



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย)

ปริญญา

วิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย

โครงการสหวิทยาการระดับบัณฑิตศึกษา

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การศึกษาการอพยพหนีไฟในสถานีรถไฟใต้ดินด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลข

A Numerical Study of Fire Evacuation in an Underground Train Station

นามผู้วิจัย นางสาววิวรรณ อัสวสุชี

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(อาจารย์ณัฐศักดิ์ บุญมี, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อาจารย์อภิชาติ แจ่มบำรุง, Ph.D.)

ประธานสาขาวิชา

(รองศาสตราจารย์สุรัชย์ รคการ , Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การศึกษาการอพยพหนีไฟในสถานีรถไฟใต้ดินด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลข

A Numerical Study of Fire Evacuation in an Underground Train Station

โดย

นางสาววิวรรณ อัสวสุชี

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย)

พ.ศ. 2552

วิวรรณ อัสวสุชี 2552: การศึกษาการอพยพหนีไฟในสถานียรถไฟฟ้าใต้ดินด้วยระเบียบวิธี
เชิงตัวเลข ปรินญาวิวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย) สาขาวิศวกรรม
ป้องกันอัคคีภัย โครงการสหวิทยาการระดับบัณฑิตศึกษา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก:
อาจารย์ณัฐศักดิ์ บุญมี, Ph.D. 180 หน้า

วิทยานิพนธ์นี้แสดงผลการศึกษาการอพยพหนีไฟของคนภายในสถานียรถไฟฟ้าใต้ดินด้วย
ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขโดยอาศัยโปรแกรม FDS + EVAC (Fire Dynamics Simulator with Evacuation)
การศึกษาได้จำลองการอพยพหนีไฟของคนภายในสถานียรถไฟฟ้าใต้ดิน สถานีรัชดาภิเษกโดยใช้ข้อมูล
จำนวนคนที่เข้าใช้ระบบในช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า (เวลา 7:00 – 8:00 น.) ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่มีคนใช้ระบบ
หนาแน่นที่สุด ตัวอาคารสถานีมีขนาด กว้าง 25 เมตร ยาว 228 เมตร และมีชั้นใต้ดินจำนวน 3 ชั้น แต่ละชั้น
มีความสูงโดยประมาณ 5.1 เมตร กองเพลิงขนาด 7 MW ถูกวางไว้ที่ชั้น 1 เพื่อใช้ในการจำลองเหตุการณ์
เพลิงไหม้เลวร้ายที่สุด การจำลองได้ดำเนินการเป็น 3 กรณีตามจำนวนคนที่รอคอยอยู่ในสถานี
เมื่อเวลารอคอยเป็น 4 นาที 16 นาที และ 30 นาทีตามลำดับ และแบ่งพิจารณาเป็นกรณีย่อยอีก 2 กรณี
เมื่อมีระบบระบายควันและไม่มีระบบระบายควัน

ผลการศึกษาพบว่าเมื่อเวลารอคอย 4 นาที เวลาที่ใช้ในการอพยพหนีไฟเท่ากับ 6 นาที (มีระบบ
ระบายควัน) และ 8.9 นาที (ไม่มีระบบระบายควัน) เมื่อเวลารอคอย 16 นาที เวลาที่ใช้ในการอพยพหนีไฟ
เท่ากับ 9.4 นาที (มีระบบระบายควัน) และ 8.8 นาที (ไม่มีระบบระบายควัน) และเมื่อเวลารอคอย 30
นาที เวลาที่ใช้ในการอพยพหนีไฟเท่ากับ 12.5 นาที (มีระบบระบายควัน) และ 11.3 นาที (ไม่มีระบบ
ระบายควัน) ตามลำดับ การจำลองทั้งในกรณีที่มีและไม่มีระบบระบายควันในทุกเวลารอคอย แสดงให้
เห็นว่าอุณหภูมิของควันและความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ภายในอาคารอยู่ในระดับที่ต่ำ
กว่าที่มาตรฐานกำหนดตลอดช่วงเวลาที่ใช้ในการอพยพ ทำให้คนสามารถอพยพออกจากอาคารได้อย่าง
ปลอดภัย อย่างไรก็ตามในการจำลองเมื่อเวลารอคอยเท่ากับ 16 และ 30 นาที ทั้งในกรณีที่มีและไม่มี
ระบบระบายควัน พบว่าเวลาที่ทัศนวิสัยภายในอาคารลดต่ำจนไม่สามารถมองเห็นได้หลังจาก 6 นาที
ซึ่งเร็วกว่าเวลาที่คนทั้งหมดจะอพยพออกจากอาคาร ผลการจำลองในกรณีนี้แสดงให้เห็นว่า คนบางส่วน
อาจไม่สามารถหนีไฟออกจากอาคารได้เนื่องจากมองไม่เห็นทางหนีไฟ ถ้าเกิดเหตุการณ์เพลิงไหม้จริง

Wiwan Assawasuee 2009: A Numerical Study of Fire Evacuation in an Underground Train Station. Master of Engineering (Fire Protection Engineering), Major Field: Fire Protection Engineering, Interdisciplinary Graduate Program. Thesis Advisor: Mr. Nathasak Boonmee, Ph.D. 180 pages.

This thesis presents a numerical simulation of a fire evacuation in an underground train station by using a computer program called FDS + EVAC (Fire Dynamics Simulator with Evacuation). The study performs for a fire evacuation of Ratchadapisek underground train station. The simulation occupant densities are depicted during the morning rush hour interval (7:00 – 8:00 am). The Ratchadapisek station is 25 m wide, 228 m long and has 3 underground floors where each floor height is approximately 5.1 m. In order to simulate a worst case scenario, a 7 MW fire is placed on the 1st floor. The simulations are performed for 3 cases where the occupant waiting times are 4, 16, and 30 minutes, respectively. In each waiting time, the calculations are carried for 2 cases: with smoke ventilation system and without smoke ventilation system.

The study shows that when the waiting time is 4 minutes the evacuation times are 6 minutes (with smoke ventilation) and 8.9 minutes (without smoke ventilation), when the waiting time is 16 minutes the evacuation times are 9.4 minutes (with smoke ventilation) and 8.8 minutes (without smoke ventilation), and when the waiting time is 30 minutes the evacuation times are 12.5 minutes (with smoke ventilation) and 11.3 minutes (without smoke ventilation), respectively. In all cases, with and without smoke ventilation system, the simulations show that the smoke temperature and carbon-monoxide concentration are well below the hazardous level.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

____ / ____ / ____

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ อ.ดร.ณัฐศักดิ์ บุญมี ประธานกรรมการที่ปรึกษา ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา และแนะนำ จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.สุรัชย์ รดาการ หัวหน้าภาควิชา ที่จัดตั้งโครงการ วิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย ซึ่งเป็นประโยชน์ในการศึกษาและการทำงานในทางวิศวกรรมได้เป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณอาจารย์ประจำภาควิชาทุกท่าน ที่ได้ให้ความรู้ ตลอดจนตลอดจนเจ้าหน้าที่ โครงการที่ช่วยเหลือในการติดต่อประสานงาน

ขอขอบพระคุณบิดามารดาที่สนับสนุนทางการศึกษามาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณการรถไฟฟ้านครหลวงแห่งประเทศไทย ที่เอื้อเฟื้อข้อมูลในการทำวิจัย ในครั้งนี้ ตลอดจนหัวหน้างานและเพื่อนร่วมงานที่ให้การสนับสนุนข้อมูล

ขอขอบพระคุณผู้มีพระคุณทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวมา ณ ที่นี้ที่ได้ให้การสนับสนุนการศึกษา ในครั้งนี้

วิวรรณ อัสวสุจิ

กุมภาพันธ์ 2552

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	5
อุปกรณ์และวิธีการ	38
อุปกรณ์	38
วิธีการ	39
ผลและวิจารณ์	64
ผล	64
วิจารณ์	165
สรุปและข้อเสนอแนะ	167
สรุป	167
ข้อเสนอแนะ	168
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	169
ภาคผนวก	172
ภาคผนวก ก คุณสมบัติกลุ่มตัวแทนและจำนวนคนและที่ใช้ในแบบจำลอง	173
ภาคผนวก ข ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม (Flowchart)	177
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	180

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ความเร็วในการเดินหลบสิ่งกีดขวางและขนาดร่างกายในโปรแกรม FDS+Evac	7
2	แสดงค่าสัมประสิทธิ์การลามไฟ	15
3	สัมประสิทธิ์การลามไฟแบ่งตามลักษณะการใช้อาคาร	16
4	แสดงลำดับขั้นตอนการอพยพ	17
5	ค่าการออกแบบสำหรับระยะเวลาในการเตรียมการเคลื่อนที่	18
6	แสดงความหนาแน่นของคน ความเร็วและระยะทาง ในแต่ละกิจกรรม	19
7	แสดงผลการศึกษาของ วิวค(Wood) และ ไบรอัน (Bryan) พฤติกรรมแรกที กระทำเมื่อเกิดเหตุเพลิงไหม้	20
8	แสดงพฤติกรรมของชาวอังกฤษและอเมริกา	21
9	แสดงสถานะที่สามารถทนได้	22
10	แสดงสถานะที่สามารถทนได้ที่เกิดจากแก๊สพิษ	22
11	แสดงข้อจำกัดที่เกิดจากควันซึ่งส่งผลต่อการมองเห็น	23
12	แสดงสถานะที่สามารถทนได้ที่เกิดจากความร้อน	23
13	Criteria times for reaching untenable conditions	23
14	แสดงระดับการมองเห็นและข้อจำกัด	24
15	แสดงสัดส่วนจำนวนผู้โดยสารเฉลี่ยประจำปี 2550	27
16	ขนาดกองเพลิงที่ใช้ในโครงการในเอเชีย	50
17	แสดงการแบ่งอัตราการใช้เผาไหม้	53
18	แสดงจำนวนตัวแทนในแต่ละกรณีที่กำหนดในแบบจำลอง	56
19	ค่าความจุของบันไดและทางลาด	69
20	แสดงเวลาที่ใช้ในการอพยพออกจากสถานี	85
21	แสดงจำนวนคนที่อพยพโดยใช้บันไดแต่ละตัวที่ขึ้นขานชาลา	85
22	แสดงจำนวนคนที่อพยพโดยใช้บันไดแต่ละตัวที่ขึ้นขายับตร โดยสาร	86
23	แสดงจำนวนคนที่อพยพที่ทางออกชั้นร้านค้า	86
24	สรุปผลอุณหภูมิตำแหน่งที่ 1 - 8	100

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
25	สรุปผลปริมาณก๊าซออกซิเจนที่ตำแหน่งที่ 1 – 8	105
26	สรุปผลปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ที่ตำแหน่งที่ 1-8	110
ตารางผนวกที่		
ก1	แสดงสัดส่วนจำนวนผู้โดยสารเฉลี่ยประจำปี 2550	174
ก2	แสดงจำนวนสัดส่วนผู้โดยสารที่ทำการปรับปรุงใหม่	175
ก3	แสดงจำนวนตัวแทนในแต่ละกรณีที่กำหนดในแบบจำลอง	175
ก4	แสดงคุณสมบัติของตัวแทนแต่ละกลุ่มที่ถูกกำหนดไว้ในโปรแกรม	176

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	แสดงเหตุการณ์เพลิงไหม้ภายในสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินและอุโมงค์	6
2	ขนาดรูปร่างของมนุษย์แสดงโดยใช้วงกลม 3 วงมาวางซ้อนกัน	7
3	แนวคิดของแรงกระทำรอบข้าง	8
4	แสดงแนวคิดการนำวงกลม 3 วงมาใช้อธิบายแรงกระทำรอบข้าง	9
5	แสดงรูปร่างของคนในโปรแกรม SIMULEX	9
6	แสดงตัวเลขระหว่าง 1 ถึง 1024 ที่สามารถนำมายกกำลังสำหรับ 2,3,5	10
7	มาตรฐานสากลของช่วงเวลาที่อยู่พลอยได้อย่างปลอดภัย	12
8	แสดงลำดับขั้นตอนการลามไฟ (Typically stages of fire growth)	14
9	ชานชาลากลาง (Central Platform)	25
10	การแบ่งพื้นที่ใช้สอยภายในสถานี	26
11	บันไดและบันไดเลื่อนภายในสถานีรถไฟฟ้า	29
12	บันไดเลื่อน	30
13	ประตูจัดเก็บค่าโดยสาร (Gate Availability)	30
14	แสดงเส้นทางการอพยพในรถไฟฟ้าใต้ดิน	31
15	แสดงหน้าต่างการใช้งานโปรแกรม Pyrosim	42
16	แสดงหน้าต่างคำสั่งในโปรแกรม Pyrosim 2007 ในการกำหนดขนาดกริด	43
17	แสดงแบบจำลองที่สร้างจากโปรแกรม Pyrosim 2007 (แบบจำลองต้นแบบ)	44
18	แสดงพื้นที่ว่างในแบบจำลองที่ไม่ได้ใช้งาน	45
19	แสดงแบบจำลองภายในอาคารสถานี (แบบจำลองต้นแบบ)	45
20	แสดงแบบจำลองหลังการปรับปรุง	46
21	แสดงแบบจำลองที่ขึ้นชานชาลา	46
22	แสดงแบบจำลองที่ขึ้นขบวนรถโดยสาร	47
23	แสดงแบบจำลองสถานีรถไฟฟ้ารัชดาภิเษก	47
24	แสดงตำแหน่งบันไดและบันไดเลื่อนที่ขึ้นชานชาลา	48
25	แสดงตำแหน่งบันไดและบันไดเลื่อนที่ขึ้นขบวนรถโดยสาร	48

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
26	แสดงตำแหน่งทางออกบริเวณชั้นร้านค้า	49
27	แสดงตำแหน่งของจุดเกิดเพลิงไหม้และตำแหน่งท่อลม	49
28	แสดงอัตราการปลดปล่อยพลังงานและเวลาจากการเผาไหม้	52
29	แสดงตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ ก๊าซออกซิเจน (O_2) และปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) บริเวณชั้นชานชาลา	61
30	แสดงตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ ก๊าซออกซิเจน (O_2) และปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) บริเวณชั้นขายบัตรโดยสาร	61
31	แสดงตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ ก๊าซออกซิเจน (O_2) และปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) บริเวณชั้นร้านค้า	62
32	แสดงการกระจายตัวและการรอคอยที่บริเวณบันไดและบันไดเลื่อนที่ชั้นชานชาลาที่เวลา 30 นาที	70
33	แสดงการกระจายตัวและการรอคอยที่บริเวณบันไดและบันไดเลื่อนที่ชั้นชานชาลาที่เวลา 60 นาที	70
34	แสดงการกระจายตัวและการรอคอยที่บริเวณบันไดและบันไดเลื่อนที่ชั้นชานชาลาที่เวลา 120 นาที	71
35	แสดงภาพด้านบน (Top view) และด้านข้าง (Side view) ลักษณะการไหลของควันที่เวลา 180 วินาที	72
36	แสดงภาพด้านบน (Top view) และด้านข้าง (Side view) ลักษณะการไหลของควันที่เวลา 240 วินาที	73
37	แสดงการอพยพผ่านที่เก็บบัตรโดยสาร ที่เวลา 30 วินาที	74
38	แสดงการอพยพผ่านที่เก็บบัตรโดยสาร ที่เวลา 60 วินาที	75
39	แสดงการอพยพผ่านที่เก็บบัตรโดยสาร ที่เวลา 120 วินาที	76
40	แสดงการกระจายตัวและการรอคอยที่บริเวณบันไดและบันไดเลื่อนที่ชั้นชานชาลาที่เวลา 30 นาที	78

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
41	แสดงการกระจายตัวและการรอคอยที่บริเวณบันไดและบันไดเลื่อนที่ ชั้นชานชาลาที่เวลา 60 นาที	79
42	แสดงการกระจายตัวและการรอคอยที่บริเวณบันไดและบันไดเลื่อนที่ ชั้นชานชาลาที่เวลา 120 นาที	79
43	แสดงภาพด้านบน (Top view) และด้านข้าง (Side view) ลักษณะการไหล ของควันที่เวลา 180 วินาที	80
44	แสดงภาพด้านบน (Top view) และด้านข้าง (Side view) ลักษณะการไหล ของควันที่เวลา 240 วินาที	81
45	แสดงการอพยพผ่านที่เก็บบัตรโดยสาร ที่เวลา 30 วินาที	82
46	แสดงการอพยพผ่านที่เก็บบัตรโดยสาร ที่เวลา 60 วินาที	83
47	แสดงการอพยพผ่านที่เก็บบัตรโดยสาร ที่เวลา 120 วินาที	84
48	กราฟแสดงจำนวนคนและเวลาในการอพยพออกจากสถานีทั้ง 3 กรณี	87
49	กราฟแสดงจำนวนคนและเวลาในการอพยพออกจากชั้นชานชาลาทั้ง 3 กรณี	87
50	กราฟแสดงจำนวนคนและเวลาในการอพยพออกจากชั้นขายบัตรโดยสาร ทั้ง 3 กรณี	88
51	กราฟแสดงจำนวนคนและเวลาในการอพยพออกจากชั้นร้านค้า(ฝั่งซ้าย) ทั้ง 3 กรณี	88
52	กราฟแสดงจำนวนคนและเวลาในการอพยพออกจากชั้นร้านค้า(ฝั่งขวา) ทั้ง 3 กรณี	89
53	กราฟแสดงจำนวนคนและเวลาในการอพยพโดยใช้ทางออกที่ 1 ทั้ง 3 กรณี	89
54	กราฟแสดงจำนวนคนและเวลาในการอพยพโดยใช้ทางออกที่ 2 ทั้ง 3 กรณี	90
55	กราฟแสดงจำนวนคนและเวลาในการอพยพโดยใช้ทางออกที่ 3 ทั้ง 3 กรณี	90
56	กราฟแสดงจำนวนคนและเวลาในการอพยพโดยใช้ทางออกที่ 4 ทั้ง 3 กรณี	91
57	กราฟแสดงจำนวนคนและเวลาในการอพยพออกจากสถานีทั้ง 3 กรณี	91
58	กราฟแสดงจำนวนคนและเวลาในการอพยพออกจากชั้นชานชาลาทั้ง 3 กรณี	92

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
59	กราฟแสดงจำนวนคนและเวลาในการอพยพออกจากชั้นขายบัตรโดยสาร ทั้ง 3 กรณี	92
60	กราฟแสดงจำนวนคนและเวลาในการอพยพออกจากชั้นร้านค้า(ฝั่งซ้าย) ทั้ง 3 กรณี	93
61	กราฟแสดงจำนวนคนและเวลาในการอพยพออกจากชั้นร้านค้า(ฝั่งขวา) ทั้ง 3 กรณี	93
62	กราฟแสดงจำนวนคนและเวลาในการอพยพโดยใช้ทางออกที่ 1 ทั้ง 3 กรณี	94
63	กราฟแสดงจำนวนคนและเวลาในการอพยพโดยใช้ทางออกที่ 2 ทั้ง 3 กรณี	94
64	กราฟแสดงจำนวนคนและเวลาในการอพยพโดยใช้ทางออกที่ 3 ทั้ง 3 กรณี	95
65	กราฟแสดงจำนวนคนและเวลาในการอพยพโดยใช้ทางออกที่ 4 ทั้ง 3 กรณี	95
66	กราฟแสดงอุณหภูมิบริเวณชั้นชานชาลา	97
67	กราฟแสดงอุณหภูมิบริเวณชั้นขายบัตรโดยสาร	98
68	กราฟแสดงอุณหภูมิบริเวณชั้นร้านค้า	99
69	กราฟแสดงปริมาณก๊าซออกซิเจนบริเวณชั้นชานชาลา	102
70	กราฟแสดงปริมาณก๊าซออกซิเจนบริเวณชั้นขายบัตรโดยสาร	103
71	กราฟแสดงปริมาณก๊าซออกซิเจนบริเวณชั้นร้านค้า	104
72	กราฟแสดงปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์บริเวณชั้นชานชาลา	107
73	กราฟแสดงปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์บริเวณชั้นร้านค้า	108
74	กราฟแสดงปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์บริเวณชั้นร้านค้า	109
75	แสดงอัตราการปลดปล่อยพลังงาน	110
76	แสดงตำแหน่งระนาบที่ใช้วัดค่าความสามารถในการมองเห็น (Visibility)	113
77	แสดงค่าความสามารถในการมองเห็นที่ตำแหน่งระนาบ $X = 40$ กรณีมีระบบระบายควัน	114
78	แสดงค่าความสามารถในการมองเห็นที่ตำแหน่งระนาบ $X = 120$ กรณีมีระบบระบายควัน	119

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
79	แสดงค่าความสามารถในการมองเห็นที่ตำแหน่งระนาบ $X = 187$ กรณีมีระบบระบายควัน	124
80	แสดงค่าความสามารถในการมองเห็นที่ตำแหน่งระนาบ $X = 40$ กรณีไม่มีระบบระบายควัน	129
81	แสดงค่าความสามารถในการมองเห็นที่ตำแหน่งระนาบ $X = 120$ กรณีไม่มีระบบระบายควัน	134
82	แสดงค่าความสามารถในการมองเห็นที่ตำแหน่งระนาบ $X = 187$ กรณีไม่มีระบบระบายควัน	139
83	แสดงการไหลของควัน กรณีมีระบบระบายควันที่เวลาต่างๆ	145
84	แสดงการไหลของควัน กรณีไม่มีระบบระบายควันที่เวลาต่างๆ	155
ภาพผนวกที่		
ข1	ขั้นตอนการใช้งานโปรแกรม FDS+Evac	178
ข2	สถาปัตยกรรมโปรแกรม FDS+Evac	179

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

$X_i(t)$	ตำแหน่งของตัวแทน i ที่เวลา t
$f_i(t)$	แรงรอบข้างที่กระทำลงบนตัวแทน
m_i	มวล
$\xi_i(t)$	ค่าความผันผวนของแรง
dX_i / dt	ความเร็วของตัวแทน i , $V_i(t)$
$ASET$	ระยะเวลาที่สามารถอพยพโดยปลอดภัย (Available Safe Egress Time)
$RSET$	ระยะเวลาที่จำเป็นต้องใช้ในการอพยพโดยปลอดภัย (Required Safe Egress Time)
t_{alarm}	ระยะเวลาตรวจจับและแจ้งเตือน (Detecting and Alarm Time) (วินาที)
t_{pre}	ระยะเวลาเตรียมการเคลื่อนที่ (Pre-movement Time) (วินาที)
t_{move}	ระยะเวลาการเคลื่อนที่ (Movement Time) (วินาที)
t_{reg}	ระยะเวลาการรับรู้ (Recognition Time) (วินาที)
t_{resp}	ระยะเวลาการตอบสนอง (Response Time) (วินาที)
t_d	เวลาตั้งแต่เกิดการเผาไหม้ไปจนถึงระยะเวลาที่ตรวจจับได้ซึ่ง สามารถประมาณได้จากการใช้แบบจำลองการเกิดเพลิงไหม้ (วินาที)
t_a	เวลาตั้งแต่ตรวจจับได้ไปจนถึงสัญญาณเตือนดัง ซึ่งสามารถ ประมาณได้จากการคำนวณ (วินาที)
t_o	เวลาตั้งแต่สัญญาณแจ้งเหตุทำงานไปจนถึงทำการตัดสินใจเพื่อที่จะ ทำการตอบสนอง (วินาที)
t_i	ระยะเวลาในการสืบสวน เก็บสินค้า ผจญเพลิง (วินาที)

การศึกษาการอพยพหนีไฟในสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลข

A Numerical Study of Fire Evacuation in an Underground Train Station

คำนำ

NFPA 130 (Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems) เป็นมาตรฐานหลักที่ใช้สำหรับการออกแบบโครงสร้างสถานี สถาปัตยกรรม ระบบอำนวยความสะดวกภายในอาคาร (Building Services) รวมถึงการอพยพคนในระบบรถไฟฟ้าใต้ดิน NFPA 130 ได้กำหนดระยะเวลาในการอพยพจากชั้นชานชลาไปยังชั้นถัดไปต้องอยู่ในช่วงระยะเวลา 4 นาทีหรือน้อยกว่า ระยะทางที่ไกลที่สุด ณ จุดใดๆ บนชานชลาไปยังจุดปลอดภัยต้องไม่เกิน 300 ฟุต (91.4 เมตร) และในการอพยพจากจุดที่ไกลสุดบนชานชลาไปยังจุดปลอดภัยต้องทำได้ภายในเวลา 6 นาทีหรือน้อยกว่า ยกเว้นในกรณีที่มีการปรับเปลี่ยนระยะเวลาในการอพยพจะต้องทำการวิเคราะห์ทางวิศวกรรม (Engineering Analysis) โดยการประเมินค่าอัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนจากวัสดุ รูปแบบสถานี และระบบระบายอากาศฉุกเฉิน

ระยะเวลาอพยพจะมีผลต่อขนาดของสถานีและขึ้นอยู่กับสมรรถนะการทำงานของอุปกรณ์อำนวยความสะดวกต่างๆ ภายในระบบรถไฟฟ้าใต้ดิน เช่น บันได บันไดฉุกเฉิน บันไดเลื่อน ที่เก็บค่าโดยสารอัตโนมัติ ระบบระบายควัน เป็นต้น ดังนั้นอุปกรณ์อำนวยความสะดวกภายในระบบจะต้องทำการบำรุงรักษาให้อยู่ในสภาวะที่ใช้งานได้ตามปกติอยู่ตลอดเวลาที่มีการให้บริการ รวมถึงกรณีที่เกิดเหตุฉุกเฉิน เนื่องจากระบบรถไฟฟ้าใต้ดินเป็นระบบขนส่งมวลชนขนาดใหญ่มีกลุ่มคนเข้าใช้บริการหลายกลุ่ม หลายช่วงอายุ การอพยพจึงมีความสำคัญมากถ้าทำได้เร็วก็จะทำให้เกิดความปลอดภัยต่อชีวิตมากขึ้น

งานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม FDS+Evac (Fire Dynamics Simulator with Evacuation) ในการศึกษาระยะเวลาการอพยพ ลักษณะการไหลของคนในการอพยพ พฤติกรรมของควันไฟ และปัจจัยที่มีผลต่อการอพยพ โดยจำลองเหตุการณ์ที่การให้บริการรถไฟฟ้าเกิดการขัดข้องทำให้เกิดการรอคอยในสถานีที่ระยะเวลาต่างๆ โดยใช้ข้อมูลของสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินรัชดาภิเษก

การนำโปรแกรม FDS+ Evac (Fire Dynamics Simulator with Evacuation) มาใช้ในงานวิจัยทำให้มองเห็นลักษณะการอพยพ ลักษณะการไหลของควันไฟ และผลที่ได้สามารถนำไปเขียนกราฟเพื่อนำมาประกอบการพิจารณา ผลลัพธ์ที่ได้สามารถนำมาประกอบการออกแบบขนาดอุปกรณ์ประกอบการอพยพ ใช้ในงานฝึกอบรมแก่เจ้าหน้าที่หรือผู้ที่มีความเกี่ยวข้องเพื่อเป็นแนวทางทำให้เกิดความตระหนักถึงความสำคัญของการอพยพในระบบรถไฟฟ้าใต้ดิน ทำให้เกิดความปลอดภัยมากยิ่งขึ้น

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาระยะเวลาการอพยพของผู้ใช้บริการระบบรถไฟฟ้าใต้ดินและปัจจัยที่ทำให้เวลาในการอพยพเพิ่มขึ้น โดยใช้โปรแกรม Fire Dynamics Simulator with Evacuation (FDS + Evac)
2. เพื่อศึกษาพฤติกรรมกรรมการไหลของคนเมื่อเกิดการการอพยพ
3. เพื่อศึกษาพฤติกรรมกรรมการไหลของควันไฟภายในสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน
4. เพื่อนำผลการศึกษาที่ได้ไปเผยแพร่ในการฝึกอบรมเจ้าหน้าที่หรือพนักงานที่เกี่ยวข้องให้เกิดความเข้าใจและมีความตระหนักถึงความสำคัญในการอพยพมากยิ่งขึ้น

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถประเมินเวลาและทราบตัวแปรที่ควรนำมาพิจารณาในการอพยพในระบบรถไฟฟ้าใต้ดิน
2. สามารถนำผลการศึกษาไปประกอบการพิจารณาออกแบบโครงการส่วนต่อขยาย
3. สามารถนำผลการศึกษาไปอบรมพนักงานเจ้าหน้าที่ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในเรื่องของการอพยพ
4. สามารถนำผลการศึกษาไปเผยแพร่เพื่อให้เกิดความเข้าใจและตระหนักถึงความสำคัญของการอพยพภายในอาคารประเภทชุมนุมชน อย่างเช่น สถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน และหาแนวทางป้องกันเพื่อลดการเกิดความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สิน

ขอบเขตของงานวิจัย

1. ใช้โปรแกรม Fire Dynamics Simulator with Evacuation (FDS+Evac) ศึกษาระยะเวลาในการอพยพ พฤติกรรมการไหลของคนในการอพยพ พฤติกรรมของควันไฟ และปัจจัยที่มีผลต่อเวลาที่ใช้ในการอพยพ

2. จำลองเหตุการณ์และใช้ข้อมูลของสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินรัชดาภิเษก โดยเลือกข้อมูลใช้จำนวนผู้ใช้บริการระบบในช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า ที่เวลา 7.00 น.- 8.00 น. วันธรรมดาโดยแบ่งออก 3 กรณี กรณีที่ 1 จำนวนคนเมื่อเกิดการรอคอยที่ระยะเวลาปกติ 4 นาที และจำนวนคนเมื่อเกิดการรอคอย(เมื่อการเดินรถขัดข้อง)ที่ 16 นาที 30 นาที ตามลำดับ และได้พิจารณากรณีมีระบบระบายควันและกรณีไม่มีระบบระบายควันด้วย ข้อมูลดังกล่าวได้รับความอนุเคราะห์จากการรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย

3. จำลองกองเพลิงขนาด 7 MW บริเวณใต้บันไดและบันไดเลื่อน (ST-4, Esc-4) โดยกำหนดอาคารกองเพลิงที่ 7 ตารางเมตร อัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนต่อพื้นที่เท่ากับ 1000 kW/m² ที่อัตราการลามไฟแบบรวดเร็ว (Fast Growth Rate)

4. กำหนดให้บันไดเลื่อนทำงานได้ตามปกติ (ยกเว้นบันไดเลื่อน ESC-4) และระบบดับเพลิงสำหรับบันไดเลื่อน ESC-4 เกิดเหตุขัดข้องไม่สามารถใช้งานได้

5. งานวิจัยนี้เป็นการพิจารณาการอพยพภายในสถานี โดยใช้บันไดและบันไดเลื่อนบริเวณสถานีที่ผู้ให้บริการใช้ในการสัญจรตามปกติ ไม่ได้นำบันไดในบริเวณ Ventilation Building มาพิจารณา

6. ระยะเวลาในการตอบสนองพิจารณาจากแบบจำลองการเผาไหม้ ทำให้ระยะเวลาดังกล่าวมีการตอบสนองที่รวดเร็ว และได้ทำการปรับปรุงแบบจำลองโดยตัดทางเข้า-ออกสถานีทั้ง 4 ด้านออก (รูปแบบสถานีหลังทำการปรับปรุงได้กล่าวไว้ในขั้นตอนการวิจัย) เพื่อความเหมาะสมในการประมวลผลด้วยโปรแกรม ดังนั้นระยะเวลาที่ได้จากการวิจัยนี้จึงเป็นเพียงระยะเวลายขั้นต่ำที่จะใช้ในการอพยพเท่านั้น

การตรวจเอกสาร

เหตุการณ์เพลิงไหม้ภายในสถานีรถไฟฟ้ายูเคชันไม่ได้เป็นเหตุการณ์ใหม่ที่เกิดขึ้น ซึ่งในอดีตได้เกิดขึ้นแล้วในหลายๆประเทศ ทั้งเจตนาและไม่เจตนา ในแต่ละครั้งที่เกิดเหตุได้สร้างความเสียหายต่อชีวิตคนเป็นจำนวนมากรวมทั้งทรัพย์สินที่สูญเสียไปกับเหตุการณ์นั้นๆ ดังที่ได้แสดงไว้ในภาพที่ 1 เมื่อเกิดเหตุเพลิงไหม้ขึ้นสิ่งที่จะต้องทำอย่างเร่งด่วนนั้นคือการอพยพคนที่เข้าใช้ระบบเนื่องจากรถไฟฟ้ายูเคชันเป็นระบบขนส่งมวลชนขนาดใหญ่ มีคนเข้าใช้งานเป็นจำนวนมาก ทำให้การอพยพคนจำนวนมากทำได้ยากกว่า ต้องอาศัยบุคลากรที่มีความรู้ความเข้าใจในเรื่องดังกล่าวมาดูแลระบบและควบคุมสถานการณ์ การนำโปรแกรมคอมพิวเตอร์มาใช้ในการจำลองเหตุการณ์ดังกล่าวทำให้เห็นภาพรวมของเหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้น ทำให้เกิดความเข้าใจและสามารถรับมือกับเหตุการณ์ที่ไม่คาดคิดและไม่สามารถคาดเดาได้ว่าจะเกิดขึ้นเมื่อใด

งานวิจัยนี้ใช้แบบจำลองการอพยพด้วยแบบจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณชื่อ Fire Dynamics Simulator with Evacuation (FDS + Evac) โปรแกรมดังกล่าวประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก ได้แก่ ส่วนของการจำลองเพลิงไหม้ และส่วนของการอพยพซึ่งเป็นภาคเสริมของโปรแกรม FDS โปรแกรมดังกล่าวได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ซึ่งปัจจุบันเป็นโปรแกรมรุ่นที่ 5 โปรแกรม FDS+Evac (Fire Dynamics Simulator with Evacuation) เป็นโปรแกรมที่ถูกพัฒนาจากสถาบันสองสถาบัน ได้แก่ NIST (National Institute of Standards and Technology) ประเทศสหรัฐอเมริกา เป็นผู้พัฒนา FDS (Fire Dynamics Simulator) และ VTT Technology Research Centre of Finland ประเทศฟินแลนด์ เป็นผู้พัฒนาโปรแกรมในส่วนการอพยพ (Evacuation)

โปรแกรมดังกล่าวเป็นโปรแกรมที่ไม่มีค่าใช้จ่าย (Freeware) สามารถดาวน์โหลดได้ที่ <http://www.vtt.fi/proj/fdsevac/?lang=en> โปรแกรมในส่วน FDS (Fire Dynamics Simulator) โดยปกติเป็นที่รู้จักในกลุ่มนักวิจัยซึ่งนำมาศึกษาพลศาสตร์ของไฟ (Fire Dynamics) การนำโปรแกรมในส่วนของการอพยพไปใช้ ผู้ใช้จะต้องมีความรู้ความเข้าใจในชุดคำสั่งพื้นฐานของโปรแกรมในส่วน FDS (Fire Dynamics Simulator) ก่อนเพื่อที่จะสามารถสั่งให้แสดงผลลัพธ์ตามที่ต้องการได้

HISTORY OF SUBWAY / TUNNEL FIRES

The issue of fire in tunnels and subway stations is not a new problem. There have been several underground fires in the past decades all over the world. These historical events illustrate the prevalence of the issue, and the importance of an effective emergency ventilation system.

Some of the past tunnel / subway fires include:

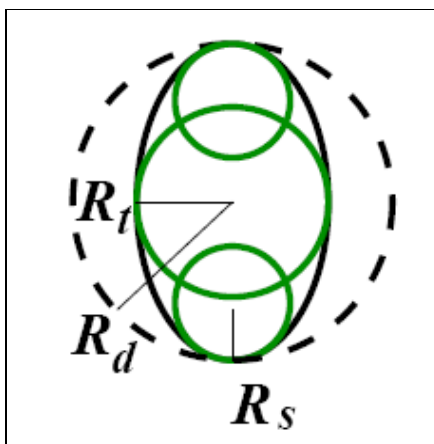
November, 1982	Afghanistan	Tanker explosion, Salang Tunnel (>150 killed)
November, 1987	London, U.K.	Escalator fire, King's Cross Subway Station (30 killed, including 1 firefighter)
December, 1990	New York, NY, U.S.A.	Electrical fire, tunnel near Clark St., Brooklyn (2 killed)
July, 1995	Toronto, Canada	Fire, Sheppard Avenue Subway Station
March, 1999	France / Italy	Truck fire, Mont Blanc Tunnel (39 killed)
July, 2001	Baltimore, Maryland, U.S.A.	Train Fire, Howard Street Train Tunnel
October, 2001	Switzerland	Vehicle fire, Gotthard Alpine Tunnel (11 killed)
February, 2003	Taegu, South Korea	Train fire (arson), Chungang-ro Subway Station (>100 killed, >100 injured)

ภาพที่ 1 แสดงเหตุการณ์เพลิงไหม้ภายในสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินและอุโมงค์

ที่มา: <http://go.rwdi.com>

1. ทฤษฎีพื้นฐานสำหรับแบบจำลองการอพยพภายในโปรแกรม FDS+Evac

การเคลื่อนที่ของตัวแทน (agent) ในโปรแกรม FDS+Evac เป็นไปตามสมการการเคลื่อนที่ ซึ่งแต่ละตัวแทนมีคุณลักษณะเฉพาะตัวและกลยุทธ์ในการหลบหนีของแต่ละตัวแทน มนุษย์จะถูกจำลองการเคลื่อนที่ในระนาบ 2 มิติ บนแผนผังของอาคาร ขนาดของแต่ละบุคคลจะแทนโดยวงกลม 3 วง แสดงในภาพที่ 2 เช่นเดียวกันกับในโปรแกรม Simulex และ MASSEgress ขนาดร่างกายและความเร็วในการเคลื่อนที่หลบสิ่งกีดขวางของคนแต่ละกลุ่มได้แสดงในตารางที่ 1



ภาพที่ 2 ขนาดรูปร่างของมนุษย์แสดงโดยการใช้วงกลม 3 วงมาวางซ้อนกัน

ที่มา: Fire Dynamics Simulator with Evacuation Version 5 (2008)

ในกรณีที่ต้องการความเร็วที่ต่ำลงจากค่าที่ตั้งไว้ สามารถนำตัวคูณมาปรับลดค่าความเร็วที่ถูกตั้งไว้ในโปรแกรมได้ โดยการป้อนค่าตัวคูณปรับลดลงในชุดคำสั่งการอพยพ

ตารางที่ 1 ความเร็วในการเดินหลบสิ่งกีดขวางและขนาดร่างกายในโปรแกรม FDS+Evac ขนาดเส้นวงกลมของบ่า $d_s = R_d - R_s$

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

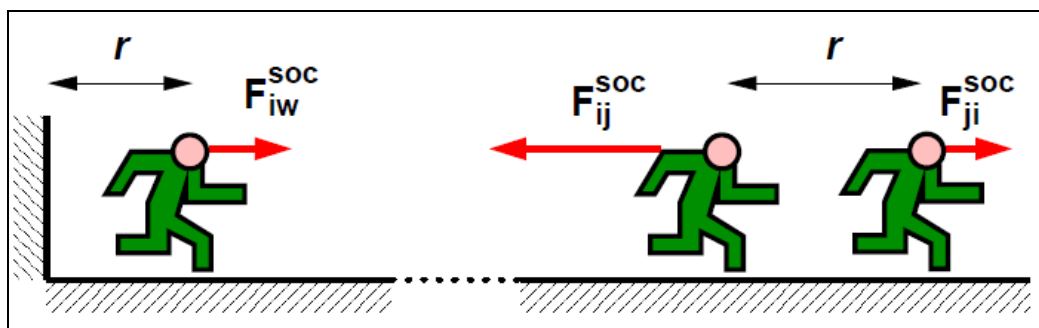
ที่มา: Fire Dynamics Simulator with Evacuation Version 5 (2008)

1.1 แบบจำลองการเคลื่อนที่ภายในโปรแกรม

แบบจำลองของ Helbing *et al.* (2000) ถูกนำมาประยุกต์ใช้ประกอบชุดคำสั่งในการเคลื่อนที่ของตัวแทนในโปรแกรม FDS+Evac ซึ่งเป็นที่รู้จักกันในเรื่องของ แรงกระทำรอบข้าง (Social Force) มีพื้นฐานมาจากกฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน ซึ่งเปรียบตัวแทนเสมือนวัตถุมาทำปฏิกิริยากัน แสดงโดยสมการการเคลื่อนที่ต่อไปนี้

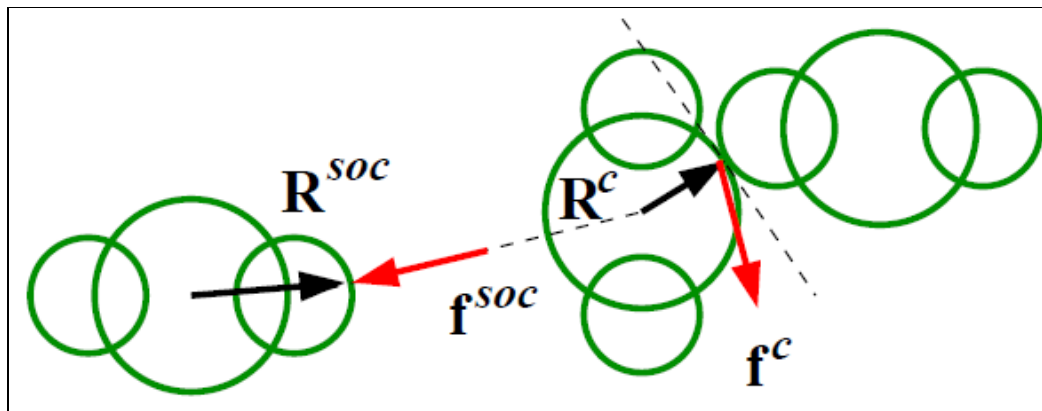
$$m_i \frac{d^2 X_i(t)}{dt^2} = f_i(t) + \xi_i(t) \quad (1)$$

โดยที่ $X_i(t)$	แทน ตำแหน่งของตัวแทน i ที่เวลา t
$f_i(t)$	แทน แรงรอบข้างที่กระทำลงบนตัวแทน
m_i	แทน มวล
$\xi_i(t)$	แทน ค่าความผันผวนของแรง
dX_i / dt	แทน ความเร็วของตัวแทน i , $V_i(t)$



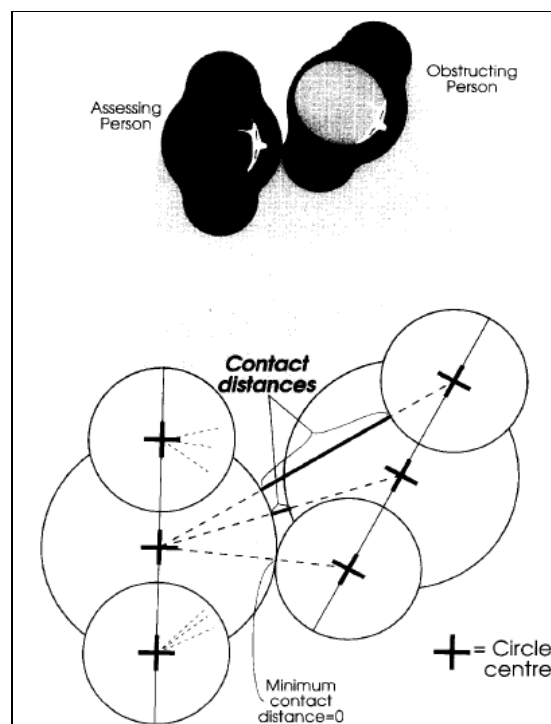
ภาพที่ 3 แนวคิดของแรงกระทำรอบข้าง

ที่มา: Fire Dynamics Simulator with Evacuation Version 5 (2008)



ภาพที่ 4 แสดงแนวคิดการนำวงกลม 3 วงมาใช้อธิบายแรงกระทำรอบข้าง

ที่มา: Fire Dynamics Simulator with Evacuation Version 5 (2008)



ภาพที่ 5 แสดงรูปร่างของคนในโปรแกรม SIMULEX

ที่มา: Peter A. Thompson and Eric W. Marchant (1995)

1.2 การใช้งานและข้อจำกัดของโปรแกรม FDS + Evac

โปรแกรม FDS+Evac ประกอบขึ้นด้วยการคำนวณการอพยพและแบบจำลองทางพลศาสตร์ของไหล (Computational Fluid Dynamics ,CFD) โปรแกรมสามารถคำนวณแยกส่วนการอพยพโดยปราศจากการคำนวณการเผาไหม้ได้ ภายในโปรแกรมประกอบด้วยค่าตัวเลือกอัตโนมัติ (Default) ลักษณะเฉพาะของแต่ละประเภทบุคคล หรือ ตัวแทน (agent) ซึ่งมีคุณลักษณะเฉพาะและกลยุทธ์ในการหลบหนีของตัวเองแตกต่างกัน การเคลื่อนของตัวแทนถูกจำลองขึ้นในระนาบ 2 มิติ แสดงบนแผนผังอาคาร สมการการเคลื่อนที่และแบบจำลองการเคลื่อนที่โดย Helbing *et al.* (2000) ชุดคำสั่ง (Algorithm) ของโปรแกรมและการนำเสนอลักษณะของคนโดยใช้วงกลมสามวงโดย Korhonen และคณะ ปรับปรุงแบบจำลองล่าสุดโดย Langston และคณะ

เรขาคณิต (Geometry)

ประสิทธิภาพของ FDS จะเป็นผลมาจากการกำหนดขนาดกริดที่เหมาะสม เนื่องจากส่วนสำคัญของการคำนวณโดยใช้ Poisson solver based บน Fast Fourier Transforms (FFTs) ในทิศทาง y และ z มิติที่ 2 และ 3 ของโครงข่าย (mesh) ควรจะมาจากแบบฟอร์ม $2^l, 3^m, 5^n$ โดยที่ l, m, n เป็นจำนวนเต็ม ยกตัวอย่างเช่น $64 = 2^6$, $72 = 2^3 3^2$ และ $108 = 2^2 3^3$

2	3	4	5	6	8	9	10	12	15	16	18	20	24	25
27	30	32	36	40	45	48	50	54	60	64	72	75	80	81
90	96	100	108	120	125	128	135	144	150	160	162	180	192	200
216	225	240	243	250	256	270	288	300	320	324	360	375	384	400
405	432	450	480	486	500	512	540	576	600	625	640	648	675	720
729	750	768	800	810	864	900	960	972	1000	1024				

ภาพที่ 6 แสดงตัวเลขระหว่าง 1 ถึง 1024 ที่สามารถนำมายกกำลังสำหรับ 2, 3, 5

ที่มา: Fire Dynamics Simulator (Version 5) User's Guide (2008)

การถูกลดความสามารถในการมองเห็น (Reduced Visibility)

ความหนาแน่นของควันที่คำนวณโดย FDS เป็นผลทำให้ความเร็วในการเดินของตัวแทนลดลงซึ่งเป็นผลลัพธ์จากการทดลองของ Frantzich และ Nilsson ซึ่งใช้ความหนาแน่นของควันมากกว่าการทดลองของ Jin จากผลการทดลองดังกล่าวถูกนำไปใช้อย่างแพร่หลายและทำให้เกิดการทดลองใหม่ๆ ขึ้น ในความเป็นจริงการรับรู้ความหนาแน่นของควันสำหรับแต่ละบุคคลไม่เท่ากัน ดังนั้นค่าที่ถูกตั้งอยู่ในโปรแกรมจะเป็นค่าเฉลี่ยสำหรับตัวแทน (agent) แต่ละบุคคล ค่าที่ตั้งในแบบจำลองสำหรับบันไดจะไม่รวมทางเลือกสำหรับตัวแทนในการหันหลังกลับเมื่อค่าความหนาแน่นของควันเพิ่มมากขึ้น

การหมดสติ (Incapacitation)

ส่วนผสมมาตรฐานของอากาศในโปรแกรม FDS ปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์ขึ้นอยู่กับผู้ใช้กำหนด (CO) ในโปรแกรมรุ่นล่าสุดมีการคำนวณ FED (Fractional Effective Dose) ซึ่งใช้แนวคิดจากแบบจำลองของ Purser

การเลือกเส้นทางหนีไฟ (Exit Route Selection)

ชุดคำสั่งที่ใช้ในการเลือกประตูทางออกผู้ใช้สามารถเป็นผู้ควบคุมได้ว่าจะใช้การสุ่มหรือระบุตัวแทนให้ใช้ประตูทางออกใด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ใช้โปรแกรม

ระยะเวลาตรวจจับและตอบสนอง (Detection and Reaction Times)

เวลาเริ่มต้นที่ใช้ในการอพยพขึ้นอยู่กับการกำหนดค่าระยะเวลาตรวจจับและระยะเวลาตอบสนองโดยผู้ใช้โปรแกรม

การประยุกต์ใช้ (Applications)

- ในโปรแกรม FDS+Evac รุ่นล่าสุดยังไม่สามารถใช้ในการจำลองการอพยพโดยลิฟท์และการนำไปใช้เพื่อวัตถุประสงค์ต่างๆ ที่เกี่ยวกับทางทะเล

- หอแสดงดนตรี (Concert Hall) และสนามกีฬาอาจจะทำให้การสร้างแบบจำลองทำได้ยากด้วยข้อจำกัดในเรื่องการกำหนดรูปร่างของโครงข่าย (mesh) ที่ไม่ใช่สี่เหลี่ยมมุมฉาก

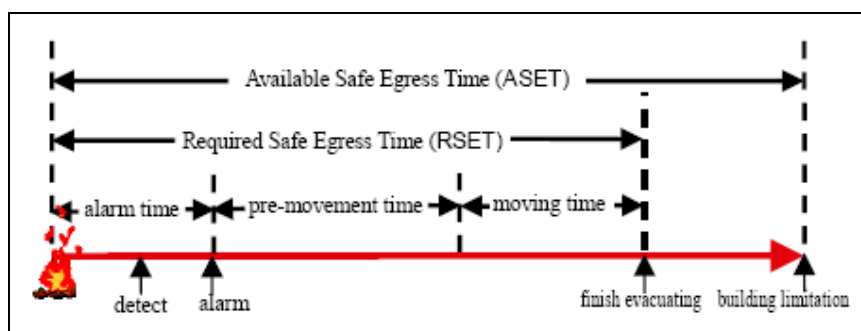
- จำนวนบุคคลต่อโครงข่ายการอพยพ โดยปกติหนึ่งโครงข่าย (mesh) เทียบได้กับหนึ่งชั้นของอาคาร โปรแกรมรุ่นล่าสุดสามารถบรรจุคนได้มากที่สุด 10,000 คนต่อ หนึ่งโครงข่าย

- โปรแกรมรุ่นล่าสุดสามารถแยกคำนวณในส่วนของการอพยพและการเผาไหม้ได้

2. หลักการการอพยพ

2.1 กลยุทธ์ในการอพยพ

กุญแจสำคัญที่จะรับประกันได้ว่าผู้ใช้อาคารสามารถอพยพได้อย่างปลอดภัย นั่นคือระยะเวลาที่จำเป็นต้องใช้ในการอพยพโดยปลอดภัย (Required Safe Egress Time, RSET) ต้องน้อยกว่าระยะเวลาที่สามารถอพยพได้โดยปลอดภัย (Available Safe Egress Time, ASET) ซึ่งนับตั้งแต่ไฟปะทุขึ้นไปจนถึงสามารถทำอันตรายต่อผู้ที่อยู่ในอาคารได้ ซึ่งช่วงเวลาที่ที่กล่าวมาข้างต้นนั้นแสดงไว้ในภาพที่ 7



ภาพที่ 7 มาตรฐานสากลของช่วงเวลาที่อพยพได้อย่างปลอดภัย (Universal Criterion of safe evacuation time-line)

ที่มา: <http://www.bs2007.org.cn/>

ระยะเวลาที่จำเป็นต้องใช้ในการอพยพโดยปลอดภัย (Required Safe Egress Time, RSET) หมายถึงระยะเวลาดั้งแต่ไฟปะทุขึ้นไปจนถึงผู้ใช้อาคารทุกคนอพยพไปยังจุดที่ปลอดภัย ระยะเวลาดังกล่าวรวมถึงระยะเวลาตรวจจับและส่งสัญญาณ (t_{alarm}), ระยะเวลาเตรียมการเคลื่อนที่ (t_{pre}) และระยะเวลาการเคลื่อนที่ (t_{move}) ซึ่ง ระยะเวลาเตรียมการเคลื่อนที่ (t_{pre}) ประกอบด้วยระยะเวลาการรับรู้ (t_{reg}) และระยะเวลาการตอบสนอง (t_{resp}) สามารถแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

$$RSET = t_{alarm} + t_{pre} + t_{move} = t_{alarm} + (t_{reg} + t_{resp}) + t_{move} \quad (2)$$

โดยที่

$ASET$ = ระยะเวลาที่สามารถอพยพโดยปลอดภัย (Available Safe Egress Time)

$RSET$ = ระยะเวลาที่จำเป็นต้องใช้ในการอพยพโดยปลอดภัย (Required Safe Egress Time)

t_{alarm} = ระยะเวลาตรวจจับและแจ้งเตือน (Detecting and Alarm Time)

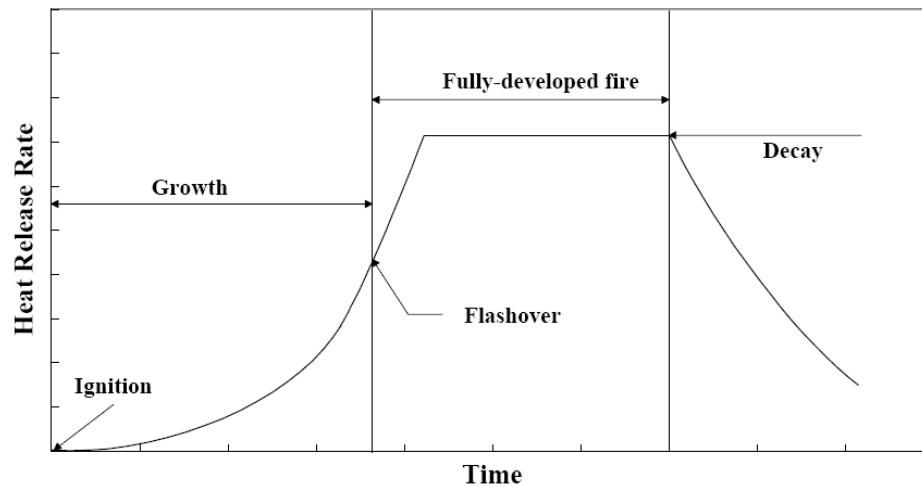
t_{pre} = ระยะเวลาเตรียมการเคลื่อนที่ (Pre-movement Time)

t_{move} = ระยะเวลาการเคลื่อนที่ (Movement Time)

t_{reg} = ระยะเวลาการรับรู้ (Recognition Time)

t_{resp} = ระยะเวลาการตอบสนอง (Response Time)

เพื่อความปลอดภัยของผู้ใช้อาคารเมื่อเกิดเหตุเพลิงไหม้จะต้องทำการอพยพตั้งแต่ช่วงที่เริ่มมีการจุดติดไฟ (Ignition) ไปจนถึงเริ่มที่จะมีการเผาไหม้เพิ่มขึ้น (ก่อนที่จะเข้าสู่ช่วงเวลาระยะที่ 2)



ภาพที่ 8 แสดงลำดับขั้นตอนการลามไฟ (Typical stages of fire growth)

ที่มา: George and Nouredine (n.d.)

จากภาพที่ 8 การแบ่งระยะเวลาของการเผาไหม้ กรณีที่ไม่มีการควบคุมไฟ สามารถแบ่งได้เป็น 3 ช่วง ได้แก่

1) ระยะลามไฟ (Growth Phase) ในระยะนี้ การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงจะเป็นไปอย่างรวดเร็ว เนื่องจากออกซิเจนภายในห้องมีอยู่จำนวนมาก ดังนั้นอัตราการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงจะขึ้นอยู่กับจำนวนของเชื้อเพลิง (Fuel-limited) อัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเป็นทวีคูณกับเวลา จากการทดลองโดยการเผาเชื้อเพลิงจริง พบว่าอัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนจะแปรผันโดยตรงกับเวลานับตั้งแต่เชื้อเพลิงจุดติดไฟ ยกกำลังสอง ซึ่งเรียกว่า t-square fire โดย

$$\dot{Q} = \alpha t^2 \quad (3)$$

$\dot{Q}$ คืออัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนในหน่วย kW

t คือเวลาของการเผาไหม้โดยนับตั้งแต่เวลาที่เชื้อเพลิงเริ่มลุกติดไฟในหน่วย วินาที

α คือค่าสัมประสิทธิ์การลามไฟ (Growth factor) ในหน่วย kW/s²

สัมประสิทธิ์การลามไฟเป็นค่าคงที่ที่ได้จากการทดลองโดย

$$\alpha = 1055 / (t_{1050})^2 \quad (4)$$

t_{1050} คือ เวลาที่เชื้อเพลิงใช้นับตั้งแต่จุดติดไฟจนกระทั่งการเผาไหม้สามารถปลดปล่อยพลังงานความร้อนออกมาได้เท่ากับ 1,055 kW (1,000 Btu/s) เชื้อเพลิงที่มีสัมประสิทธิ์การลามไฟสูงจะมีอัตราการลามไฟสูง หลังจากการจุดติดไฟการเผาไหม้จะดำเนินไปอย่างรวดเร็ว (ณัฐศักดิ์, 2007)

NFPA 204 (Standard for heat and Smoke Venting) (NFPA 2002) ได้จัดลำดับของอัตราการลามไฟ (Growth rate) ตามค่าสัมประสิทธิ์การลามไฟออกเป็น 4 ระดับ ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การลามไฟ (α) โดย NFPA 204

Growth Rate	α (kW/s ²)	Time (s) to reach 1055 kW
Ultra fast	0.19	75
Fast	0.047	150
Medium	0.012	300
Slow	0.003	600
Source: NFPA, Guide for Smoke and Heat Venting, NFPA 204M, [22]		

ที่มา: Kayili (2005)

การนำค่าสัมประสิทธิ์การลามไฟมาใช้ในการออกแบบการเผาไหม้สามารถพิจารณาได้จากเชื้อเพลิงภายในห้องหรือลักษณะการใช้งานของอาคารตามตารางที่ 3 ซึ่งเป็นคำแนะนำโดยประมาณเท่านั้น ในการกำหนดอัตราการปล่อยพลังงานความร้อนจริง วิศวกรและผู้ออกแบบจะต้องมีการตรวจสอบปริมาณและเชื้อเพลิงที่เป็นไปได้ภายในห้องก่อนทำการตัดสินใจว่าจะใช้ค่าสัมประสิทธิ์การลามไฟเท่าใด (ณัฐศักดิ์, 2007)

ตารางที่ 3 สัมประสิทธิ์การลามไฟแบ่งตามลักษณะการใช้อาคาร

ลักษณะการใช้	อัตราการลามไฟ
ห้องพักอาศัย	ปานกลาง
โรงแรม, สถานเลี้ยงเด็ก	รวดเร็ว
ห้างสรรพสินค้า, สถานบันเทิง	รวดเร็วมาก
โรงเรียน, สำนักงาน	รวดเร็ว
โรงงานอุตสาหกรรม	ไม่กำหนด

ที่มา: ฌ็องส์คักดี (2007)

2) ระยะเผาไหม้ในสภาวะคงตัว (Steady phase) หรือระยะเพลิงพัฒนาโดยสมบูรณ์ (Steady State Burning Phase) ในระยะนี้อัตราการปล่อยพลังงานความร้อนในช่วงนี้จะมีค่าเท่ากับ อัตราการปล่อยพลังงานความร้อนค่าสูงสุด (Maximum heat release rate, $\dot{Q}_{\max}$) อัตราการปล่อยพลังงานความร้อนในช่วงนี้จะถูกจำกัดโดยปริมาณออกซิเจนที่มีอยู่ภายในห้อง เราสามารถประมาณค่า $\dot{Q}_{\max}$ ได้โดยการคำนวณจากค่าอัตราการเผาไหม้สูงสุด (ฌ็องส์คักดี, 2007)

3) ระยะมอดดับ (Decay phase) โดยทั่วไปแล้วการกำหนดอัตราการปล่อยพลังงานความร้อนเพื่อการออกแบบระบบป้องกันอัคคีภัยโดยคำนึงถึงความปลอดภัยของชีวิตเป็นหลัก จะกำหนดเฉพาะในช่วงเวลาสั้นๆ เพียง 10 หรือ 30 นาที แรกของการเกิดเพลิงไหม้ ทั้งนี้เพราะว่า ในทางปฏิบัติแล้วผู้ที่อยู่ในบริเวณที่เกิดเพลิงไหม้ควรได้รับการช่วยเหลือให้หนีออกจากบริเวณเหล่านั้นภายในระยะการหนีไฟตามที่กำหนด ดังนั้นเราจึงสามารถกำหนดให้อัตราการปล่อยพลังงานให้คงตัวอยู่ในระยะการเผาไหม้ในสภาวะคงตัวจนจบการวิเคราะห์ได้ อย่างไรก็ตามถ้าเราทราบถึงจำนวนเชื้อเพลิงที่มีอยู่ภายในห้องที่เกิดเพลิงไหม้ เราสามารถประมาณระยะเวลาทั้งหมดที่เพลิงจะถูกไหม้ภายในห้องได้โดยสมการด้านล่าง (ฌ็องส์คักดี, 2007)

$$t_b = t_o + t_{bo} \approx \frac{\dot{Q}_{total}}{\dot{Q}_{\max}} \quad (5)$$

t_b คือ ระยะเวลาทั้งหมดของเพลิงไหม้

t_o คือ ระยะเวลาเพื่อการจุดติดไฟของเชื้อเพลิง

t_{bo} คือ ระยะเวลาที่เชื้อเพลิงเผาไหม้หมดไป

Q_{total} คือ โหลดความร้อนของเชื้อเพลิงทั้งหมดภายในห้อง

$\dot{Q}_{max}$ คือ อัตราการปล่อยพลังงานความร้อนสูงสุด

2.2 ขั้นตอนการอพยพ

จากตารางที่ 4 แสดงลำดับเหตุการณ์ในการอพยพ เริ่มต้นจากการเกิดเพลิงไหม้ ซึ่งระยะเวลาในการค้นพบการเกิดเพลิงไหม้ (Fire Discovery time) สามารถประมาณได้จากสมการที่ 6

ตารางที่ 4 แสดงลำดับขั้นตอนการอพยพ

Event	Calculation Method/Comments
1. Ignition	Fire growth
2. Detection	Detection
3. Sounding of alarm	Detection and warning systems
4. Recognition of alarm sounding	Recognition and response time (Table 12.2)
5. Start of movement of all occupants	
6. Reaching of exits by occupants	Minimum travel period
7. Passage of all occupants through exits	Waiting period

ที่มา: George and Noureddine (n.d.)

$$t_{fd} = t_d + t_a \quad (6)$$

โดยที่

t_d แทนเวลาดังแต่เกิดการเผาไหม้ไปจนถึงระยะเวลาที่ตรวจจับได้ซึ่งสามารถประมาณได้จากการใช้แบบจำลองการเกิดเพลิงไหม้ (วินาที)

t_a แทนเวลาดังแต่ตรวจจับได้ไปจนถึงสัญญาณเตือนดัง ซึ่งสามารถประมาณได้จากการคำนวณ (วินาที)

ระยะเวลาในการตอบสนอง คือเวลาดังแต่เสียงสัญญาณตรวจจับทำงานไปจนกระทั่งผู้ใช้อาคารเริ่มเคลื่อนที่อพยพ ระยะเวลาในการตอบสนองนั้นขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้อาคาร ประเภทของอาคาร ความคุ้นเคยของผู้ใช้อาคาร เป็นต้น ยกตัวอย่างเช่น คนที่ตื่นอยู่และมีความคุ้นเคยกับอาคารจะมีปฏิกิริยาตอบสนองได้เร็วกว่าคนที่นอนหลับอยู่และไม่คุ้นเคยกับอาคาร ระยะเวลาดังกล่าวสามารถแทนด้วยสมการที่ 7

$$t_{res} = t_o + t_i \quad (7)$$

โดยที่

t_o แทนด้วยเวลาดังแต่สัญญาณแจ้งเหตุทำงานไปจนถึงทำการตัดสินใจเพื่อที่จะตอบสนอง (วินาที)

t_i แทนด้วยระยะเวลาในการสืบสวน เก็บสินค้า ผจญเพลิง เป็นต้น

ตารางที่ 5 ค่าการออกแบบสำหรับระยะเวลาในการเตรียมการเคลื่อนที่

Occupancy	Pre-movement Time t_{pm} (s)		
	Alarm Bell	Non-directive P.A. *	Directive P.A. *
Hospitals	480	300	180
Residential	360	240	120
Nursing homes	360	240	120
Hotels	300	240	120
Places of assemblies	300	180	120
Sports stadia	300	180	120
Shopping complexes	300	180	120
Shops	300	180	120
Underground stations	240	180	60
Offices	240	180	60

* P.A. = Public Address System

ที่มา: George and Nouredine (n.d.)

ระยะเวลาในการอพยพ หลังจากที่มีการเคลื่อนที่ไปยังทางออก ระยะเวลาในการอพยพเป็นปัจจัยหลักที่ต้องนำมาพิจารณาในการออกแบบให้มีการอพยพได้อย่างรวดเร็วและปลอดภัย เวลาดังกล่าวเริ่มตั้งแต่เริ่มมีการเคลื่อนที่อพยพไปจนกระทั่งผู้ใช้อาคารทั้งหมดออกจากจุดเกิดเหตุไปยังพื้นที่ที่ปลอดภัย ระยะเวลาในการอพยพขึ้นอยู่กับจำนวนคน จำนวนทางออก

ขั้นตอนในการอพยพ ความหนาแน่นของคน และลักษณะของผู้ใช้อาคาร อายุ เพศ ลักษณะทางกายภาพ และสภาวะทางจิต เป็นต้น

ตารางที่ 6 แสดงความหนาแน่นของคน ความเร็วและระยะทาง ในแต่ละกิจกรรม

Activity of any Floor or Compartment	Occupant Density (persons/m ²)	Travel Speed (m/min)	Distance in 2.5 min (m)
<u>Crowd activities</u>			
Standing space	2.6	26	65
Bar standing areas	2.0	39	98
Stadia and grandstands	1.8	44	110
Space with loose seating	1.3	55	137
Areas without seating	1.0	62	154
Exhibition areas	0.7	68	171
Lobbies, foyers	1.0	62	154
Bar sitting areas	1.0	62	154
Dance floors	1.7	46	115
Stages for theatrical	1.3	55	137
Spaces with loose tables	0.9	64	160
Restaurants, dining rooms	0.9	64	160
Dining, beverage etc.	0.8	66	165
Indoor games, bowling	0.1	73	182
Classrooms	0.5	73	182
Reading or writing rooms	0.5	73	182
Teaching laboratories	0.2	73	182
Training rooms in schools	0.1	73	182
Gymnasias	1.7	46	115
Supermarkets, bazaar	0.5	73	182
Sales - ground, basement	0.4	73	182
Sales - upper floors	0.2	73	182
Showrooms	0.2	73	182
<u>Sleeping activities</u>	< 0.5	73	182
<u>Working, storage etc.</u>	< 0.5	73	182
<u>Intermittent activities</u>	< 0.5	73	182

ที่มา: George and Noureddine (n.d.)

2.3 พฤติกรรมการตอบสนองต่อไฟและควัน (Behavioral Response To Fire and Smoke)

ในต่างประเทศได้มีการศึกษาวิจัยพฤติกรรมการตอบสนองของแต่ละบุคคลมากกว่า 40 ปี โดยหน่วยงานด้านอัคคีภัยจากการสอบถามและจากแบบสอบถาม พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมการตอบสนองของแต่ละบุคคลในเหตุเพลิงไหม้ มีดังนี้

- 1) ประเภทอาคารที่เกิดเหตุ
- 2) การรับรู้ว่ามีเหตุเพลิงไหม้

ในกระบวนการศึกษาวิจัยนี้เชื่อว่าระยะเวลาระหว่างการตรวจพบที่เกิดเหตุเพลิงไหม้กับระยะเวลาที่พนักงานดับเพลิงมาถึงยังจุดเกิดเหตุมีความสำคัญต่อชีวิตของผู้ใช้อาคารที่อยู่ในจุดเกิดเหตุและพื้นที่ใกล้เคียง วัตต์ (Wood) (SFPE HAND BOOK, 1995) ได้ทำการศึกษาพฤติกรรม การตอบสนองของผู้ใช้อาคาร จากการสัมภาษณ์ผู้ประสบเหตุการณ์เพลิงไหม้ 2,193 คน จากเหตุการณ์เพลิงไหม้ 952 ครั้ง โดยพนักงานจากหน่วยงานด้านอัคคีภัย เกี่ยวกับเหตุการณ์เพลิงไหม้ในอังกฤษ สกอตแลนด์ และเวลส์ พบว่าพฤติกรรม การตอบสนองที่พบบ่อยสามารถแบ่งประเภทได้ดังนี้ การอพยพ การดับเพลิง การจำกัดเพลิง และการแจ้งไปยังหน่วยงานดับเพลิง นอกจากนี้ ไบรอัน (Bryan) (SFPE HAND BOOK, 1995) ได้ทำการศึกษาพฤติกรรม การตอบสนองของชาวสหรัฐอเมริกาจากกลุ่มผู้ใช้อาคารประเภทที่อยู่อาศัย จากการทำแบบสอบถามจากคนจำนวน 584 คน จากเหตุการณ์เพลิงไหม้ 335 ครั้ง จากการศึกษาของทั้ง 2 คน พบว่าพฤติกรรมแรกที่ทำเมื่อเกิดเหตุเพลิงไหม้จะแปรผันตามเพศ ซึ่งเพศชายจะให้ความสำคัญกับการดับเพลิง ในขณะที่เพศหญิงจะตื่นตระหนกและให้ความช่วยเหลือผู้อื่นในการอพยพออกจากอาคาร

ตารางที่ 7 แสดงผลการศึกษาของวัตต์ (Wood) และไบรอัน (Bryan) พฤติกรรมแรกที่ทำเมื่อเกิดเหตุเพลิงไหม้

Actions	British Percent	U.S. Percent	$P_1 - P_2$	$SE_{P_1 - P_2}$	CR
Notified Others	8.1	15.0	6.9	1.38	5.00**
Searched for Fire	12.2	10.1	2.1	1.51	1.39
Called Fire Department	10.1	9.0	1.1	1.40	0.79
Got Dressed	2.2	8.1	5.9	0.85	6.94**
Left Building	8.0	7.6	0.4	1.27	0.31
Got Family	5.4	7.6	2.2	1.11	1.98*
Fought Fire	14.9	10.4	4.5	1.63	2.76**
Left Area	1.8	4.3	2.5	0.70	3.57**
Nothing	2.1	2.7	0.6	0.69	0.87
Had Others Call Fire Department	2.8	2.2	0.6	0.76	0.79
Got Personal Property	1.2	2.1	0.9	0.55	1.64
Went to Fire Area	5.6	2.1	3.5	1.01	3.47**
Removed Fuel	1.2	1.7	0.5	0.53	0.94
Enter Building	0.1	1.6	1.5	0.30	5.00**
Tried to Exit	1.6	1.6	0	0	0
Closed Door to Fire Area	3.1	1.0	2.1	0.76	2.76**
Pulled Fire Alarm	2.7	0.9	1.8	0.70	2.57*
Turned Off Appliances	4.1	0.9	3.2	0.85	3.20**
N = 18	2193	580			

*Critical ratio significant at or above the 5 percent level of confidence.
 **Critical ratios significant at or above the 1 percent level of confidence.

