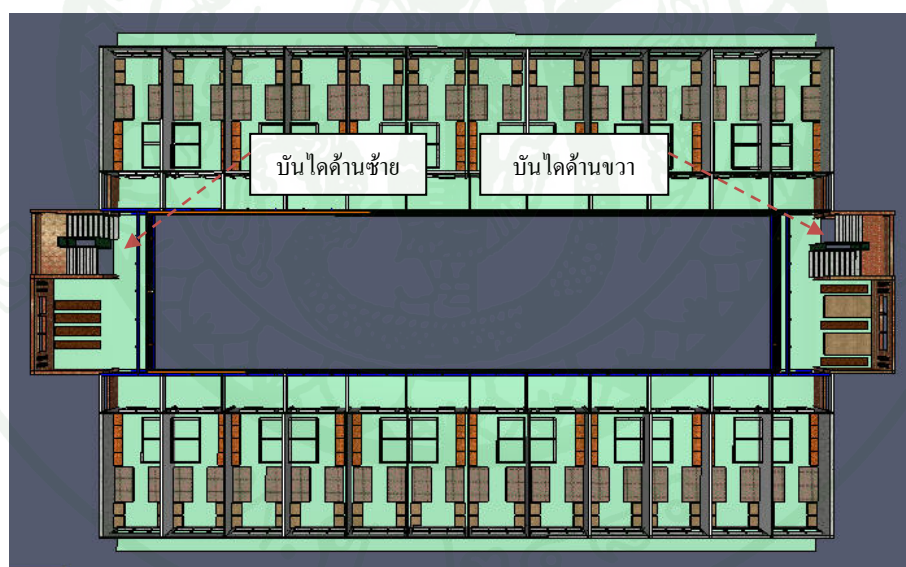


ภาพที่ 6 ภาพอาคารหอพักนิสิตมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา

ที่มา: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา (2553)



ภาพที่ 7 ภาพแผนผังภายในอาคารหอพักนิสิตชั้นที่ 1



ภาพที่ 8 ภาพแผนผังภายในอาคารหอพักนิสิตชั้นที่ 2-5

1.2 พื้นที่ภายในที่ใช้ในการอพยพ

ภายในอาคารมีบันไดที่ใช้งานปกติ 2 บันได อยู่ทางด้านฝั่งขวาและฝั่งซ้ายของอาคาร มีความกว้าง 1.5 เมตร เท่ากันทั้งสองฝั่ง ไม่มีบันไดหนีไฟ ทางด้านฝั่งซ้ายของอาคารมีประตูทางออกสู่ภายนอกอาคารความกว้าง 1 เมตร ช่องทางเดินของอาคารกว้าง 2 เมตร



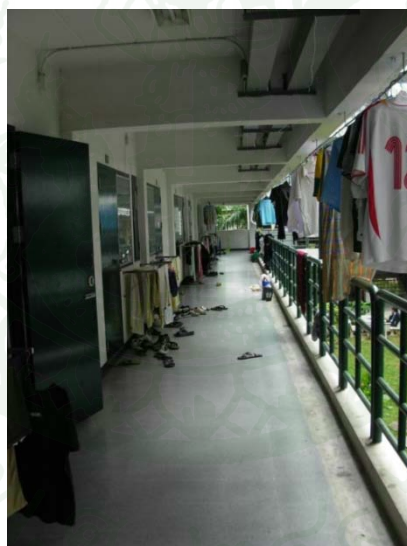
ภาพที่ 9 ภาพบันไดทางขึ้นและลงของชั้นที่ 1 ทางฝั่งซ้าย



ภาพที่ 10 ภาพลักษณะพื้นที่เปิดโล่งกลางอาคาร



ภาพที่ 11 ภาพช่องทางเดินภายในอาคารหอพักชั้นที่ 1



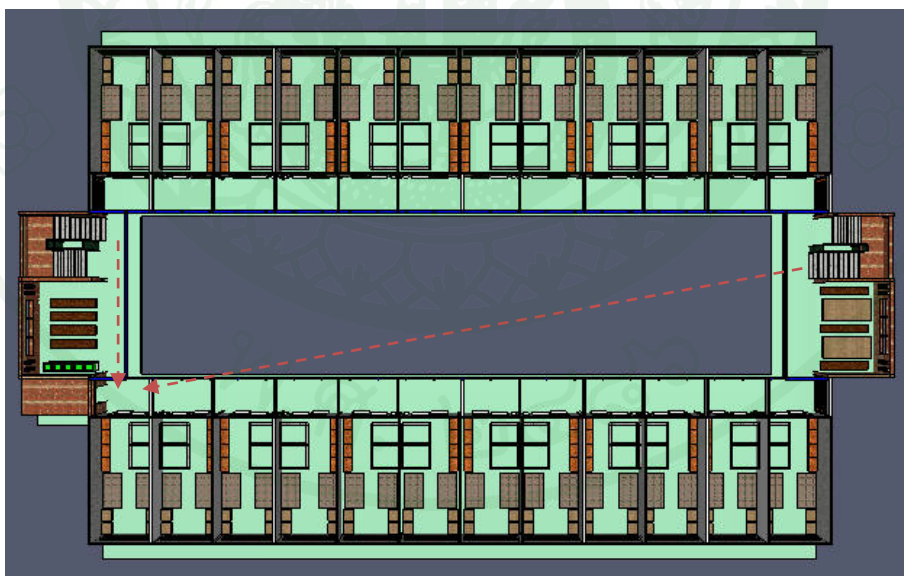
ภาพที่ 12 ภาพช่องทางเดินภายในอาคารหอพักนิสิต

1.3 เส้นทางอพยพหนีไฟภายในอาคาร

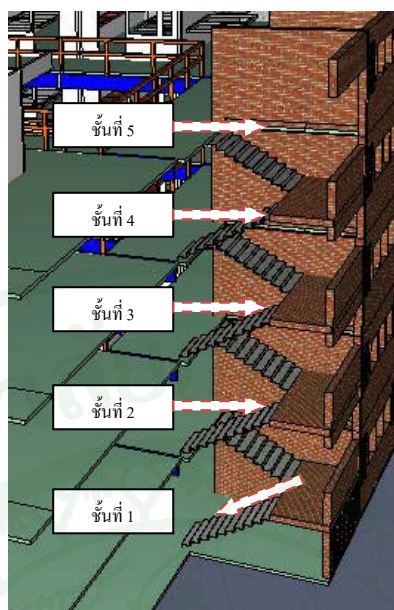
จากภาพด้านล่างแสดงเส้นทางอพยพภายในของหอพักนิสิตในแต่ละชั้นเพื่อไปยังบันไดทั้ง 2 ด้านของอาคาร และอพยพลงมาสู่ทางออกชั้นล่างสุดของอาคาร ทางด้านหน้าอาคารหอพักนิสิต ตามภาพที่ 13-16



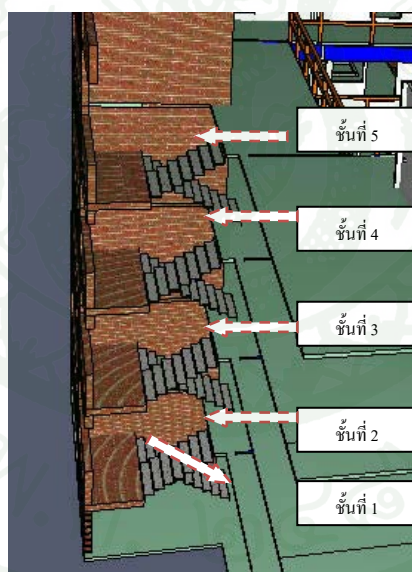
ภาพที่ 13 ภาพทิศทางการอพยพในแต่ละชั้นภายในของอาคารหอพักนิสิต สู่ประตูทางออก



ภาพที่ 14 ภาพเส้นทางอพยพออกที่ชั้น 1 ทางด้านหน้าอาคารและทางบันไดด้านซ้ายและขวา



ภาพที่ 15 ภาพการอพยพภายในบันไดด้านซ้ายของอาคาร



ภาพที่ 16 ภาพการอพยพภายในบันไดด้านขวาของอาคาร

2. กำหนดขอบเขตของปัญหางานวิจัย และจำลองเป็นสถานการณ์

อาคารหอพักนิสิต เป็นอาคาร 5 ชั้น มีบันไดทางลง 2 ทาง ลักษณะอาคารเปิดโล่ง

ตรงกลางอาคารไม่มีบันไดหนีไฟบันไดอยู่ในลักษณะเปิดไม่มีผนังปิดจำนวนห้องของอาคารแต่ละชั้นมี 24 ห้อง ห้องรวมมี 120 ห้องมีนิสิตอยู่ห้องละ 4 คน มีนิสิตใช้อาคารทั้งหมด 480 คน การอพยพออกจากอาคารจะอาศัยบันได 2 ด้าน ประตูทางออกสู่ภายนอกอาคารมีเพียงประตูเดียวเป็นประตูทางออกอยู่ทางด้านซ้ายของอาคารมีขนาดความกว้าง 1 เมตร กำหนดตำแหน่งห้องต้นเพลิงให้อยู่ในตำแหน่งชั้นที่ 1 ห้องอยู่ชิดกับบันไดหนีไฟ เพื่อประเมินความเสี่ยงการอพยพของนิสิต ในห้องบันไดหนีไฟ เพราะลักษณะเป็นบันไดเปิด คว้นไฟสามารถลอยเข้าสู่บันไดหนีไฟได้

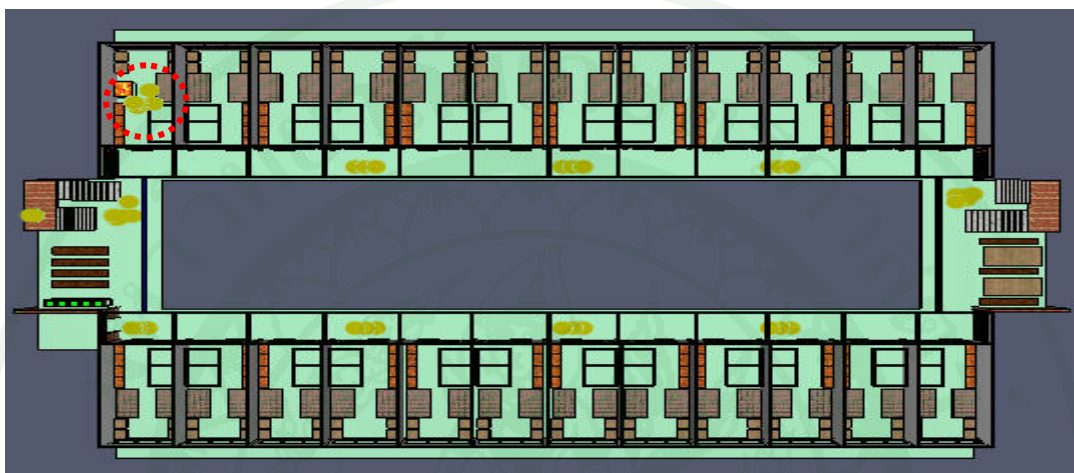
การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดค่าการมองเห็น ปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์ ปริมาณออกซิเจน และอุณหภูมิทั้ง 5 ชั้นของอาคาร เพื่อทำการเก็บค่าต่างๆในระหว่างทำการอพยพ จากการจำลองตำแหน่งห้องต้นเพลิง ทำให้ได้ติดตั้งตำแหน่งอุปกรณ์ตรวจวัด อุณหภูมิไว้ทุกชั้นในห้องบันได หน้าห้องบันไดทั้งสองข้าง ห้องต้นเพลิงและหน้าประตูทางออกสู่ภายนอกอาคาร โดยกำหนดให้ตำแหน่งอุณหภูมิตัวแรกอยู่สูงจากพื้น 0.5 เมตร ตัวที่สอง 1 เมตร ตัวที่สาม 1.5 เมตรตัวที่สี่ 2 เมตรตัวที่ห้า 2.5 เมตร อุปกรณ์เรียงตัวในแนวตั้ง และได้จำลองติดตั้งตำแหน่งอุปกรณ์ตรวจวัดออกซิเจนและคาร์บอนมอนนอกไซด์ ไว้ในจุดต่างๆ ในห้องต้นเพลิงห้องบันไดหน้าห้องบันไดทั้งสองข้าง และประตูทางออก ที่ระดับความสูง 1.5 เมตร ซึ่งเป็นตำแหน่งจมูกของผู้อพยพ ขนาดกองเพลิงที่ใช้ในแบบจำลอง เลือกใช้เชื้อเพลิงเป็นโพลียูรีเทน เนื่องจาก เป็นวัสดุที่มีใช้ภายในอาคาร โดยอัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อน ซึ่งอ้างอิงจากตารางที่ 13 คือ พลังงานความร้อน 7,000 kW พื้นที่หน้าตัดกองเพลิง 1 m² กำหนดให้มีการปลดปล่อยพลังงานความร้อนต่อพื้นที่เท่ากับ 7,000 kW/m² เพื่อให้ค่าอัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนเป็นไปตามค่าในตารางที่ 13 จึงเลือกใช้พื้นที่หน้าตัดกองเพลิงเป็นเลขลงตัวที่มาจาก Walter and Wan. (2005)

ตารางที่ 13 การเลือกขนาดกองเพลิงที่ใช้ในการจำลองสถานการณ์เพลิงไหม้ในเอเชีย

ประเภทอาคาร	อัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อน (kW)
สนามบินและสถานีรถไฟ	มากกว่า 7,000
ห้างสรรพสินค้าและอาคารสาธารณะ	5,000
ห้องโถงภายในอาคารหรือส่วนเปิดโล่งภายใน	มากกว่า 7,000
ส่วนกันแยกของสถานีรถไฟ	1,000

ที่มา: Walter and Wan. (2005)

การเลือกตำแหน่งห้องดันเพลิงต้องประเมินความเสี่ยงจากเหตุเพลิงไหม้ที่ร้ายแรงที่สุด โดยเฉพาะตำแหน่งที่มีผลต่อการอพยพและมีผลต่อชีวิตของผู้อพยพ อาคารหอพักกนิสิตเป็นอาคารที่ไม่มีบันไดหนีไฟ ทำให้มีความเสี่ยงต่อควันไฟที่จะไหลเข้าสู่ช่องบันได จึงได้กำหนดตำแหน่งห้องดันเพลิงไว้ในตำแหน่งใกล้ช่องบันไดของชั้นที่ 1 ตามภาพที่ 17



ภาพที่ 17 ภาพอาคารชั้นที่ 1 ที่เป็นจุดดันเพลิง

ปัจจัยที่ใช้ในการพิจารณาภาวะแวดล้อมเพลิงไหม้ที่ผู้อพยพสามารถทนได้ในช่วงเวลาสั้นๆของการอพยพ ตามมาตรฐาน NFPA 130 Standard for Fixed Guide way Transit and Passenger Rail Systems คือ อุณหภูมิของอากาศ ปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์ ความสูงของกลุ่มควัน อัตราการแผ่รังสีความร้อน ความดังของเสียง และความเร็วของอากาศ ตามตารางที่ 14

ตารางที่ 14 อุณหภูมิของอากาศที่ผู้อพยพสามารถทนได้

อุณหภูมิอากาศ	ระยะเวลาที่สามารถทนได้
60 °C (140 °F)	2-3 นาที
49 °C (120 °F)	น้อยกว่า 6 นาที

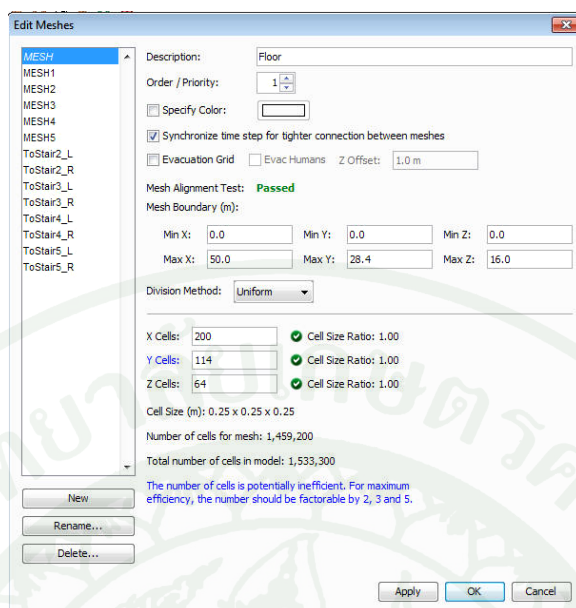
ที่มา: National Fire Protection Association. (2000)

ตารางที่ 15 ปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์ที่ผู้อพยพสามารถทนได้

คาร์บอนมอนนอกไซด์	ระยะเวลาที่สามารถทนได้
$\geq 2,000$ PPM	2-3 นาที
1,500 PPM	น้อยกว่า 6 นาที
800 PPM	น้อยกว่า 15 นาที
50 PPM	ส่วนที่เหลือจากการไหม้

ที่มา: National Fire Protection Association. (2000)

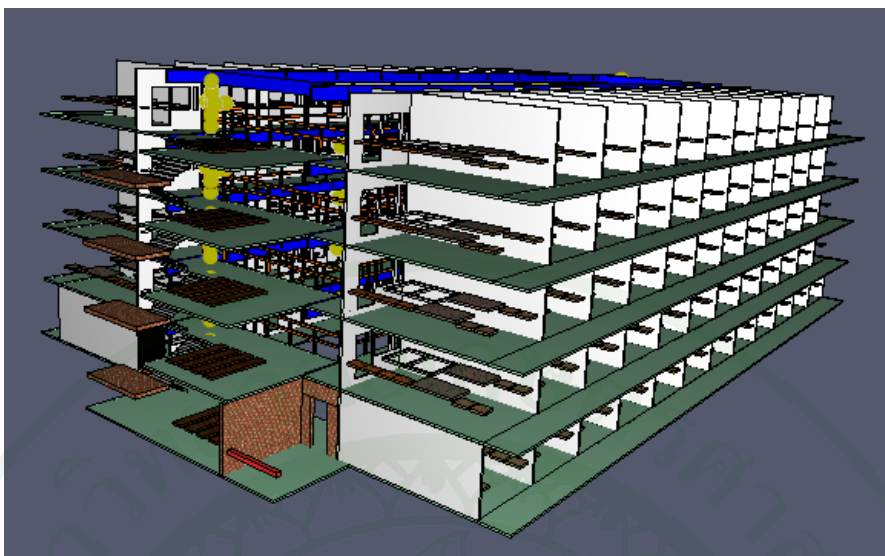
การสร้างแบบจำลองของพื้นที่ที่ใช้ในการอพยพและเกิดเพลิงไหม้ โดยใช้โปรแกรม Pyrosim 2010 เริ่มต้นจากนำไฟล์ CAD ของพื้นที่อาคารแบบ 2 มิติ มาทำการนำเข้าไปแปลงในโปรแกรม Pyrosim 2010 เพื่อให้เกิดพื้นที่หรือขอบเขตของพื้นที่อาคารในแต่ละชั้น ต่อมาสร้างส่วนประกอบของห้องภายในตามแบบแปลน และทำการสร้างอุปกรณ์สิ่งของเครื่องใช้ต่างๆ ภายในอาคารตามแบบการจัดวางผังของสถานที่จริง และมีการกำหนดรายละเอียดของชนิดวัสดุต่างๆลงไปด้วย สำหรับกองเพลิงไหม้ที่เป็นแหล่งต้นเพลิง ก็มีการสร้างขนาดกองเพลิงไปวางไว้ในอาคารชั้น 1 ซึ่งเป็นห้องต้นเพลิง ทำการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดต่างๆลงไปตามตำแหน่งต่างๆภายใน เพื่อตรวจวัดค่าของปริมาณสารพิษ ระยะการมองเห็น ความร้อน หลังจากนั้นทำการกำหนดขนาดโครงข่ายเพลิงไหม้ของพื้นที่อาคารโดยใส่ขนาดของอาคาร กว้าง 28.4 เมตร ยาว 50 เมตร สูง 16.21 เมตร โปรแกรมจะทำการกำหนดความเหมาะสมของขนาดโครงข่ายให้เอง หรือถ้าต้องการปรับขนาดโครงข่ายให้ละเอียดกว่าที่โปรแกรมกำหนดก็สามารถทำการปรับเพิ่มได้อีก หลังจากนั้นทำการแปลงไฟล์จากโปรแกรม Pyrosim 2010 ให้เป็นไฟล์นามสกุล .fds และทำการป้อนค่าเริ่มต้นของการอพยพลงไปในไฟล์ดังกล่าว และควรจะทำการบันทึกไฟล์แบบของอาคารหอพักนิสิตไว้เป็นไฟล์นามสกุล .psm ด้วย เพื่อความสะดวกในการแก้ไขพื้นที่แบบภายในอาคาร