ที่มา: SFPE HANDBOOK (1995)

มีข้อมูลแตกต่างกัน 10 ข้อมูลระหว่างประชากรทั้ง 2 ประเทศ ชาวอเมริกันให้ความสำคัญต่อพฤติกรรม 5 อันดับแรกดังนี้ แจ็กเตียนผู้อื่น เก็บสิ่งของ ดูแลครอบครัว ออกจากพื้นที่ และเข้าไปในอาคาร พฤติกรรมแรกของชาวอังกฤษ คือ ผจญเพลิง ไปที่จุดเกิดเหตุ ปิดประตูห้องที่เกิดเหตุ ดึงสัญญาณแจ้งเตือน และปิดอุปกรณ์เครื่องใช้ จากข้อมูลดังกล่าวสามารถจำแนกพฤติกรรมได้ 3 ประเภท คือ การอพยพ การกลับเข้าไป , การผจญเพลิง, เคลื่อนที่ผ่านควัน และหันหลังกลับ การเปรียบเทียบพฤติกรรมของประชากรทั้ง 2 ประเทศ แสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 แสดงพฤติกรรมของชาวอังกฤษและอเมริกา

Behavior	British Percent	U.S. Percent	$P_1 - P_2$	$SE_{P_1 - P_2}$	CR
Evacuation	54.5	80.0	25.5	2.30	11.09**
Reentry	43.0	27.9	15.1	2.30	6.57**
Fire Fighting	14.7	22.9	8.2	1.74	4.71**
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**
N = 5	2193	584			

*Critical ratio significant at or above the 5 percent level of confidence.

**Critical ratios significant at or above the 1 percent level of confidence.

ที่มา: SFPE HANDBOOK (1995)

สถานะที่สามารถทนได้ (Tenability Criteria)

ข้อจำกัดที่ควรระวังไว้สำหรับเพลิงที่เกิดภายในพื้นที่ปิดล้อม จะต้องไม่เกินกำหนดก่อนที่ผู้ใช้อาคารจะสามารถไปยังจุดปลอดภัย ข้อมูลด้านล่างเป็นข้อมูลที่รวบรวมมาจากหลายแหล่งข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยในชีวิต

เพอร์เซอร์ (Purser) ได้สรุประดับแก๊สพิษจากการเผาไหม้และเสนอขั้นตอนการประเมินผลกระทบที่จะเกิดกับมนุษย์ จากตารางที่ 9 ได้แสดงข้อจำกัดสภาวะที่ทำให้หมดสติ ถึงแก่ความตาย และระคายเคืองต่อระบบประสาท เกณฑ์ดังกล่าวได้รวมถึงระดับคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO), ไฮโดรเจนไซยาไนด์ (HCN), ออกซิเจน (O₂), คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂), ค่าความร้อนต่อพื้นที่, อุณหภูมิอากาศ และความหนาแน่นของควันต่อการมองเห็น

ตารางที่ 9 สภาวะที่สามารถทนได้ (Tenability Criteria) (Buchanan, 1994)

Tenability Type	Tenability Limit
Convection Heat	Temperature of the relevant gas layer $\leq 65^{\circ}\text{C}$ (time to incapacitation for 30 min exposure)
Smoke Obscuration	Visibility in the relevant layer should not fall below 2 m
Toxicity	CO ≤ 1400 ppm (small children incapacitated in half the time) HCN ≤ 80 ppm O ₂ $\geq 12\%$ CO ₂ $\leq 5\%$ (the above critical values lead to incapacitation in approximately 30 min)
Radiation Heat	Radiant flux from upper layer $\leq 2.5 \text{ kW/m}^2$ (this corresponds to a gas layer temperature of about 200°C ; above this, the tolerance time is less than 20 s)

ที่มา: George and Nouredine (n.d.)

ตารางที่ 10 สภาวะที่สามารถทนได้ (Tenability Criteria) ได้เนื่องจากแก๊สพิษ

Chemical Products	5 min Exposure		30 min Exposure	
	Incapacitation	Death	Incapacitation	Death
Carbon Monoxide	6000 ppm	12000 ppm	1400 ppm	2500 ppm
Low Oxygen	< 13 %	< 5 %	< 12 %	< 7 %
Carbon Dioxide	> 7 %	> 10 %	> 6 %	> 9 %

ที่มา: George and Nouredine (n.d.)

ตารางที่ 11 แสดงข้อจำกัดที่เกิดจากควันซึ่งส่งผลต่อการมองเห็น

Location	Minimum Visibility within Room
In a small room	2 m
Other rooms	10 m

ที่มา: George and Nouredine (n.d.)

ตารางที่ 12 แสดงสภาวะที่สามารถทนได้ที่เกิดจากความร้อน

Mode of Heat Transfer	Symptom	Exposure Level
Radiation	Severe skin pain	2.5 kW/m ²
Conduction	Skin burns 1 s of contact (metal)	60°C
Convection	Skin/lungs affected by hot gas in > 60 s	120°C
Convection	Skin/lungs affected by hot gas in < 60 s	190°C

ที่มา: George and Nouredine (n.d.)

ตารางที่ 13 Critical times for reaching untenable conditions

Type of Zone	Critical Time to Reach Untenable Conditions in Means of Escape (min)
A. Unprotected fire zone	
• Normal sized room ($\leq 100 \text{ m}^2$)	2 - 2.5
• Larger compartments or room (height > 4 m)	4 - 6
B. Partially protected zone	
• Natural smoke expulsion	5
• Pressurization or extraction system	10
C. Fully protected zone	
• Natural smoke expulsion, no lobby	30
• Natural smoke expulsion, lobby	45
• Pressurization or extraction system	60

ที่มา: George and Nouredine (n.d.)

ตารางที่ 14 แสดงระดับความสามารถในการมองเห็นและข้อจำกัด

Researcher(s)	Visibility range (m)	Optical density (OD/m)
Jin (1976)	15 - 20 (unfamiliar occupant)	0.045
	3 - 5 (familiar occupant)	0.17 - 0.3
Kawagoe (1967)	20	0.45
Wakamatsu (1968)	25	0.43
Los Angeles Fire Dept. (1961)	14	0.076
Rasbash (1967)	4.5 (dash to safety)	0.21
Malhotra (1967)	4.5 (dash to safety)	0.21

ที่มา: George and Noureddine (n.d.)

3. แบบจำลองสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน สถานีรักษาดูแล

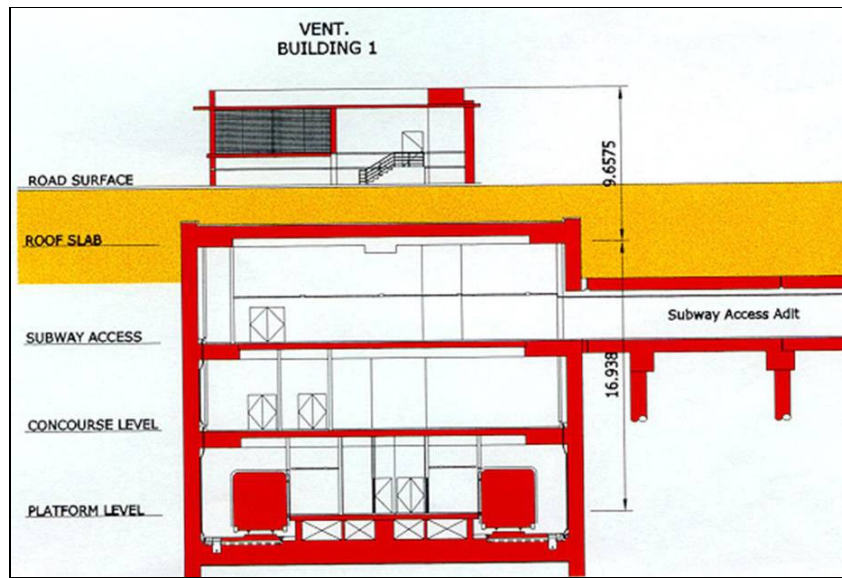
3.1 ลักษณะพื้นฐานของสถานี (Geometry)

สถานีรถไฟฟ้าใต้ดินรักษาดูแลเป็นสถานีแบบชานชาลาอยู่ตรงกลาง (Center Platform) การออกแบบสถานีเป็นไปตามมาตรฐานสากล NFPA 130 Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems ซึ่งวัตถุประสงค์ของมาตรฐานนี้คือ

1) เพื่อป้องกันผู้ที่เข้ามาใช้ระบบ ระบบจะต้องถูกออกแบบ ก่อสร้าง และคงอยู่ เพื่อป้องกันผู้ที่ใช้ระบบซึ่งไม่คุ้นเคยกับการเกิดเพลิงไหม้ขึ้นต้นซึ่งจำเป็นต้องใช้เวลาในการอพยพจากจุดเกิดเหตุหรือเหตุฉุกเฉินที่เกี่ยวข้องกับอัคคีภัย

2) ความสมบูรณ์ของโครงสร้าง สถานี ราง และพาหนะจะต้องคงอยู่เพื่อผู้ที่เข้ามาใช้ระบบซึ่งไม่คุ้นเคยกับเหตุเพลิงไหม้ขึ้นต้นต้องใช้เวลาในการอพยพจากจุดเกิดเหตุหรือเหตุฉุกเฉินที่เกี่ยวข้องกับอัคคีภัย

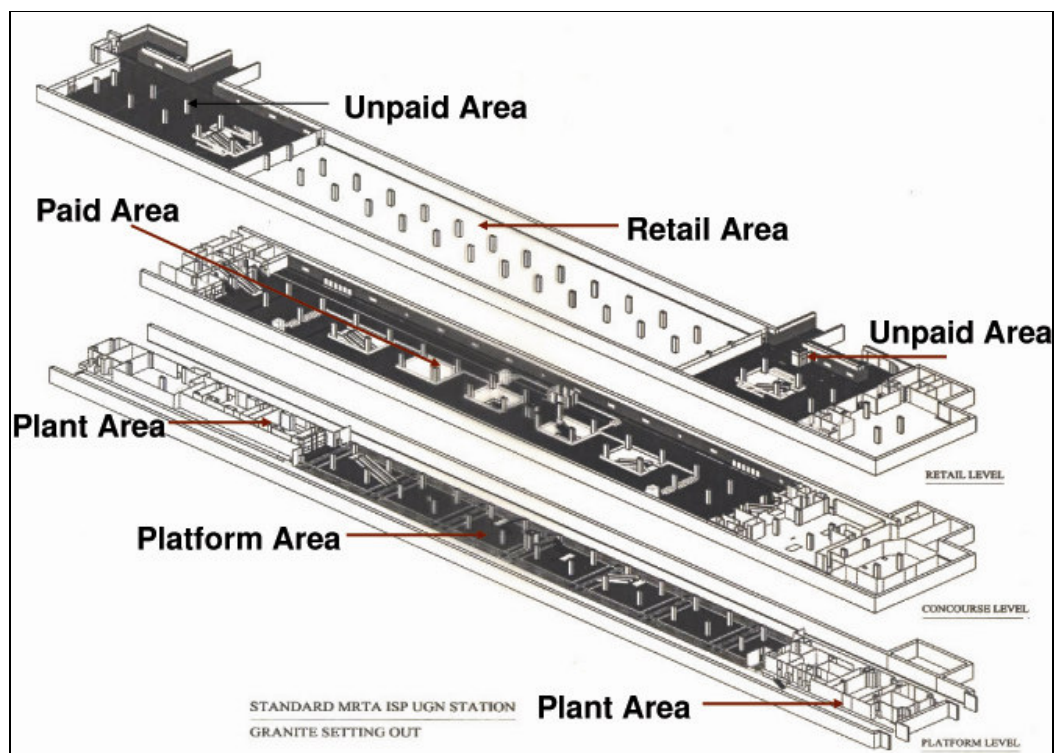
3) ระบบที่มีประสิทธิภาพ ระบบจะถูกใช้ประโยชน์ตามวัตถุประสงค์ข้างต้นจะต้องสามารถบรรเทาอันตรายหรือสามารถใช้งานได้ตามเงื่อนไข ระบบจะต้องมีความน่าเชื่อถือ จะต้องคงอยู่ไปถึงระดับที่ออกแบบไว้ และต้องสามารถใช้งานได้



ภาพที่ 9 ชานชาลากลาง (Center Platform)

ที่มา: การรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย (2549)

สถานีมีขนาดกว้าง 25 เมตร ยาว 228 เมตร ลึก 15.6 เมตร วัดจากระดับชานชาลาไปจนถึง underpass slab สถานีแบ่งออกเป็น 3 ชั้น ได้แก่ชั้นร้านค้า (Retail Level) ชั้นขายบัตรโดยสาร (Concourse Level) และชั้นชานชาลา (Platform Level) ดังแสดงในภาพที่ 10



ภาพที่ 10 การแบ่งพื้นที่ใช้สอยภายในสถานี

ที่มา: การรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย (2549)

3.2 ลักษณะการใช้งานอาคาร (Occupancy) และ ประเภทบุคคลที่ใช้อาคาร (Groups)

วัตถุประสงค์หลักของสถานีคือผู้โดยสารขาเข้าและขาออกที่เข้ามาใช้บริการในระบบ โดยปกติจะไม่ใช้เวลานานเกินความจำเป็นในการรอ และเมื่อเข้ามาในระบบแล้วจะโดยสารพาหนะออกจากสถานี ส่วนผู้โดยสารขาเข้าเมื่อมาถึงสถานีที่หมายแล้วจะออกจากสถานี ปัจจุบันสถานีรถไฟฟ้ารัชดาภิเษกถูกใช้เพียงเพื่อการขนส่ง ยังไม่มีการใช้เป็นร้านค้า บุคคลที่อยู่ภายในสถานีจะแบ่งออกเป็นกลุ่มคนที่มีความคุ้นเคยกับอาคาร ได้แก่ พนักงานของบริษัทที่เข้ารับสัมประทานและพนักงานประจำสถานีของการรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทยซึ่งจะทราบเส้นทาง การอพยพเป็นอย่างดีและได้รับการฝึกซ้อมอพยพอยู่เป็นประจำ และกลุ่มคนที่ไม่คุ้นเคยกับอาคาร ได้แก่ กลุ่มคนผู้โดยสาร ซึ่งจะทราบเพียงเส้นทางเข้า-ออกจากระบบ กลุ่มผู้ใช้อาคารมีทั้ง เด็ก ผู้ใหญ่ คนชรา ผู้พิการ ดังแสดงในตารางที่ 15 ช่วงเวลาที่มีการใช้อาคารมากที่สุดแบ่งออกเป็น ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้าและช่วงเวลาเร่งด่วนเย็น

ตารางที่ 15 แสดงสัดส่วนจำนวนผู้โดยสารเฉลี่ยประจำปี 2550

ประเภทของผู้ใช้งาน	จำนวนผู้โดยสารเฉลี่ย
	ร้อยละ
บุคคลทั่วไป	70.42
เด็ก	0.35
ผู้สูงอายุ	2.22
นักเรียน	8.42
นักท่องเที่ยว	0.13
ผู้ใช้บัตร 30 วัน	18.43
อื่นๆ	0.03
	100

ที่มา: การรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย (2550)

บุคคลทั่วไป หมายถึง ผู้โดยสารที่ใช้เหรียญโดยสารและบัตรเติมเงินประเภทบุคคลทั่วไป และบัตรโดยสารธุรกิจ

เด็ก หมายถึง เด็กที่มีความสูงระหว่าง 90 ถึง 120 เซนติเมตร

ผู้สูงอายุ หมายถึง ผู้ที่มีอายุตั้งแต่ 60 ปีขึ้นไป

นักเรียน หมายถึง นักเรียน-นักศึกษา อายุไม่เกิน 23 ปี ที่ใช้บัตรเติมเงินประเภทนักเรียน/นักศึกษา

นักท่องเที่ยว หมายถึง ผู้โดยสารที่ใช้บัตรเติมเงิน 1 วัน และ 3 วัน

ผู้ใช้บัตร 30 วัน หมายถึงผู้โดยสารที่ใช้บัตรประเภท 30 วัน

อื่นๆ หมายถึง ค่าธรรมเนียมต่างๆ ที่เรียกเก็บจากผู้โดยสาร เช่น การอยู่ในระบบเกินเวลาที่กำหนด หรือการทำบัตรเติมเงิน หรือเหรียญโดยสารสูญหาย เป็นต้น

ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้าวันธรรมดา (วันจันทร์ – วันศุกร์) หมายถึง ช่วงเวลา 06:00 น. ถึง 09:00 น.

ช่วงเวลาเร่งด่วนเย็นวันธรรมดา (วันจันทร์ – วันศุกร์) หมายถึง ช่วงเวลา 16:30 น. ถึง 19:30 น.

ช่วงเวลาเร่งด่วน วันหยุด (วันเสาร์ วันอาทิตย์ และวันหยุดนักขัตฤกษ์) หมายถึง ช่วงเวลา 11:00 น. ถึง 18:00 น.

3.3 อุปกรณ์ประกอบการอพยพภายในระบบ

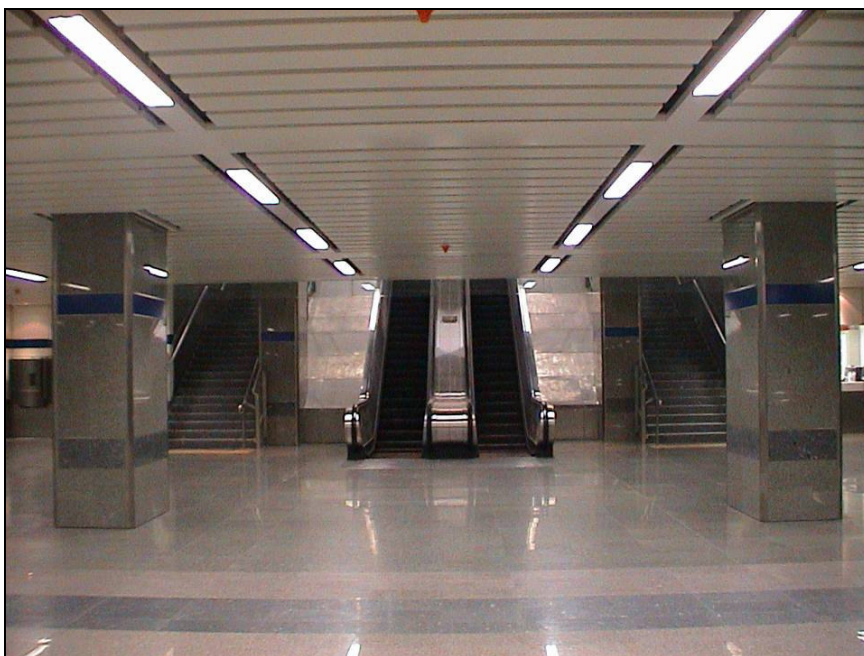
บันไดมีความกว้างตั้งแต่ 1.2 เมตร ถึง 1.8 เมตร (ความกว้างขั้นต่ำตามมาตรฐาน NFPA 130 เท่ากับ 1.1 เมตร) ลูกตั้งมีขนาด 0.15 เมตร ถึง 0.18 เมตร ลูกนอนมีขนาด 0.279 เมตร บันไดภายในสถานีมีทั้งหมด 8 บันได (ไม่นับรวมบันไดบริเวณ Intervention Shaft และทางเข้า-ออก)

บันไดเลื่อนในสถานีมีจำนวน 6 บันได (ไม่นับรวมบันไดเลื่อนบริเวณทางเข้า-ออก) มีขนาดขั้นบันไดลึก 408 มิลลิเมตร ขั้นบันไดกว้าง 1,004.3 มิลลิเมตร ความสูงของขั้นบันไดเท่ากับ 204 มิลลิเมตร จากมาตรฐาน NFPA130 บันไดเลื่อนจะถูกนำมาใช้ในการอพยพ เมื่อเกิดการอพยพ บันไดเลื่อนจะต้องกลับทิศทางไปในทิศทางเดียวกันกับการอพยพ บันไดเลื่อนเอียงทำมุม 30 องศา ความเร็วเท่ากับ 0.75 เมตรต่อวินาที ในการคำนวณความสามารถในการอพยพของบันไดเลื่อน จะต้องพิจารณาให้บันไดเลื่อน 1 ตัวในแต่ละชั้นไม่สามารถใช้งานได้ และบันไดเลื่อนที่นำมาพิจารณาจะต้องมีผลต่อการอพยพมากที่สุด บริเวณโครงเหล็ก (Truss) มีการติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิงชนิดท่อแห้ง เพื่อใช้ในการหล่อเย็นโครงเหล็ก (Truss)

อุปกรณ์เก็บค่าโดยสาร (Fare Collection Equipment) จะอยู่บนชั้นขายบัตรโดยสาร (Concourse Level) บริเวณเดียวกับจุดขายบัตรโดยสาร มีระยะห่างเท่ากับ 0.52 เมตร (วัดจากแบบ) ตามมาตรฐานกำหนดความสูงของอุปกรณ์ต้องไม่เกิน 1 เมตร เมื่อมีการอพยพเกิดขึ้นอุปกรณ์ดังกล่าวจะต้องถูกเปิดออกและไม่ขัดขวางการอพยพ

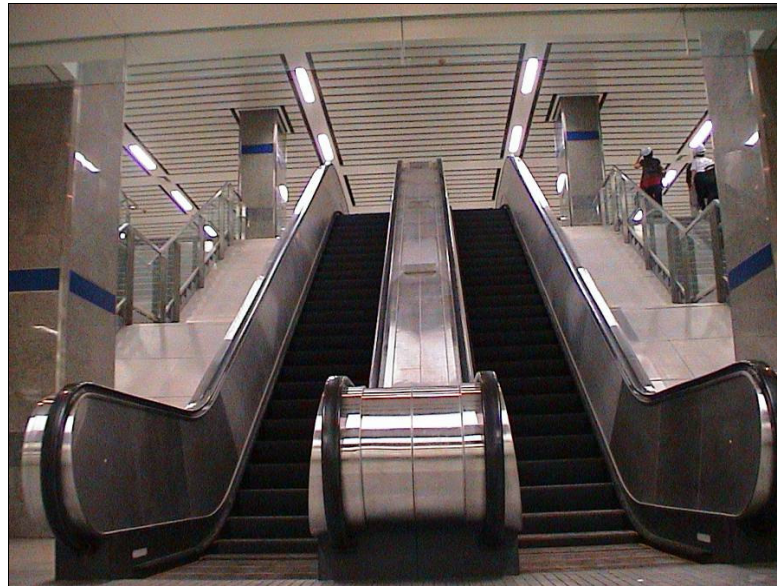
ประตูฉุกเฉิน (Emergency Gate) บริเวณจุดขายบัตรโดยสาร มีความกว้างโดยประมาณ 1.4 เมตร (วัดจากแบบ) การใช้งานในสภาวะปกติจะสั่งการโดยพนักงานในห้องขายบัตรโดยสาร ในสภาวะฉุกเฉินประตูจะเข้าสู่โหมดการใช้งานด้วยมือ (Manual) ต้องใช้มือในการเปิดประตุดังกล่าว

ความพร้อมของอุปกรณ์ทั้งหมดที่กล่าวมาข้างต้นจะมีความพร้อมสำหรับการใช้งานเกือบ 100% (ข้อมูลจากการรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย) ดังนั้นในกรณีเกิดเหตุฉุกเฉินจึงมั่นใจได้ว่าอุปกรณ์ดังกล่าวจะทำงานได้ตามที่ตั้งค่าไว้



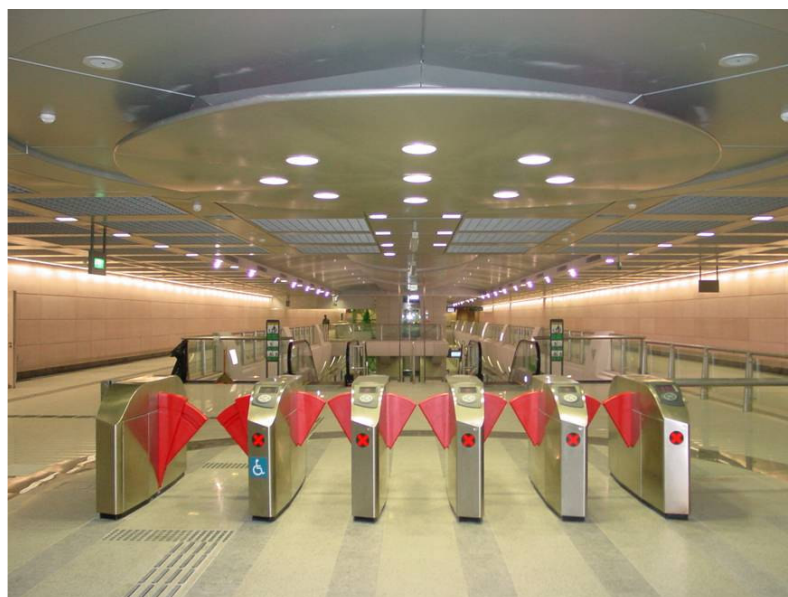
ภาพที่ 11 บันไดและบันไดเลื่อนในสถานีรถไฟฟ้า

ที่มา: การรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย (2549)



ภาพที่ 12 บันไดเลื่อน

ที่มา: การรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย (2549)

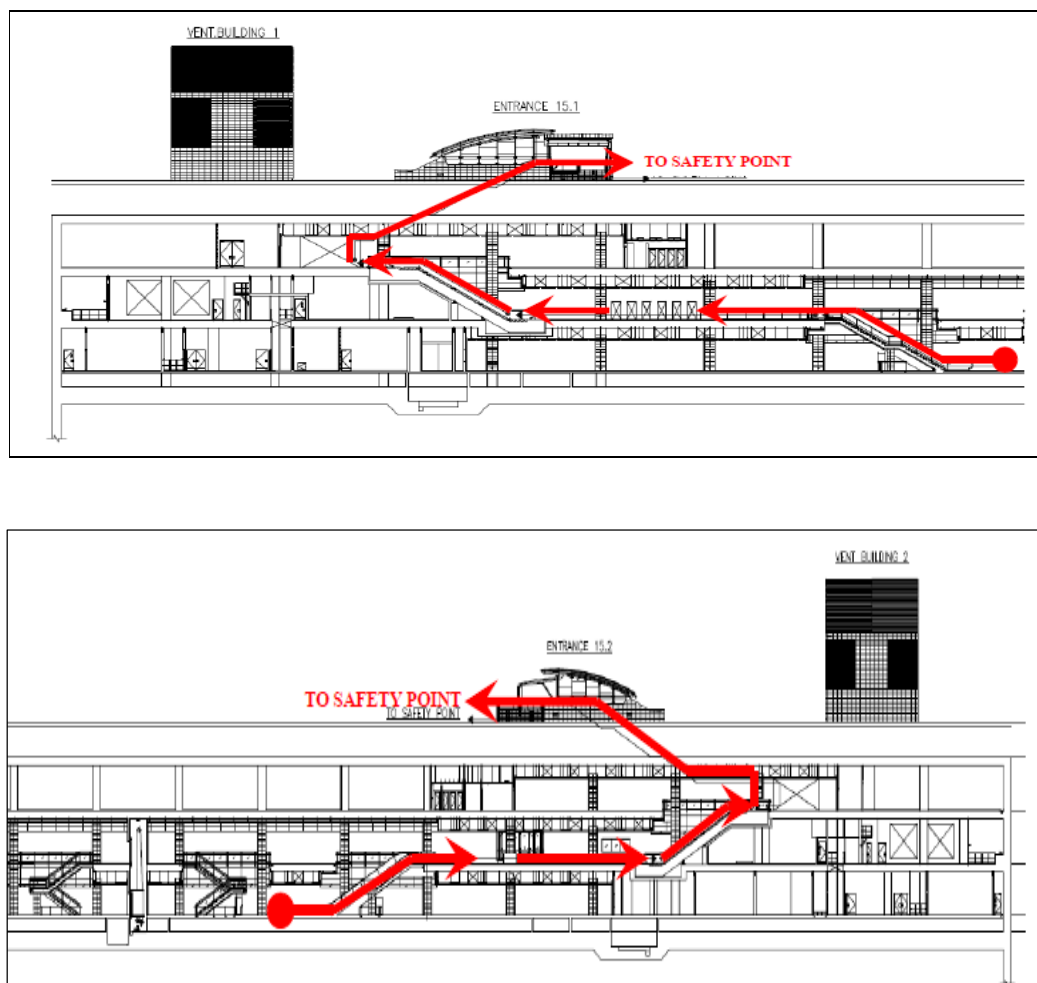


ภาพที่ 13 ประตูจัดเก็บค่าโดยสาร (Gate Availability)

ที่มา: การรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย (2549)

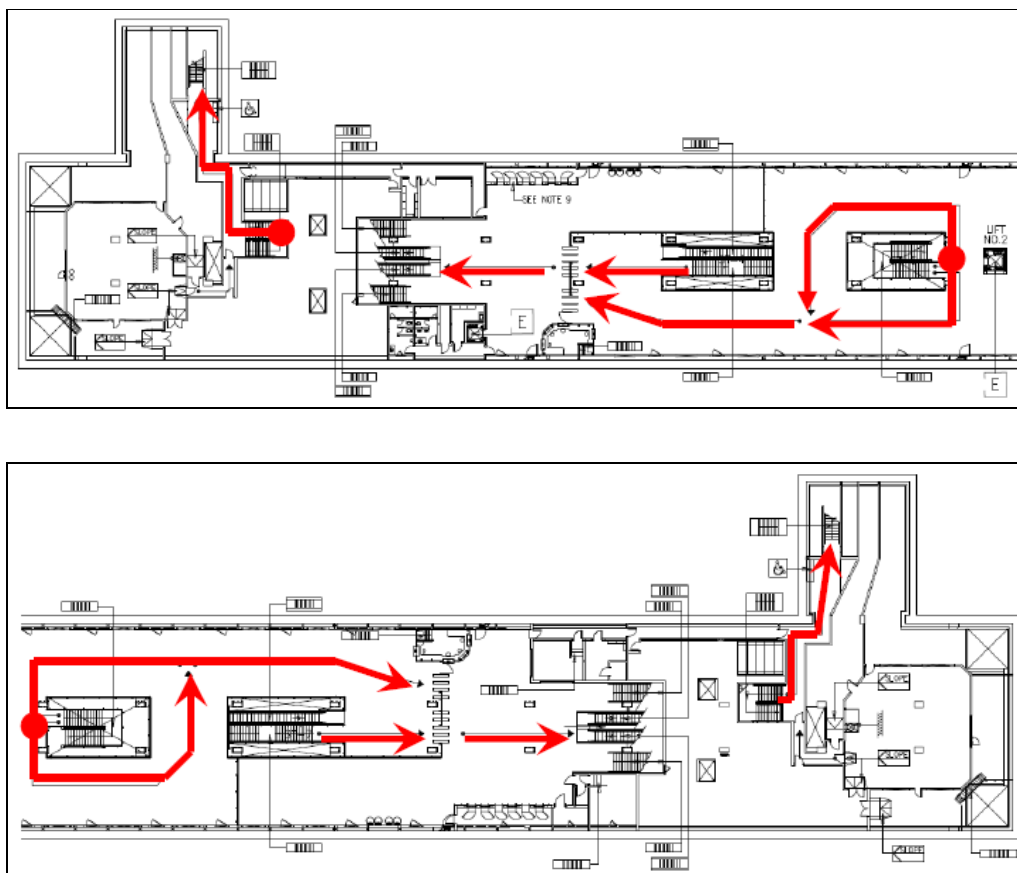
3.4 เส้นทางหนีไฟภายในสถานี

จากภาพด้านล่างแสดงเส้นทางในการอพยพ จากจุดไกลสุดไปยังจุดที่ปลอดภัยซึ่งอยู่นอกสถานี ในงานวิจัยนี้พิจารณาเฉพาะเส้นทางที่ผู้เข้ามาใช้งานในระบบสามารถมองเห็นได้โดยไม่ต้องมองหา ดังนั้นจึงไม่นำบันไดบริเวณ Ventilation Building ซึ่งอยู่ในบริเวณของพนักงาน (Staff Zone) มาพิจารณาไปด้วย ส่วนหนึ่งเป็นผลมาจากการปรับปรุงแบบจำลองให้มีความเหมาะสมกะทัดรัด และสะดวกรวดเร็วในการประมวลผลโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์



(ก)

ภาพที่ 14 แสดงเส้นทางกรอพยพในสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน



(ข)

ภาพที่ 14 (ต่อ)

ที่มา: การรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย (2547)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Jocelyn (1988) ศึกษาลักษณะเกี่ยวกับการเดินและสิ่งอำนวยความสะดวกสำหรับคนเดินเท้าในกรุงเทพมหานคร โดยใช้กล้องวิดีโอเก็บข้อมูลลักษณะการเดินของคนในเขตชุมชนเมืองที่ใช้บริการ ทางเท้า บันได สัญญาณไฟจราจรและบันไดเลื่อน ในการเก็บข้อมูลนั้นได้ทำการจำแนกอายุเพศ แล้วนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้โปรแกรม LOTUS RELEASE 2.01 และ SAS (Statistical Analysis Software) ผลปรากฏว่าคนไทยมีความเร็วในการเดินเท่ากับ 72.94 เมตร/นาที ซึ่งมีความเร็วน้อยกว่าคนยุโรปซึ่งมีความเร็วในการเดินเท่ากับ 82 เมตร/นาที ผู้ชายเดินเร็วกว่า

ผู้หญิง ความเร็วในการเดินบริเวณที่มีสัญญาณไฟจราจรสำหรับข้ามถนนเท่ากับ 76.52 เมตร/นาที่ ซึ่งใช้ความเร็วมากกว่าการเดินปกติ ที่บริเวณนั้นได้พบว่าความเร็วการเดินในทิศทางขึ้นเท่ากับ 31.16 เมตร/นาที่ และทิศทางลงเท่ากับ 36.22 เมตร/นาที่ ผลที่ได้ทำให้ทราบว่าความสูงของขั้นบันไดมีผลต่อความเร็วที่ลดลงทั้งในทิศทางขึ้นและลง ข้อมูลที่ได้นี้นำมาใช้ในการออกแบบสิ่งอำนวยความสะดวกสำหรับ คนที่ใช้บริการทางเท้าว่าเพียงพอและปลอดภัย โดยเฉพาะระยะเวลาที่อนุญาตให้คนข้ามถนนบริเวณที่ติดตั้งสัญญาณไฟจราจรข้ามแยกต่างๆ

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

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

Timo and Simo (2007) ทำการทดสอบชุดคำสั่งการเคลื่อนที่ของโปรแกรม FDS+Evac โดยใช้แบบจำลองที่มีรูปร่างไม่ซับซ้อน ซึ่งตัวแทนถูกกำหนดค่าความเร็วที่ใช้ในการเดิน กำหนดตำแหน่งทางออกและการหลบสิ่งกีดขวาง โดยประมวลผลเฉพาะส่วนของการอพยพเพียงอย่างเดียว ไม่ได้ประมวลผลพร้อมกับการเผาไหม้ การทดสอบผลกระทบเนื่องมาจากควันจะถูกวิเคราะห์แยกต่างหาก รายการการทดสอบโปรแกรมและผลการทดสอบมีดังนี้

การทดสอบที่ 1 ทดสอบความเร็วในการเดินในทางเดินยาว (Corridor) โดยใช้ตัวแทน 1 ตัวแทนกำหนดความเร็วที่ 1 เมตรต่อวินาที ควรจะเดินได้ระยะทาง 40 เมตร ในเวลา 40 วินาที โปรแกรม FDS+Evac สามารถทำได้และผ่านการทดสอบ

การทดสอบที่ 2 ทดสอบความเร็วที่ใช้ในการเดินขึ้นบันได (Stair) โดยใช้ตัวแทน 1 ตัวแทนกำหนดความเร็วที่ 1 เมตรต่อวินาที ควรจะเดินได้ระยะทาง 10 เมตร ในเวลา 10 วินาที โปรแกรม FDS+Evac สามารถทำได้และผ่านการทดสอบ

การทดสอบที่ 3 ทดสอบความเร็วที่ใช้ในการเดินลงบันได (Stair) โดยใช้ตัวแทน 1 ตัวแทนกำหนดความเร็วที่ 1 เมตรต่อวินาที ควรจะเดินได้ระยะทาง 10 เมตร ในเวลา 10 วินาที โปรแกรม FDS+Evac สามารถทำได้และผ่านการทดสอบ

การทดสอบที่ 4 ทดสอบอัตราการไหลที่ทางออก (Exit Flow Rate) โดยใช้ตัวแทน 100 คน กำหนดให้อยู่ในห้อง ประตูทางออกมีความกว้าง 1 เมตร อัตราการไหลที่ได้ควรจะไม่เกิน 1.33 คนต่อวินาที โปรแกรม FDS+Evac สามารถทำได้และผ่านการทดสอบ

การทดสอบที่ 5 ทดสอบเวลาในการตอบสนอง (Response Time) โปรแกรม FDS+Evac สามารถทำได้และผ่านการทดสอบ

การทดสอบที่ 6 ทดสอบการผ่านบริเวณที่เป็นมุม (Rounding Corner) ตัวแทนสามารถที่เข้าใกล้บริเวณที่เป็นมุมโดยไม่ชนมุมดังกล่าว

การทดสอบที่ 7 การกระจายตัวของประชากร (Assignment of population demographics parameter) เป็นไปตามค่าที่กำหนดในโปรแกรม โปรแกรม FDS+Evac สามารถทำได้และผ่านการทดสอบ

การทดสอบที่ 8 การคำนวณ FED (Fractional Effective Dose) ทดสอบโดยจำลองห้องที่มีรูปร่างไม่ซับซ้อนและกำหนดตัวแทน 1 ตัวแทนและแหล่งกำเนิดเชื้อเพลิงอยู่กลางห้อง กำหนดระยะเวลาในการตรวจจับในช่วงกว้างๆ พร้อมกับกำหนดอุปกรณ์ตรวจวัดความหนาแน่นของแก๊ส

ในตำแหน่งเดียวกันกับตัวแทน ผลการทดสอบโปรแกรมนำมาเปรียบเทียบกับผลการคำนวณ ผลที่ได้ตรงกัน โปรแกรม FDS+Evac สามารถทำได้และผ่านการทดสอบ

การทดสอบที่ 9 ทดสอบการเดินหลบสิ่งกีดขวางกับความหนาแน่นของควัน ควันทำให้ความเร็วในการเดินลดลงเนื่องจากควันทำให้ความสามารถในการมองเห็นลดลง โดยการจำลองในทางเดินยาวผลที่ได้อยู่บนพื้นฐานของทฤษฎี โปรแกรม FDS+Evac สามารถทำได้และผ่านการทดสอบ

Zhong *et al.* (2007) ใช้โปรแกรม Fire Dynamics Simulator Version 4 (FDS 4.0) ศึกษาตำแหน่งที่เหมาะสมของช่องลมระบายอากาศในสถานีรถไฟใต้ดิน สถานีเซินเซิน (Shenzhen Subway) ประเทศจีน จำลองการเคลื่อนที่ของควันในสถานีรถไฟใต้ดินแบบขนาขาลาข้างขณะเกิดเพลิงไหม้ โดยกำหนดตำแหน่งของช่องลมและความลึกในการกักเก็บควันที่ระดับแตกต่างกัน แต่ใช้พัดลมขนาดเดียวกัน ขนาขาลายาว 140 เมตร กว้าง 10 เมตร สูง 4.5 เมตร มีอุปกรณ์กั้นควัน (Smoke barrier) ที่กลางขนาขาลา ความลึกในการกักเก็บควันเท่ากับ 1.5 เมตร ปริมาตรการระบายอากาศภายในขนาขาลาเท่ากับ 84,000 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง จำลองกองเพลิงขนาด 1.5 MW บริเวณปลายสถานีฝั่งเหนือ จากผลการศึกษาพบว่าเมื่อความสูงของช่องลมระบายอากาศอยู่ที่ 3 เมตร ระบบระบายอากาศไม่สามารถระบายควันได้ ผู้วิจัยใช้ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์และอุณหภูมิเป็นเกณฑ์ในการพิจารณาประสิทธิภาพของการระบายอากาศที่เวลาต่างๆ เมื่อทำการเพิ่มความสูงของช่องลมที่ 3.5 เมตร 4 เมตร และ 4.5 เมตร ระบบระบายอากาศทำงานได้ดีขึ้น ดังนั้นจึงสรุปว่าความสูงของช่องลมระบายอากาศจึงเป็นอีกหนึ่งตัวแปรสำคัญในการพิจารณาประสิทธิภาพของระบบระบายอากาศ ถ้าพิจารณาความสูงของอุปกรณ์กั้นควัน (Smoke barrier) ร่วมด้วยก็จะทำให้ประสิทธิภาพของระบบดียิ่งขึ้น

Swee and Yaping (2008) ศึกษาลักษณะของผู้ใช้อาคารในระบบขนส่งมวลชนในประเทศสิงคโปร์ โดยศึกษาจากการตอบสนองต่อระบบสัญญาณแจ้งเหตุเพลิงไหม้ 3 ประเภท ได้แก่ สัญญาณแจ้งเหตุเพลิงไหม้แบบกริ่ง (Alarm Bell) การแจ้งเหตุเพลิงไหม้โดยการประกาศ (Live Announcement) และข้อความแจ้งเตือนที่ถูกบันทึก (Pre-Recorded Voice message) โดยใช้แบบสอบถามจำลองเหตุการณ์เพลิงไหม้สุ่มจากกลุ่มตัวอย่าง 400 คน ชาย 189 คน หญิง 211 คน ผู้วิจัยแบ่งกลุ่มผู้ใช้อาคารโดยการแบ่งเพศจากการสำรวจเก็บข้อมูลจากสถานี 63 แห่ง ปี 2005 ในช่วงเวลาเร่งด่วนเช้าและเร่งด่วนเย็น ในวันธรรมดา การแบ่งกลุ่มอายุโดยใช้ประโยชน์จากเครื่องเก็บบัตรโดยสาร ได้กลุ่มผู้ใช้อาคารออกเป็น 3 กลุ่ม คือ เด็ก ผู้ใหญ่ คนชรา โดยเด็กคือ

กลุ่มคนที่มีอายุตั้งแต่ 2.5-12 ปี คนชราคือกลุ่มคนที่มีอายุตั้งแต่ 65 ปีขึ้นไป จากการตอบแบบสอบถามสามารถแบ่งพฤติกรรมออกเป็น 4 พฤติกรรม ได้แก่ เพิกเฉย สังเกตคนรอบข้าง ไปหาเจ้าหน้าที่ในสถานี และออกจากจุดเกิดเหตุทันที แบบสอบถามได้ให้ผู้ใช้อาคารระบุเส้นทางที่จะใช้ในการหนีไฟ ถ้าผู้ตอบแบบสอบถามไม่สามารถระบุได้จะถือว่าไม่รู้เส้นทางออกอยู่ที่ใด ซึ่งแบบสอบถามได้ถามถึงประสบการณ์ในอดีตกับเหตุการณ์เพลิงไหม้ด้วย

นอกจากนั้นผู้วิจัยได้ทำการวัดความเร็วในการเดินหลบสิ่งกีดขวางและเดินปกติ จากวิดีโอที่ใช้ในการตรวจตราภายในสถานี ที่ระดับความหนาแน่นต่างๆ บริเวณทางเดินและบันได ผู้วิจัยได้ใช้ข้อมูลจากงานวิจัยและมาตรฐานเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลที่ได้ งานวิจัยของ Fahy และ Proulx ได้แนะนำค่าความเร็วเฉลี่ยที่ใช้ในแบบจำลองการอพยพเท่ากับ 1 เมตรต่อวินาที สำหรับการเดินปกติและหลบสิ่งกีดขวาง มาตรฐานความปลอดภัยของระบบขนส่งมวลชนในประเทศสิงคโปร์ได้กำหนดค่าความเร็วเฉลี่ยในการเดินเท่ากับ 1 เมตรต่อวินาที 0.3 เมตรต่อวินาที และ 0.25 เมตรต่อวินาที เป็นความเร็วสำหรับทางเดิน ลงบันไดและขึ้นบันได ตามลำดับ

จากการศึกษาพบว่า 86.5 เปอร์เซ็นต์จะตอบสนองต่อเสียงประกาศจากเจ้าหน้าที่และอพยพทันที 27.7 เปอร์เซ็นต์ตอบสนองต่อสัญญาณแจ้งเหตุเพลิงไหม้แบบกริ่งซึ่งเมื่อได้ยินเสียงกริ่งแล้ว ยังต้องพิจารณาให้แน่ใจว่าเกิดเหตุเพลิงไหม้ก่อนทำการอพยพและ 76.9 เปอร์เซ็นต์ตอบสนองต่อข้อความแจ้งเตือนที่ถูกบันทึก

จากการสอบถามถึงเส้นทางที่ใช้ในการหนีไฟภายในสถานี สัดส่วนหญิงชายเท่ากับ 62.5 เปอร์เซ็นต์ และ 52.4 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ไม่สามารถระบุทางออกฉุกเฉิน ทั้งๆ ที่ผู้ให้บริการส่วนใหญ่เข้าใช้บริการทุกวัน

ความเร็วในการเดินโดยใช้วิดีโอสำหรับตรวจตรา ความเร็วเฉลี่ยในการเดินหลบสิ่งกีดขวางสำหรับเพศหญิงและชายกลุ่มผู้ใหญ่ เท่ากับ 1.24 เมตรต่อวินาทีและ 1.3 เมตรต่อวินาที ตามลำดับ ความเร็วเฉลี่ยในการเดินหลบสิ่งกีดขวางสำหรับเพศหญิงและชายกลุ่มคนชรา เท่ากับ 1.04 เมตรต่อวินาทีและ 1.05 เมตรต่อวินาทีตามลำดับ ส่วนกลุ่มเด็กความเร็วที่ใช้ในการเดินเท่ากับ 1.08 เมตรต่อวินาที

ความเร็วในการลงบันได พบว่าเพศชายมีความเร็วมากกว่า 0.42 เมตรต่อวินาที ซึ่งเร็วกว่าคนกลุ่มอื่น ความเร็วเฉลี่ยของคนกลุ่มผู้ใหญ่เท่ากับ 0.38 เมตรต่อวินาที เด็กมีความเร็วเท่ากับ 0.31 เมตรต่อวินาที และคนชรามีความเร็วเท่ากับ 0.28 เมตรต่อวินาที

ความเร็วในการขึ้นบันได พบว่าเพศชายมีความเร็วมากกว่า 0.32 เมตรต่อวินาที ซึ่งเร็วกว่าคนกลุ่มอื่น ความเร็วเฉลี่ยของคนกลุ่มผู้ใหญ่เท่ากับ 0.31 เมตรต่อวินาที เด็กมีความเร็วเท่ากับ 0.3 เมตรต่อวินาที และคนชรามีความเร็วเท่ากับ 0.28 เมตรต่อวินาที

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. ระบบคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์เสริมประกอบ

1.1 เครื่องคอมพิวเตอร์แบบพกพา Genuine Intel® CPU T2300 ความจุ Hard Disk ขนาด 160 GB หน่วยความจำ (RAM) 3 GB ความเร็ว Hard disk 1.66 GHz

1.2 เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล Intel® Core™ 2 Duo CPU E6550 ความจุ Hard Disk ขนาด 160 GB หน่วยความจำ (RAM) 1 GB ความเร็ว Hard disk 2.33 GHz

1.3 เครื่องคอมพิวเตอร์แบบพกพา Intel® Pentium® Dual CPU T3400 ความจุ HardDisk ขนาด 240 GB หน่วยความจำ (RAM) 2 GB ความเร็ว Hard disk 2.16 GHz

1.4 เครื่องพิมพ์ชนิดเลเซอร์ เจ็ท (Laser Jet)

2. โปรแกรมที่ใช้งาน

2.1 โปรแกรม Pyrosim 2007 จากบริษัท Thunderhead Engineer Consultant Incorporation ประเทศสหรัฐอเมริกา สำหรับนำมาใช้ในการสร้างแบบจำลองและแปลงแบบจำลองดังกล่าวให้เป็นไฟล์นามสกุล .fds เพื่อมาใช้ประมวลผลในโปรแกรม FDS+Evac

2.2 โปรแกรมจำลองการเผาไหม้พร้อมการอพยพ Fire Dynamics Simulator with Evacuation (FDS+Evac) Version 5 นำไฟล์ที่ได้จากการแปลงมาป้อนคำสั่งกำหนดค่าการอพยพ แล้วนำไฟล์ที่ได้ไปดำเนินการบน Command Prompt ผลลัพธ์ที่ได้ใช้ชุดคำสั่ง Smokeview ในการแสดงแบบจำลอง

2.3 โปรแกรม Microsoft Office 2003 ใช้ในการจัดทำเอกสารรูปเล่มวิทยานิพนธ์

3. ระบบปฏิบัติการ

3.1 Microsoft Window XP Professional

วิธีการ

1. กำหนดปัญหา เก็บรวบรวมข้อมูล ศึกษาทฤษฎี มาตรฐานและข้อมูลอ้างอิงที่เกี่ยวข้องกับการจำลองการอพยพ
2. ศึกษาข้อมูลทางเทคนิค วิธีการใช้งานโปรแกรม Pyrosim 2007, FDS และ FDS+Evac
3. ศึกษาข้อมูลที่ได้การสนับสนุนจากการรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย เช่น ข้อมูลผู้โดยสาร แนวคิดในการออกแบบ แบบ As-Construction มาตรฐาน NFPA 130 และมาตรฐานอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง
4. ตั้งสมมติฐานในการออกแบบขนาดของเพลิง ตำแหน่งจุดเกิดเหตุ สร้างแบบจำลองในโปรแกรม Pyrosim 2007 แล้วทำการแปลงไฟล์ให้เป็นไฟล์นามสกุล .fds เพื่อนำมาดำเนินการในโปรแกรม FDS+Evac
5. ประเมินและวิเคราะห์ผล
6. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

ขั้นตอนการวิจัย

1. กำหนดปัญหา เก็บรวบรวมข้อมูล ศึกษาทฤษฎี มาตรฐานและข้อมูลอ้างอิง

ปัจจุบันผู้ใช้ระบบขนส่งมวลชนมีจำนวนเพิ่มขึ้น ซึ่งช่วงเวลาที่ผู้ใช้งานในระบบสูงสุดแต่ละวันจะอยู่ในช่วงเวลาเร่งด่วนเช้าในวันธรรมดา คือ ช่วงเวลา 06:00 น. ถึง 09:00 น. ช่วงเวลาเร่งด่วนเย็นในวันธรรมดา คือ ช่วงเวลา 16:30 น. ถึง 19:30 น. และ ช่วงเวลาเร่งด่วนในวันหยุดคือ ช่วงเวลา 11:00 น. ถึง 18:00 น. สถานีรถไฟฟ้าจึงกลายเป็นแหล่งรวมผู้ใช้อาคารหลายกลุ่มมีทั้ง เด็ก คนชรา ผู้ใหญ่ ผู้พิการ ดังนั้นกรณีที่มีเหตุการณ์ฉุกเฉินเกิดขึ้นจะเกิดการแตกตื่น โกลาหลอย่างมาก และในกรณีเลวร้ายที่สุดถ้าระบบขัดข้องทำให้ต้องใช้เวลาในการรอคอยรถไฟฟ้านานกว่าปกติ ขณะที่จำนวนคนที่เข้ามาในระบบเพิ่มขึ้น การอพยพของผู้ใช้อาคารจึงเป็นสิ่งสำคัญที่นำมาพิจารณา เพื่อทำแผนป้องกันและเมื่อเกิดเหตุการณ์ฉุกเฉินจะได้ทำการอพยพคนได้อย่างรวดเร็วและปลอดภัยที่สุด

มาตรฐาน NFPA101 Life Safety Code ได้จัดประเภทการใช้งานของอาคารสถานเป็น อาคารชุมนุมชน เนื่องจากจำนวนคนที่เข้าใช้อาคารมีมากกว่า 50 คน ดังนั้นการออกแบบอุปกรณ์ประกอบอาคารต่างๆ จะอ้างอิงจากรูปแบบการใช้งานของอาคารชุมนุมชน

มาตรฐาน NFPA 130 Standard for Fixed Guide way Transit and Passenger Rail Systems ในส่วนของข้อกำหนดเรื่องเส้นทางหนีไฟ (Mean of Egress) ได้แบ่งการอพยพออกเป็น 2 ส่วน คือ อพยพโดยรถไฟฟ้าและอพยพจากสถานีไปยังจุดปลอดภัย (งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการอพยพที่สถานีรถไฟฟ้า) วัสดุที่นำมาใช้ในอาคารจะต้องติดไฟยาก มีควันน้อยและไม่เกิดแก๊สพิษ สถานีได้ออกแบบให้มีการแยกพื้นที่สาธารณะและพื้นที่ที่ไม่เป็นสาธารณะด้วยผนังทนไฟอย่างน้อย 2 ชั่วโมง มีทางเข้าออกและทางออกฉุกเฉินเพียงพอ สามารถอพยพผู้โดยสารจากจุดใดๆ ในสถานีรถไฟฟ้าไปยังที่ปลอดภัยได้ภายใน 6 นาที มีป้ายสัญญาณฉุกเฉินต่างๆ อย่างพอเพียง มีระบบระบายอากาศเมื่อเกิดเหตุฉุกเฉิน มีระบบป้องกันและระงับอัคคีภัยอย่างพอเพียงและเหมาะสม มีระบบไฟฟ้าสำรอง ระบบไฟแสงสว่างฉุกเฉิน ระบบติดต่อสื่อสาร และระบบประกาศสาธารณะ ในกรณีฉุกเฉิน

จำนวนคนที่ใช้ในการคำนวณในสถานีมานอกจากจำนวนคนขาเข้าบวกกับจำนวนคนที่รอรถไฟฟ้า จำนวนคนดังกล่าวจะต้องอยู่ในช่วงที่มีการเข้าใช้งานในระบบสูงสุด ระยะเวลาที่ใช้อพยพออกจากชานชาลาเท่ากับ 4 นาทีหรือน้อยกว่า ระยะเวลาที่ใช้ในการอพยพออกจากจุดไกลสุดไปยังจุดปลอดภัยเท่ากับ 6 นาทีหรือมากกว่า ในกรณีที่ทำการคำนวณแล้วผลลัพธ์ที่ได้ไม่เป็นไปตามเงื่อนไขจะต้องทำการวิจัยในเชิงวิศวกรรม (Engineering Analysis) โดยประเมินจากค่าการปลดปล่อยความร้อนของวัสดุ รูปแบบสถานี และระบบระบายควันฉุกเฉิน

ความถี่ในการเดินรถในช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า ตลอดทั้งปีอยู่ที่ 4 นาทีโดยประมาณ ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่มียานคนเข้ามาในระบบขนส่งมากที่สุด

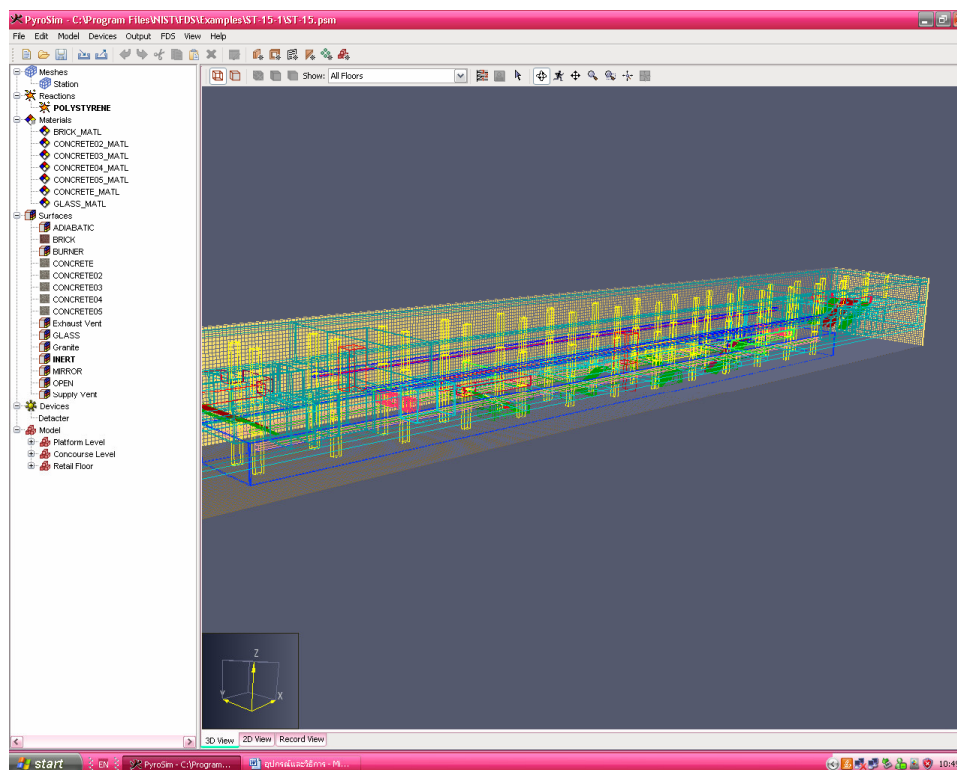
2. ศึกษาข้อมูลทางเทคนิค วิธีการใช้งานโปรแกรม Pyrosim 2007 และ FDS+Evac

โปรแกรม Pyrosim ถูกพัฒนาโดยบริษัท Thunderhead Engineering ประเทศสหรัฐอเมริกาและได้รับความร่วมมือจากคณะทำงานของ NIST (National Institute of Standards and Technology) และคณะทำงานจากสถาบัน VTT Technical Research Centre of Finland ซึ่งเป็นผู้พัฒนาโปรแกรม FDS และ FDS+Evac

ไฟล์ที่ได้จากโปรแกรมหกดังกล่าวจะมีนามสกุล .psm ซึ่งสามารถถูกแปลงเป็นนามสกุล .fds ได้เมื่อต้องการไฟล์ดังกล่าวนำไปใช้ในโปรแกรม FDS หรือ FDS+Evac ภายในโปรแกรมจะมีชุดคำสั่งที่ใช้สำหรับสร้างแบบจำลอง กำหนดชนิดเชื้อเพลิง กำหนดอุปกรณ์ต่างๆ เช่น เทอร์โมคัปเปิล อุปกรณ์ตรวจจับความร้อน หัวกระจายน้ำดับเพลิง เป็นต้น นอกจากนั้นสามารถใช้โปรแกรมหกดังกล่าวเขียนกราฟที่ได้จากการประมวลผลซึ่งสะดวกต่อการใช้งานเป็นอย่างยิ่ง ข้อมูลเพิ่มเติมได้จาก <http://www.thunderheadeng.com/>

โปรแกรม FDS+Evac เป็นส่วนเสริมของโปรแกรม FDS ในการใช้งานพื้นฐานเหมือนกับการใช้โปรแกรม FDS รายละเอียดได้จาก <http://www.nist.gov/> การใช้งาน FDS+Evac ต้องทำการป้อนชุดคำสั่งตั้งแต่โครงข่ายที่ใช้ในการอพยพ (Evacuation Mesh) กำหนดสิ่งกีดขวาง กำหนดประเภทของบุคคล ความเร็ว ตำแหน่งเริ่มทำการอพยพ ระยะเวลาในการตรวจจับ ระยะเวลาเริ่มที่จะอพยพ เป็นต้น

ไฟล์ที่ได้จากการประมวลผลมีทั้งไฟล์ที่เป็น Excel และไฟล์ที่ใช้ในการดูผลลัพธ์ของแบบจำลอง จะมีนามสกุล .smv ซึ่งใช้คำสั่ง Smokeview ในการดูและแสดงผลจากการประมวล ข้อมูลเพิ่มเติม ดูได้จาก <http://www.vtt.fi/>

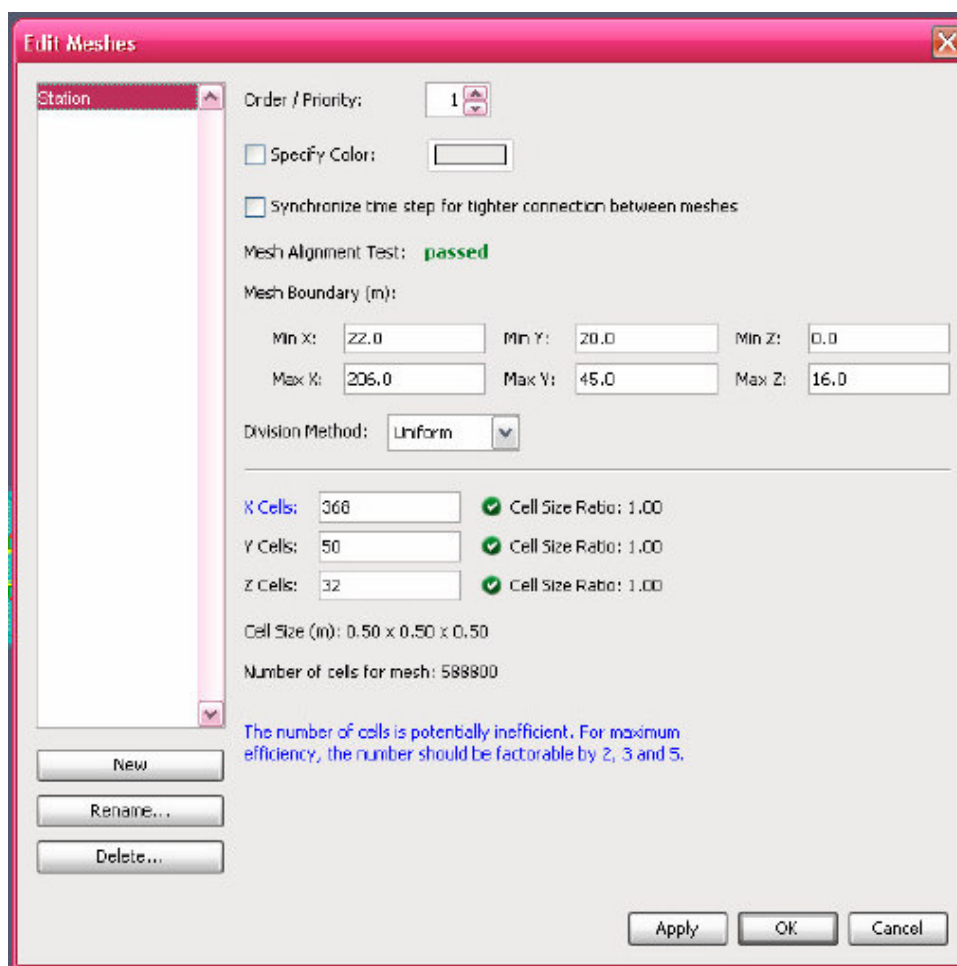


ภาพที่ 15 แสดงหน้าต่างการใช้งานโปรแกรม Pyrosim

3. การสร้างแบบจำลอง

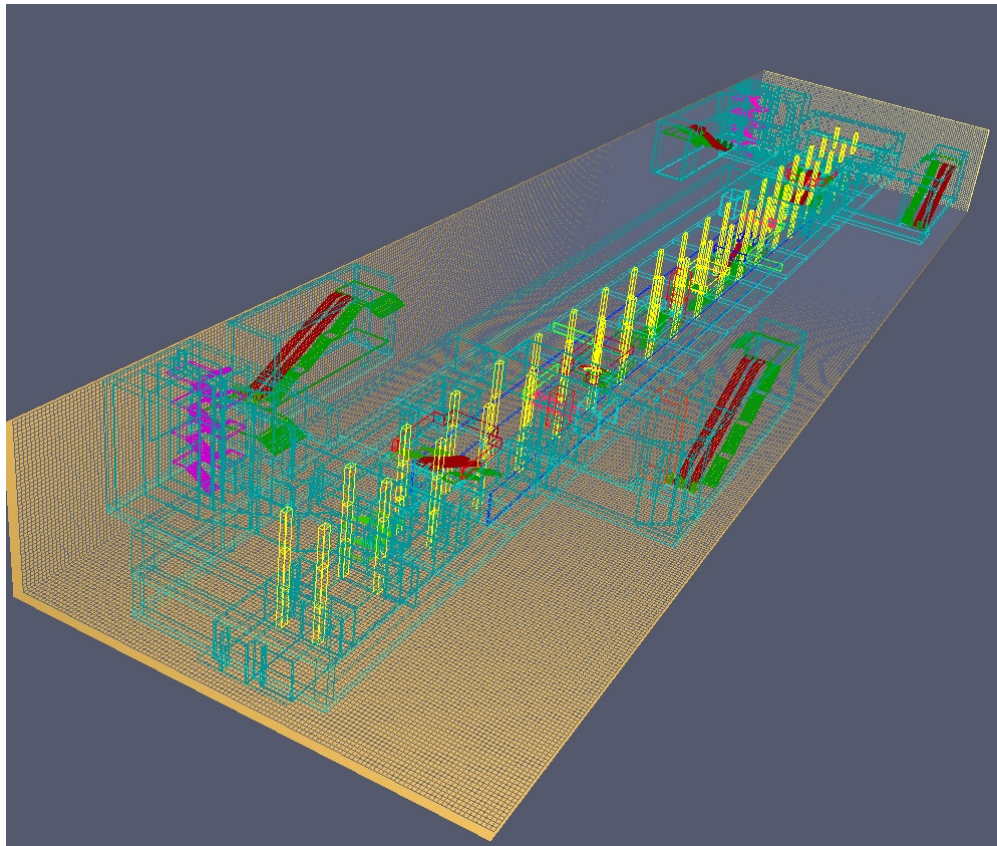
3.1 การสร้างแบบจำลองโดยใช้โปรแกรม Pyrosim 2007

3.1.1 ทำการกำหนดขนาดโครงข่ายของเพลิง (Fire Mesh) ของแบบจำลองสถานี มีขนาดกว้าง ยาว ลึก เท่ากับ 25 เมตร x 228 เมตร x 15.6 เมตร (ไม่รวมทางขึ้น-ลง) เมื่อป้อนค่าลงไป ในหน้าต่างด้านล่างโปรแกรมจะทำการประมวลขนาดกริดที่เรากำหนดว่าเหมาะสมหรือไม่และ ควรจะกำหนดที่ค่าใด ดังแสดงในภาพที่ 16



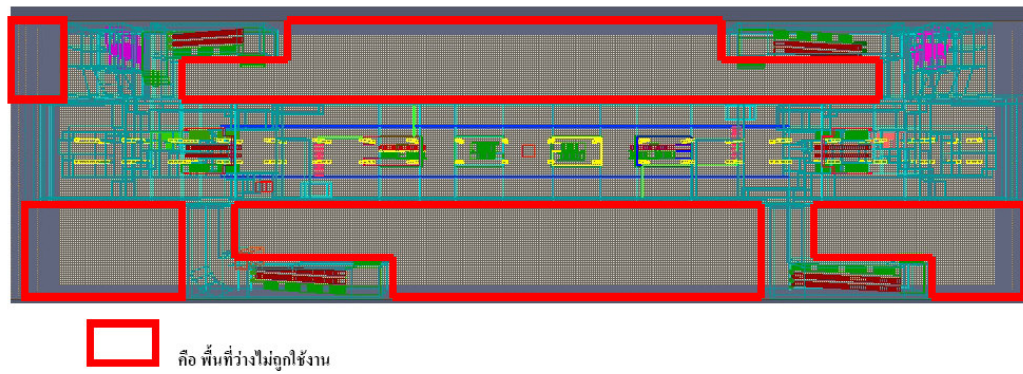
ภาพที่ 16 แสดงหน้าต่างคำสั่งในโปรแกรม Pyrosim 2007 ในการกำหนดขนาดโครงข่าย

3.1.2 สร้างวัตถุที่ต้องการแสดงในแบบจำลอง จากแบบ As-Construction พร้อมระบุชนิดของวัสดุลงในแบบจำลอง ดังแสดงในภาพด้านล่าง พร้อมกับทดลองประมวลผลแบบจำลองที่ได้ด้วยโปรแกรม FDS+Evac โดยกำหนดระยะเวลาในการประมวลผลที่ 0 วินาที แล้วดูผลลัพธ์ที่ได้จากชุดคำสั่ง Smokeview เพื่อดูความสมบูรณ์ของแบบจำลอง

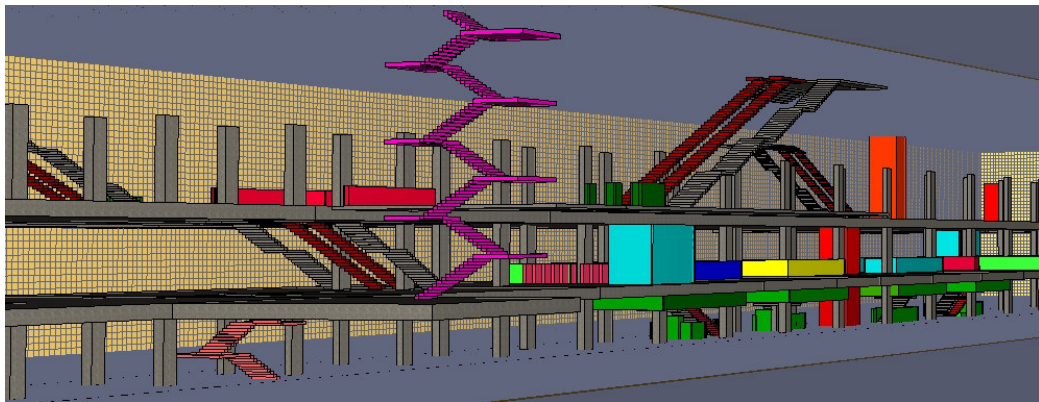


ภาพที่ 17 แสดงแบบจำลองที่สร้างจากโปรแกรม Pyrosim 2007 (แบบจำลองต้นแบบ)