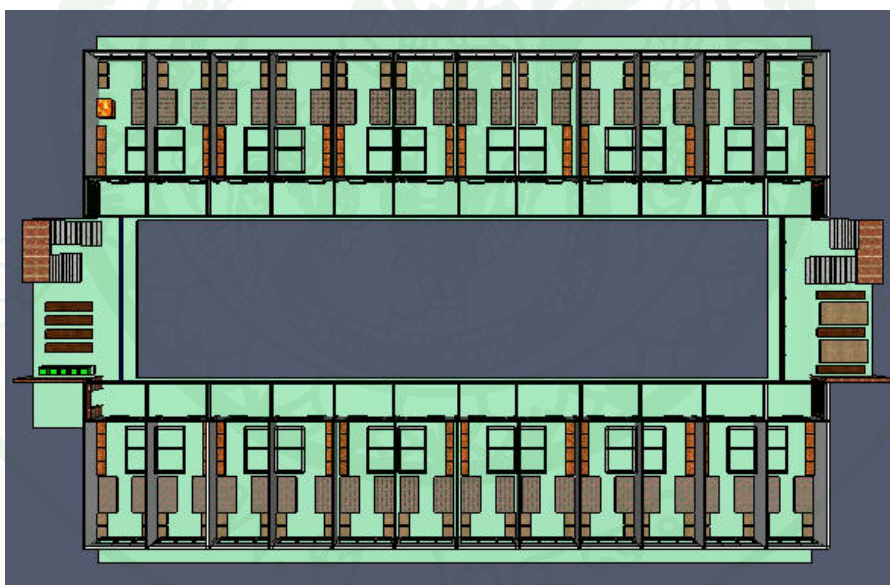
ภาพที่ 18 ภาพการกำหนดขนาดโครงข่ายเพลิงไหม้ด้วยโปรแกรม Pyrosim 2010



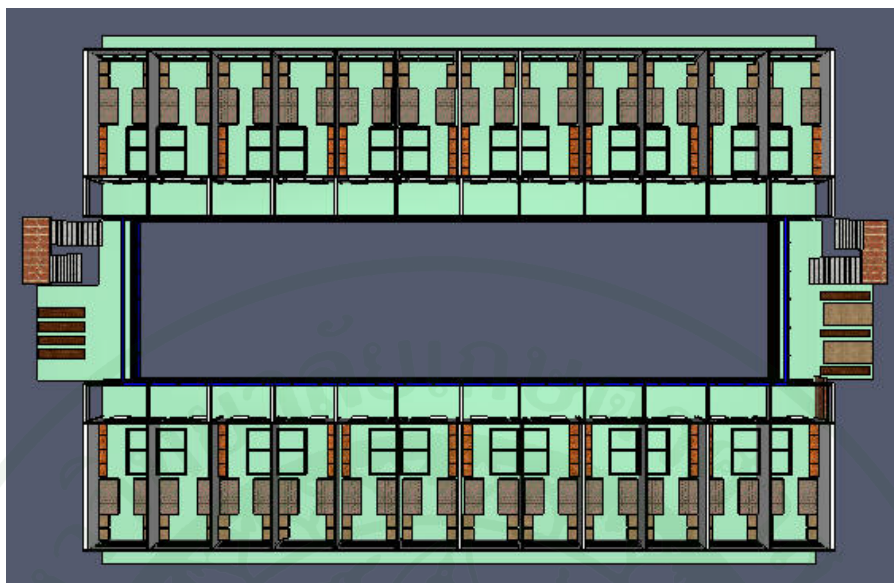
ภาพที่ 19 ภาพด้านหน้าของอาคารหอพักนิตด้วยโปรแกรม Pyrosim 2010



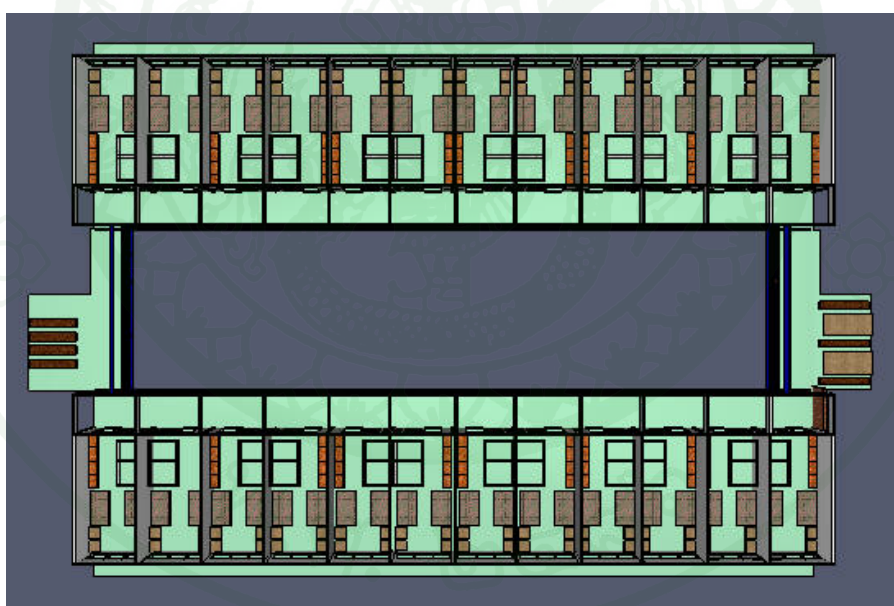
ภาพที่ 20 ภาพภายในของอาคารหอพักนิสิตด้วยโปรแกรม Pyrosim 2010



ภาพที่ 21 ภาพพื้นที่ภายในของอาคารหอพักนิสิตชั้นที่ 1 ด้วยโปรแกรม Pyrosim 2010

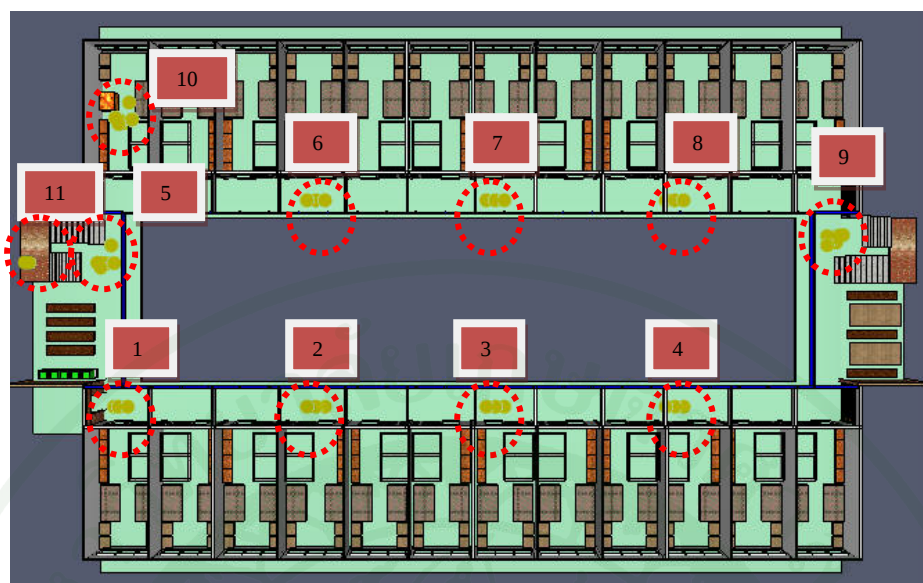


ภาพที่ 22 ภาพพื้นที่ภายในของอาคารหอพักนิสิตชั้นที่ 2-4 ด้วยโปรแกรม Pyrosim 2010

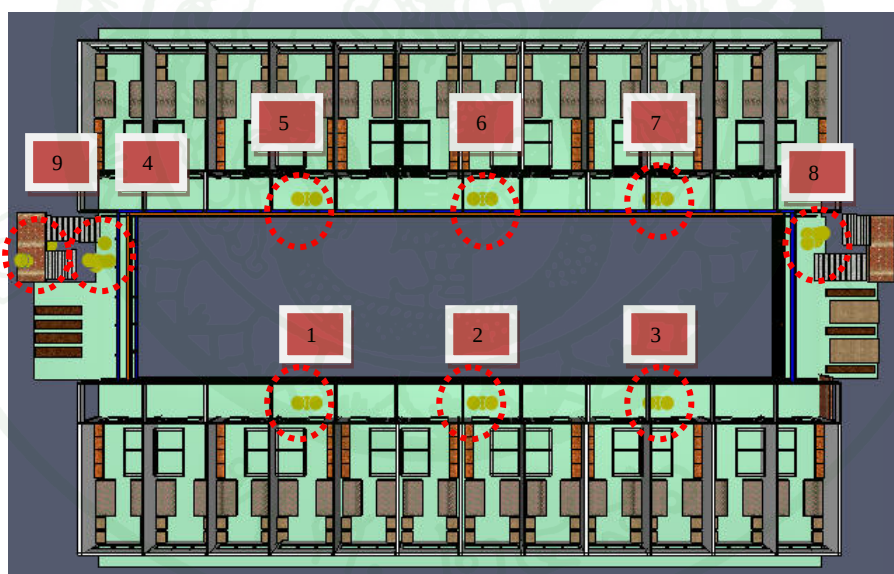


ภาพที่ 23 ภาพพื้นที่ภายในของอาคารหอพักนิสิตชั้นที่ 5 ด้วยโปรแกรม Pyrosim 2010

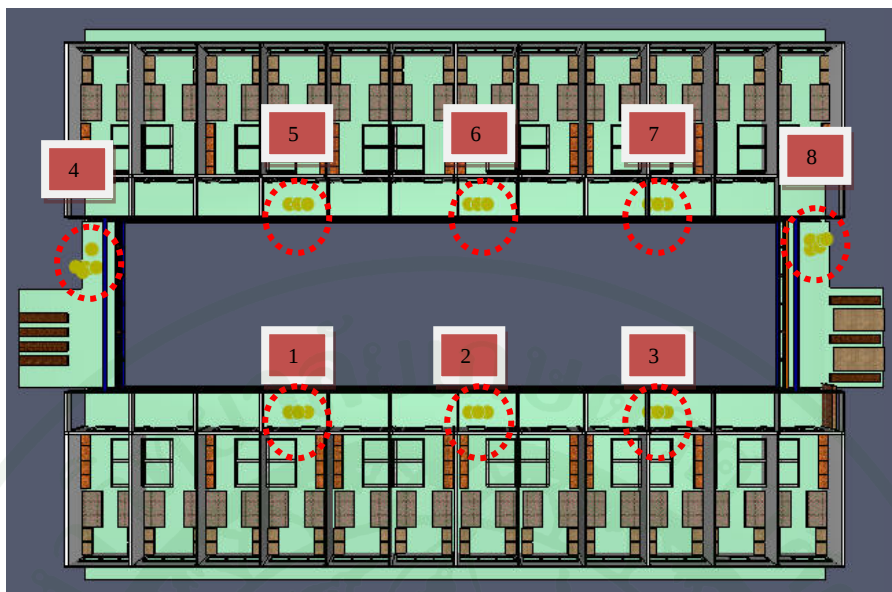
การกำหนดตำแหน่งอุปกรณ์ตรวจวัด ปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์ จะเน้นพื้นที่ที่มีการรอก
คยและตำแหน่งที่เป็นช่องทางการอพยพโดยเฉพาะในช่องบันได และประตูทางออกสู่ภายนอก
อาคารเป็นตำแหน่งที่มีความเสี่ยงต่อการอพยพที่สุด ซึ่งตำแหน่งอุปกรณ์จะอยู่สูงจากพื้น 1.5 เมตร
ตามภาพที่ 24 - 26



ภาพที่ 24 ภาพตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์วัดปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์ชั้นที่ 1

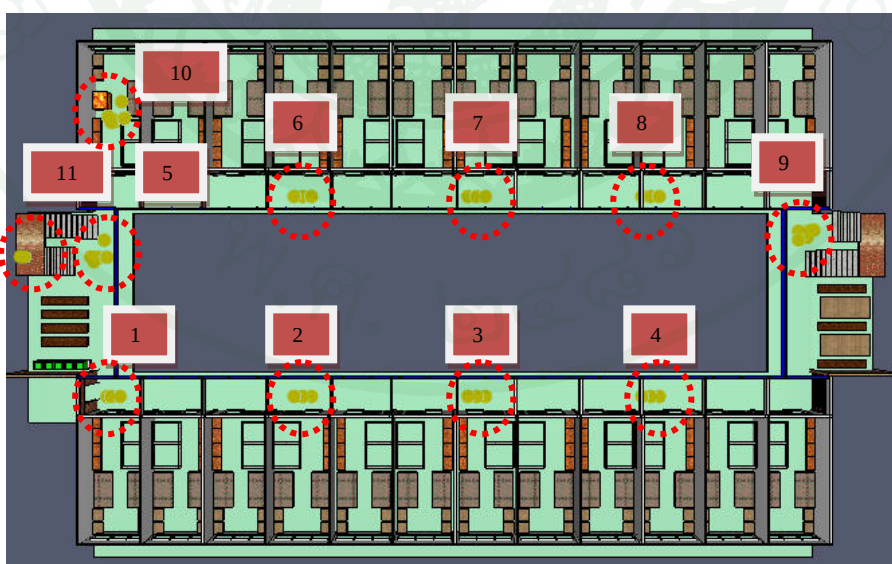


ภาพที่ 25 ภาพตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์วัดปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์ชั้นที่ 2-4

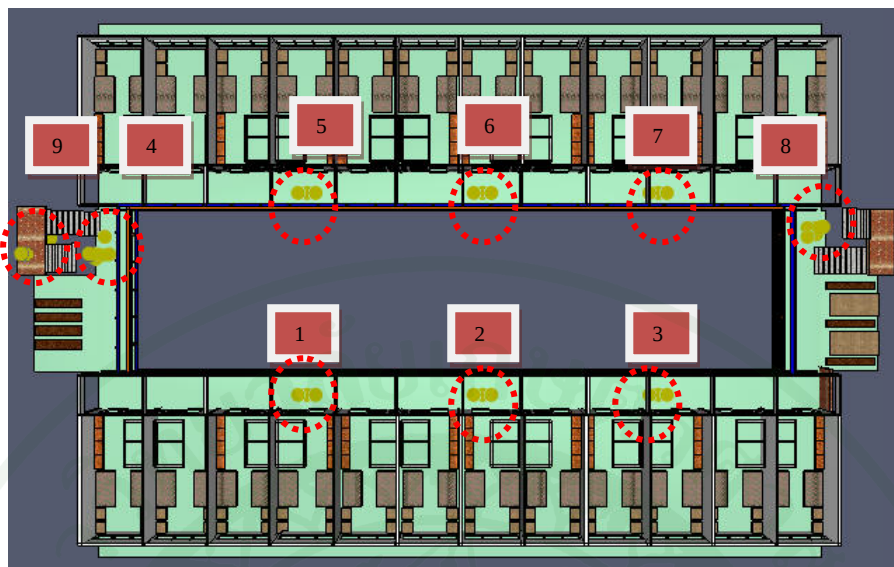


ภาพที่ 26 ภาพตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์วัดปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์ชั้นที่ 5

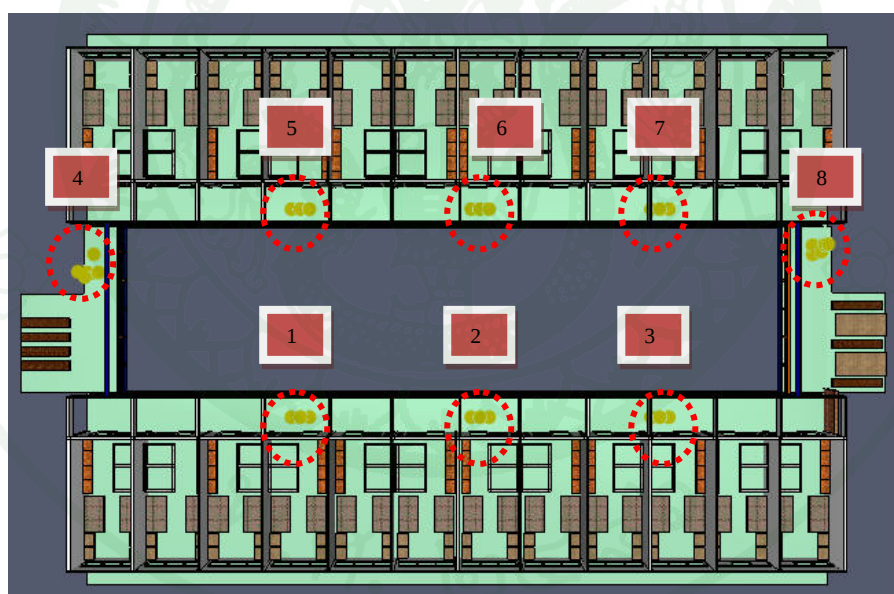
กำหนดให้ตำแหน่งอุปกรณ์ตรวจวัด ปริมาณออกซิเจน จะเป็นพื้นที่ที่มีการรอกอยและตำแหน่งที่เป็นช่องทางอพยพโดยเฉพาะในช่องบันได และประตูทางออกสู่ภายนอกอาคารเป็นตำแหน่งที่มีความเสี่ยงต่อการอพยพที่สุด ซึ่งตำแหน่งอุปกรณ์จะอยู่สูงจากพื้น 1.5 เมตร



ภาพที่ 27 ภาพตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์วัดปริมาณออกซิเจนชั้นที่ 1



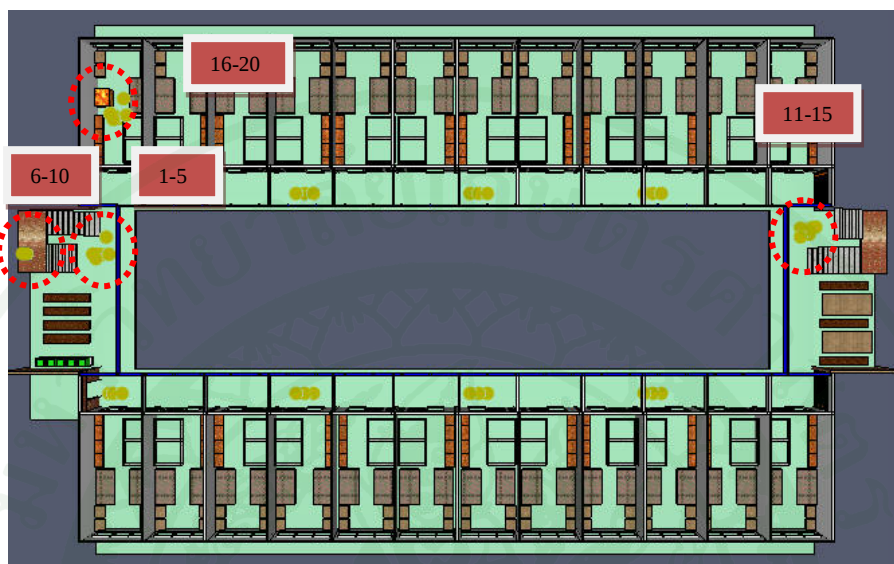
ภาพที่ 28 ภาพตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์วัดปริมาณออกซิเจนชั้นที่ 2-4



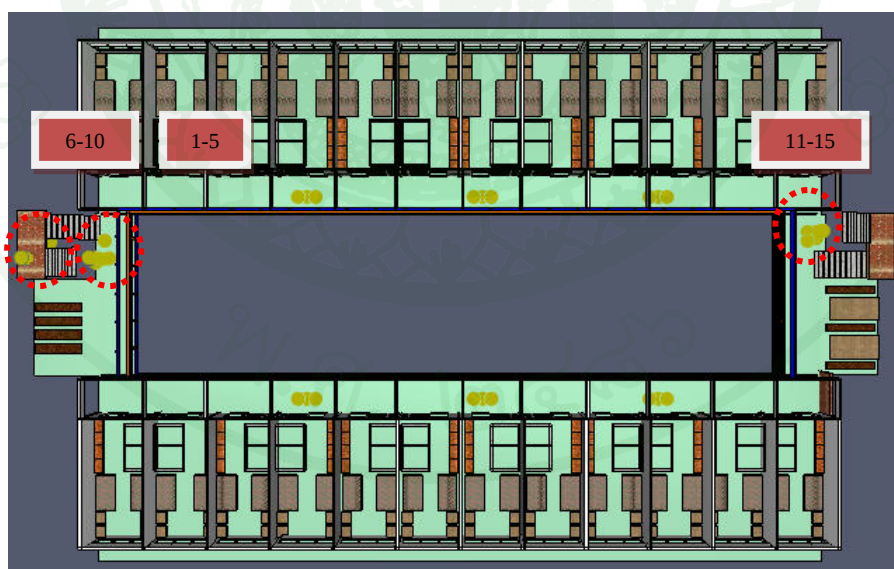
ภาพที่ 29 ภาพตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์วัดปริมาณออกซิเจนชั้นที่ 5