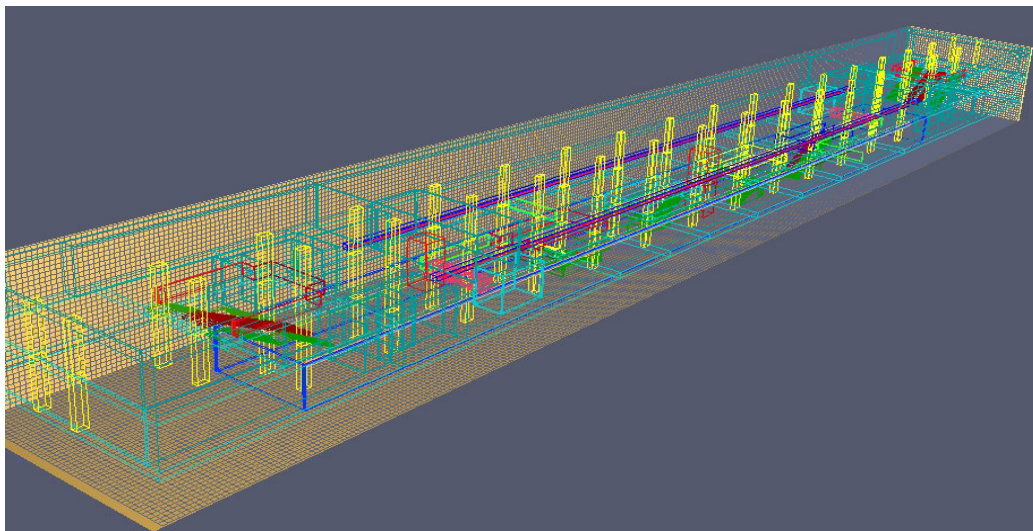
จากภาพจะเห็นว่ามีส่วนที่ไม่ถูกใช้งาน แต่ในการประมวลผลของโปรแกรมพื้นที่เหล่านี้จะถูกนำไปประมวลผลด้วย ทำให้เวลาในการประมวลผลใช้เวลาค่อนข้างที่จะนาน และรูปแบบของสถานีรักษาเป็นสถานีที่ไม่ซับซ้อนและระยะทางจากบันไดชั้นร้านค้ามายังทางเข้า-ออกสถานี มีระยะทางที่ไม่ไกลมากดังนั้นจึงทำการปรับปรุงแบบจำลอง โดยตัดพื้นที่ทางเข้า-ออก สถานีทั้ง 4 ด้านออก แล้วเปลี่ยนจุดปลอดภัยจากเดิมคือนอกอาคารมาไว้ด้านในอาคาร (บริเวณจุดเชื่อมต่อทางเข้า-ออกที่ถูกตัดออกไป)



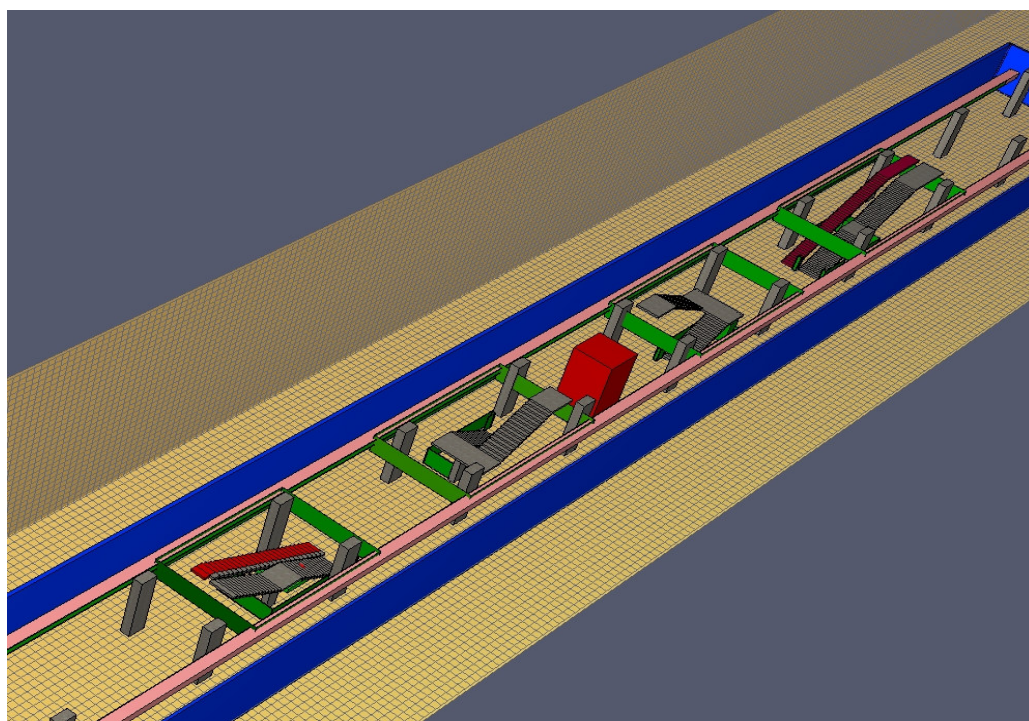
ภาพที่ 18 แสดงพื้นที่ว่างในแบบจำลองที่ไม่ได้ใช้งาน



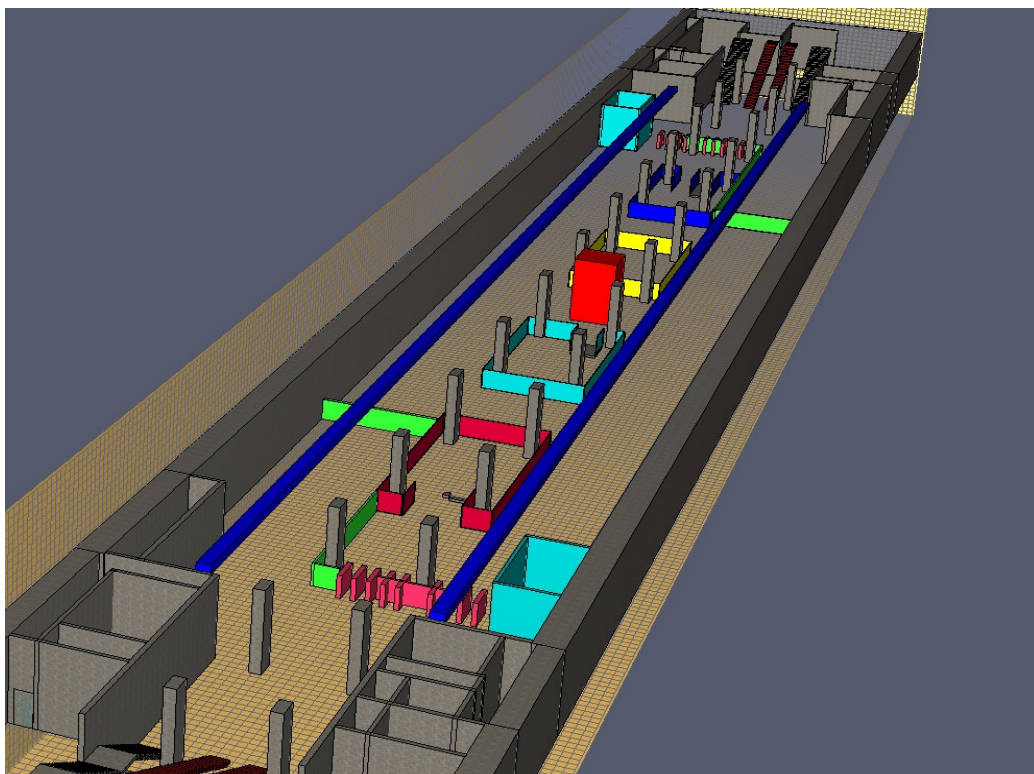
ภาพที่ 19 แสดงแบบจำลองภายในอาคารสถานี (แบบจำลองต้นแบบ)



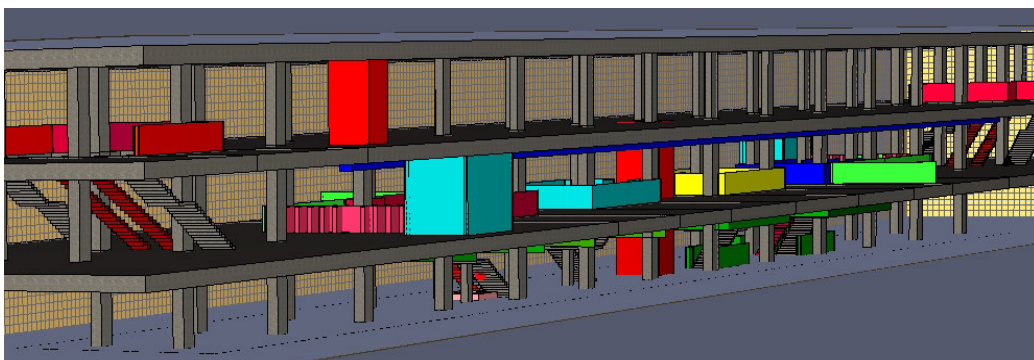
ภาพที่ 20 แสดงแบบจำลองหลังการปรับปรุง



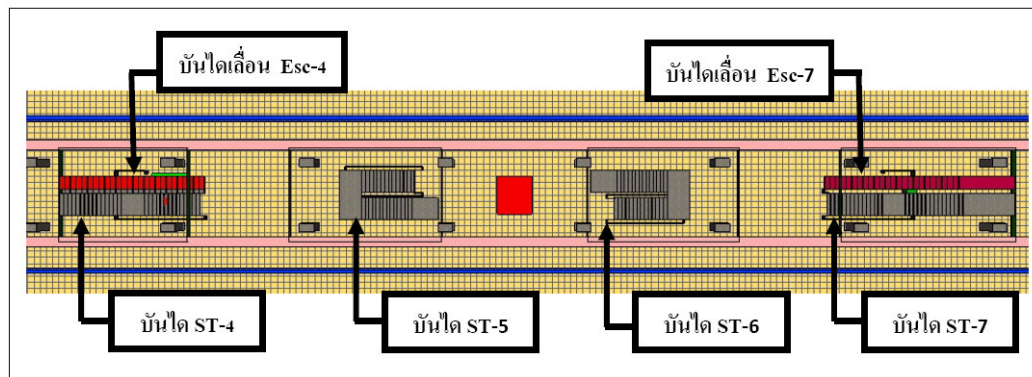
ภาพที่ 21 แสดงแบบจำลองบริเวณชั้นชานชาลา



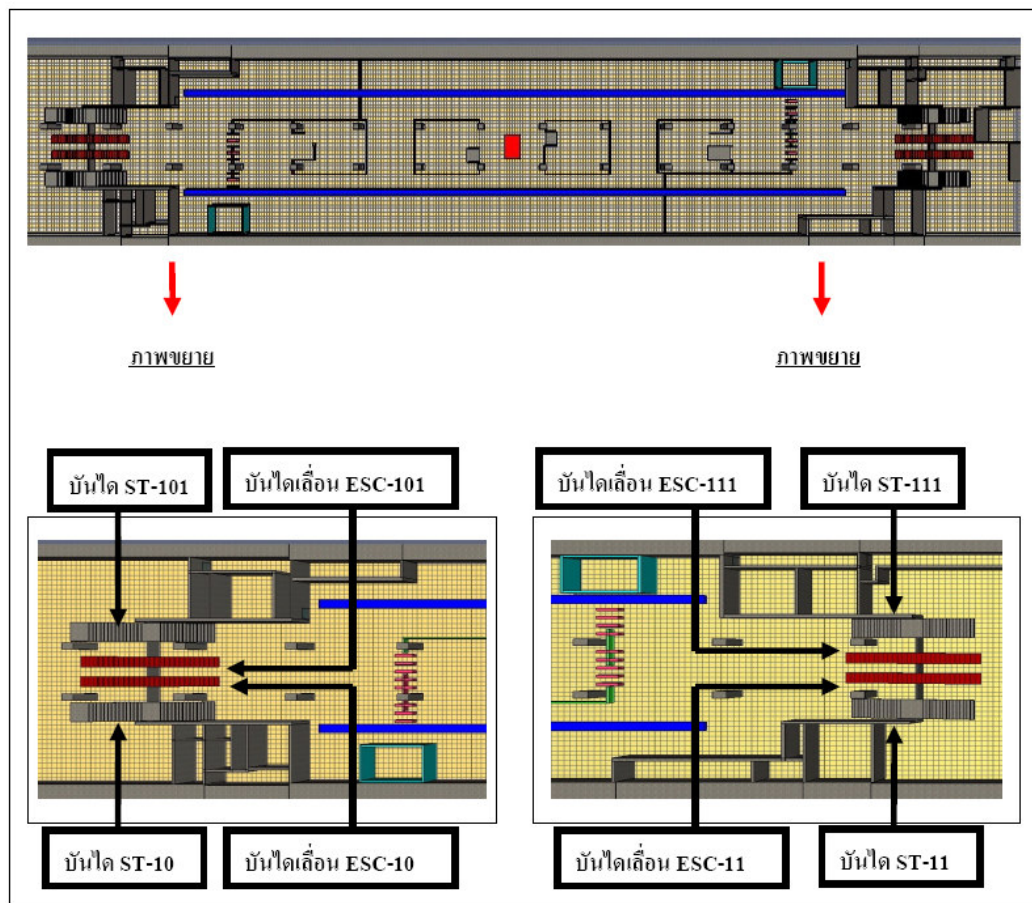
ภาพที่ 22 แสดงแบบจำลองบริเวณชั้นขายบัตรโดยสาร



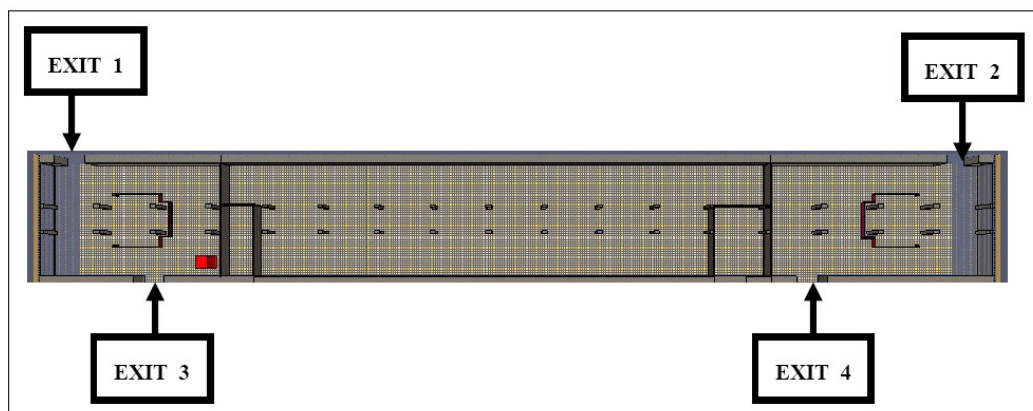
ภาพที่ 23 แสดงแบบจำลองสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินรัชดา



ภาพที่ 24 แสดงตำแหน่งบันไดและบันไดเลื่อนที่ชั้นชานชาลา

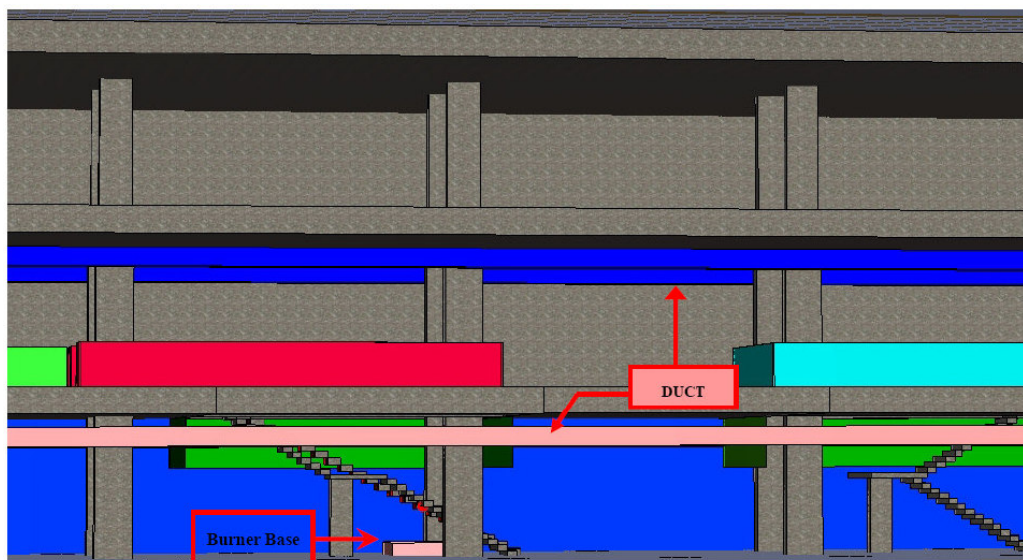


ภาพที่ 25 แสดงตำแหน่งบันไดและบันไดเลื่อนที่ชั้นขายบัตรโดยสาร



ภาพที่ 26 แสดงตำแหน่งทางออกบริเวณชั้นร้านค้า

3.1.3 ใช้คำสั่งในโปรแกรม Pyrosim 2007 แปลงไฟล์จากแบบจำลองให้เป็นไฟล์นามสกุล .fds เพื่อนำมาป้อนคำสั่งในส่วนของการกำหนดเชื้อเพลิงและการอพยพต่อไป



ภาพที่ 27 แสดงตำแหน่งของจุดที่เกิดเพลิงไหม้ และตำแหน่งท่อลม

4. ตั้งสมมุติฐาน กำหนดขนาดของกองเพลิงโดยใช้โปรแกรม FDS+Evac

ในแบบจำลองได้กำหนดให้เกิดเหตุเพลิงไหม้บริเวณใต้บันไดและบันไดเลื่อน โดยกำหนดเชื้อเพลิงที่ใช้ในแบบจำลองนี้คือ Polyurethane ,ค่าการปลดปล่อยพลังงานความร้อน (Heat Release Rate) เท่ากับ 7 MW (มาตรฐาน NFPA 92B Edition 2000 ได้กำหนดขนาดกองเพลิงขั้นต่ำเท่ากับ 2.1 MW) พื้นที่หน้าตัดที่เกิดการเผาไหม้ เท่ากับ 7 ตารางเมตร และให้ค่าความร้อนต่อพื้นที่เท่ากับ $1,000 \text{ kW/m}^2$ นำไฟล์ที่ได้จากการแปลงโดยใช้โปรแกรม Pyrosim 2007 มาป้อนค่าเชื้อเพลิงเพื่อกำหนดขนาดของเพลิงที่ต้องการในแบบจำลอง ระบุอัตราการเร็วในการเผาไหม้แบบรวดเร็ว (Fast Growth Rate) ป้อนคำสั่งกำหนดอุปกรณ์ตรวจจับเพื่อสั่งการให้ระบบระบายควันในสถานีทำงาน ในแบบจำลองนี้ตั้งสมมุติฐานให้ระบบระบายควันในสถานีทำงาน ได้ตามที่มีการตั้งค่าไว้ในกรณีเกิดเหตุเพลิงไหม้บริเวณชั้นชานชาลาพัดลมดูดอากาศ(Exhaust) ที่ชั้นชานชาลาทำงานพร้อมกับพัดลมที่ชั้นขายบัตร โดยสารทำหนาที่อัดอากาศ (Supply) นำสมมุติฐานดังกล่าวมากรอกลงในชุดคำสั่งของโปรแกรม FDS+Evac โดยใช้หน้าต่างของโปรแกรม Notepad

ตารางที่ 16 ขนาดกองเพลิงที่ใช้ในโครงการในเอเชีย

Local Projects in Asia	Fire size (MW)
Airport and Train terminal hall	Up to 7 MW
Shopping mall	5 MW
Atrium	Up to 7 MW
Trian compartment	1 MW

ที่มา: Walter Wah Yuen and Wan Ki Chow (2005)

แสดงชุดคำสั่งการกำหนดพื้นที่ของเชื้อเพลิงขนาด 7 ตารางเมตร
&VENT SURF_ID='BURNER', XB=85.00,87.8,31.7,34.2,0.4000,0.4000/ &OBST XB=85.00,87.8,31.7,34.2,0.00,0.4000, RGB=0,204,0, SURF_ID='INERT'/

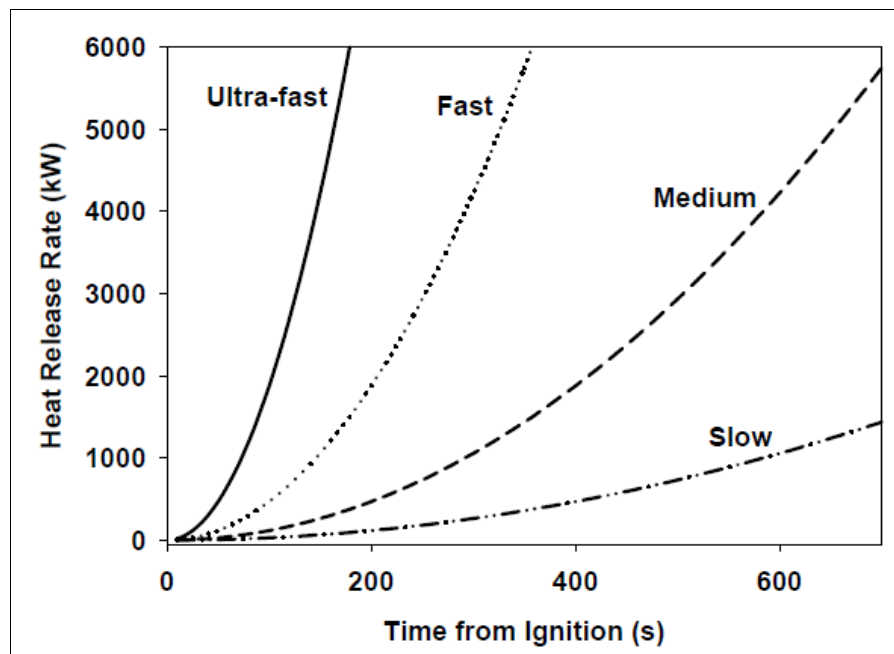
แสดงชุดคำสั่งคุณสมบัติของเชื้อเพลิงที่ใช้ในแบบจำลอง
&REAC ID = 'POLYURETHANE' FYI = 'C_6.3 H_7.1 N O_2.1, NFPA Handbook, Babrauskas' SOOT_YIELD = 0.10 N = 1.0 C = 6.3 CO_YIELD = 0.02 H = 7.1 O = 2.1 /

แสดงชุดคำสั่งการกำหนดค่าการปลดปล่อยพลังงานความร้อนต่อพื้นที่เท่ากับ 1000 kW/m² และ ค่าอัตราการเผาไหม้ แบบรวดเร็ว (Fast Rate)
&SURF ID='BURNER', COLOR='RED', TMP_FRONT=250.00, HRRPUA=1000.00, TAU_Q=-386.00/

แสดงชุดคำสั่งการกำหนดปริมาตรการระบายอากาศและการนำอากาศเข้ามาในระบบ
&SURF ID='Exhaust Vent', RGB=26,128,26, VOLUME_FLUX=18.08, PART_ID='Hot Air'/ &SURF ID='Supply Vent', COLOR='YELLOW', VOLUME_FLUX=-12.76, PART_ID='Cold Air'/

แสดงการกำหนดตำแหน่งอุปกรณ์สั่งการให้พัดลมระบายอากาศและนำอากาศเข้าระบบทำงาน

```
&HOLE XB=84,86,31,32,1.5,1.8, DEVC_ID='Dev_h1'/
&DEVC XYZ=86.00,32.00,1.5, ID='Dev_h1', QUANTITY='TIME', SETPOINT=30,
  INITIAL_STATE=.FALSE. /
&VENT SURF_ID='Exhaust Vent', XB=46.00,172.00,36.00,36.00,3.50,3.90, RGB=0,204,0,
  DEVC_ID='Dev_h1'/ Exhaust Vent
&VENT SURF_ID='Exhaust Vent', XB=46.00,172.00,29.20,29.20,3.50,3.90, RGB=0,204,0,
  DEVC_ID='Dev_h1'/ Exhaust Vent[1]
&VENT SURF_ID='Supply Vent', XB=58.00,171.00,26.70,27.10,8.80,8.80, RGB=255,0,51,
  DEVC_ID='Dev_h1'/ Supply Vent
&VENT SURF_ID='Supply Vent', XB=58.00,171.00,38.95,39.35,8.80,8.80, RGB=255,0,51,
  DEVC_ID='Dev_h1'/ Supply Vent[1]
```



ภาพที่ 28 แสดงอัตราการปลดปล่อยพลังงานและ เวลาจากการเผาไหม้

ที่มา: Bwalya *et al.* (2003)

ตารางที่ 17 แสดงการแบ่งอัตราการเผาไหม้

Growth Rate	Design Fire Scenario	Value of α	Characteristic time, t_0 (s)
Slow	Floor coverings	0.00293	600
Medium	Shop counters, office furniture	0.0117	300
Fast	Bedding, displays and padded work-station partitioning	0.0466	150
Ultra-fast	Upholstered furniture and stacked furniture near combustible linings, lightweight furnishings, packing material in rubbish pile, non-fire-retarded plastic foam storage, cardboard of plastic boxes in vertical storage arrangement.	0.1874	75

ที่มา: Bwalya *et al.* (2003)

5. สร้างชุดคำสั่งในการอพยพโดยใช้โปรแกรม FDS+Evac

5.1 ทำการกำหนดขนาดโครงข่ายการอพยพ(Evacuation Mesh) ให้หลักการเดียวกันกับการกำหนดโครงข่ายของเพลิง (Fire Mesh)

แสดงการกำหนดโครงข่ายสำหรับการอพยพ (Evacuation Mesh)
ชั้นชานชาลา (Platform Level) Main EVAC-mesh for z=1.0 m level dx = 1.0 m, dy = 1 m &MESH IJK=135,12,1, XB=41,176,26,38,0.5,1.5,EVAC_Z_OFFSET=1, EVACUATION=.TRUE.,EVAC_HUMANS=.TRUE.,ID='EMesh_0'/ ชั้นขายบัตรโดยสาร (Concourse Level) Main EVAC-mesh for z=6.0 m level dx = 1.0 m, dy = 1 m &MESH IJK=182,25,1, XB=23,205,20,45,5.5,6.5,EVAC_Z_OFFSET=1, EVACUATION=.TRUE.,EVAC_HUMANS=.TRUE.,ID='EMesh_1'/ ชั้นร้านค้า (Retail Level) Main EVAC-mesh for z=11.0 m level dx = 1.0 m, dy = 1 m

```

MESH IJK=182,25,1, XB=23,205,20,45,10.5,11.5,EVAC_Z_OFFSET=1,
EVACUATION=.TRUE.,EVAC_HUMANS=.TRUE.,ID='EMesh_2'/
&MESH IJK=91,25,1, XB=23,114,20,45,10.5,11.5,EVAC_Z_OFFSET=1,
EVACUATION=.TRUE.,EVAC_HUMANS=.TRUE.,ID='EMesh_2L'/
&MESH IJK=91,25,1, XB=114,205,20,45,10.5,11.5,EVAC_Z_OFFSET=1,
EVACUATION=.TRUE.,EVAC_HUMANS=.TRUE.,ID='EMesh_2R'/

```

5.2 กำหนดคุณสมบัติของกลุ่มตัวแทนที่ใช้ในแบบจำลองได้แก่ ผู้ใหญ่ เด็ก และ คนชรา โดยกำหนดค่าความสามารถในการตรวจจับที่เกิดเพลิงไหม้ที่ 1-15 วินาที โดยพิจารณาจากแบบจำลองเพลิงไหม้ และเวลาที่เริ่มทำการอพยพอยู่ที่ 5-25 วินาที หลังจากตรวจจับได้

แสดงการกำหนดคุณสมบัติของกลุ่มคนในแบบจำลอง

```

&PERS ID='Adult',
  FYI='Male+Female diameter and velocity',
  L_NON_SP=0.3,
  DEFAULT_PROPERTIES='Adult',
  PRE_EVAC_DIST=1,PRE_MEAN=5,PRE_LOW=1.0,PRE_HIGH=10.0,
  DET_EVAC_DIST=1,DET_MEAN=10.0,DET_LOW=5.0,DET_HIGH=15.0,
  HUMAN_SMOKE_HEIGHT=1.5,
  COLOR_METHOD = 0,
  TDET_SMOKE_DENS=0.1 ,
  FED_DOOR_CRIT = -30.0,
  TDET_SMOKE_DENS=0.1 ,
  HUMAN_SMOKE_HEIGHT=1,
  OUTPUT_SPEED=.TRUE.,
  OUTPUT_CONTACT_FORCE= .FALSE.,
  OUTPUT_FED=.TRUE.,
  COLOR_METHOD = 4,
  DENS_INIT= 1,/

```



```
&PERS ID='Male',  
FYI='Male diameter and velocity',  
DEFAULT_PROPERTIES='Male',  
PRE_EVAC_DIST=1,PRE_MEAN=5,PRE_LOW=1.0,PRE_HIGH=10.0,  
DET_EVAC_DIST=1,DET_MEAN=10.0,DET_LOW=5.0,DET_HIGH=15.0/
```

```
&PERS ID='Female',  
FYI='Female diameter and velocity',  
DEFAULT_PROPERTIES='Female',  
PRE_EVAC_DIST=1,PRE_MEAN=5,PRE_LOW=1.0,PRE_HIGH=10.0,  
DET_EVAC_DIST=1,DET_MEAN=10.0,DET_LOW=5.0,DET_HIGH=15.0/
```

```
&PERS ID='Child',  
FYI='Child diameter and velocity',  
DEFAULT_PROPERTIES='Child',  
PRE_EVAC_DIST=1,PRE_MEAN=5,PRE_LOW=1.0,PRE_HIGH=10.0,  
DET_EVAC_DIST=1,DET_MEAN=10.0,DET_LOW=5.0,DET_HIGH=15.0/
```

```
&PERS ID='Elderly',  
FYI='Elderly diameter and velocity',  
DEFAULT_PROPERTIES='Elderly',  
PRE_EVAC_DIST=1,PRE_MEAN=10.0,PRE_LOW=5.0,PRE_HIGH=15.0,  
DET_EVAC_DIST=1,DET_MEAN=20.0,DET_LOW=15.0,DET_HIGH=25.0/
```

5.3 กำหนดตำแหน่งเริ่มต้นของตัวแทนในแต่ละกรณีโดยแบ่งจากการรอรถไฟฟ้าในกรณีปกติที่ 4 นาที, กรณีเกิดการรอกอยที่ 16 นาที, กรณีเกิดการรอกอยที่ 30 นาที โดยมีจำนวนตัวแทนดังตารางที่ 18 และกำหนดให้ทุกตัวแทนรู้ว่าทางออกมีจำนวน 4 ทาง จากผลการวิจัยของ Swee Khiank Yeo และ Yaping He (2008) พบว่ากลุ่มผู้ใช้ระบบขนส่งมวลชนมากกว่าครึ่งหนึ่งจากการสุ่มทำแบบสอบถามในประเทศสิงคโปร์ไม่สามารถระบุเส้นทางที่จะใช้ในการอพยพเมื่อเกิดเหตุเพลิงไหม้ได้ ทั้งๆ ที่กลุ่มคนส่วนใหญ่ใช้บริการทุกวัน

ตารางที่ 18 แสดงจำนวนตัวแทนในแต่ละกรณีที่กำหนดในรูปแบบจำลอง

ประเภทของ ผู้ใช้งาน	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2	กรณีที่ 3
	เดินรถปกติ 4 นาที	เกิดการรอกอย 16 นาที	เกิดการรอกอย 30 นาที
Adult	107	333	625
Child	1	1	2
Elderly	2	8	14
รวม	110	342	641

แสดงการกำหนดตำแหน่งจุดเริ่มต้น จำนวนและประเภทของตัวแทนในการอพยพ
สำหรับ กรณีที่ 1

```
&EVAC ID = 'Platform1',
    NUMBER_INITIAL_PERSONS =30,
    XB = 90,140,27,30,0.5,1.5
    AVATAR_COLOR = 'ROYAL BLUE',
    PERS_ID = 'Adult' /
```

```
&EVAC ID = 'Platform2',
    NUMBER_INITIAL_PERSONS = 76,
    XB = 90,140,35,38,0.5,1.5
    AVATAR_COLOR = 'ROYAL BLUE',
    PERS_ID = 'Adult' /
```

&EVAC ID = 'Platform3',

NUMBER_INITIAL_PERSONS = 1,

XB = 90,140,35,38,0.5,1.5

AVATAR_COLOR = 'TOMATO',

PERS_ID = 'Child' /

&EVAC ID = 'Platform4',

NUMBER_INITIAL_PERSONS = 2,

XB = 90,140,38,35,0.5,1.5

AVATAR_COLOR = 'KELLY GREEN',

PERS_ID = 'Elderly' /

**แสดงการกำหนดตำแหน่งจุดเริ่มต้น จำนวนและประเภทของตัวแทนในการอพยพ
สำหรับ กรณีที่ 2**

&EVAC ID = 'Platform1',

NUMBER_INITIAL_PERSONS = 68,

XB = 90,140,27,30,0.5,1.5

AVATAR_COLOR = 'ROYAL BLUE',

PERS_ID = 'Adult' /

&EVAC ID = 'Platform2',

NUMBER_INITIAL_PERSONS = 170,

XB = 90,140,35,38,0.5,1.5

AVATAR_COLOR = 'ROYAL BLUE',

PERS_ID = 'Adult' /

&EVAC ID = 'Platform3',

NUMBER_INITIAL_PERSONS = 1,

XB = 90,140,35,38,0.5,1.5

AVATAR_COLOR = 'TOMATO',

PERS_ID = 'Child' /

```
&EVAC ID = 'Platform4',  
    NUMBER_INITIAL_PERSONS = 8,  
    XB = 90,140,38,35,0.5,1.5  
    AVATAR_COLOR = 'KELLY GREEN',  
    PERS_ID = 'Elderly' /
```

```
&EVAC ID = 'Concourse1',  
    NUMBER_INITIAL_PERSONS =24,  
    XB = 55,75,26,39,5.5,6.5  
    AVATAR_COLOR = 'ROYAL BLUE',  
    PERS_ID = 'Adult' /
```

```
&EVAC ID = 'Concourse2',  
    NUMBER_INITIAL_PERSONS =24,  
    XB = 88,160,36,43,5.5,6.5  
    AVATAR_COLOR = 'ROYAL BLUE',  
    PERS_ID = 'Adult' /
```

```
&EVAC ID = 'Concourse3',  
    NUMBER_INITIAL_PERSONS =24,  
    XB = 88,160,22,29,5.5,6.5  
    AVATAR_COLOR = 'ROYAL BLUE',  
    PERS_ID = 'Adult' /
```

```
&EVAC ID = 'Concourse4',  
    NUMBER_INITIAL_PERSONS =23,  
    XB = 153,173,26,39,5.5,6.5  
    AVATAR_COLOR = 'ROYAL BLUE',  
    PERS_ID = 'Adult' /
```

**แสดงการกำหนดตำแหน่งจุดเริ่มต้น จำนวนและประเภทของตัวแทนในการอพยพ
สำหรับ กรณีที่ 3**

&EVAC ID = 'Platform1',

NUMBER_INITIAL_PERSONS = 139,

XB = 90,140,27,30,0.5,1.5

AVATAR_COLOR = 'ROYAL BLUE',

PERS_ID = 'Adult' /

&EVAC ID = 'Platform2',

NUMBER_INITIAL_PERSONS = 326,

XB = 90,140,35,38,0.5,1.5

AVATAR_COLOR = 'ROYAL BLUE',

PERS_ID = 'Adult' /

&EVAC ID = 'Platform3',

NUMBER_INITIAL_PERSONS = 2,

XB = 90,140,35,38,0.5,1.5

AVATAR_COLOR = 'TOMATO',

PERS_ID = 'Child' /

&EVAC ID = 'Platform4',

NUMBER_INITIAL_PERSONS = 14,

XB = 90,140,38,35,0.5,1.5

AVATAR_COLOR = 'KELLY GREEN',

PERS_ID = 'Elderly' /

&EVAC ID = 'Concourse1',

NUMBER_INITIAL_PERSONS = 40,

XB = 55,75,26,39,5.5,6.5

AVATAR_COLOR = 'ROYAL BLUE',

PERS_ID = 'Adult' /

&EVAC ID = 'Concourse2',

NUMBER_INITIAL_PERSONS =40,

XB = 88,160,36,43,5.5,6.5

AVATAR_COLOR = 'ROYAL BLUE',

PERS_ID = 'Adult' /

&EVAC ID = 'Concourse3',

NUMBER_INITIAL_PERSONS =40,

XB = 88,160,22,29,5.5,6.5

AVATAR_COLOR = 'ROYAL BLUE',

PERS_ID = 'Adult' /

&EVAC ID = 'Concourse4',

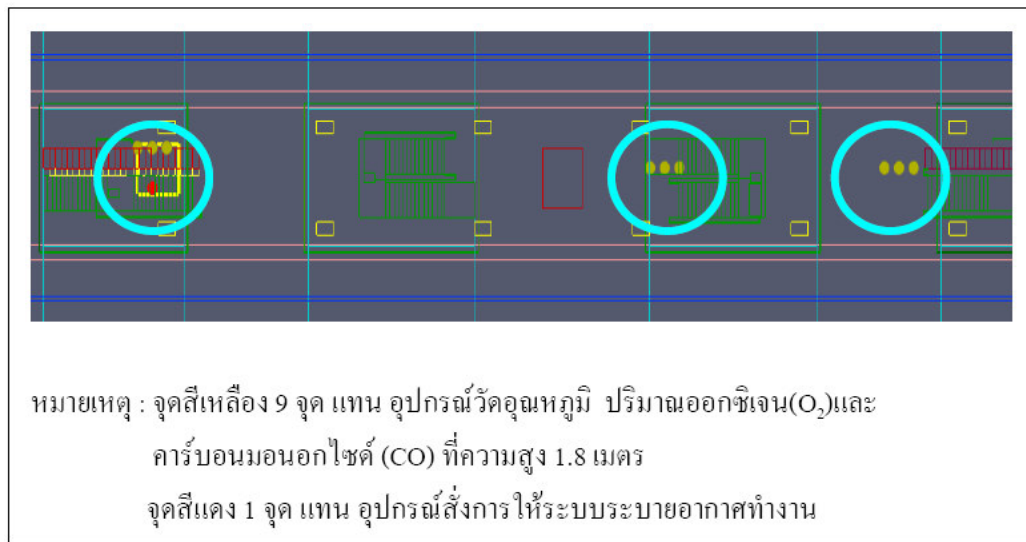
NUMBER_INITIAL_PERSONS =40,

XB = 153,173,26,39,5.5,6.5

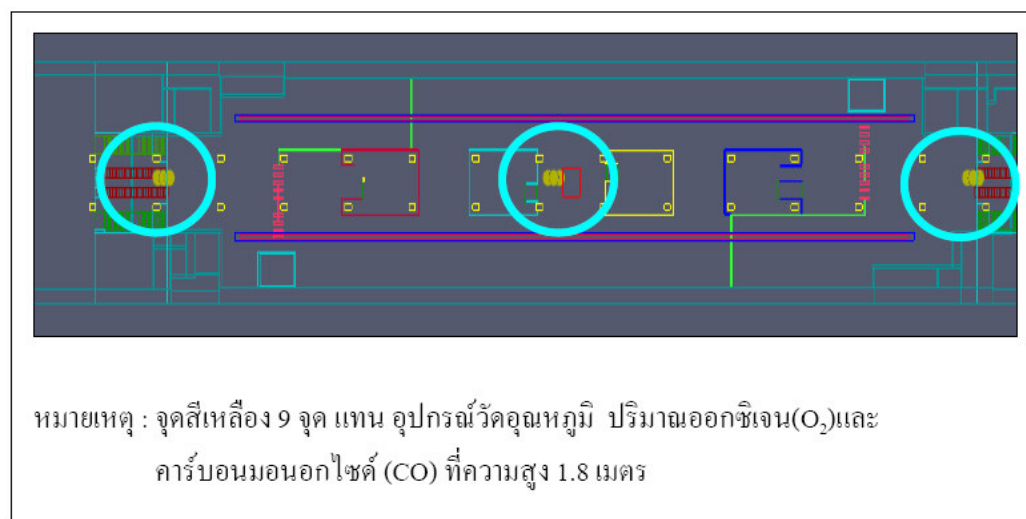
AVATAR_COLOR = 'ROYAL BLUE',

PERS_ID = 'Adult' /

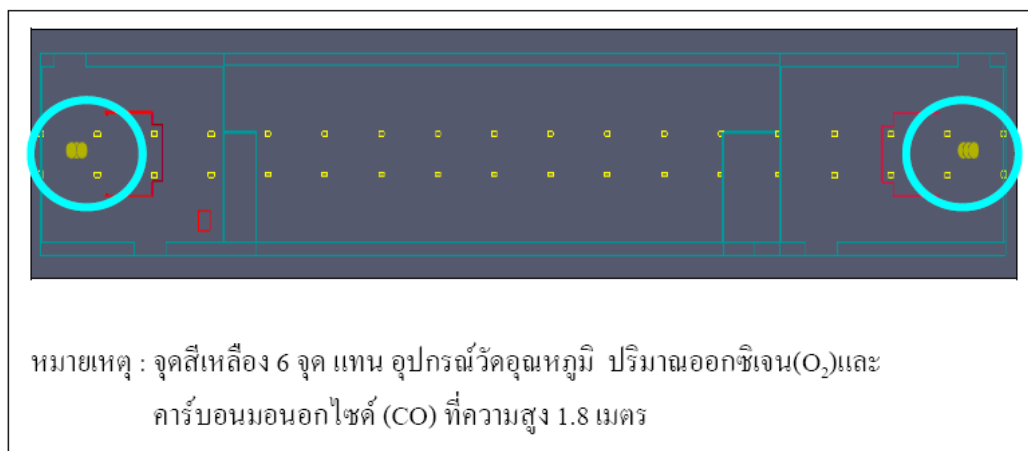
5.4 กำหนดชุดคำสั่งเพื่อที่จะดูผลลัพธ์จากแบบจำลอง ในงานวิจัยต้องการทราบค่าความสามารถในการมองเห็นภายในสถานีรถไฟฟ้ามหานครเมื่อเกิดเหตุเพลิงไหม้ อุณหภูมิภายในสถานี ค่าความหนาแน่นของคาร์บอนมอนอกไซด์ และปริมาณก๊าซออกซิเจน



ภาพที่ 29 แสดงตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ ปริมาณออกซิเจน(O_2) และ
คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) บริเวณชั้นชานชาลา



ภาพที่ 30 แสดงตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ ปริมาณออกซิเจน(O_2) และ
คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) บริเวณชั้นขายบัตรโดยสาร



ภาพที่ 31 แสดงตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ ปริมาณออกซิเจน(O₂) และคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) บริเวณชั้นร้านค้า

แสดงชุดคำสั่งให้แสดงค่าผลลัพธ์ที่กำหนด
&SLCF QUANTITY='oxygen', PBZ=1.80/
&SLCF QUANTITY='oxygen', PBZ=6.90/
&SLCF QUANTITY='visibility', PBX=66.00/
&SLCF QUANTITY='visibility', PBX=162.00/
&SLCF QUANTITY='visibility', PBX=40.00/
&SLCF QUANTITY='visibility', PBX=187.00/
&SLCF QUANTITY='visibility', PBX=106.00/
&SLCF QUANTITY='visibility', PBX=120.00/
&SLCF QUANTITY='oxygen', PBZ=12.10/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBZ=1.80/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBZ=6.90/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBZ=12.10/
&SLCF QUANTITY='carbon monoxide', PBZ=1.80/
&SLCF QUANTITY='carbon monoxide', PBZ=6.90/
&SLCF QUANTITY='carbon monoxide', PBZ=12.10/
&SLCF QUANTITY='carbon monoxide', PBZ=33.00/
&SLCF QUANTITY='optical depth', PBX=66.00/


```
&SLCF QUANTITY='optical depth', PBX=162.00/
```

```
&SLCF QUANTITY='optical depth', PBX=40.00/
```

```
&SLCF QUANTITY='optical depth', PBX=187.00/
```

```
&SLCF QUANTITY='optical depth', PBX=106.00/
```

```
&SLCF QUANTITY='optical depth', PBX=120.00/
```

Next line could be used to plot the evacuation flow fields:

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

```
&SLCF PBZ = 6.000, QUANTITY = 'VELOCITY', VECTOR = .TRUE. /
```

```
&SLCF PBZ = 11.000, QUANTITY = 'VELOCITY', VECTOR = .TRUE. /
```

```
&TAIL /
```

5.5 นำไฟล์นามสกุล .fds มาประมวลผลใน Command Prompt โดยพิมพ์คำสั่งเรียก
ไฟล์จากไดเรกทอรี แล้วพิมพ์ชุดคำสั่ง fds5.exe CHID.fds ให้โปรแกรมทำงาน

ผลและวิจารณ์

ผล

1. ผลการอพยพ

จากการประมวลผลโดยใช้โปรแกรม FDS+Evac โดยพิจารณาทั้งหมด 3 กรณี ดังต่อไปนี้

1.1 กรณีที่ 1 มีการรอกอย 4 นาที

1.1.1 มีระบบระบายควัน

จากการประมวลผลโดยใช้โปรแกรม FDS+Evac Version 5.2.5 ใช้ระยะเวลาในการประมวลผล 10.12 ชั่วโมง ที่เงื่อนไขดังต่อไปนี้ จำนวนคนที่รอกไฟฟ้าในกรณีที่มีการเดินรถปกติในช่วงระยะเวลา 4 นาที เท่ากับ 110 คน โดยกำหนดให้ตัวแทนทั้งหมด มีจุดเริ่มต้นที่ชั้นชานชาลา ที่อัตราการเผาไหม้แบบรวดเร็ว (Fast Growth Rate) อัตราการปลดปล่อยพลังงาน 7 MW กองเพลิงอยู่บริเวณใต้บันไดและบันไดเลื่อน (ST-4 , Esc-4) ตำแหน่งบันไดและบันไดเลื่อนคู่ได้จากภาพที่ 25 และ 26 จากแบบจำลองพบว่าตัวแทนคนสุดท้ายอพยพออกจากชั้นชานชาลาไปยังชั้นขายบัตรโดยสารที่เวลา 100 – 134 วินาที หรือ 1.7 – 2.23 นาทีโดยใช้บันได ST-5 (จับเวลาตั้งแต่เริ่มเข้าไปยังบันไดจนกระทั่งออกจากบันได) บันไดเชื่อมต่อระหว่างชั้นชานชาลาและชั้นขายบัตรโดยสาร และจากการประมวลผลพบว่าตัวแทนคนสุดท้ายที่อพยพออกจากสถานี ที่เวลา 362 วินาที หรือ 6 นาที

จากภาพที่ 48 แสดงเวลาที่ใช้ในการอพยพคนจำนวน 110 คนออกจากอาคารสถานี โดยเวลาที่คนสุดท้ายอพยพออกจากสถานีที่เวลา 362 วินาที หรือ 6 นาที

ภาพที่ 49 และ 50 แสดงจำนวนคนที่อพยพออกจากชั้นชานชาลาและชั้นขายบัตรโดยสารที่เวลาต่างๆ ตามลำดับ

ภาพที่ 51 และ 52 แสดงจำนวนคนที่อพยพออกจากชั้นร้านค้าที่เวลาต่างๆ ในส่วนของชั้นร้านค้าจะถูกแบ่งออกเป็นฝั่งซ้าย และฝั่งขวา จากกราฟพบว่ามีความหนาแน่นจำนวน 2 คน

(แสดงไว้ในตารางที่ 23, ตำแหน่งทางออกแสดงไว้ในภาพที่ 26) ที่อพยพมาทางฝั่งซ้ายเพื่ออพยพออกโดยใช้ทางออกที่ 1 ซึ่งเป็นฝั่งเดียวกันกับกองเพลิง

ภาพที่ 53 ถึง 56 แสดงจำนวนคนที่อพยพออกในแต่ละทางออกที่เวลาต่างๆ จากกราฟตัวแทนใช้ทางออกที่ 2 มากที่สุด จำนวน 83 คน รองลงมาคือทางออกที่ 4 จำนวน 25 คน ทางออกที่ 1 จำนวน 2 คน และทางออกที่ 3 ไม่มีตัวแทนใช้ในการอพยพ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 23

1.1.2 ไม่มีระบบระบายควัน

จากการประมวลผลโดยใช้โปรแกรม FDS+Evac Version 5.2.5 ใช้ระยะเวลาในการประมวลผล 12.38 ชั่วโมง ที่เงื่อนไขดังต่อไปนี้ จำนวนคนที่รอลไฟฟ้าในกรณีที่มีการเดินรถปกติในช่วงระยะเวลา 4 นาที เท่ากับ 110 คน โดยกำหนดให้ตัวแทนจำนวน 110 คนมีจุดเริ่มต้นที่ชั้นชานชาลา ที่อัตราการเผาไหม้แบบรวดเร็ว (Fast Growth Rate) อัตราการปลดปล่อยพลังงาน 7 MW กองเพลิงอยู่บริเวณใต้บันไดและบันไดเลื่อน (ST-4 , Esc-4) ตำแหน่งบันไดและบันไดเลื่อนคู่ได้จากภาพที่ 25 และ 26 จากแบบจำลองพบว่าตัวแทนคนสุดท้ายอพยพออกจากชั้นชานชาลาไปยังชั้นขายบัตรโดยสารที่เวลา 112 – 154 วินาที หรือ 1.87 -2.56 นาที โดยใช้บันได ST-5 (จับเวลาตั้งแต่เริ่มเข้าไปยังบันไดจนกระทั่งออกจากบันได) บันไดเชื่อมต่อระหว่างชั้นชานชาลาและชั้นขายบัตรโดยสาร และจากการประมวลผลพบว่าคนที่อพยพออกจากสถานีเป็นคนสุดท้าย ใช้เวลา 534 วินาที หรือ 8.9 นาที

จากภาพที่ 57 แสดงเวลาที่ใช้ในการอพยพคนจำนวน 110 คนออกจากอาคารสถานี โดยเวลาที่คนสุดท้ายอพยพออกจากสถานีที่เวลา 534 วินาที หรือ 8.9 นาที

ภาพที่ 58 และ 59 แสดงจำนวนคนที่อพยพออกจากชั้นชานชาลาและชั้นขายบัตรโดยสารที่เวลาต่างๆ ตามลำดับ

ภาพที่ 60 และ 61 แสดงจำนวนคนที่อพยพออกจากชั้นร้านค้าที่เวลาต่างๆ ในส่วนของชั้นร้านค้าจะถูกแบ่งออกเป็นฝั่งซ้าย และฝั่งขวา จากกราฟพบว่ามีตัวแทนจำนวน 1 คน (แสดงไว้ในตารางที่ 23, ตำแหน่งทางออกแสดงไว้ในภาพที่ 26) ที่อพยพมาทางฝั่งซ้ายเพื่อที่จะอพยพออกโดยใช้ทางออกที่ 1 ซึ่งเป็นฝั่งเดียวกันกับกองเพลิง

ภาพที่ 62 ถึง 65 แสดงจำนวนคนที่อพยพออกในแต่ละทางออกที่เวลาต่างๆ จากกราฟตัวแทนใช้ทางออกที่ 2 มากที่สุด จำนวน 78 คน รองลงมาคือทางออกที่ 4 จำนวน 31 คน ทางออกที่ 1 จำนวน 1 คน และทางออกที่ 3 ไม่มีตัวแทนใช้ในการอพยพ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 23

1.2 กรณีที่ 2 มีการรอกอย 16 นาที

1.2.1 มีระบบระบายควัน

จากการประมวลผลโดยใช้โปรแกรม FDS+Evac Version 5.2.5 ใช้ระยะเวลาในการประมวลผล 39.55 ชั่วโมง ที่เงื่อนไขดังต่อไปนี้ จำนวนคนที่รอรถไฟฟ้าในกรณีที่เกิดการขัดข้องในการเดินรถช่วงระยะเวลา 16 นาที เท่ากับ 342 คน โดยกำหนดให้ตัวแทนจำนวน 247 คนมีจุดเริ่มต้นที่ชั้นชานชาลาและตัวแทนจำนวน 95 คน มีจุดเริ่มต้นที่ชั้นขายบัตรโดยสารที่อัตราการเผาไหม้แบบรวดเร็ว (Fast Growth Rate) อัตราการปลดปล่อยพลังงาน 7 MW กองเพลิงอยู่บริเวณใต้บันไดและบันไดเลื่อน (ST-4 , Esc-4) ตำแหน่งบันไดและบันไดเลื่อนแสดงไว้ในภาพที่ 25 และ 26 จากแบบจำลองพบว่าตัวแทนคนสุดท้ายอพยพออกจากชั้นชานชาลาไปยังชั้นขายบัตรโดยสารใช้เวลา 200 – 231 วินาที หรือ 3.33 – 3.85 นาที โดยใช้บันได ST-5 (นับเวลาตั้งแต่เริ่มเข้าไปยังบันไดจนกระทั่งออกจากบันได) จากการประมวลผลพบว่าคนที่อพยพออกจากสถานีเป็นคนสุดท้าย ใช้เวลา 561 หรือ 9.4 นาที

จากภาพที่ 48 แสดงเวลาที่ใช้ในการอพยพคนจำนวน 342 คนออกจากอาคารสถานี โดยเวลาที่คนสุดท้ายอพยพออกจากสถานีใช้เวลา 561 วินาที หรือ 9.4 นาที

ภาพที่ 49 และ 50 แสดงจำนวนคนที่อพยพออกจากชั้นชานชาลาและชั้นขายบัตรโดยสารที่เวลาต่างๆ ตามลำดับ

ภาพที่ 51 และ 52 แสดงจำนวนคนที่อพยพออกจากชั้นร้านค้าที่เวลาต่างๆ ในส่วนของชั้นร้านค้าจะถูกแบ่งออกเป็นฝั่งซ้าย และฝั่งขวา จากกราฟพบว่ามีตัวแทนจำนวน 49 คน (แสดงไว้ในตารางที่ 23, ตำแหน่งทางออกแสดงไว้ในภาพที่ 26) ที่อพยพมาทางฝั่งซ้ายเพื่อที่จะอพยพออกโดยใช้ทางออกที่ 1 และ 3 ซึ่งเป็นฝั่งเดียวกันกับกองเพลิง

ภาพที่ 53 ถึง 56 แสดงจำนวนคนที่อพยพออกในแต่ละทางออกที่เวลาต่างๆ จากกราฟตัวแทนใช้ทางออกที่ 2 มากที่สุด จำนวน 207 คน รองลงมาคือทางออกที่ 4 จำนวน 86 คน ทางออกที่ 1 จำนวน 39 คน และทางออกที่ 3 จำนวน 10 คน ดังแสดงไว้ในตารางที่ 23

1.2.2 ไม่มีระบบระบายควัน

จากการประมวลผลโดยใช้โปรแกรม FDS+Evac Version 5.2.5 ใช้ระยะเวลาในการประมวลผล 35.33 ชั่วโมง ที่เงื่อนไขดังต่อไปนี้ จำนวนคนที่รอดไฟฟ้าในกรณีที่เกิดการขัดข้องในการเดินรถช่วงระยะเวลา 16 นาที เท่ากับ 342 คน โดยกำหนดให้ตัวแทนจำนวน 247 คนมีจุดเริ่มต้นที่ชั้นชานชาลาและตัวแทนจำนวน 95 คน มีจุดเริ่มต้นที่ชั้นขายบัตรโดยสารที่อัตราการเผาไหม้แบบรวดเร็ว (Fast Growth Rate) อัตราการปลดปล่อยพลังงาน 7 MW กองเพลิงอยู่บริเวณใต้บันไดและบันไดเลื่อน (ST-4 , Esc-4) ตำแหน่งบันไดและบันไดเลื่อนแสดงไว้ในภาพที่ 25 และ 26 จากแบบจำลองพบว่าตัวแทนสุดท้ายอพยพออกจากชั้นชานชาลาไปยังชั้นขายบัตรโดยสารใช้เวลา 232 – 261 วินาที หรือ 3.9 – 4.4 นาที โดยใช้บันได ST-5 (นับเวลาตั้งแต่เริ่มเข้าไปยังบันไดจนกระทั่งออกจากบันได) บันไดเชื่อมต่อระหว่างชั้นชานชาลาและชั้นขายบัตรโดยสาร และจากการประมวลผลพบว่าคนที่อพยพออกจากสถานีเป็นคนสุดท้าย ใช้เวลา 527 วินาที หรือ 8.8 นาที

จากภาพที่ 57 แสดงเวลาที่ใช้ในการอพยพคนจำนวน 342 คนออกจากอาคารสถานี โดยเวลาที่คนสุดท้ายอพยพออกจากสถานีใช้เวลา 527 วินาที หรือ 8.8 นาที

ภาพที่ 58 และ 59 แสดงจำนวนคนที่อพยพออกจากชั้นชานชาลาและชั้นขายบัตรโดยสารที่เวลาต่างๆ ตามลำดับ

ภาพที่ 60 และ 61 แสดงจำนวนคนที่อพยพออกจากชั้นร้านค้าที่เวลาต่างๆ ในส่วนของชั้นร้านค้าจะถูกแบ่งออกเป็นฝั่งซ้ายและฝั่งขวา จากกราฟพบว่าตัวแทนจำนวน 108 คน (แสดงไว้ในตารางที่ 23, ตำแหน่งทางออกแสดงไว้ในภาพที่ 26) ที่อพยพมาทางฝั่งซ้ายเพื่อที่จะอพยพออกโดยใช้ทางออกที่ 1 และ 3 ซึ่งเป็นฝั่งเดียวกันกับกองเพลิง

ภาพที่ 62 ถึง 65 แสดงจำนวนคนที่อพยพออกในแต่ละทางออกที่เวลาต่างๆ จากกราฟตัวแทนใช้ทางออกที่ 2 มากที่สุด จำนวน 222 คน รองลงมาคือทางออกที่ 4 จำนวน 80 คน ทางออกที่ 1 จำนวน 28 คน และทางออกที่ 3 จำนวน 12 คน ดังแสดงไว้ในตารางที่ 23

1.3 กรณีที่ 3 มีการรอคอย 30 นาที

1.3.1 มีระบบระบายควัน

จากการประมวลผลโดยใช้โปรแกรม FDS+Evac Version 5.2.5 ใช้ระยะเวลาในการประมวลผล 42 ชั่วโมง ที่เงื่อนไขดังต่อไปนี้ จำนวนคนที่รอดชีวิตในกรณีที่เกิดการขัดข้องในการเดินรถช่วงระยะเวลา 30 นาทีเท่ากับ 641 คน โดยกำหนดให้ตัวแทนจำนวน 481 คนมีจุดเริ่มต้นที่ชั้นชานชาลาและตัวแทนจำนวน 160 คน มีจุดเริ่มต้นที่ชั้นขายบัตรโดยสาร ที่อัตราการเผาไหม้แบบรวดเร็ว (Fast Growth Rate) อัตราการปลดปล่อยพลังงาน 7 MW กองเพลิงอยู่บริเวณใต้บันไดและบันไดเลื่อน (ST-4 , Esc-4) ตำแหน่งบันไดและบันไดเลื่อนแสดงไว้ในภาพที่ 25 และ 26 จากแบบจำลองพบว่าตัวแทนคนสุดท้ายอพยพออกจากชั้นชานชาลาไปยังชั้นขายบัตรโดยสารใช้เวลา 414 – 464 วินาที หรือ 6.9 – 7.7 นาที โดยใช้บันได ST-5 (นับเวลาตั้งแต่เริ่มเข้าไปยังบันไดจนกระทั่งออกจากบันได) บันไดเชื่อมต่อระหว่างชั้นชานชาลาและชั้นขายบัตรโดยสาร จากการประมวลผลพบว่าคนที่อพยพออกจากสถานีเป็นคนสุดท้าย ใช้เวลา 749 วินาที หรือ 12.5 นาที

จากภาพที่ 48 แสดงเวลาที่ใช้ในการอพยพคนจำนวน 641 คนออกจากอาคารสถานี โดยเวลาที่คนสุดท้ายอพยพออกจากสถานีใช้เวลา 749 วินาที หรือ 12.5 นาที

ภาพที่ 49 และ 50 แสดงจำนวนคนที่อพยพออกจากชั้นชานชาลาและชั้นขายบัตรโดยสารที่เวลาต่างๆ ตามลำดับ

ภาพที่ 51 และ 52 แสดงจำนวนคนที่อพยพออกจากชั้นร้านค้าที่เวลาต่างๆ ในส่วนของชั้นร้านค้าจะถูกแบ่งออกเป็นฝั่งซ้ายและฝั่งขวา จากกราฟพบว่ามีตัวแทนจำนวน 87 คน (แสดงไว้ในตารางที่ 23, ตำแหน่งทางออกแสดงไว้ในภาพที่ 26) ที่อพยพมาทางฝั่งซ้ายเพื่อที่จะอพยพออกโดยใช้ทางออกที่ 1 และ 3 ซึ่งเป็นฝั่งเดียวกันกับกองเพลิง

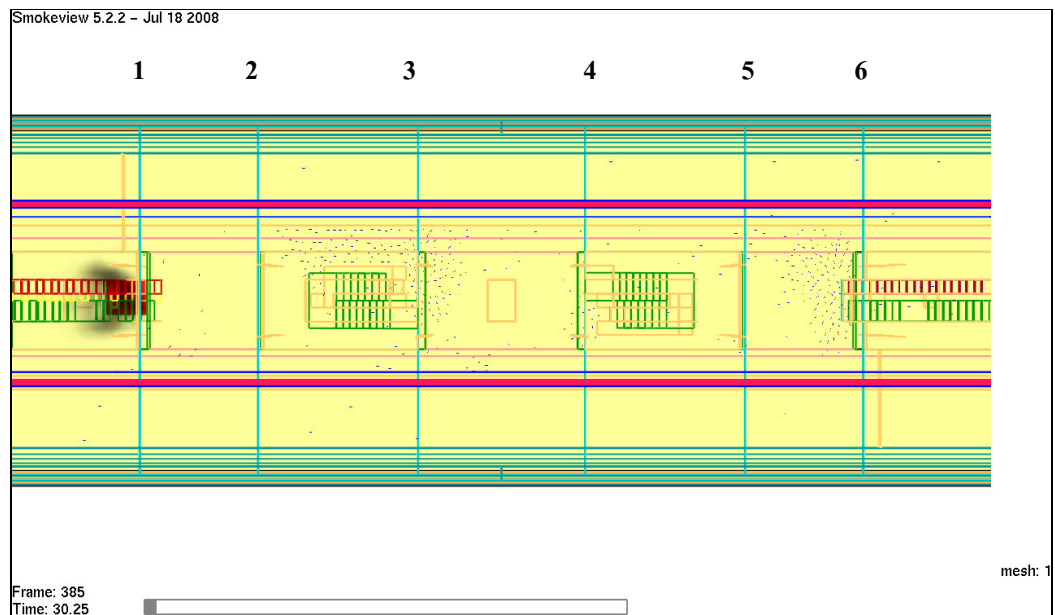
ภาพที่ 53 ถึง 56 แสดงจำนวนคนที่อพยพออกในแต่ละทางออกที่เวลาต่างๆ จากกราฟตัวแทนใช้ทางออกที่ 2 มากที่สุด จำนวน 424 คน รองลงมาคือทางออกที่ 4 จำนวน 130 คน ทางออกที่ 1 จำนวน 71 คน และทางออกที่ 3 จำนวน 16 คน ดังแสดงไว้ในตารางที่ 23

จากตารางที่ 19 สามารถหาค่าความจุของบันไดได้ดังนี้ บันไดมีความกว้างเท่ากับ 1800 มิลลิเมตร ความจุของบันไดตามมาตรฐาน NFPA 101 เท่ากับ 7.6 มิลลิเมตรต่อคน ดังนั้นบันไดจะมีความจุเท่ากับ $\frac{1800}{7.6} = 237$ คน จากข้อมูลในตารางที่ 21 บันได ST-5 เป็นบันไดที่มีคนใช้มากที่สุดจำนวน 217 คน ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าความจุของบันไดที่คำนวณได้ จากภาพที่ 72 ถึง 75 พบว่าเกิดการรอคอยที่บันได ST-5 มากที่สุด

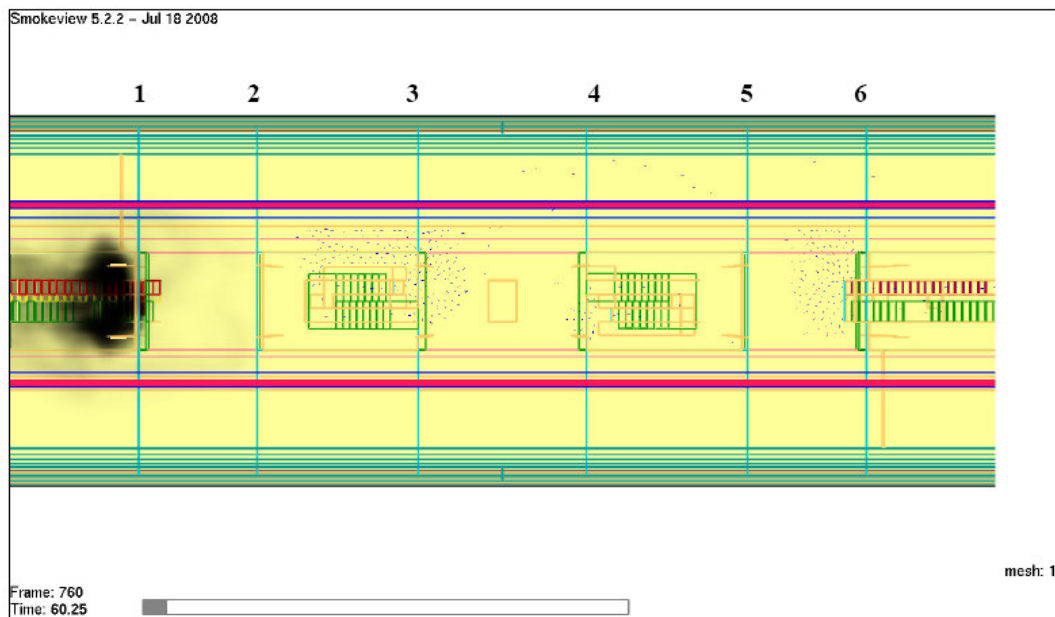
ตารางที่ 19 ค่าความจุของบันไดและทางลาด

Capacity Factor (NFPA 101 Edition 2006)				
Area	Stairways		Level Components and Ramp	
	(width per persons)		(width per persons)	
	in.	mm.	in.	mm
Board and care	0.4	10	0.2	5
Health care, sprinklered	0.3	7.6	0.2	5
Health care, non sprinklered	0.6	15	0.5	13
High hazard contents	0.7	18	0.4	10
All other	0.3	7.6	0.2	5

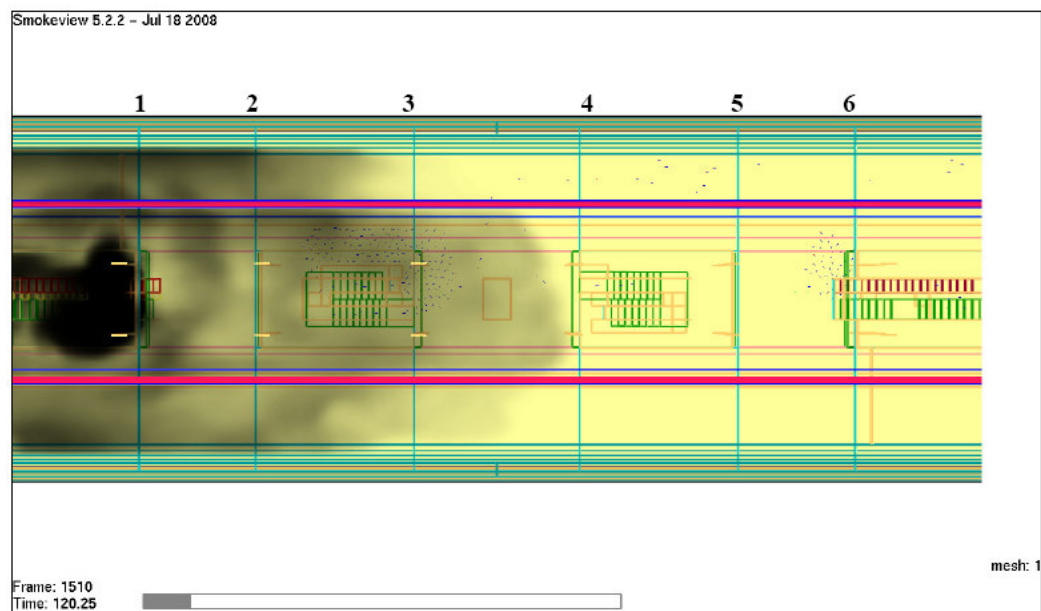
ที่มา: NFPA 101 Edition (2006)