กำหนดให้ตำแหน่งอุปกรณ์ตรวจวัด อุนหภูมิ จะเป็นพื้นที่ที่มีการรอกอย โดยเฉพาะใน
ช่องบันไดหน้าช่องบันไดและห้องดันเพลิงเป็นตำแหน่งที่มีความเสี่ยงต่อการอพยพและชีวิตมาก
ที่สุด ซึ่งตำแหน่งอุปกรณ์แต่ละที่จะเรียงตัวในแนวตั้ง โดยมีจุดตรวจวัด 5 จุดจะอยู่สูงจากพื้น 0.5

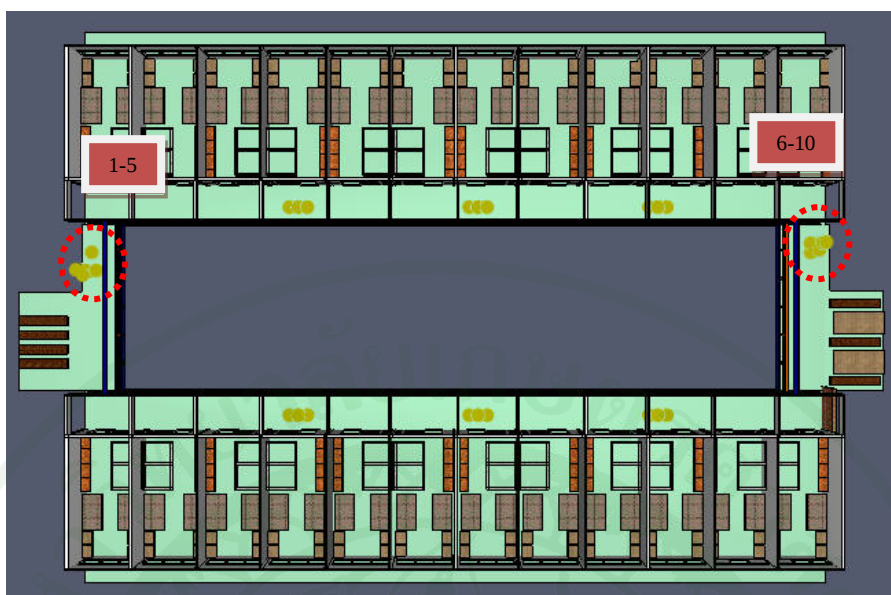
เมตรในจุดแรกซึ่งจะห่างกันจุดละ 0.5 เมตร เพื่อต้องการตรวจวัดความร้อนเฉลี่ยในแต่ละที่และได้ค่าความเสี่ยงต่อชีวิตที่สุด



ภาพที่ 30 ภาพตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิชั้นที่ 1



ภาพที่ 31 ภาพตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิชั้นที่ 2-4



ภาพที่ 32 ภาพตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิชั้นที่ 5

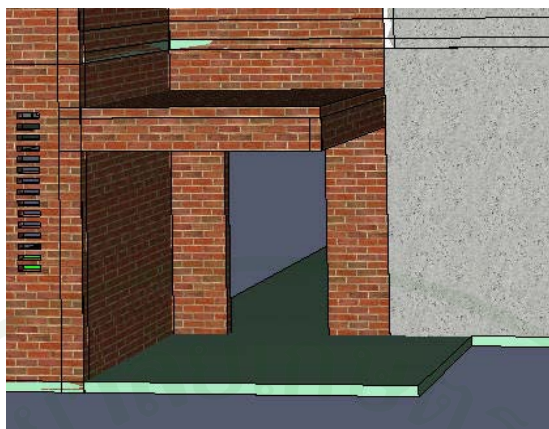
3. การป้อนค่าเริ่มต้นในการอพยพและการแสดงผลลัพธ์

นำไฟล์นามสกุล .fds ที่ได้จากการแปลงจากโปรแกรม Pyrosim 2010 มาเปิดด้วยโปรแกรม Notepad และทำการกรอกค่าเริ่มต้นการอพยพและการประมวลผลลงไปที่ต้องการให้โปรแกรมทำการแสดงผลลัพธ์อะไรออกมา ซึ่งผลลัพธ์บางค่าก็ต้องให้สอดคล้องกับชนิดและตำแหน่งอุปกรณ์ตรวจวัดที่ได้ทำการติดตั้งลงไป หลังจากนั้นนำไฟล์ที่มีการเพิ่มเติมค่าเข้าไปใหม่ไปทำการทดลองรันบนโปรแกรม DOS โดยพิมพ์คำสั่งเรียกไฟล์จากไดเรกทอรี และพิมพ์คำสั่ง fds5.exe CHID.fds ซึ่งสามารถกำหนดเวลาในการรันให้เท่ากับศูนย์เพื่อความสะดวกในการตรวจดูรูปร่างโครงสร้างอาคารที่ใช้อพยพ โดยนำไฟล์ .smv ที่ได้จากการรันไปทำการเปิดในโปรแกรม Smokeview หลังจากนั้นแก้ไขเวลาใหม่ให้เท่ากับที่ต้องการใช้ในการอพยพแล้วทำการทดลองรันอีกครั้ง รายละเอียดการแสดงผลค่าเริ่มต้นและคำสั่งต่างๆในโปรแกรม FDS+Evac

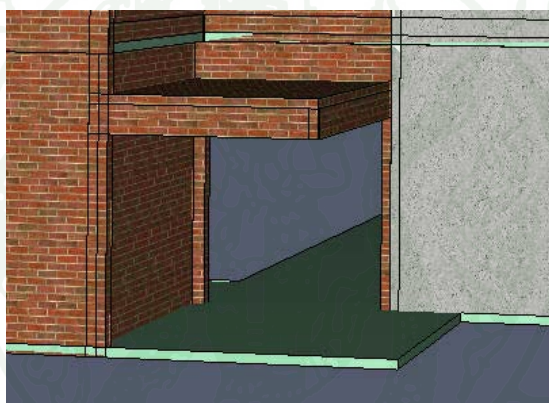
ผลและวิจารณ์

ผล

การจำลองการอพยพในสถานการณ์เพลิงไหม้ภายในอาคารหอพักนิสิตสูง 16.21 เมตร จำนวน 5 ชั้น กว้าง 28.4 เมตร ยาว 50 เมตร ชั้นที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 สูงชั้นละ 2.9 เมตร มีบันได 2 บันไดอยู่ทั้งสองฝั่งของอาคาร ประตูทางออกสู่ภายนอกอาคารมีเพียงประตูเดียว จำลองสถานการณ์ ทั้ง 4 กรณีเป็นการจำลองเพื่อหาข้อเปรียบเทียบในการอพยพ และการตรวจวัดปริมาณสารในควันไฟจากการใช้งานของอาคารจริง เนื่องจากอาคารหอพักนิสิต ไม่มีบันไดหนีไฟ และไม่มีการติดตั้งระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิง ทำให้เกิดความเสี่ยงจากการอพยพจากเหตุการณ์ไฟไหม้ได้ จึงจำเป็นในการหาวิธีการปรับปรุงแก้ไขการใช้อาคาร เพื่อความปลอดภัยของผู้ใช้อาคารมีบันไดทางลง 2 ทาง ลักษณะอาคารเปิดโล่งตรงกลางอาคาร บันไดอยู่ในลักษณะเปิดไม่มีผนังปิด จำนวนห้องของอาคารแต่ละชั้นมี 24 ห้อง ห้องรวมมี 120 ห้อง มีนิสิตอยู่ห้องละ 4 คน มีนิสิตใช้อาคารทั้งหมด 480 คน การอพยพออกจากอาคารจะอาศัยบันได 2 ด้าน ประตูทางออกสู่ภายนอกอาคารมีเพียงประตูเดียวเป็นประตูทางออกอยู่ทางด้านซ้ายของอาคารมีขนาดความกว้าง 1 เมตร กำหนดตำแหน่งห้องต้นเพลิงให้อยู่ในตำแหน่งชั้นที่ 1 ห้องอยู่ชิดกับบันไดหนีไฟ เพื่อประเมินความเสี่ยงการอพยพของนิสิต ในช่องบันไดหนีไฟ เพราะลักษณะเป็นบันไดเปิดควันไฟสามารถลอยเข้าสู่บันไดหนีไฟได้จากแบบอาคารหอพักนิสิตทำให้พบข้อบกพร่องในการอพยพออกจากตัวอาคารในตำแหน่งประตูทางออกสู่ภายนอกอาคารที่มีขนาดเล็ก ทำให้เกิดการรอคอยของผู้อพยพออกจากอาคารตรงประตูทางออก จึงทำการจำลองปรับปรุงแก้ไขให้ขนาดประตูทางออกกว้างขึ้นเป็น 2 เมตรจากภาพที่ 33 และภาพที่ 34 แสดงขนาดประตูทางออกสู่ภายนอกอาคาร เพื่อหาข้อเปรียบเทียบในการอพยพ



ภาพที่ 33 ภาพแสดงขนาดประตูทางออกสู่ภายนอกอาคารจริง 1 เมตร

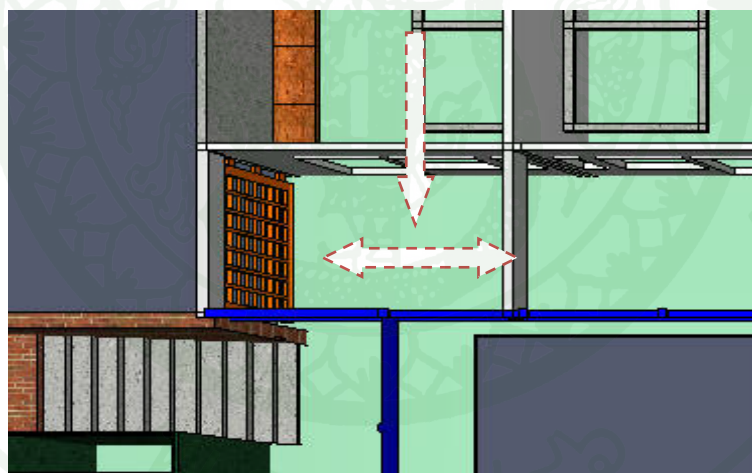


ภาพที่ 34 ภาพแสดงขนาดประตูทางออกสู่ภายนอกอาคารจากการปรับปรุง 2 เมตร

จากระยะเวลาที่ใช้ในการอพยพออกจากอาคารทั้ง 4 กรณี ใช้เวลาในการอพยพไม่เกิน 10 นาที จึงทำการวิเคราะห์ผลให้อยู่ในช่วงเวลาที่ 10 นาที และกำหนดให้ตำแหน่งห้องดันเพลิงไว้ในชั้นที่ 1 ข้างช่องบันไดทำให้เกิดควันไฟลอยเข้าสู่ช่องบันได ซึ่งเป็นอุปสรรค และเป็นอันตรายต่อชีวิต จึงได้ทำการจำลองติดตั้งแผงกั้นควันไฟตรงตำแหน่งก่อนเข้าบันไดขนาดความหนา 30 เซนติเมตร ขนาดความยาว 2 เมตร ซึ่งเป็นการควบคุมทิศทางการไหลของควันไฟเพื่อลดปริมาณการไหลของควันไฟเข้าสู่ช่องบันไดได้ และเพื่อหาข้อเปรียบเทียบในการปรับปรุงแก้ไขอาคารจริงตามภาพที่ 35



ภาพที่ 35 ภาพแสดงตำแหน่งติดตั้งแผงกันควันไฟหน้าช่องบันได ของชั้นที่ 1



ภาพที่ 36 ภาพแสดงทิศทางการไหลของควันไฟหลังจากติดตั้งแผงกันควันไฟหน้าช่องบันได ของชั้นที่ 1

1. ผลการอพยพ (Evacuation)

จากการประมวลโดยแบ่งการพิจารณาออกเป็น 4 กรณี ดังนี้

1.1 กรณีที่ 1 จำนวนผู้อพยพตามการใช้งาน 480 คน และอัตราการปลดปล่อยความร้อน 7 MW ที่เวลาการอพยพ 10 นาที กำหนดขนาดความกว้างประตูทางออกสู่ภายนอกอาคารจริง 1 เมตร

ใช้ระยะเวลาในการประมวลผล 5.25 ชั่วโมง กำหนดให้ผู้อพยพทั้งหมด 480 คน กระจายตัวอยู่ในแต่ละชั้น โดยชั้นที่ 1-5 มีชั้นละ 96 คน ผู้อพยพคนสุดท้ายที่ออกจากอาคารใช้เวลา 462 วินาที หรือ 7.7 นาที โดยทำการอพยพออกจากด้านหน้าอาคารทั้งหมดเพียงทางเดียวจำนวนทั้ง 480 คน กรณีที่ 1 ไม่มีผู้เสียชีวิต

ผู้อพยพชั้นที่ 2 เลือกใช้บันไดด้านหน้า 46 คน และด้านหลัง 50 คน

ผู้อพยพชั้นที่ 3 เลือกใช้บันไดด้านหน้า 47 คน และด้านหลัง 49 คน

ผู้อพยพชั้นที่ 4 เลือกใช้บันไดด้านหน้า 48 คน และด้านหลัง 48 คน

ผู้อพยพชั้นที่ 5 เลือกใช้บันไดด้านหน้า 47 คน และด้านหลัง 49 คน

ผู้อพยพคนแรกออกจากชั้นที่ 1 ใช้เวลา 20.0 วินาที

ผู้อพยพคนแรกออกจากชั้นที่ 2 ใช้เวลา 21.0 วินาที

ผู้อพยพคนแรกออกจากชั้นที่ 3 ใช้เวลา 23.0 วินาที

ผู้อพยพคนแรกออกจากชั้นที่ 4 ใช้เวลา 24.0 วินาที

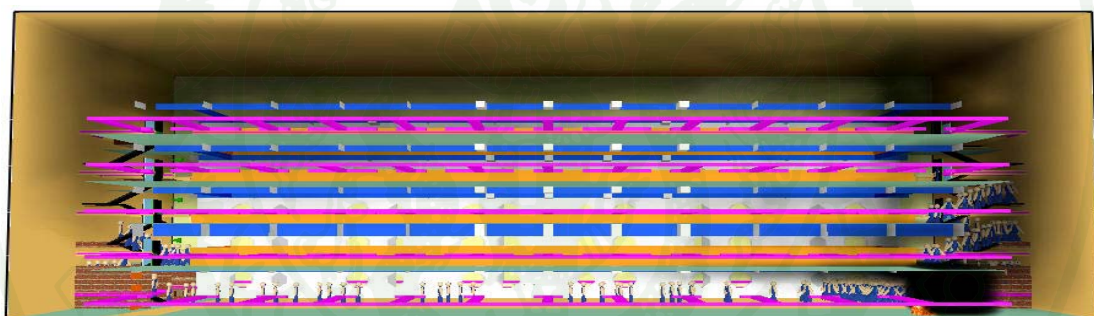
ผู้อพยพคนแรกออกจากชั้นที่ 5 ใช้เวลา 25.0 วินาที

ผู้อพยพคนสุดท้ายออกจากชั้นที่ 5 ใช้เวลา 96.0 วินาทีจากภาพที่ 37



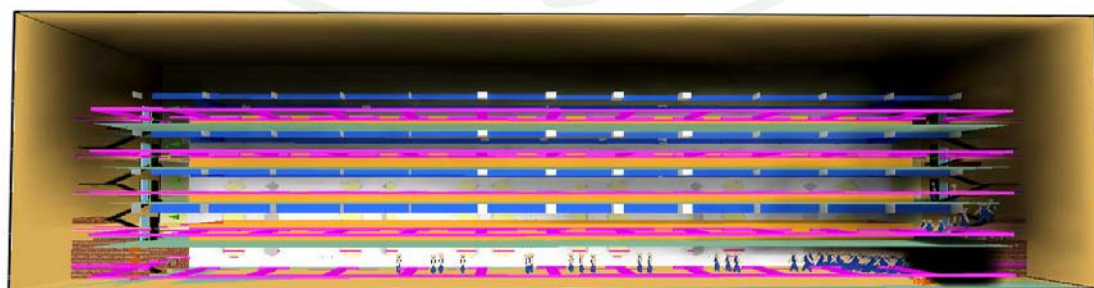
ภาพที่ 37 การอพยพที่ 96 วินาที ผู้อพยพคนสุดท้ายออกจากชั้นที่ 5

ผู้อพยพคนสุดท้ายออกจากชั้นที่ 4 ใช้เวลา 176 วินาทีจากภาพที่ 38



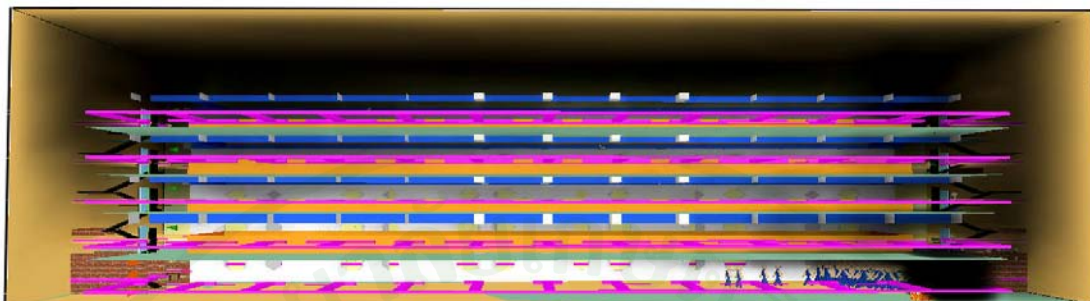
ภาพที่ 38 การอพยพที่เวลา 176 วินาที ผู้อพยพคนสุดท้ายออกจากชั้นที่ 4

ผู้อพยพคนสุดท้ายออกจากชั้นที่ 3 ใช้เวลา 212 วินาทีจากภาพที่ 39



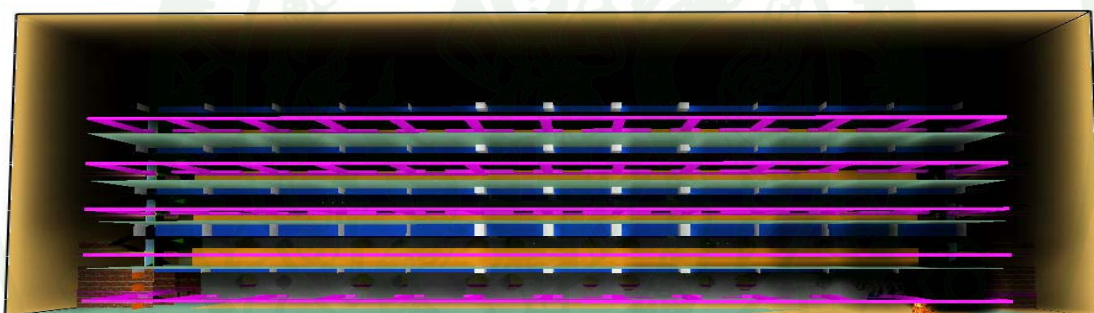
ภาพที่ 39 การอพยพที่เวลา 212 วินาที ผู้อพยพคนสุดท้ายออกจากชั้นที่ 3

ผู้อพยพคนสุดท้ายออกจากชั้นที่ 2 ใช้เวลา 250 วินาทีจากภาพที่ 40



ภาพที่ 40 การอพยพที่เวลา 250 วินาที ผู้อพยพคนสุดท้ายออกจากชั้นที่ 2

ผู้อพยพคนสุดท้ายออกจากอาคาร ใช้เวลา 462 วินาทีจากภาพที่ 41



ภาพที่ 41 การอพยพที่เวลา 462 วินาที ผู้อพยพคนสุดท้ายออกจากอาคาร

1.2 กรณีที่ 2 จำนวนผู้อพยพตามการใช้งาน 480 คน และอัตราการปลดปล่อยความร้อน 7 MW ที่เวลาการอพยพ 10 นาที กำหนดขนาดความกว้างประตูทางออกสู่ภายนอกอาคารจริง 1 เมตร ติดตั้งแผนกั้นควันไฟหน้าช่องบันไดขนาด 30 เซนติเมตร