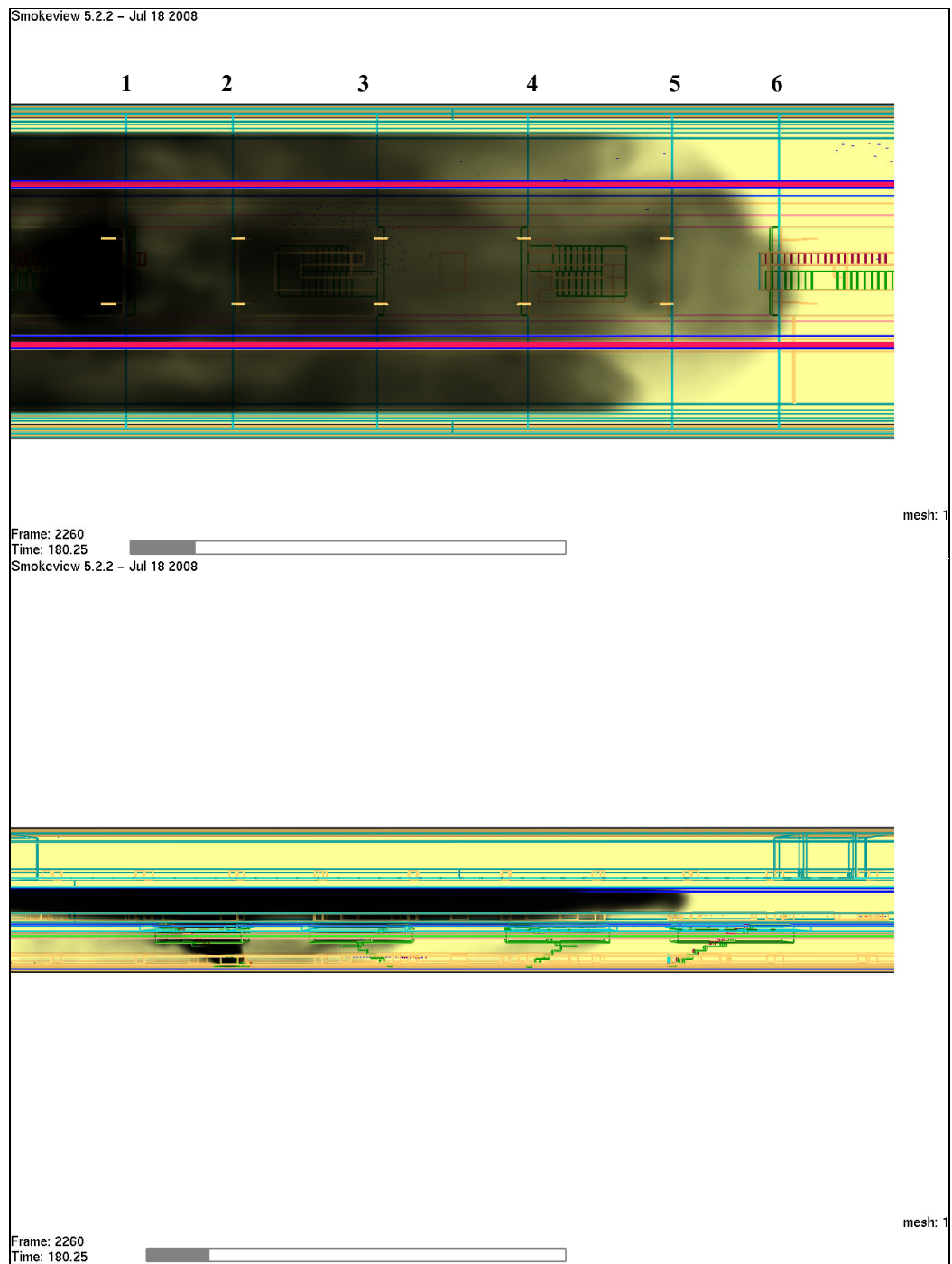
ภาพที่ 32 แสดงการกระจายตัวและการรอกอยที่บริเวณบันไดและบันไดเลื่อนที่ชั้นชานชาลา
ที่เวลา 30 วินาที (จุดสีน้ำเงิน แทน ตัวแทนทั้งหมดในแบบจำลอง)



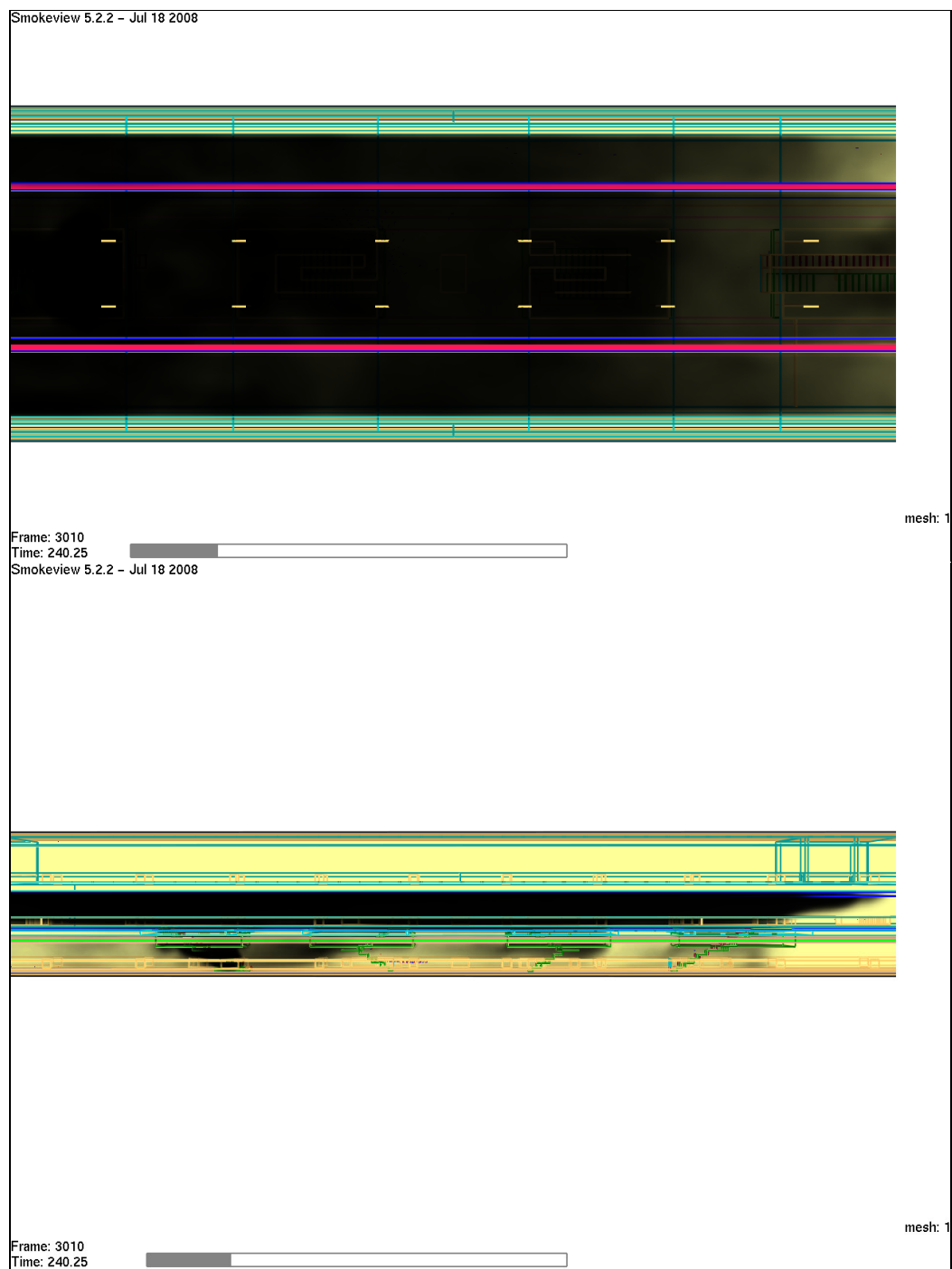
ภาพที่ 33 แสดงการรอกอยที่บริเวณบันไดและบันไดเลื่อนที่ชั้นชานชาลา ที่เวลา 60 วินาที
(จุดสีน้ำเงิน แทน ตัวแทนทั้งหมดในแบบจำลอง)



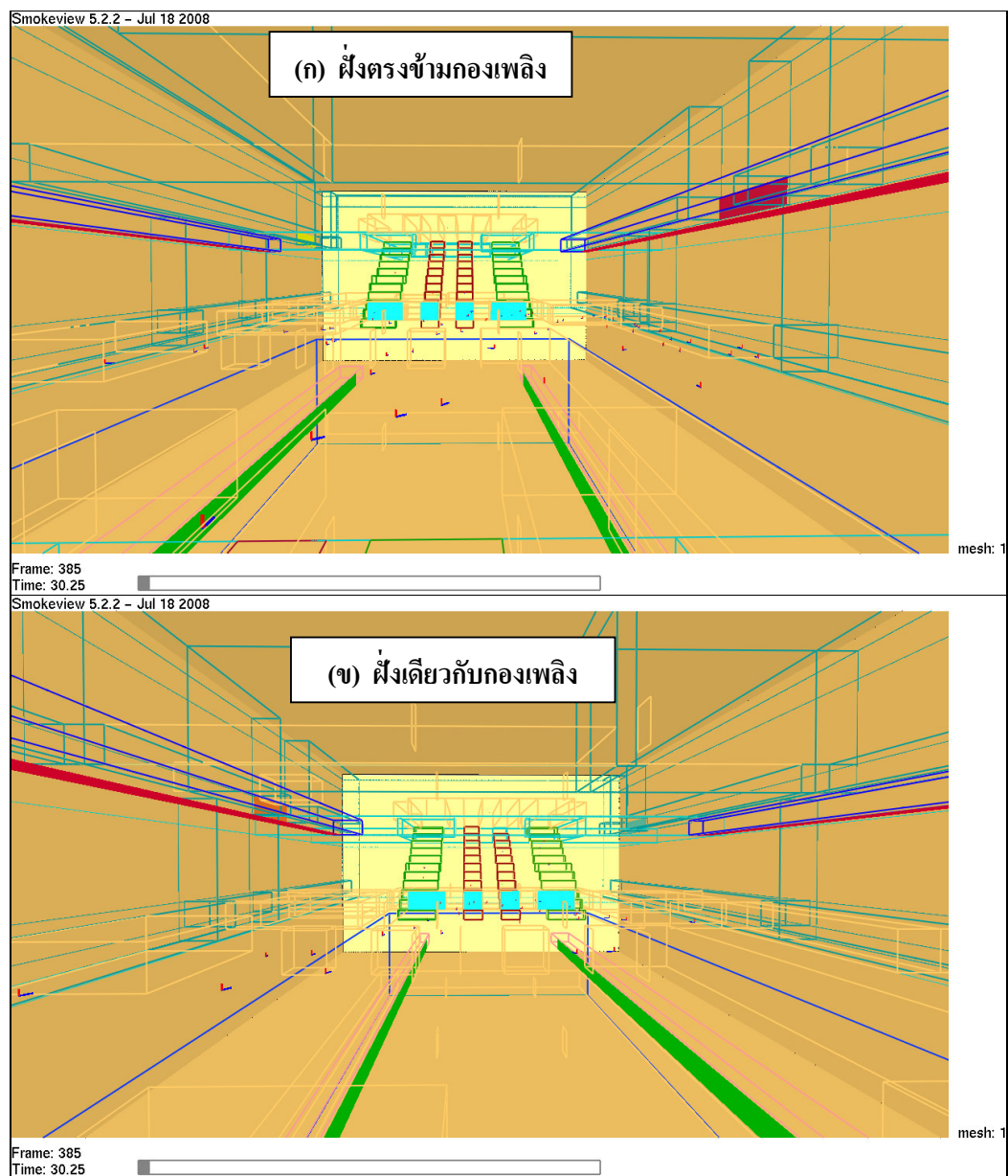
ภาพที่ 34 แสดงการรอกอยที่บริเวณบันไดและบันไดเลื่อนที่ชั้นชานชาลา ที่เวลา 120 วินาที
(จุดสีน้ำเงิน แทน ตัวแทนทั้งหมดในแบบจำลอง)



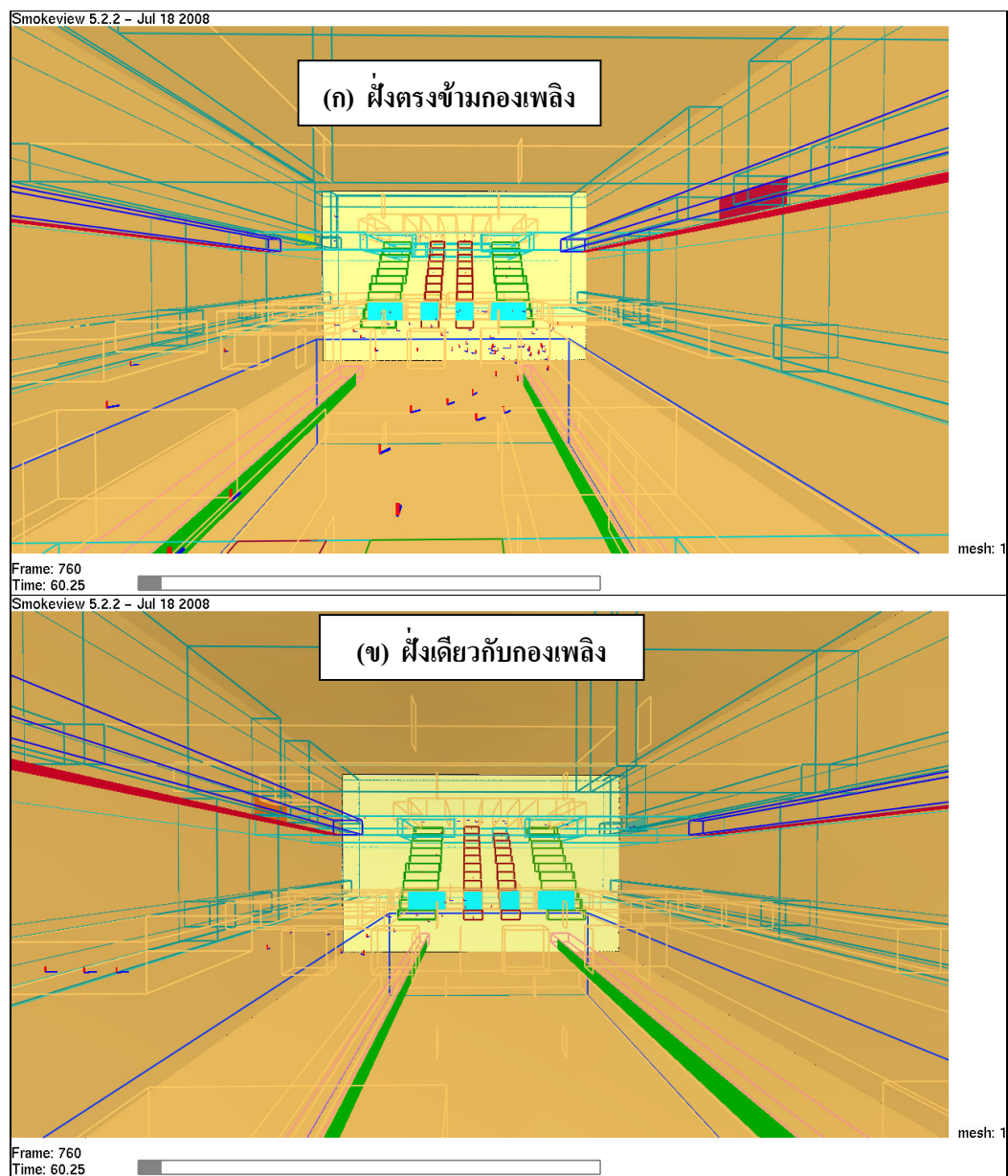
ภาพที่ 35 แสดงภาพด้านบน (Top View) และภาพด้านข้าง (Side View) ลักษณะการไหลของควัน
ที่เวลา 180 วินาที



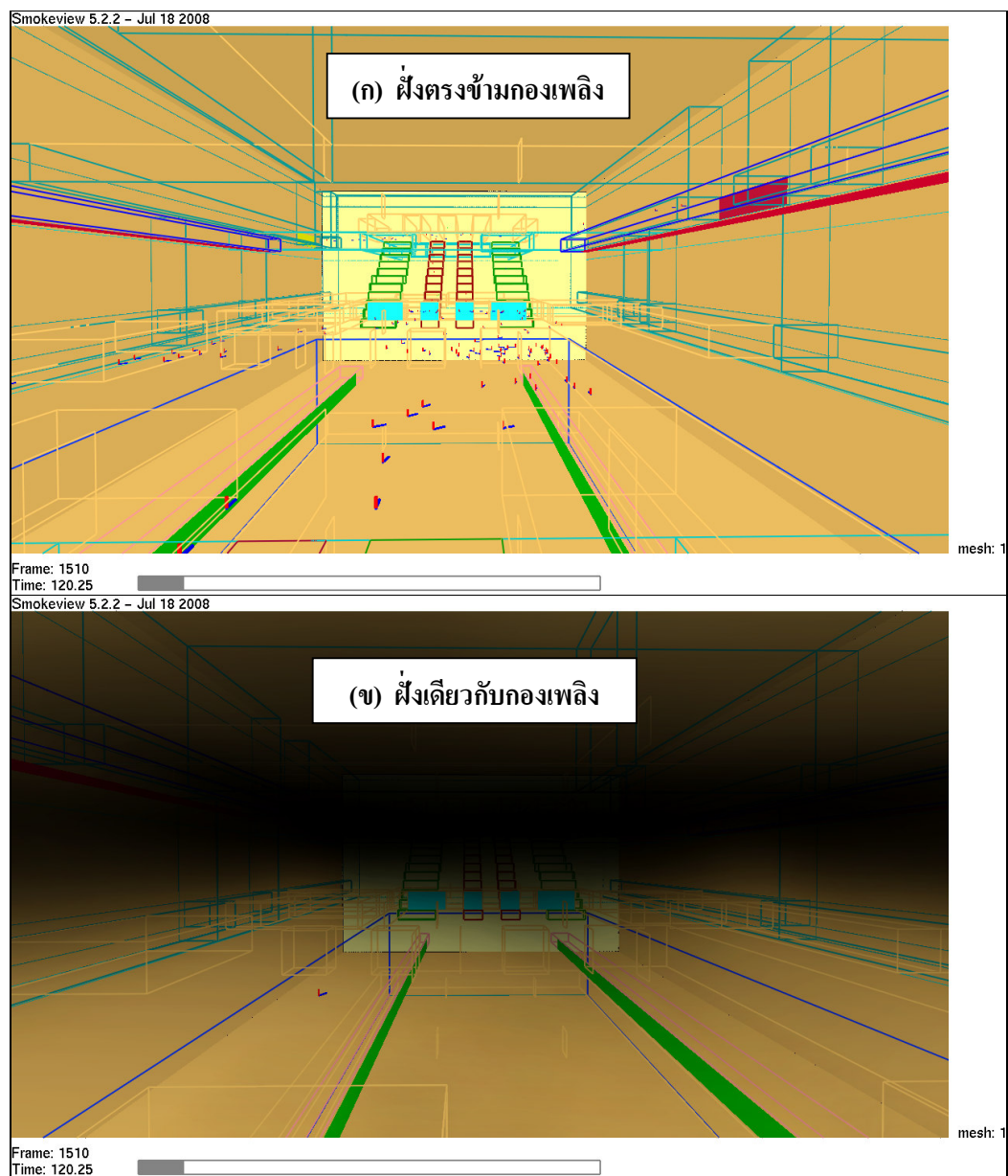
ภาพที่ 36 แสดงภาพด้านบน (Top View) และภาพด้านข้าง (Side View) ลักษณะการไหลของควัน
ที่เวลา 240 วินาที



ภาพที่ 37 แสดงการอพยพผ่านที่เก็บบัตรโดยสาร ที่เวลา 30 วินาที (ชั้นขายบัตรโดยสาร)



ภาพที่ 38 แสดงการอพยพผ่านที่เก็บบัตรโดยสาร ที่เวลา 60 วินาที (ชั้นขายบัตรโดยสาร)



ภาพที่ 39 แสดงการอพยพผ่านที่เก็บบัตรโดยสาร ที่เวลา 120 วินาที (ชั้นขายบัตรโดยสาร)

1.3.2 ไม่มีระบบระบายควัน

จากการประมวลผลโดยใช้โปรแกรม FDS+Evac Version 5.2.5 ใช้ระยะเวลาในการประมวลผล 35 ชั่วโมง ที่เงื่อนไขดังต่อไปนี้ จำนวนคนที่รอรถไฟฟ้าในกรณีที่เกิดการขัดข้องในการเดินรถช่วงระยะเวลา 30 นาทีเท่ากับ 641 คน โดยกำหนดให้ตัวแทนจำนวน 481 คนมีจุดเริ่มต้นที่ชั้นชานชาลาและตัวแทนจำนวน 160 คน มีจุดเริ่มต้นที่ชั้นขายบัตรโดยสารที่อัตราการเผาไหม้แบบรวดเร็ว (Fast Growth Rate) อัตราการปลดปล่อยพลังงาน 7 MW กองเพลิงอยู่บริเวณใต้บันไดและบันไดเลื่อน (ST-4 , Esc-4) ตำแหน่งบันไดและบันไดเลื่อนแสดงไว้ในภาพที่ 25 และ 26 จากแบบจำลองพบว่าตัวแทนคนสุดท้ายอพยพออกจากชั้นชานชาลาไปยังชั้นขายบัตรโดยสารใช้เวลา 395 - 443 วินาที หรือ 6.6 – 7.4 นาที โดยใช้บันได ST-5 (จับเวลาตั้งแต่เริ่มเข้าไปยังบันไดจนกระทั่งออกจากบันได) บันไดเชื่อมต่อระหว่างชั้นชานชาลาและชั้นขายบัตรโดยสาร และจากการประมวลผลพบว่าคนที่อพยพออกจากสถานีเป็นคนสุดท้าย ใช้เวลา 678 วินาที หรือ 11.3 นาที

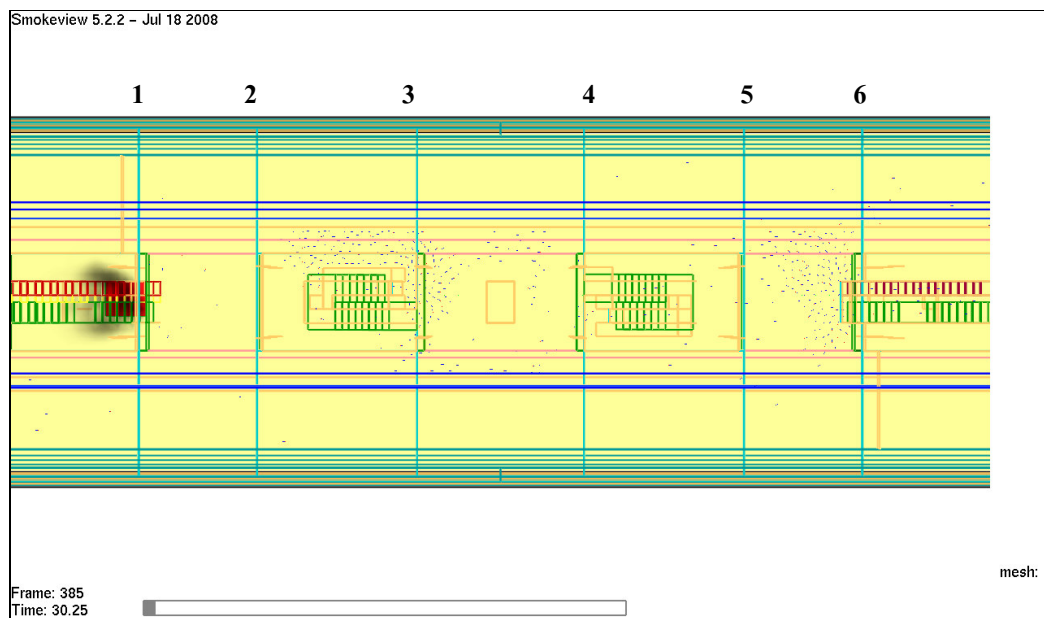
จากภาพที่ 57 แสดงเวลาที่ใช้ในการอพยพคนจำนวน 641 คนออกจากอาคารสถานี โดยเวลาที่คนสุดท้ายอพยพออกจากสถานีใช้เวลา 678 วินาที หรือ 11.3 นาที

ภาพที่ 58 และ 59 แสดงจำนวนคนที่อพยพออกจากชั้นชานชาลาและชั้นขายบัตรโดยสารที่เวลาต่างๆ ตามลำดับ

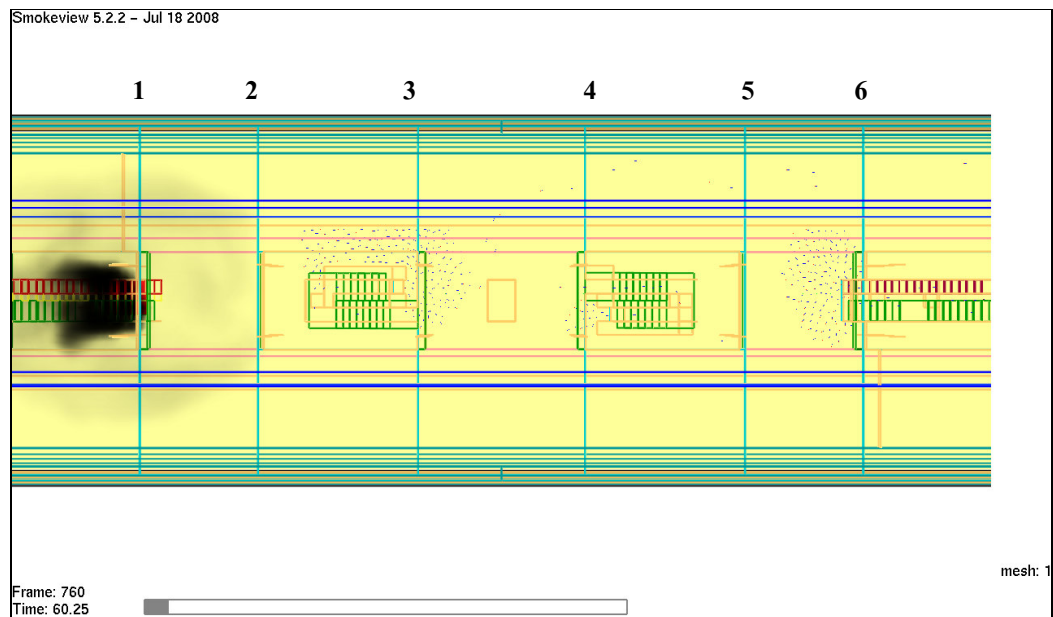
ภาพที่ 60 และ 61 แสดงจำนวนคนที่อพยพออกจากชั้นร้านค้าที่เวลาต่างๆ ในส่วนของชั้นร้านค้าจะถูกแบ่งออกเป็นฝั่งซ้ายและฝั่งขวา จากกราฟพบว่ามีตัวแทนจำนวน 71 คน (แสดงไว้ในตารางที่ 23, ตำแหน่งทางออกแสดงไว้ในภาพที่ 26) ที่อพยพมาทางฝั่งซ้ายเพื่อที่จะอพยพออกโดยใช้ทางออกที่ 1 และ 3 ซึ่งเป็นฝั่งเดียวกันกับกองเพลิง

ภาพที่ 62 ถึง 65 แสดงจำนวนคนที่อพยพออกในแต่ละทางออกที่เวลาต่างๆ จากกราฟตัวแทนใช้ทางออกที่ 2 มากที่สุด จำนวน 428 คน รองลงมาคือทางออกที่ 4 จำนวน 142 คน ทางออกที่ 1 จำนวน 62 คน และทางออกที่ 3 จำนวน 9 คน ดังแสดงไว้ในตารางที่ 23

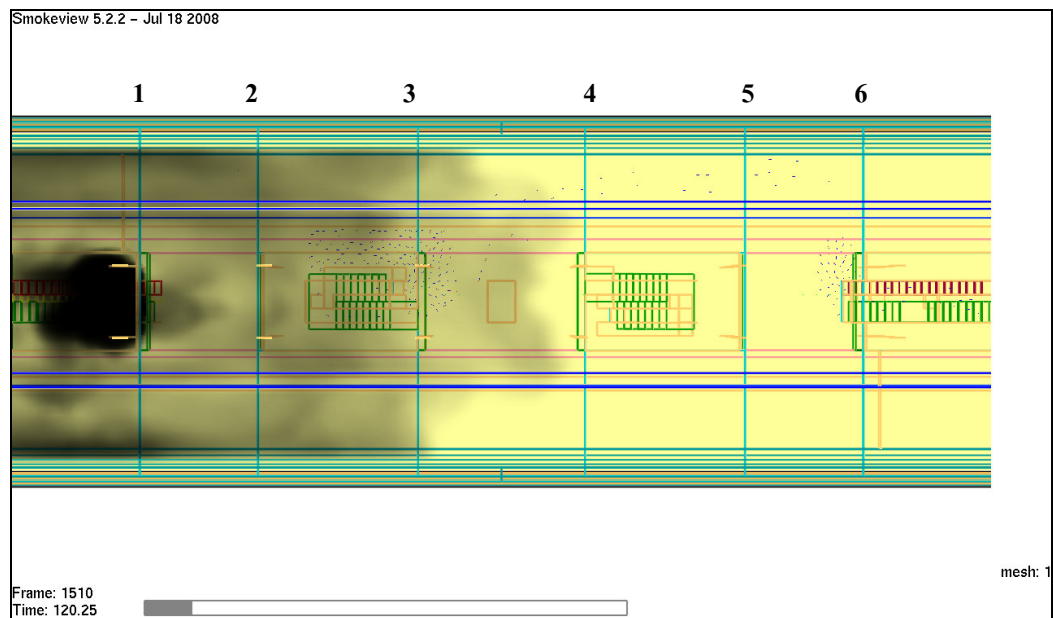
จากตารางที่ 19 สามารถหาค่าความจุของบันไดได้ดังนี้ บันไดมีความกว้างเท่ากับ 1800 มิลลิเมตร ความจุของบันไดตามมาตรฐาน NFPA 101 เท่ากับ 7.6 มิลลิเมตรต่อคน ดังนั้นบันไดจะมีความจุเท่ากับ $\frac{1800}{7.6} = 237$ คน จากข้อมูลในตารางที่ 21 บันได ST-5 เป็นบันไดที่มีคนใช้มากที่สุดจำนวน 213 คน ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าความจุของบันไดที่คำนวณได้ จากภาพที่ 88 ถึง 92 พบว่าเกิดการรอคอยที่บันได ST-5 มากที่สุด



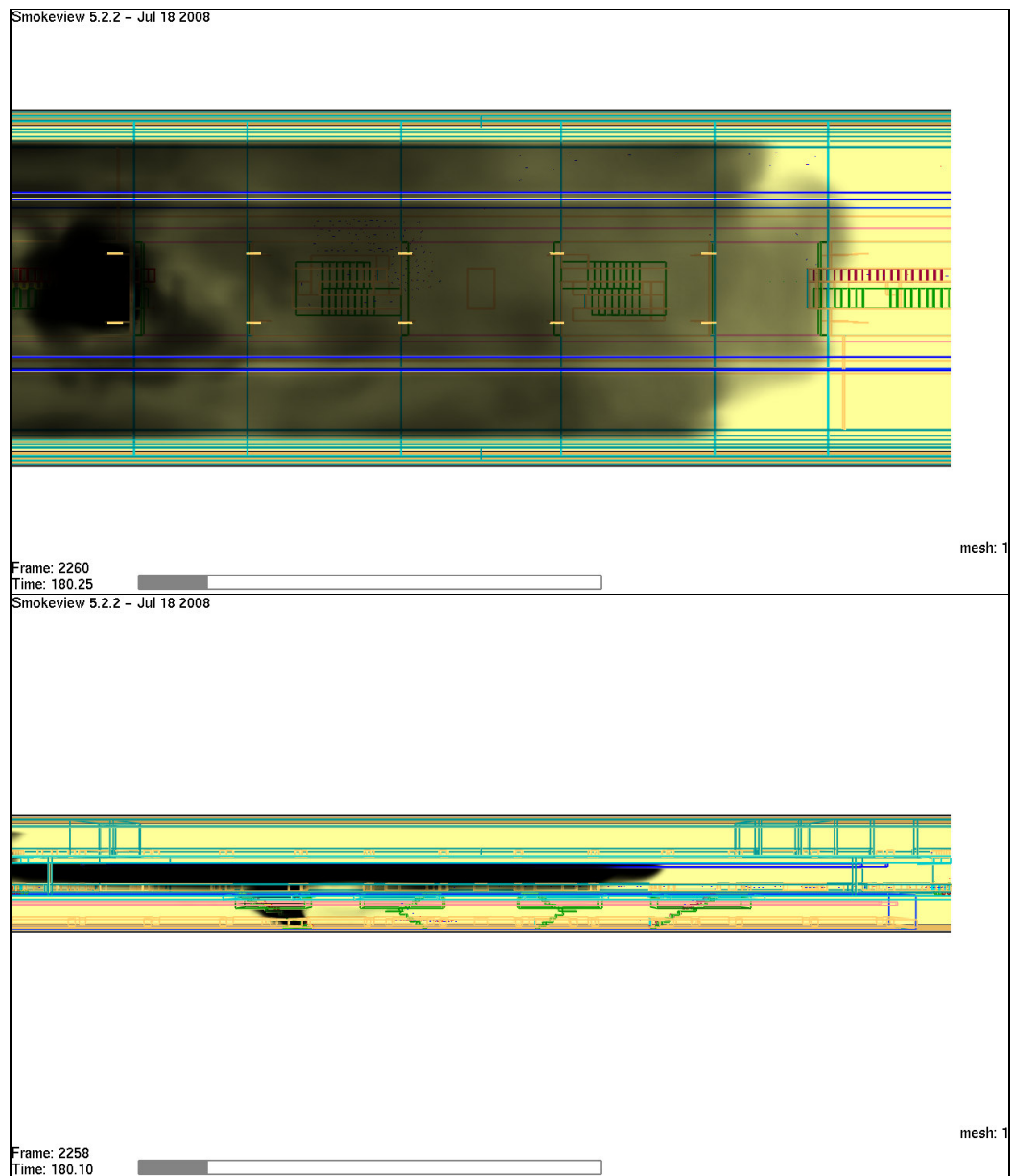
ภาพที่ 40 แสดงการกระจายตัวและการรอคอยที่บริเวณบันไดและบันไดเลื่อนที่ชั้นชานชาลา
ที่เวลา 30 วินาที (จุดสีน้ำเงิน แทน ตัวแทนทั้งหมดในแบบจำลอง)



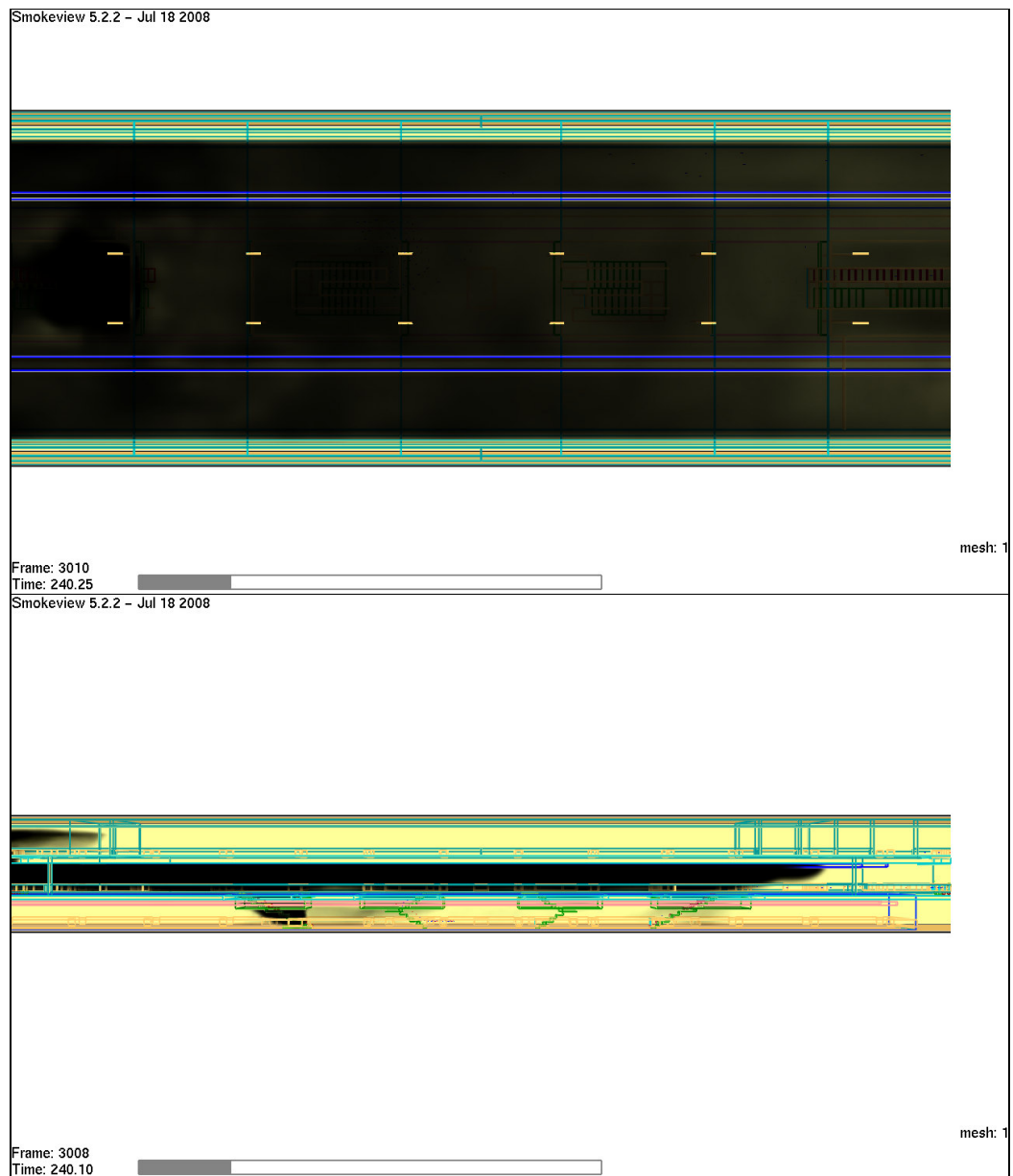
ภาพที่ 41 แสดงการรอกอยที่บริเวณบันไดและบันไดเลื่อนที่ชั้นชานชาลา ที่เวลา 60 วินาที
(จุดสีน้ำเงิน แทน ตัวแทนทั้งหมดในแบบจำลอง)



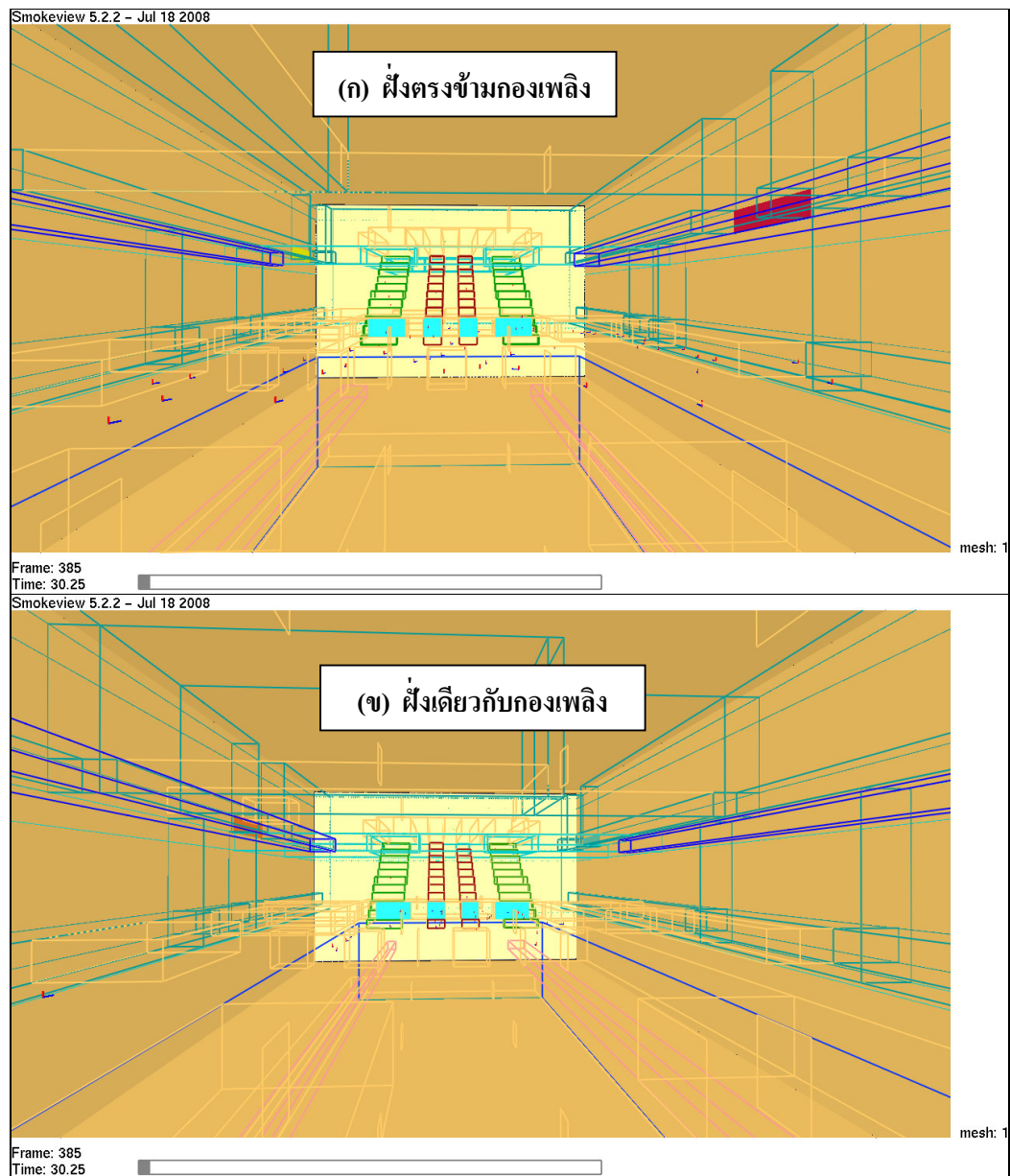
ภาพที่ 42 แสดงการรอกอยที่บริเวณบันไดและบันไดเลื่อนที่ชั้นชานชาลา ที่เวลา 120 วินาที
(จุดสีน้ำเงิน แทน ตัวแทนทั้งหมดในแบบจำลอง)



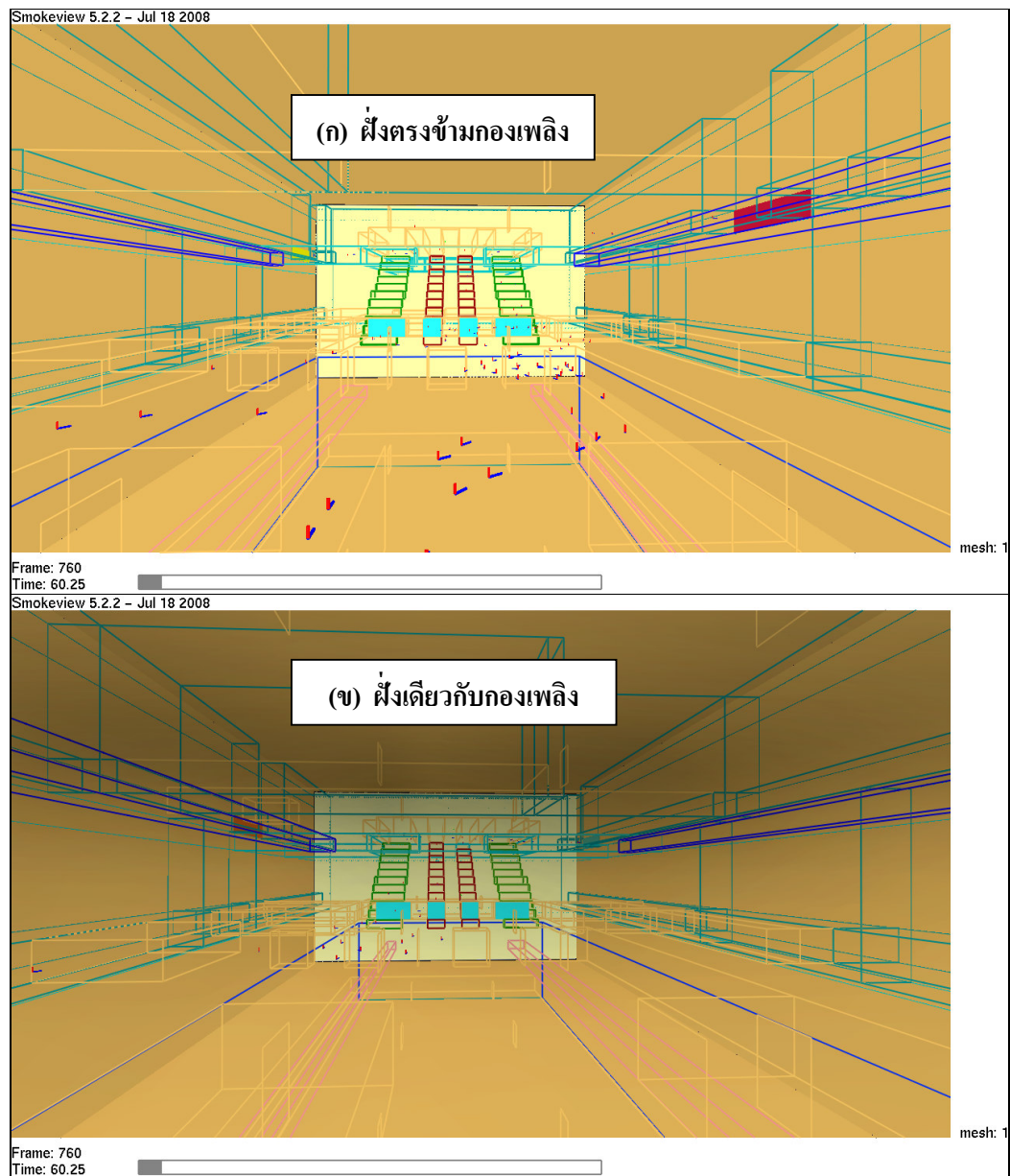
ภาพที่ 43 แสดงภาพด้านบน (Top View) และภาพด้านข้าง (Side View) ลักษณะการไหลของควัน
ที่เวลา 180 วินาที



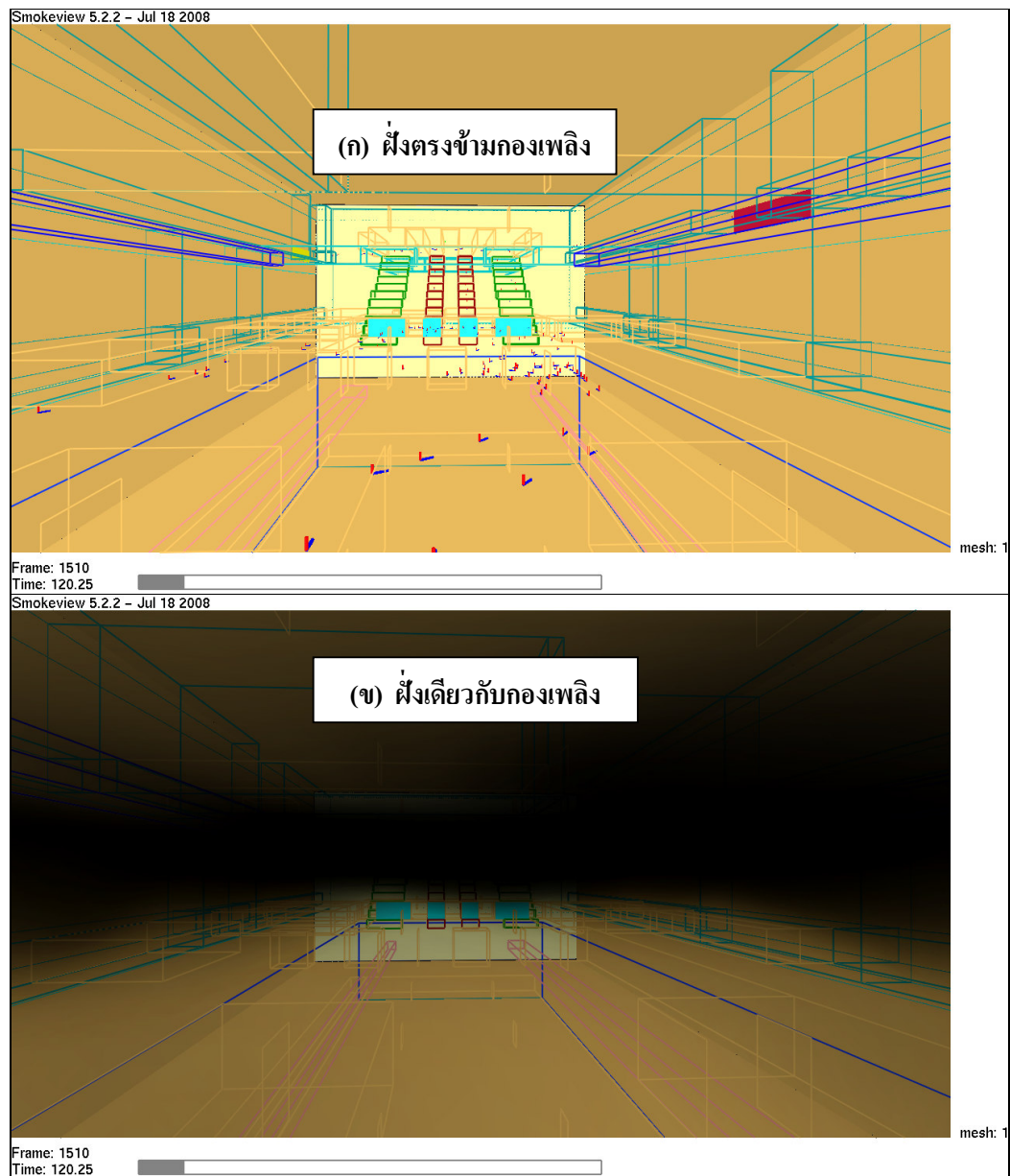
ภาพที่ 44 แสดงภาพด้านบน (Top View) และภาพด้านข้าง (Side View) ลักษณะการไหลของควัน
ที่เวลา 240 วินาที



ภาพที่ 45 แสดงการอพยพผ่านที่เก็บบัตรโดยสาร ที่เวลา 30 วินาที (ชั้นขายบัตรโดยสาร)



ภาพที่ 46 แสดงการอพยพผ่านที่เก็บบัตรโดยสาร ที่เวลา 60 วินาที (ชั้นขายบัตรโดยสาร)



ภาพที่ 47 แสดงการอพยพผ่านที่เก็บบัตรโดยสาร ที่เวลา 120 วินาที (ชั้นขายบัตรโดยสาร)

1.4 ตารางสรุปผลการอพยพ

ตารางที่ 20 แสดงเวลาที่ใช้ในการอพยพออกจากสถานี

	มีระบบระบายควัน วินาที,(นาที)	ไม่มีระบบระบายควัน วินาที,(นาที)
กรณีที่ 1	362 ,(6)	534, (8.9)
กรณีที่ 2	561, (9.4)	527, (8.8)
กรณีที่ 3	749, (12.5)	678, (11.3)

ตารางที่ 21 แสดงจำนวนคนที่อพยพโดยใช้บันไดแต่ละตัวที่ชั้นชานชาลา

		จำนวนคนที่อพยพโดยใช้บันไดและบันไดเลื่อนชั้นชานชาลา (คน)				
		ST-5	ST-6	ST-7	ESC-7	รวม
กรณีที่ 1	มีระบบระบายควัน	50	10	19	31	110
	ไม่มีระบบระบายควัน	54	8	19	29	110
กรณีที่ 2	มีระบบระบายควัน	114	24	51	58	247
	ไม่มีระบบระบายควัน	124	21	49	53	247
กรณีที่ 3	มีระบบระบายควัน	217	45	103	116	481
	ไม่มีระบบระบายควัน	213	48	97	123	481

หมายเหตุ กรณีที่ 2 และ 3 มีตัวแทนจำนวน 95 และ 160 ตามลำดับ ถูกกำหนดให้จุดเริ่มต้นอยู่ที่ชั้นขายบัตรโดยสาร

ตารางที่ 22 แสดงจำนวนคนที่อพยพโดยใช้บันไดแต่ละตัวที่ชั้นขายบัตรโดยสาร

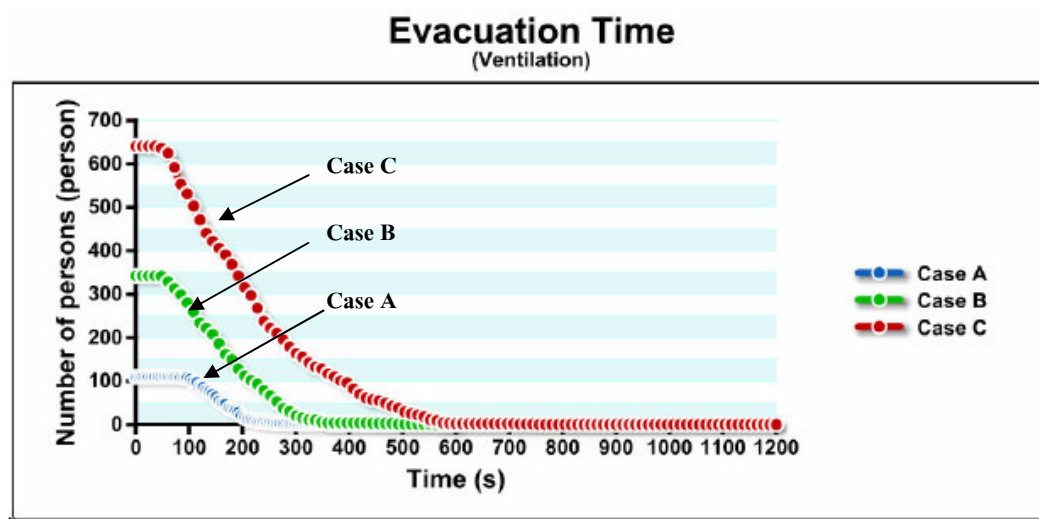
		จำนวนคนที่ใช้บันไดและบันไดเลื่อนที่ชั้นขายบัตรโดยสาร (คน)								
		ฝั่งเดียวกับกองเพลิง				ฝั่งตรงข้ามกับกองเพลิง				รวม
		ST-10	ST-101	ESC-10	ESC-101	ST-11	ST-111	ESC-11	ESC-111	
กรณี ที่ 1	มีระบบระบายควัน	-	-	2	-	8	2	50	48	110
	ไม่มีระบบระบายควัน	1	-	-	-	13	-	43	53	110
กรณี ที่ 2	มีระบบระบายควัน	13	7	22	7	46	28	104	115	342
	ไม่มีระบบระบายควัน	9	4	17	10	38	28	100	136	342
กรณี ที่ 3	มีระบบระบายควัน	27	11	39	10	103	55	200	196	641
	ไม่มีระบบระบายควัน	19	8	32	12	101	72	198	199	641

ตารางที่ 23 แสดงจำนวนคนที่อพยพที่ทางออกชั้นร้านค้า

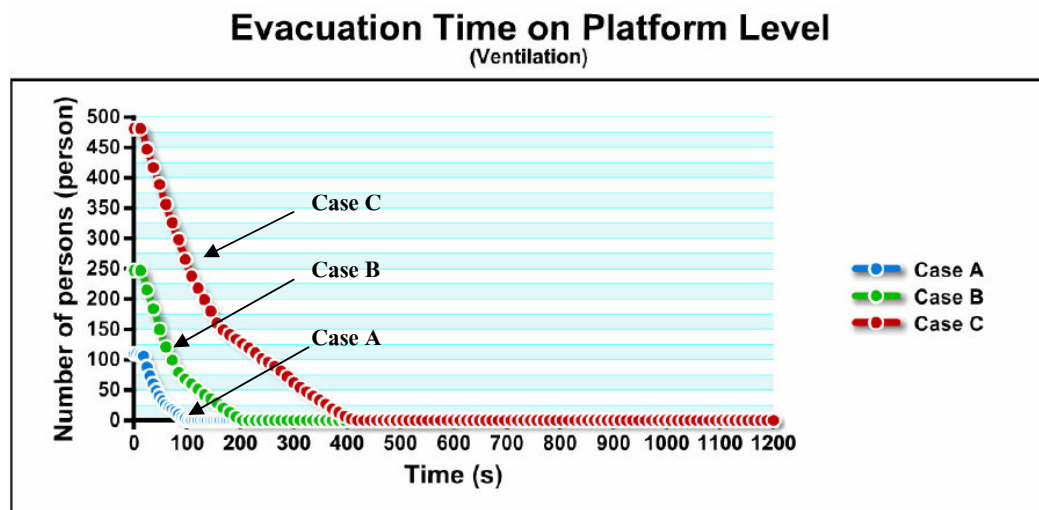
		จำนวนคนที่ทางออก (คน)				
		1	2	3	4	รวม
กรณี ที่ 1	มีระบบระบายควัน	2	83	-	25	110
	ไม่มีระบบระบายควัน	1	78	-	31	110
กรณี ที่ 2	มีระบบระบายควัน	39	207	10	86	342
	ไม่มีระบบระบายควัน	28	222	12	80	342
กรณี ที่ 3	มีระบบระบายควัน	71	424	16	130	641
	ไม่มีระบบระบายควัน	62	428	9	142	641

1.5 กราฟแสดงการอพยพ

1.5.1 กรณีมีระบบระบายควัน

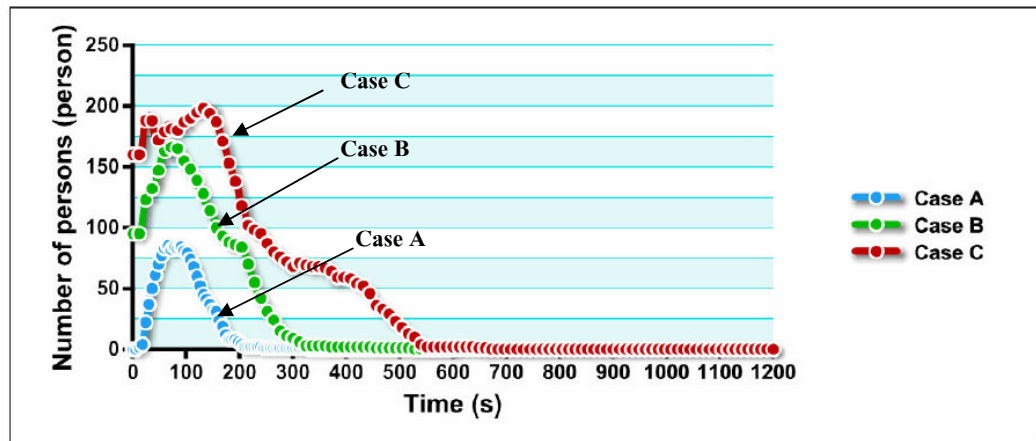


ภาพที่ 48 กราฟแสดงจำนวนคนและเวลาในการอพยพออกจากสถานีทั้ง 3 กรณี



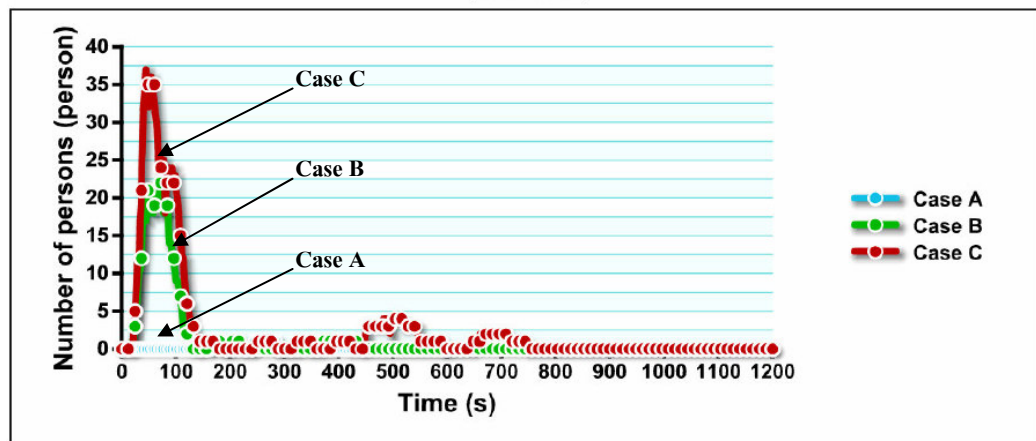
ภาพที่ 49 กราฟแสดงจำนวนคนและเวลาในการอพยพออกจากชั้นชานชาลาทั้ง 3 กรณี

Evacuation Time on Concourse Level (Ventilation)



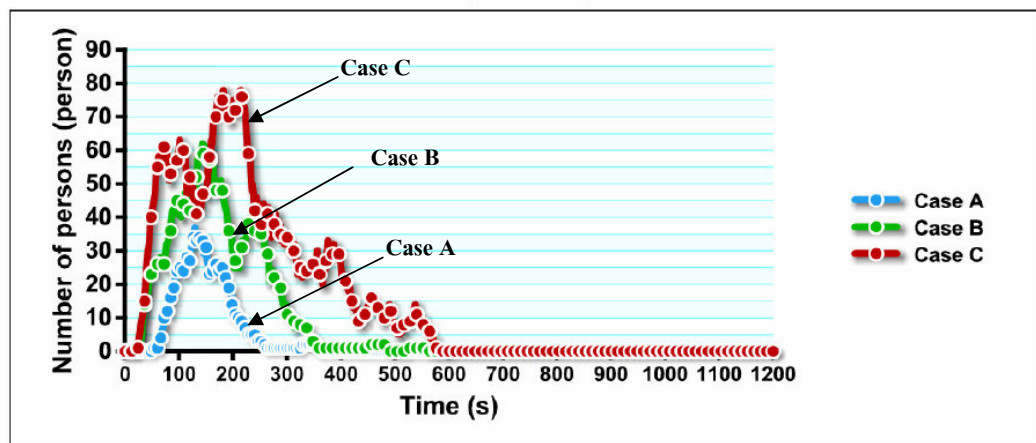
ภาพที่ 50 กราฟแสดงจำนวนคนและเวลาในการอพยพออกจากชั้นขายบัตรโดยสารทั้ง 3 กรณี

Evacuation Time on Retail Level (Left) (Ventilation)



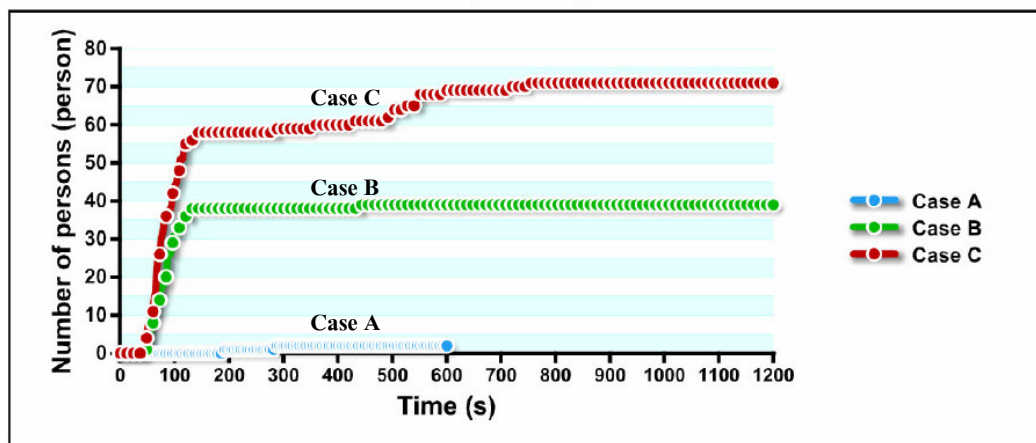
ภาพที่ 51 กราฟแสดงจำนวนคนและเวลาในการอพยพออกจากชั้นร้านค้า(ฝั่งซ้าย)ทั้ง 3 กรณี

Evacuation Time on Retail Level (Right) (Ventilation)

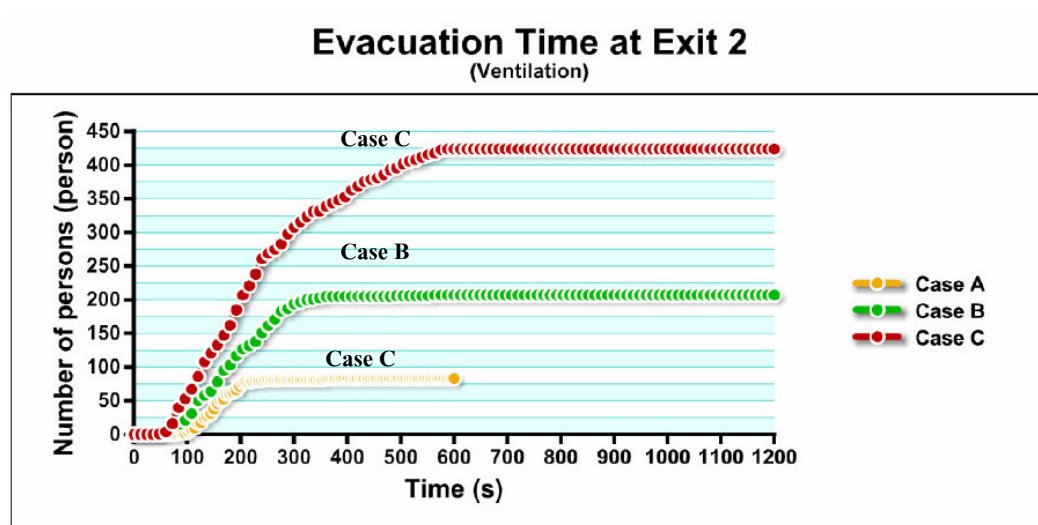


ภาพที่ 52 กราฟแสดงจำนวนคนและเวลาในการอพยพออกจากชั้นร้านค้า(ฝั่งขวา) ทั้ง 3 กรณี

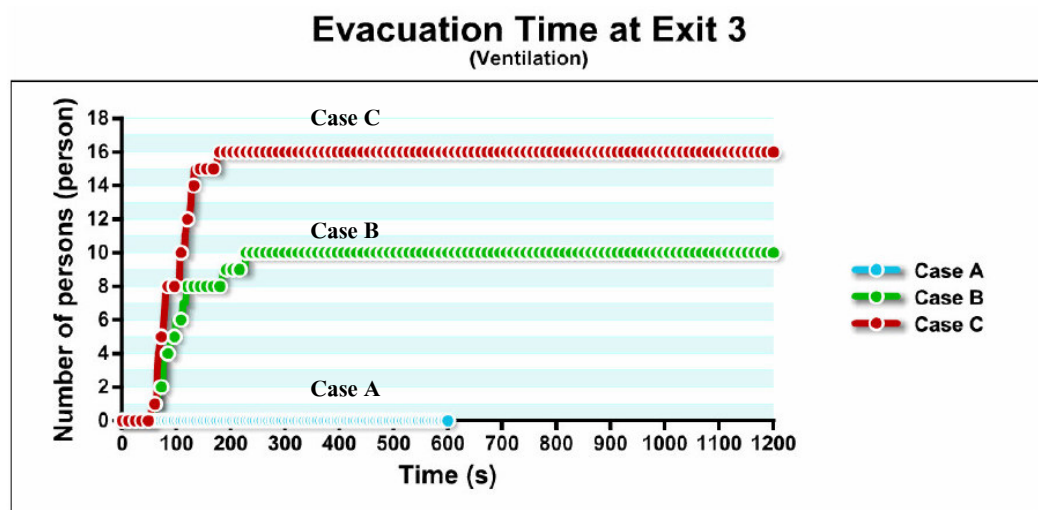
Evacuation Time at Exit 1 (Ventilation)



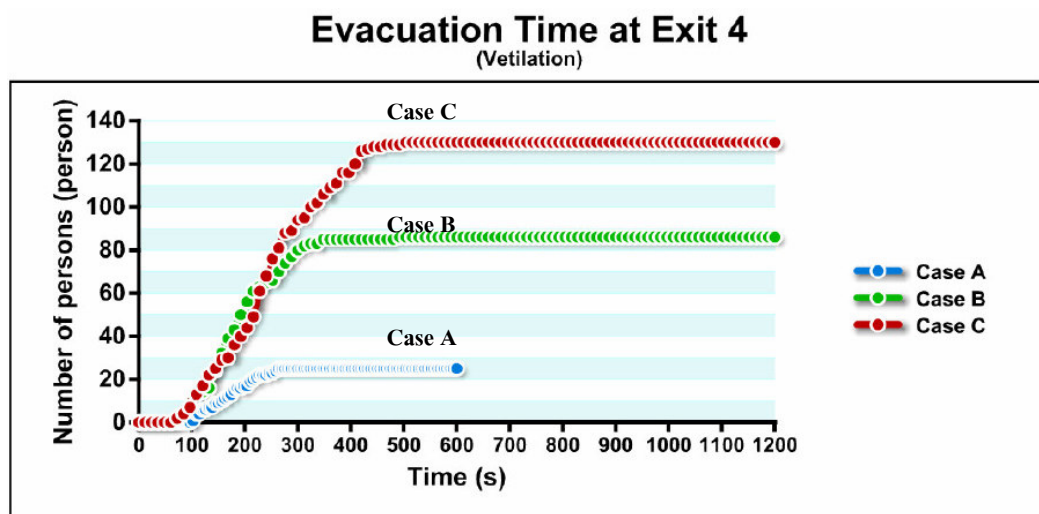
ภาพที่ 53 กราฟแสดงจำนวนคนและเวลาในการอพยพโดยใช้ทางออกที่ 1 ทั้ง 3 กรณี



ภาพที่ 54 กราฟแสดงจำนวนคนและเวลาในการอพยพโดยใช้ทางออกที่ 2 ทั้ง 3 กรณี

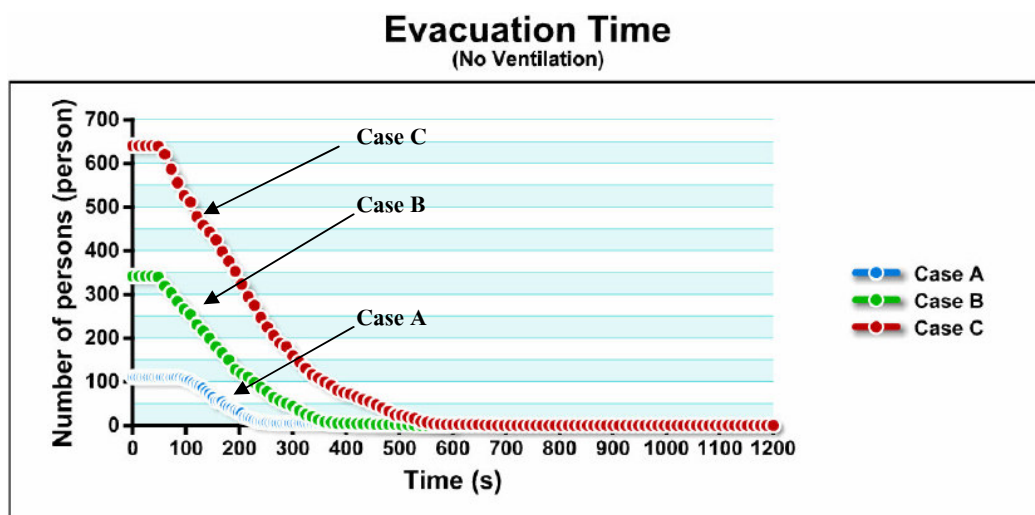


ภาพที่ 55 กราฟแสดงจำนวนคนและเวลาในการอพยพโดยใช้ทางออกที่ 3 ทั้ง 3 กรณี



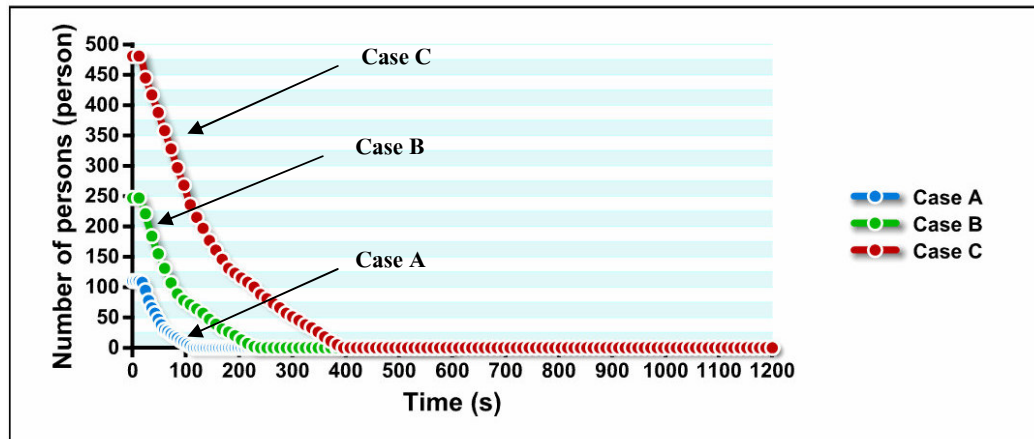
ภาพที่ 56 กราฟแสดงจำนวนคนและเวลาในการอพยพโดยใช้ทางออกที่ 4 ทั้ง 3 กรณี

1.5.2 กรณีไม่มีระบบระบายควัน



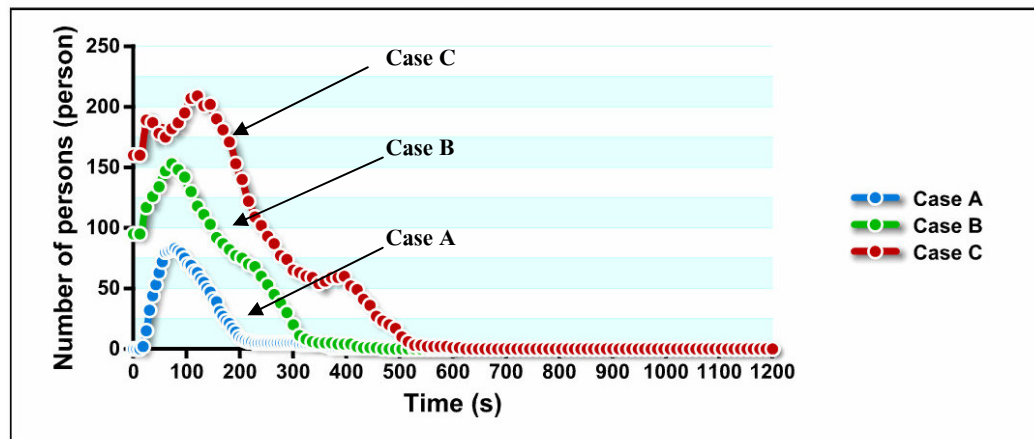
ภาพที่ 57 กราฟแสดงจำนวนคนและเวลาในการอพยพออกจากสถานีทั้ง 3 กรณี

Evacuation Time on Platform Level (No Ventilation)

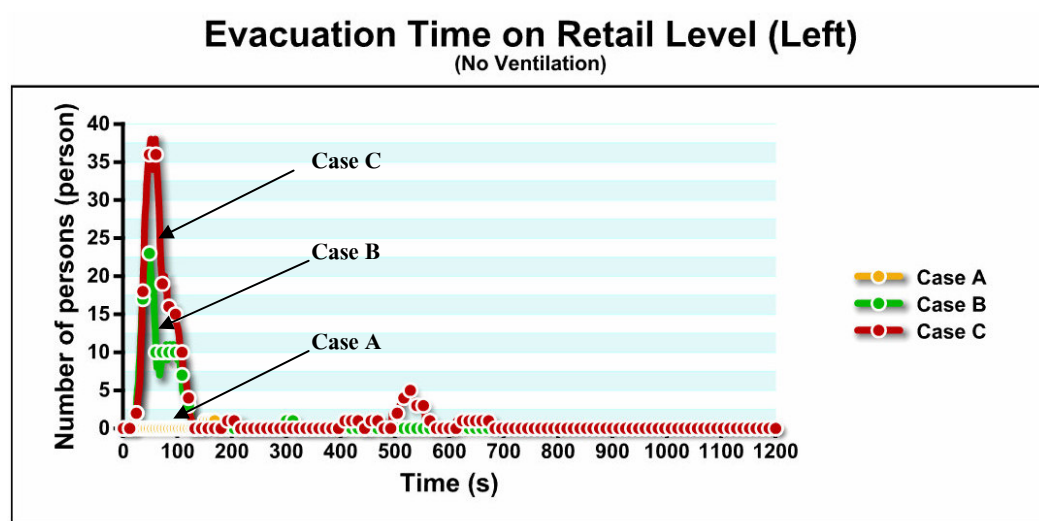


ภาพที่ 58 กราฟแสดงจำนวนคนและเวลาในการอพยพออกจากชั้นชานชาลาทั้ง 3 กรณี

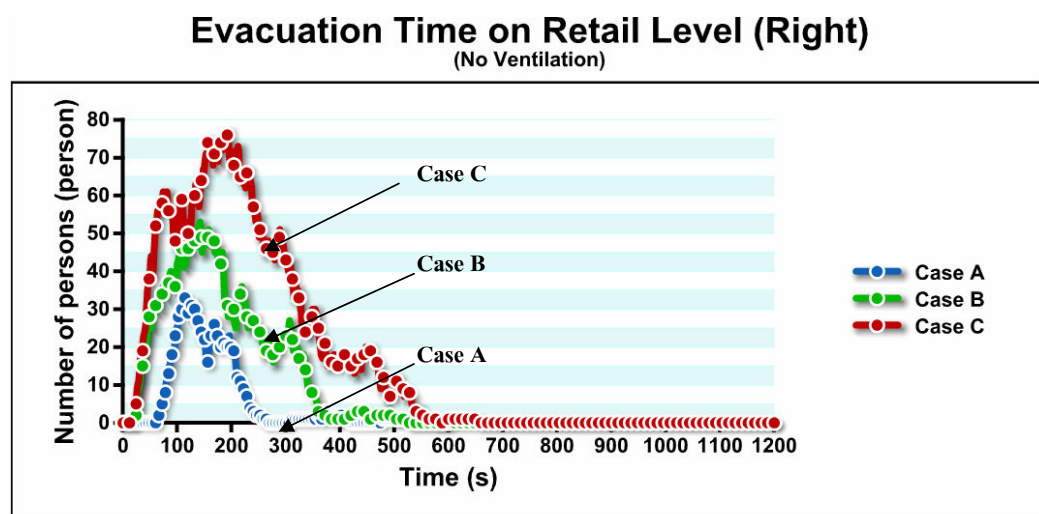
Evacuation Time on Concourse Level (No Ventilation)



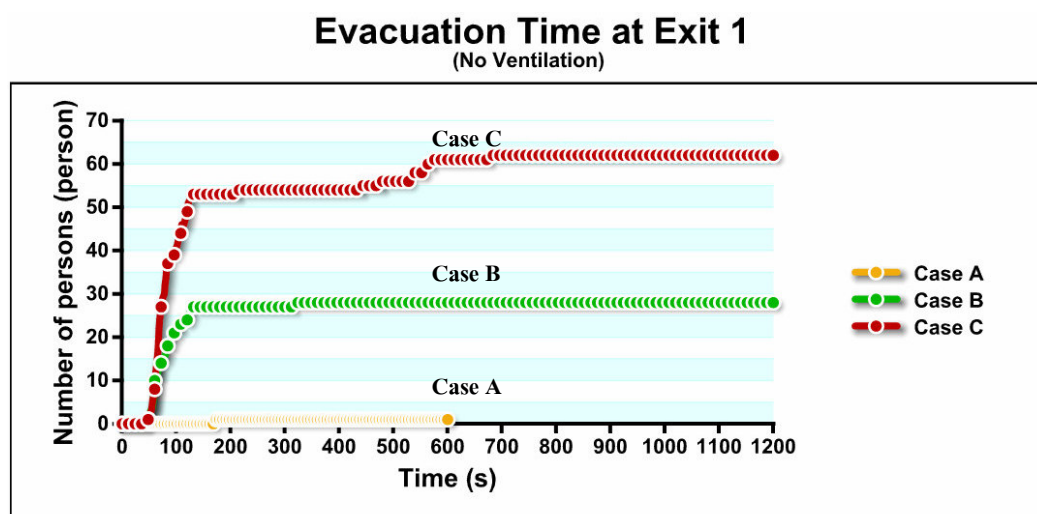
ภาพที่ 59 กราฟแสดงจำนวนคนและเวลาในการอพยพออกจากชั้นขายบัตรโดยสารทั้ง 3 กรณี



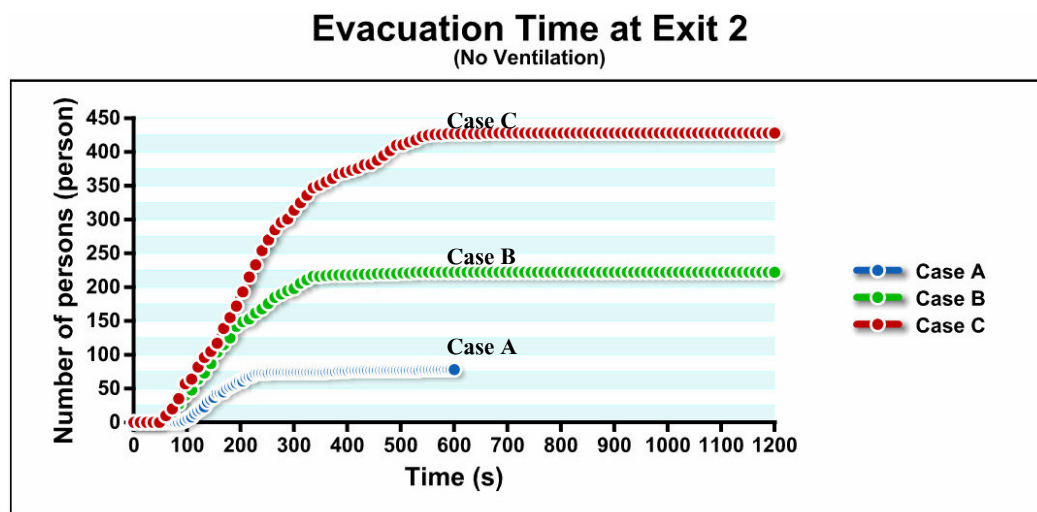
ภาพที่ 60 กราฟแสดงจำนวนคนและเวลาในการอพยพออกจากชั้นร้านค้า(ฝั่งซ้าย)ทั้ง 3 กรณี



ภาพที่ 61 กราฟแสดงจำนวนคนและเวลาในการอพยพออกจากชั้นร้านค้า(ฝั่งขวา) ทั้ง 3 กรณี

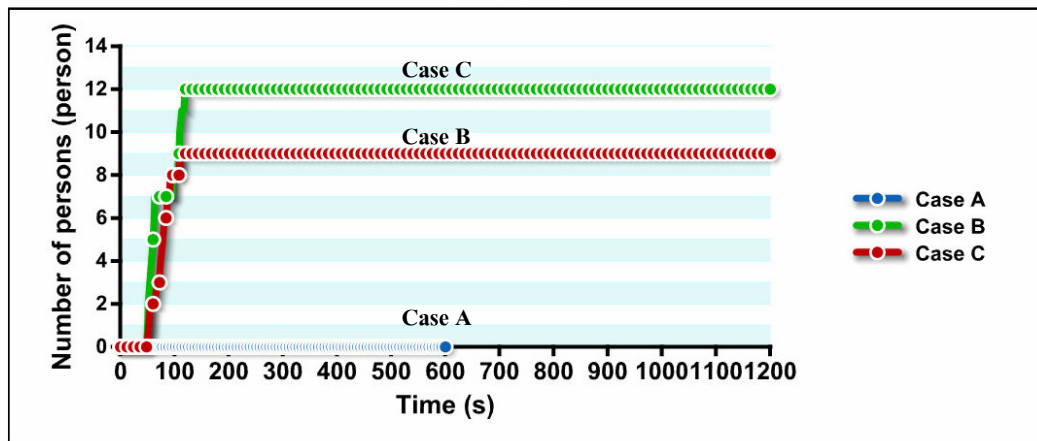


ภาพที่ 62 กราฟแสดงจำนวนคนและเวลาในการอพยพโดยใช้ทางออกที่ 1 ทั้ง 3 กรณี



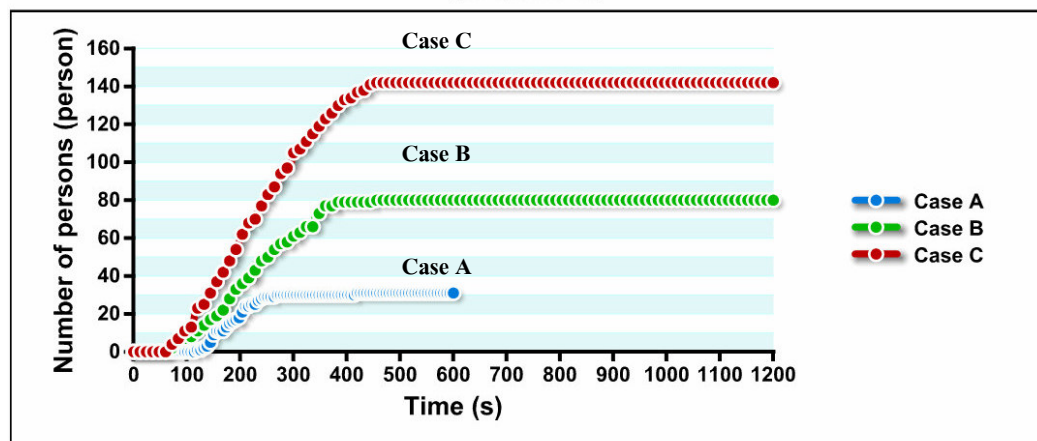
ภาพที่ 63 กราฟแสดงจำนวนคนและเวลาในการอพยพโดยใช้ทางออกที่ 2 ทั้ง 3 กรณี

Evacuation Time at Exit 3 (No Ventilation)



ภาพที่ 64 กราฟแสดงจำนวนคนและเวลาในการอพยพโดยใช้ทางออกที่ 3 ทั้ง 3 กรณี

Evacuation Time at Exit 4 (No Ventilation)



ภาพที่ 65 กราฟแสดงจำนวนคนและเวลาในการอพยพโดยใช้ทางออกที่ 4 ทั้ง 3 กรณี

2. ผลอุณหภูมิในแบบจำลอง กรณีที่มีระบบระบายควันและไม่มีระบบระบายควัน

ภาพที่ 66 ถึง 68 แสดงผลอุณหภูมิภายในสถานี โดยกำหนดความสูงของอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิที่ 1.8 เมตร ในแต่ละชั้น ดังแสดงในภาพที่ 29 ถึง 31 โดยประมวลผลภายใน 1200 วินาที ได้ผลดังต่อไปนี้

ที่บริเวณชั้นที่ 1 (ชั้นชานชาลา)

ที่ตำแหน่งที่ 1 ใกล้กองเพลิง กรณีที่มีระบบระบายควัน มีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 70 องศาเซลเซียส สำหรับกรณีที่ไม่มีระบบระบายควัน มีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 125 องศาเซลเซียส

ที่ตำแหน่งที่ 2 และ 3 ทั้งสองกรณีมีอุณหภูมิไม่แตกต่างกันมาก เฉลี่ยเท่ากับ 35-40 องศาเซลเซียส

ที่บริเวณชั้นที่ 2 (ชั้นขายบัตรโดยสาร)

ที่ตำแหน่งที่ 4 ฝั่งเดียวกันกับกองเพลิง กรณีที่มีระบบระบายควัน มีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 45 องศาเซลเซียส สำหรับกรณีที่ไม่มีระบบระบายควัน มีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 55 องศาเซลเซียส

ที่ตำแหน่งที่ 5 บริเวณกลางสถานี ทั้งสองกรณีมีอุณหภูมิไม่แตกต่างกันมาก เฉลี่ยเท่ากับ 50-55 องศาเซลเซียส

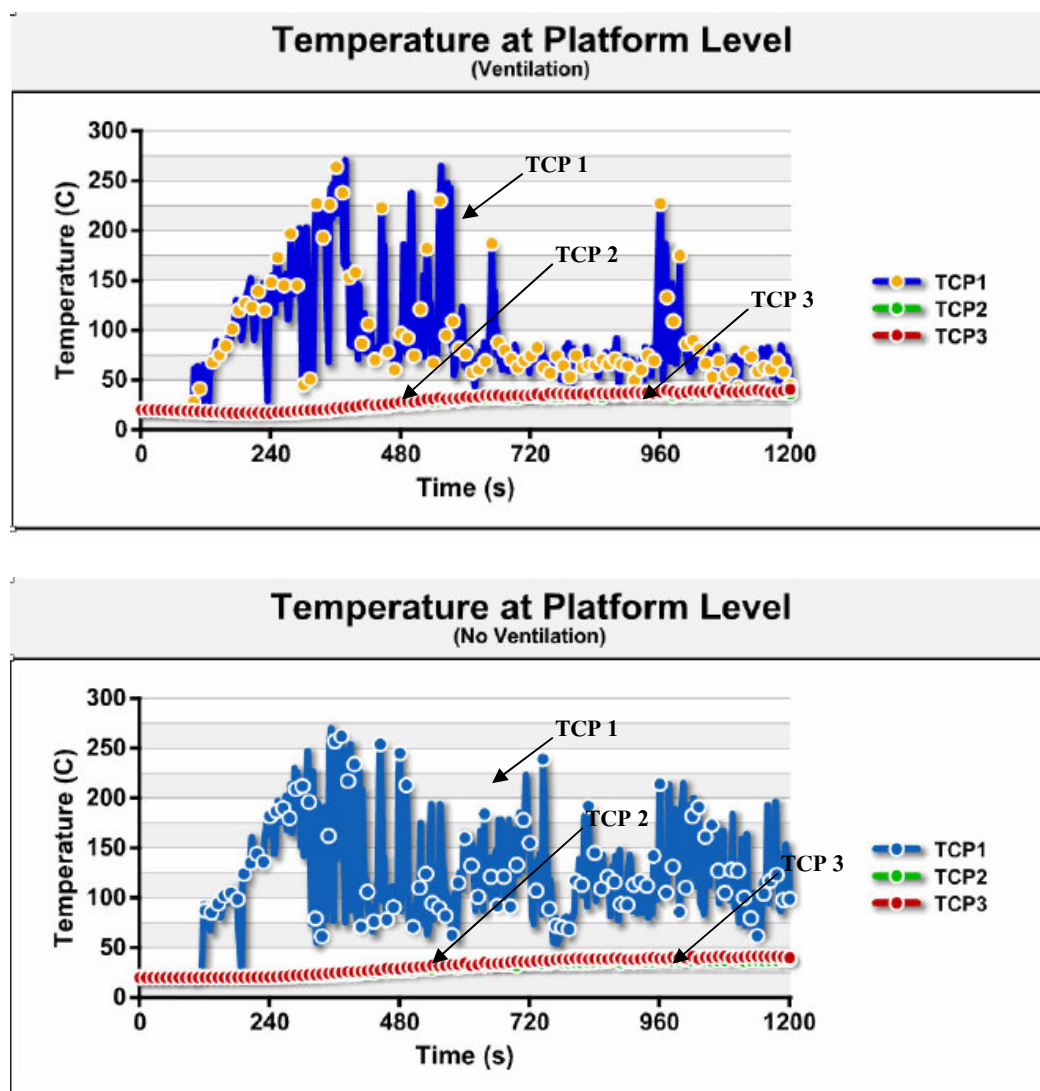
ที่ตำแหน่งที่ 6 ฝั่งตรงข้ามกองเพลิง กรณีที่มีระบบระบายควัน มีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 28 องศาเซลเซียส สำหรับกรณีที่ไม่มีระบบระบายควัน มีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 40 องศาเซลเซียส

ที่บริเวณชั้นที่ 3 (ชั้นร้านค้า)

ที่ตำแหน่งที่ 7 ทางออกฝั่งขวา (ทางออก 2 และ 4) กรณีที่มีระบบระบายควัน มีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 24 องศาเซลเซียส สำหรับกรณีที่ไม่มีระบบระบายควัน มีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 34 องศาเซลเซียส

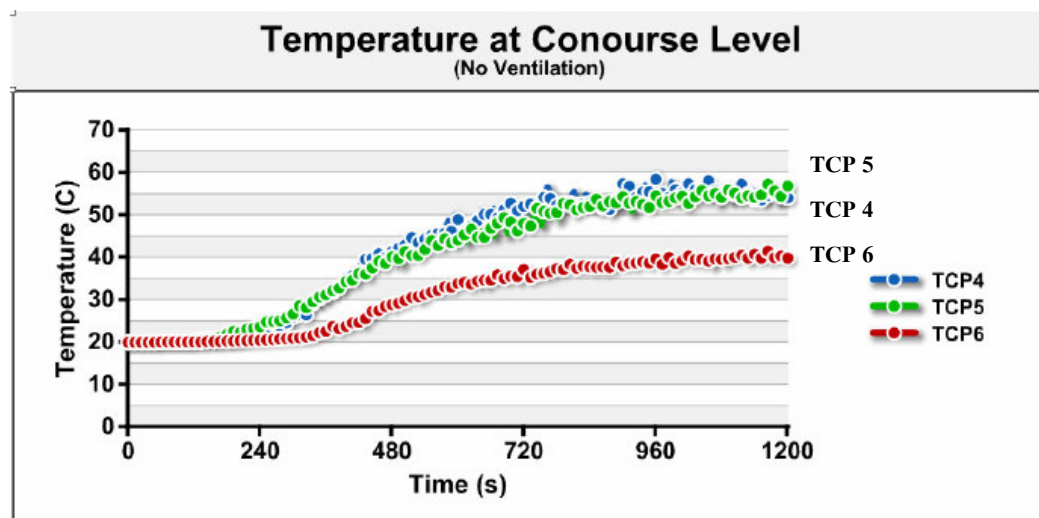
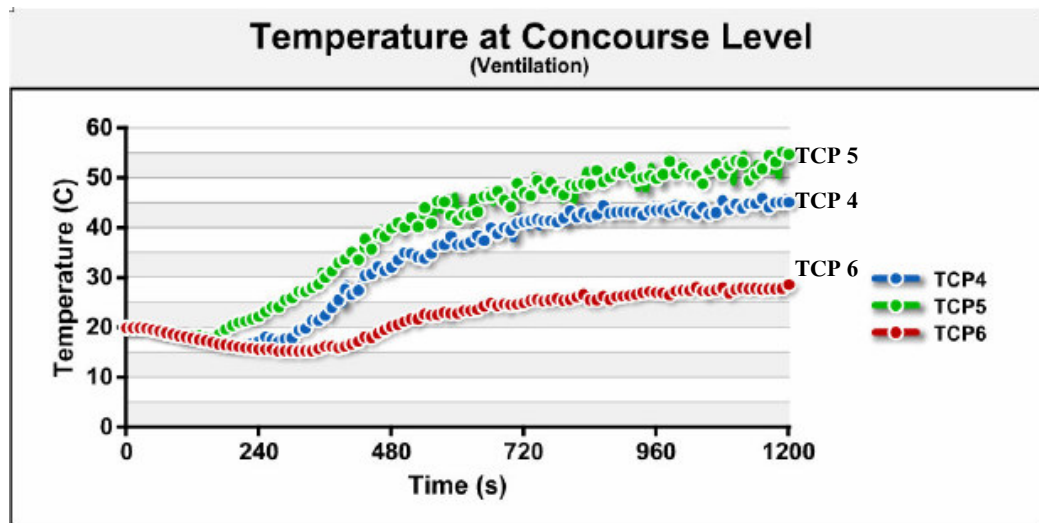
ที่ตำแหน่งที่ 8 ทางออกฝั่งซ้าย (ทางออก 1 และ 3) กรณีที่มีระบบระบายควัน มีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 38 องศาเซลเซียส สำหรับกรณีที่ไม่มีระบบระบายควัน มีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 48 องศาเซลเซียส

2.1 แสดงอุณหภูมิชั้นที่ 1 (ชั้นชานชาลา) กรณีที่มีระบบระบายควันและไม่มีระบบระบายควัน



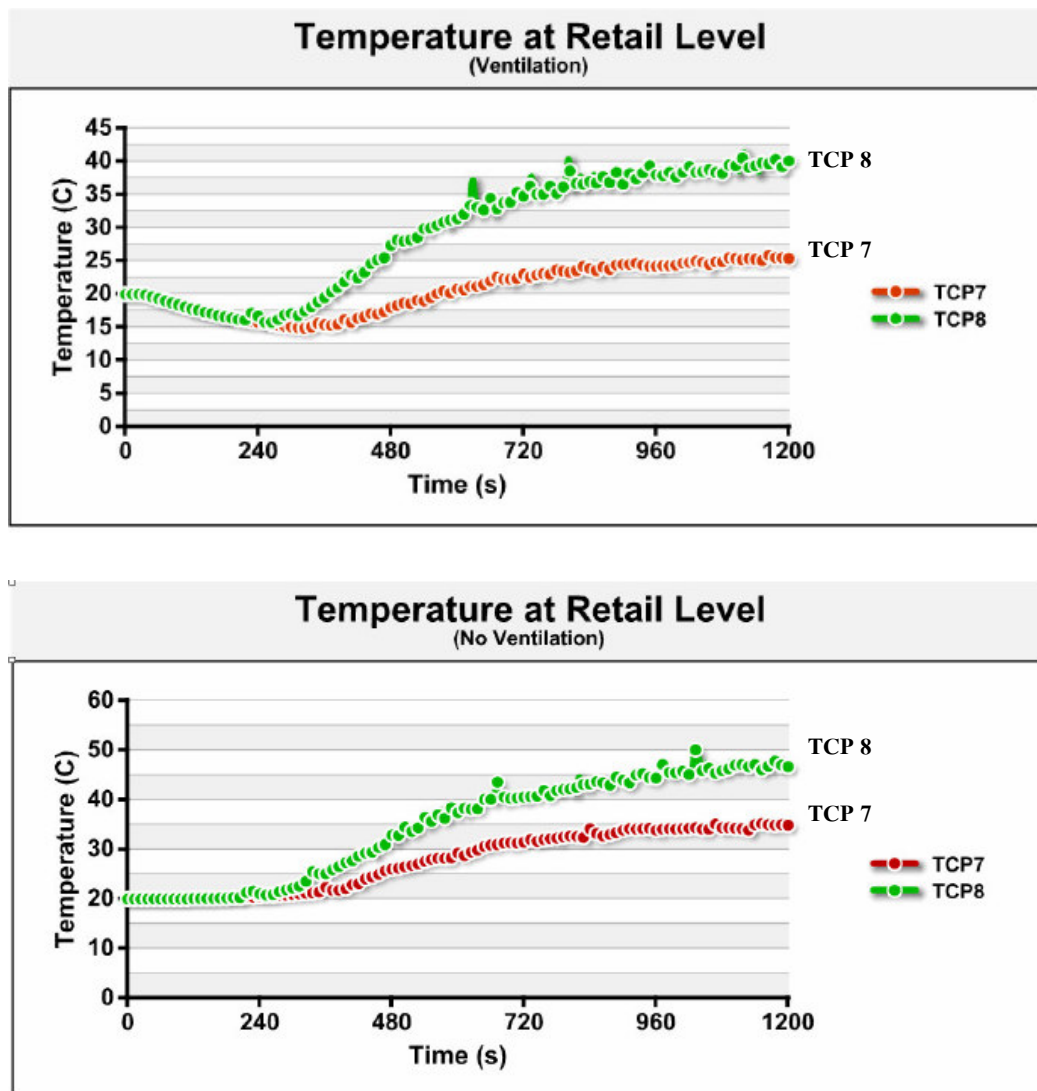
ภาพที่ 66 กราฟแสดงอุณหภูมิบริเวณชั้นชานชาลา

2.2 แสดงอุณหภูมิชั้นที่ 2 (ชั้นขายบัตรโดยสาร) กรณีมีระบบระบายความร้อนและ ไม่มีระบบระบายความร้อน



ภาพที่ 67 กราฟแสดงอุณหภูมิบริเวณชั้นขายบัตรโดยสาร

2.3 แสดงอุณหภูมิชั้นที่ 3 (ชั้นร้านค้า) กรณีมีระบบระบายควันและไม่มีระบบระบายควัน



ภาพที่ 68 กราฟแสดงอุณหภูมิบริเวณชั้นร้านค้า

ตารางที่ 24 สรุปผลอุณหภูมิที่ตำแหน่งที่ 1 - 8

	ผลอุณหภูมิที่ตำแหน่งที่ 1 - 8 (°C)							
	ชั้นชานชาลา			ชั้นขายบัตรโดยสาร			ชั้นร้านค้า	
	1	2	3	4	5	6	7	8
กรณีมีระบบระบายควัน	70	35	40	45	50	28	24	40
กรณีไม่มีระบบระบายควัน	125	38	40	55	55	40	34	45

3. ผลปริมาณก๊าซออกซิเจน กรณีมีระบบระบายควันและไม่มีระบบระบายควัน

ภาพที่ 69 ถึง 71 แสดงปริมาณก๊าซออกซิเจน ภายในสถานี โดยกำหนดความสูงของอุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณก๊าซออกซิเจนที่ความสูง 1.8 เมตร ในแต่ละชั้น ดังแสดงในภาพที่ 29 ถึง 31 โดยประมวลผลภายใน 1200 วินาที ได้ผลดังต่อไปนี้

ที่บริเวณชั้นที่ 1 (ชั้นชานชาลา)

ที่ตำแหน่งที่ 1 ใกล้กองเพลิง กรณีที่มีระบบระบายควัน มีปริมาณก๊าซออกซิเจนเฉลี่ย 16 % สำหรับกรณีที่ไม่มีระบบระบายควัน มีปริมาณก๊าซออกซิเจนเฉลี่ย 16.5 %

ที่ตำแหน่งที่ 2 และ 3 ของทั้งสองกรณีมีปริมาณก๊าซออกซิเจนเฉลี่ยที่เวลา 1200 วินาทีเฉลี่ยเท่ากับ 19.7 %

ที่บริเวณชั้นที่ 2 (ชั้นขายบัตรโดยสาร)

ที่ตำแหน่งที่ 4 และ 5 ของทั้งสองกรณีมีปริมาณก๊าซออกซิเจนเฉลี่ยที่เวลา 1200 วินาทีเฉลี่ยเท่ากับ 19.3 %

ที่ตำแหน่งที่ 6 ฝั่งขวาของสถานี ของทั้งสองกรณีมีปริมาณก๊าซออกซิเจนเฉลี่ยที่เวลา 1200 วินาที เฉลี่ยเท่ากับ 19.7 %

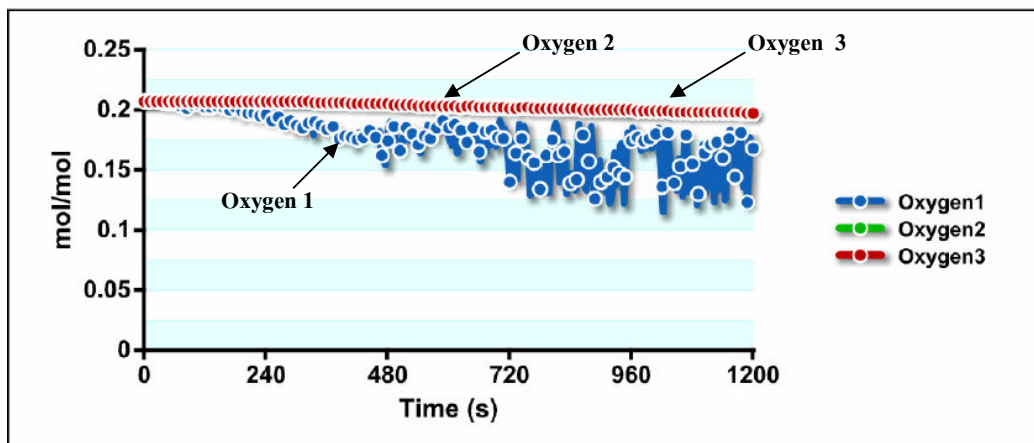
ที่บริเวณชั้นที่ 3 (ชั้นร้านค้า)

ที่ตำแหน่งที่ 7 ทางออกฝั่งขวา (ทางออก 2 และ 4) ที่เวลา 1200 วินาที ของทั้งสองกรณีวัด ปริมาณก๊าซออกซิเจนเฉลี่ยได้เท่ากับ 19.7 %

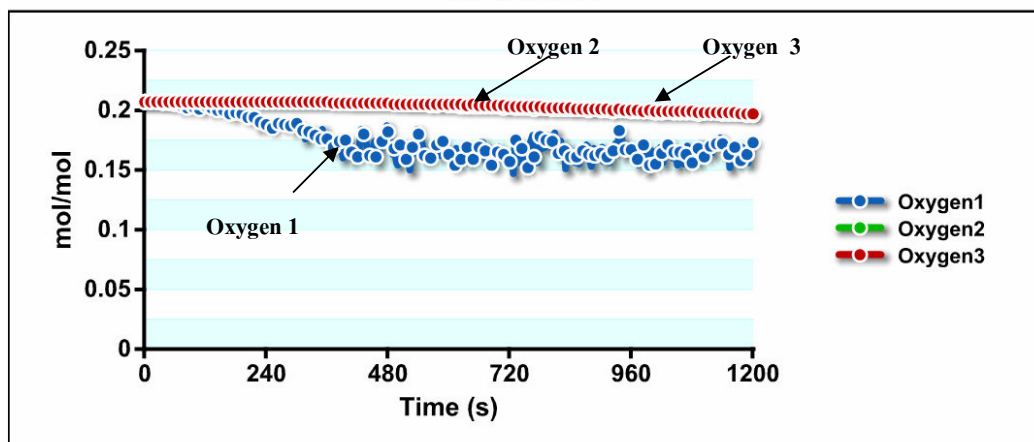
ที่ตำแหน่งที่ 8 ทางออกฝั่งซ้าย (ทางออก 1 และ 3) ที่เวลา 1200 วินาที ของทั้งสองกรณีวัด ปริมาณก๊าซออกซิเจนเฉลี่ยได้เท่ากับ 19.4 %

3.1 แสดงปริมาณออกซิเจนชั้นที่ 1 (ชั้นชานชาลา) กรณีมีระบบระบายควันและไม่มีระบบ ระบายควัน

Oxygen at Platform Level (Ventilation)



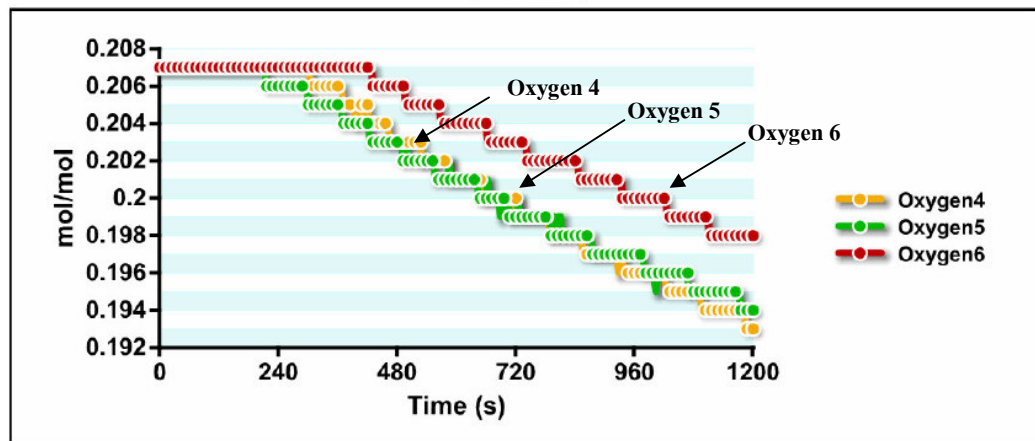
Oxygen at Platform Level (No Ventilation)



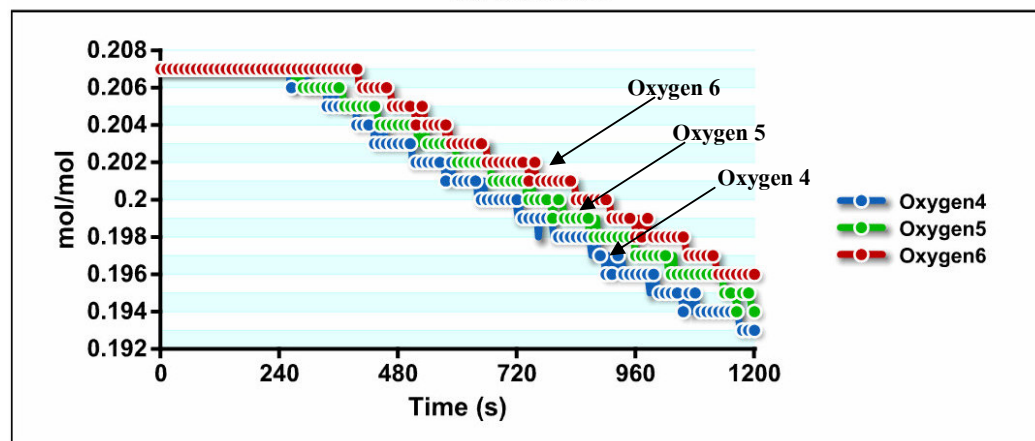
ภาพที่ 69 กราฟแสดงปริมาณก๊าซออกซิเจนบริเวณชั้นชานชาลา

3.2 แสดงปริมาณออกซิเจนชั้นที่ 2 (ชั้นขายบัตรโดยสาร) กรณีมีระบบระบายควันและไม่มีระบบระบายควัน

Oxygen at Concourse Level
(Ventilation)

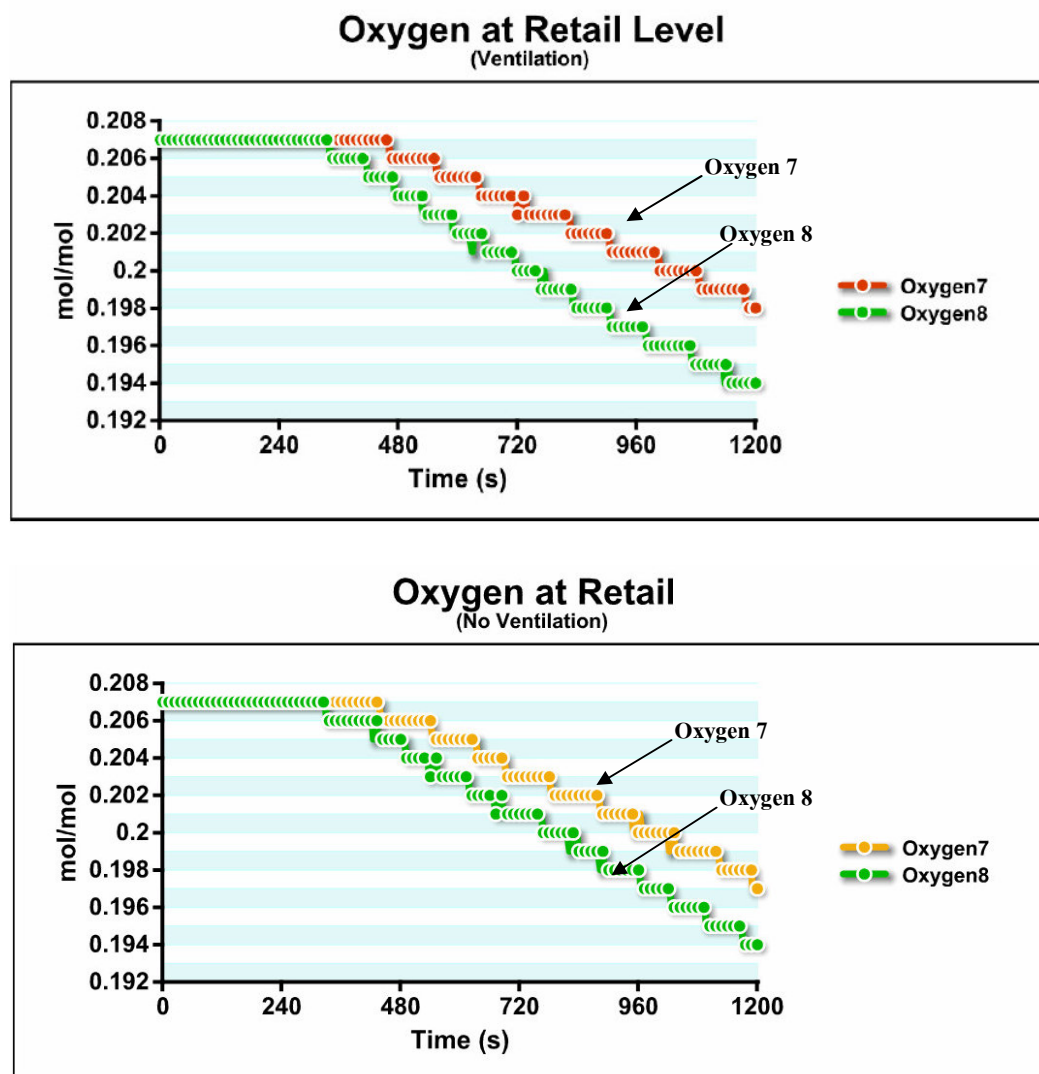


Oxygen at Concouse Level
(No Ventilation)



ภาพที่ 70 กราฟแสดงปริมาณก๊าซออกซิเจนบริเวณชั้นขายบัตรโดยสาร

3.3 แสดงปริมาณออกซิเจนชั้นที่ 3 (ชั้นร้านค้า) กรณีมีระบบระบายควันและไม่มีระบบระบายควัน



ภาพที่ 71 กราฟแสดงปริมาณก๊าซออกซิเจนบริเวณชั้นร้านค้า

ตารางที่ 25 สรุปผลปริมาณก๊าซออกซิเจนที่ตำแหน่งที่ 1 – 8 ที่เวลา 1200 วินาที

	ผลปริมาณก๊าซออกซิเจนตำแหน่งที่ 1 - 8 (%)							
	ชั้นชานชาลา			ชั้นขายบัตรโดยสาร			ชั้นร้านค้า	
	1	2	3	4	5	6	7	8
กรณีมีระบบระบายควัน	16	19.7	19.7	19.3	19.3	19.7	19.7	19.7
กรณีไม่มีระบบระบายควัน	16.5	19.7	19.7	19.3	19.3	19.7	19.7	19.7

4. ผลปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) กรณีที่มีระบบระบายควันและไม่มีระบบระบายควัน

ภาพที่ 72 ถึง 74 แสดงปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ภายในสถานี โดยกำหนดความสูงของอุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ที่ความสูง 1.8 เมตร ในแต่ละชั้นดังแสดงในภาพที่ 29 ถึง 31 โดยประมวลผลภายใน 1200 วินาที ได้ผลดังต่อไปนี้

ที่บริเวณชั้นที่ 1 (ชั้นชานชาลา)

ที่ตำแหน่งที่ 1 ใกล้กองเพลิง กรณีที่มีระบบระบายควัน มีปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์เฉลี่ยเท่ากับ 400 ppm สำหรับกรณีที่ไม่มีระบบระบายควัน มีก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์เฉลี่ยเท่ากับ 900 ppm

ที่ตำแหน่งที่ 2 และ 3 ของทั้งสองกรณีมีก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ เฉลี่ยที่เวลา 1200 วินาที เฉลี่ยเท่ากับ 140 ppm

ที่บริเวณชั้นที่ 2 (ชั้นขายบัตรโดยสาร)

ที่ตำแหน่งที่ 4 ของทั้งสองกรณีมีปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ เฉลี่ยที่เวลา 1200 วินาที เฉลี่ยเท่ากับ 200 ppm

ที่ตำแหน่งที่ 5 ของทั้งสองกรณีมีปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ เฉลี่ยที่เวลา 1200 วินาที เฉลี่ยเท่ากับ 180 ppm

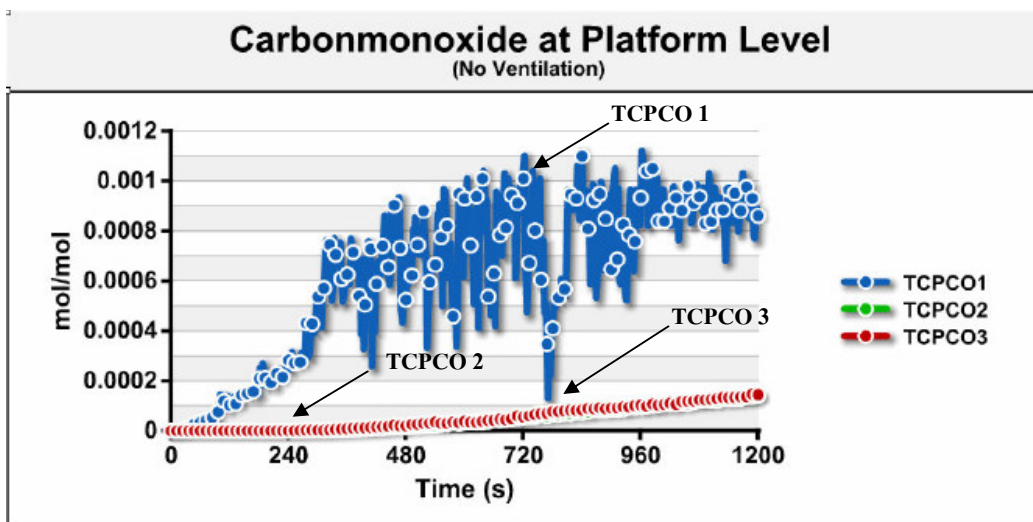
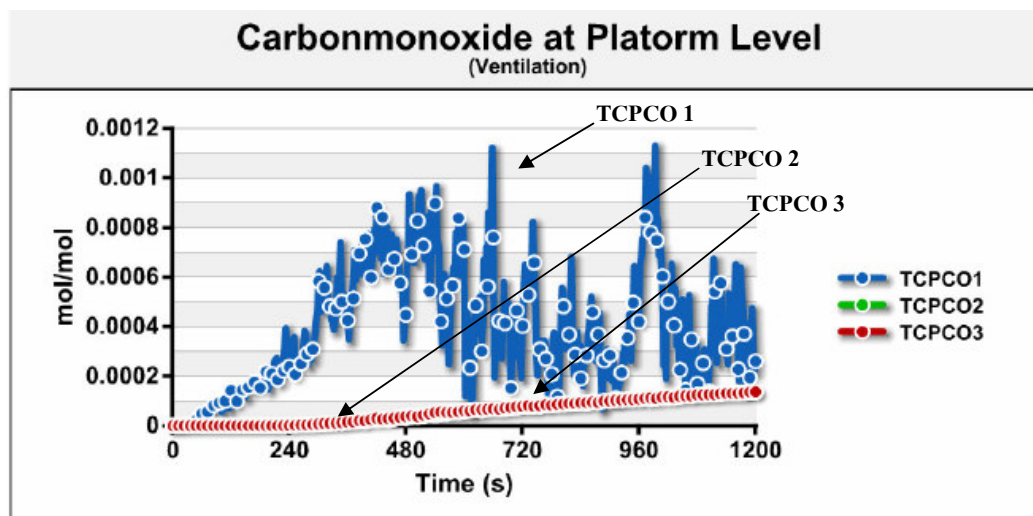
ที่ตำแหน่งที่ 6 ฝั่งขวาของสถานี ของทั้งสองกรณีมีปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ เฉลี่ยที่เวลา 1200 วินาที เฉลี่ยเท่ากับ 140 ppm และ 160 ppm ตามลำดับ

ที่บริเวณชั้นที่ 3 (ชั้นร้านค้า)

ที่ตำแหน่งที่ 7 ทางออกฝั่งขวา (ทางออก 2 และ 4) ที่เวลา 1200 วินาที ของทั้งสองกรณีวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ เฉลี่ยได้เท่ากับ 140 ppm

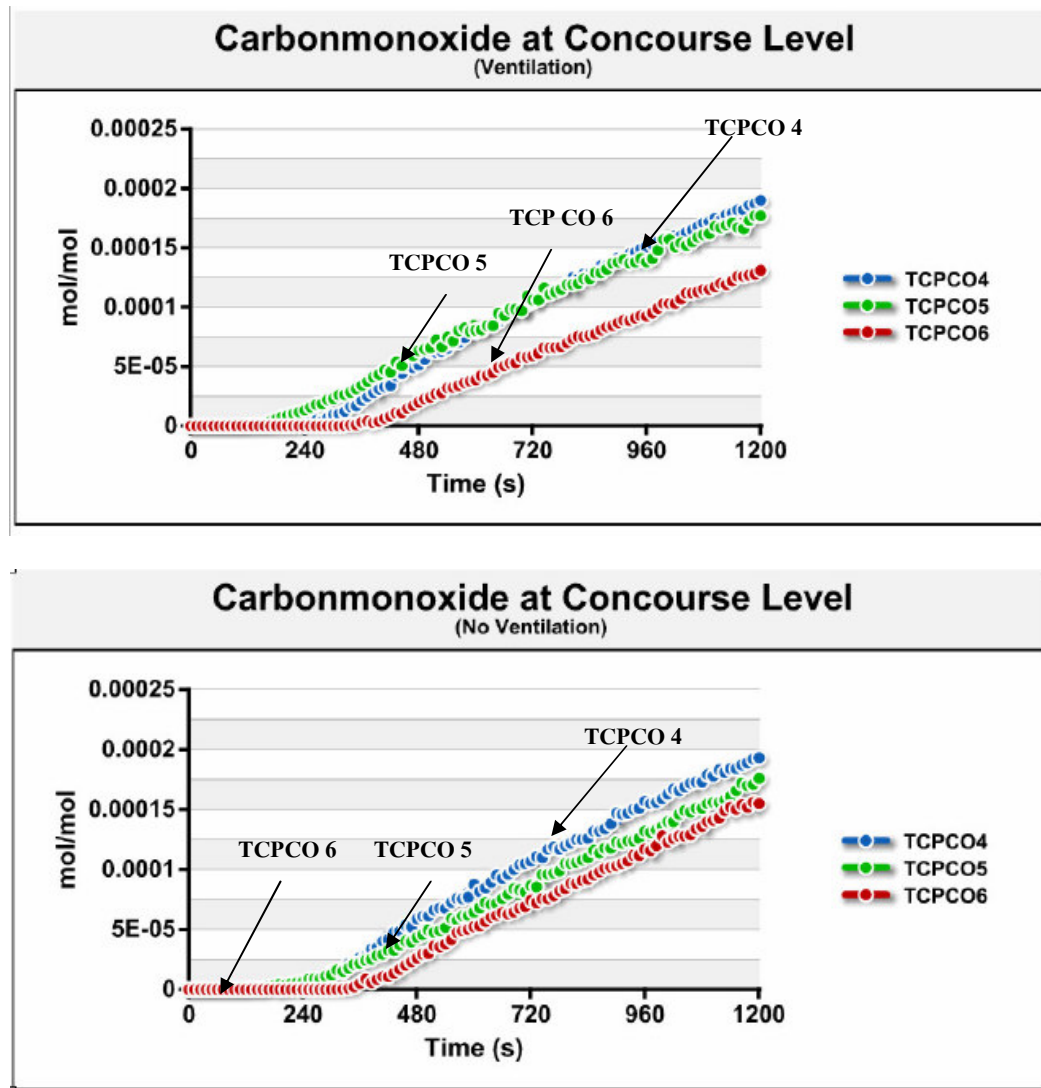
ที่ตำแหน่งที่ 8 ทางออกฝั่งซ้าย (ทางออก 1 และ 3) ที่เวลา 1200 วินาที ของทั้งสองกรณีวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ เฉลี่ยได้เท่ากับ 180 ppm

4.1 แสดงปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์ที่ชั้นที่ 1 (ชั้นชานชาลา) กรณีที่มีระบบระบายควันและไม่มีระบบระบายควัน



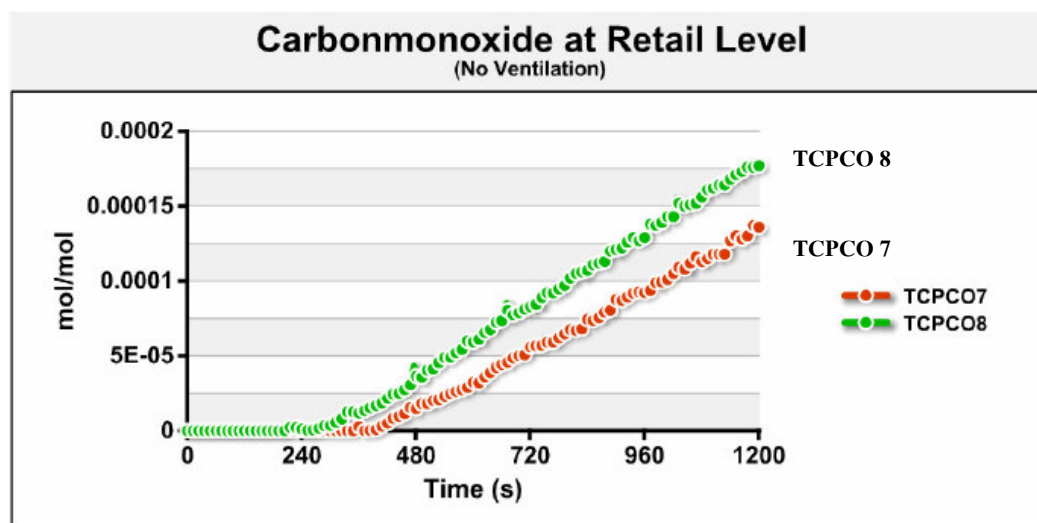
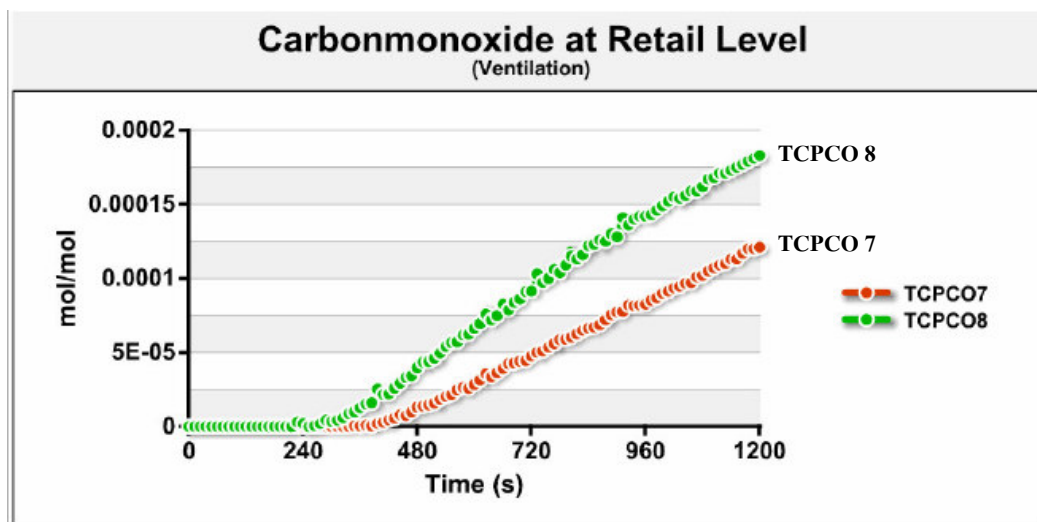
ภาพที่ 72 กราฟแสดงปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์บริเวณชั้นชานชาลา

4.2 แสดงปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ชั้นที่ 2 (ชั้นขายบัตรโดยสาร) กรณีที่มีระบบระบายควันและไม่มีระบบระบายควัน



ภาพที่ 73 กราฟแสดงปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์บริเวณชั้นขายบัตรโดยสาร

4.3 แสดงปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ชั้นที่ 3 (ชั้นร้านค้า) กรณีที่มีระบบระบายควันและไม่มีระบบระบายควัน

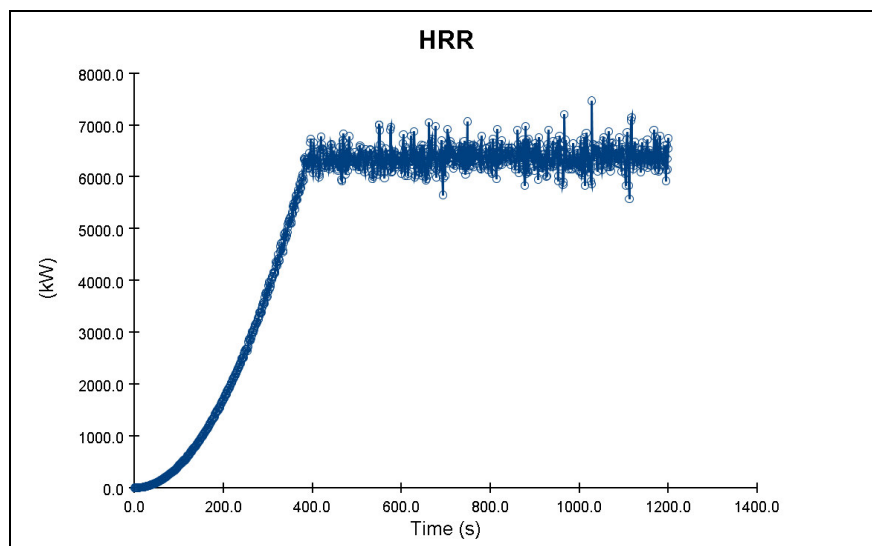


ภาพที่ 74 กราฟแสดงปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์บริเวณชั้นร้านค้า

ตารางที่ 26 สรุปผลปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ที่ตำแหน่งที่ 1-8

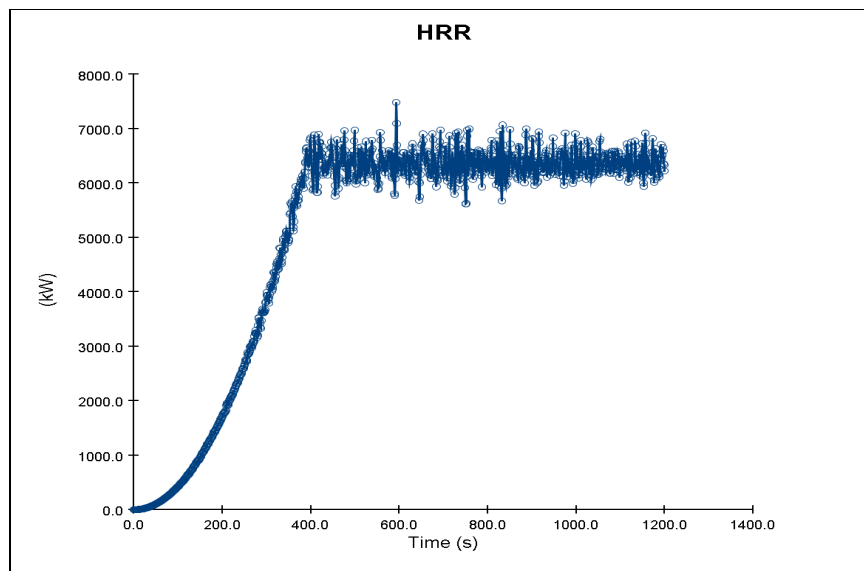
	ผลปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ตำแหน่งที่ 1 - 8 (ppm)							
	ชั้นชานชาลา			ชั้นขายบัตรโดยสาร			ชั้นร้านค้า	
	1	2	3	4	5	6	7	8
กรณีมีระบบระบายควัน	400	140	140	200	180	140	140	180
กรณีไม่มีระบบระบายควัน	900	140	140	200	180	160	140	180

5. ผลอัตราการปลดปล่อยพลังงาน



(ก) กรณีมีระบบระบายควัน

ภาพที่ 75 แสดงอัตราการปลดปล่อยพลังงาน



(ข) กรณีไม่มีระบบระบายควัน

ภาพที่ 75 (ต่อ)

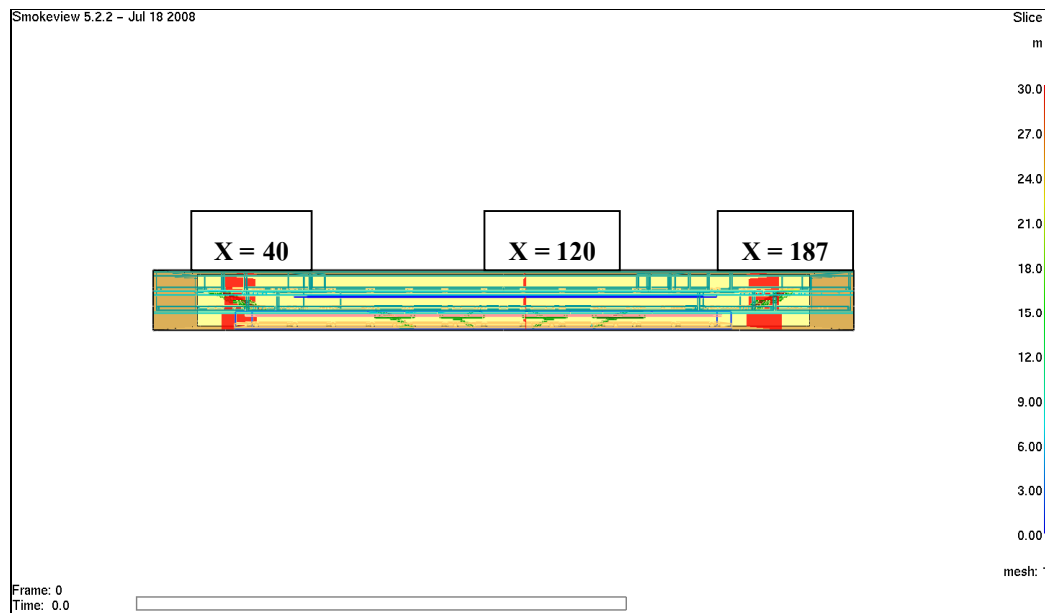
6. ผลค่าความสามารถในการมองเห็น (Visibility)

ภาพที่ 76 และ 80 แสดงค่าความสามารถในการมองเห็นที่ระนาบ $X=40$ (บริเวณบันไดและบันไดเลื่อนฝั่งทางออกที่ 1 และ 3) ทั้งกรณีมีระบบระบายควันและไม่มีระบบระบายควัน พบว่าที่ 180 วินาทีค่าความสามารถในการมองเห็นบริเวณบันไดและบันไดเลื่อนยังมีค่าความสามารถในการมองเห็นอยู่ที่ 30 เมตร เมื่อถึงเวลาที่ 360 วินาที ทั้งสองกรณีค่าความสามารถในการมองเห็นบริเวณบันไดและบันไดเลื่อนมีค่าลดลงอยู่ระหว่าง 0 – 5 เมตร แต่กรณีไม่มีระบบระบายควันค่าความสามารถในการมองเห็นลดลงเร็วกว่ามีระบบระบายควัน

ภาพที่ 78 และ 81 แสดงค่าความสามารถในการมองเห็นที่ระนาบ $X = 120$ (บริเวณกลางสถานี) ที่เวลา 180 วินาที ทั้งสองกรณีที่บริเวณชั้น 1 (ชั้นชานชาลา) ค่าสามารถสามารถในการมองเห็นยังคงเดิม และที่ความสูง 2 เมตร บริเวณชั้นที่ 2 (ชั้นขายบัตรโดยสาร)ค่าความสามารถในการมองเห็นยังคงเดิม ที่เวลา 240 วินาที บริเวณชั้น 1 (ชั้นชานชาลา) ค่าสามารถสามารถในการมองเห็นที่ 2.5 เมตร ของทั้งสองกรณียังคงเดิม แต่กรณีมีระบบระบายควันค่าความสามารถบริเวณเพดานเริ่มลดลงมีค่าเท่ากับ 21 เมตร ที่ บริเวณชั้น 2 (ชั้นชานชาลา) ที่ความสูง 2 เมตร กรณีมีระบบ

ระบายควันและไม่มีระบบระบายควัน ค่าความสามารถลดลงเท่ากับ 9 เมตรและ 24 เมตร ตามลำดับ ที่เวลา 360 วินาที บริเวณชั้นที่ 1 (ชั้นชานชาลา) กรณีมีระบบระบายควันที่ความสูง 2 เมตร ค่าความสามารถในการมองเห็นลดลงเท่ากับ 6 เมตร กรณีไม่มีระบบระบายควันที่ความสูง 2 เมตร ค่าความสามารถในการมองเห็นลดลงเท่ากับ 21 เมตร บริเวณชั้นที่ 2 (ชั้นขายบัตรโดยสาร) กรณีมีระบบระบายควันค่าความสามารถของทั้งชั้นมีค่าความสามารถในการมองเห็นเท่ากับ 0 - 5 เมตร สำหรับกรณีไม่มีระบบระบายควันที่ความสูง 2 เมตร ค่าความสามารถในการมองเห็นเท่ากับ 6 เมตร ตั้งแต่เวลา 400 วินาที กรณีมีระบบระบายควันบริเวณชั้นที่ 1 และ 2 (ชั้นชานชาลาและชั้นขายบัตรโดยสาร) ค่าความสามารถในการมองเห็นมีค่าเท่ากับ 0-5 เมตร กรณีไม่มีระบบระบายควัน ค่าความสามารถในการมองเห็นที่ชั้น 1 (ชั้นชานชาลา) มีค่าอยู่ระหว่าง 18-21 เมตร ส่วนชั้นที่ 2 (ชั้นขายบัตรโดยสาร) ค่าความสามารถในการมองเห็นมีค่าเท่ากับ 0 - 6 เมตร ตั้งแต่เวลา 480 วินาที ทั้งชั้นที่ 1 และ 2 (ชั้นชานชาลาและชั้นขายบัตรโดยสาร) ค่าความสามารถลดลงอยู่ที่ 0-6 เมตร

ภาพที่ 79 และ 82 แสดงค่าความสามารถในการมองเห็นที่ระนาบ $X = 187$ (บริเวณบันไดและบันไดเลื่อนฝั่งทางออกที่ 2 และ 4) กรณีมีระบบระบายควัน ที่ 360 วินาที ค่าความสามารถในการมองเห็นบริเวณบันไดและบันไดเลื่อน มีค่าเท่ากับ 21 เมตร กรณีไม่มีระบบระบายควัน ค่าความสามารถในการมองเห็นเท่ากับ 6 เมตร ตั้งแต่เวลา 400 วินาที ของทั้งสองกรณี ค่าความสามารถในการมองเห็นลดลงเท่ากับ 0-6 เมตร แต่กรณีไม่มีระบบระบายควัน ค่าความสามารถในการมองเห็นลดลงเร็วกว่ามีระบบระบายควัน



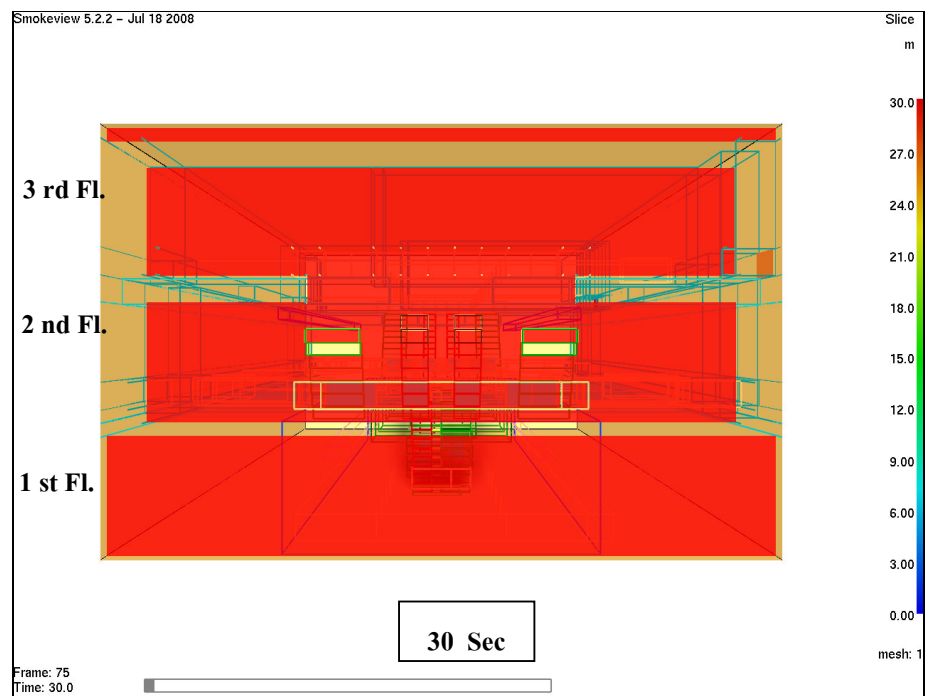
ภาพที่ 76 แสดงตำแหน่งระนาบที่ใช้วัดค่าความสามารถในการมองเห็น (Visibility)

โดย ตำแหน่งระนาบที่

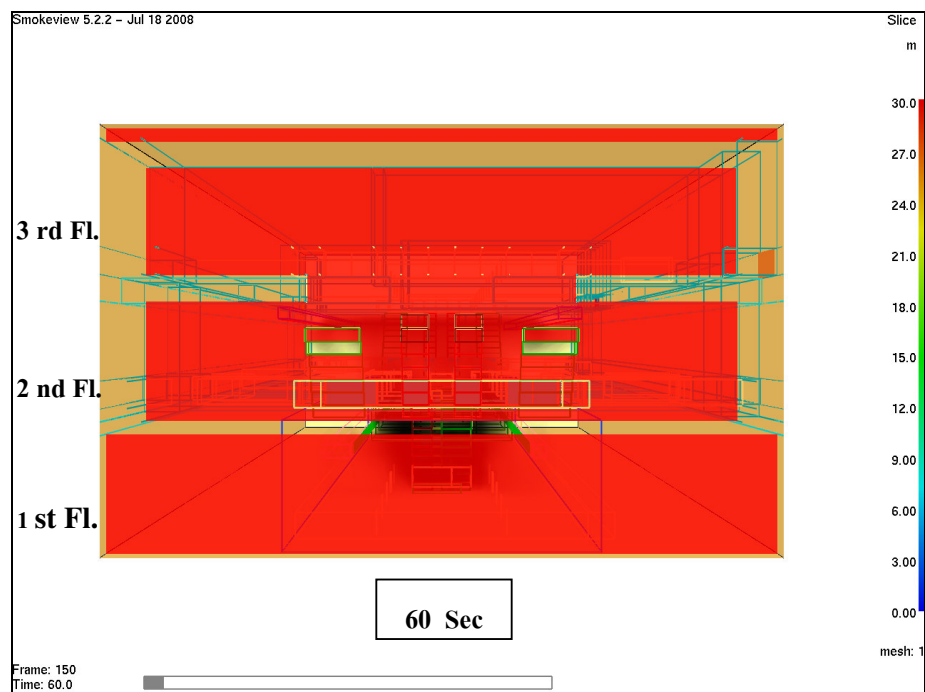
X = 40 เป็นตำแหน่งระนาบที่อยู่บริเวณบันไดและบันไดเลื่อนที่นำไปสู่ทางออกที่ 1 และ 3