ใช้ระยะเวลาในการประมวลผล 5.30 ชั่วโมง กำหนดให้ผู้อพยพทั้งหมด 480 คน กระจายตัวอยู่ในแต่ละชั้น โดยชั้นที่ 1-5 มีชั้นละ 96 คน ผู้อพยพคนสุดท้ายที่ออกจากอาคารใช้เวลา 463 วินาที หรือ 7.72 นาที โดยทำการอพยพออกจากด้านหน้าอาคารทั้งหมดเพียงทางเดียวจำนวน ทั้ง 480 คน กรณีที่ 2 ไม่มีผู้เสียชีวิต

ผู้อพยพชั้นที่ 2 เลือกใช้บันไดด้านหน้า 47 คน และด้านหลัง 49 คน

ผู้อพยพชั้นที่ 3 เลือกใช้บันไดด้านหน้า 46 คน และด้านหลัง 50 คน

ผู้อพยพชั้นที่ 4 เลือกใช้บันไดด้านหน้า 48 คน และด้านหลัง 48 คน

ผู้อพยพชั้นที่ 5 เลือกใช้บันไดด้านหน้า 47 คน และด้านหลัง 49 คน

ผู้อพยพคนแรกออกจากชั้นที่ 1 ใช้เวลา 22.0 วินาที

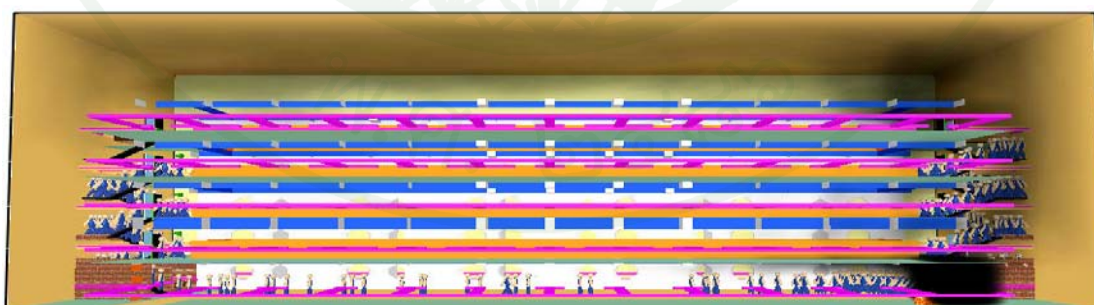
ผู้อพยพคนแรกออกจากชั้นที่ 2 ใช้เวลา 23.0 วินาที

ผู้อพยพคนแรกออกจากชั้นที่ 3 ใช้เวลา 24.0 วินาที

ผู้อพยพคนแรกออกจากชั้นที่ 4 ใช้เวลา 19.0 วินาที

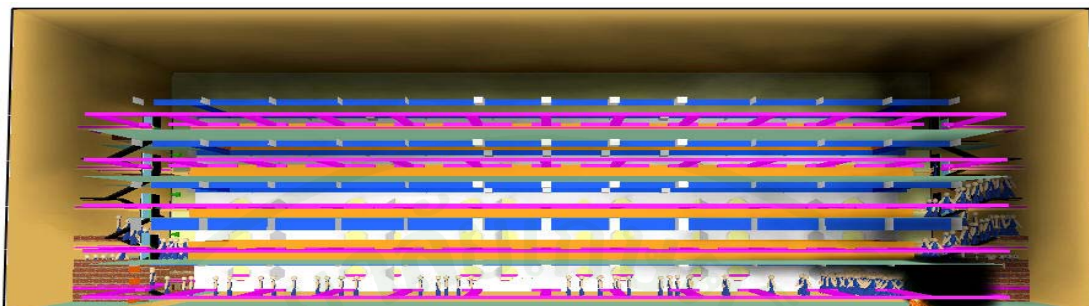
ผู้อพยพคนแรกออกจากชั้นที่ 5 ใช้เวลา 18.0 วินาที

ผู้อพยพคนสุดท้ายออกจากชั้นที่ 5 ใช้เวลา 83 วินาทีจากภาพที่ 42



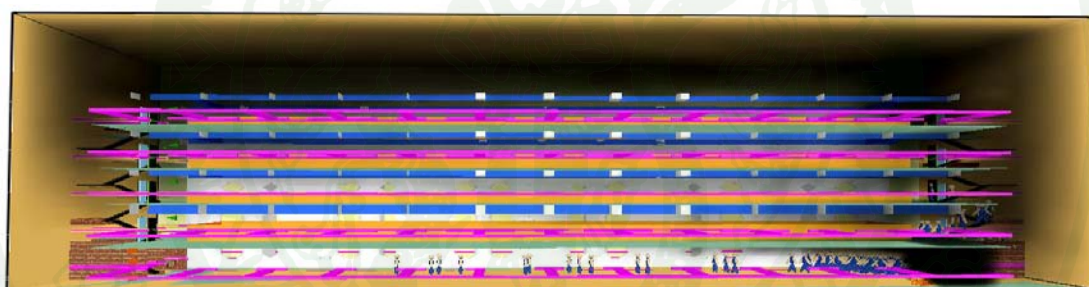
ภาพที่ 42 การอพยพที่ 83 วินาที ผู้อพยพคนสุดท้ายออกจากชั้นที่ 5

ผู้อพยพคนสุดท้ายออกจากชั้นที่ 4 ใช้เวลา 166 วินาทีจากภาพที่ 43



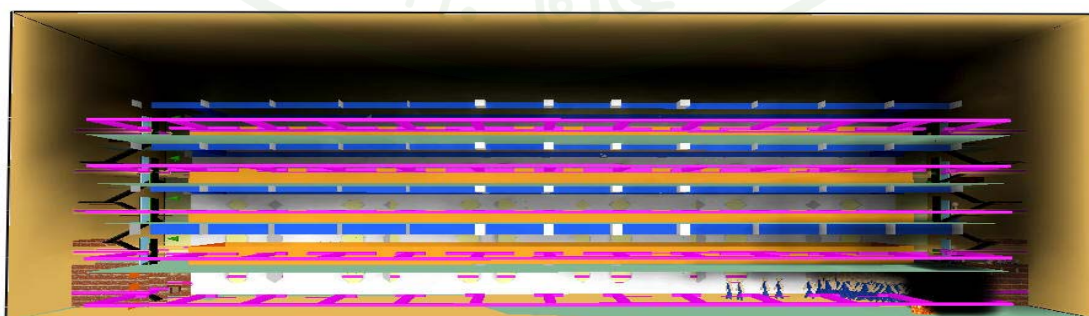
ภาพที่ 43 การอพยพที่เวลา 166 วินาที ผู้อพยพคนสุดท้ายออกจากชั้นที่ 4

ผู้อพยพคนสุดท้ายออกจากชั้นที่ 3 ใช้เวลา 205 วินาทีจากภาพที่ 44



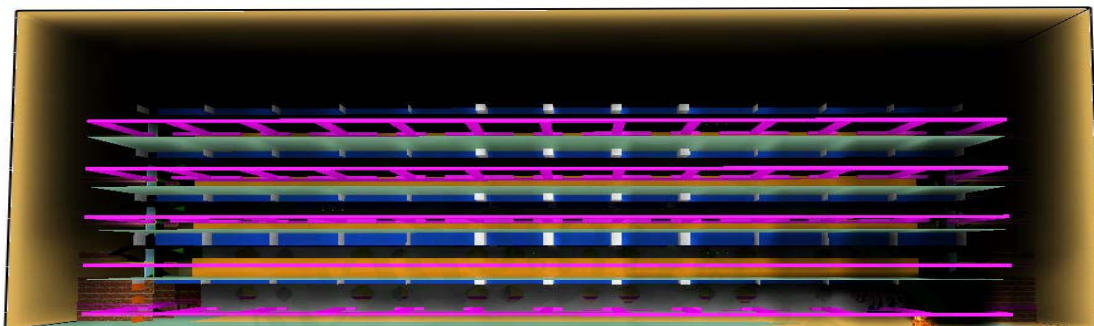
ภาพที่ 44 การอพยพที่เวลา 205 วินาที ผู้อพยพคนสุดท้ายออกจากชั้นที่ 3

ผู้อพยพคนสุดท้ายออกจากชั้นที่ 2 ใช้เวลา 239 วินาทีจากภาพที่ 45



ภาพที่ 45 การอพยพที่เวลา 239 วินาที ผู้อพยพคนสุดท้ายออกจากชั้นที่ 2

ผู้อพยพคนสุดท้ายออกจากชั้นที่ 1 ใช้เวลา 463 วินาทีจากภาพที่ 46



ภาพที่ 46 การอพยพที่เวลา 463 วินาที ผู้อพยพคนสุดท้ายออกจากอาคาร

1.3 กรณีที่ 3 จำนวนผู้อพยพตามการใช้งาน 480 คน และอัตราการปลดปล่อยความร้อน 7 MW ที่เวลาการอพยพ 10 นาที กำหนดขนาดความกว้างประตูทางออกสู่ภายนอกอาคาร 2 เมตร

ใช้ระยะเวลาในการประมวลผล 5.15 ชั่วโมง กำหนดให้ผู้อพยพทั้งหมด 480 คน กระจายตัวอยู่ในแต่ละชั้น โดยชั้นที่ 1-5 มีชั้นละ 96 คน ผู้อพยพคนสุดท้ายที่ออกจากอาคารใช้เวลา 268 วินาที หรือ 4.47 นาที โดยทำการอพยพออกจากด้านหน้าอาคารทั้งหมดเพียงทางเดียวจำนวน ทั้ง 480 คน กรณีที่ 3 ไม่มีผู้เสียชีวิต

ผู้อพยพชั้นที่ 2 เลือกใช้บันไดด้านหน้า 46 คน และด้านหลัง 50 คน

ผู้อพยพชั้นที่ 3 เลือกใช้บันไดด้านหน้า 47 คน และด้านหลัง 49 คน

ผู้อพยพชั้นที่ 4 เลือกใช้บันไดด้านหน้า 48 คน และด้านหลัง 48 คน

ผู้อพยพชั้นที่ 5 เลือกใช้บันไดด้านหน้า 47 คน และด้านหลัง 49 คน

ผู้อพยพคนแรกออกจากชั้นที่ 1 ใช้เวลา 18.0 วินาที

ผู้อพยพคนแรกออกจากชั้นที่ 2 ใช้เวลา 23.0 วินาที

ผู้อพยพคนแรกออกจากชั้นที่ 3 ใช้เวลา 21.0 วินาที

ผู้อพยพคนแรกออกจากชั้นที่ 4 ใช้เวลา 23.0 วินาที

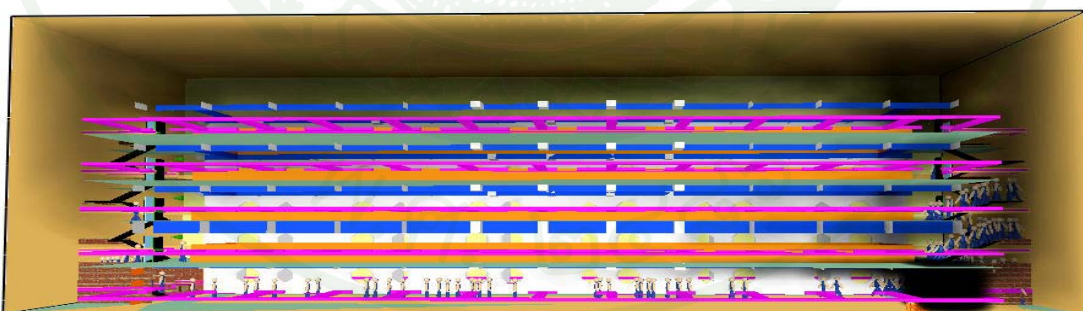
ผู้อพยพคนแรกออกจากชั้นที่ 5 ใช้เวลา 25.0 วินาที

ผู้อพยพคนสุดท้ายออกจากชั้นที่ 5 ใช้เวลา 86 วินาทีจากภาพที่ 47



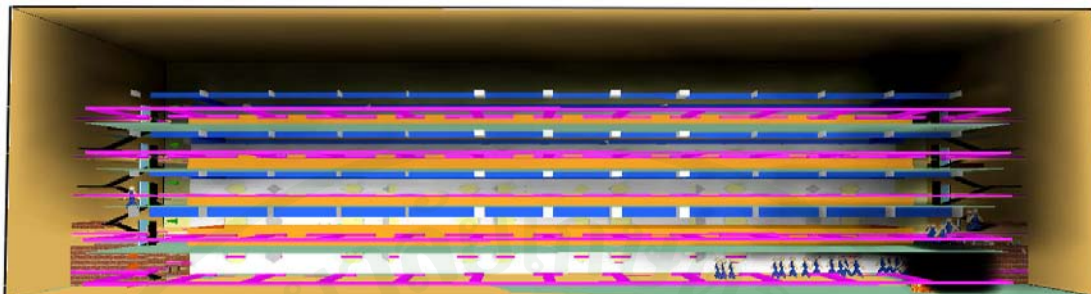
ภาพที่ 47 การอพยพที่ 86 วินาที ผู้อพยพคนสุดท้ายออกจากชั้นที่ 5

ผู้อพยพคนสุดท้ายออกจากชั้นที่ 4 ใช้เวลา 181 วินาทีจากภาพที่ 48



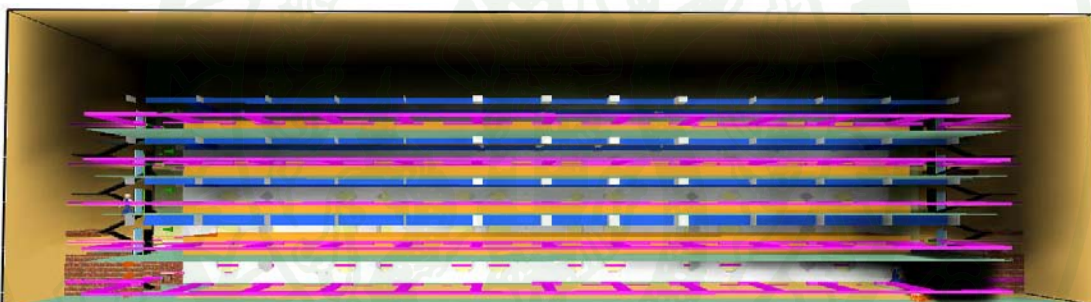
ภาพที่ 48 การอพยพที่เวลา 181 วินาที ผู้อพยพคนสุดท้ายออกจากชั้นที่ 4

ผู้อพยพคนสุดท้ายออกจากชั้นที่ 3 ใช้เวลา 218 วินาทีจากภาพที่ 49



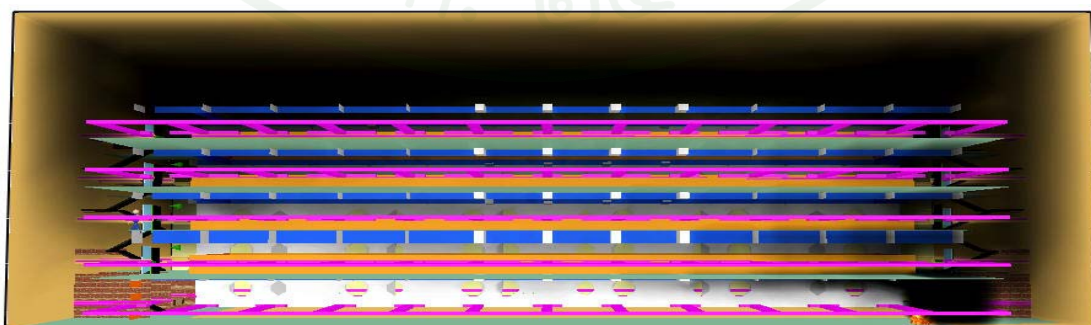
ภาพที่ 49 การอพยพที่เวลา 218 วินาที ผู้อพยพคนสุดท้ายออกจากชั้นที่ 3

ผู้อพยพคนสุดท้ายออกจากชั้นที่ 2 ใช้เวลา 248 วินาทีจากภาพที่ 50



ภาพที่ 50 การอพยพที่เวลา 248 วินาที ผู้อพยพคนสุดท้ายออกจากชั้นที่ 2

ผู้อพยพคนสุดท้ายออกจากอาคาร ใช้เวลา 278 วินาทีจากภาพที่ 51



ภาพที่ 51 การอพยพที่เวลา 278 วินาที ผู้อพยพคนสุดท้ายออกจากอาคาร

1.4 กรณีที่ 4 จำนวนผู้อพยพตามการใช้งาน 480 คน และอัตราการปลดปล่อยความร้อน 7 MW ที่เวลาการอพยพ 10 นาที กำหนดขนาดความกว้างประตูทางออกสู่ภายนอกอาคาร 2 เมตร ติดตั้งแผงกันควันไฟหน้าช่องบันไดขนาด 30 เซนติเมตร

ใช้ระยะเวลาในการประมวลผล 5.25 ชั่วโมง กำหนดให้ผู้อพยพทั้งหมด 480 คน กระจายตัวอยู่ในแต่ละชั้น โดยชั้นที่ 1-5 มีชั้นละ 96 คน ผู้อพยพคนสุดท้ายที่ออกจากอาคารใช้เวลา 280 วินาที หรือ 4.67 นาที โดยทำการอพยพออกจากด้านหน้าอาคารทั้งหมดเพียงทางเดียวจำนวน ทั้ง 480 คน กรณีที่ 4 ไม่มีผู้เสียชีวิต

ผู้อพยพชั้นที่ 2 เลือกใช้บันไดด้านหน้า 50 คน และด้านหลัง 46 คน

ผู้อพยพชั้นที่ 3 เลือกใช้บันไดด้านหน้า 47 คน และด้านหลัง 49 คน

ผู้อพยพชั้นที่ 4 เลือกใช้บันไดด้านหน้า 49 คน และด้านหลัง 47 คน

ผู้อพยพชั้นที่ 5 เลือกใช้บันไดด้านหน้า 47 คน และด้านหลัง 49 คน

ผู้อพยพคนแรกออกจากชั้นที่ 1 ใช้เวลา 20.0 วินาที

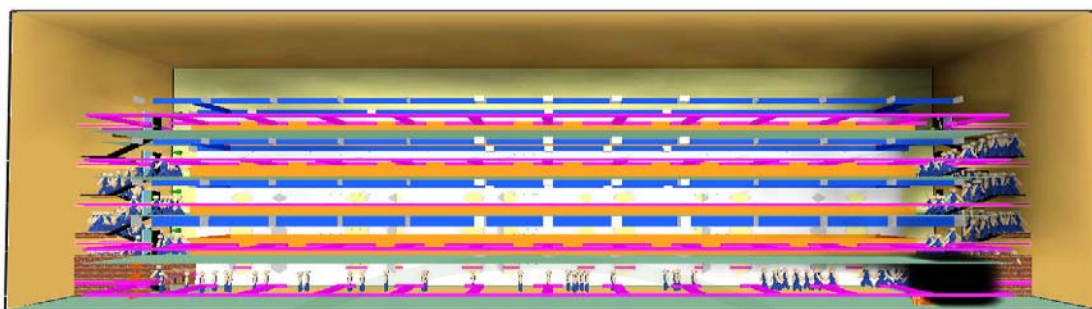
ผู้อพยพคนแรกออกจากชั้นที่ 2 ใช้เวลา 20.0 วินาที

ผู้อพยพคนแรกออกจากชั้นที่ 3 ใช้เวลา 21.0 วินาที

ผู้อพยพคนแรกออกจากชั้นที่ 4 ใช้เวลา 26.0 วินาที

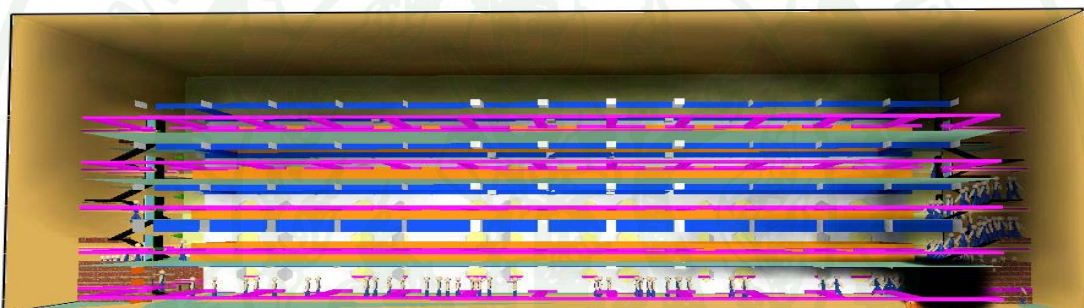
ผู้อพยพคนแรกออกจากชั้นที่ 5 ใช้เวลา 19.0 วินาที