X = 120 เป็นตำแหน่งระนาบที่อยู่บริเวณกลางสถานี

X = 187 เป็นตำแหน่งระนาบที่อยู่บริเวณบันไดและบันไดเลื่อนที่นำไปสู่ทางออกที่ 2 และ 4

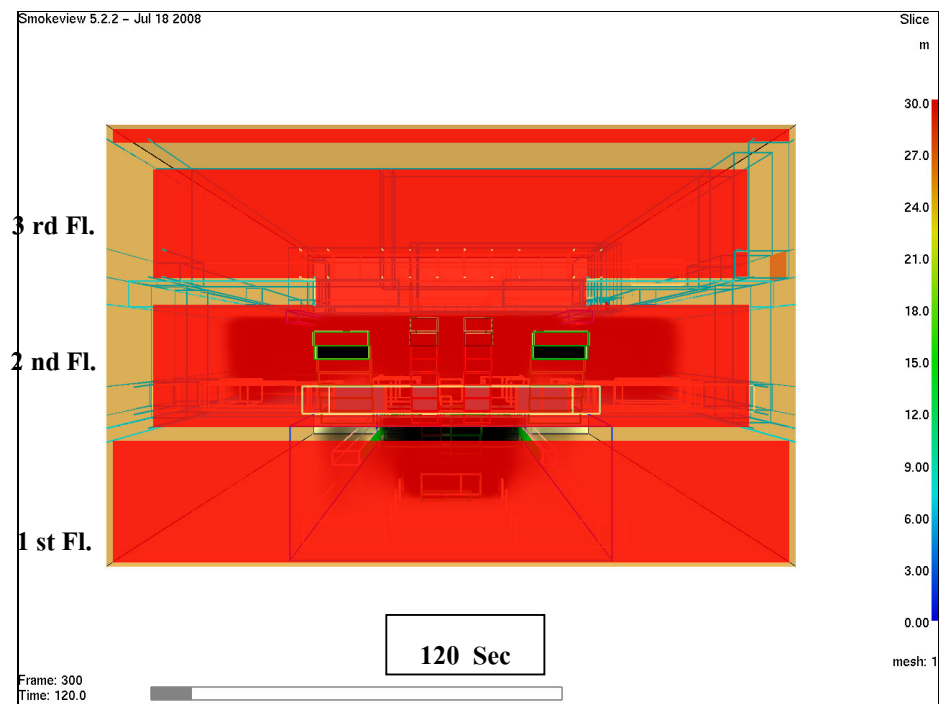


(ก)

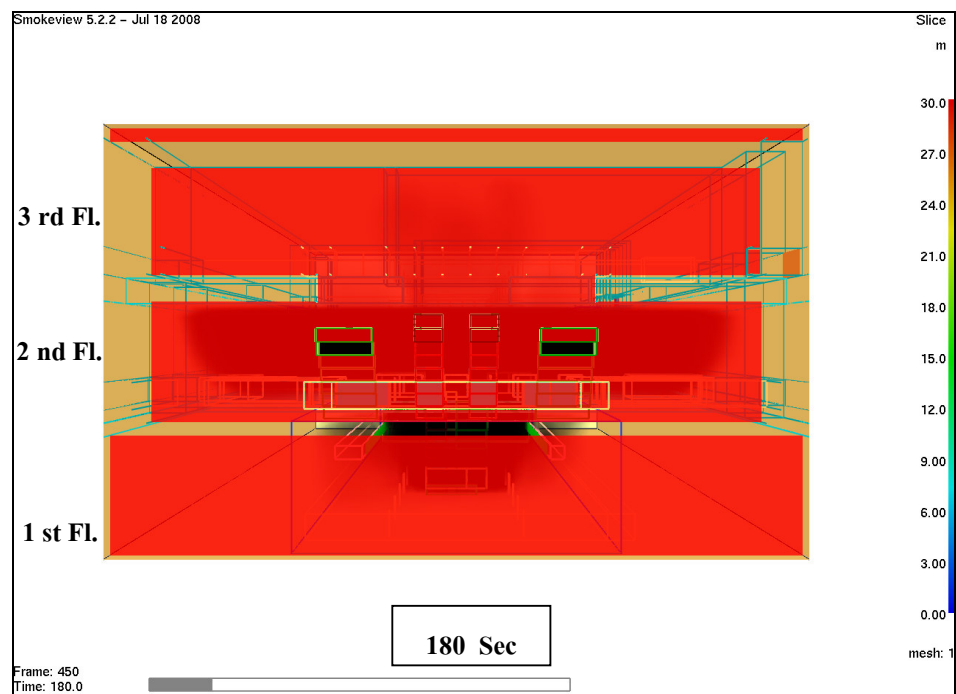


(ข)

ภาพที่ 77 แสดงค่าความสามารถในการมองเห็นที่ตำแหน่งระนาบ $X = 40$ กรณีมีระบบระบายควัน

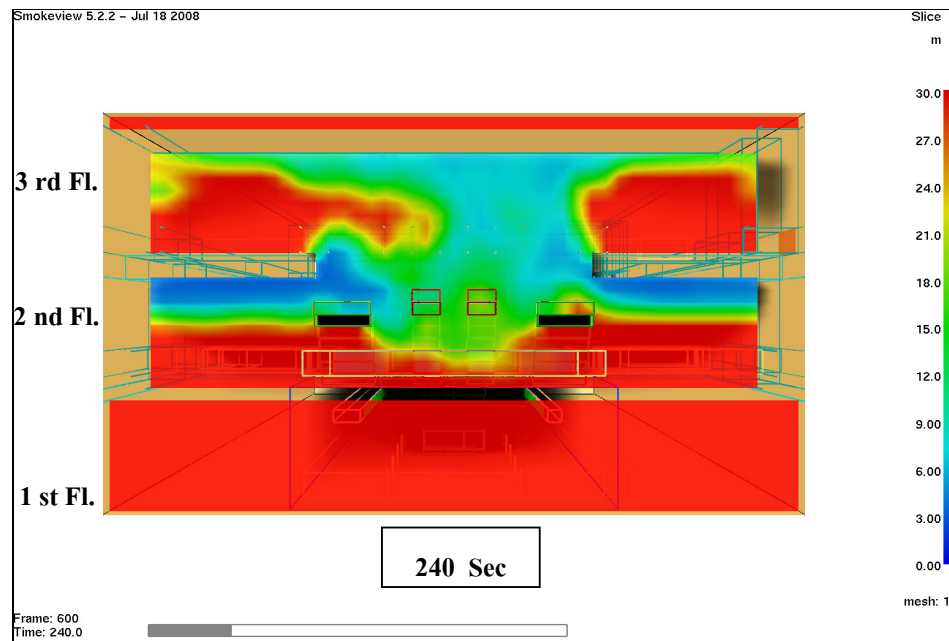


(ค)

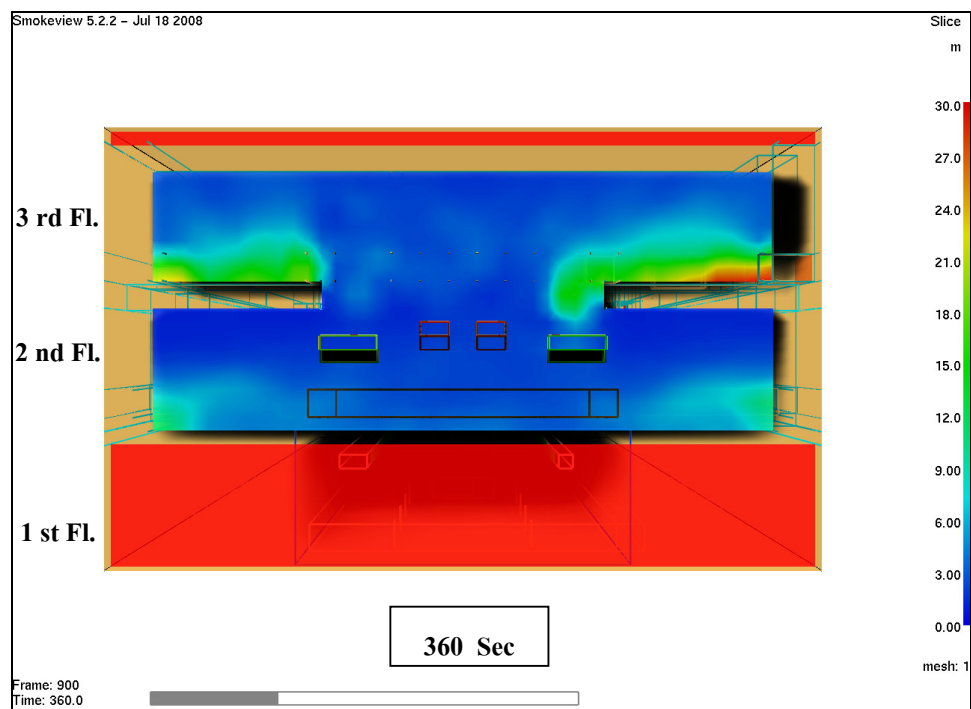


(ง)

ภาพที่ 77 (ต่อ)



(จ)

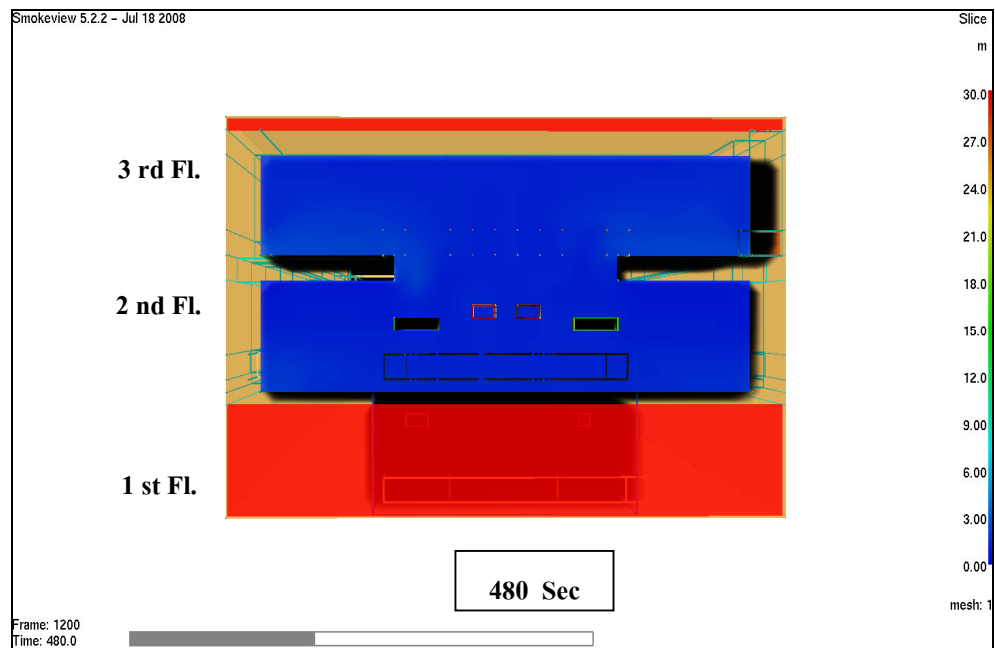


(ข)

ภาพที่ 77 (ต่อ)

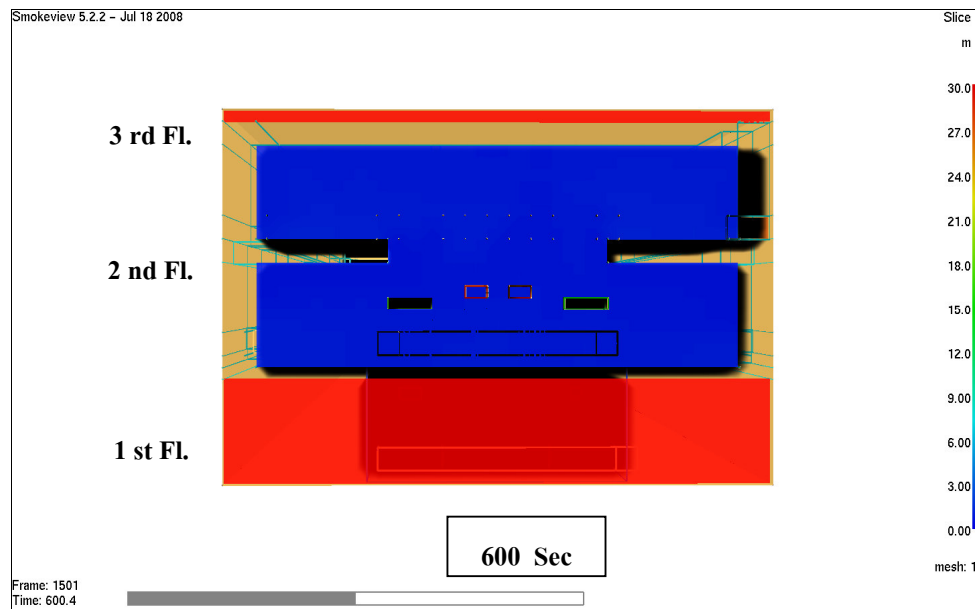


(ข)



(ค)

ภาพที่ 77 (ต่อ)

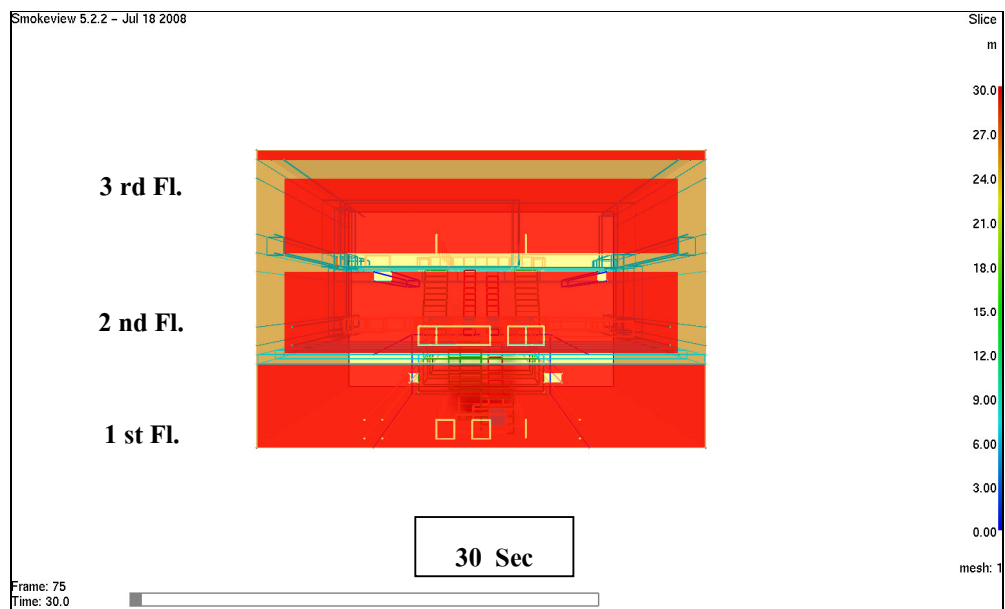


(ณ)

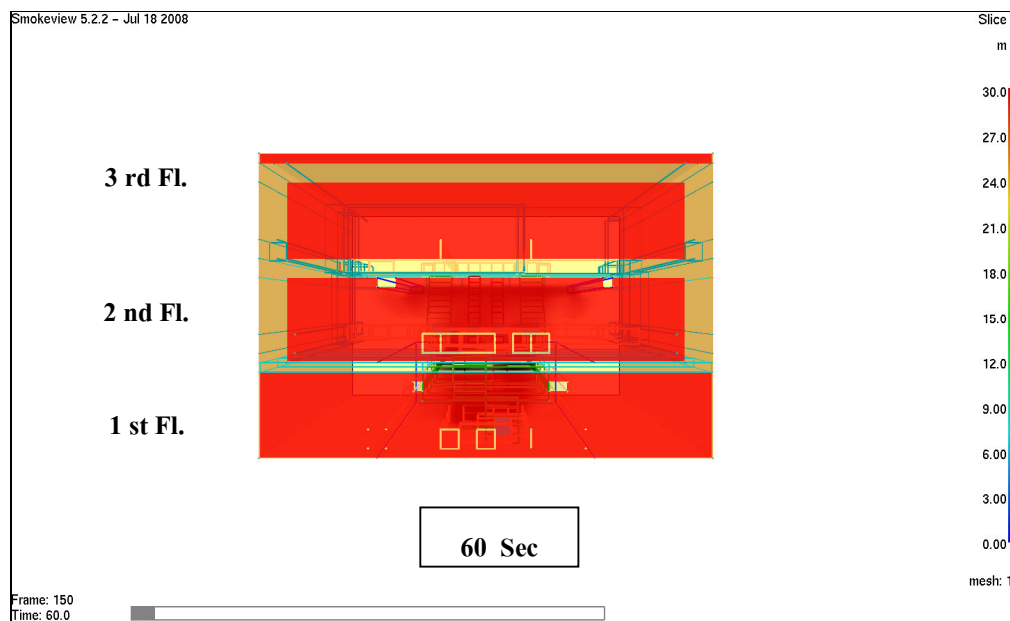


(ณ)

ภาพที่ 77 (ต่อ)

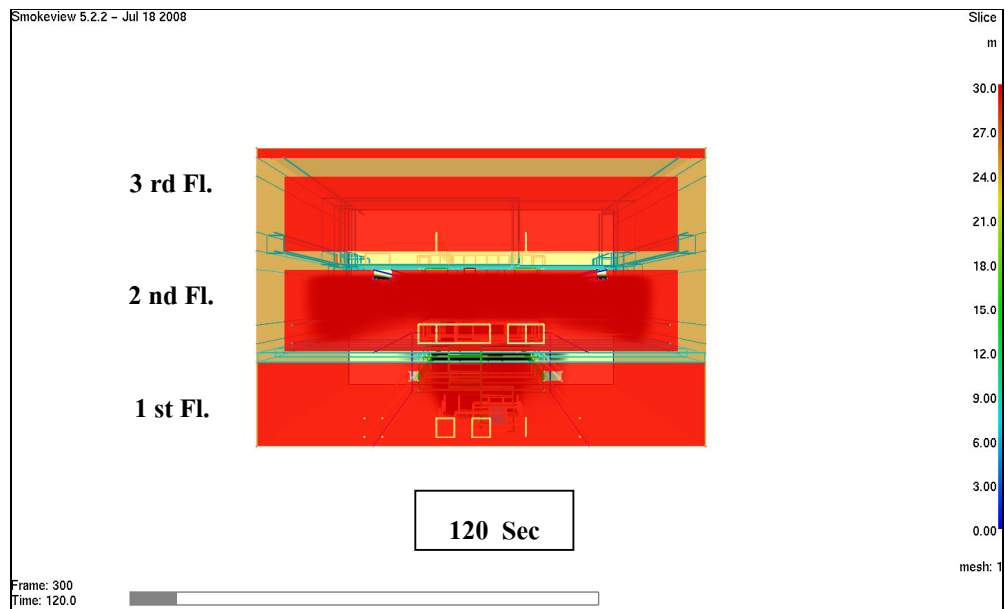


(ก)

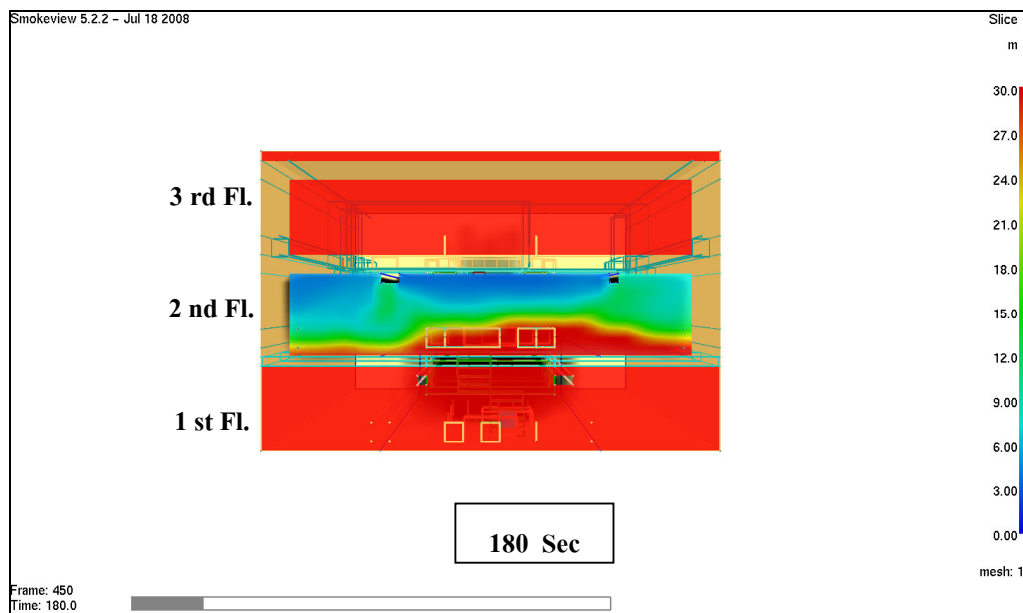


(ข)

ภาพที่ 78 แสดงค่าความสามารถในการมองเห็นที่ตำแหน่งระนาบ $X = 120$
กรณีมีระบบระบายควัน

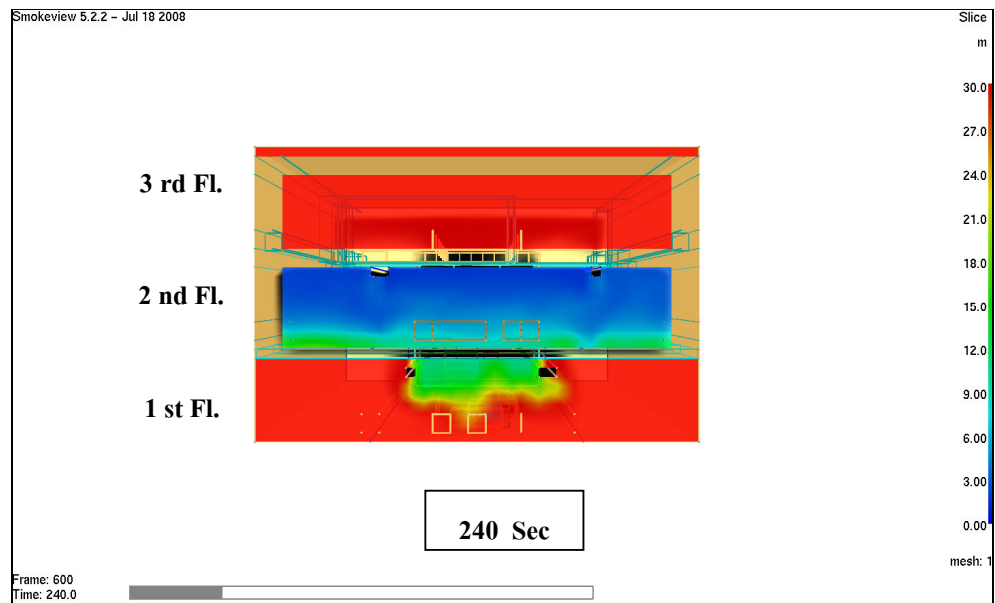


(ก)

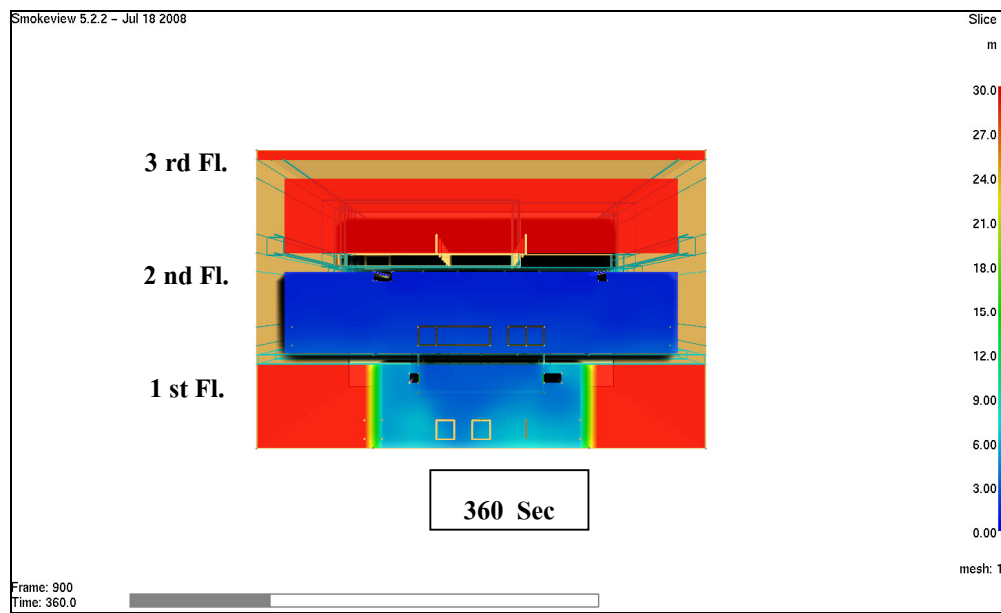


(ง)

ภาพที่ 78 (ต่อ)

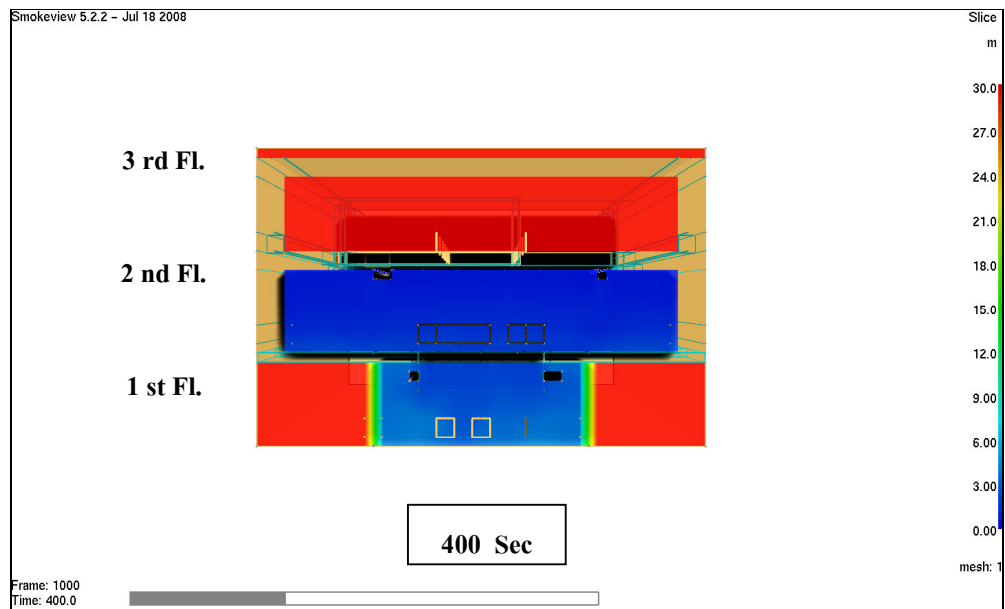


(จ)

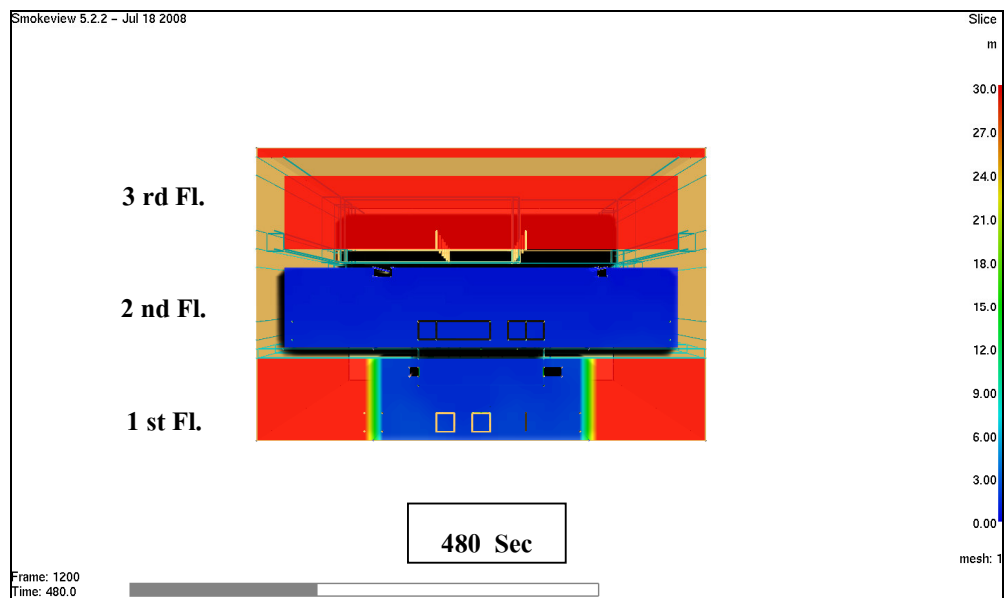


(ฉ)

ภาพที่ 78 (ต่อ)

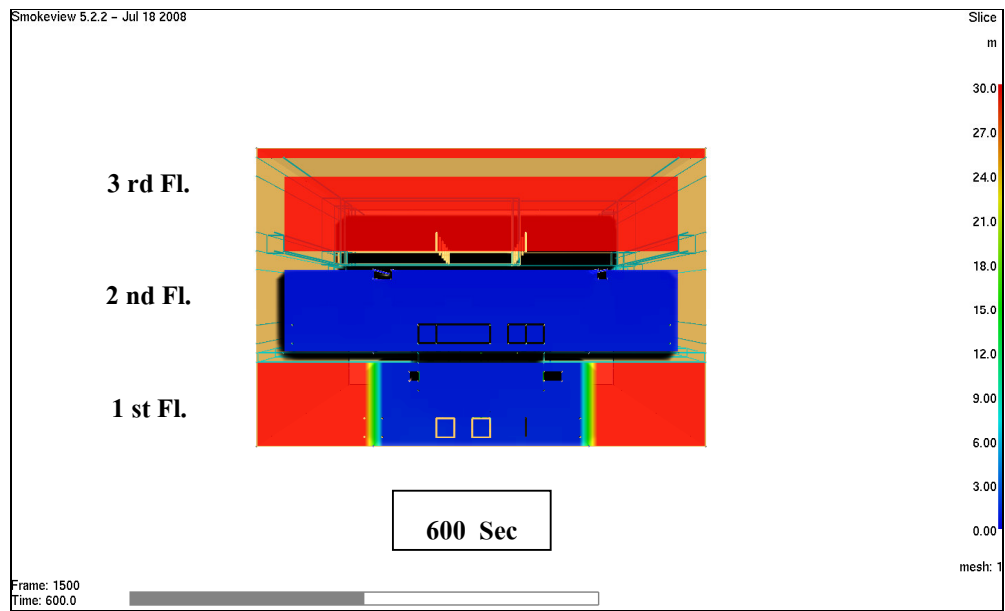


(๙)

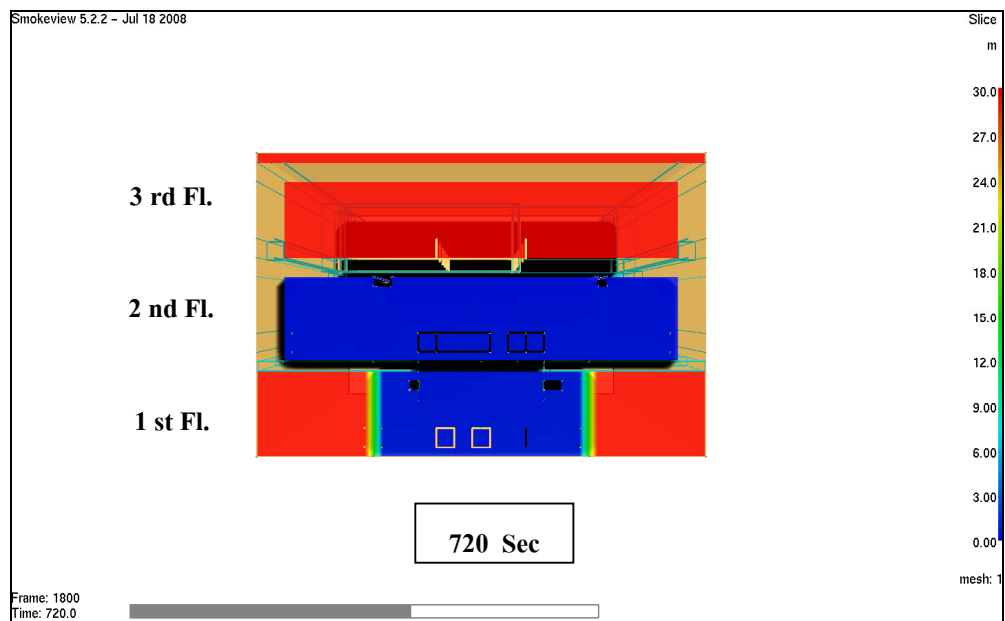


(๑๐)

ภาพที่ 78 (ต่อ)

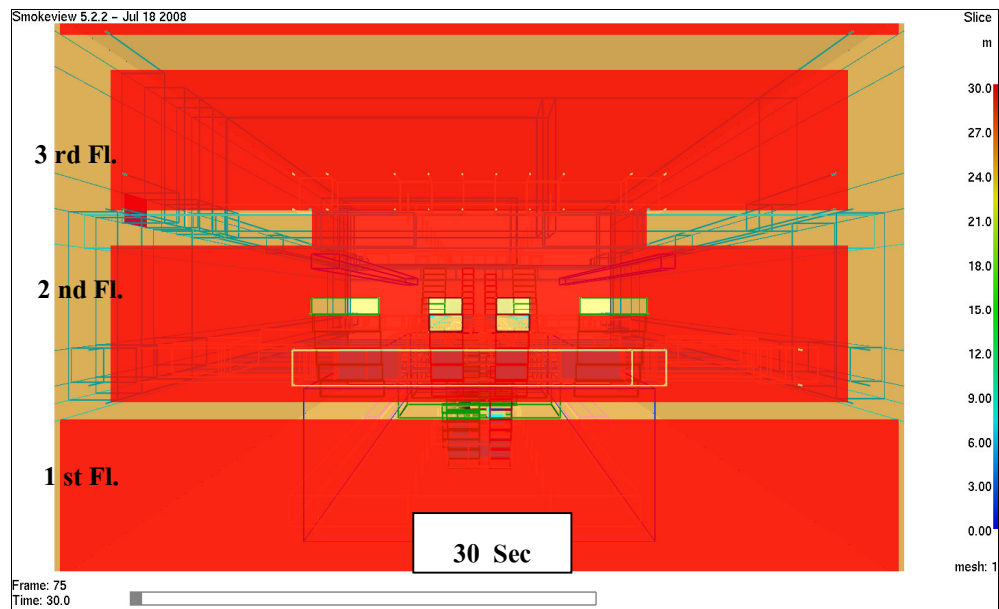


(ณ)

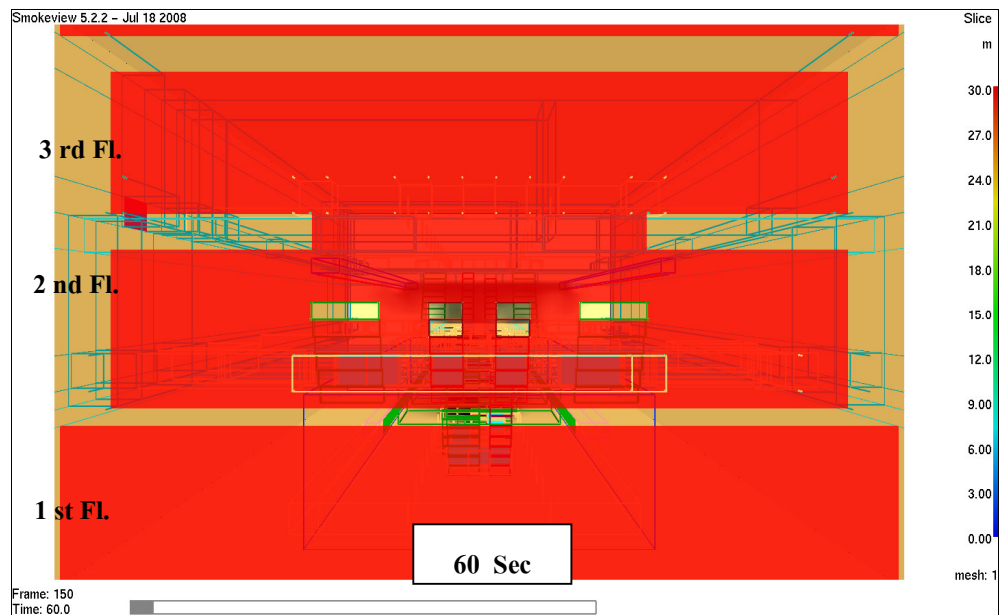


(ณ)

ภาพที่ 78 (ต่อ)



(ก)

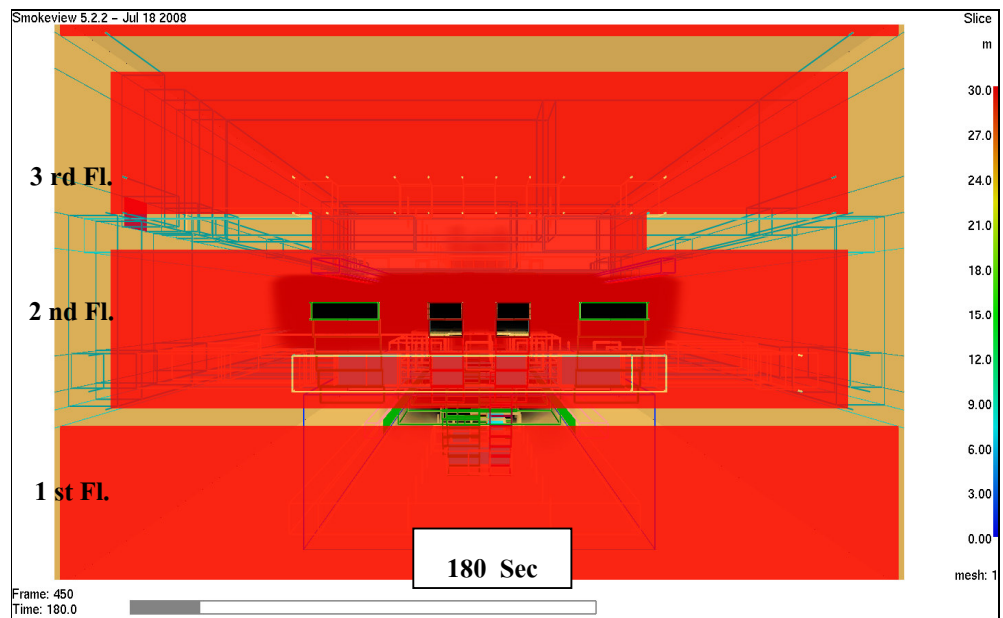


(ข)

ภาพที่ 79 แสดงค่าความสามารถในการมองเห็นที่ตำแหน่งระนาบ $X = 187$
กรณีมีระบบระบายควัน

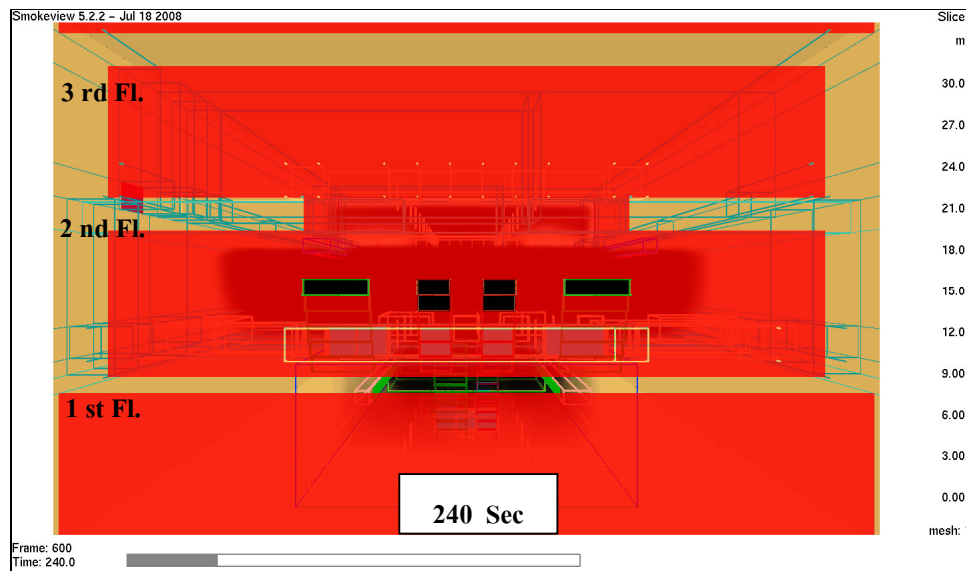


(ก)

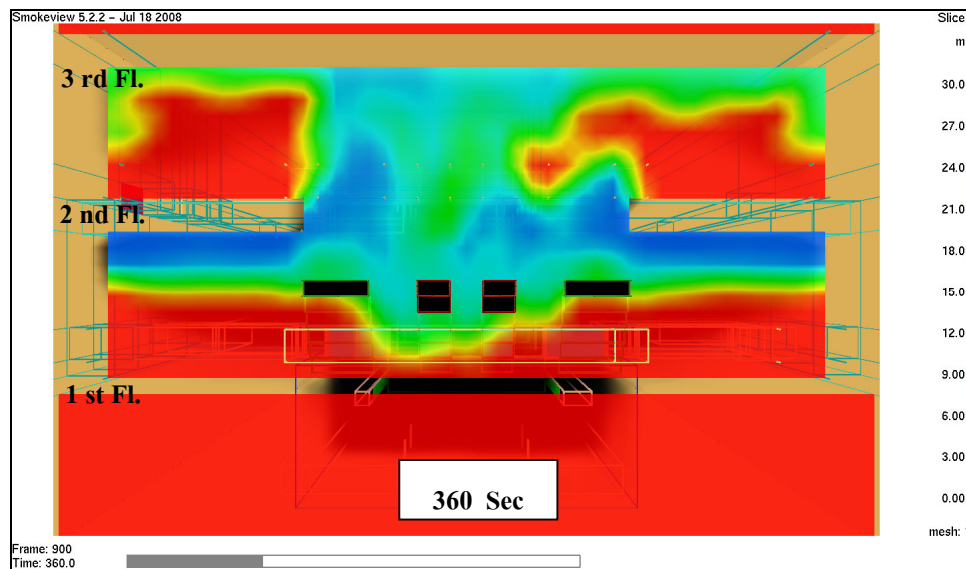


(ข)

ภาพที่ 79 (ต่อ)

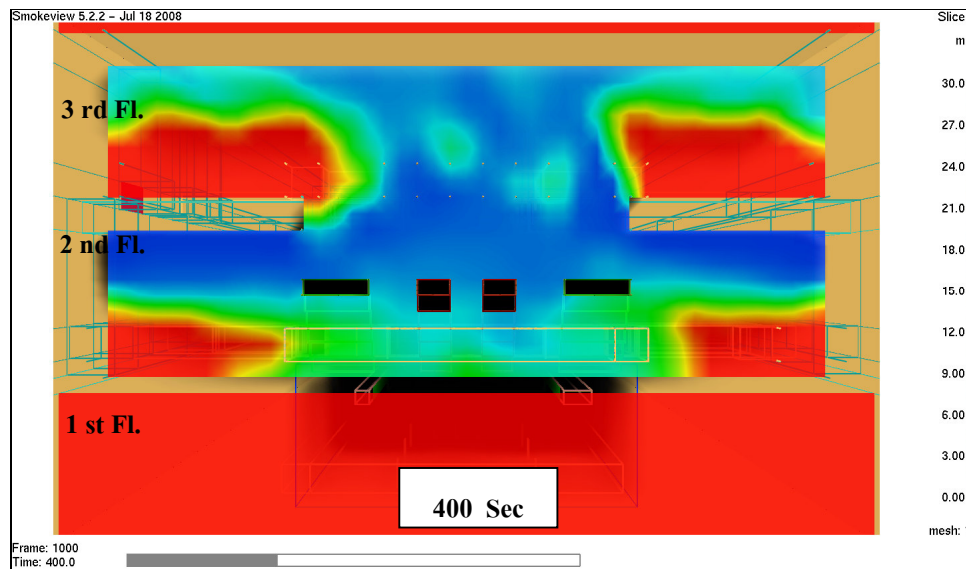


(จ)

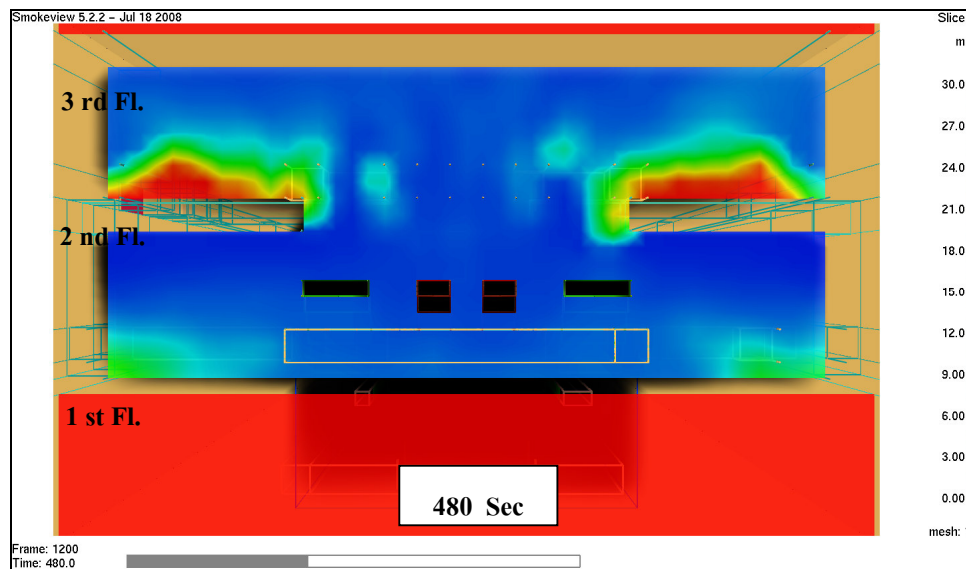


(ฉ)

ภาพที่ 79 (ต่อ)

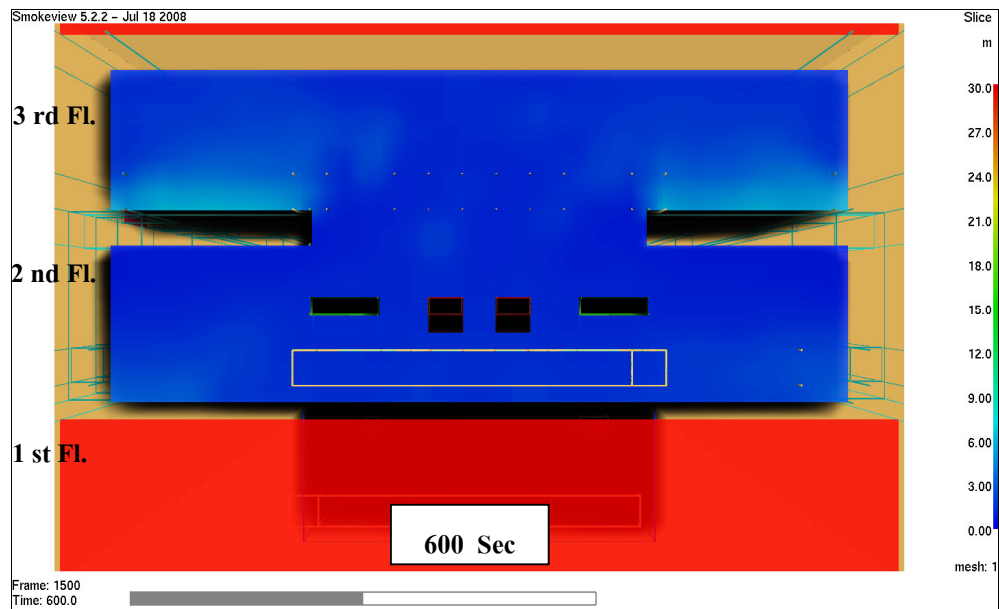


(ข)



(ค)

ภาพที่ 79 (ต่อ)

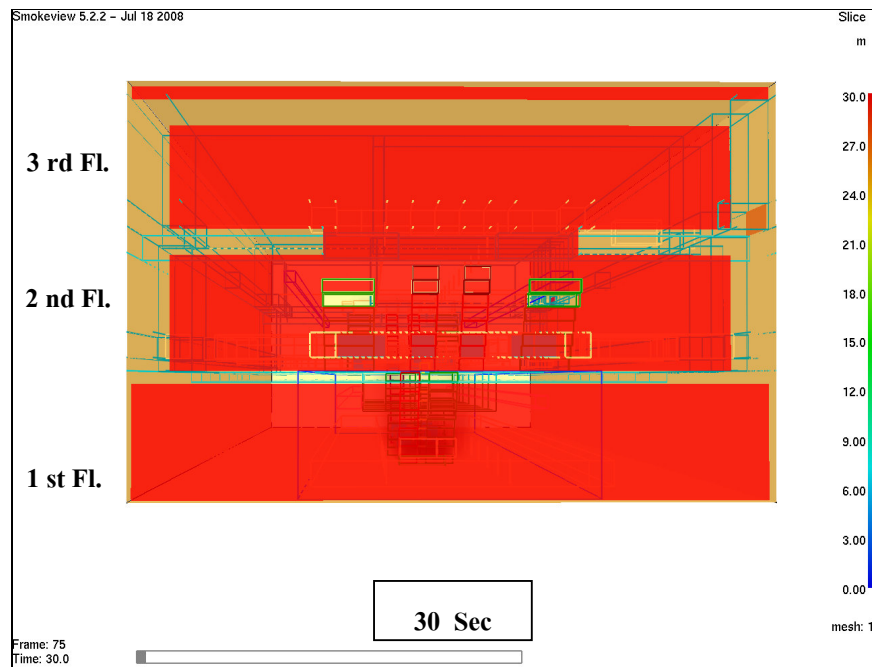


(ณ)

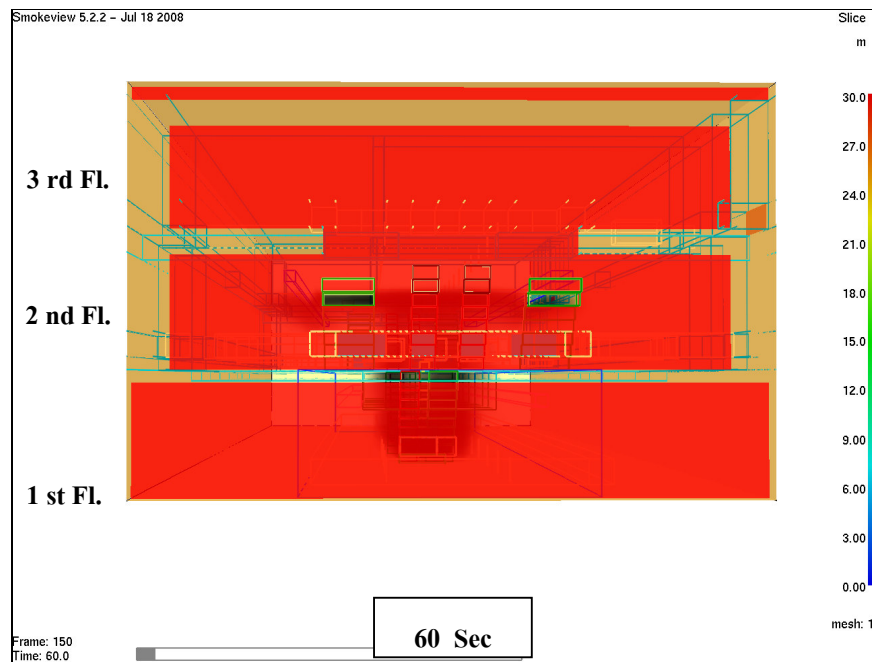


(ณ)

ภาพที่ 79 (ต่อ)

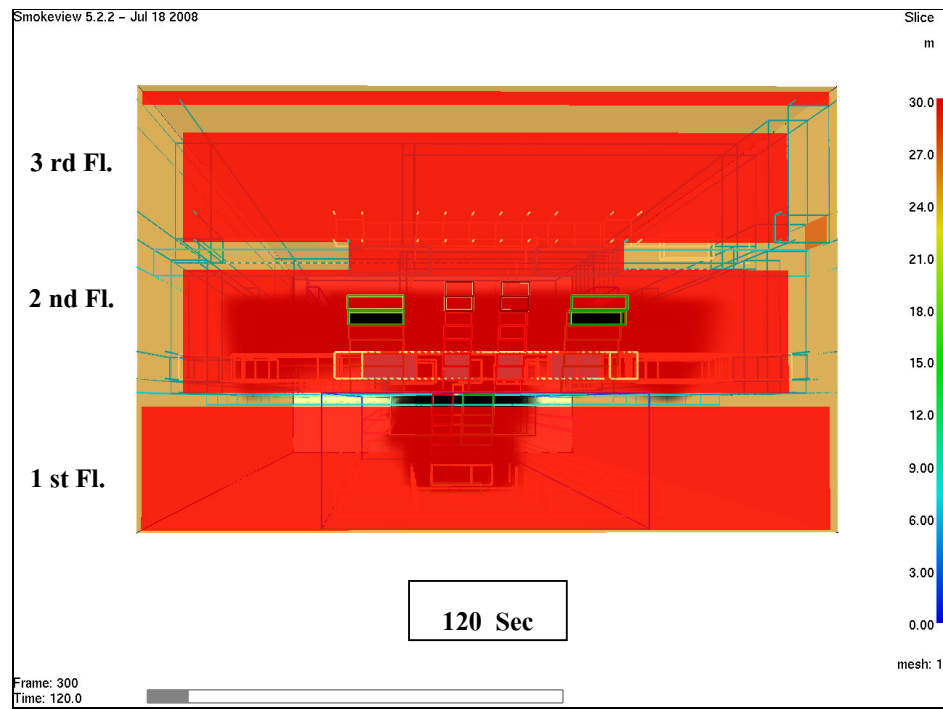


(ก)

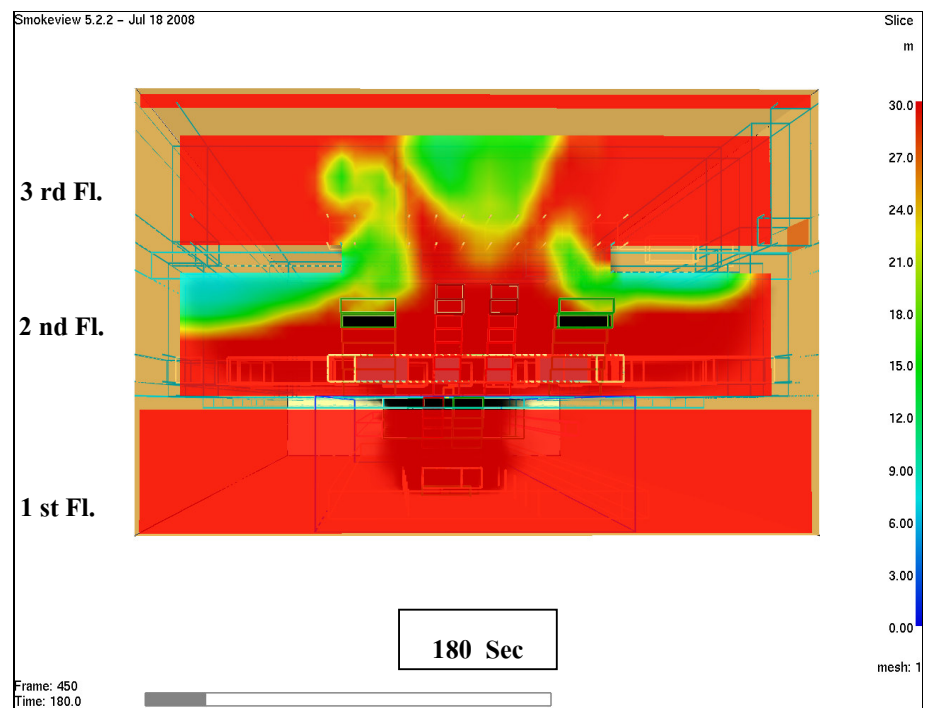


(ข)

ภาพที่ 80 แสดงค่าความสามารถในการมองเห็นที่ตำแหน่งระนาบ $X = 40$
กรณีไม่มีระบบระบายควัน

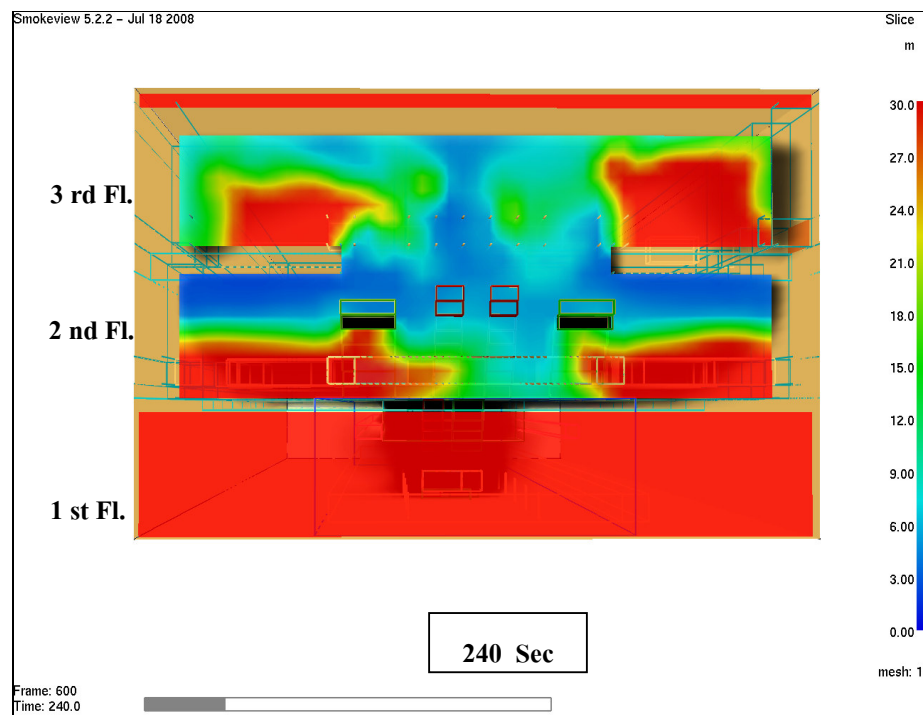


(ก)

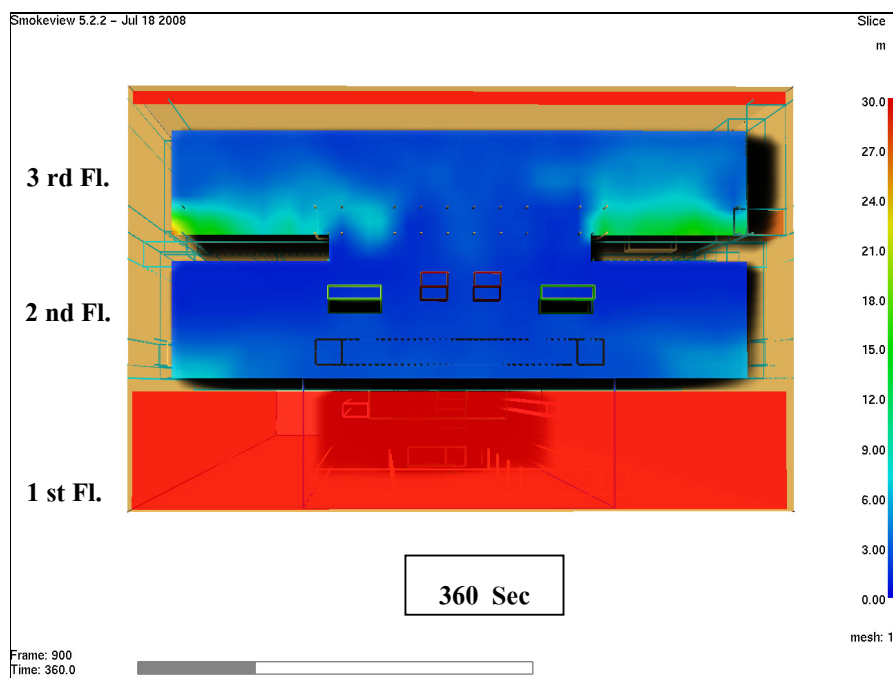


(ข)

ภาพที่ 80 (ต่อ)

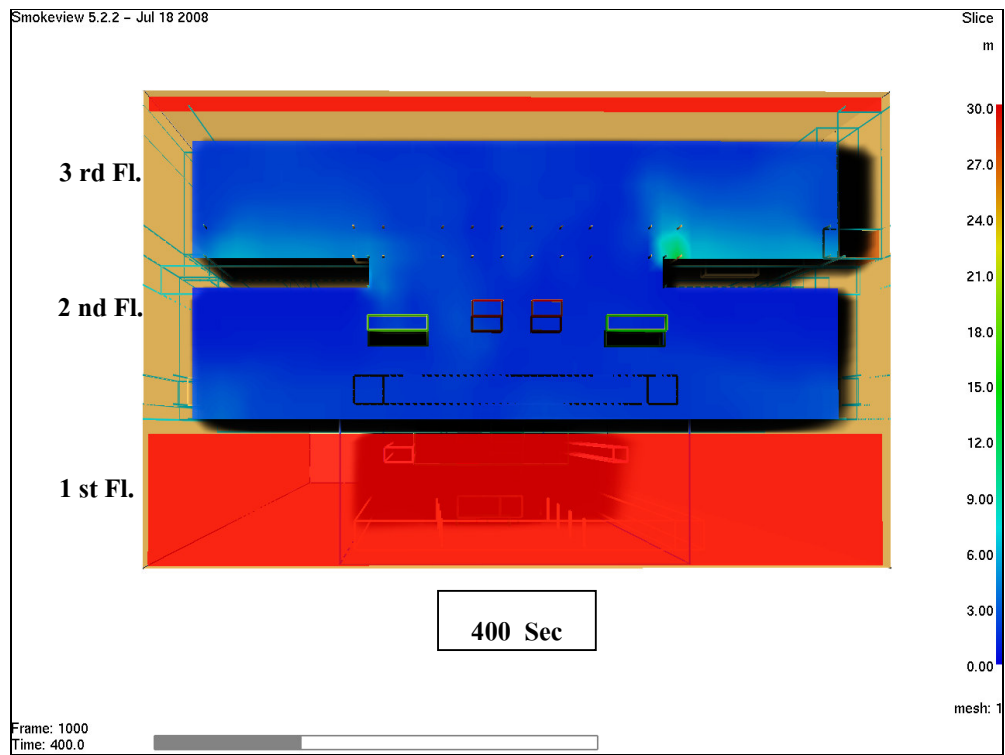


(จ)

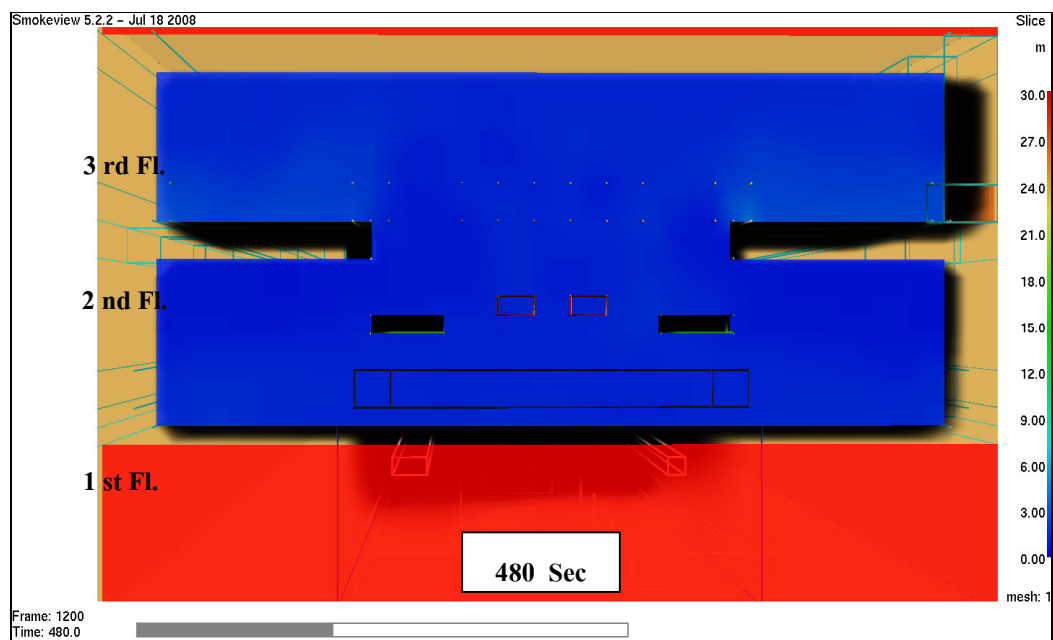


(ข)

ภาพที่ 80 (ต่อ)

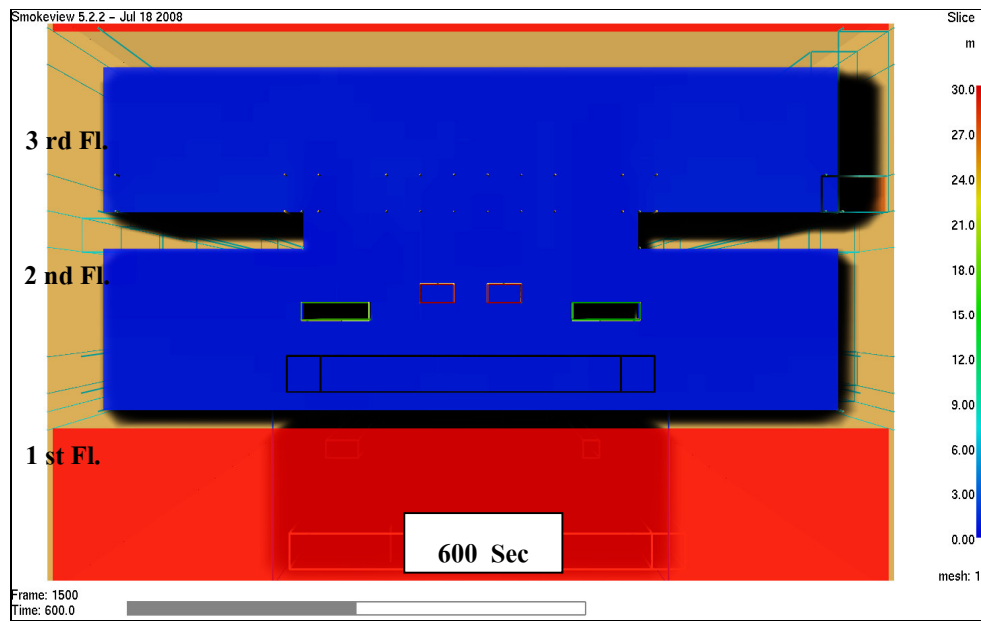


(ข)

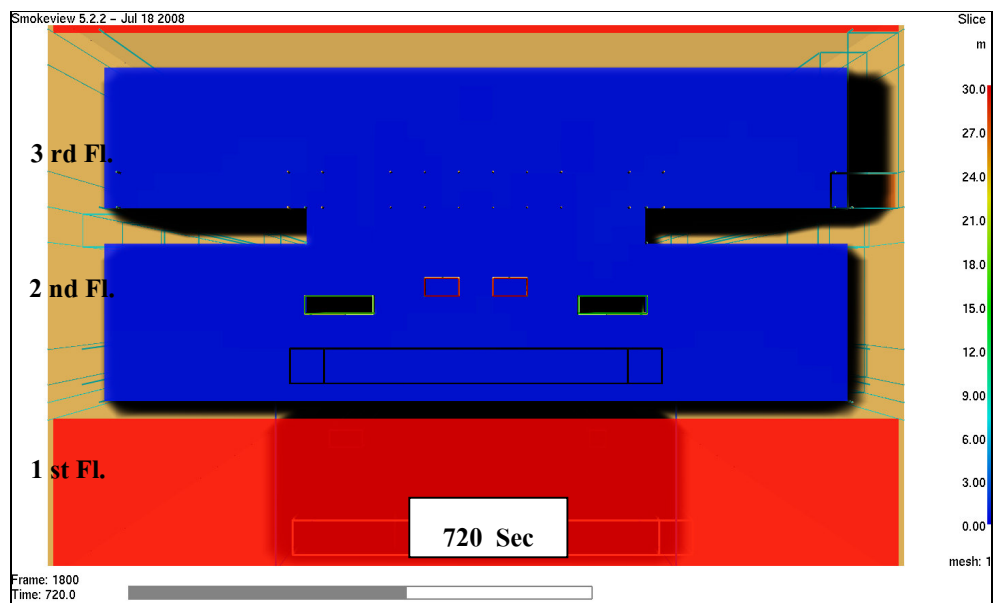


(ค)

ภาพที่ 80 (ต่อ)