ผู้อพยพคนสุดท้ายออกจากชั้นที่ 5 ใช้เวลา 84 วินาทีจากภาพที่ 52



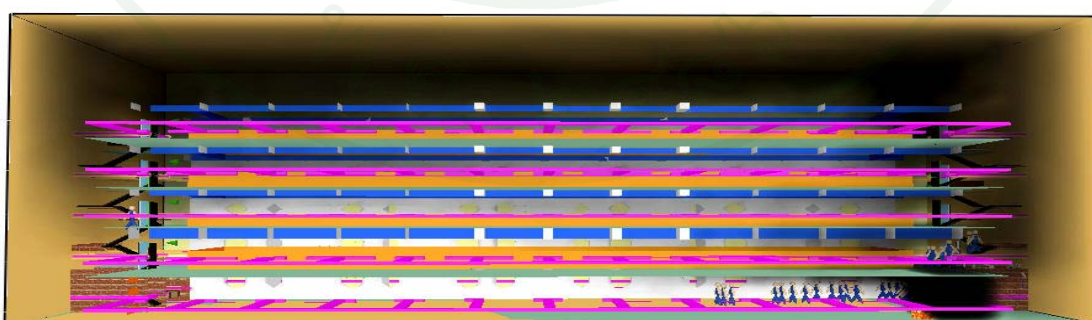
ภาพที่ 52 การอพยพที่ 84 วินาที ผู้อพยพคนสุดท้ายออกจากชั้นที่ 5

ผู้อพยพคนสุดท้ายออกจากชั้นที่ 4 ใช้เวลา 180 วินาทีจากภาพที่ 53



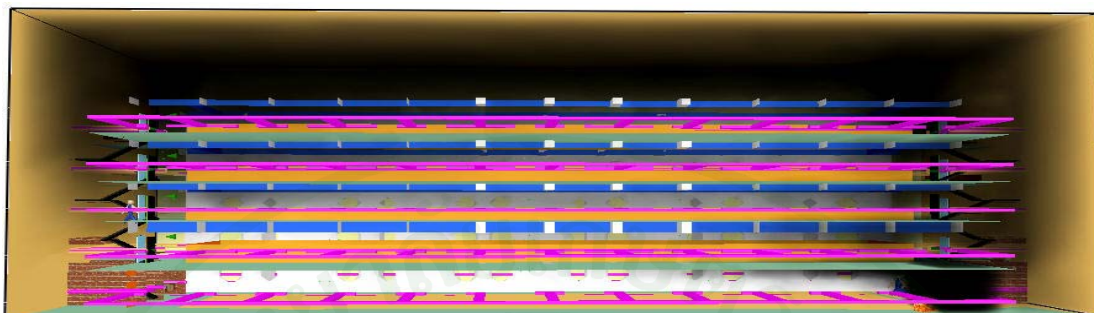
ภาพที่ 53 การอพยพที่เวลา 180 วินาที ผู้อพยพคนสุดท้ายออกจากชั้นที่ 4

ผู้อพยพคนสุดท้ายออกจากชั้นที่ 3 ใช้เวลา 217 วินาทีจากภาพที่ 54



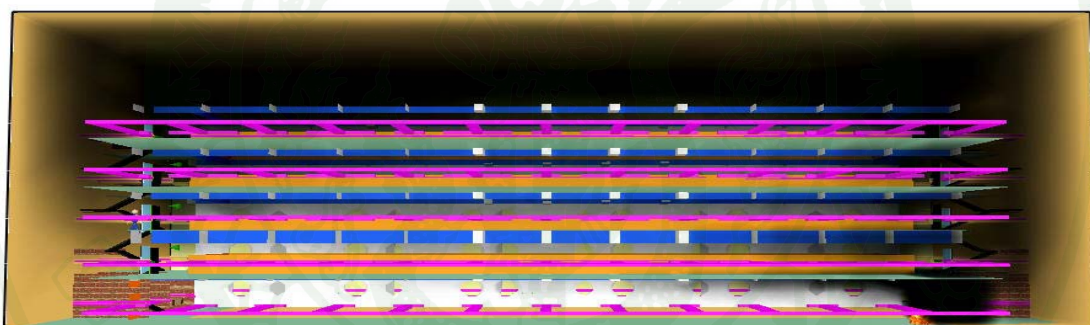
ภาพที่ 54 การอพยพที่เวลา 217 วินาที ผู้อพยพคนสุดท้ายออกจากชั้นที่ 3

ผู้อพยพคนสุดท้ายออกจากชั้นที่ 2 ใช้เวลา 245 วินาทีจากภาพที่ 55



ภาพที่ 55 การอพยพที่เวลา 245 วินาที ผู้อพยพคนสุดท้ายออกจากชั้นที่ 2

ผู้อพยพคนสุดท้ายออกจากอาคาร ใช้เวลา 280 วินาทีจากภาพที่ 56



ภาพที่ 56 การอพยพที่เวลา 280 วินาที ผู้อพยพคนสุดท้ายออกจากอาคาร

2. ตารางสรุปผลการอพยพ

ตารางที่ 16 แสดงเวลาที่ใช้ทั้งหมดในการอพยพออกจากอาคารหอพักนิสิต

กรณี ที่	จำนวนผู้อพยพ (คน)	ติดตั้งแผง กันควันไฟ (ขนาด 30 cm)	ขนาดประตู ทางออก (m)	เวลาที่ใช้ อพยพจริง (วินาที/นาที)	จำนวนผู้เสียชีวิต (คน)
1	480	ไม่ติดตั้ง	1	462/7.70	ไม่มี
2	480	ติดตั้ง	1	463/7.72	ไม่มี
3	480	ไม่ติดตั้ง	2	278/4.63	ไม่มี
4	480	ติดตั้ง	2	280/4.66	ไม่มี

ตารางที่ 17 แสดงจำนวนผู้อพยพที่เลือกใช้บันไดทั้งสองฝั่งของอาคารหอพักนิสิต

กรณี ที่	จำนวนผู้อพยพ (คน)	ขนาดกองเพลิง (MW)	เวลาจำลองสถานการณ์ (นาที)	บันได ด้านซ้าย (คน)	บันไดด้านขวา (คน)
1	480	7	600/10	190	194
2	480	7	600/10	190	194
3	480	7	600/10	192	192
4	480	7	600/10	192	192

3. ผลของอุณหภูมิภายในอาคาร (Temperature)

ตารางที่ 18 ตารางแสดงอุณหภูมิของชั้นที่ 1 ที่เวลา 460 วินาที

กรณี ที่	อุณหภูมิเฉลี่ยของชั้นที่ 1 (°C)														
	หน้าบันไดด้านซ้าย					ในช่องบันไดด้านซ้าย					หน้าบันไดด้านขวา				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	48.2	51.2	50.0	60.1	201	39.5	48.3	55.0	58.4	51.8	30.4	36.0	36.0	35.7	35.2
2	43.7	44.0	44.9	48.9	59.6	34.0	35.8	38.2	35.5	37.7	35.8	36.5	36.2	35.2	34.9
3	45.8	48.1	52.4	68.4	196	38.3	42.4	45.7	56.0	52.6	35.1	36.3	36.3	35.5	35.0
4	43.1	45.6	47.6	42.9	95.7	35.5	33.9	37.1	42.4	41.9	34.5	36.7	36.3	36.0	35.3

ตารางที่ 19 ตารางแสดงอุณหภูมิของชั้นที่ 2 ที่เวลา 250 วินาที

กรณี ที่	อุณหภูมิเฉลี่ยของชั้นที่ 2 (°C)														
	หน้าบันไดด้านซ้าย					ในช่องบันไดด้านซ้าย					หน้าบันไดด้านขวา				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	29.1	28.9	29.7	31.9	53.5	42.1	44.4	43.0	44.9	43.4	26.9	26.8	27.9	27.8	26.6
2	27.7	29.2	29.7	32.8	38.9	29.2	32.1	28.3	29.3	30.9	26.5	26.7	26.3	26.6	26.1
3	29.0	28.9	30.0	31.8	58.0	40.6	42.9	40.6	41.4	39.3	26.7	26.9	26.8	26.8	26.9
4	26.4	27.4	28.8	33.5	43.0	26.4	29.0	30.1	29.2	31.0	26.5	26.6	26.6	26.1	26.2

ตารางที่ 20 ตารางแสดงอุณหภูมิของชั้นที่ 3 ที่เวลา 220 วินาที

กรณี ที่	อุณหภูมิเฉลี่ยของชั้นที่ 3 (°C)														
	หน้าบันไดด้านซ้าย					ช่องบันไดด้านซ้าย					หน้าบันไดด้านขวา				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	28.8	29.2	30.8	35.8	46.6	36.2	35.7	34.8	34.2	33.5	26.6	26.6	26.5	26.6	26.6
2	27.1	29.7	31.0	32.8	37.9	28.2	30.5	29.2	28.1	29.3	26.1	26.2	26.1	26.4	26.3
3	27.2	29.2	31.2	30.2	44.5	30.6	31.2	30.6	31.3	31.4	26.5	26.6	26.5	26.5	26.5
4	27.2	28.5	26.0	29.6	40.6	27.9	29.2	29.1	29.2	25.7	26.3	26.3	26.3	26.4	26.4

ตารางที่ 21 ตารางแสดงอุณหภูมิของชั้นที่ 4 ที่เวลา 180 วินาที

กรณี ที่	อุณหภูมิเฉลี่ยของชั้นที่ 4 (°C)														
	หน้าบันไดด้านซ้าย					ช่องบันไดด้านซ้าย					หน้าบันไดด้านขวา				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	26.7	28.7	32.0	35.2	40.2	34.8	34.9	35.4	35.5	35.4	26.2	26.3	26.2	26.3	26.4
2	26.8	26.8	26.9	29.7	37.0	29.6	30.2	30.3	30.2	30.2	25.5	26.0	25.9	25.9	26.0
3	26.1	28.4	29.6	32.4	36.9	28.1	29.1	29.3	29.6	21.2	26.3	26.4	26.2	26.3	26.2
4	26.6	27.2	27.0	28.9	36.7	29.3	29.8	29.8	29.8	29.9	25.2	25.6	25.9	25.7	26.0

ตารางที่ 22 ตารางแสดงอุณหภูมิของชั้นที่ 5 ที่เวลา 100 วินาที

กรณี ที่	อุณหภูมิเฉลี่ยของชั้นที่ 5 (°C)									
	หน้าบันไดด้านซ้าย					หน้าบันไดด้านขวา				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	32.3	32.2	32.4	32.2	32.1	25.6	25.7	25.6	25.7	25.5
2	30.8	30.4	29.8	29.7	29.9	25.4	25.4	25.3	25.3	25.4
3	31.9	31.5	32.0	32.0	31.8	25.6	25.7	25.8	25.7	25.5
4	30.2	29.8	28.4	29.5	29.5	25.4	25.4	25.4	25.4	25.4

การตรวจวัดอุณหภูมิในแต่ละตำแหน่งจะแปรผันตามการติดตั้งแผงกันควันไฟ ตำแหน่งห้องดันเพลิงจะมีปริมาณความร้อนสูงที่สุด ควันไฟจะไหลออกทางประตูไหลไปชนเพดานตามช่องทางเดินโดยกระจายไปได้ทั่วทุกทิศ เพราะขนาดคานเท่ากัน แต่จากการกำหนดให้ห้องดันเพลิงให้อยู่ใกล้บันได ทำให้ควันไฟบางส่วนสามารถไหลเข้าไปในช่องบันได บริเวณหน้าช่องบันไดของชั้นที่ 1 มีควันไหลเข้าไปโดยตรงทำให้บริเวณนี้มีอุณหภูมิสูงมากโดยเฉพาะตำแหน่งหน้าช่องบันได ในกรณีที่ 1 และ 3 จะเป็นการใช้อาคารจริงที่ใช้งานไม่มีแผงกันควันไฟ ทำให้อุณหภูมิสูงกว่ากรณีที่ 2 และ 4 โดยเฉพาะในตำแหน่งหน้าช่องบันไดด้านซ้ายของชั้นที่ 1 ซึ่งอุณหภูมิที่วัดได้อยู่ในระดับที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ

4. ผลของระดับปริมาณออกซิเจน (Oxygen)

ตารางที่ 23 ปริมาณก๊าซออกซิเจนของชั้นที่ 1 ที่เวลา 460 วินาที

กรณี ที่	ปริมาณก๊าซออกซิเจนของชั้นที่ 1 (%)										
	ตำแหน่งอุปกรณ์ตรวจวัดก๊าซออกซิเจน										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	20	20	20	20	20	20	20	20	20	9	20
2	20	20	20	20	20	20	20	20	20	6.4	20
3	20	20	20	20	20	20	20	20	20	5.7	20
4	20	20	20	20	20	20	20	20	20	6.4	20

ตารางที่ 24 ปริมาณก๊าซออกซิเจนของชั้นที่ 2 ที่เวลา 250 วินาที

กรณี ที่	ปริมาณก๊าซออกซิเจนของชั้นที่ 2 (%)								
	ตำแหน่งอุปกรณ์ตรวจวัดก๊าซออกซิเจน								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	21	21	21	21	21	21	21	21	21
2	21	20	20	20	20	20	20	20	20
3	21	21	21	21	21	21	21	21	20
4	21	21	21	20	21	20	21	20	20

ตารางที่ 25 ปริมาณก๊าซออกซิเจนของชั้นที่ 3 ที่เวลา 220 วินาที

กรณี ที่	ปริมาณก๊าซออกซิเจนของชั้นที่ 3 (%)								
	ตำแหน่งอุปกรณ์ตรวจวัดก๊าซออกซิเจน								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	21	21	21	21	21	21	21	21	21
2	21	21	21	21	21	21	21	21	20
3	21	21	20	21	20	21	20	20	20
4	21	21	20	20	20	20	20	20	20

ตารางที่ 26 ปริมาณก๊าซออกซิเจนของชั้นที่ 4 ที่เวลา 180 วินาที

กรณี ที่	ปริมาณก๊าซออกซิเจนของชั้นที่ 4 (%)								
	ตำแหน่งอุปกรณ์ตรวจวัดก๊าซออกซิเจน								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	21	21	21	21	21	21	21	21	21
2	21	21	21	20	21	21	21	21	20
3	20	21	20	20	20	20	21	20	20
4	20	20	20	20	20	20	20	20	20

ตารางที่ 27 ปริมาณก๊าซออกซิเจนของชั้นที่ 5 ที่เวลา 100 วินาที

กรณี ที่	ปริมาณก๊าซออกซิเจนของชั้นที่ 5 (%)							
	ตำแหน่งอุปกรณ์ตรวจวัดก๊าซออกซิเจน							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	21	21	21	21	21	21	21	21
2	21	21	21	20	21	21	21	21
3	20	20	20	20	20	20	21	20
4	20	20	20	20	20	21	21	20

การตรวจวัดก๊าซออกซิเจนจะติดตั้งอุปกรณ์ไว้ในตำแหน่งสูงจากพื้น 1.5 เมตร ซึ่งตามช่วงเวลาการตรวจวัดในแต่ละช่วง ชั้นควันระดับสุดท้ายยังอยู่ในระดับที่สูงกว่าตำแหน่งอุปกรณ์ตรวจวัด ทำให้ค่าที่ได้อยู่ในระดับที่ไม่เป็นอันตรายต่อชีวิต จะมีค่าการตรวจวัดที่อยู่ในระดับอันตรายต่อชีวิตเพียงตำแหน่งห้องดันเพลิงเท่านั้น

5. ผลของระดับปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon monoxide)

ตารางที่ 28 ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ของชั้นที่ 1 ที่ เวลา 460 วินาที

กรณี ที่	ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ชั้นที่ 1 (PPM)										
	ตำแหน่งอุปกรณ์ตรวจวัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	800	565	562	726	660	761	856	951	1300	37100	1770
2	390	634	711	714	463	1100	597	684	1200	34500	525
3	1000	641	681	618	838	843	839	870	1250	36400	1090
4	760	455	606	780	539	931	681	891	1150	34000	597

ตารางที่ 29 ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ของชั้นที่ 2 ที่ เวลา 250 วินาที

กรณี ที่	ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ของชั้นที่ 2 (%)								
	ตำแหน่งอุปกรณ์ตรวจวัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	3.49	6.21	1.75	278	111	22.4	11.8	10.6	1300
2	0.25	0.87	0.211	275	458	18.0	5.63	5.82	175
3	14.4	8.10	0.71	243	219	12.7	3.26	2.67	1110
4	0.03	2.47	0.58	168	428	9.45	7.42	31.7	281

ตารางที่ 30 ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ของชั้นที่ 3 ที่ เวลา 220 วินาที

กรณี ที่	ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ของชั้นที่ 3 (%)								
	ตำแหน่งอุปกรณ์ตรวจวัดก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	13.4	9.70	0	415	17.5	16.5	17.3	28.9	689
2	16.4	0	0	339	159	27.2	19.3	13.5	264
3	56.8	19.3	0	429	17.7	27.3	29.6	7.83	780
4	3.51	0	0	274	185	15.7	13.7	4.39	269

ตารางที่ 31 ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ของชั้นที่ 4 ที่ เวลา 180 วินาที

กรณี ที่	ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ของชั้นที่ 4 (%)								
	ตำแหน่งอุปกรณ์ตรวจวัดก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0.17	0	0	530	0.43	31.8	95.8	39.9	851
2	0	0	0	100	2.82	1.17	82.4	15.2	452
3	14.9	0	0	332	9.15	40.5	124	15.1	932
4	0.21	0.92	0	154	0.53	0.35	11.9	53.1	382

ตารางที่ 32 ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ของชั้นที่ 5 ที่ เวลา 100 วินาที

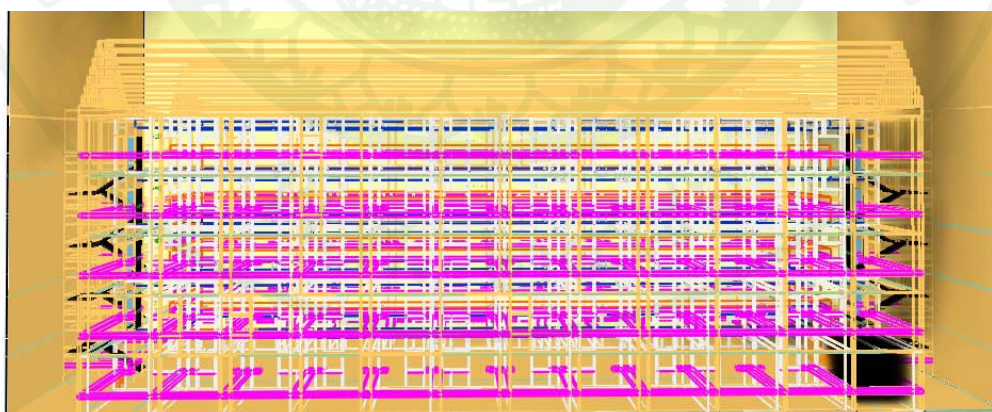
กรณี ที่	ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ของชั้นที่ 5 (%)							
	ตำแหน่งอุปกรณ์ตรวจวัดก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	0	0	778	217	0	0	0
2	0	0	0	433	0	0	0	0
3	0	0	0	744	201	0	0	0
4	0	0	0	412	0	0	0	0

การตรวจวัดก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ในตำแหน่งห้องต้นเพลิงจะมีปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์สูงที่สุดควันไฟจะไหลออกทางประตูและไหลไปชนเพดานตามช่องทางเดินบางส่วน จะไหลออกทางช่องเปิดภายในตรงหน้าห้องที่อยู่ถัดจากห้องต้นเพลิง ซึ่งเป็นตำแหน่งอุปกรณ์ตรวจที่ 4 และ 5 ของชั้นที่ 2 – 5 ทำให้ปริมาณที่ตรวจวัดได้มีค่าที่สูงของทั้ง 4 กรณี การกระจายตัวของควันจะไปได้ทั่วทุกทิศโดยเฉพาะของกรณีที่ 1 และ 3 เพราะขนาดคานเท่ากันมีผลทำให้เกิดการรวมตัวของก๊าซในช่องบันได ซึ่งค่าที่วัดได้อยู่ในปริมาณที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ ส่วนในกรณีที่ 2 และ 4 ค่าที่วัดได้ในช่องบันไดอยู่ในระดับที่ไม่เป็นอันตรายเพราะได้ทำการติดตั้งแผงกันไฟบริเวณหน้าช่องบันไดมีผลทำให้ควันไหลเข้าช่องบันไดได้น้อยลง

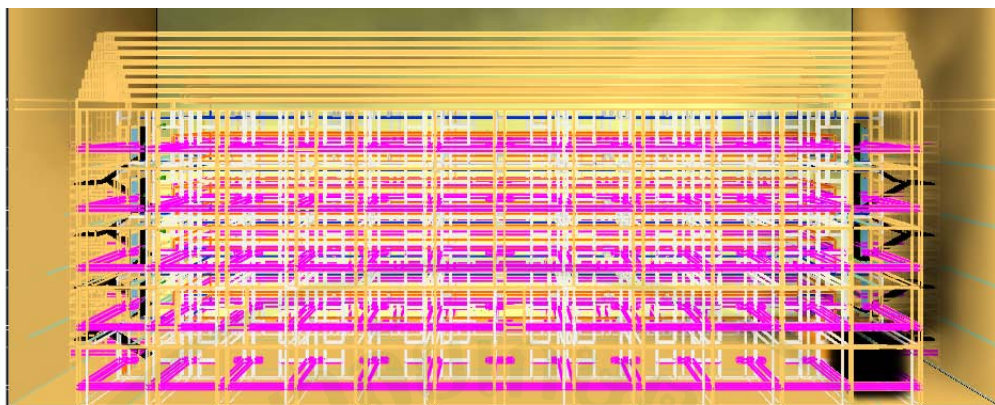
6. การเคลื่อนที่ของกลุ่มควัน (Smoke movement)

การเคลื่อนที่ของกลุ่มควัน เริ่มจากจุดต้นเพลิงชั้นที่ 1 ควันเริ่มเคลื่อนที่ออกจากห้องต้นเพลิงไหลออกไปภายนอกอาคาร ขณะเดียวกันควันก็เคลื่อนที่ขึ้นไปชั้นที่ 2, 3, 4 และชั้นที่ 5 โดยกำหนดเวลาที่ใช้ในการแสดงจากระยะเวลาในการอพยพออกจากแต่ละชั้นของอาคาร

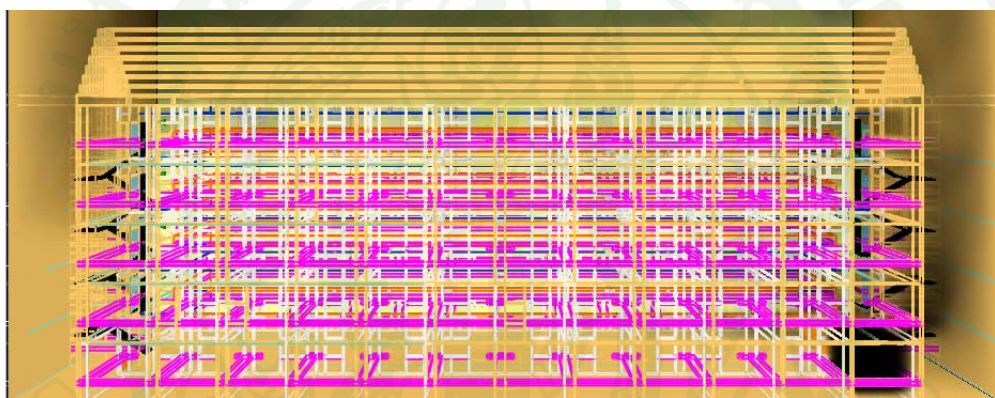
5.1 การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันกรณีที่ 1 ขนาดกองเพลิง 7 MW เวลาจำลองสถานการณ์ 600 วินาที



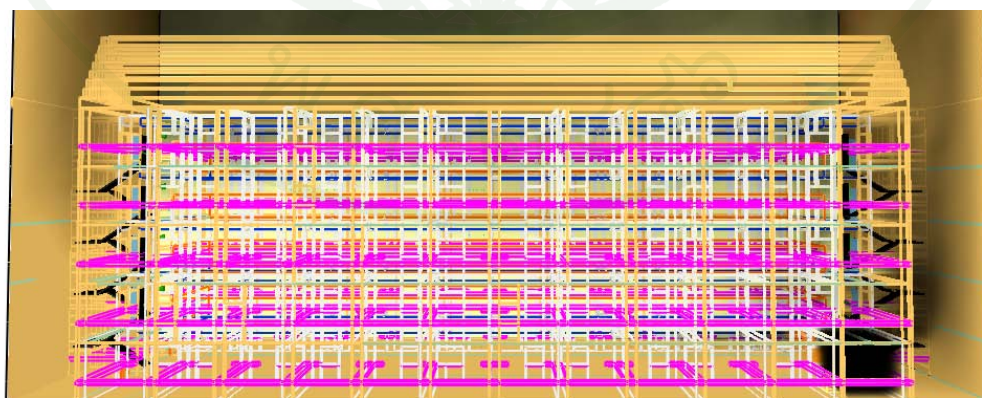
ภาพที่ 57 การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันที่เวลา 96 วินาที กรณีที่ 1



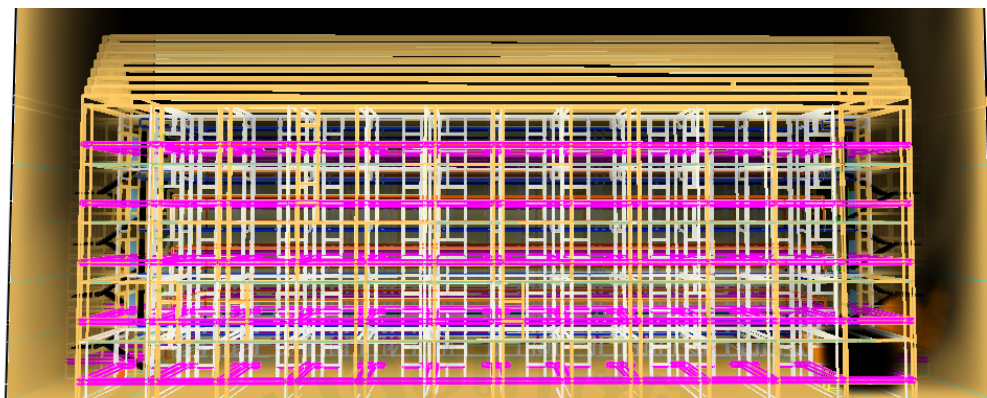
ภาพที่ 58 การเคลื่อนที่ของกลุ่มคานที่เวลา 177 วินาที กรณีที่ 1



ภาพที่ 59 การเคลื่อนที่ของกลุ่มคานที่เวลา 212 วินาที กรณีที่ 1

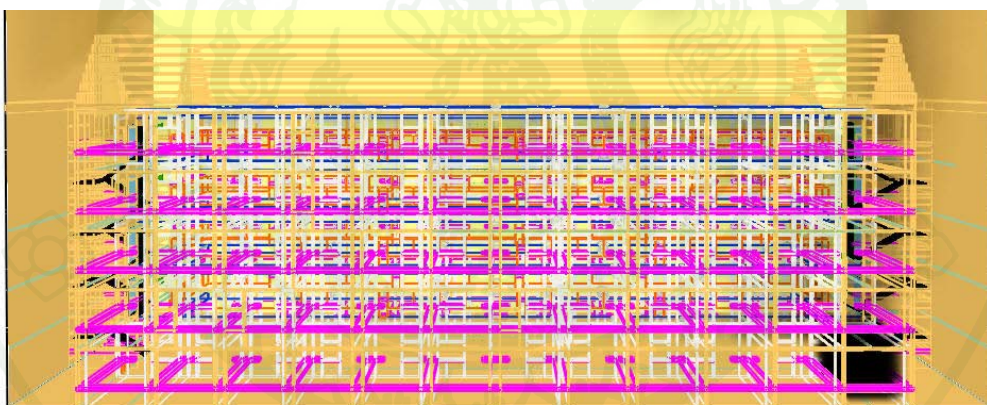


ภาพที่ 60 การเคลื่อนที่ของกลุ่มคานที่เวลา 250 วินาที กรณีที่ 1

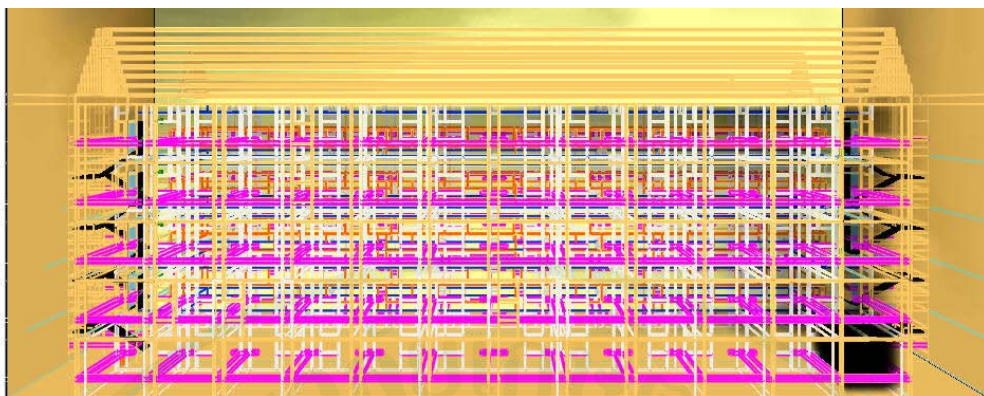


ภาพที่ 61 การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันที่เวลา 462 วินาที กรณีที่ 1

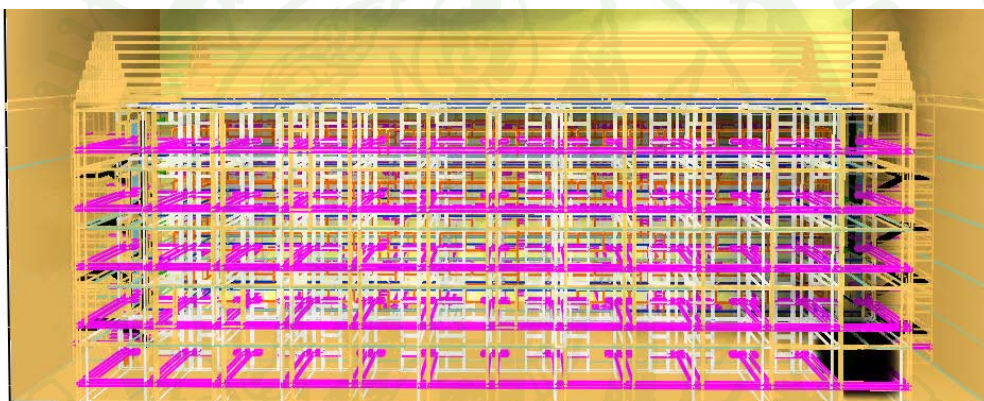
5.2 การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันกรณีที่ 2 ขนาดกองเพลิง 7 MW เวลาจำลองสถานการณ์ 600 วินาที



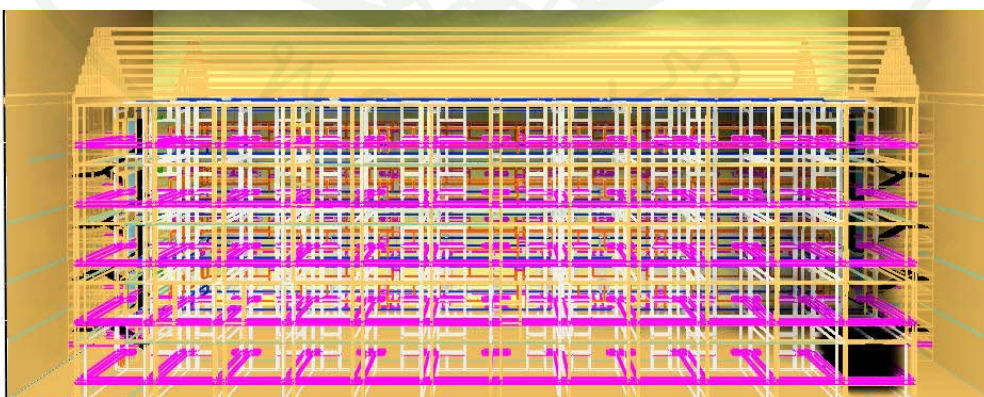
ภาพที่ 62 การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันที่เวลา 83 วินาที กรณีที่ 2



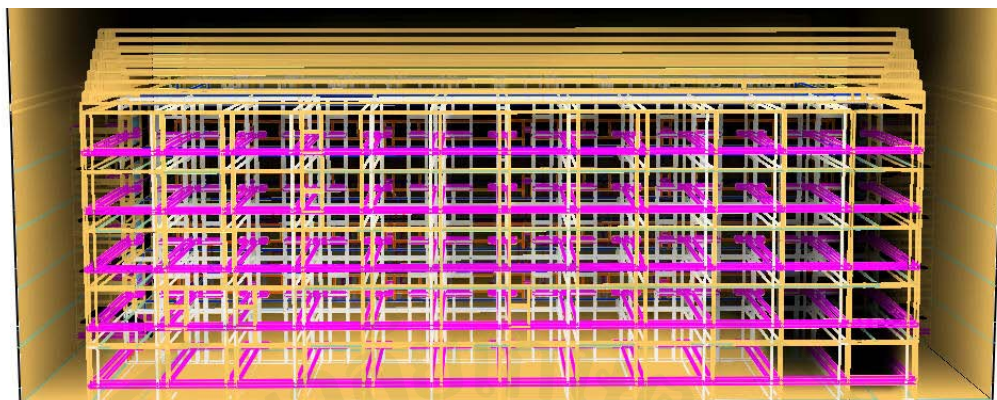
ภาพที่ 63 การเคลื่อนที่ของกลุ่มคานที่เวลา 166 วินาที กรณีที่ 2



ภาพที่ 64 การเคลื่อนที่ของกลุ่มคานที่เวลา 205 วินาที กรณีที่ 2

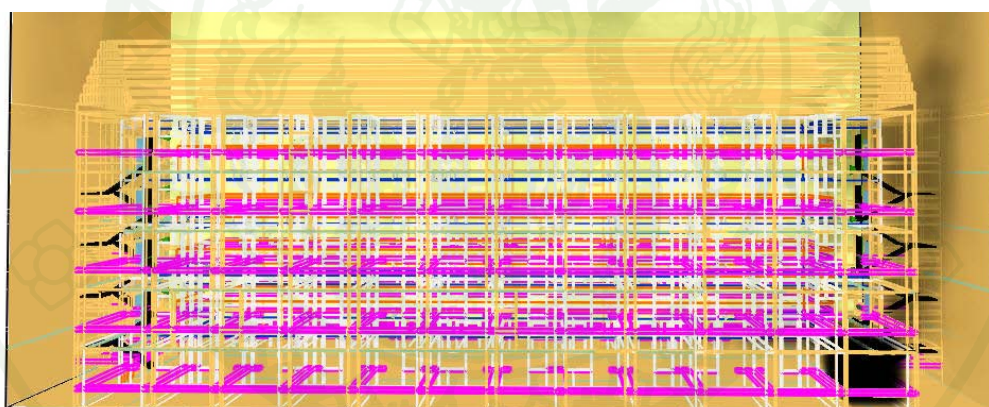


ภาพที่ 65 การเคลื่อนที่ของกลุ่มคานที่เวลา 239 วินาที กรณีที่ 2

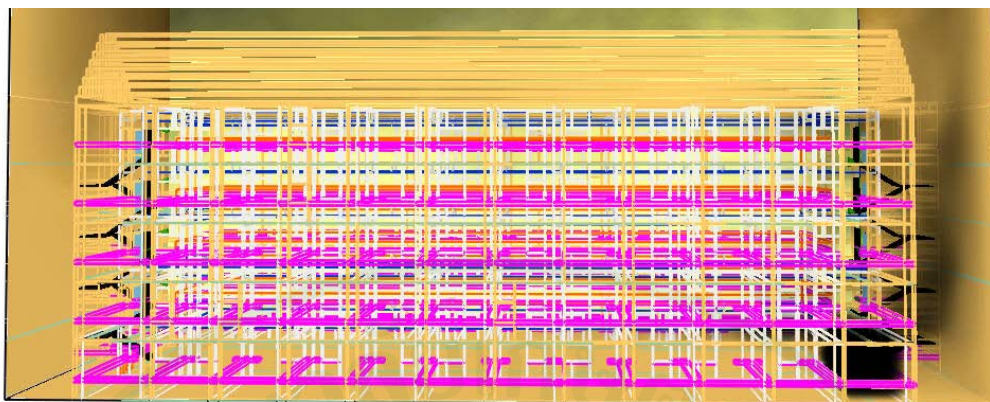


ภาพที่ 66 การเคลื่อนที่ของกลุ่มคานที่เวลา 463 วินาที กรณีที่ 2

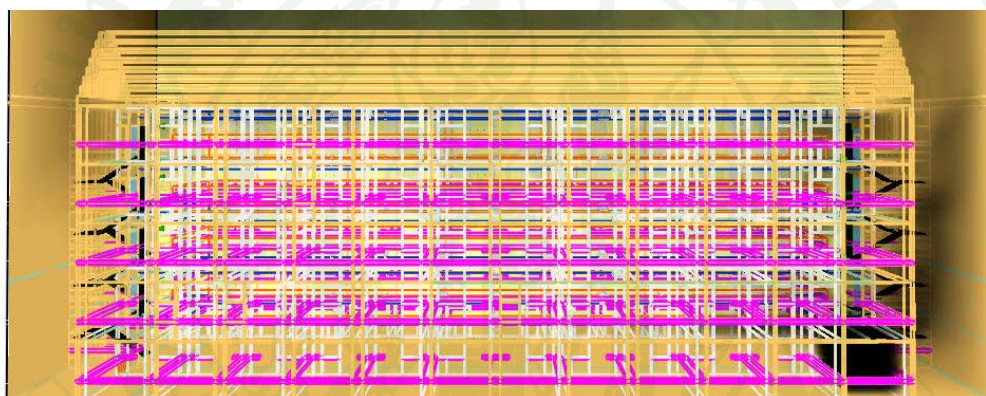
5.3 การเคลื่อนที่ของกลุ่มคานกรณีที่ 3 ขนาดกองเพลิง 7 MW เวลาจำลองสถานการณ์ 600 วินาที



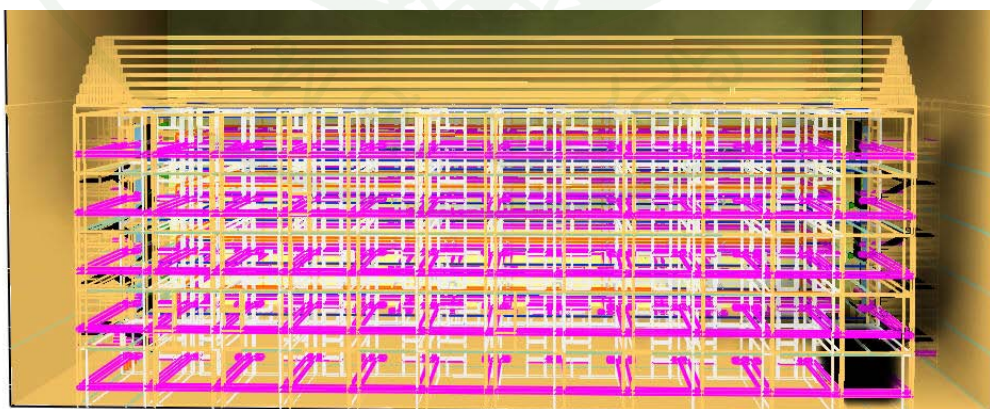
ภาพที่ 67 การเคลื่อนที่ของกลุ่มคานที่เวลา 86 วินาที กรณีที่ 3



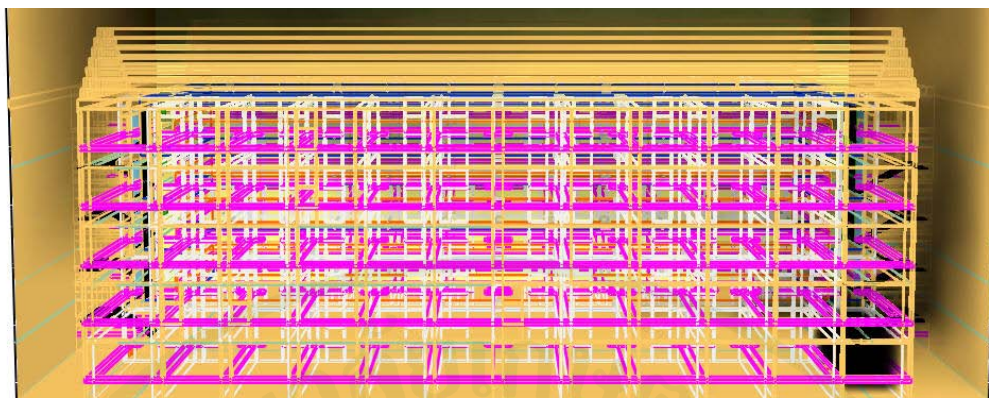
ภาพที่ 68 การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันที่เวลา 181 วินาที กรณีที่ 3