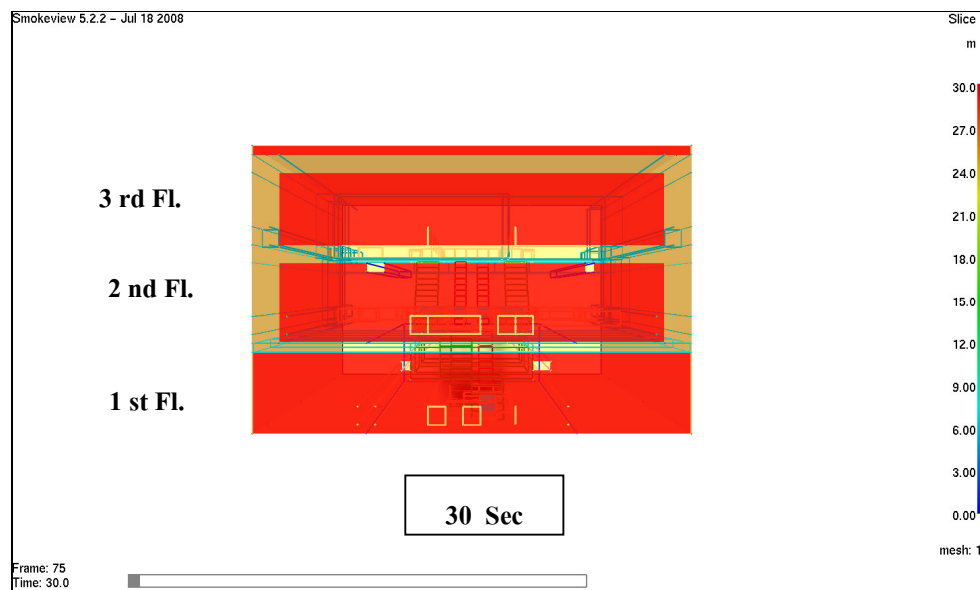


(ณ)

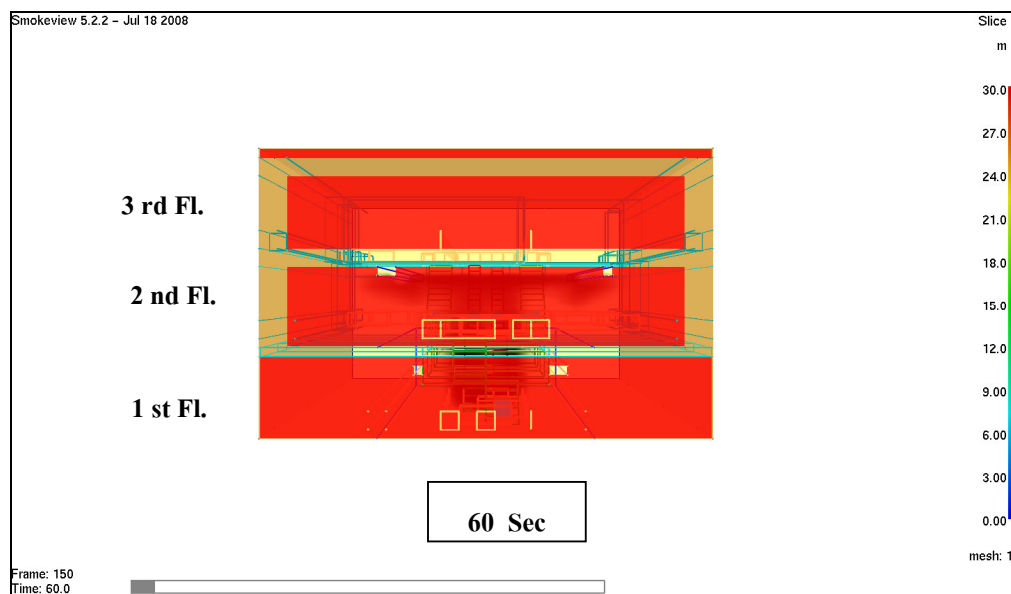


(ณ)

ภาพที่ 80 (ต่อ)

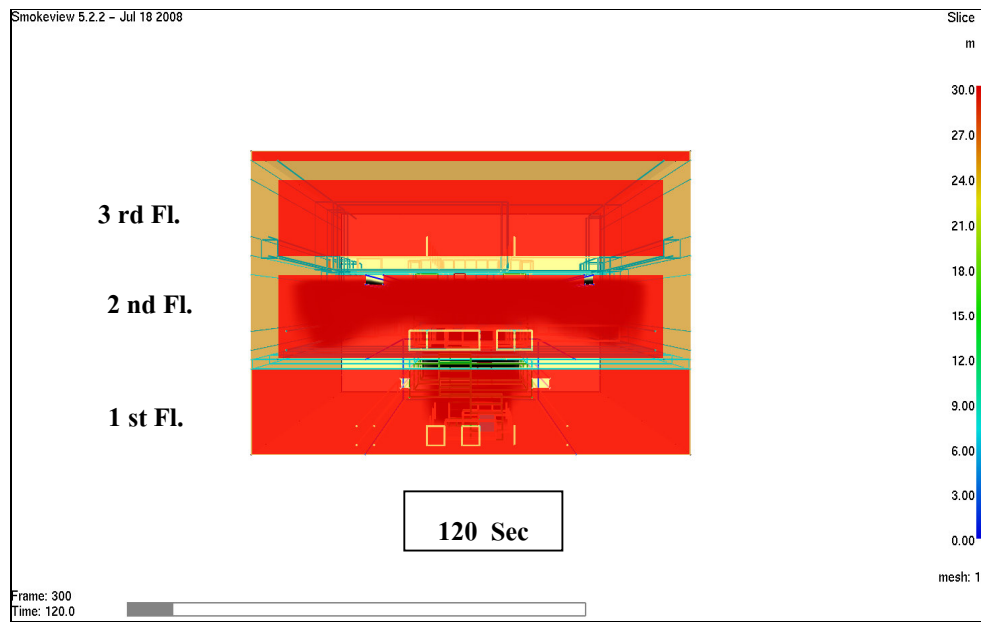


(ก)

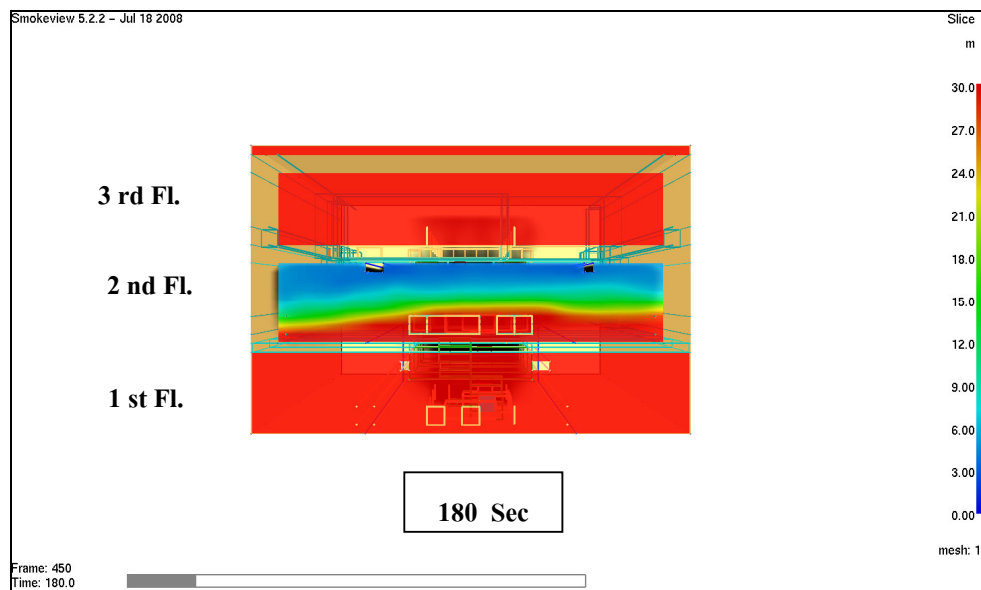


(ข)

ภาพที่ 81 แสดงค่าความสามารถในการมองเห็นที่ตำแหน่งระนาบ $X = 120$
กรณีไม่มีระบบระบายควัน

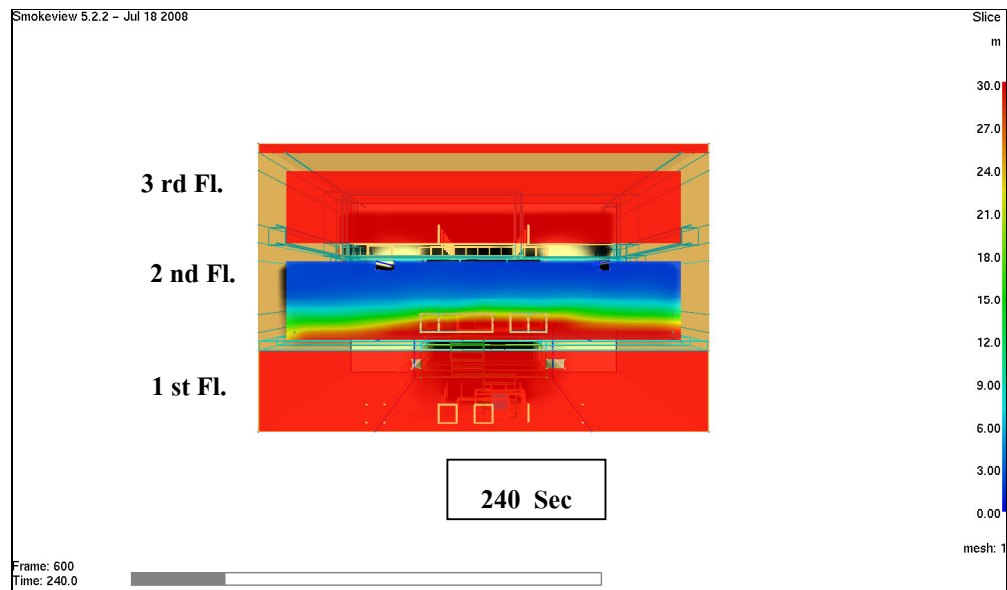


(ค)

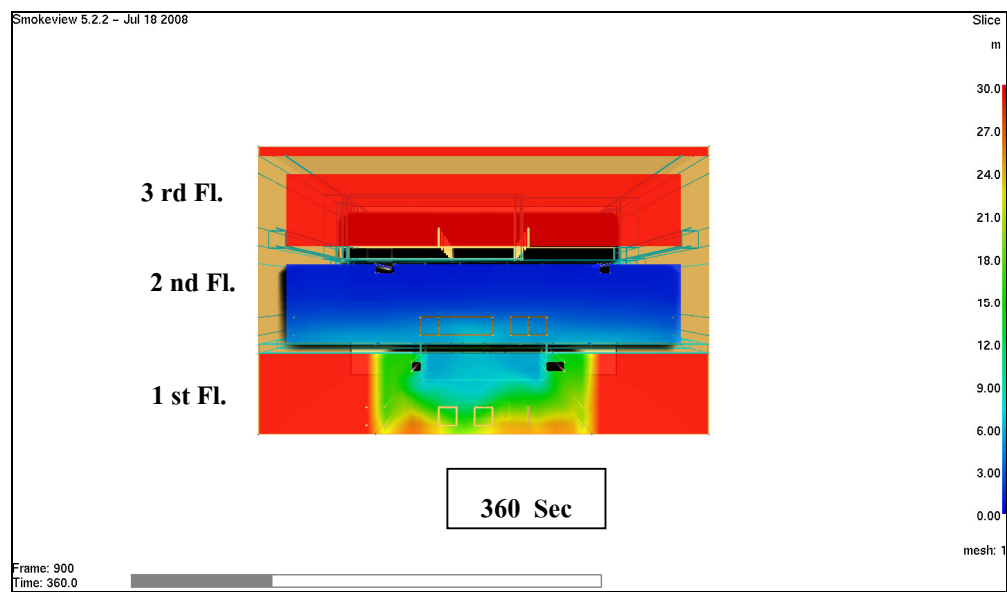


(ง)

ภาพที่ 81 (ต่อ)

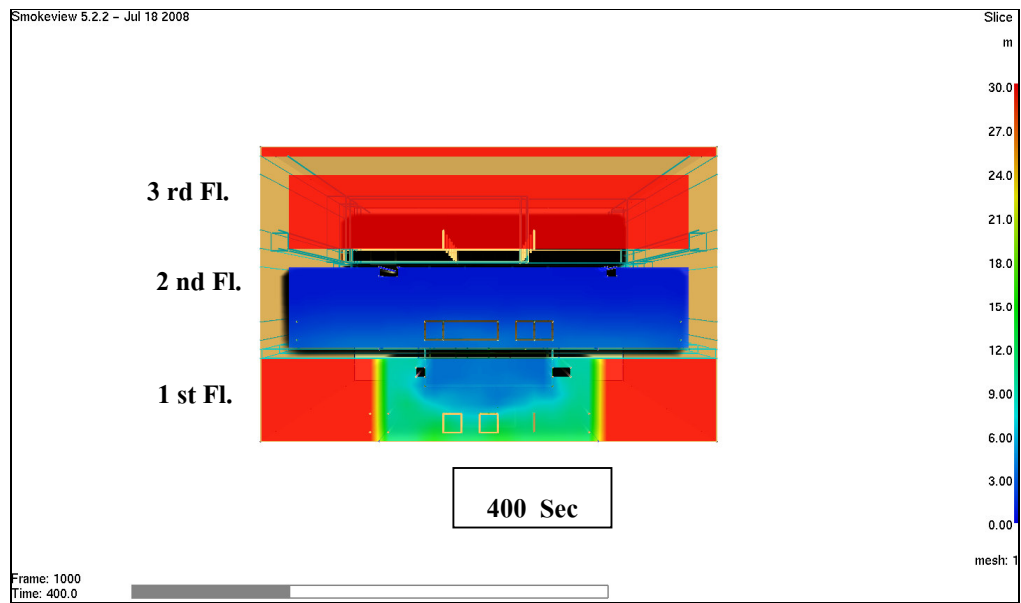


(จ)

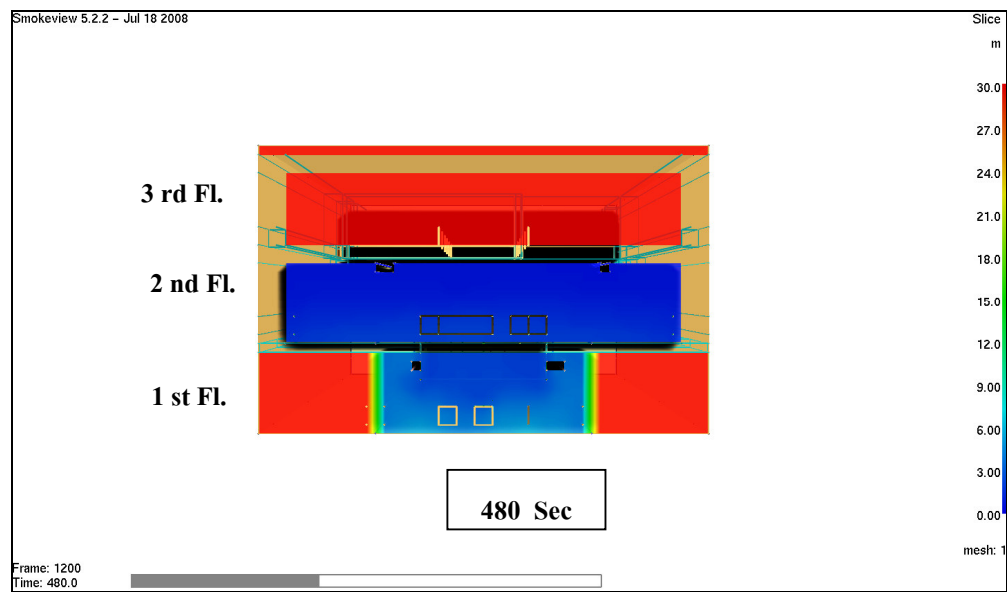


(ฉ)

ภาพที่ 81 (ต่อ)

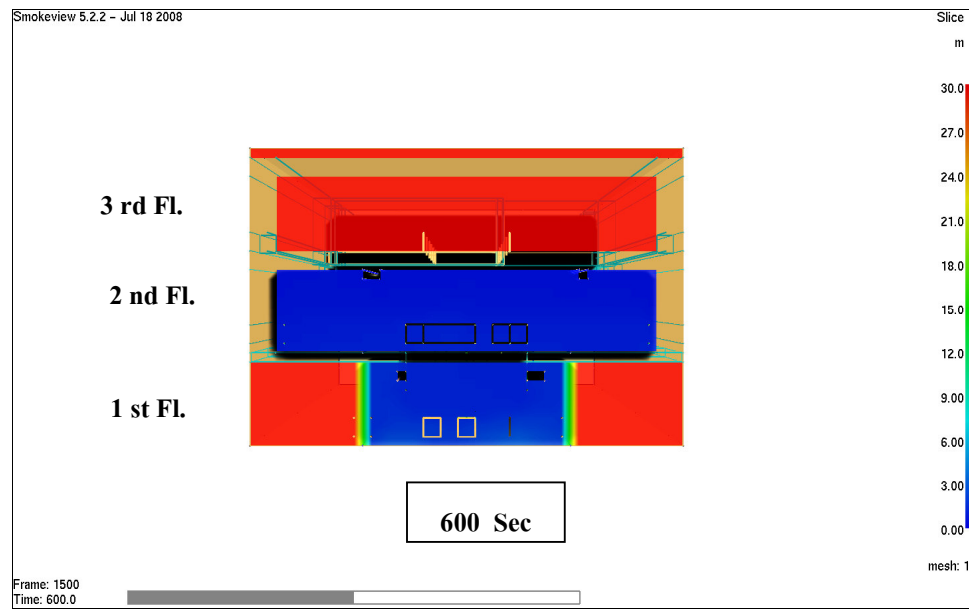


(ข)

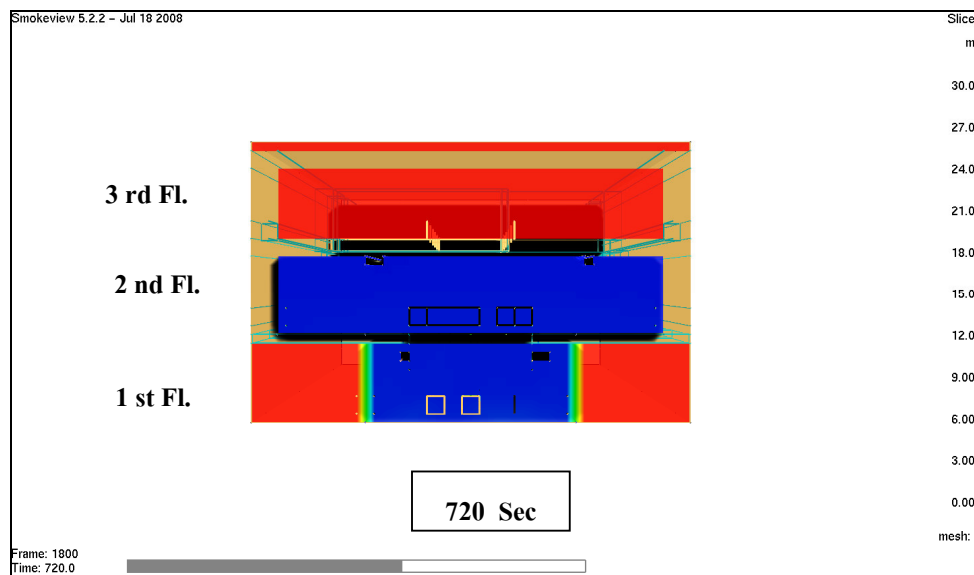


(ค)

ภาพที่ 81 (ต่อ)

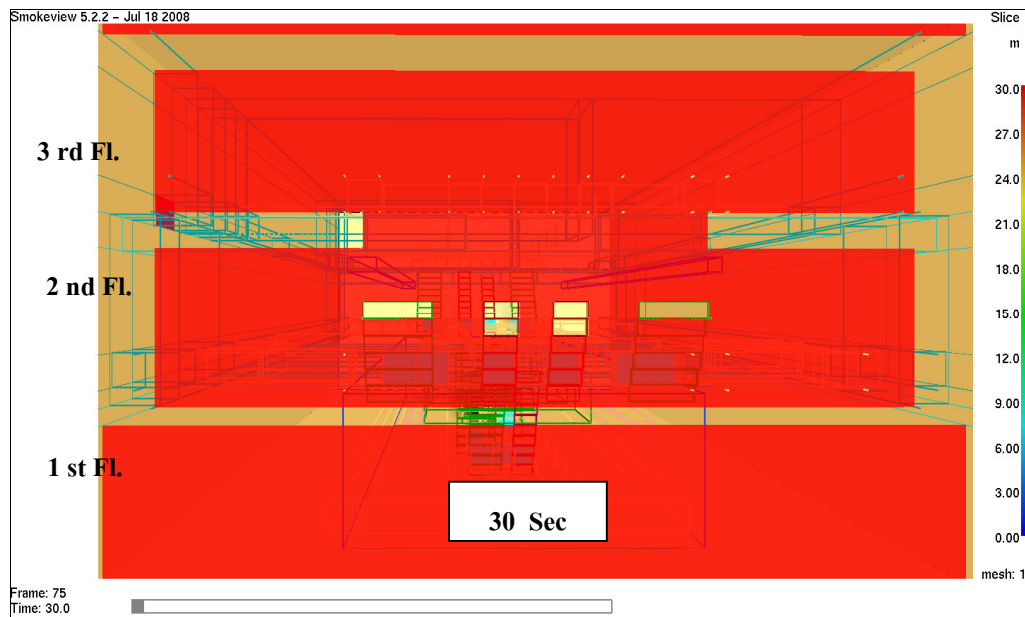


(ณ)

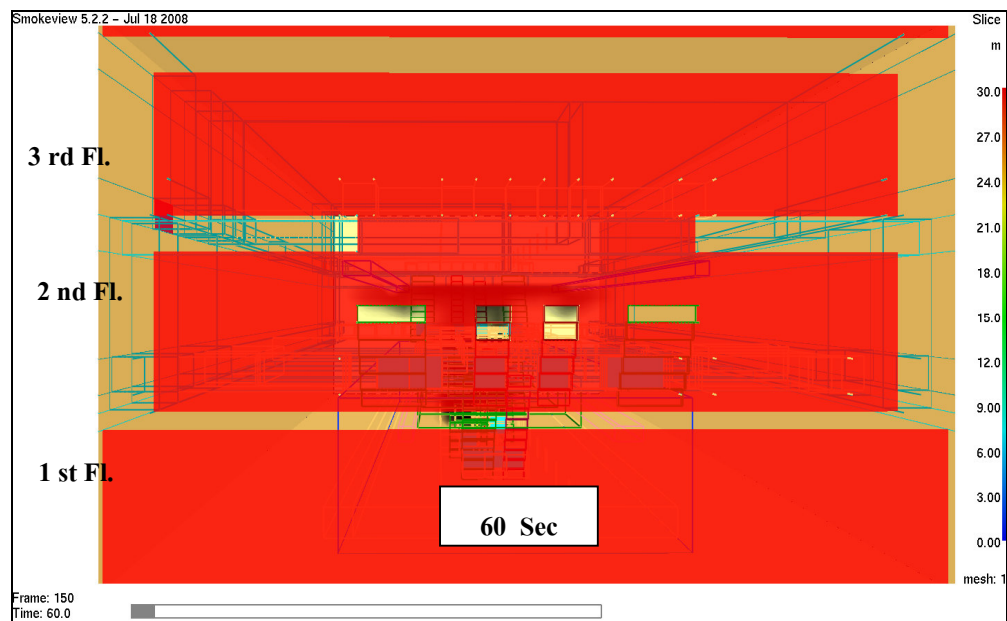


(ณ)

ภาพที่ 81 (ต่อ)

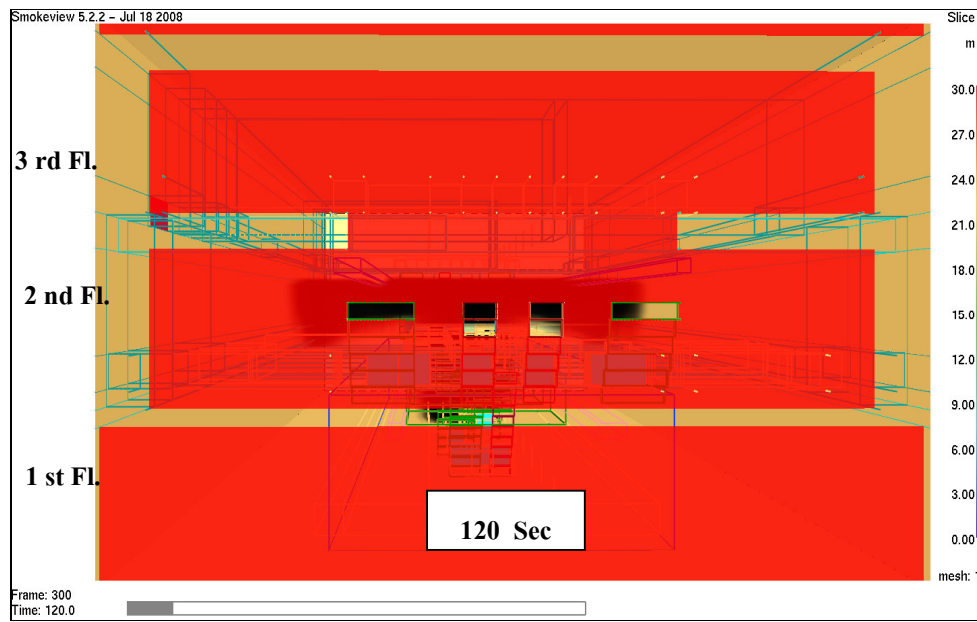


(ก)

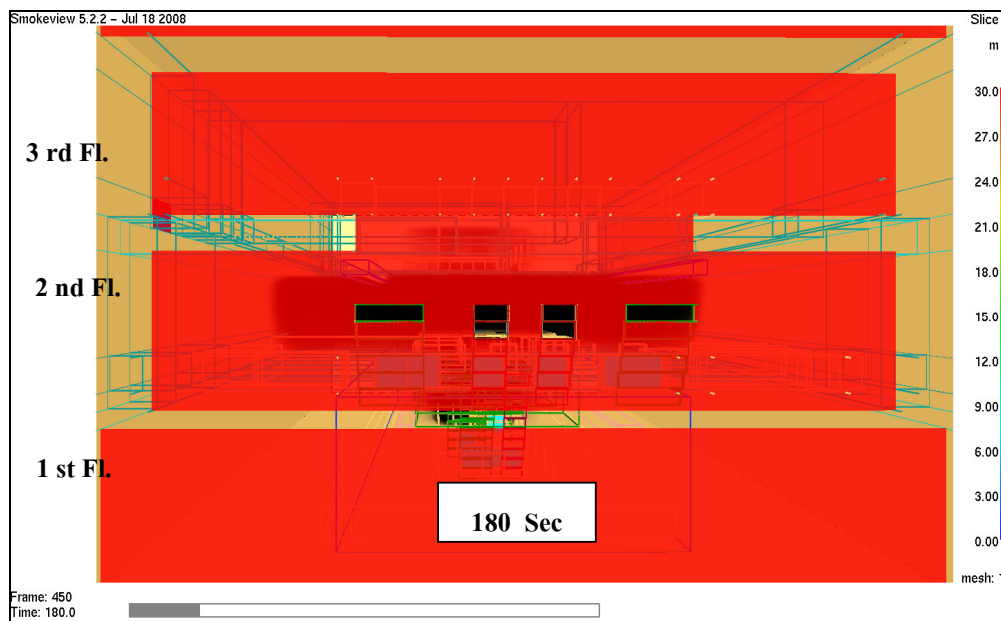


(ข)

ภาพที่ 82 แสดงค่าความสามารถในการมองเห็นที่ตำแหน่งระนาบ X = 187
กรณีไม่มีระบบระบายควัน

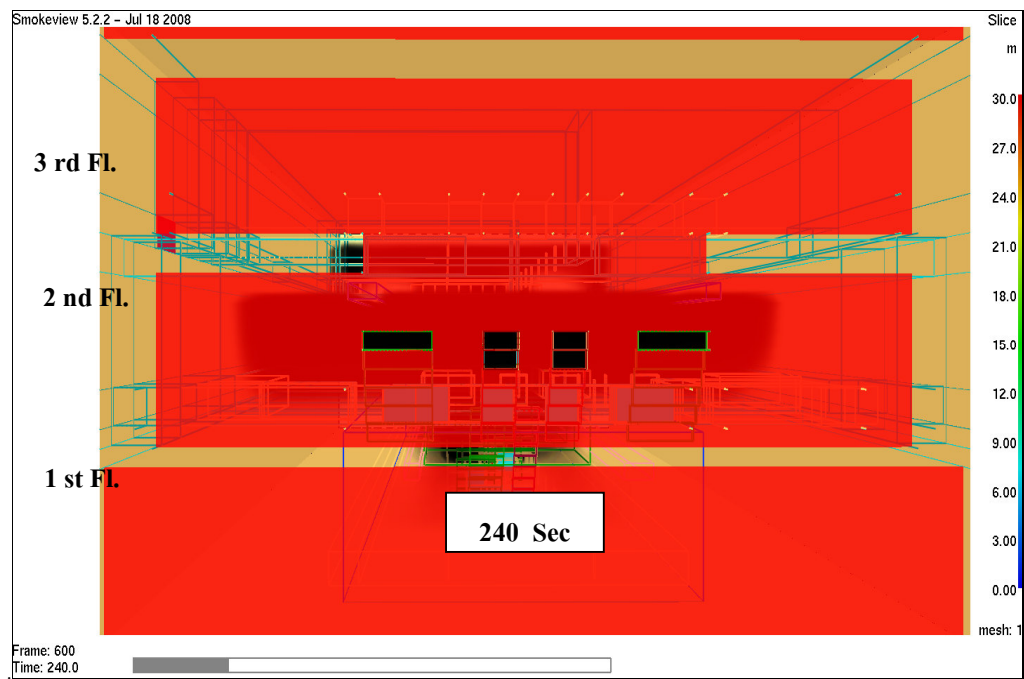


(ค)

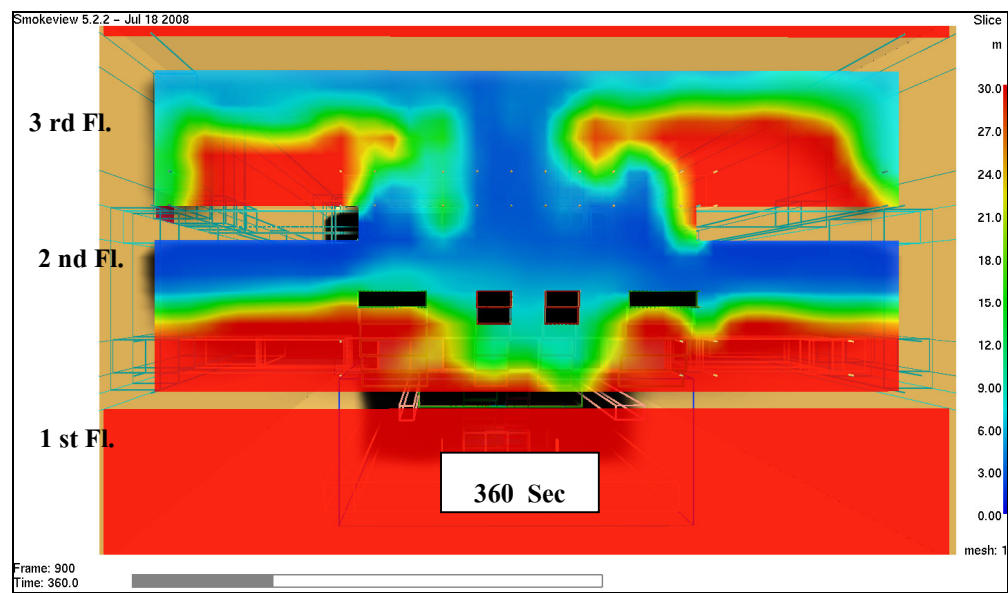


(ง)

ภาพที่ 82 (ต่อ)

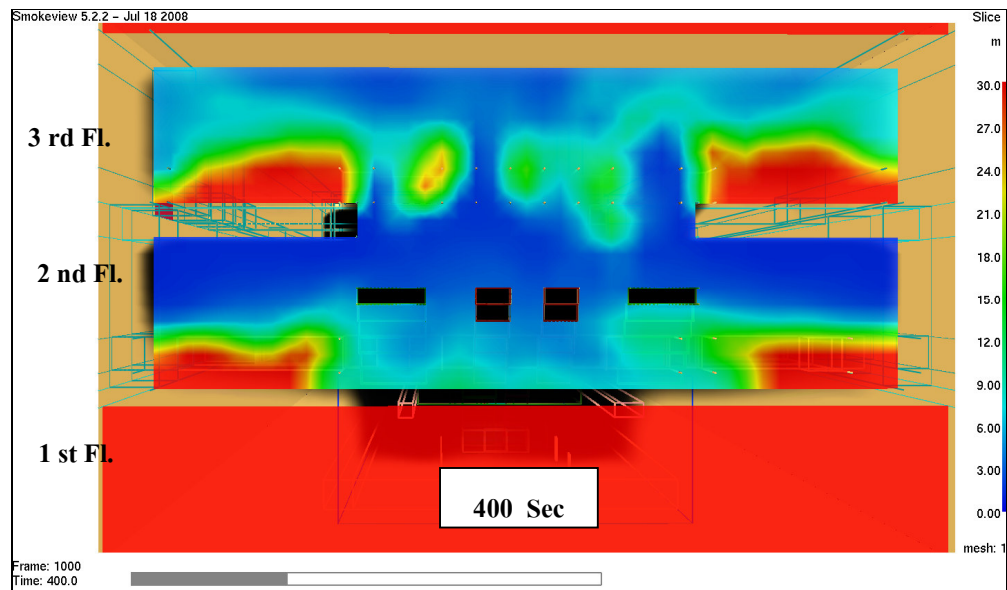


(จ)

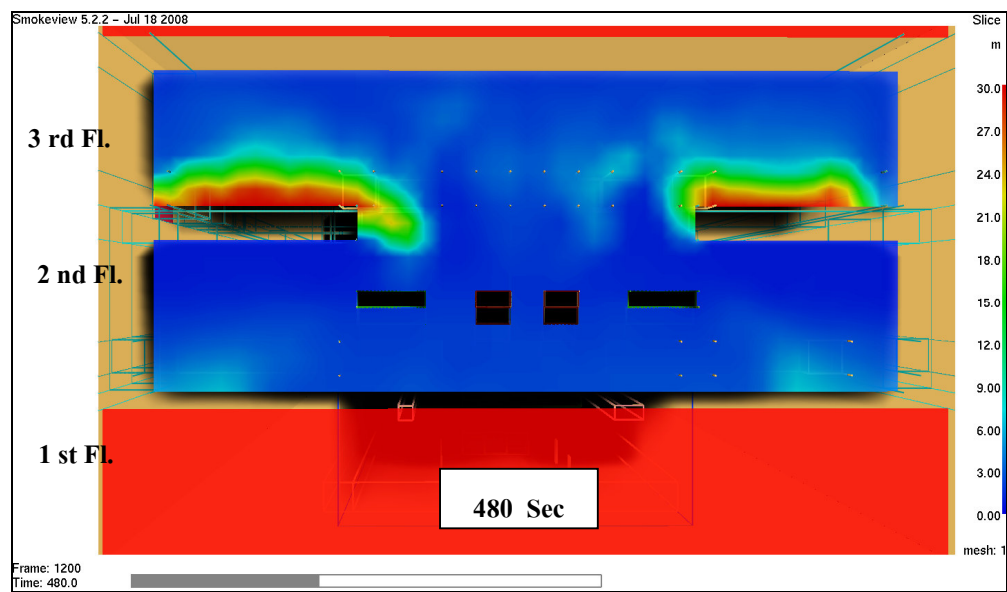


(ฉ)

ภาพที่ 82 (ต่อ)

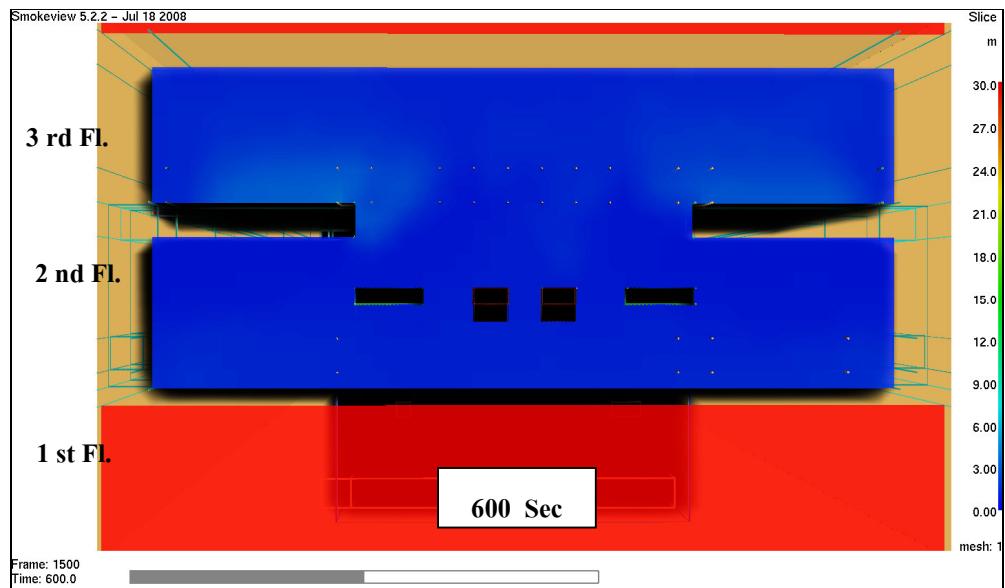


(ข)

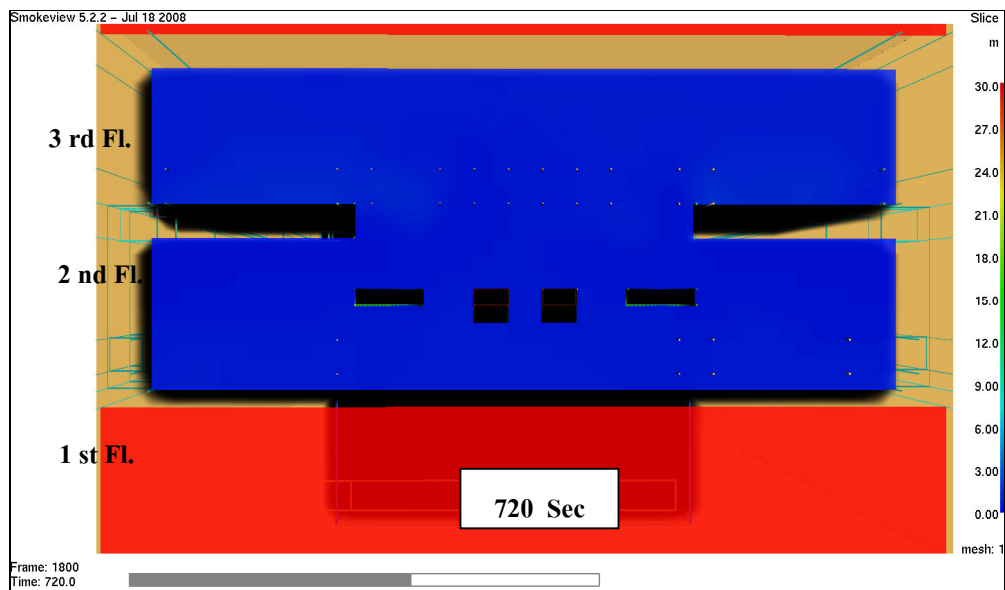


(ค)

ภาพที่ 82 (ต่อ)



(ณ)



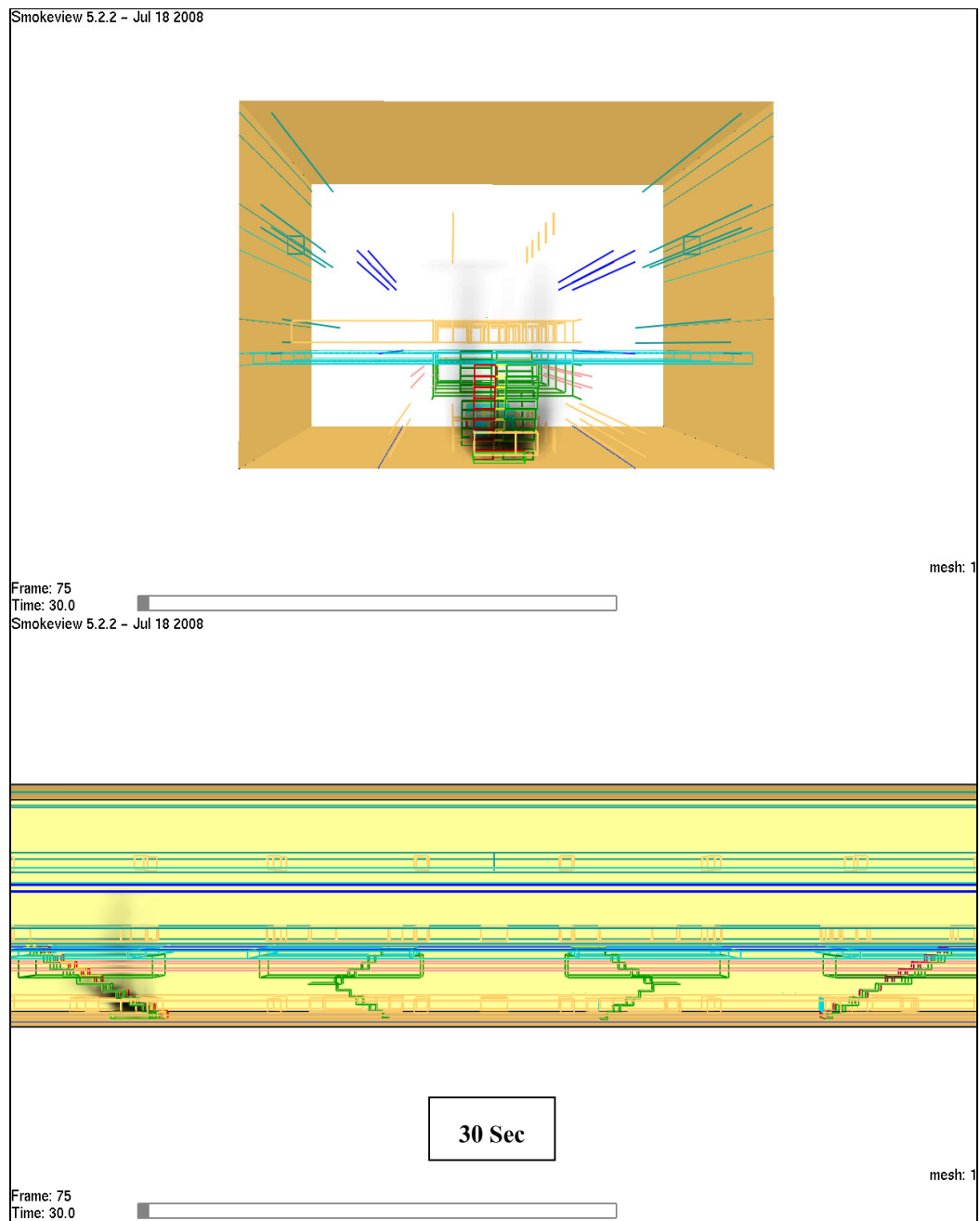
(ณ)

ภาพที่ 82 (ต่อ)

7. แสดงลักษณะการไหลของควัน

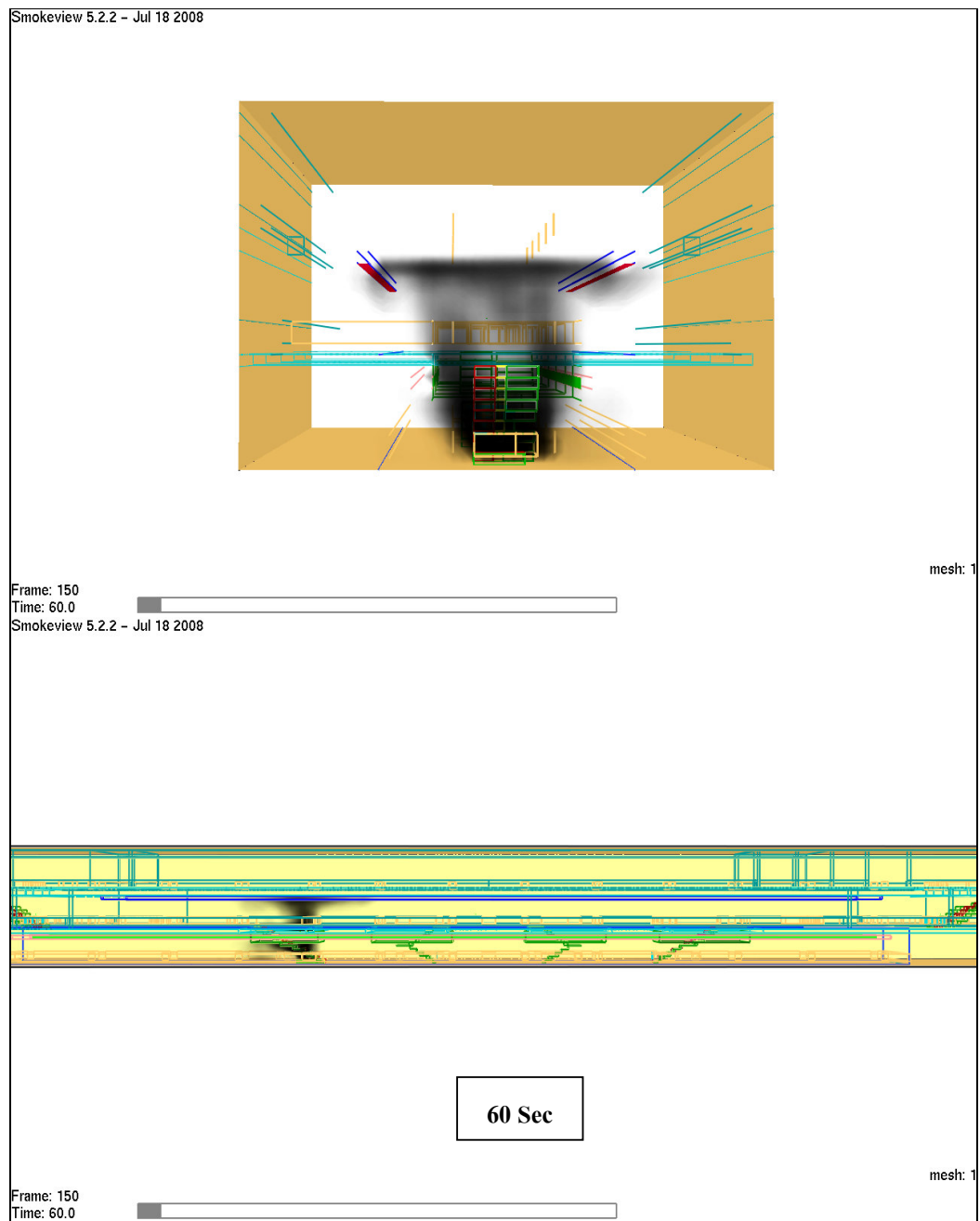
จากภาพที่ 83 และ 84 แสดงการไหลของควัน โดยมีกองเพลิงขนาด 7 MW อยู่ใต้บันไดและบันไดเลื่อน ST-4 และ ESC-4 (ตำแหน่งบันไดและบันไดเลื่อนแสดงไว้ในภาพที่ 25 และ 26) กรณีมีระบบระบายควัน แบบจำลองกำหนดให้พัฒมทำงานที่เวลา 30 วินาที โดยพัฒมระบายควันอยู่ที่ชั้นที่ 1 (ชั้นชานชาลา) และพัฒมอัดอากาศอยู่ที่ชั้นที่ 2 พบว่าที่เวลา 30 วินาที ควันลอยผ่านช่องเปิดของบันไดและบันไดเลื่อน ST-4 และ ESC-4 ไปถึงเพดานชั้นที่ 2 (ชั้นขายบัตรโดยสาร) และแพร่ขยายไปตามชั้นที่ 2 จากนั้นที่เวลา 180 วินาที ควันบริเวณกองเพลิงบางส่วนเริ่มมีการแพร่ไปตามชั้นที่ 1 (ชั้นชานชาลา) ในขณะที่ควันบริเวณชั้นที่ 2 (ชั้นขายบัตรโดยสาร) ไหลผ่านช่องเปิดของบันไดและบันไดเลื่อนและไหลย้อนลงมาถึงชั้น 1 (ชั้นชานชาลา) เนื่องจากการทำงานของพัฒมระบายควันที่ชั้น 1 (ชั้นชานชาลา) และแรงลอยตัวของควัน ที่เวลา 240 วินาที ควันได้ไหลผ่านช่องเปิดของบันไดและบันไดเลื่อนไปยังชั้นที่ 3 (ชั้นร้านค้า) บริเวณฝั่งทางออกที่ 1 และ 3 ที่เวลา 360 วินาที ควันได้ไหลผ่านช่องเปิดของบันไดและบันไดเลื่อนไปยังชั้นที่ 3 (ชั้นร้านค้า) บริเวณฝั่งทางออกที่ 2 และ 4 และชั้นที่ 1 และ 2 ก็เต็มไปด้วยควัน

กรณีไม่มีระบบระบายควัน ที่เวลา 30 วินาที พบว่าควันลอยผ่านช่องเปิดของบันไดและบันไดเลื่อน ST-4 และ ESC-4 ไปถึงเพดานชั้นที่ 2 (ชั้นขายบัตรโดยสาร) และแพร่ขยายไปตามชั้นที่ 2 จากนั้นที่เวลา 240 วินาที ควันบริเวณกองเพลิงบางส่วนเริ่มมีการแพร่ไปตามชั้นที่ 1 (ชั้นชานชาลา) ในขณะที่ควันบริเวณชั้นที่ 2 (ชั้นขายบัตรโดยสาร) ไหลผ่านช่องเปิดของบันไดและบันไดเลื่อนและไหลย้อนลงมาถึงชั้น 1 (ชั้นชานชาลา) เนื่องจากแรงลอยตัวของควันที่บริเวณชั้นที่ 2 (ชั้นขายบัตรโดยสาร) และควันได้ไหลผ่านช่องเปิดของบันไดและบันไดเลื่อนไปยังชั้นที่ 3 (ชั้นร้านค้า) บริเวณฝั่งทางออกที่ 1 และ 3 ที่เวลา 360 วินาที ควันได้ไหลผ่านช่องเปิดของบันไดและบันไดเลื่อนไปยังชั้นที่ 3 (ชั้นร้านค้า) บริเวณฝั่งทางออกที่ 2 และ 4 และชั้นที่ 1 และ 2 เต็มไปด้วยควัน



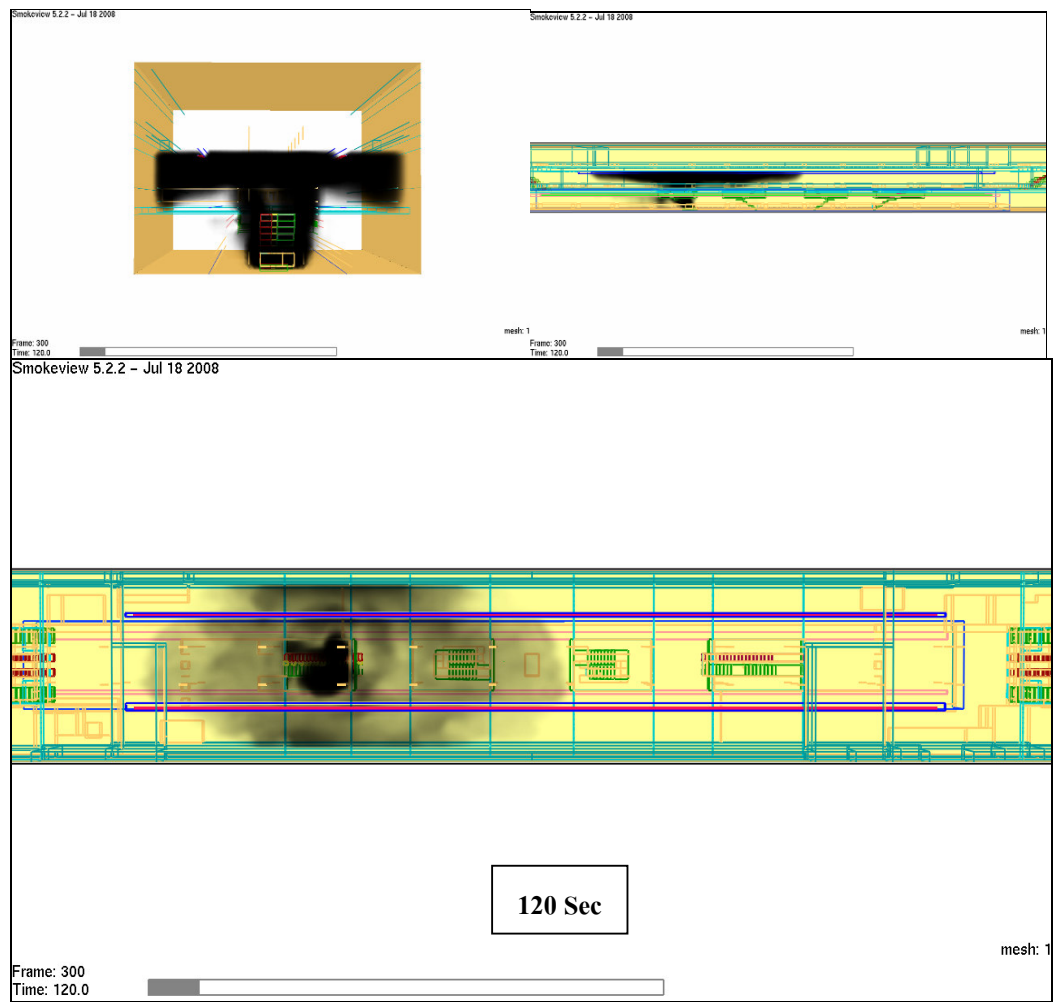
(ก)

ภาพที่ 83 แสดงการไหลของควัน กรณีมีระบบระบายควันที่เวลาต่างๆ



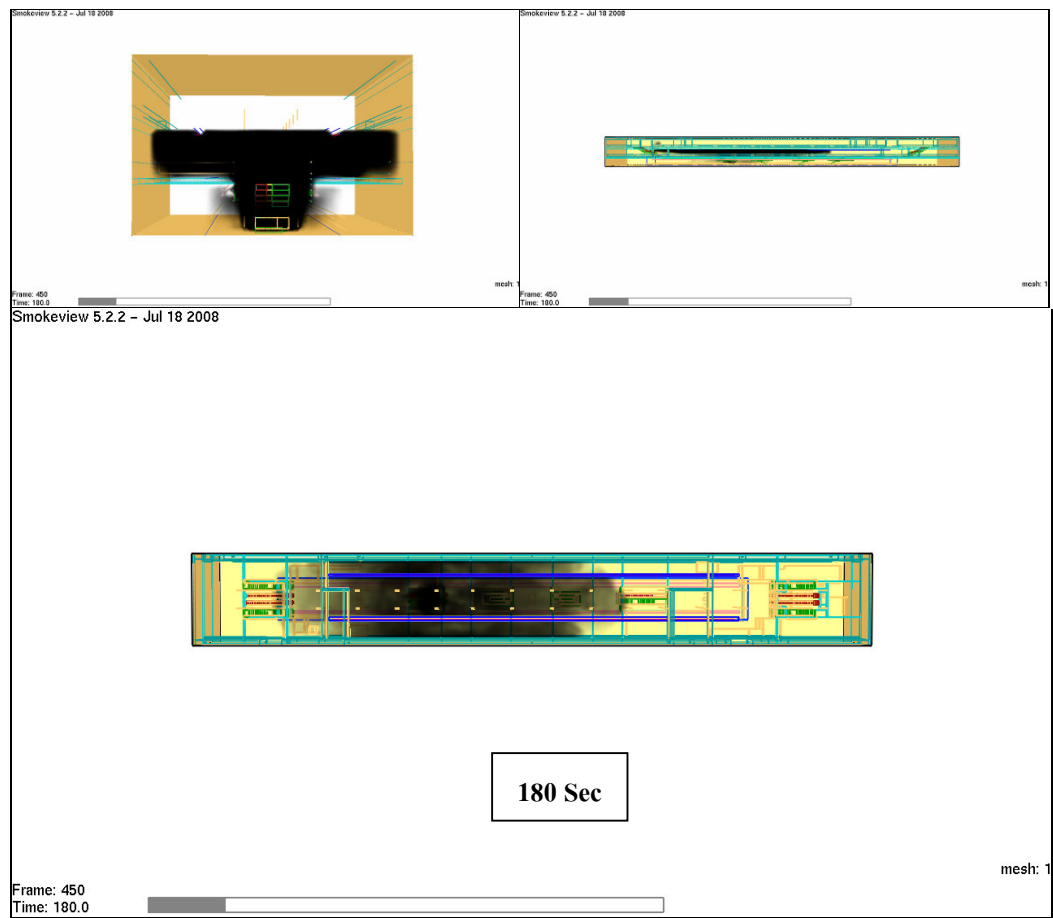
(๗)

ภาพที่ 83 (ต่อ)



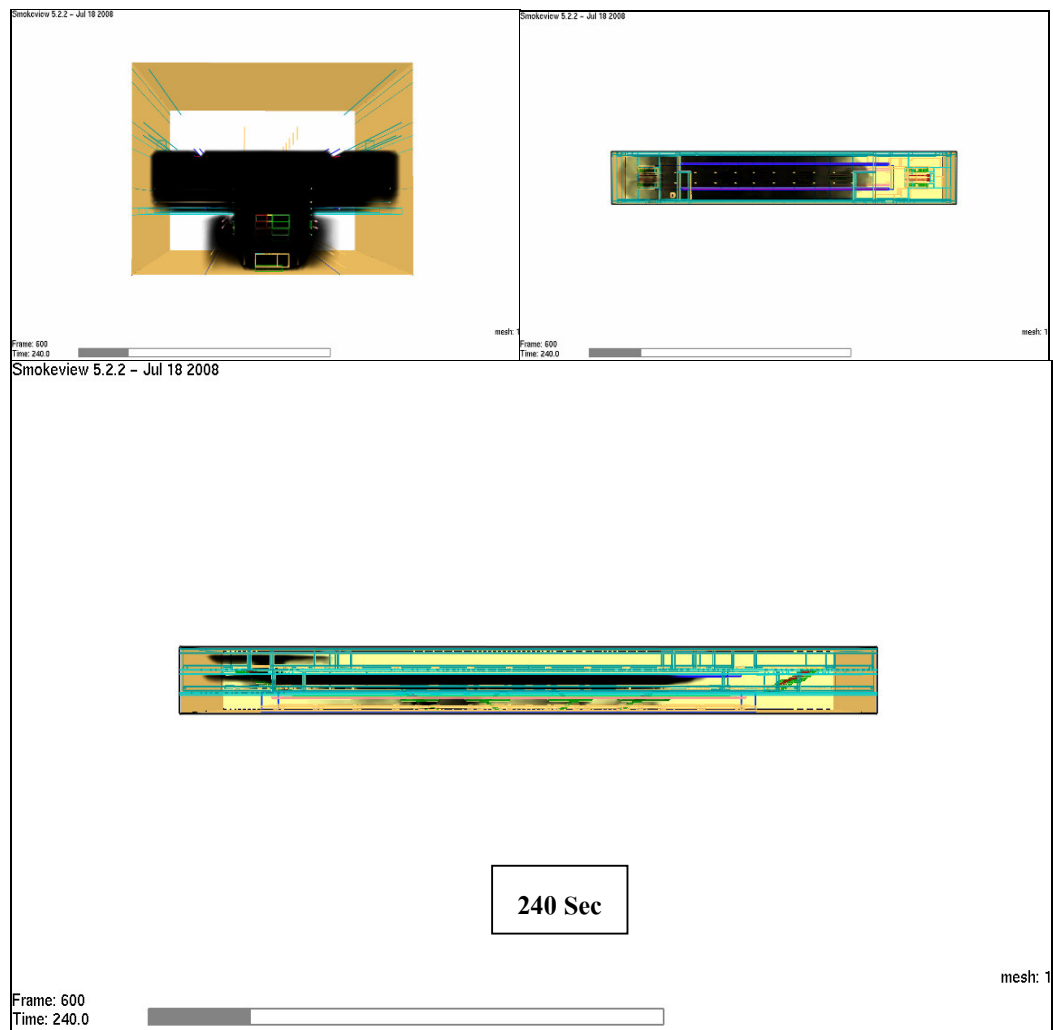
(ค)

ภาพที่ 83 (ต่อ)



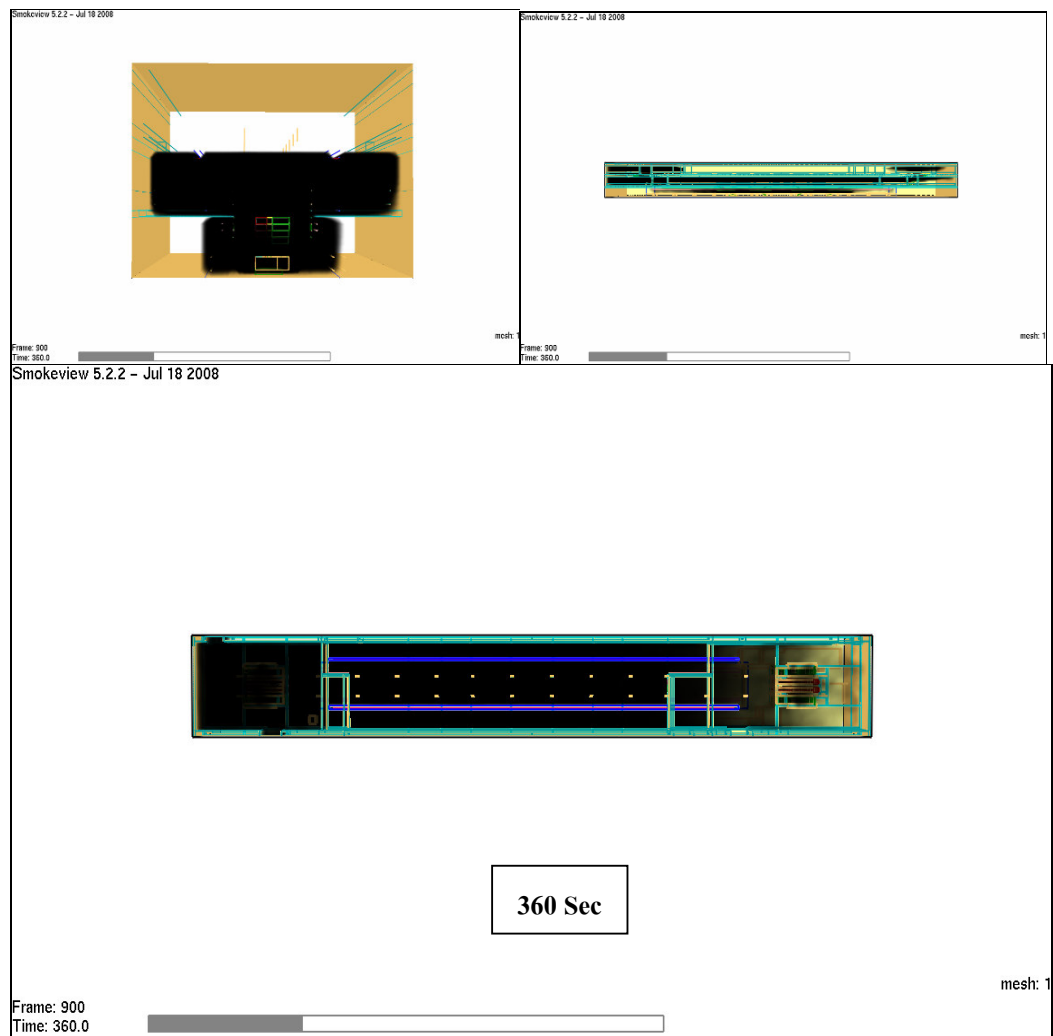
(ง)

ภาพที่ 83 (ต่อ)



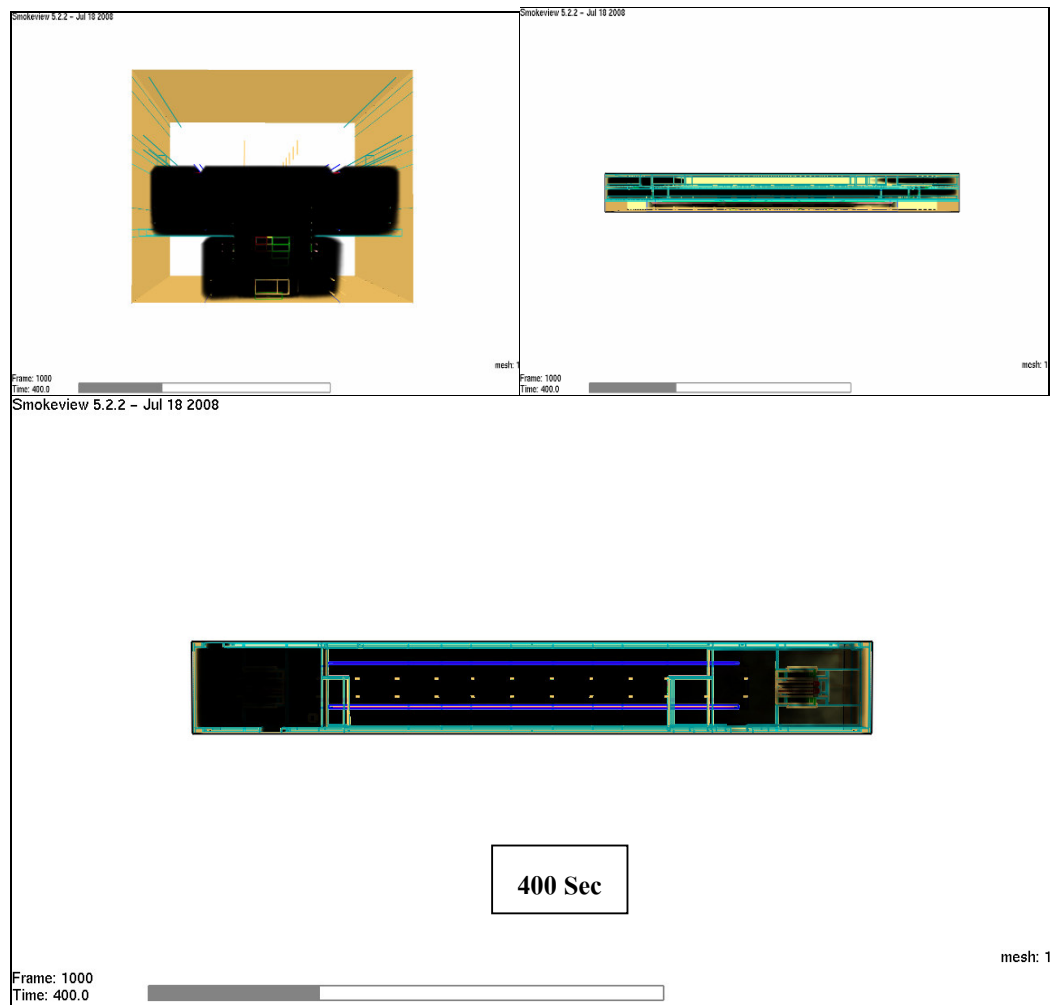
(จ)

ภาพที่ 83 (ต่อ)



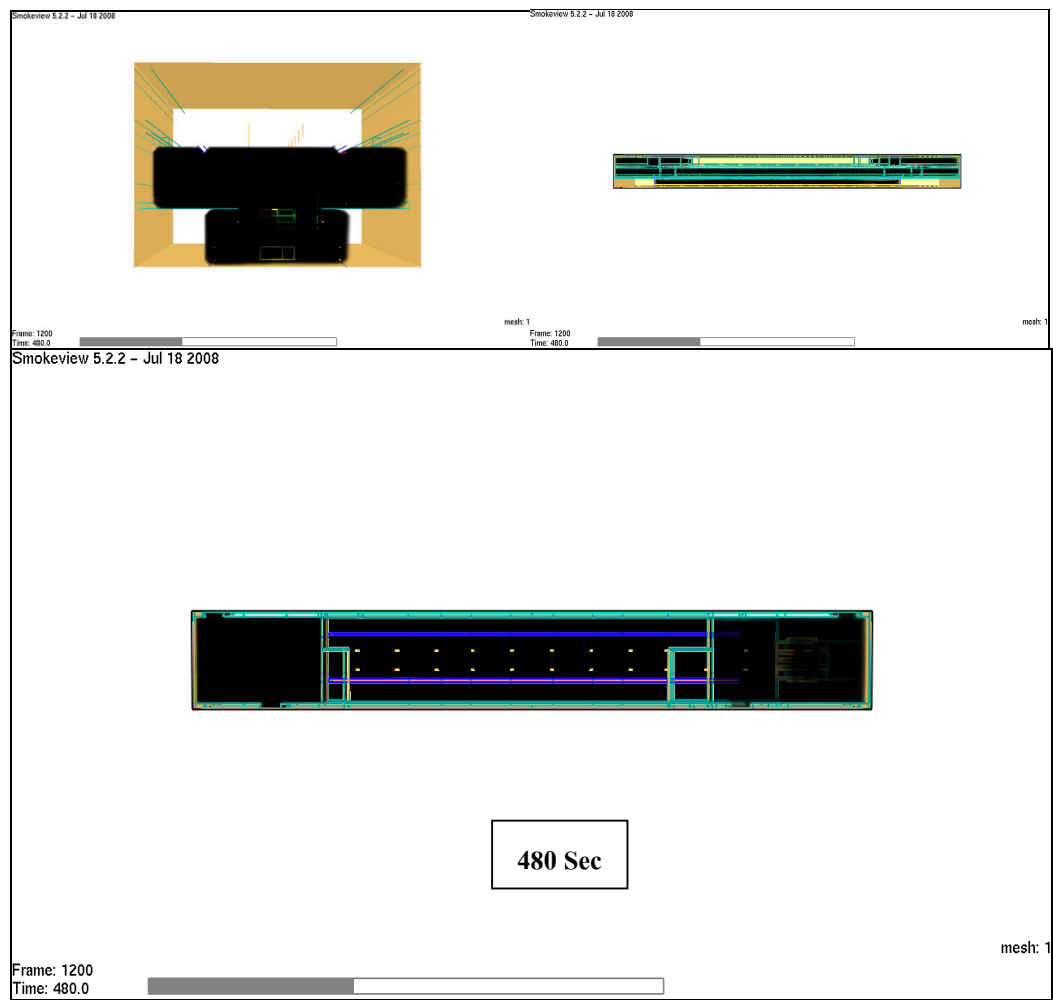
(ณ)

ภาพที่ 83 (ต่อ)