ภาพที่ 69 การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันที่เวลา 218 วินาที กรณีที่ 3

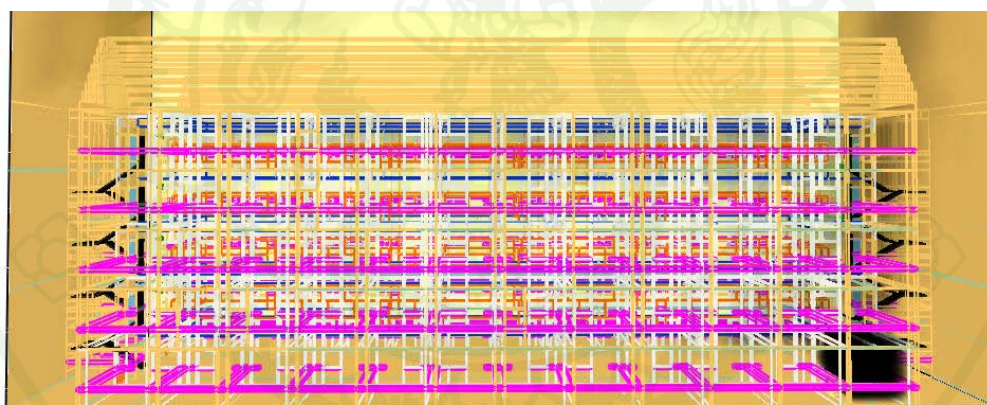


ภาพที่ 70 การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันที่เวลา 248 วินาที กรณีที่ 3

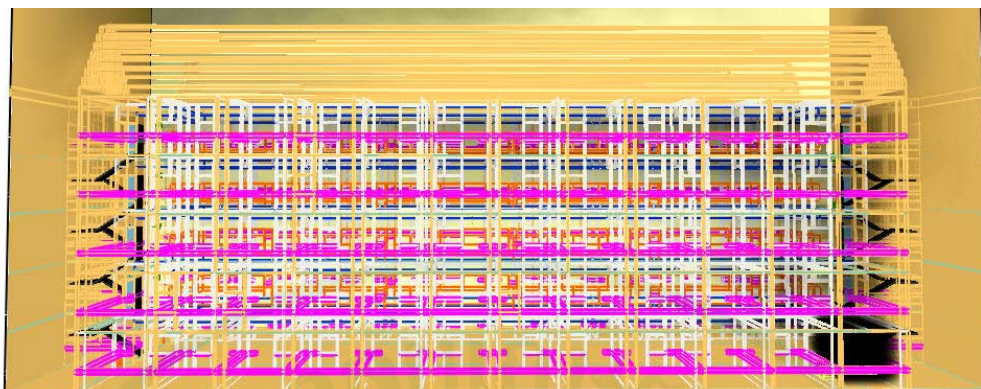


ภาพที่ 71 การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันที่เวลา 278 วินาที กรณีที่ 3

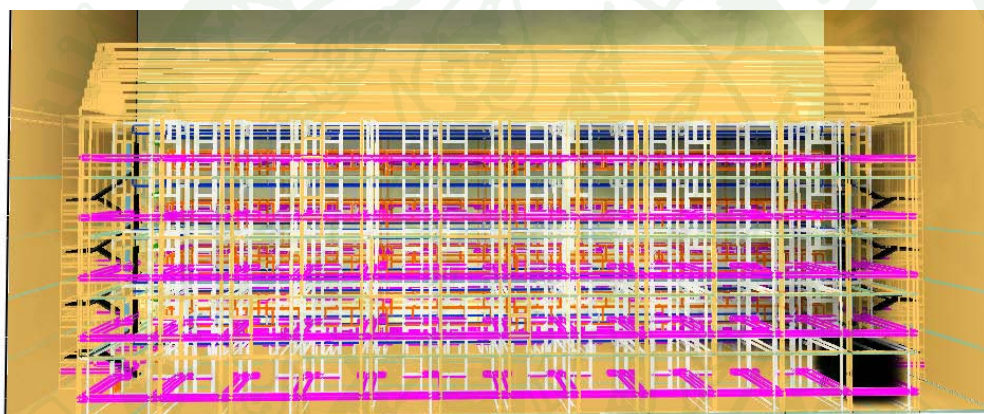
5.4 การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันกรณีที่ 4 ขนาดกองเพลิง 7 MW เวลาจำลองสถานการณ์ 600 วินาที



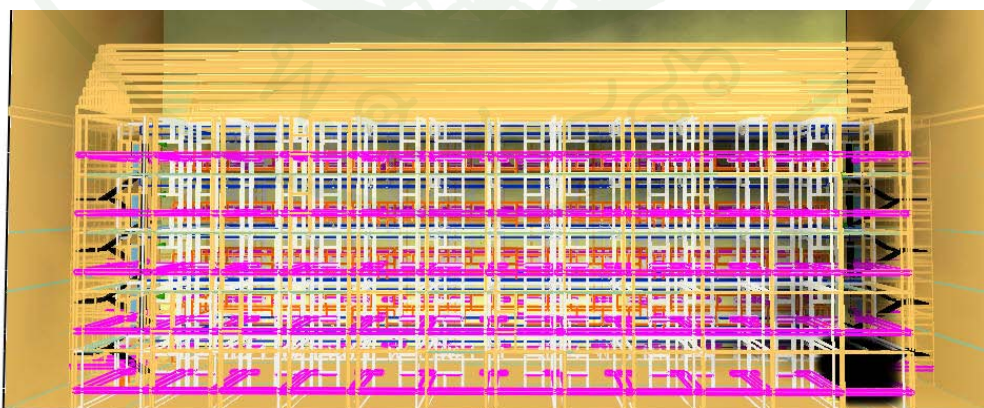
ภาพที่ 72 การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันที่เวลา 84 วินาที กรณีที่ 4



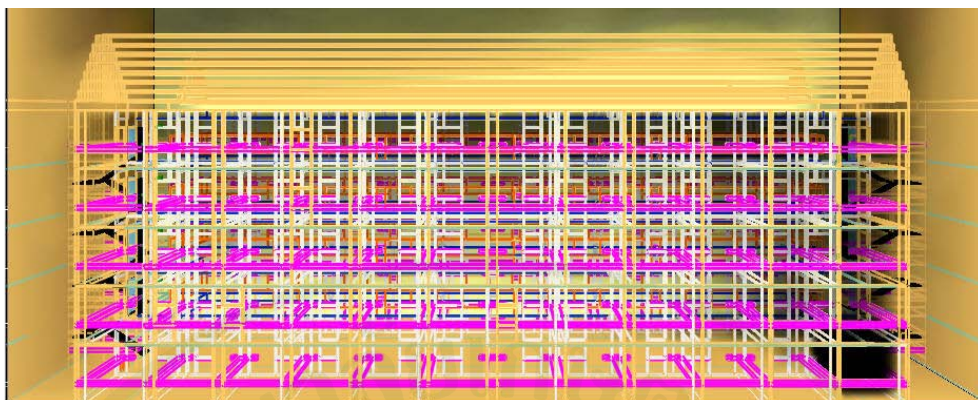
ภาพที่ 73 การเคลื่อนที่ของกลุ่มคานที่เวลา 180 วินาที กรณีที่ 4



ภาพที่ 74 การเคลื่อนที่ของกลุ่มคานที่เวลา 217 วินาที กรณีที่ 4



ภาพที่ 75 การเคลื่อนที่ของกลุ่มคานที่เวลา 245 วินาที กรณีที่ 4

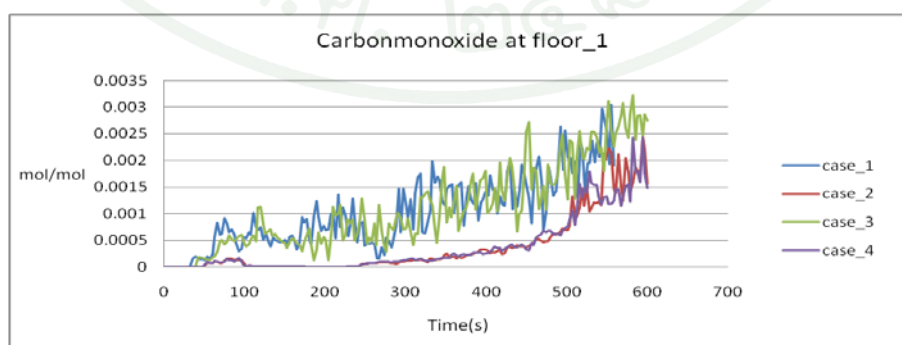


ภาพที่ 76 การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันที่เวลา 280 วินาที กรณีที่ 4

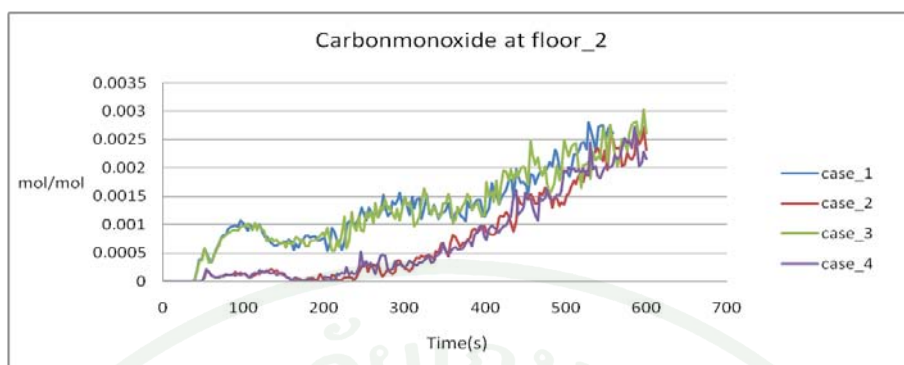
การไหลของกลุ่มควันในกรณีที่ 1 และ 3 จะแตกต่างกับกรณีที่ 2 และ 4 จากการติดตั้งแผงกันควันไฟ ทำให้การไหลของควันไปในกรณีที่ 1 และ 3 ควันไฟจะไหลไปในทุกทิศทางในปริมาณใกล้เคียงกันทำให้ควันไฟบางส่วนจะไหลเข้าสู่ช่องบันไดทำให้เป็นอุปสรรคต่อผู้อพยพ เพราะมีการรอคอยของผู้อพยพในช่องบันได ในกรณีที่ 2 และ 4 ปริมาณควันไฟจะไหลเข้าสู่ช่องบันไดเป็นบางส่วนในปริมาณที่น้อยกว่า แต่ปริมาณควันที่ไหลไปในส่วนช่องทางจะมีปริมาณก๊าซที่สูงกว่ากรณีที่ 1 และ 3

7. กราฟแสดงปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ อุณหภูมิ และค่าความสามารถในการมองเห็นในช่องบันไดของทั้ง 4 กรณี

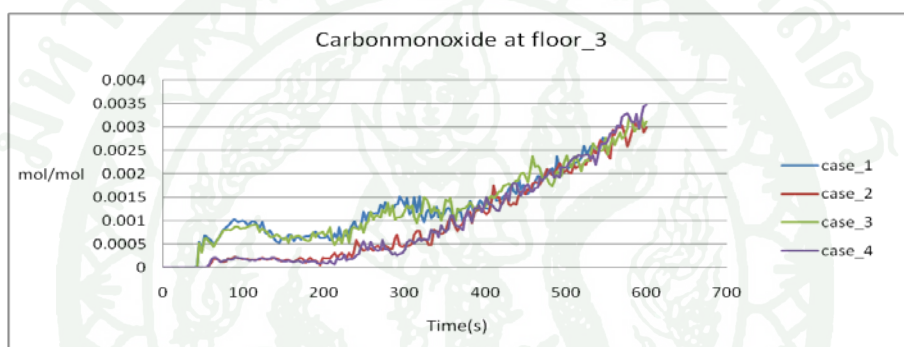
6.1 กราฟแสดงเปรียบเทียบปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ ในช่องบันไดทั้ง 4 กรณี



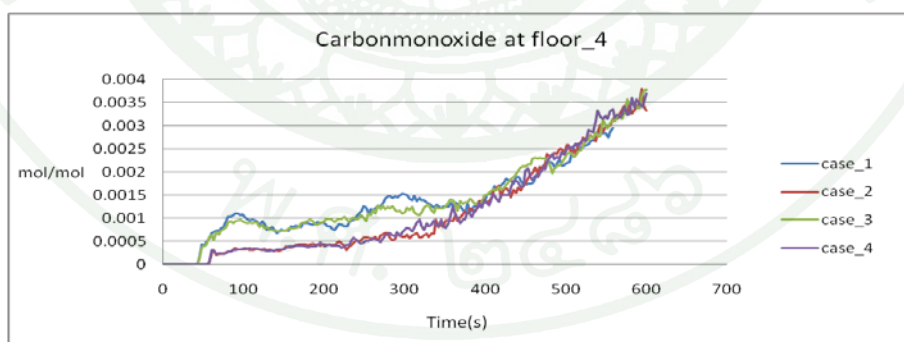
ภาพที่ 77 กราฟปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์ชั้นที่ 1



ภาพที่ 78 กราฟปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ชั้นที่ 2



ภาพที่ 79 กราฟปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ชั้นที่ 3

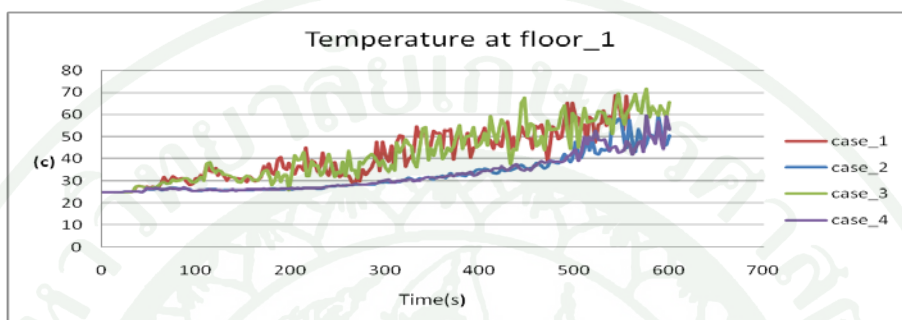


ภาพที่ 80 กราฟปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ชั้นที่ 4

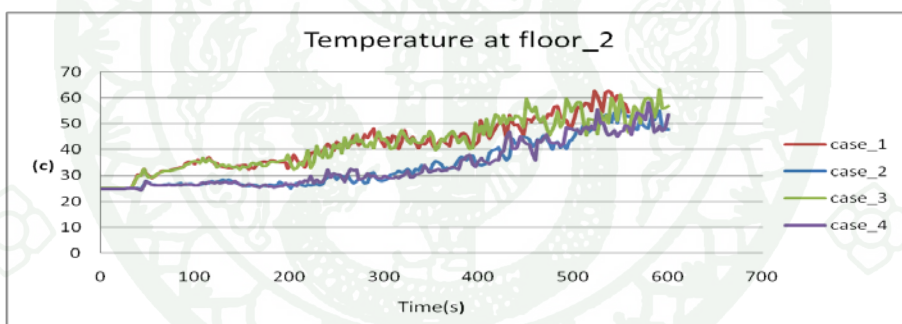
จากภาพที่ 77-80 เป็นการตรวจวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในห้องบันไดทั้ง 4 กรณีแตกต่างกัน โดยเฉพาะในกรณีที่ 1 และ 3 ไม่มีการติดตั้งแผงกั้นควันไฟทำให้ปริมาณการ

ตรวจวัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในช่องบันไดสูงกว่าในกรณีที่ 2 และ 4 โดยเฉพาะในชั้นที่ 1 ค่าความแตกต่างจะเห็นได้ชัดเจน

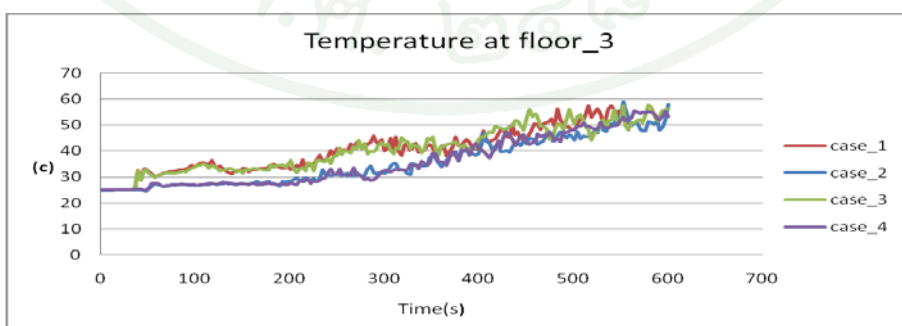
6.2 กราฟแสดงเปรียบเทียบอุณหภูมิในช่องบันไดทั้ง 4 กรณี



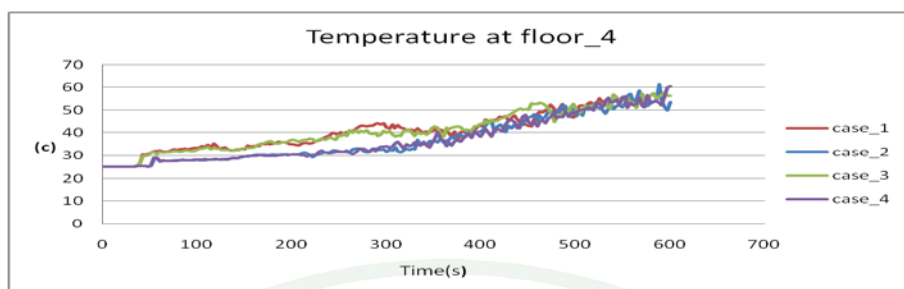
ภาพที่ 81 กราฟอุณหภูมิชั้นที่ 1



ภาพที่ 82 กราฟอุณหภูมิชั้นที่ 2



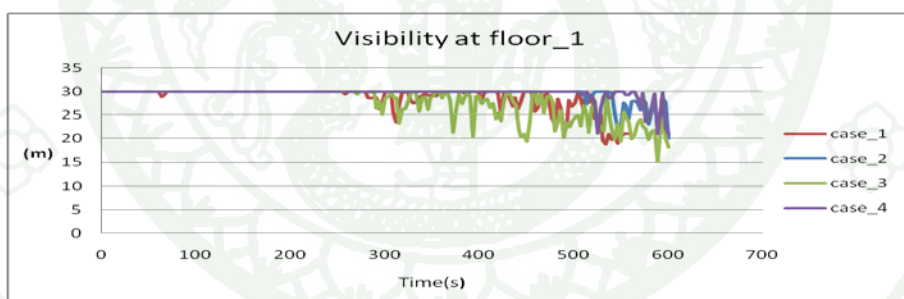
ภาพที่ 83 กราฟอุณหภูมิชั้นที่ 3



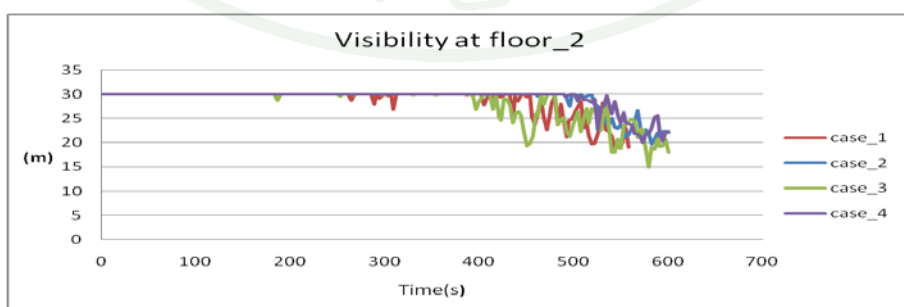
ภาพที่ 84 กราฟอุณหภูมิชั้นที่ 4

จากภาพที่ 81-84 ค่าการตรวจวัดอุณหภูมิในช่องบันไดของกรณี ที่ 1 และ 3 ค่าการวัดอุณหภูมิสูงกว่าและค่าอุณหภูมิที่สูงขึ้นอย่างไม่มีทิศทางที่แน่นอนเพราะปริมาณควันไฟที่ไหลเข้าช่องบันไดที่ไม่แน่นอน ในขณะที่กรณี ที่ 2 และ 4 ที่ติดตั้งแผงกั้นควันไฟทำให้ปริมาณควันไฟน้อยกว่าและค่าอุณหภูมิต่ำกว่า

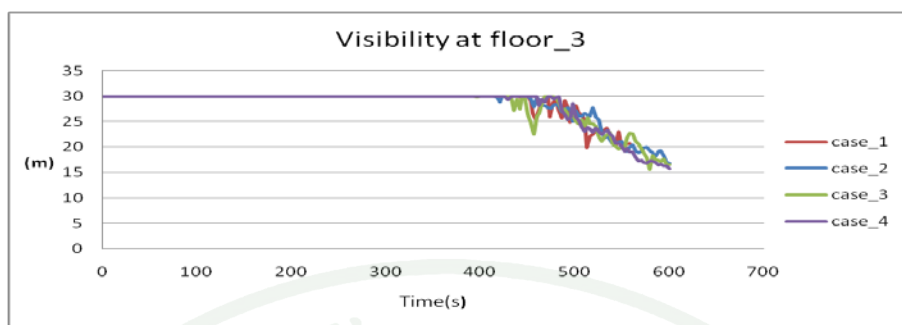
6.3 กราฟแสดงเปรียบเทียบค่าความสามารถในการมองเห็นในช่องบันไดทั้ง 4 กรณี



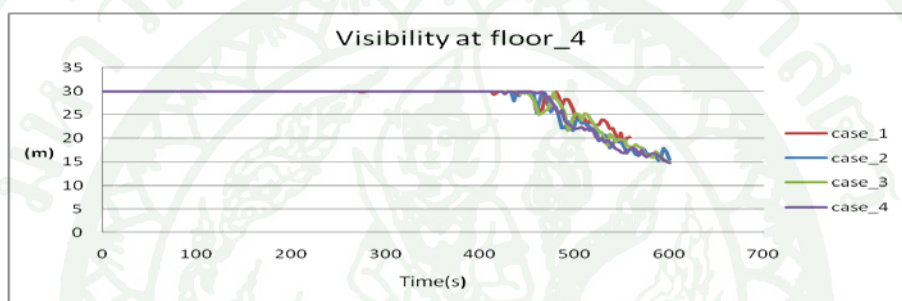
ภาพที่ 85 กราฟค่าความสามารถในการมองเห็นชั้นที่ 1



ภาพที่ 86 กราฟค่าความสามารถในการมองเห็นชั้นที่ 2



ภาพที่ 87 กราฟค่าความสามารถในการมองเห็นชั้นที่ 3



ภาพที่ 88 กราฟค่าความสามารถในการมองเห็นชั้นที่ 4

จากภาพที่ 85-88 ค่าการตรวจวัดค่าความสามารถในการมองเห็นของทั้ง 4 กรณีจะมีค่าการมองเห็นที่ใกล้เคียงกัน จะต่างกันในระดับที่ 1 และ 2 ที่ค่าการมองเห็นของกรณีที่ 2 และ 4 จะดีกว่ากรณีที่ 1 และ 3

วิจารณ์

1. จากตารางที่ 16 การอพยพออกจากอาคารหอพักนิสิตของกรณีที่ 1 และ 2 เวลาที่ใช้ในการอพยพใกล้เคียงกันแต่เวลาอพยพจะมากกว่าในกรณีที่ 3 และ 4 เนื่องจากขนาดประตูทางออกจากอาคารที่มีขนาดเล็กกว่า ทำให้ใช้เวลาในการอพยพมากกว่า

2. ตารางที่ 17 พบว่าผู้อพยพส่วนใหญ่เลือกใช้บันไดทั้ง 2 ด้านในจำนวนใกล้เคียงกัน

3. จากตารางที่ 18-22 อุณหภูมิทั้ง 4 กรณี ในช่วงระยะเวลาที่กำหนดจากการอพยพออกจากแต่ละชั้น ไม่มีผู้เสียชีวิตเพราะ ตามมาตรฐาน NFPA 130 อุณหภูมิสูงสุดที่มนุษย์ทนได้ คือ 60°C ซึ่งสามารถทนได้ไม่กี่ปาติ และตัวชี้วัดที่แสดงว่าผู้อพยพเสียชีวิต คือ Fractional Effective Dose (FED) มีค่าเท่ากับ 1 ซึ่งเป็นผลจากการบวกกันของอัตราส่วนของ CO , CO_2 และ O_2 โดยข้อมูลจากตารางมีเพียงตำแหน่งห้องดันเพลิงและหน้าห้องดันเพลิงเท่านั้น ในส่วนของตำแหน่งเส้นทางหนีไฟอุณหภูมิต่ำกว่า 60°C

4. จากตารางที่ 23-27 ค่าปริมาณออกซิเจนที่วัดได้ทั้ง 4 กรณี ดังนี้

4.1 ชั้นที่ 1 ปริมาณออกซิเจนน้อยสุดวัดได้ 6% ที่ตำแหน่งห้องดันเพลิงและมีตำแหน่งหน้าห้องดันเพลิงวัดได้ 17% ในส่วนตำแหน่งเส้นทางหนีไฟของแต่ละชั้นวัดค่าได้ 20-21% ซึ่งไม่เป็นอันตรายต่อผู้อพยพ

4.2 ชั้นที่ 2 ปริมาณออกซิเจนที่วัดได้ประมาณ 20-21% อยู่ในระดับที่ไม่เป็นอันตรายต่อชีวิต เพราะควันไฟลอยขึ้นสูงจึงไม่มีผลต่อค่าออกซิเจนในชั้นนี้

4.3 ชั้นที่ 3 ปริมาณออกซิเจนที่วัดได้ 20-21% อยู่ในระดับที่ไม่เป็นอันตรายต่อชีวิต เพราะควันไฟลอยขึ้นสูงจึงไม่มีผลต่อค่าออกซิเจนในชั้นนี้

4.4 ชั้นที่ 4 และ 5 ปริมาณออกซิเจนที่วัดได้ประมาณ 20-21% อยู่ในระดับที่ไม่เป็นอันตรายต่อชีวิต

5. จากตารางที่ 28-32 ค่าปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์ที่วัดได้ทั้ง 4 กรณี ดังนี้

5.1 ชั้นที่ 1 ปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์ที่วัดจาก 4 กรณี โดยกรณีที่ 1 และ 3 วัดได้ 1770 PPM, 1090 PPM อยู่ในตำแหน่งช่องบันได ซึ่งคนสามารถทนก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ได้น้อยกว่า 6 นาที แต่การอพยพของกรณีที่ 1 และ 3 ในช่วงเวลา 460 วินาที คนสามารถอพยพออกจากช่องบันไดได้ในเวลา 300 วินาที ทำให้ไม่มีคนเสียชีวิต กรณีที่ 2 และ 4 วัดปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์สูงสุดได้ 525 PPM, 597 PPM ในตำแหน่งหน้าช่องบันไดในช่วงเวลา 460 วินาที ไม่มีการรอคอยของผู้อพยพในตำแหน่งดังกล่าว ทำให้ไม่มีผู้เสียชีวิตในทั้ง 2 กรณี ตามช่วงเวลาการอพยพออกจากบันได จากกรณีที่ 1 ถึง 4 ตำแหน่งที่มีเสี่ยงต่อชีวิตคือ ในช่องบันไดของกรณีที่ 1 และ 3 จากการติดตั้งแผงกั้นควันไฟในกรณีที่ 2 และ 4 สามารถลดปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์ในช่องบันไดจนเหลือ 525 PPM, 597 PPM ซึ่งผลการอพยพ ผู้อพยพสามารถทนต่อปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์ได้นานมากกว่า 15 นาที

5.2 ชั้นที่ 2 ปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์สูงสุดที่วัดได้ 1300 PPM, 458 PPM, 1110 PPM, 528 PPM จากปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์ที่วัดได้ในกรณีที่ 1 และ 3 อยู่ในตำแหน่งในช่องบันไดในช่วงเวลาที่วัดได้คือ 250 วินาที ซึ่งผู้อพยพสามารถทนได้มากกว่า 6 นาที ทำให้ผู้อพยพสามารถอพยพผ่านไปได้อย่างปลอดภัยไม่เสียชีวิตทั้งกรณีที่ 1 ถึง 4 โดยที่ตำแหน่งจะอยู่หน้าบันไดหนีไฟซึ่งค่าที่วัดได้ยังไม่เป็นอันตรายถึงชีวิตสำหรับในช่วงเวลาที่ใช้ในการอพยพทำให้ไม่มีผู้เสียชีวิตในช่องบันไดชั้นที่ 2 ในกรณีที่ 2 และ 4 ค่าปริมาณสารสูงสุดที่วัดได้อยู่ในตำแหน่งหน้าช่องบันได ซึ่งผู้อพยพสามารถทนต่อปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์ได้ในช่วงเวลามากกว่า 15 นาที ซึ่งผู้อพยพสามารถอพยพได้ในเวลาไม่เกิน 250 วินาที เป็นผลให้ไม่มีผู้เสียชีวิต

5.3 ชั้นที่ 3 ปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์สูงสุดที่วัดได้ 689 PPM และ 780 PPM ของกรณีที่ 1 และ 3 ที่ตำแหน่งในช่องบันได ในช่วงเวลา 220 วินาที ซึ่งผู้อพยพสามารถทนได้อย่างน้อย 15 นาที แต่เวลาที่ใช้ในการอพยพออกจากชั้น 3 ใช้เวลาเพียง 220 วินาที ทำให้ไม่มีผู้เสียชีวิตในกรณีที่ 1 และ 3 ส่วนในกรณีที่ 2 และ 4 วัดปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์ได้ 264 PPM, 269 PPM ในตำแหน่งในช่องบันได ปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์ที่ตรวจวัด ผู้อพยพสามารถทนได้อย่างน้อย 15 นาที ซึ่งมากพอต่อการอพยพ ทำให้ไม่มีผู้เสียชีวิต

5.4 ชั้นที่ 4 ปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์สูงสุดที่วัดได้ คือ 851 PPM, 452 PPM , 932 PPM, 382 PPM ของกรณี 1, 2, 3 และ 4 ค่าที่วัดได้อยู่ในตำแหน่งช่องบันได ในช่วงเวลา 180 วินาที ซึ่งปริมาณที่วัดได้ผู้อพยพสามารถทนได้เป็นเวลามากกว่า 15 นาที ซึ่งผู้อพยพใช้เวลาในการอพยพเพียง 180 วินาทีจึงไม่มีอันตรายต่อชีวิต

5.5 ชั้นที่ 5 ปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์สูงสุดที่วัดได้ คือ 778 PPM, 433 PPM , 744 PPM, 412 ของกรณี 1, 2, 3 และ 4 ค่าที่วัดได้อยู่ในตำแหน่งช่องบันได ในช่วงเวลา 100 วินาที ซึ่งปริมาณที่วัดได้ผู้อพยพสามารถทนได้เป็นเวลามากกว่า 15 นาที ซึ่งเพียงพอต่อการอพยพที่ใช้เวลาเพียง 100 วินาที จึงไม่มีอันตรายต่อชีวิต

6. จากภาพที่ 60-79 การเคลื่อนที่ของกลุ่มควัน จากแหล่งต้นเพลิงชั้นที่ 1 โดยที่ห้องต้นเพลิงควันไฟจะลอยสูงจนเพดาน จะมีกักเก็บควันจากห้องต้นเพลิงจนชั้นควันระดับสุดท้ายเลยตำแหน่งประตูทางออก ควันจะเริ่มเคลื่อนตัวออกสู่ช่องทางเดิน จากนั้นควันจะไหลไปตามช่องทางเดินโดยควันจะไหลเข้าสู่ช่องบันได บางส่วนจะออกสู่ภายนอกอาคาร และบางส่วนจะไหลไปตามช่องทางเดินทำให้การมองเห็นของช่องทางเดินลดน้อยลง ควันบางส่วนจะไหลข้ามชั้นไปสู่ชั้น 2, 3, 4 และ 5 ได้โดยตรง ในส่วนของควันที่ไหลผ่านไปยังช่องบันไดทำให้เกิดการกักเก็บควันในบริเวณช่องบันได ซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการอพยพเพราะการมองเห็นลดลง และควันไฟเป็นอันตรายต่อชีวิต แต่ปริมาณควันที่สามารถไหลเข้าสู่ช่องบันไดในกรณี 1 และ 3 จะมีมากกว่ากรณี 2 และ 4 เพราะการปรับปรุงโดยติดตั้งแผงกั้นควันไฟ ทำให้ปริมาณควันที่ไหลเข้าสู่ช่องบันไดลดลง

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

จากการจำลองโปรแกรมทำให้ทราบว่า การอพยพออกจากอาคาร จะเกิดการรอคอยของผู้อพยพในบริเวณประตูทางออก เพราะขนาดประตูทางออกมีขนาดเล็กเกินไป ไม่เหมาะกับจำนวนผู้คนที่อยู่อาศัย และในกรณีที่เกิดเหตุเพลิงไหม้ในบริเวณใกล้ห้องบันไดจะส่งผลต่อผู้อพยพทางบันได เพราะบันไดไม่สามารถปิดกั้นควันไฟได้ เป็นผลทำให้ ควันไฟสามารถลอยเข้าสู่ห้องบันไดได้

จากการปรับปรุงขนาดประตูทางออกสู่ภายนอกอาคาร จากขนาด 1 เมตร เป็น 2 เมตร เป็นผลทำให้เวลาที่ใช้ในการอพยพลดลงจากกรณีที่ 1 และ 2 ใช้เวลาในการอพยพ 462 วินาที และ 463 วินาที เวลาที่ใช้ในกรณีที่ 3 และ 4 ใช้เวลาในการอพยพ 278 วินาที และ 280 วินาที โดยกรณีที่ 3 และ 4 จากการแก้ไขขนาดประตูเป็น 2 เมตร ทำให้ไม่เกิดการรอคอยบริเวณประตูทางออกของกรณีที่ 3 และ 4 จากการติดตั้งแผงกันควันไฟขนาดกว้าง 30 เซนติเมตร ยาว 2 เมตร ในตำแหน่งได้คานก่อนเข้าสู่ห้องบันไดเป็นผลทำให้ สามารถลดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และลดอุณหภูมิที่เกิดจากควันไฟได้ จากกรณีที่ 1 และ 3 วัดปริมาณอุณหภูมิได้ 201°C และ 196°C และกรณีที่ 2 และ 3 วัดปริมาณอุณหภูมิได้ 59.6°C และ 55.7°C คิดเป็นเปอร์เซ็นต์การลดลงเฉลี่ยของอุณหภูมิจากกรณีที่ 1 และ 3 กับกรณีที่ 2 และ 4 ได้ถึง 71.9% ในตำแหน่งในห้องบันได ในช่วงเวลา 460 วินาที และค่าการวัดปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ จากกรณีที่ 1 และ 3 วัดได้ 1770 PPM และ 1090 PPM และกรณีที่ 2 และ 4 วัดได้ 525 PPM และ 597 PPM คิดเป็นเปอร์เซ็นต์การลดลงเฉลี่ยของคาร์บอนมอนอกไซด์จากกรณีที่ 1 และ 3 กับกรณีที่ 2 และ 4 ได้ถึง 60.7% ในตำแหน่งในห้องบันได ในช่วงเวลา 460 วินาที จากการตรวจวัดสามารถลดความเสี่ยงด้านอัคคีภัยแก่ผู้อพยพทางบันไดได้

จากการวิเคราะห์ความเสี่ยงด้านอัคคีภัยของอาคารหอพักนิตินันท์เห็นควรมีการปรับปรุงแก้ไขขนาดประตูทางออกสู่ภายนอกอาคารหอพักนิตินันท์และควรมีการติดตั้งแผงกันควันไฟในตำแหน่งได้คานก่อนเข้าสู่ห้องบันได เพื่อลดเวลาในการอพยพออกสู่ภายนอกอาคารและเพิ่มประสิทธิภาพในการอพยพทางบันได

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการติดตั้งป้ายบอกทางหนีไฟหรือเส้นทางอพยพในแต่ละชั้นให้ชัดเจนเพื่อให้ผู้อพยพสามารถเลือกใช้บันไดในการอพยพได้อย่างมีประสิทธิภาพ
2. ควรมีการติดแ่งกันควันไฟในตำแหน่งใต้คานก่อนเข้าช่องบันไดขนาดความกว้าง 30 เซนติเมตร ความยาว 2 เมตร ที่ทำจากยิปซัมทนไฟ เพื่อลดปริมาณควันไฟที่จะไหลเข้าสู่ช่องบันได
3. ควรทำการปรับปรุงขนาดประตูทางออกสู่ภายนอกอาคารจาก 1 เมตร เป็น 2 เมตร เพื่อลดเวลาในการ อพยพออกจากอาคาร
4. ควรมีการซักซ้อมการอพยพและจัดทำแผนการอพยพของอาคารเพื่อให้การอพยพเกิดประสิทธิภาพในขณะเกิดเหตุการณ์จริง

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- Frantzich, H. and Nilsson D. 2003. **Evacuation Experiments in a Smoke Filled Tunnel.**
Proceedings of the 3rd International Symposium on Human Behaviour in Fire, UK
- Forney, G. 2008. **Fire Dynamics Simulator (Version 5) User's Guide.** National Institute of
Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland.
- Gupta, A.K. and P.K. Yadav. 2004. SAFE-R: a new model to study the evacuation profile of a
building. **Fire Saf. J.** 39 (2004): 539-556.
- Gwynne, S., E.R. Galea*, P.J. Lawrence and L. Filippidis. 2001. Modeling occupant interaction
with fire conditions using the building EXODUS evacuation model. **Fire Saf. J.**
36 (2001): 327-357.
- Helbing, D., Farkas Illes and V.Tamas. 2000. Simulating dynamical features of escape panic.
NATURE 2000(407): 487-490. Available Source: [http://www.nature.com/nature/
journal/v407/n6803/abs/407487a0.html](http://www.nature.com/nature/journal/v407/n6803/abs/407487a0.html), December 11, 2008.
- Hostikka, S., T. Korhonen, T. Paloposki, T. Rinne, K. Matrikainen and S. Heliövaara. 2007.
Development and validation of FDS+Evac for evacuation simulations. VTT
Technical Research Center, Finland.
- Madrzykowski and Vettori. 2000. Simulation of the Dynamics of the Fire at 3146 Cherry
Road NE Washington D.C., May 30, 1999, NISTR 6510. August 31, 2009
- Madrzykowski *et al.* 1999. Residential kitchen fire Suppression research needs : Workshop
proceedings(1066). Gaithersburg, MD: National Institute of Standards and Technology

National Fire Protection Association. 2003. **NFPA Ready Reference Human Behavior in Fire Emergencies**. National Fire Protection Association, Quincy, Massachusetts.

National Fire Protection Association. 2000. **NFPA 130 Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems Handbook**. National Fire Protection Association, Quincy, Massachusetts.

Oka, Y., O. Sugawa, T. Imamura, Y. Takeishi, *Fire Safety Journal* 43. 2008. 391-400 Correlation of temperature rise and velocity along an inclined fire plume axis in crosswinds.

Peter, A.T. and W.M. Eric. 1995. A computer Model for the Evacuation of Large Building Population. **Fire Safety Journal** 1995 (24): 131-148. Available Source: <http://www.elsevier.com/locate/firesafe>. Accession no. 0379-7112(95)00019-4.

Quintiere, J.G. and B.S. Grove. 1998. **A unified analysis for fire plumes**, in: Proceedings of the 27th Symposium on Combustion, pp 2757-2766.

Shaobo, L., Y. Lizhong, F. Tingyong and L. Jian. 2009. Evacuation from a classroom consideration the occupant density around exits. **Physica A** 388 (2009): 1921-1928.

Thunderhead Engineering, PyroSim User Manual 2010.1. Available Source: <http://thunderheadeng.com/pyrosim/>, December 11, 2010.

Timo, K., H. Simo and Olavi Keski-Rahkonen. 2005. **A Proposal for the Goals and Techniques of Modelling Pedestrian Evacuation in Fires**. Available Source: http://www.vtt.fi/proj/fdsevac/fdsevac_documents.jsp?lang=en, December 11, 2008.

VTT Technical Research Centre of Finland, Fire Dynamics Simulator with Evacuation FDS+Evac Version 5 Technical Reference and User's Guide. Available Source: <http://www.vtt.fi/fdsevac/>, March 21, 2008

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นายธีรนนท์ แซ่เล่า
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 14 ธันวาคม 2526
สถานที่เกิด	อำเภอสะเตา จังหวัดสงขลา
ประวัติการศึกษา	วศ.บ. (วิศวกรรมเครื่องกล) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-
E-mail	-