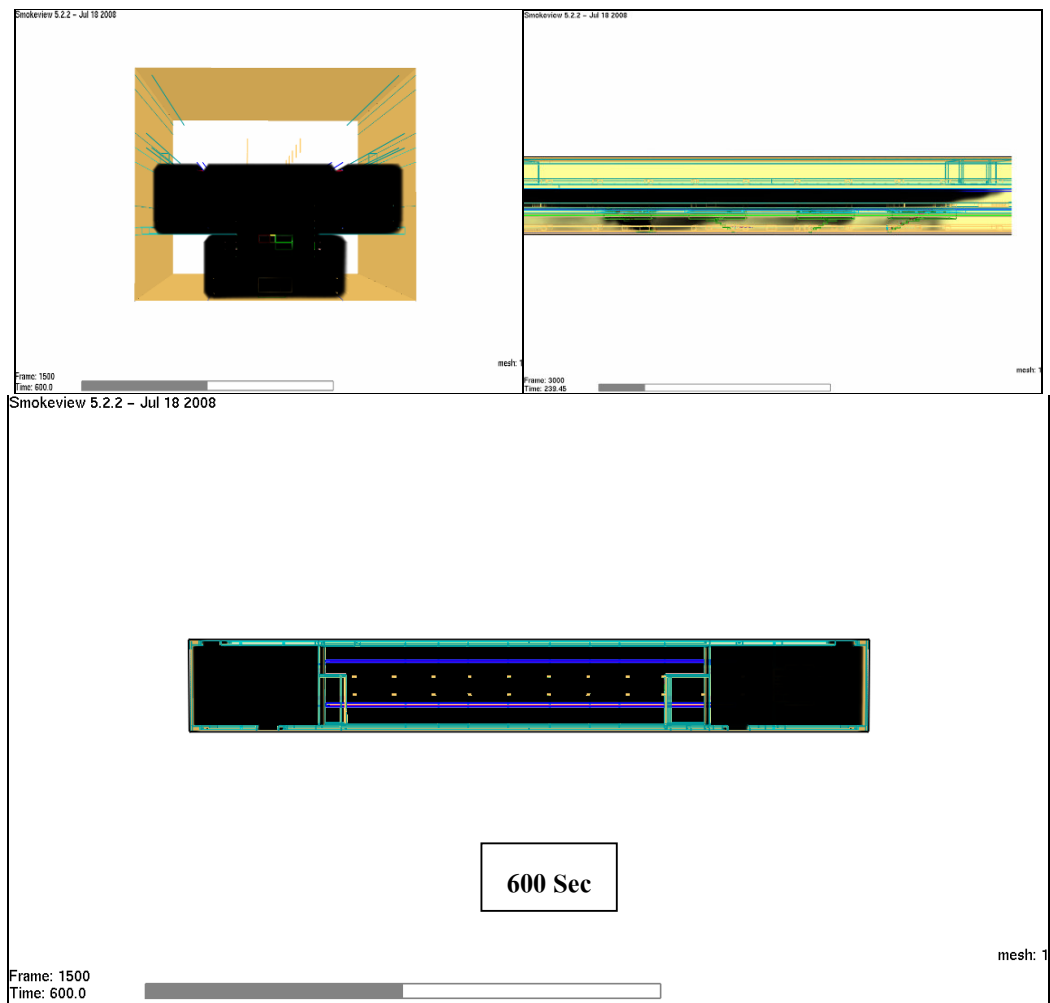
(ข)

ภาพที่ 83 (ต่อ)



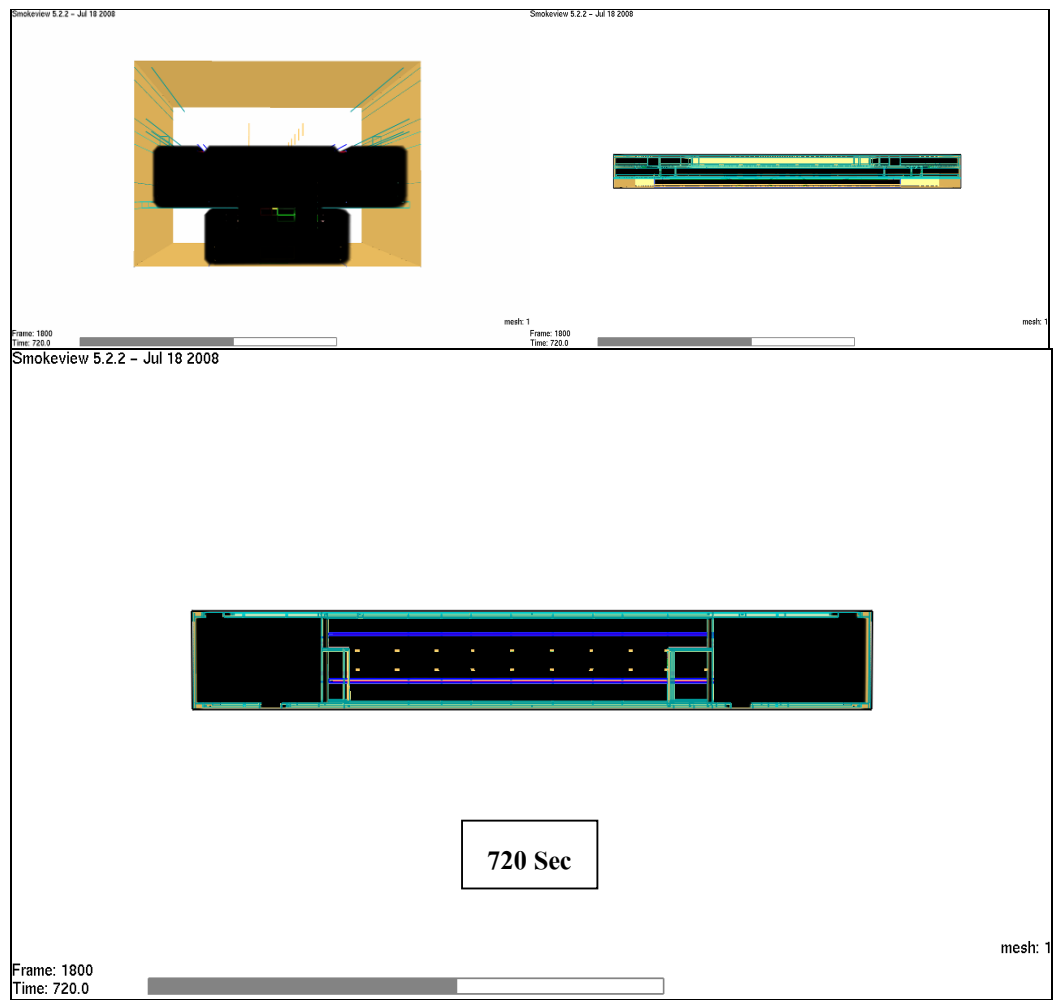
(๗)

ภาพที่ 83 (ต่อ)



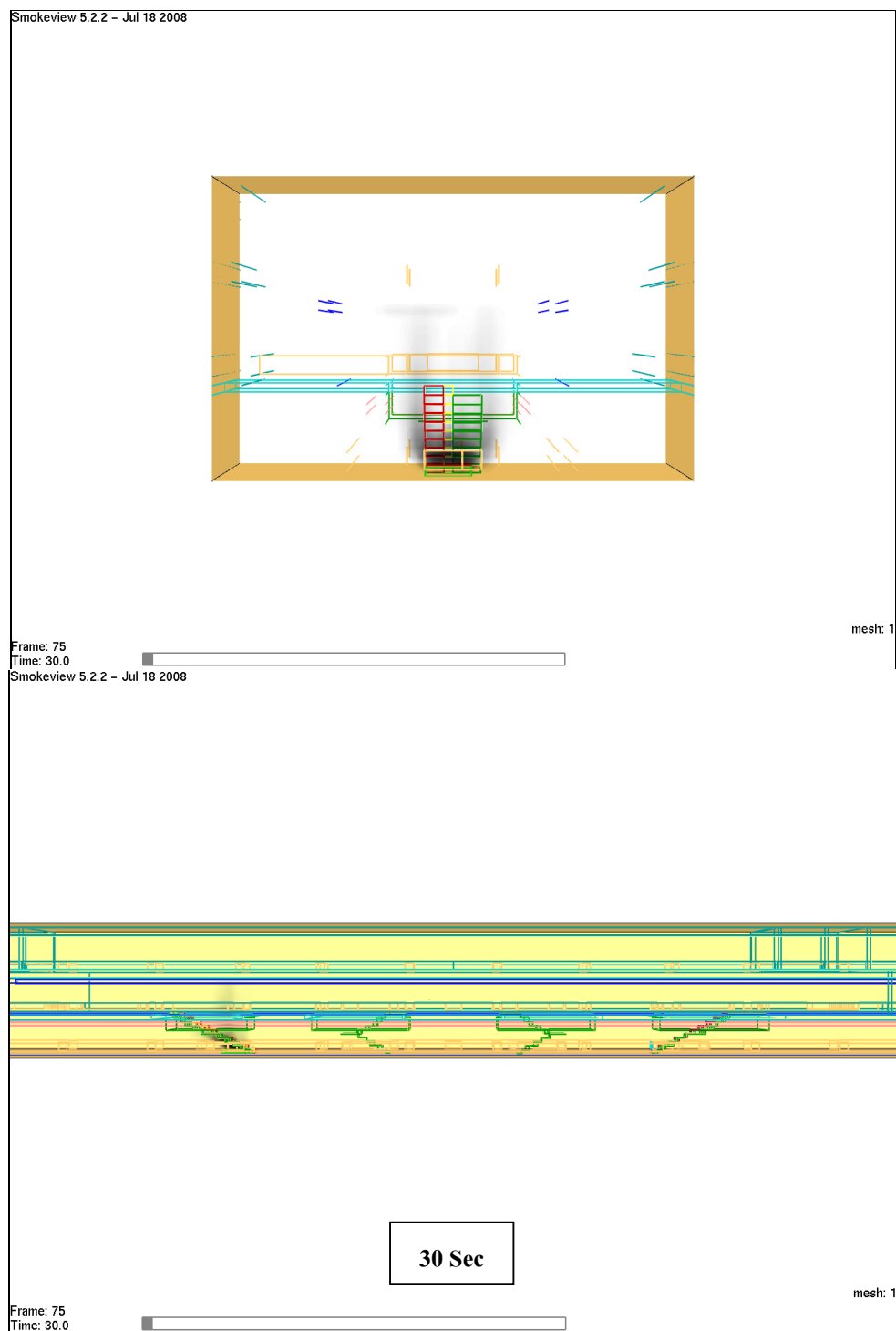
(ณ)

ภาพที่ 83 (ต่อ)



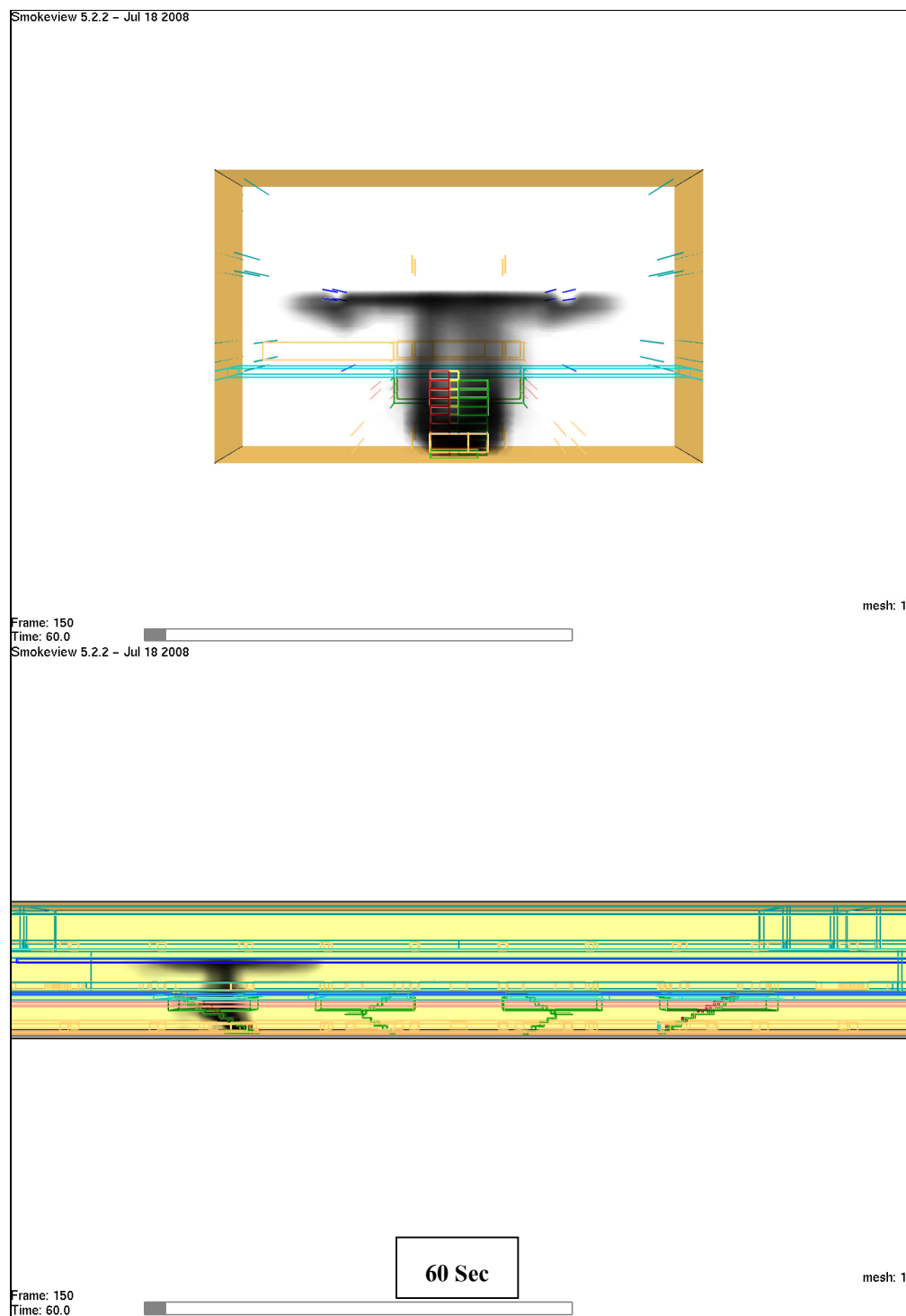
(ญ)

ภาพที่ 83 (ต่อ)



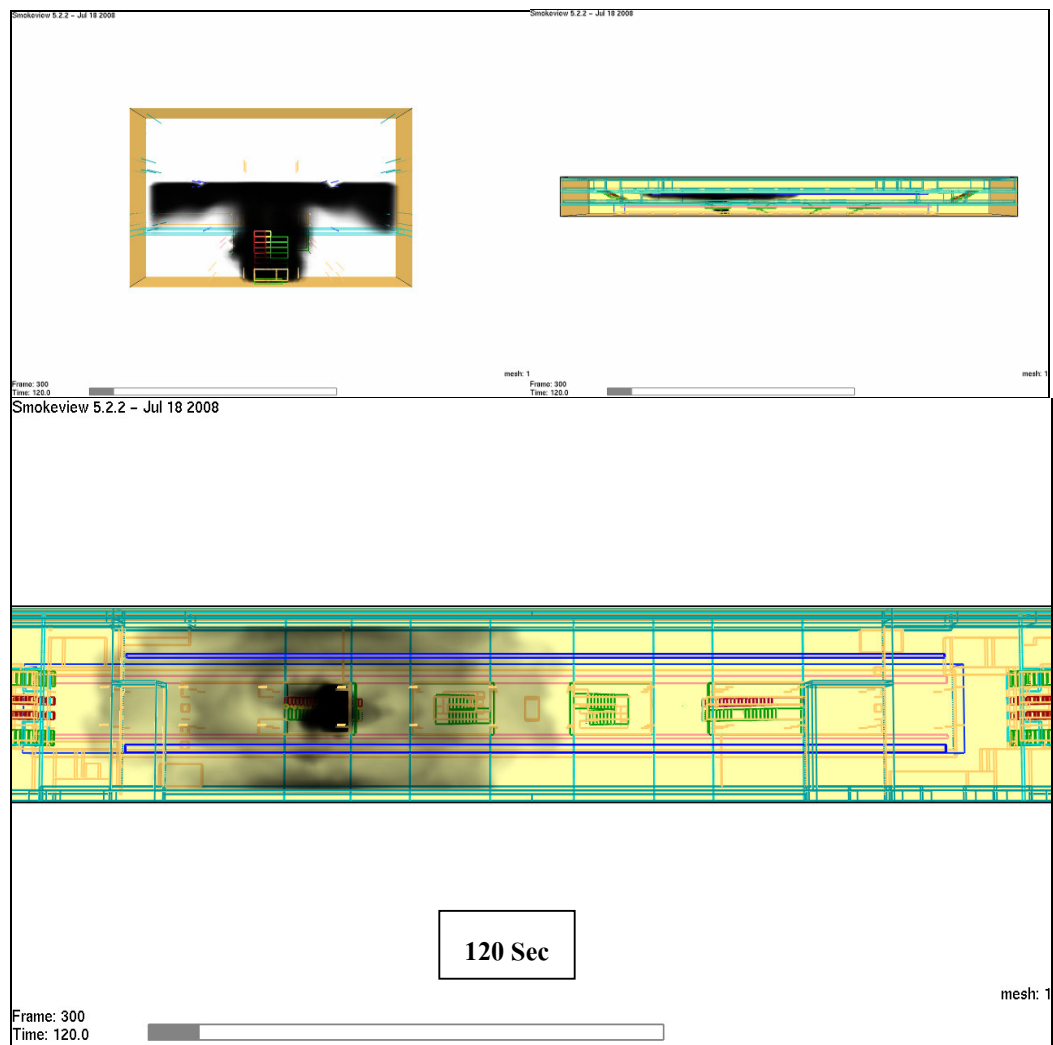
(ก)

ภาพที่ 84 แสดงการไหลของควัน กรณีไม่มีระบบระบายควันที่เวลาต่างๆ



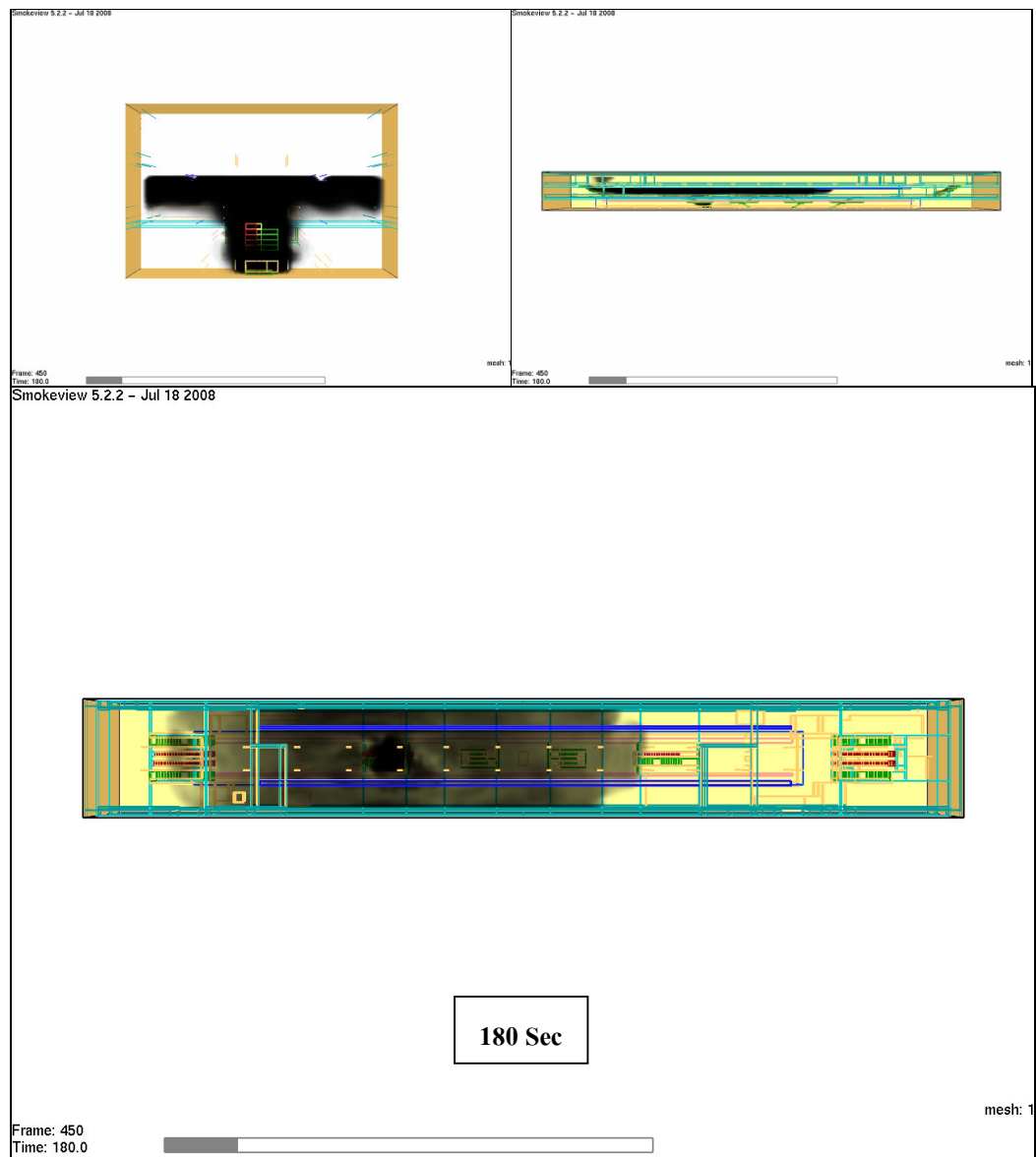
(ข)

ภาพที่ 84 (ต่อ)



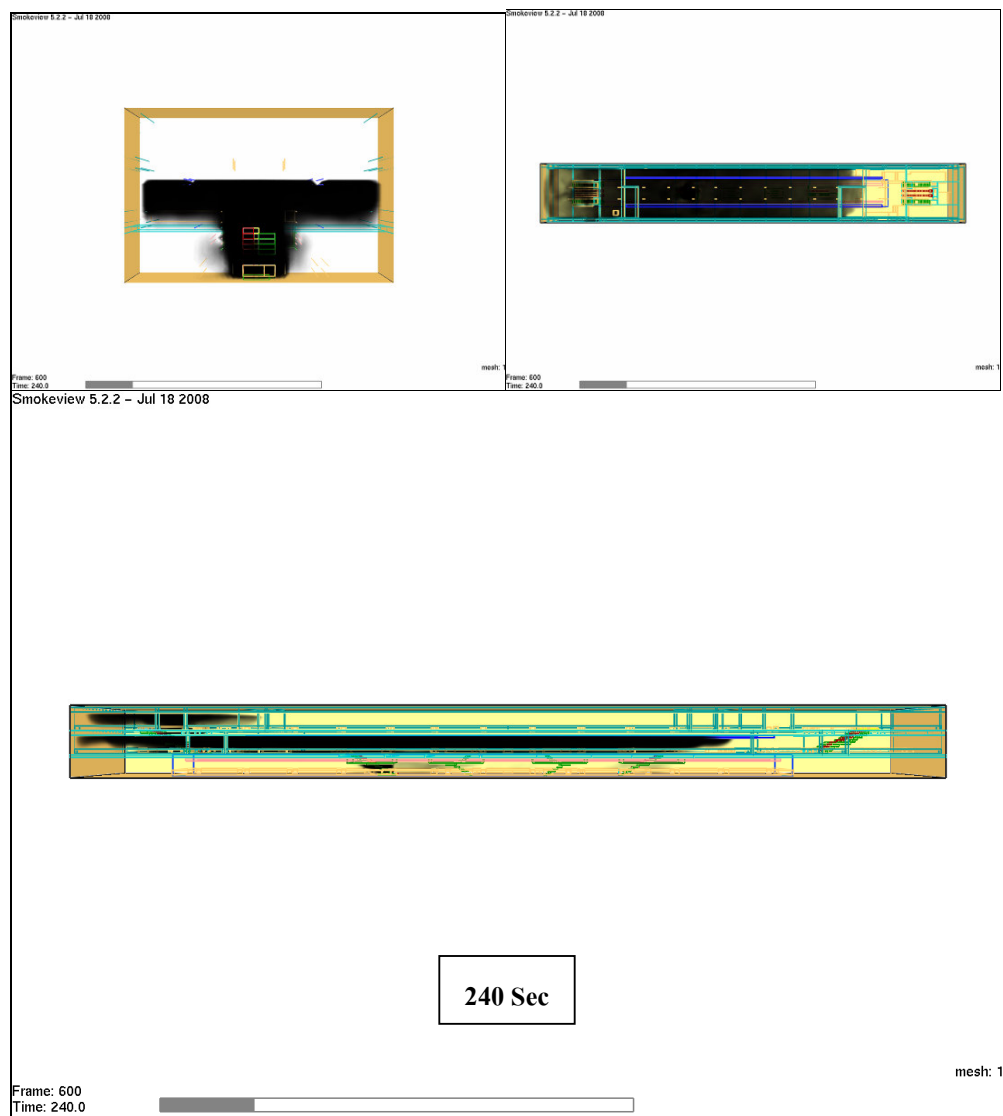
(ค)

ภาพที่ 84 (ต่อ)



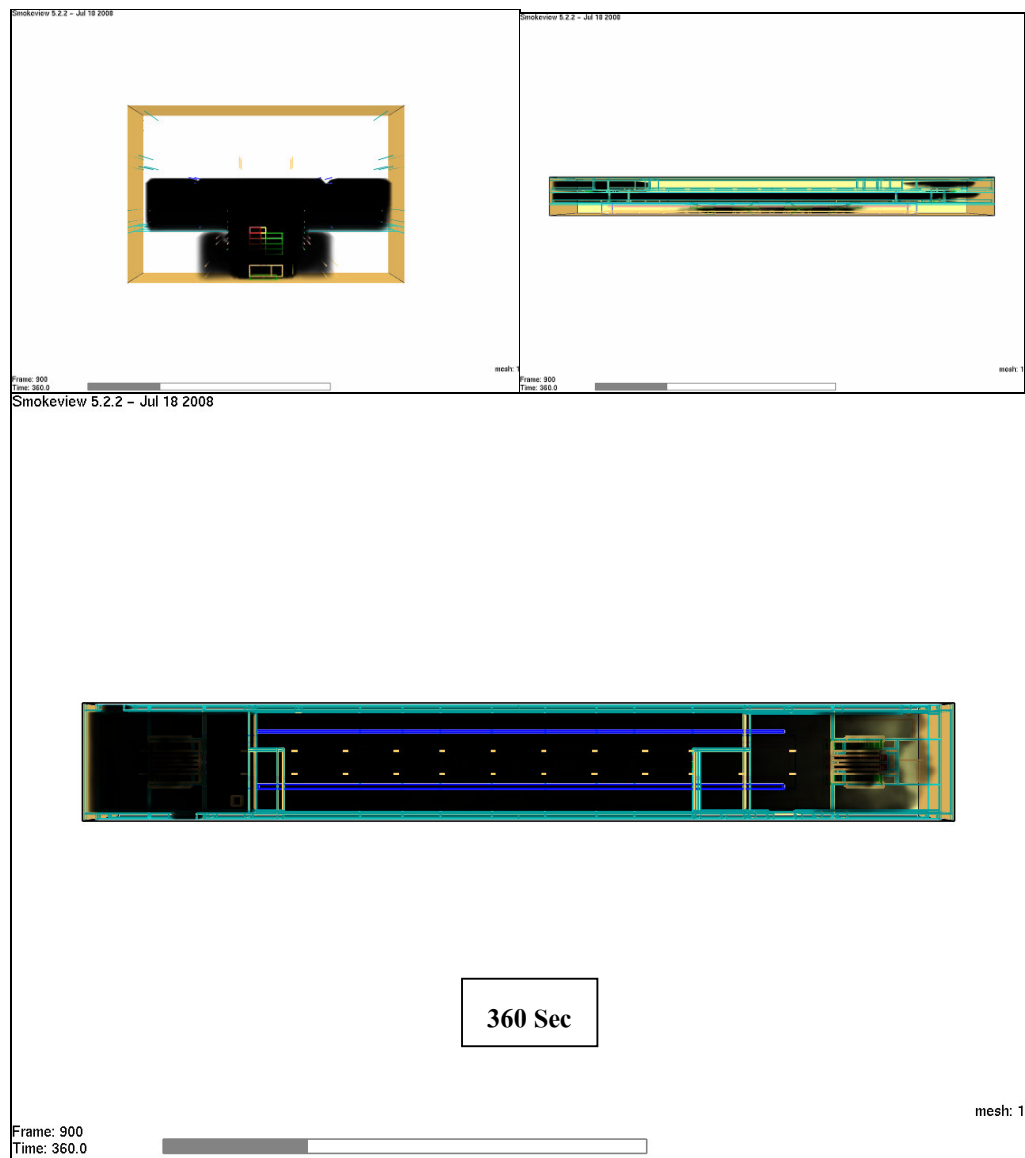
(9)

ภาพที่ 84 (ต่อ)



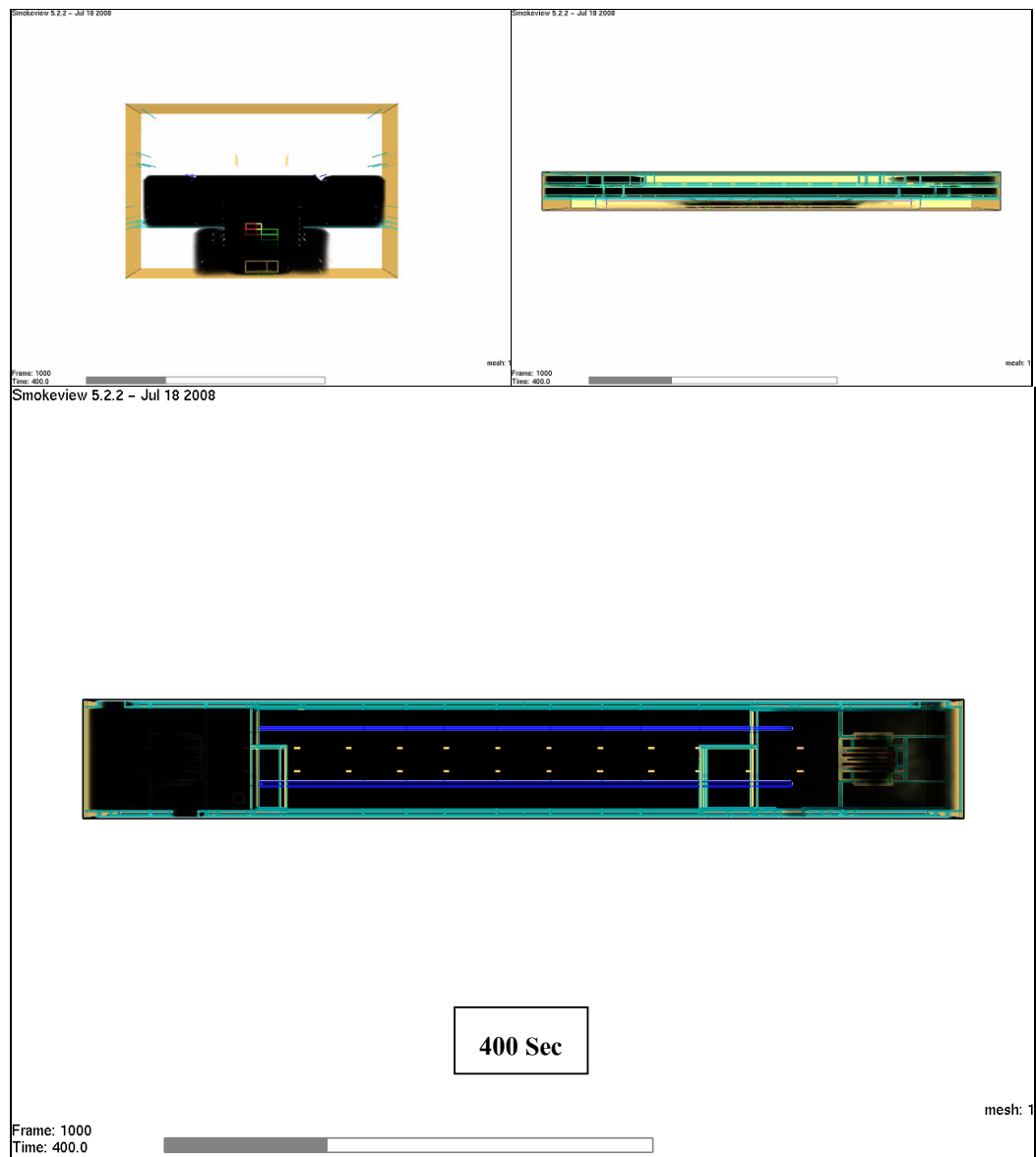
(จ)

ภาพที่ 84 (ต่อ)



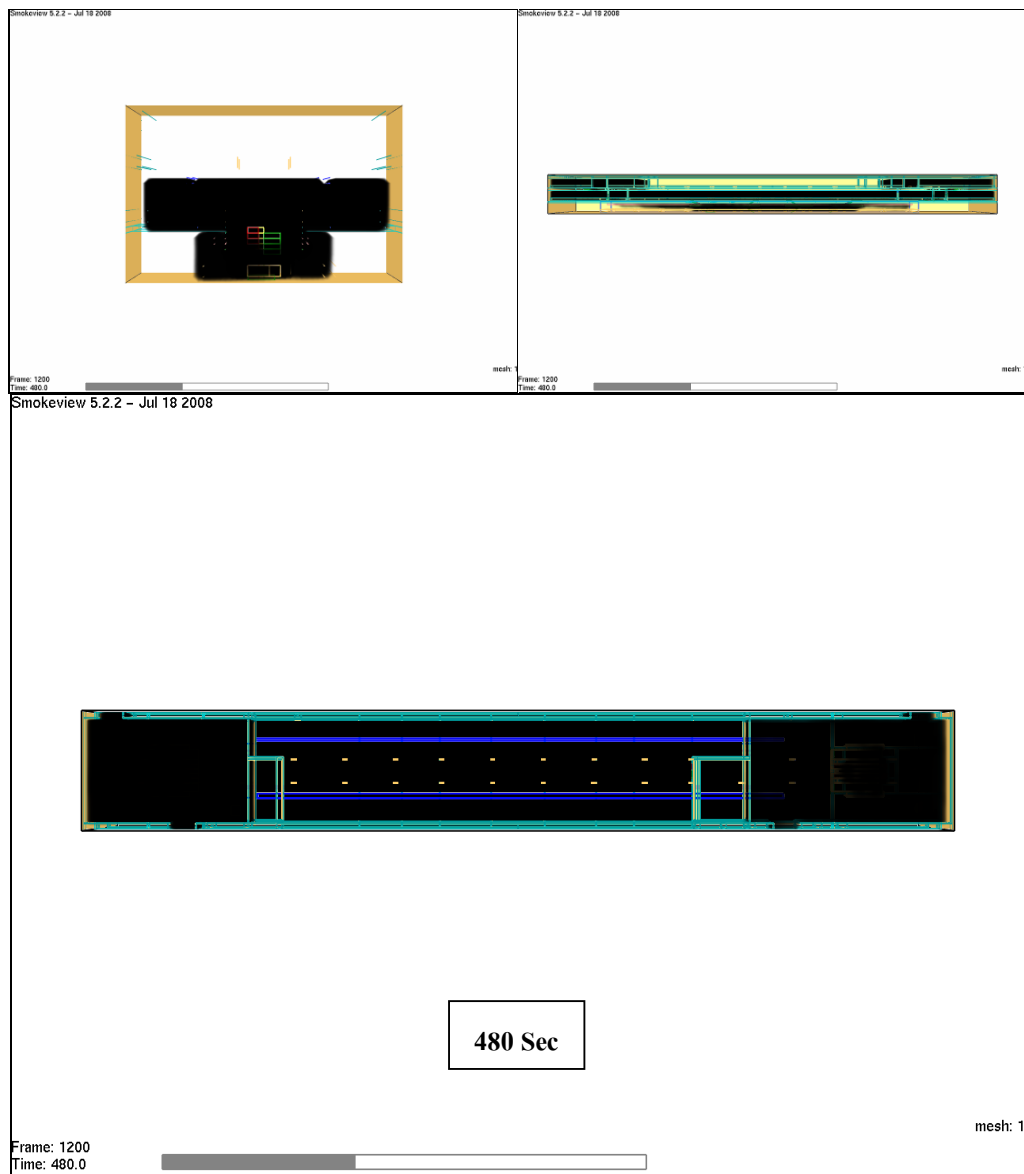
(ก)

ภาพที่ 84 (ต่อ)



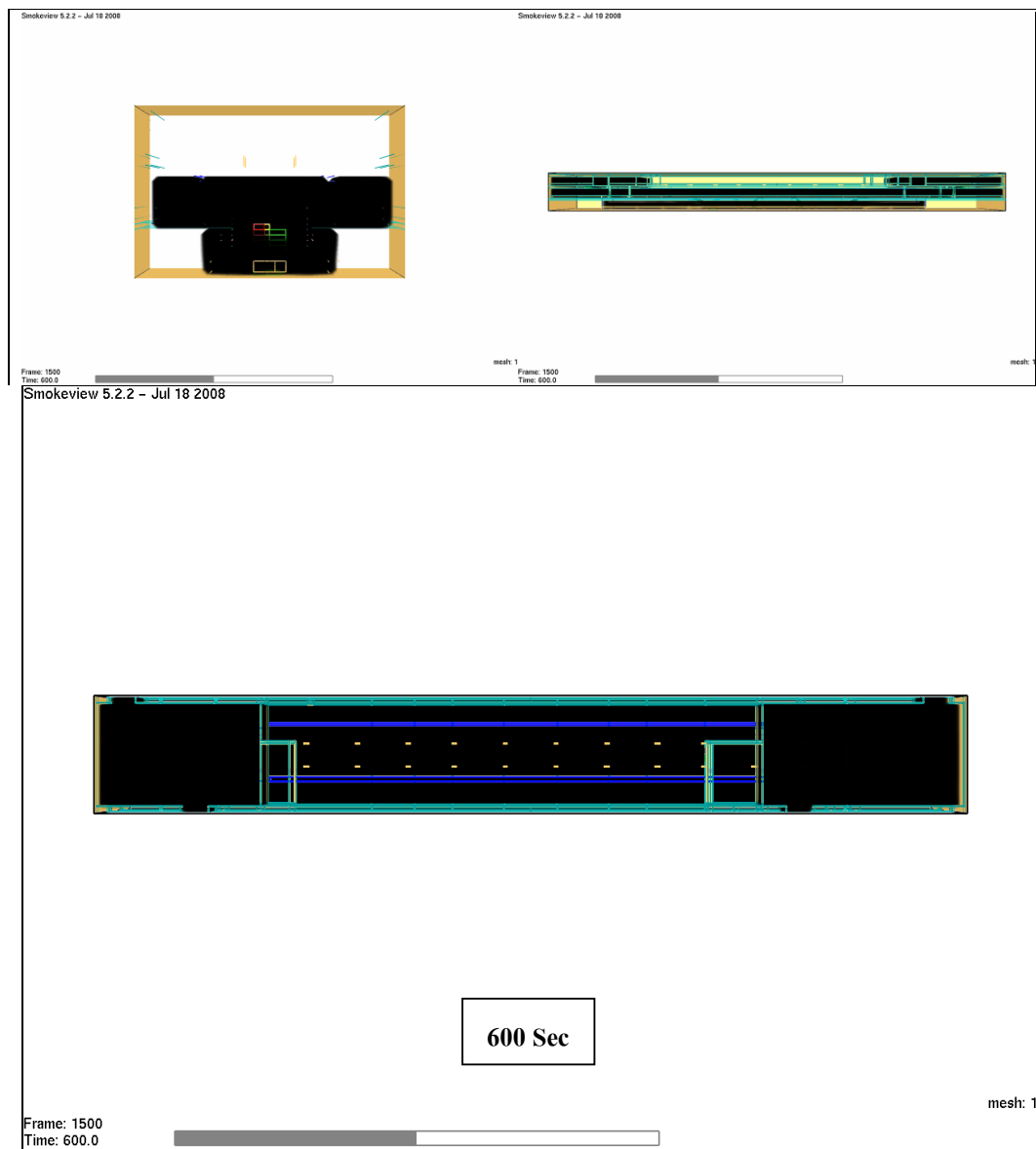
(ข)

ภาพที่ 84 (ต่อ)



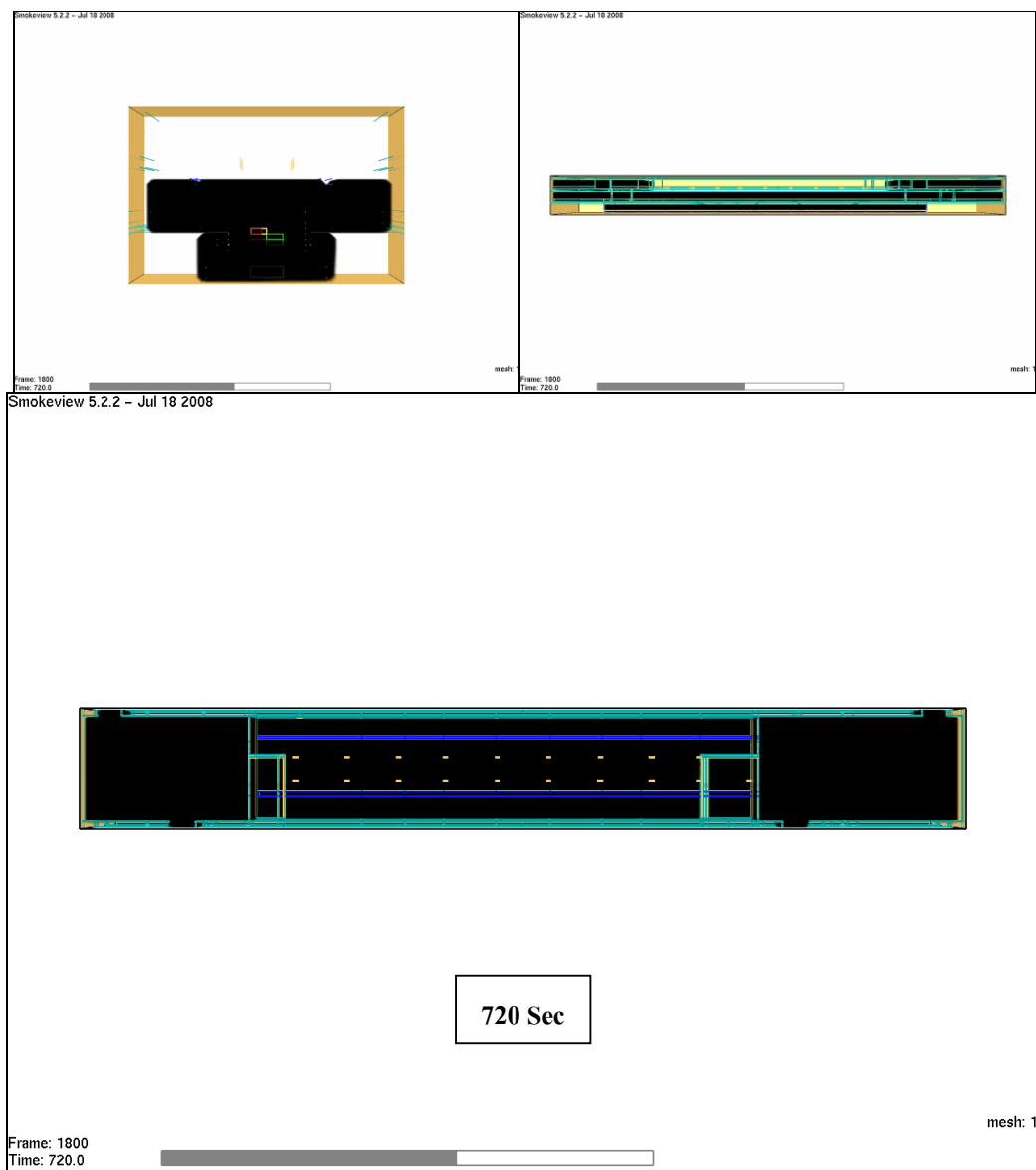
(ข)

ภาพที่ 84 (ต่อ)



(ณ)

ภาพที่ 84 (ต่อ)



(ญ)

ภาพที่ 84 (ต่อ)

วิจารณ์

1. จากการประมวลผลโดยใช้โปรแกรม FDS+Evac สามารถสรุปเวลาที่ใช้ในการอพยพได้ตามตารางที่ 20 ในกรณีที่ 1.1 มีระยะเวลาการอพยพน้อยกว่ากรณีที่ 1.2 ซึ่งไม่มีระบบระบายควันจึงทำให้เวลาในการอพยพมากกว่า เป็นผลมาจากเขม่าควันไฟที่ไปลดความสามารถในการมองเห็นเป็นผลทำให้ความเร็วที่ใช้ในการอพยพลดลงไปด้วย สำหรับกรณีที่ 2 และ 3 ระยะเวลาในการอพยพเมื่อมีระบบระบายควันและไม่มีระบบระบายควันไม่แตกต่างกันมากนัก จากการคำนวณค่าความจุของบันได ST-5 พบว่ามีค่าใกล้เคียงกับค่าความจุการใช้งานของบันไดในแบบจำลอง (ดูจากตารางที่ 21) ทำให้เกิดการรอคอยที่บริเวณบันได ST-5 มากกว่าบันไดอื่นๆและเนื่องจากบันไดและบันไดเลื่อน ST-4 และ ESC-4 ไม่สามารถใช้งานได้เพราะมีกองเพลิงอยู่ใต้บันไดทั้งสอง ทำให้คนบริเวณใกล้เคียงบันไดดังกล่าวต้องมาใช้บันได ST-5 ในการอพยพ เพราะเป็นบันไดที่อยู่ใกล้เคียง

2. จากตารางที่ 22 และ 23 พบว่าคนอพยพออกโดยใช้ทางออกที่ 2 และ 4 (ทางออกฝั่งขวา) มากกว่าทางออกที่ 1 และ 3 (ทางออกฝั่งซ้าย) ซึ่งอยู่ฝั่งเดียวกันกับกองเพลิง คนส่วนใหญ่จึงใช้บันไดและบันไดเลื่อน ST-11 , ST-111 ,ESC-11 และ ESC-111 มากตามไปด้วย

3. จากตารางสรุปผลที่ 24 ถึง 26 แสดงค่าอุณหภูมิ ปริมาณก๊าซออกซิเจนและปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ในแบบจำลองที่ตำแหน่ง 1 ถึง 8 (ตำแหน่งอุปกรณ์ตรวจวัดได้แสดงไว้ในภาพที่ 29 ถึง 31) ที่ความสูง 1.8 เมตร พบว่ากรณีที่มีระบบระบายควันและไม่มีระบบระบายควัน อุณหภูมิสูงสุดที่วัดได้อยู่บริเวณใกล้กองเพลิงมีค่าเท่ากับ 70 องศาเซลเซียส และ 125 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ปริมาณก๊าซออกซิเจนต่ำสุดที่วัดได้อยู่บริเวณใกล้กองเพลิงมีค่าเท่ากับ 16 % และ 16.5 % ตามลำดับ ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์สูงสุดที่วัดได้อยู่บริเวณใกล้กองเพลิงมีค่าเท่ากับ 400 ppm และ 900 ppm ตามลำดับ

1. ค่าความสามารถในการมองเห็น

กรณีมีระบบระบายควัน

ค่าความสามารถในการมองเห็นที่ $X = 40$ (บันไดฝั่งเดียวกับกองเพลิง) มีค่าความสามารถในการมองเห็นลดลงอยู่ระหว่าง 0 – 5 เมตร ที่เวลา 360 วินาที

ค่าความสามารถในการมองเห็นที่ $X = 120$ (กลางสถานี) ที่บริเวณชั้นที่ 1 (ชั้นชานชาลา) เท่ากับ 0-5 เมตร ที่เวลา 400 วินาที ที่บริเวณชั้นที่ 2 (ชั้นขายบัตรโดยสาร) เท่ากับ 0-5 เมตร ที่เวลา 360 วินาที

ค่าความสามารถในการมองเห็นที่ $X = 187$ (บันไดฝั่งตรงข้ามกองเพลิง) เท่ากับ 0-5 เมตร ที่เวลา 400 วินาที

กรณีไม่มีระบบระบายควัน

ค่าความสามารถในการมองเห็นที่ $X = 40$ (บันไดฝั่งเดียวกับกองเพลิง) มีค่าความสามารถในการมองเห็นลดลงอยู่ระหว่าง 0 – 5 เมตร ที่เวลา 360 วินาที

ค่าความสามารถในการมองเห็นที่ $X = 120$ (กลางสถานี) ที่บริเวณชั้นที่ 1 (ชั้นชานชาลา) เท่ากับ 0-5 เมตร ที่เวลา 480 วินาที ที่บริเวณชั้นที่ 2 (ชั้นขายบัตรโดยสาร) เท่ากับ 0-5 เมตร ที่เวลา 360 วินาที

ค่าความสามารถในการมองเห็น

ที่ $X = 187$ (บันไดฝั่งตรงข้ามกองเพลิง) มีค่าความสามารถในการมองเห็นลดลงอยู่ระหว่าง 0 – 5 เมตร ที่เวลา 400 วินาที

ที่ตำแหน่ง $X = 40$ และ 187 ค่าความสามารถในการมองเห็นลดลงใกล้เคียงกันแต่ กรณีไม่มีระบบระบายควันค่าสามารถสามารถลดลงเร็วกว่ากรณีมีระบบระบายควัน

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. กรณีที่ 1 คำนวณมีผลต่อเวลาที่ใช้ในการอพยพเพราะคำนวณทำให้ค่าความสามารถในการมองเห็นลดลง ส่งผลให้ความเร็วในการอพยพลดลงตามไปด้วย สำหรับกรณีที่ 2 และ 3 ค่าความกว้างของบันไดและคำนวณมีผลต่อเวลาในการอพยพ เนื่องจากค่าความจุของบันไดใช้งานมีค่ามากกว่าค่าที่ถูกกำหนดไว้ ทำให้เกิดการรอคอยส่งผลให้ระยะเวลาในการอพยพจึงมากตามไปด้วย

2. จากแบบจำลองพบว่าเมื่อตัวแทนพบว่าเกิดเหตุเพลิงไหม้และเริ่มมีการเคลื่อนที่อพยพ จะเกิดการกระจายตัวของกลุ่มคนไปรวมกันที่บริเวณทางขึ้นบันไดและบันไดเลื่อนที่อยู่ใกล้เคียง และทำให้เกิดการรอคอยเพื่อที่จะใช้บันไดหรือบันไดเลื่อนในการอพยพ

3. จากแบบจำลองพบว่ารูปแบบการไหลของควันสำหรับระบบที่มีระบบระบายควัน พบว่ามีการไหลแบบปั่นป่วน บริเวณชั้นที่ 2 (ชั้นขายบัตรโดยสาร) ที่มีระบบอัดอากาศเข้ามาทำให้เขม่าควันเกิดการฟุ้งกระจายมากขึ้นทำให้ความสามารถในการมองเห็นบริเวณ $X = 120$ บริเวณกลางสถานี ในกรณีที่มีระบบระบายควันลดลงเร็วกว่ากรณีไม่มีระบบระบายควัน

4. จากการประมวลผลภายในเวลา 1200 วินาที พบว่าระบบระบายควันและอัดอากาศทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยภายในระยะเวลา 30 นาที ในทิศทางการอพยพไม่เกิน 65 องศาเซลเซียส (ดังแสดงไว้ในตารางที่ 9) ปริมาณก๊าซออกซิเจนไม่ต่ำกว่า 12 % และปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์สูงสุดไม่เกิน 1400 ppm (ดังแสดงไว้ในตารางที่ 10) ซึ่งค่าที่กล่าวมาข้างต้นเป็นค่าที่ไม่เกินค่าสถานะที่สามารถทนได้ (Tenability) ทำให้ไม่ปรากฏว่าตัวแทนใดๆ ในแบบจำลองเกิดอันตรายถึงชีวิต จากที่ได้กล่าวข้างต้นเวลาในการอพยพที่จากการประมวลผลเป็นเพียงเวลาขั้นต่ำเท่านั้นเพราะได้กำหนดค่าระยะเวลาในการเตรียมอพยพ (Pre-movement time) ไว้ต่ำเพื่อให้สอดคล้องกับแบบจำลองเพลิงไหม้ (Fire Model) ทำให้ตัวแทนในแบบจำลองมีการตื่นตัวที่เร็ว (จากตารางที่ 5 ในกรณีที่มีระบบแจ้งเตือน (Public Address) ระยะเวลาดังกล่าวจะเท่ากับ 60 วินาที) เมื่อนำผลค่าความสามารถในการมองเห็นมาพิจารณาพร้อมกับระยะเวลาการอพยพพบว่าในกรณีที่ 2 และ 3 ระยะเวลาที่ตัวแทนอพยพออกจากชั้นชานชาลาเฉลี่ยเท่ากับ 240 วินาที และ 420 วินาที ตามลำดับ และเวลาเฉลี่ยที่คนสุดท้ายอพยพออกจากสถานีเท่ากับ 540 วินาทีและ 720 วินาที ตามลำดับ

ในขณะที่ความสามารถในการมองเห็นที่เวลาดังกล่าวบริเวณชั้นที่1 (ชั้นชานชาลา) ยังอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถมองเห็นได้แต่บริเวณชั้นที่ 2 (ชั้นขายบัตรโดยสาร) ได้มีเขม่าควันปกคลุมไปทั่ว ในความเป็นจริงเหตุการณ์ดังกล่าวสามารถทำให้เวลาในการอพยพเพิ่มมากขึ้น เนื่องมาจากความสามารถในการมองเห็นลดลงเป็นผลให้ความเร็วในการเคลื่อนที่ลดลงตามไปด้วย โอกาสที่จะหมดสติและเกิดอันตรายต่อชีวิตจึงมีมาก

5. โครงสร้างสถานีที่มีขนาดใหญ่ทำให้สามารถบรรจุก๊าซออกซิเจนได้ในปริมาณมาก พร้อมกันนั้นยังมีพื้นที่ในการเจือจางก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์อีกด้วยจึงทำให้ในระยะเวลา 1200 วินาที ทำให้ค่าดังกล่าวไม่เกินค่าสถานะที่สามารถทนได้ (Tenability)

ข้อเสนอแนะ

1. ระยะเวลาที่ได้จากการประมวลผลแบบจำลองนี้เป็นเพียงเวลาขั้นต่ำเท่านั้นเนื่องจากระยะเวลาในการเริ่มอพยพของตัวแทนแต่ละตัวแทนถูกกำหนดด้วยค่าที่ต่ำเพื่อให้สอดคล้องกับแบบจำลองเพลิงไหม้ (Fire Model) และยังไม่ได้รวมเวลาที่ต้องอพยพขึ้นไปยังชั้นถนเนื่องจากข้อจำกัดของโปรแกรมจึงต้องทำการปรับปรุงแบบจำลองเพื่อความเหมาะสม

2. จากแบบจำลองสถานการณ์เพลิงไหม้มีขนาดกองเพลิง 7 MW ที่อัตราการเผาไหม้แบบรวดเร็วนี้จากแบบจำลองไม่ปรากฏว่ามีผู้เสียชีวิตเนื่องจากมีระบบระบายควันที่ดีและสถานีมีขนาดใหญ่ทำให้อุณหภูมิและปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ไม่มีผลต่อตัวแทนแต่ในความเป็นจริงคนที่อยู่ในสถานีเป็นเวลานานขณะเกิดเหตุมีโอกาสหมดสติและเป็นอันตรายต่อชีวิตอย่างมาก

3. การประมวลผลแบบจำลองขนาดใหญ่ทำให้พบข้อจำกัดของโปรแกรม เช่น ไม่สามารถกำหนดขนาดกริดได้ละเอียด หน่วยความจำของคอมพิวเตอร์ต้องใช้พื้นที่มาก ระยะเวลาในการประมวลผลนาน ดังนั้นหากต้องการศึกษากรณีของแบบจำลองขนาดใหญ่ควรแบ่งเป็นส่วนย่อยๆ เป็นกรณีไป

4. ชุดคำสั่ง สำหรับแบบจำลองนี้สามารถนำไปใช้ปรับปรุงเปลี่ยนแปลงรูปแบบสถานีให้เป็นแบบชานชาลาข้างและชานชาลาแบบStack ได้ และสามารถนำไปปรับเปลี่ยนตำแหน่งกองเพลิงเพื่อใช้ศึกษาพิจารณาการไหลของควันที่ตำแหน่งกองเพลิงต่างๆ ได้

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

การรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย. 2007. จำนวนผู้โดยสารเฉลี่ยรายวันแยกตามประเภทของผู้ใช้งานประจำปี 2550. กรุงเทพฯ. (อัดสำเนา)

ณัฐศักดิ์ บุญมี. 2551. การเผาไหม้และการปล่อยพลังงานความร้อน. กรุงเทพฯ. (อัดสำเนา)

Chen, T., R. Yang, Z. Sun and W. Weng. 2007. A New Composite Fire Evacuation (CEL) Model Based on Human Behavior. **Building Simulation 2007** 2007: 703-708.
Available Source: www.ibpsa.org/proceedings/BS2007/p826_final.pdf,
December 11, 2008..

Hadjisophocleous, G.V. and N. Benichou. 1997. **Fire Safety Design Guidelines for Federal Building**. Available Source: <http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/pubs/fulltext/a4409.2/index.php?ang=e>, December 11, 2008.

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>, December 11, 2008.

Heskestad, G., In P.J. DiNenno (Ed.). 1995. **SFPE Handbook of Fire Protection Engineering**, National Fire Protection Association, Quincy, MA.

Jocelyn, A. G. 1988. **A Study on Pedestrian Characteristic in Bangkok**. Master of Engineering thesis, Asian Institute of Technology.

NFPA, NFPA 130 Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems. 2007.

- 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.
- RWDI Consulting Engineers&Scientist. 2003. **History of Subway / Tunnel Fires**. Available Source: <http://www.rwdi.com/aspx/pub/Misc/HistoryofSubwayTunnel>
- Building Simulation, 2007. Available Source: <http://www.bs2007.org.cn>, 21 March 2008.
- Shields, T.J. and Boyce K.E. 2000. A study of evacuation from large retail stores. **Fire Safety Journal** 2000(35): 25-49. Available Source: <http://www.elsevier.com/locate/firesafe>. Accession no. S0379-7112(00)00013-8, 21 March 2008.
- Swee, K. Y. and H. Yaping. 2008. Commuter characteristics in mass rapid transit station in Singapore. **Fire Safety Journal** 2009 (44): 183-191. Available Source: www.elsevier.com/locate/firesafe. Fires.aspx, March 21, 2008.
- 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.
- Thunderhead_Engineering, PyroSim User Manual 2007.2. Available Source: <http://thunderheadeng.com/pyrosim/>, 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.

Walter, W. Y. and K. C. Wan. 2005. **A New Method for Selecting the Design Fire for Safety**

Provision. Available Source: www.engr.ucsb.edu/~yuen/current_paper/design-fire-proof.pdf, December 11, 2008.

Zhong, W., H.B. Wang and Peng. W. 2007. **A Study of Ootimal Arrange of Vent in a**

Subway Station. Available Source: www.ibpsa.org/proceedings/BS2007/p186final.pdf, January 12, 2009., January 12, 2009.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

คุณสมบัติกลุ่มตัวแทนและจำนวนคนและที่ใช้ในแบบจำลอง

1. จำนวนผู้โดยสารเฉลี่ยรายวันแยกตามประเภทของผู้ใช้งาน ประจำปี 2550

ตารางผนวกที่ ก แสดงสัดส่วนจำนวนผู้โดยสารเฉลี่ยประจำปี 2550

ประเภทของผู้ใช้งาน	จำนวนผู้โดยสารเฉลี่ย
	ร้อยละ
บุคคลทั่วไป	70.42
เด็ก	0.35
ผู้สูงอายุ	2.22
นักเรียน	8.42
นักท่องเที่ยว	0.13
ผู้โดยสาร 30 วัน	18.43
อื่นๆ	0.03
	100

หมายเหตุ บุคคลทั่วไป	หมายถึง	ผู้โดยสารที่ใช้เหรียญโดยสารและบัตรเติมเงินประเภทบุคคลทั่วไป และบัตรโดยสารธุรกิจ
เด็ก	หมายถึง	เด็กที่มีความสูงระหว่าง 90 ถึง 120 เซนติเมตร
ผู้สูงอายุ	หมายถึง	ผู้ที่มีอายุตั้งแต่ 60 ปีขึ้นไป
นักเรียน	หมายถึง	นักเรียน-นักศึกษา อายุไม่เกิน 23 ปี ที่ใช้บัตรเติมเงินประเภทนักเรียน/นักศึกษา
นักท่องเที่ยว	หมายถึง	ผู้โดยสารที่ใช้บัตรเติมเงิน 1 วัน และ 3 วัน
ผู้โดยสาร 30 วัน	หมายถึง	ผู้โดยสารที่ใช้บัตรประเภท 30 วัน
อื่นๆ	หมายถึง	ค่าธรรมเนียมต่างๆที่เรียกเก็บจากผู้โดยสาร เช่น การอยู่ในระบบเกินเวลาที่กำหนด หรือการทำบัตรเติมเงิน หรือเหรียญโดยสารสูญหาย เป็นต้น

ที่มา: การรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย (2550)

2. นำข้อมูลที่ได้มาแบ่งเป็นกลุ่มตัวแทน 3 กลุ่ม

ตารางผนวกที่ ก2 แสดงจำนวนสัดส่วนผู้โดยสารที่ทำการปรับปรุงใหม่

ประเภทของ ผู้ใช้งาน	จำนวนผู้โดยสารเฉลี่ย
	ร้อยละ
Adult	97.43
Child	0.35
Elderly	2.22
	100

3. จำนวนผู้โดยสารที่สถานีรถไฟใต้ดินรัชดาภิเษก ประจำปี 2550 ที่ช่วงเวลา 7.00 น.-8.00 น. ในวันธรรมดา

ผู้โดยสารขาเข้าระบบจำนวน 1,281 คน

ผู้โดยสารขาออกระบบจำนวน 364 คน

ตารางผนวกที่ ก3 แสดงจำนวนตัวแทนในแต่ละกรณีที่กำหนดในแบบจำลอง

ประเภทของ ผู้ใช้งาน	กรณีที่ 1 เดินรถปกติ 4 นาที	กรณีที่ 2 เกิดการรอคอย 16 นาที	กรณีที่ 3 เกิดการรอคอย 30 นาที
Adult	106	333	625
Child	1	1	2
Elderly	2	8	14
รวม	110	342	641

หมายเหตุ ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้าวันธรรมดา (วันจันทร์ – วันศุกร์) หมายถึง ช่วงเวลา 06:00 น. ถึง 09:00 น.

ช่วงเวลาเร่งด่วนเย็นวันธรรมดา (วันจันทร์ – วันศุกร์) หมายถึง ช่วงเวลา 16:30 น. ถึง 19:30 น.

ช่วงเวลาเร่งด่วน วันหยุด (วันเสาร์ วันอาทิตย์ และวันหยุดนักขัตฤกษ์) หมายถึง

ช่วงเวลา 11:00 น. ถึง 18:00 น.

4. คุณสมบัติของตัวแทนที่ถูกระบุภายในโปรแกรม

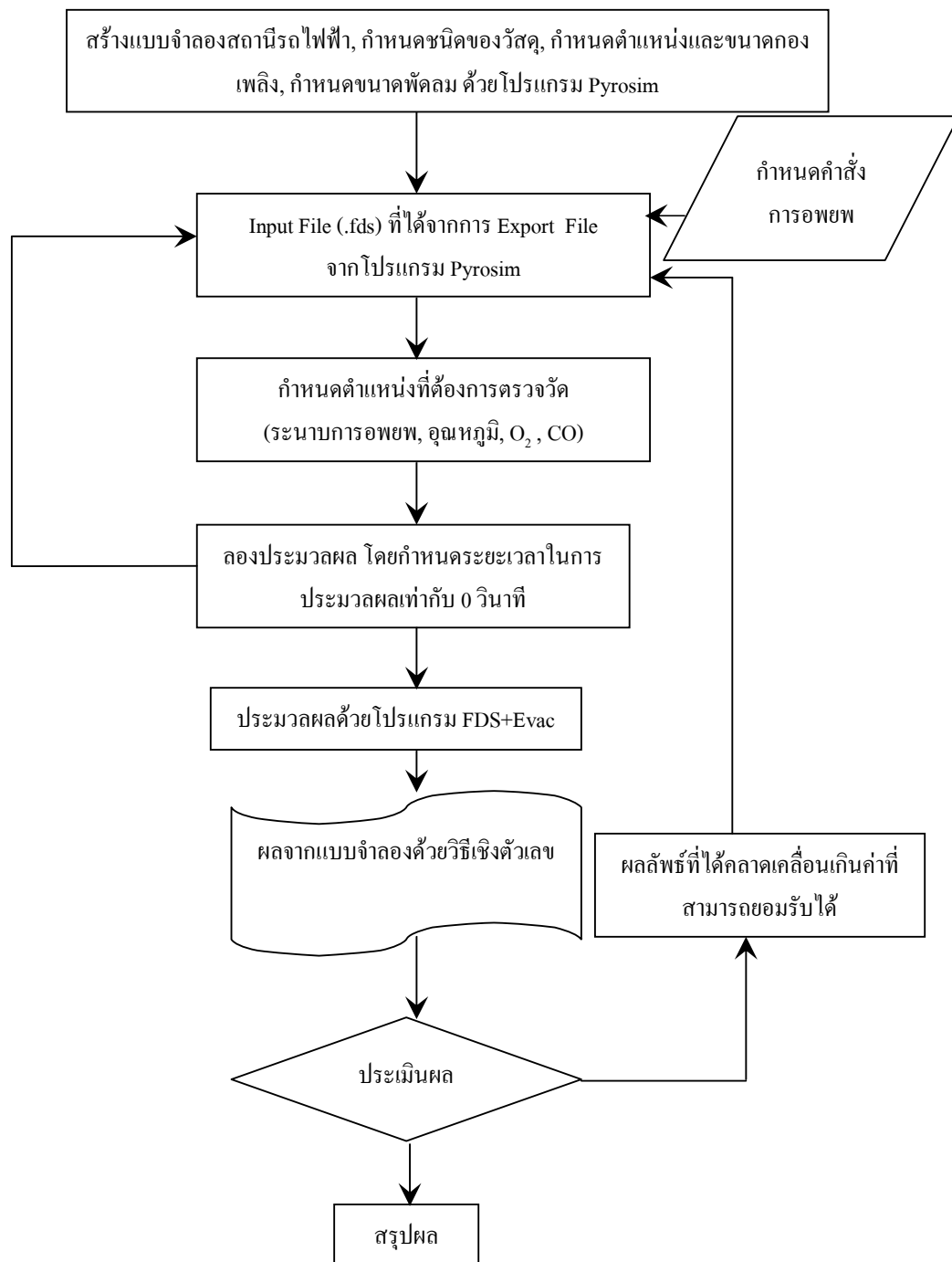
ตารางผนวกที่ ก4 แสดงคุณสมบัติของตัวแทนแต่ละกลุ่มที่ถูกกำหนดไว้ในโปรแกรม

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

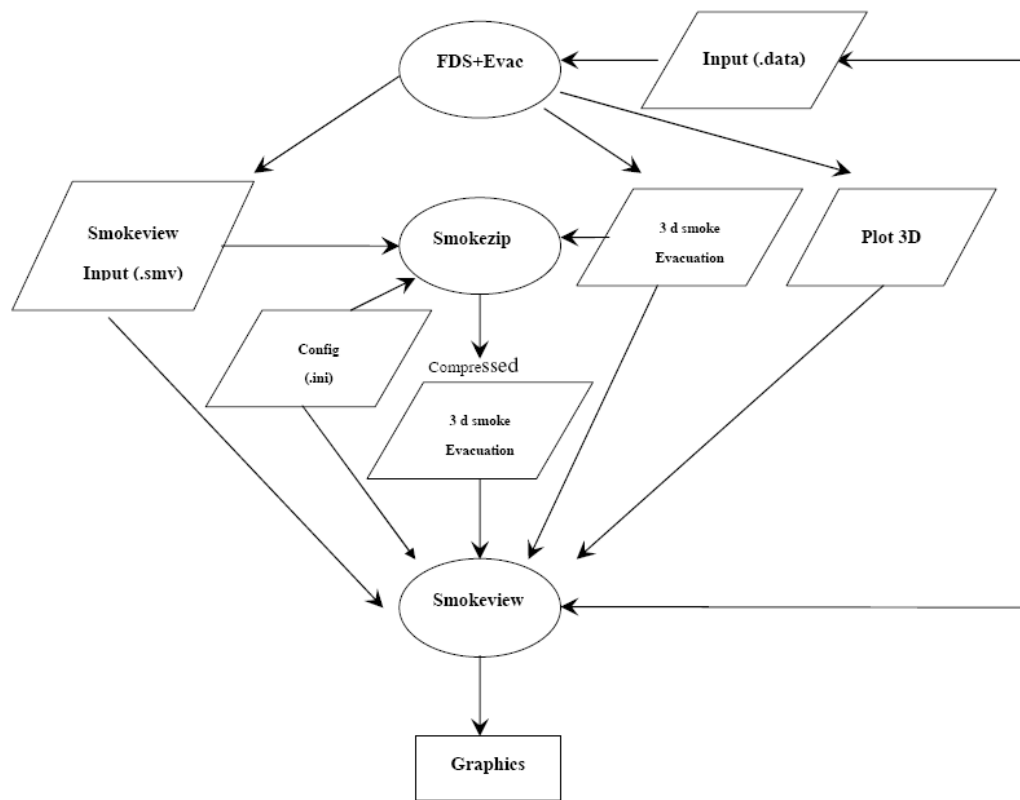
ที่มา: Fire Dynamics Simulator with Evacuation FDS+Evac, Version 5. Technical Reference and User's Guide

ภาคผนวก ข

ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม (Flowchart)



ภาพผนวกที่ ข1 ขั้นตอนการใช้โปรแกรม FDS+Evac



ภาพผนวกที่ ข2 สถาปัตยกรรมของโปรแกรม FDS+Evac

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสาววิวรรณ อัสวสุชี
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 3 กรกฎาคม 2525
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	วศ.บ. สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	วิศวกร(เครื่องกล)
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	การรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย