



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย)

ปริญญา

วิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย

โครงการสหวิทยาการระดับบัณฑิตศึกษา

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การศึกษาการอพยพหนีไฟออกจากห้องสมุดมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา
ด้วยระบบวิธีเชิงตัวเลข

A Numerical Study of Fire Evacuation Out of the Library Building
of Kasetsart University, Si Racha Campus

นายผู้วิจัย นายวิทยา จิระสิงห์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(อาจารย์สุภัทร พัฒน์วิชัยโชติ, วศ.ค.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ณัฐศักดิ์ บุญมี, Ph.D.)

ประธานสาขาวิชา

(รองศาสตราจารย์สุรชัย รดาการ, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

สิงสิงห์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การศึกษาการอพยพหนีไฟออกจากห้องสมุดมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา
ด้วยระบบวิธีเชิงตัวเลข

A Numerical Study of Fire Evacuation Out of the Library Building
of Kasetsart University, Si Racha Campus

โดย

นายวิทยา วุฒิจรัสสังข์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย)

พ.ศ. 2553

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยายุทธ จิระสิงห์ 2553: การศึกษาการอพยพหนีไฟออกจากห้องสมุดมหาวิทยาลัย
เกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชาด้วยระบบวิธีเชิงตัวเลข ปรินญาวิศวกรรมศาสตร
มหาบัณฑิต (วิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย) สาขาวิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย โครงการ
สหวิทยาการระดับบัณฑิตศึกษา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก:
อาจารย์สุภัทร พัฒน์วิชัย โชติ, วศ.ค. 195 หน้า

วิทยานิพนธ์นี้แสดงผลการศึกษาการอพยพหนีไฟออกจากอาคารห้องสมุดมหาวิทยาลัย
เกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชาด้วยระบบวิธีเชิงตัวเลข โดยใช้โปรแกรม Fire Dynamics
Simulator with Evacuation (FDS+Evac.) การศึกษาได้ทำการจำลองการอพยพในสถานการณ์
เพลิงไหม้ภายในอาคารห้องสมุดสูง 15.3 เมตร จำนวน 4 ชั้น กว้าง 22.8 เมตร ยาว 54.8 เมตร ชั้นที่
1 สูง 3.6 เมตร ชั้นที่ 2, 3 และ 4 สูง 2.7 เมตร มีบันได 2 บันไดอยู่คนละฝั่งของอาคาร ชั้นที่ 1 มี
ประตูทางออกตรงกลางเพียงประตูเดียว อาคารมีระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิงแต่สมมติให้ไม่
ทำงานเพื่อกำหนดเป็นสถานการณ์ร้ายแรงที่สุด การจำลองสถานการณ์แบ่งเป็น 4 กรณี คือ กรณีที่
1 ผู้อพยพ 517 คน อัตราการปลดปล่อยความร้อน 5 MW กรณีที่ 2 ผู้อพยพ 517 คน อัตราการ
ปลดปล่อยความร้อน 7 MW กรณีที่ 3 ผู้อพยพ 788 คน อัตราการปลดปล่อยความร้อน 5 MW และ
กรณีที่สุดท้าย ผู้อพยพ 788 คน อัตราการปลดปล่อยความร้อน 7 MW

ผลการศึกษาพบว่า กรณีที่ 1 และ 2 ใช้เวลาในการอพยพ 8.63 นาที และ 8.81 นาที ทั้ง
สองกรณีไม่พบผู้เสียชีวิต กรณีที่ 3 และกรณีที่สุดท้ายใช้เวลาในการอพยพ 18.17 นาที และ 18.83
นาที โดยพบผู้เสียชีวิต 1 คน และ 18 คน ตามลำดับ จากผลการทดลองสรุปได้ว่าจำนวนผู้อพยพ
และขนาดของกองเพลิงมีผลกระทบต่อผู้อพยพโดยตรง เนื่องจากความแออัดในการอพยพและ
ปริมาณสารพิษที่เพิ่มขึ้น ดังนั้น ควรทำการปรับปรุงบันไดทางฝั่งขวาของอาคารให้เป็นบันไดหนี
ไฟเพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการอพยพ

Withayavuth Jirasingha 2010: A Numerical Study of Fire Evacuation Out of the Library Building of Kasetsart University, Si Racha Campus. Master of Engineering (Fire Protection Engineering), Major Field: Fire Protection Engineering, Interdisciplinary Graduate Program. Thesis Advisor: Mr. Supat Patvichaichote, D. Eng. 195 pages.

This thesis presents a numerical study of fire evacuation out of the library building of the Sriracha Campus of Kasetsart University by using Fire Dynamics Simulator with Evacuation (FDS+Evac) program. The study attempts to simulate an evacuation due to a burning fire in the main library building. The library building is 15.3 meters high and has four floors with a total building dimension of 22.8 meters by 54.8 meters. The first floor is 3.6 meters high while the second, third, and fourth floors are all 2.7 meters high. The library building has two stairwells on both ends. The first floor has only one exit in the center of the building. The library building has a sprinkler system, but this study assumes it isn't activated in the worst case. This simulation is divided into four cases: the first case is characterized by 517 people with a heat release rate of 5 MW, the second case is characterized by 517 people with a heat release rate of 7 MW, the third case is characterized by 788 people with a heat release rate of 5 MW, and the final case is characterized by 788 people with a heat release rate of 7 MW.

This study shows that the first case and the second case have evacuation time of 8.63 minutes and 8.81 minutes in which people didn't die. The third case and the final case have evacuation time of 18.17 minutes and 18.83 minutes in which 1 person and 18 persons died, respectively. The experiment concludes that the immigrant is directly impacted by the number of immigrants and the size of the burning source due to the congestion of immigrants and the large toxic quantities. Therefore, stairwell on the right side should be improved and used as a fire exit to increase an evacuation capacity.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ

อ.ดร.สุภัทร พัฒน์วิชัย โชติ ประธานกรรมการที่ปรึกษาหลัก ที่คอยช่วยเหลือและให้คำปรึกษาแนะนำ รวมทั้งข้อมูลประกอบในการจัดวิทยานิพนธ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ณัฐศักดิ์ บุญมี ประธานกรรมการที่ปรึกษาร่วมที่คอยให้คำปรึกษาและแนะนำการใช้งานโปรแกรมสำหรับจัดทำวิทยานิพนธ์

รองศาสตราจารย์ ดร.สุรัชย์ รดาการ ประธานโครงการภาควิชาวิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย สาขาวิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรีมพัฒน์ สุจ้านงค์ โดกุล อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ เครื่องกล มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ได้ให้โอกาสได้ไปศึกษาดูงานที่มหาวิทยาลัยขอนแก่น

อาจารย์ทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวถึง ที่มาอบรมและให้ความรู้ที่โครงการวิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Mr.Timo Korhonen สถาบัน VTT Technical Research Centre ประเทศฟินแลนด์ สำหรับทุกคำตอบของปัญหาต่างๆของโปรแกรม

เจ้าหน้าที่โครงการวิศวกรรมป้องกันอัคคีภัยที่คอยให้ความช่วยเหลือและความสะดวกในระหว่างการศึกษาและจัดทำวิทยานิพนธ์จนแล้วเสร็จ

ด้วยความดีหรือประโยชน์อันใดเนื่องจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอมอบแต่ คุณปู่ คุณย่า คุณตา คุณยาย คุณพ่อ คุณแม่ คุณน้ำ คุณอา พี่ๆ น้องๆ ทุกคน ที่มีส่วนในการสนับสนุนมาโดยตลอด

วิทยาวัช จิระสิงห์

กุมภาพันธ์ 2553

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(13)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	57
อุปกรณ์	57
วิธีการ	57
ผลและวิจารณ์	71
ผล	71
วิจารณ์	88
สรุปและข้อเสนอแนะ	92
สรุป	92
ข้อเสนอแนะ	92
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	94
ภาคผนวก	96
ภาคผนวก ก คำสั่งในโปรแกรม FDS+Evac.	97
ภาคผนวก ข การคำนวณความจุคนของพื้นที่อพยพ	128
ภาคผนวก ค ภาพแสดงการอพยพ	132
ภาคผนวก ง กราฟแสดงผลต่างๆ	137
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	195

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ชนิดของ Node ของโปรแกรม EVACNET 4	14
2	ผลลัพธ์ที่ได้หลังจากประมวลผลของโปรแกรม Exit 89	16
3	เวลาการอพยพของ โปรแกรม EXODUS กับพฤติกรรมการเดินทางตรงและไม่ตรง	22
4	ผลของแบบจำลองเหตุการณ์ที่ได้จาก โปรแกรม	24
5	ความเร็วในการเดินหลบหนีสิ่งกีดขวางและขนาดรูปร่าง	30
6	ความชอบของกลุ่มคนส่วนใหญ่ที่ใช้เป็นกระบวนการตัดสินใจในการเลือก ทางออก	36
7	เวลาก่อนการเคลื่อนที่อพยพในอาคารแต่ละประเภท	39
8	ความเร็วในการเดินที่ขึ้นกับหลายปัจจัยที่มีอิทธิพล	41
9	ความเร็วในการเดินบนบันไดในหลายลักษณะขนาดของบันได	42
10	อัตราการเคลื่อนที่อพยพของจำนวนนักเรียนที่อพยพผ่านบันไดในแต่ละชั้น	43
11	เวลาการเดินทางแบบอิสระและความเร็วในการเดินลงบันไดของกลุ่มตัวอย่าง นักเรียน 6 คน	43
12	ค่าเฉลี่ยการรับรู้เหตุเพลิงไหม้	44
13	การศึกษาการเปรียบเทียบพฤติกรรมการแสดงออกของประชากรของประเทศ อังกฤษและประเทศอเมริกา	45
14	เหตุผลในการกลับเข้าไปในทิศทางเดิม	46
15	พฤติกรรมการต่อสู้อุปกรณ์ของเพศและอายุ	47
16	การเปรียบเทียบระยะเวลาทางการเคลื่อนที่ผ่านควันของประชากรของประเทศ อังกฤษและประเทศสหรัฐอเมริกา	48
17	ค่าเฉลี่ยในแต่ละเดือนของผู้เข้าใช้บริการห้องสมุดปี 2552	52
18	ผลการคำนวณความจุคนตามมาตรฐาน NFPA 101, Life Safety Code, 2009 Edition	52
19	การเลือกขนาดกองเพลิงที่ใช้ในการจำลองสถานการณ์เพลิงไหม้ในเอเชีย	59
20	ผลของระยะเวลาในการคำนวณขนาดกริดแต่ละขนาดโครงข่ายเพลิงไหม้	60

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
21	อุณหภูมิของอากาศที่ผู้อพยพสามารถทนได้	62
22	ปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์ที่ผู้อพยพสามารถทนได้	62
23	แสดงเวลาที่ใช้ทั้งหมดในการอพยพออกจากอาคารห้องสมุด	74
24	ตารางแสดงจำนวนผู้อพยพที่เลือกใช้บันไดทั้งสองฝั่งของอาคาร	74
25	ตารางแสดงอุณหภูมิเฉลี่ยของชั้นที่ 1	75
26	ตารางแสดงอุณหภูมิเฉลี่ยของชั้นที่ 2	75
27	ตารางแสดงอุณหภูมิเฉลี่ยของชั้นที่ 3	75
28	ตารางแสดงอุณหภูมิเฉลี่ยของชั้นที่ 4	76
29	ปริมาณก๊าซออกซิเจนของชั้นที่ 1 ที่เวลา 600 และ 1200 วินาที	76
30	ปริมาณก๊าซออกซิเจนของชั้นที่ 2 ที่เวลา 600 และ 1200 วินาที	76
31	ปริมาณก๊าซออกซิเจนของชั้นที่ 3 ที่เวลา 600 และ 1200 วินาที	77
32	ปริมาณก๊าซออกซิเจนของชั้นที่ 4 ที่เวลา 600 และ 1200 วินาที	77
33	ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ของชั้นที่ 1 ที่เวลา 600 และ 1200 วินาที	77
34	ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ของชั้นที่ 2 ที่เวลา 600 และ 1200 วินาที	78
35	ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ของชั้นที่ 3 ที่เวลา 600 และ 1200 วินาที	78
36	ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ของชั้นที่ 4 ที่เวลา 600 และ 1200 วินาที	78

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	การสร้างแบบจำลองของพื้นที่ในการอพยพของโปรแกรม Pathfinder	6
2	การสร้างการทำงานของประตูและบันไดของโปรแกรม Pathfinder	6
3	กราฟผลการเปรียบเทียบการอพยพเทียบกับมาตรฐาน SFPE	7
4	ผลการทำงานของการอพยพออกเป็นสามมิติของโปรแกรม Pathfinder	8
5	แผนที่ระยะทางในเส้นทางอพยพของโปรแกรม Simulex	9
6	ผลการอพยพของโปรแกรม Simulex	10
7	ผลการอพยพของโปรแกรม Exodus	11
8	การสร้างแบบจำลองพื้นที่อพยพของโปรแกรม FDS+Evac.	12
9	ผลการอพยพของโปรแกรม FDS+Evac.	13
10	กราฟโครงสร้างของโปรแกรม EVACNET 4	14
11	จำนวนคนที่เคลื่อนที่อพยพในแต่ละช่วงเวลา	19
12	จำนวนคนที่อพยพออกจากภายในอาคารในเวลาช่วงใดๆ	20
13	เส้นทางการเคลื่อนที่ของผู้อพยพในกรณีการปรับตัวในสถานการณ์ที่มีควัน	21
14	ภาพขนาดของแผนผังพื้นที่โดยระบุประตูทางออกไว้ 4 ทางออก	23
15	จำนวนประตูของห้องสมุดกลางมหาวิทยาลัยเฮลซิงกิ	25
16	การเพิ่มจำนวนของผู้อพยพในแต่ละประตูที่เลือกใช้	25
17	ภาพการจัดตำแหน่งในห้องเรียนที่ทำการทดลองอพยพ	26
18	ภาพค่าความรู้สึกต่อความหนาแน่นผู้อพยพในพื้นที่ทางออกกับเวลา	27
19	ภาพขนาดรูปร่างของคน โดยการใช้วงกลม 3 วง มาวางซ้อนเหลื่อมกัน	30
20	ภาพแนวคิดของแรงกระทำรอบข้าง	31
21	ภาพการกำหนดครีสมิของเวกเตอร์ R^c และ R^{soc}	32
22	ภาพอาคารห้องสมุดมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา	49
23	ภาพแผนผังภายในอาคารห้องสมุดชั้นที่ 1	49
24	ภาพแผนผังภายในอาคารห้องสมุดชั้นที่ 2	50
25	ภาพแผนผังภายในอาคารห้องสมุดชั้นที่ 3	50

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
26	ภาพแผนผังภายในอาคารห้องสมุดชั้นที่ 4	51
27	ภาพประตูทางเข้าบันไดหนีไฟของอาคารห้องสมุดชั้น 4	53
28	ภาพบันไดหนีไฟทางด้านฝั่งซ้ายของอาคารห้องสมุด	53
29	ภาพบันไดที่ใช้งานปกติทางด้านฝั่งขวาของอาคารห้องสมุด	54
30	ภาพทิศทางการอพยพในแต่ละชั้นภายในของอาคารห้องสมุด	54
31	ภาพเส้นทางการอพยพออกที่ชั้น 1 ทางด้านหน้าอาคารและทางประตูหนีไฟ	55
32	ภาพการอพยพภายในบันไดด้านซ้ายของอาคาร	55
33	ภาพการอพยพภายในบันไดด้านขวาของอาคาร	56
34	กราฟแสดงค่าของอุณหภูมิชั้นที่ 3 ที่อุปกรณ์ตรวจวัดตัวที่ 16	60
35	กราฟแสดงค่าของอุณหภูมิชั้นที่ 3 ที่อุปกรณ์ตรวจวัดตัวที่ 17	61
36	ภาพอาคารชั้นสามที่เป็นจุดต้นเพลิงและอุปกรณ์วัดอุณหภูมิตัวที่ 16, 17	61
37	ภาพการกำหนดขนาดโครงข่ายเพลิงไหม้ด้วยโปรแกรม Pyrosim 2008	64
38	ภาพด้านหน้าของอาคารห้องสมุดด้วยโปรแกรม Pyrosim 2008	64
39	ภาพภายในของอาคารห้องสมุดด้วยโปรแกรม Pyrosim 2008	65
40	ภาพพื้นที่ภายในของอาคารห้องสมุดชั้นที่ 1 ด้วยโปรแกรม Pyrosim 2008	65
41	ภาพพื้นที่ภายในของอาคารห้องสมุดชั้นที่ 2 ด้วยโปรแกรม Pyrosim 2008	65
42	ภาพพื้นที่ภายในของอาคารห้องสมุดชั้นที่ 3 ด้วยโปรแกรม Pyrosim 2008	66
43	ภาพพื้นที่ภายในของอาคารห้องสมุดชั้นที่ 4 ด้วยโปรแกรม Pyrosim 2008	66
44	ภาพตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์วัดปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์ชั้นที่ 1	66
45	ภาพตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์วัดปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์ชั้นที่ 2	67
46	ภาพตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์วัดปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์ชั้นที่ 3	67
47	ภาพตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์วัดปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์ชั้นที่ 4	67
48	ภาพตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์วัดปริมาณออกซิเจนชั้นที่ 1	68
49	ภาพตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์วัดปริมาณออกซิเจนชั้นที่ 2	68
50	ภาพตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์วัดปริมาณออกซิเจนชั้นที่ 3	68

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
51	ภาพตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์วัดปริมาณออกซิเจนชั้นที่ 4	69
52	ภาพตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิชั้นที่ 1	69
53	ภาพตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิชั้นที่ 2	69
54	ภาพตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิชั้นที่ 3	70
55	ภาพตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิชั้นที่ 4	70
56	การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันที่เวลา 100 วินาที กรณีที่หนึ่ง	79
57	การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันที่เวลา 200 วินาที กรณีที่หนึ่ง	79
58	การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันที่เวลา 300 วินาที กรณีที่หนึ่ง	80
59	การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันที่เวลา 400 วินาที กรณีที่หนึ่ง	80
60	การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันที่เวลา 500 วินาที กรณีที่หนึ่ง	80
61	การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันที่เวลา 600 วินาที กรณีที่หนึ่ง	80
62	การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันที่เวลา 100 วินาที กรณีที่สอง	81
63	การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันที่เวลา 200 วินาที กรณีที่สอง	81
64	การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันที่เวลา 300 วินาที กรณีที่สอง	81
65	การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันที่เวลา 400 วินาที กรณีที่สอง	81
66	การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันที่เวลา 500 วินาที กรณีที่สอง	82
67	การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันที่เวลา 600 วินาที กรณีที่สอง	82
68	การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันที่เวลา 100 วินาที กรณีที่สาม	82
69	การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันที่เวลา 200 วินาที กรณีที่สาม	82
70	การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันที่เวลา 300 วินาที กรณีที่สาม	83
71	การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันที่เวลา 400 วินาที กรณีที่สาม	83
72	การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันที่เวลา 500 วินาที กรณีที่สาม	83
73	การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันที่เวลา 600 วินาที กรณีที่สาม	83
74	การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันที่เวลา 700 วินาที กรณีที่สาม	84
75	การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันที่เวลา 800 วินาที กรณีที่สาม	84

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
76	การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันที่เวลา 900 วินาที กรณีที่สาม	84
77	การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันที่เวลา 1000 วินาที กรณีที่สาม	84
78	การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันที่เวลา 1100 วินาที กรณีที่สาม	85
79	การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันที่เวลา 1200 วินาที กรณีที่สาม	85
80	การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันที่เวลา 100 วินาที กรณีที่สี่	85
81	การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันที่เวลา 200 วินาที กรณีที่สี่	85
82	การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันที่เวลา 300 วินาที กรณีที่สี่	86
83	การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันที่เวลา 400 วินาที กรณีที่สี่	86
84	การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันที่เวลา 500 วินาที กรณีที่สี่	86
85	การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันที่เวลา 600 วินาที กรณีที่สี่	86
86	การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันที่เวลา 700 วินาที กรณีที่สี่	87
87	การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันที่เวลา 800 วินาที กรณีที่สี่	87
88	การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันที่เวลา 900 วินาที กรณีที่สี่	87
89	การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันที่เวลา 1000 วินาที กรณีที่สี่	87
90	การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันที่เวลา 1100 วินาที กรณีที่สี่	88
91	การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันที่เวลา 1200 วินาที กรณีที่สี่	88
ภาพผนวกที่		
ค1	การอพยพช่วงเริ่มต้น 15 วินาที ควันไฟเริ่มเคลื่อนตัวออกมาจากชั้น 3 ห้อง AHU	133
ค2	การอพยพที่ 250 วินาที ขณะควันไฟลามลงมาชั้นที่ 2 ของอาคาร	133
ค3	การอพยพที่เวลา 517 วินาที ผู้อพยพคนสุดท้ายออกจากอาคาร	133
ค4	การอพยพช่วงเริ่มต้นที่ 15 วินาที ควันไฟเริ่มเคลื่อนตัวออกมาจากชั้น 3 ห้อง AHU	134
ค5	การอพยพที่ 250 วินาที ขณะควันไฟลามลงมาชั้นที่ 2 ของอาคาร	134
ค6	การอพยพที่เวลา 529 วินาที ผู้อพยพคนสุดท้ายออกจากอาคาร	134

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า
ค7 การอพยพช่วงเริ่มต้นที่ 15 วินาที คิวไฟเริ่มเคลื่อนตัวออกมาจากชั้น 3 ห้อง AHU	135
ค8 การอพยพที่ 250 วินาที ขณะคิวไฟลามลงมาชั้นที่ 2 ของอาคาร	135
ค9 การอพยพที่เวลา 1,090 วินาที ผู้อพยพคนสุดท้ายออกจากอาคาร	135
ค10 การอพยพช่วงเริ่มต้นที่ 15 วินาที คิวไฟเริ่มเคลื่อนตัวออกมาจากชั้น 3 ห้อง AHU	136
ค11 การอพยพที่ 250 วินาที ขณะคิวไฟลามลงมาชั้นที่ 2 ของอาคาร	136
ค12 การอพยพที่เวลา 1,129 วินาที ผู้อพยพคนสุดท้ายออกจากอาคาร	136
ง1 กราฟปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์ชั้นที่ 3 จุดที่ 1	138
ง2 กราฟปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์ชั้นที่ 3 จุดที่ 2	138
ง3 กราฟปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์ชั้นที่ 3 จุดที่ 3	139
ง4 กราฟปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์ชั้นที่ 3 จุดที่ 4	139
ง5 กราฟปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์ชั้นที่ 3 จุดที่ 5	140
ง6 กราฟปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์ชั้นที่ 3 จุดที่ 6	140
ง7 กราฟปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์ชั้นที่ 3 จุดที่ 7	141
ง8 กราฟปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์ชั้นที่ 3 จุดที่ 8	141
ง9 กราฟปริมาณออกซิเจนชั้นที่ 3 จุดที่ 1	142
ง10 กราฟปริมาณออกซิเจนชั้นที่ 3 จุดที่ 2	142
ง11 กราฟปริมาณออกซิเจนชั้นที่ 3 จุดที่ 3	143
ง12 กราฟปริมาณออกซิเจนชั้นที่ 3 จุดที่ 4	143
ง13 กราฟปริมาณออกซิเจนชั้นที่ 3 จุดที่ 5	144
ง14 กราฟปริมาณออกซิเจนชั้นที่ 3 จุดที่ 6	144
ง15 กราฟปริมาณออกซิเจนชั้นที่ 3 จุดที่ 7	145
ง16 กราฟปริมาณออกซิเจนชั้นที่ 3 จุดที่ 8	145
ง17 กราฟอุณหภูมิชั้นที่ 3 จุดที่ 1	146
ง18 กราฟอุณหภูมิชั้นที่ 3 จุดที่ 2	146
ง19 กราฟอุณหภูมิชั้นที่ 3 จุดที่ 3	147

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า
ง20 กราฟอนุกรมชั้นที่ 3 จุดที่ 4	147
ง21 กราฟอนุกรมชั้นที่ 3 จุดที่ 5	148
ง22 กราฟอนุกรมชั้นที่ 3 จุดที่ 6	148
ง23 กราฟอนุกรมชั้นที่ 3 จุดที่ 7	149
ง24 กราฟอนุกรมชั้นที่ 3 จุดที่ 8	149
ง25 กราฟอนุกรมชั้นที่ 3 จุดที่ 9	150
ง26 กราฟอนุกรมชั้นที่ 3 จุดที่ 10	150
ง27 กราฟอนุกรมชั้นที่ 3 จุดที่ 11	151
ง28 กราฟอนุกรมชั้นที่ 3 จุดที่ 12	151
ง29 กราฟอนุกรมชั้นที่ 3 จุดที่ 13	152
ง30 กราฟอนุกรมชั้นที่ 3 จุดที่ 14	152
ง31 กราฟอนุกรมชั้นที่ 3 จุดที่ 15	153
ง32 กราฟอนุกรมชั้นที่ 3 จุดที่ 16	153
ง33 กราฟอนุกรมชั้นที่ 3 จุดที่ 17	154
ง34 กราฟอนุกรมชั้นที่ 3 จุดที่ 18	154
ง35 กราฟการอพยพของทั้ง 4 ชั้น ของกรณีทีี่หนึ่ง	155
ง36 กราฟการอพยพของทั้ง 4 ชั้น ของกรณีทีี่สอง	155
ง37 กราฟการอพยพของทั้ง 4 ชั้น ของกรณีทีี่สาม	156
ง38 กราฟการอพยพของทั้ง 4 ชั้น ของกรณีทีี่สี่	156
ง39 กราฟการอพยพของชั้น 1 ของกรณีทีี่หนึ่งและสอง	157
ง40 กราฟการอพยพของชั้น 2 ของกรณีทีี่หนึ่งและสอง	157
ง41 กราฟการอพยพของชั้น 3 ของกรณีทีี่หนึ่งและสอง	158
ง42 กราฟการอพยพของชั้น 4 ของกรณีทีี่หนึ่งและสอง	158
ง43 กราฟการอพยพของชั้น 1 ของกรณีทีี่สามและสี่	159
ง44 กราฟการอพยพของชั้น 2 ของกรณีทีี่สามและสี่	159

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า
ง45 กราฟการอพยพของชั้น 3 ของกรณีี่สามและสี่	160
ง46 กราฟการอพยพของชั้น 4 ของกรณีี่สามและสี่	160
ง47 กราฟอุณหภูมิของชั้นที่ 1 กรณีี่หนึ่ง	161
ง48 กราฟอุณหภูมิของชั้นที่ 2 กรณีี่หนึ่ง	161
ง49 กราฟอุณหภูมิของชั้นที่ 3 กรณีี่หนึ่ง	162
ง50 กราฟอุณหภูมิของชั้นที่ 4 กรณีี่หนึ่ง	162
ง51 กราฟอุณหภูมิของชั้นที่ 1 กรณีี่สอง	163
ง52 กราฟอุณหภูมิของชั้นที่ 2 กรณีี่สอง	163
ง53 กราฟอุณหภูมิของชั้นที่ 3 กรณีี่สอง	164
ง54 กราฟอุณหภูมิของชั้นที่ 4 กรณีี่สอง	164
ง55 กราฟอุณหภูมิของชั้นที่ 1 กรณีี่สาม	165
ง56 กราฟอุณหภูมิของชั้นที่ 2 กรณีี่สาม	165
ง57 กราฟอุณหภูมิของชั้นที่ 3 กรณีี่สาม	166
ง58 กราฟอุณหภูมิของชั้นที่ 4 กรณีี่สาม	166
ง59 กราฟอุณหภูมิของชั้นที่ 1 กรณีี่สี่	167
ง60 กราฟอุณหภูมิของชั้นที่ 2 กรณีี่สี่	167
ง61 กราฟอุณหภูมิของชั้นที่ 3 กรณีี่สี่	168
ง62 กราฟอุณหภูมิของชั้นที่ 4 กรณีี่สี่	168
ง63 กราฟปริมาณออกซิเจนของชั้นที่ 1 กรณีี่หนึ่ง	169
ง64 กราฟปริมาณออกซิเจนของชั้นที่ 2 กรณีี่หนึ่ง	169
ง65 กราฟปริมาณออกซิเจนของชั้นที่ 3 กรณีี่หนึ่ง	170
ง66 กราฟปริมาณออกซิเจนของชั้นที่ 4 กรณีี่หนึ่ง	170
ง67 กราฟปริมาณออกซิเจนของชั้นที่ 1 กรณีี่สอง	171
ง68 กราฟปริมาณออกซิเจนของชั้นที่ 2 กรณีี่สอง	171
ง69 กราฟปริมาณออกซิเจนของชั้นที่ 3 กรณีี่สอง	172

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า
ง70 กราฟปริมาณออกซิเจนของชั้นที่ 4 กรณีที่สอง	172
ง71 กราฟปริมาณออกซิเจนของชั้นที่ 1 กรณีที่สาม	173
ง72 กราฟปริมาณออกซิเจนของชั้นที่ 2 กรณีที่สาม	173
ง73 กราฟปริมาณออกซิเจนของชั้นที่ 3 กรณีที่สาม	174
ง74 กราฟปริมาณออกซิเจนของชั้นที่ 4 กรณีที่สาม	174
ง75 กราฟปริมาณออกซิเจนของชั้นที่ 1 กรณีที่สี่	175
ง76 กราฟปริมาณออกซิเจนของชั้นที่ 2 กรณีที่สี่	175
ง77 กราฟปริมาณออกซิเจนของชั้นที่ 3 กรณีที่สี่	176
ง78 กราฟปริมาณออกซิเจนของชั้นที่ 4 กรณีที่สี่	176
ง79 กราฟปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์ของชั้นที่ 1 กรณีที่หนึ่ง	177
ง80 กราฟปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์ของชั้นที่ 2 กรณีที่หนึ่ง	177
ง81 กราฟปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์ของชั้นที่ 3 กรณีที่หนึ่ง	178
ง82 กราฟปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์ของชั้นที่ 4 กรณีที่หนึ่ง	178
ง83 กราฟปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์ของชั้นที่ 1 กรณีที่สอง	179
ง84 กราฟปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์ของชั้นที่ 2 กรณีที่สอง	179
ง85 กราฟปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์ของชั้นที่ 3 กรณีที่สอง	180
ง86 กราฟปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์ของชั้นที่ 4 กรณีที่สอง	180
ง87 กราฟปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์ของชั้นที่ 1 กรณีที่สาม	181
ง88 กราฟปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์ของชั้นที่ 2 กรณีที่สาม	181
ง89 กราฟปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์ของชั้นที่ 3 กรณีที่สาม	182
ง90 กราฟปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์ของชั้นที่ 4 กรณีที่สาม	182
ง91 กราฟปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์ของชั้นที่ 1 กรณีที่สี่	183
ง92 กราฟปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์ของชั้นที่ 2 กรณีที่สี่	183
ง93 กราฟปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์ของชั้นที่ 3 กรณีที่สี่	184
ง94 กราฟปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์ของชั้นที่ 4 กรณีที่สี่	184

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
ง95	กราฟอัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนกรณีทีหนึ่ง	185
ง96	กราฟอัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนกรณีที่สอง	185
ง97	กราฟอัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนกรณีที่สาม	186
ง98	กราฟอัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนกรณีทีสี่	186
ง99	กราฟค่าความสามารถในการมองเห็นชั้นที่ 1 กรณีทีหนึ่ง	187
ง100	กราฟค่าความสามารถในการมองเห็นชั้นที่ 2 กรณีทีหนึ่ง	187
ง101	กราฟค่าความสามารถในการมองเห็นชั้นที่ 3 กรณีทีหนึ่ง	188
ง102	กราฟค่าความสามารถในการมองเห็นชั้นที่ 4 กรณีทีหนึ่ง	188
ง103	กราฟค่าความสามารถในการมองเห็นชั้นที่ 1 กรณีที่สอง	189
ง104	กราฟค่าความสามารถในการมองเห็นชั้นที่ 2 กรณีที่สอง	189
ง105	กราฟค่าความสามารถในการมองเห็นชั้นที่ 3 กรณีที่สอง	190
ง106	กราฟค่าความสามารถในการมองเห็นชั้นที่ 4 กรณีที่สอง	190
ง107	กราฟค่าความสามารถในการมองเห็นชั้นที่ 1 กรณีที่สาม	191
ง108	กราฟค่าความสามารถในการมองเห็นชั้นที่ 2 กรณีที่สาม	191
ง109	กราฟค่าความสามารถในการมองเห็นชั้นที่ 3 กรณีที่สาม	192
ง110	กราฟค่าความสามารถในการมองเห็นชั้นที่ 4 กรณีที่สาม	192
ง111	กราฟค่าความสามารถในการมองเห็นชั้นที่ 1 กรณีทีสี่	193
ง112	กราฟค่าความสามารถในการมองเห็นชั้นที่ 2 กรณีทีสี่	193
ง113	กราฟค่าความสามารถในการมองเห็นชั้นที่ 3 กรณีทีสี่	194
ง114	กราฟค่าความสามารถในการมองเห็นชั้นที่ 4 กรณีทีสี่	194

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

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

คำอธิบายสัญลักษณ์และค่าย่อ (ต่อ)

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

การศึกษาการอพยพหนีไฟออกจากห้องสมุดมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วิทยาเขตศรีราชาด้วยระบบวิธีเชิงตัวเลข

A Numerical Study of Fire Evacuation Out of the Library Building
of Kasetsart University, Sriracha Campus

คำนำ

การอพยพหนีไฟ หรือการอพยพฉุกเฉินภายในอาคารเป็นสิ่งจำเป็นในกรณีเกิดเหตุการณ์เพลิงไหม้หรือเหตุการณ์ร้ายแรงอื่นๆ เช่น แผ่นดินไหว แก๊สพิษรั่วไหล การจับตัวประกัน การวางระเบิด ซึ่งผู้ที่มีสติ หรือผู้ที่ผ่านการฝึกอบรมมา จะช่วยให้สามารถอพยพออกมายังสถานที่ที่ปลอดภัยได้ในเวลาอันรวดเร็ว โดยขั้นตอนการอพยพหนีไฟ จะขึ้นกับเรื่องของเวลาในการอพยพของพื้นที่ที่ครอบครองแต่ละประเภท การเลือกใช้เส้นทางในการอพยพ ความหนาแน่นของจำนวนประชากร เพศ อายุ ความเร็วในการอพยพ สิ่งกีดขวางในเส้นทางอพยพ ปริมาณสารพิษที่เพิ่มขึ้นในกระบวนการเผาไหม้จากวัสดุตกแต่งภายในอาคาร ความคุ้นเคยกับพื้นที่ภายในของอาคาร ความกว้างของประตูและเส้นทางอพยพ ขนาดและรูปทรงต่างๆของอาคาร การจัดวางแผนผังภายในอาคารในส่วนของพื้นที่อพยพจะมีอิทธิพลต่อเวลาที่ใช้ในการอพยพ และถึงแม้จะมีการจัดวางแผนผังที่ดีแล้วก็ตามก็ควรที่จะต้องมีทดสอบ วัตถุประสงค์ถึงประสิทธิภาพ และขีดความสามารถที่ใช้ในการอพยพให้เพิ่มขึ้นด้วย

การใช้โปรแกรมแบบจำลองการอพยพหนีไฟก็เป็นอีกทางเลือกหนึ่ง ซึ่งในปัจจุบันนี้ได้มีการนำมาใช้อย่างกว้างขวางมากขึ้น เพราะเป็นอีกวิธีหนึ่งที่จะช่วยให้เห็นถึงศักยภาพ หรือข้อบกพร่องของพื้นที่ที่ใช้เป็นเส้นทางในการอพยพ ทั้งยังประหยัดในเรื่องของเวลาและค่าใช้จ่ายในการทดลองอพยพจริง การนำแบบไปแก้ไขก่อนทำการก่อสร้างจริง นอกจากนี้ยังสามารถนำไปทำเป็นแผนฝึกอบรมการอพยพสำหรับพนักงานหรือผู้ที่มีความเกี่ยวข้องในการใช้งานอาคารนั้นๆ

งานวิจัยนี้ได้ใช้โปรแกรม FDS+Evac (Fire Dynamics Simulator with Evacuation) มาทำการศึกษาการอพยพภายในอาคารห้องสมุดกลาง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา เพื่อศึกษาพฤติกรรมของการอพยพของผู้ใช้อาคาร ลักษณะการกระจายตัวของเพลิงไหม้ การแบ่งกัน

พื้นที่ในการอพยพหนีไฟ การจัดวางอุปกรณ์หรือสิ่งกีดขวางภายในพื้นที่อาคาร เพื่อนำไปเป็นแนวทางในการปรับปรุงการจัดวางผังพื้นที่ภายในอาคาร เพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการอพยพเพิ่มมากขึ้น ลดการสูญเสียชีวิตหรืออันตรายของผู้ใช้อาคาร



วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาถึงข้อบกพร่องและจุดเสี่ยงที่อาจเกิดอันตรายของเส้นทางการอพยพหนีไฟภายในอาคาร โดยนำมาปรับปรุงแก้ไขในการเพิ่มขีดความสามารถของเส้นทางการอพยพหนีไฟให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น
2. เพื่อเสนอแนะแนวทางในการอพยพหนีไฟ โดยการใช้โปรแกรมแบบจำลองการอพยพเพื่อลดค่าใช้จ่ายในการทำการอพยพจริง และสามารถนำไปใช้เป็นแผนฝึกเตรียมการอพยพภายในของอาคารต่อไปได้

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้แนวทางหรือแผนสำหรับการอพยพหนีไฟออกจากอาคารที่มีประสิทธิภาพ โดยไม่ต้องทำการทดลองการอพยพจริง เพื่อนำไปใช้ฝึกอบรมพนักงาน เจ้าหน้าที่ บุคคลที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการใช้อาคาร
2. เห็นถึงข้อบกพร่องของพื้นที่อพยพภายในอาคาร ทำให้สามารถนำไปปรับปรุงแก้ไขเพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการอพยพได้ ในกรณีที่อาคารยังไม่ได้ทำการก่อสร้างจริงและเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการแก้ไขงานหลังจากสร้างเสร็จแล้ว

การตรวจเอกสาร

1. แบบจำลองการอพยพหนีไฟ

โปรแกรมที่เกี่ยวข้องกับการอพยพหนีไฟมีผู้ผลิตออกมาหลายบริษัท ซึ่งมีคุณสมบัติ ประสิทธิภาพและความสามารถที่แตกต่างกันออกไปตามแต่ละประเภทของโปรแกรม โดยสามารถ แบ่งโปรแกรมแบบจำลองการอพยพหนีไฟออกเป็น 3 ประเภทหลักๆ คือ

1.1 แบบจำลองการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (The optimization model) จะทำการสมมุติว่าผู้ อพยพทำการอพยพด้วยขั้นตอน และวิธีการที่มีประสิทธิภาพที่สุด จะไม่แสดงการอพยพจริง ได้แก่ โปรแกรมแบบจำลอง EVACNET4

1.2 แบบจำลองแสดงการอพยพ (The simulation model) จะแสดงให้เห็นรูปร่างผู้อพยพ ขณะกำลังอพยพ มีการแสดงพฤติกรรม การเคลื่อนที่ การตัดสินใจเลือกเส้นทางอพยพ ได้แก่ โปรแกรมแบบจำลอง EXODUS, FDS+Evac, Simulex และ Pathfinder

1.3 แบบจำลองการประเมินความเสี่ยง (The risk assessment model) จะแสดงหรือสร้างค่า ราคา ความน่าจะเป็นออกมาจากการทำงานซ้ำๆ ของการแสดงผลในแต่ละแบบจำลอง หรือค่าทาง สถิติของเวลาในการอพยพ ได้แก่ โปรแกรมแบบจำลอง CRISP และ Exit 89

2. การแสดงพื้นที่ว่างภายในอาคาร

การแสดงพื้นที่ว่างภายในอาคารที่สามารถทำได้ 2 วิธี คือ

2.1 วิธีโครงข่ายแบบละเอียด คือ เป็นแบบจำลองที่แสดงผลออกมาเหมือนการอพยพจริง สามารถเห็นการเคลื่อนที่ของผู้อพยพ ในแบบจำลองมีผนังกั้นห้องหรือพื้นที่ส่วนปิดล้อม มีพื้นที่ โต๊ะ ขนาดและรูปร่างเปลี่ยนแปลงตามแบบจำลอง โดยแบบจำลองต้องการหน่วยความจำของ คอมพิวเตอร์สูงและต้องใช้เวลาในการประมวลผล แต่ผลลัพธ์ที่ได้ให้ค่าความเที่ยงตรงสูง

2.2 วิธีโครงข่ายแบบหยาบ คือ เป็นแบบจำลองที่แสดงออกมาเป็นจุดและเส้น จุดแต่ละจุดแทนด้วยส่วนปิดล้อม ห้อง ทางเดิน ห้อง โถง และอื่นๆ เส้นแทนเส้นทางการอพยพที่เคลื่อนที่จากจุดเริ่มต้นใดๆ ในอาคารไปจนถึงจุดทางออก ใช้ขั้นตอนและเวลาในการประมวลผลไม่นาน ผลลัพธ์ที่ได้ออกมาเป็นการแสดงผลแบบง่าย เห็นเป็นแผนผังทิศทางการเคลื่อนที่ที่อพยพแต่ไม่สามารถแสดงผลเหมือนการเคลื่อนที่การอพยพจริงได้

3. โปรแกรมที่เกี่ยวข้องกับการอพยพหนีไฟ

3.1 Pathfinder

เป็นโปรแกรมแบบจำลองการอพยพแบบใหม่ ไม่เหมือนแบบจำลองที่มีการใช้พื้นฐานของไหลและตารางย่อยๆ มีการใช้เทคนิคจากการค้นคว้าวิทยาการทางคอมพิวเตอร์เพื่อให้แบบจำลองสามารถเคลื่อนที่อพยพอย่างอิสระในอาคาร ทั้งยังมีการใช้เทคนิคในรูปแบบของเกมและการแสดงผลเป็นกราฟมาช่วย โปรแกรมมีเครื่องมือที่มีความจำเป็นที่ช่วยในการตัดสินใจของผู้อพยพในการเลือกเส้นทางการเคลื่อนที่อพยพของแต่ละบุคคลภายในพื้นที่อพยพที่แตกต่างกันโดยใช้เวลาอพยพที่วางไว้อย่างเหมาะสม ในส่วนการอพยพมีการใส่ข้อมูลจริงจากคนเดินทางเท้า และการแสดงผลให้เห็นแบบสามมิติเหมือนการเคลื่อนที่ของคนอพยพจริงๆ

ลักษณะสำคัญ ข้อได้เปรียบในเรื่องการแสดงผลการอพยพออกมาค่อนข้างเที่ยงตรงและแสดงผลแบบต่อเนื่องเป็นสามมิติ สามารถใส่รายละเอียดของแบบพื้นที่อพยพที่เป็น file DXF แบบ 2 หรือ 3 มิติ file FDS และ file pyrosim ได้ (File DXF คือ file แบบแปลนของอาคารที่สร้างจากโปรแกรม Auto cad , File pyrosim คือ file แบบพื้นที่อพยพที่สร้างจากโปรแกรม Pyrosim และ File FDS คือ file ที่ใช้ในการรันโปรแกรม FDS บนโปรแกรม DOS โดยสร้างจากโปรแกรม Notepad) มีการรูปแบบการแสดงผลการอพยพที่หลากหลาย การอพยพที่มุ่งไปข้างหน้า และแบบพฤติกรรมการอพยพตามมาตรฐาน SFPE (Society of Fire Protection Engineers) การสร้างแบบจำลองทำได้ค่อนข้างง่ายไม่ซับซ้อน การแสดงผลในรูปแบบสามมิติให้รายละเอียดคุณภาพสูง สามารถแสดงผลในรูปแบบของกราฟที่เกี่ยวข้องกับรายละเอียดของห้องและประตูที่ใช้ในการอพยพ

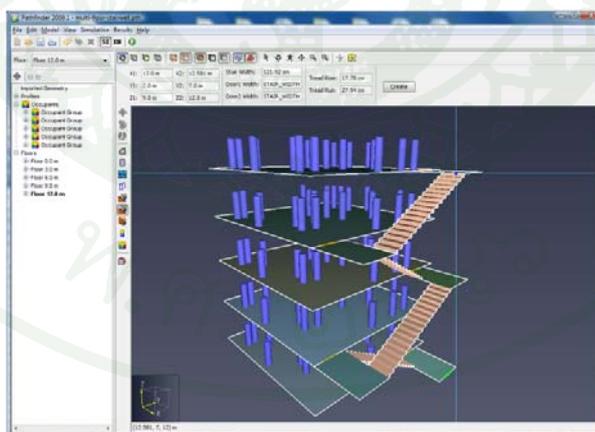
การสร้างแบบจำลอง ทำการใส่ File DXF, FDS หรือ Pyrosim โดยทำการแปลง File ดังกล่าวให้เป็นพื้นที่แบบจำลองการอพยพ โดยใช้เครื่องมือการถอดแบบพื้นที่อพยพออกมาเป็นพื้นที่

อพยพสามมิติ การสร้างประตูและบันไดอยู่ในขั้นตอนกระบวนการของการเคลื่อนที่ของการไหล โดยทำการกำหนดตำแหน่งประตูและอีคชยายบันไดที่มีระยะห่างแตกต่างกันออกไปในแต่ละชั้น การระบุคุณสมบัติของผู้อพยพแต่ละบุคคลอยู่ในขั้นตอนกระบวนการของระบบความสามารถ (powerful profile system) โดยสามารถใส่รายละเอียดของผู้อพยพ ขนาด รูปร่างหน้าตา เสื้อผ้า ความเร็ว ระยะเวลาที่เกิดการรอคอยเริ่มต้นก่อนการอพยพ ความคุ้นเคยกับเส้นทางออก ซึ่งรายละเอียดของผู้อพยพแต่ละคนที่ถูกกำหนดจะมีผลในการอพยพที่แตกต่างกันออกไป



ภาพที่ 1 การสร้างแบบจำลองของพื้นที่ในการอพยพของโปรแกรม Pathfinder

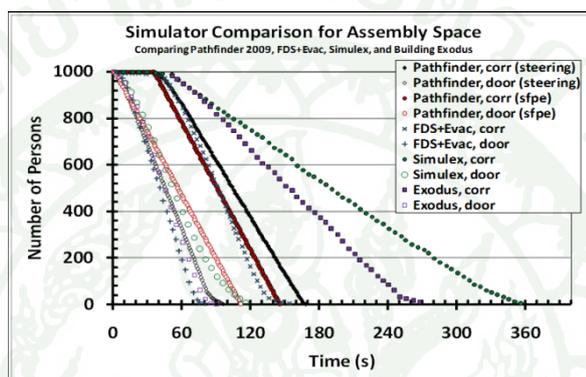
ที่มา: Thunderheadeng (2009)



ภาพที่ 2 การสร้างการทำงานของประตูและบันไดของโปรแกรม Pathfinder

ที่มา: Thunderheadengineer (2009)

การเคลื่อนที่ของแบบจำลอง เทคนิคการเคลื่อนที่อพยพในโปรแกรม เรียกว่า การระบุเส้นทางอพยพแบบย้อนกลับ ซึ่งแตกต่างกับการระบุเส้นทางอพยพแบบดั้งเดิม ที่มีส่วนประกอบ 3 อย่าง คือ การหลีกเลี่ยงการเดินชนกัน ความเร็วที่เหมาะสม จุดศูนย์กลางของกลุ่มที่อพยพ โดยเทคนิคที่ใช้ คือ การยอมให้ผู้อพยพลือกเส้นทางเฉพาะเจาะจงที่จะใช้ในการเคลื่อนที่อพยพ และทำการอพยพแบบใช้เวลาที่น้อยที่สุดจากเส้นทางทั้งหมด นอกจากนี้แบบจำลองยังสามารถทำการเคลื่อนที่อพยพตามสมการพฤติกรรมมาตรฐาน SFPE ได้อีกด้วย



ภาพที่ 3 กราฟผลการเปรียบเทียบการอพยพเทียบกับมาตรฐาน SFPE

ที่มา: Thunderheadengineer (2009)

การแสดงผลเป็นแบบสามมิติ รายละเอียดคุณภาพสูง สามารถแสดงผลในตัวโปรแกรมได้ทันทีโดยไม่ต้องใช้โปรแกรมอื่นมาทำงานร่วมด้วย การแสดงผลเป็นแบบเวลาจริง สามารถแสดงพฤติกรรมของผู้อพยพได้พร้อมกันเป็นพันคน สามารถบันทึกเป็นภาพหรือในลักษณะที่ป็นภาพยนตร์ เพื่อนำกลับมาศึกษาหาปัญหาในการอพยพต่อไปได้ สามารถแสดงผลเป็นกราฟของรายละเอียดเกี่ยวกับอัตราการเคลื่อนที่ของผู้อพยพ จำนวนผู้อพยพที่ใช้เส้นทาง อาคาร บันได และประตูต่างๆ ได้



ภาพที่ 4 ผลการทำงานของกรอพยพออกเป็นสามมิติของโปรแกรม Pathfinder

ที่มา: Thunderheadengineer (2009)

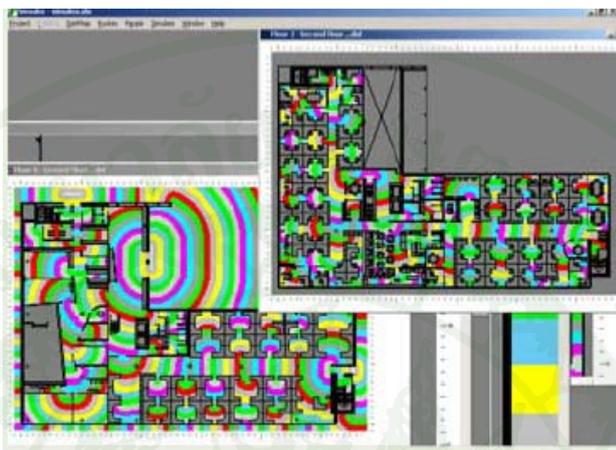
3.2 Simulex

เป็นแบบจำลองการอพยพหนีไฟที่ถูกออกแบบมาสำหรับการอพยพของคนจำนวนมากในอาคารขนาดใหญ่ที่มีส่วนปิดล้อม ผู้ใช้งานสามารถเห็นการเคลื่อนที่อพยพของเฉพาะบุคคลหรือเป็นผู้อพยพทั้งหมดในช่วงเวลาของการอพยพหนีไฟได้ เห็นการเดินเบียดเสียดกัน การหลบหลีก การรอคิว ซึ่งช่วยให้สามารถระบุพื้นที่ที่เป็นบริเวณคอขวด หรือบริเวณที่มีการอพยพล่าช้า และพบปัญหาในระหว่างการอพยพได้ผู้ใช้งาน โปรแกรมสามารถระบุตำแหน่งทางออก

ลักษณะสำคัญ สุดท้ายที่ใช้ในการอพยพทั้งภายในอาคารและภายนอกอาคาร การวิเคราะห์เส้นทางอพยพหนีไฟสามารถจัดวางตำแหน่งและจำนวนคนที่อพยพลงในพื้นที่อพยพเพื่อสังเกตการเคลื่อนที่อพยพ สามารถจัดวางกลุ่มผู้อพยพมากเกินพื้นที่อพยพได้ การคำนวณระยะทางของพื้นที่อพยพทางออกที่ใกล้ที่สุดจะถูกเลือกก่อน กระบวนการเคลื่อนที่อพยพหนีไฟมีพื้นฐานมาจากข้อมูลจากการวิเคราะห์ทางวิถีโอกาสเคลื่อนที่ของเฉพาะบุคคลและข้อมูลการเคลื่อนที่อพยพของกลุ่มฝูงชน การแสดงผลของการอพยพแสดงในจังหวะเวลา 0.1 วินาที

การสร้างแบบจำลอง ทำการใส่ File DXF หรือจากแบบจำลอง Virtual environmental ของพื้นที่ชั้นอาคารสำหรับแปลงเป็นพื้นที่ในการอพยพ หรือใช้เครื่องมือที่มีในโปรแกรม Simulex คือ โปรแกรม Drawplan และโปรแกรม Gridform โดยโปรแกรม Drawplan ไว้สำหรับผู้ใช้งานสร้างแบบอาคาร กำแพง พื้นี่ว่าง เป็น 2 มิติ และโปรแกรม Gridform รับข้อมูลแบบอาคารมาทำ

การสร้างเป็นแผนที่ระยะทางในอาคารซึ่งแสดงเป็นลำดับชั้นแถบสีต่างๆกันสำหรับการอพยพหลังจากที่ได้ข้อมูลมาจากโปรแกรม Drawplan และ Gridform นำข้อมูลดังกล่าวไปทำการประมวลผลต่อในโปรแกรม Simulex



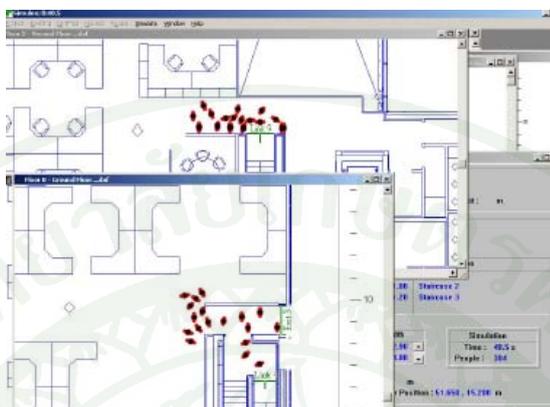
ภาพที่ 5 แผนที่ระยะทางในเส้นทางอพยพของโปรแกรม Simulex

ที่มา: Integrated Environmental Solutions (2009)

การเคลื่อนที่ของแบบจำลอง การอพยพจะใช้เทคนิคที่ เรียกว่า แผนที่ระยะทาง ช่วยในการอพยพ ซึ่งแผนที่ระยะทางจะมีการสร้าง โครงข่ายสี่เหลี่ยมขนาดเล็กจำนวนมากปกคลุมพื้นที่แบบอาคาร และคำนวณออกมาเป็นการแสดงลำดับชั้นของแถบสีซึ่งแทนค่าของระยะทางที่ใกล้ไกลที่จะนำไปสู่ทางออก และความสูงต่ำของพื้นที่ในการเดินทาง แผนที่ระยะทางมีหน้าที่ช่วยในการหาเส้นทางในระหว่างการอพยพ การหาเส้นทางอพยพนั้น โปรแกรมสามารถเลือกใช้การอพยพได้ 2 แบบ คือ ผู้ใช้งานสามารถระบุตำแหน่งผู้อพยพได้ว่าอยู่ในตำแหน่งไหนของอาคาร หรือโปรแกรมจะหา ระยะทางที่ใกล้ที่สุดจากทางออกให้เอง มีการสร้างเส้นทางอพยพออกมาให้เป็นเส้นตรงจากจุดเริ่มต้น ไปสู่จุดที่เป็นทางออก นอกจากนี้ผู้ใช้งานสามารถระบุตำแหน่งที่มีผู้อพยพหนาแน่นได้ง่ายด้วยการเลือก บริเวณใดๆในพื้นที่อพยพ เพื่อดูผลกระทบความหนาแน่นในการอพยพแต่ละพื้นที่

การแสดงผลการอพยพ ตัวผู้อพยพแทนด้วยวงกลม 3 วง วงกลมกลางแทนร่างกาย และวงกลมด้านข้าง 2 วงแทนหัวไหล่ ซึ่งขนาดและรูปร่างของผู้อพยพจะแตกต่างกันขึ้นกับเพศ

และอายุ ในส่วนความเร็วในการอพยพถ้ามีสิ่งกีดขวางผู้อพยพ ความหนาแน่นระหว่างผู้อพยพด้วย กันเองจะทำให้ผู้อพยพมีความเร็วลดลง เกิดการเดินหลบหลีก



ภาพที่ 6 ผลการอพยพของโปรแกรม Simulex

ที่มา: Integrated Environmental Solutions (2009)

3.3 EXODUS

เป็นแบบจำลองการอพยพสำหรับคนจำนวนมากในพื้นที่ปิดล้อมหลายลักษณะ โดยแบบจำลองให้เห็นการเคลื่อนที่อพยพของแต่ละบุคคลที่ได้รับผลกระทบจากสิ่งแวดล้อมต่างๆ เปลวไฟ ความร้อน กลุ่มควัน แก๊สพิษที่เกิดขึ้น และรูปแบบของพื้นที่อพยพ

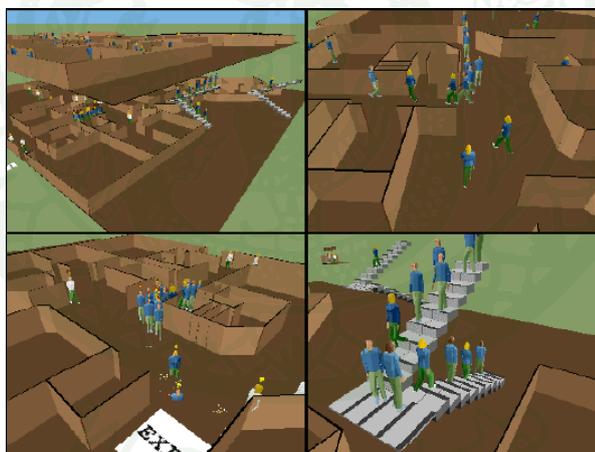
ลักษณะสำคัญ แบบจำลองเองประกอบด้วยส่วนประกอบหลักๆที่มีความสำคัญในการอพยพ 5 ส่วน คือ ประเภทของผู้อพยพ การเคลื่อนที่อพยพ การแสดงพฤติกรรมระหว่างทำการอพยพ ปริมาณสารพิษที่เกิดจากการเผาไหม้ อันตรายที่เกิดขึ้นกับผู้อพยพ

การสร้างแบบจำลอง ทำการใส่ File DXF สำหรับการสร้างพื้นที่อพยพ ใช้เครื่องมือที่ให้มีใน โปรแกรมสร้าง โครงข่ายตารางเพื่อใช้ในการคำนวณหาการอพยพ

การเคลื่อนที่ของแบบจำลอง การแสดงการเคลื่อนที่อพยพและพฤติกรรมของแต่ละบุคคลในการหาเส้นทางในการอพยพ ขนาดของระยะทาง ความสูง และพื้นที่ในการอพยพถูกจัด

แบ่งอยู่ในตารางโครงข่ายขนาดเล็กจำนวนมาก โดยพฤติกรรมของแบบจำลองแบ่งได้ 2 แบบ คือ แบบธรรมดา และแบบรุนแรง พฤติกรรมแบบธรรมดา ผู้อพยพจะเตรียมตัวคอยจนกระทั่งตัดสินใจที่จะทำการอพยพเอง พฤติกรรมแบบรุนแรง ผู้อพยพจะทำการรอคิวจนกระทั่งถึงช่วงเวลาของตัวเองหลังจากที่ผู้อพยพคนอื่นๆทยอยอพยพออกไป

การแสดงผลการอพยพสามารถทำการแสดงผลการอพยพเหมือนการอพยพจริงๆ ได้ เป็นภาพแสดงการเคลื่อนไหวในรูปแบบ 3 มิติ ซึ่งช่วยให้นำผลที่ได้มาทำการวิเคราะห์หาจุดบกพร่องได้ง่ายและใน ส่วนปริมาณสารพิษที่เกิดจากการเผาไหม้ได้เป็นตัวกำหนดผลกระทบทางกายภาพจากสถานะแวดล้อมโดยขึ้นกับผู้อพยพแต่ละประเภท ผลกระทบของอันตรายของไฟกับผู้อพยพมาจากการใช้อัตราส่วนปริมาณสารพิษ HCN, CO, CO₂ และปริมาณ O₂ ที่เหลือมาทำการประมาณเวลาที่ผู้อพยพยังมีความสามารถที่จะหาเส้นทางอพยพได้ หรือการได้รับปริมาณสารพิษที่มากขึ้นมีผลทำให้ลดความสามารถหาเส้นทางออกของผู้อพยพ และกรณีที่ได้รับสารพิษที่มากเกินไปก็มีผลทำให้ผู้อพยพเสียชีวิตได้



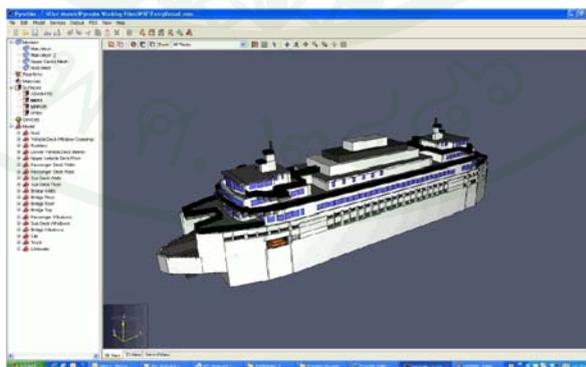
ภาพที่ 7 ผลการอพยพของโปรแกรม Exodus

ที่มา: Fire Safety Engineering Group (2009)

3.4 FDS+Evac

เป็นการรวมกันของแบบจำลองการเคลื่อนที่อพยพและแบบจำลองการเคลื่อนที่ของของไหล โดยทั้งสองส่วนมีความสัมพันธ์กัน แต่แบบจำลองสามารถทำการอพยพได้โดยปราศจากไฟและควันเกิดขึ้นเหมือนการชักซ้อมแผนอพยพ แบบจำลอง FDS+Evac จะทำการแสดงให้เห็นการเคลื่อนที่อพยพของผู้อพยพเฉพาะบุคคลหรือเป็นกลุ่ม ซึ่งผู้อพยพมีคุณสมบัติเฉพาะของแต่ละบุคคล ลักษณะสำคัญ สามารถทำการอพยพโดยปราศจากไฟและควัน สามารถกำหนดผู้อพยพให้เลือกเส้นทางในการอพยพ หรือตำแหน่งเริ่มต้นก่อนเริ่มทำการอพยพ สามารถดาว์ดโหลดได้ฟรีไม่ต้องซื้อ สามารถแสดงผลเป็นกราฟเกี่ยวกับรายละเอียดต่างๆของผู้อพยพ จำนวนผู้อพยพที่เลือกใช้ประตู และปริมาณสารพิษในพื้นที่อพยพ ระยะการมองเห็นของผู้อพยพ

การสร้างแบบจำลอง ทำการแปลงไฟล์ DXF ของแบบพื้นที่อพยพเข้าไปในโปรแกรม Pyrosim หรือทำการสร้างแบบจำลองจากโปรแกรม Pyrosim หลังจากนั้นสร้างโครงข่ายที่ใช้ในการคำนวณผลบนพื้นที่อพยพ สร้างอุปกรณ์สิ่งของ สิ่งแวดล้อมต่างๆ บริเวณที่ทำการอพยพ โปรแกรมจะทำการประมวลผลออกมาเป็นไฟล์เพื่อนำไปใช้ต่อในโปรแกรม FDS+Evac โดยมีการใส่ค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการอพยพ และนำไฟล์ข้อมูลไปประมวลผลต่อในโปรแกรม DOS จะได้ข้อมูลผลลัพธ์ออกมา นำข้อมูลดังกล่าวไปใช้ใน โปรแกรม Smokeview เพื่อทำการแสดงผลที่เห็นเป็นภาพการเคลื่อนที่อพยพ ผลกระทบของสารพิษที่ผู้อพยพได้รับ กราฟค่าต่างๆออกมา เพื่อนำผลมาทำการวิเคราะห์



ภาพที่ 8 การสร้างแบบจำลองพื้นที่อพยพของโปรแกรม FDS+Evac.

ที่มา: Thunderheadengineer (2009)

การเคลื่อนที่อพยพของแบบจำลองแสดงให้เห็นเป็นรูปร่างของผู้อพยพ จุดหรือบริเวณที่มีความหนาแน่น ทำให้เกิดการรอคิวขึ้น การเดินเบียดเสียดกัน และผลกระทบของสารพิษที่ผู้อพยพได้รับ โดยสามารถกำหนดรายละเอียดผู้อพยพ เพศ ความเร็ว ความล่าช้าก่อนเริ่มอพยพ

การแสดงผล นำไฟล์ที่ได้จากการรันโปรแกรม FDS+Evac ไปเปิดในโปรแกรม Smokeview เพื่อแสดงผลการอพยพแสดงออกมาในแบบ 2 มิติ บนพื้นที่อาคารที่ใช้ในการอพยพ มีแรงกระทำจากภายนอกกระทำกับผู้อพยพ และสามารถเปิดดูกราฟค่าต่างๆออกมา เพื่อนำผลมาทำการวิเคราะห์แบบจำลอง



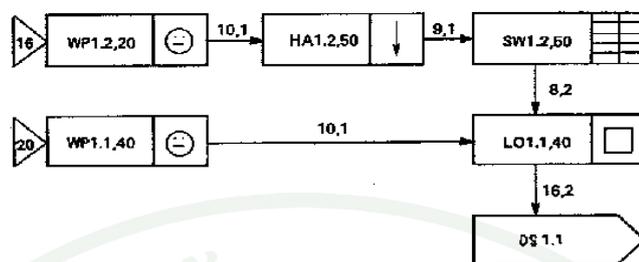
ภาพที่ 9 ผลการอพยพของโปรแกรม FDS+Evac.

ที่มา: VTT Technical Research Center (2009)

3.5 EVACNET 4

ถูกทำการพัฒนาต่อมาจากแบบจำลอง EVACNET+ โดยแบบจำลองนี้เป็นแบบจำลองการอพยพในอาคาร ซึ่งแสดงผลออกมาในรูปแบบจำลองการหาค่าที่เหมาะสม การหาค่าการอพยพต่างๆที่เหมาะสมที่สุด การใช้เวลาน้อยที่สุด การทำการอพยพที่เร็วสุดเท่าที่จะทำได้

ลักษณะสำคัญ แบบจำลองเป็นแบบระบบเชิงเส้น การแสดงเส้นทางการอพยพและเวลาการอพยพจะไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลาที่เพิ่มขึ้น แบบจำลองไม่มีการแสดงพฤติกรรมระหว่างการอพยพให้เห็นการกระทำของแบบจำลองแสดงออกมาในรูปแบบของเวลาการอพยพที่น้อยที่สุดที่สามารถทำได้เท่านั้น แบบจำลองแสดงผลออกมาในลักษณะของภาพรวมทั้งหมด ไม่ใช่เป็นการอพยพสำหรับเฉพาะบุคคลเป็นแผนการอพยพที่เหมาะสมที่สุดที่สามารถทำได้



ภาพที่ 10 กราฟโครงสร้างของโปรแกรม EVACNET 4

ที่มา: Kisko *et al.* (1998)

ตารางที่ 1 ชนิดของ Node ของโปรแกรม EVACNET 4

ชนิดของ Node	รายละเอียด
WP	Work Place
HA	Hall
SW	Stairwell
LA	Landing
LO	Lobby
ES	Escalator

ที่มา : Kisko *et al.* (1998)

การสร้างแบบจำลอง ต้องมีการป้อนค่าเริ่มต้น มีการสร้างโครงข่ายสำหรับพื้นที่ในอาคารที่ใช้ในการอพยพ โครงข่ายประกอบด้วยจุดและเส้น จุดของโครงข่าย หรือ เรียกว่า Node เป็นส่วนที่แสดงส่วนประกอบต่างๆในอาคาร ห้อง บันได ลิฟท์ ลิ้อบบี้ บันไดเลื่อน ต้องมีการใส่ตัวเลขของผู้อพยพเริ่มต้น และจุดเริ่มต้นที่ใช้ในการอพยพต้องมีการระบุตำแหน่งลงไป ส่วนเส้น หรือ เรียกว่า Arc เป็นส่วนที่แสดงเส้นทางที่ใช้ในการอพยพระหว่างส่วนประกอบต่างๆในอาคาร ต้องมีการใส่รายละเอียดในเรื่องของเวลาในการอพยพและความสามารถในการอพยพ

การเคลื่อนที่ของแบบจำลอง ไม่มีการแสดงการเคลื่อนที่ออกมาเป็นภาพ มีแต่การแสดงออกมาเป็นกราฟแบบเชิงเส้น ตัวเลข โดยอยู่ในช่วงเวลาที่กำหนด เป็นค่าการอพยพที่เหมาะสม หรือจุดที่เกิดปัญหา

การแสดงผล แบบจำลองแสดงผลออกมาเป็นกราฟ โดยรูปสี่เหลี่ยมแทน Node และรูปลูกศรแทน Arc ผลลัพธ์ที่แสดงออกมาเป็นค่าทางสถิติของช่วงเวลาที่ใช้ในการอพยพ การกำหนดจุดหมายปลายทางที่ทางออกหรือจุดที่ปลอดภัย เส้นทางการอพยพ จุดบริเวณที่มีการอพยพแออัดติดขัด หรือจุดที่เป็นคอขวด เวลาการอพยพของผู้อพยพคนสุดท้ายในแต่ละชั้น จำนวนผู้อพยพในแต่ละช่วงเวลา

3.6 EXIT 89

เป็นแบบจำลองการประเมินความเสี่ยงของการอพยพที่ถูกออกแบบสำหรับกลุ่มผู้อพยพจำนวนมากหรือเฉพาะบุคคลในอาคารสูงและอาคารขนาดใหญ่ โดยผลลัพธ์แบบจำลองที่ออกมาเกี่ยวกับการเคลื่อนที่อพยพผ่านไฟและควันในแผนผังอาคาร และผู้ใช้งานสามารถทำนายผลกระทบจากสารพิษที่เกิดจากการเผาไหม้กับผู้อพยพได้

ลักษณะสำคัญ สามารถให้ผู้ใช้งานป้อนค่าเริ่มต้นได้ 6 อย่าง คือ 1. เลือกใช้หน่วยที่จะป้อนค่าเริ่มต้นและผลลัพธ์เป็นแบบเมตริกซ์หรือแบบมาตรฐาน 2. ระบุนขนาด รูปร่าง ของผู้อพยพ เพื่อใช้ในการคำนวณความเร็วของผู้อพยพ 3. ระบุนความเร็วของผู้อพยพได้ว่าเป็นแบบถูกเดินหรือแบบปกติ 4. ระบุนจุดเริ่มต้นการอพยพได้โดยโปรแกรมจะคำนวณระยะทางที่สั้นที่สุดที่ไปสู่ทางออก 5. นำข้อมูลการเกิดไฟและควันจากโปรแกรม CFAST มาทำงานร่วมด้วยได้ หรือจะทำการระบุตำแหน่งจุดเกิดไฟเองก็ได้ 6. เลือกให้โปรแกรมแสดงผลทั้งหมดได้ ซึ่งมีรายละเอียดมาก

การสร้างแบบจำลอง ต้องมีการป้อนค่าที่จำเป็น รายละเอียดโครงข่ายของพื้นที่ที่ใช้ในการอพยพ ขนาดห้องแต่ละห้อง จำนวนผู้อพยพในแต่ละจุดที่จะทำการอพยพ รายละเอียดของควันในกรณีถ้าควันมีผลกระทบในการปิดกั้นเส้นทางอพยพก็จะถูกนำมาพิจารณา

การเคลื่อนที่ของแบบจำลอง ไม่มีการแสดงภาพมีแต่แสดงเป็นผลลัพธ์ที่เกี่ยวข้องกับพฤติกรรมและข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการอพยพ โปรแกรมคำนวณเส้นทางอพยพที่ใกล้ที่สุดจากจุดเริ่มต้นใดๆในอาคารถึงจุดที่ปลอดภัย หรือภายนอกอาคารแต่สามารถระบุได้ว่าผู้อพยพมี

ความคุ้นเคยกับเส้นทางอพยพไหนบ้าง ส่วนการคำนวณหาเส้นทางอพยพโปรแกรมจะหาเส้นทางอพยพต่อไปจนกระทั่งถูกปิดกั้นด้วยกลุ่มควันและหลังจากนั้นจะหยุดและทำการคำนวณเส้นทางอพยพซ้ำอีกครั้งจนกว่าจะหาทางออกได้

การแสดงผล ผลลัพธ์ที่แสดงออกมาเป็นข้อมูลเชิงเส้น เวลาทั้งหมดในการอพยพจากที่หนึ่ง ไปอีกที่หนึ่ง การอพยพในแต่ละชั้น แต่ละบันได จนถึงเวลาที่คนสุดท้ายอพยพออกไปสู่ทางออก นอกจากนี้ยังสามารถนำผลไปใช้ในโปรแกรม TENAB เพื่อทำนายความเสี่ยงกับผู้อพยพ

ตารางที่ 2 ผลลัพธ์ที่ได้หลังจากประมวลผลของโปรแกรม Exit 89

No.	Observed		Predicted using calculated shortest routes		Predicted using user specified directed routes	
	People	Last Exit	People	Last Exit	People	Last Exit
Exit 1	2	45.0	2	35.0	2	35.0
Exit 2	6	48.0	6	26.0	6	26.0
Exit 3	6	90.0	107	148.0	6	36.0
Exit 4	40	105.0	124	153.0	51	104.0
Exit 5	0	-	7	72.0	7	103.0
Exit 6	23	115.0	27	109.0	26	95.0
Exit 7	0	-	0	-	-	-
Exit 8	48	190.0	6	60.0	30	120.0
Exit 9	8	90.0	11	54.0	11	54.0
Exit 10	248	220.0	91	107.0	242	262.0
		Last few at 286 sec.				
Total Exit	381	286.0 sec	381	153.0 sec	381	162.0 sec

ที่มา: Rita and Fahy (1996)

4. ข้อดีข้อเสียของแต่ละโปรแกรม

4.1 Pathfinder

4.1.1 โปรแกรมแสดงผลให้เห็นการอพยพออกมา

4.1.2 โปรแกรมสามารถทำการจำลองได้เฉพาะการอพยพไปสู่ทางออกเท่านั้นไม่สามารถนำผลกระทบจากเพลิงไหม้มาใช้งานร่วมด้วยได้

4.1.3 โปรแกรมไม่สามารถทำการอพยพที่มีการเปิดปิดประตูหรือเปิดปิดลิฟท์ได้

4.1.4 ผู้อพยพจะทำการอพยพ โดยเลือกเส้นทางที่ใกล้ที่สุดแม้ว่าเส้นทางอพยพนั้นจะมีผู้อพยพหนาแน่นก็ตาม

3.2 Simulex

3.2.1 โปรแกรมสามารถแสดงผลให้เห็นขั้นตอนการอพยพออกมาได้

3.2.2 มีการใช้เทคนิคแบบใหม่ ที่เรียกว่า แผนที่ระยะทาง มาใช้ในการประเมินเส้นทางอพยพในอาคารซึ่งมีความเที่ยงตรงในการคำนวณหาเส้นทางอพยพ

3.3 Exodus

3.3.1 โปรแกรมสามารถแสดงผลให้เห็นขั้นตอนการอพยพออกมาได้

3.3.2 มีการนำโปรแกรมไปใช้งานกับสถานที่สำคัญๆหลายแห่งและตัวโปรแกรมเองยังมีหลายชนิดโปรแกรมที่เหมาะสมกับการอพยพหลากหลายลักษณะ

3.4 FDS+Evac.

3.4.1 โปรแกรมสามารถแสดงผลให้เห็นขั้นตอนการอพยพออกมาได้

3.4.2 เป็นโปรแกรมฟรีแวร์ สามารถดาวน์โหลดมาใช้งานได้โดยไม่ต้องซื้อลิขสิทธิ์

3.4.3 ผู้อพยพไม่สามารถเดินหันหลังกลับเพื่อเปลี่ยนทิศทางอพยพได้ในระหว่างการอพยพหรือในสถานการณ์ที่มีกลุ่มควันหนาแน่น

3.5 Evacnet 4

3.5.1 โปรแกรมไม่มีการแสดงผลให้เห็นการอพยพออกมา โดยแสดงผลเป็นกราฟหรือตารางออกมาซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมในการอพยพ

3.5.2 สามารถเลือกการแสดงผลออกมาได้หลากหลาย 14 รายการ

3.6 Exit 89

3.6.1 โปรแกรมไม่มีการแสดงผลให้เห็นการอพยพออกมา โดยแสดงผลออกมาเป็นข้อมูลเชิงเส้น ตาราง

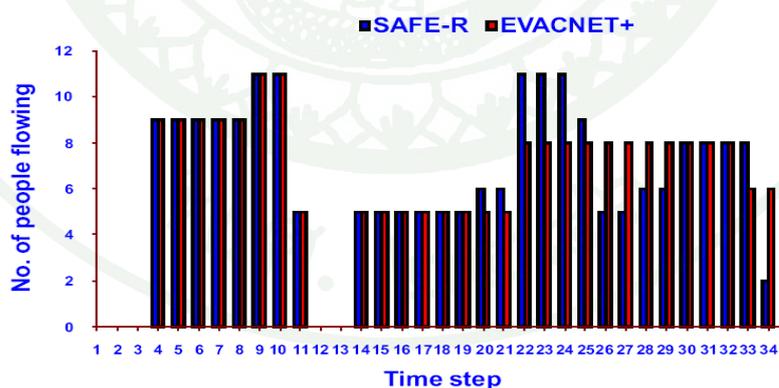
3.6.2 ผู้ใช้งานสามารถระบุเส้นทางอพยพตามที่ผู้อพยพมีความคุ้นเคย ซึ่งอาจไม่ใช่เส้นทางอพยพที่ใกล้ที่สุด

3.6.3 สามารถนำผลลัพธ์ที่ได้ไปใช้หาผลกระทบของผู้อพยพต่อสารพิษที่ได้รับต่อไปได้

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

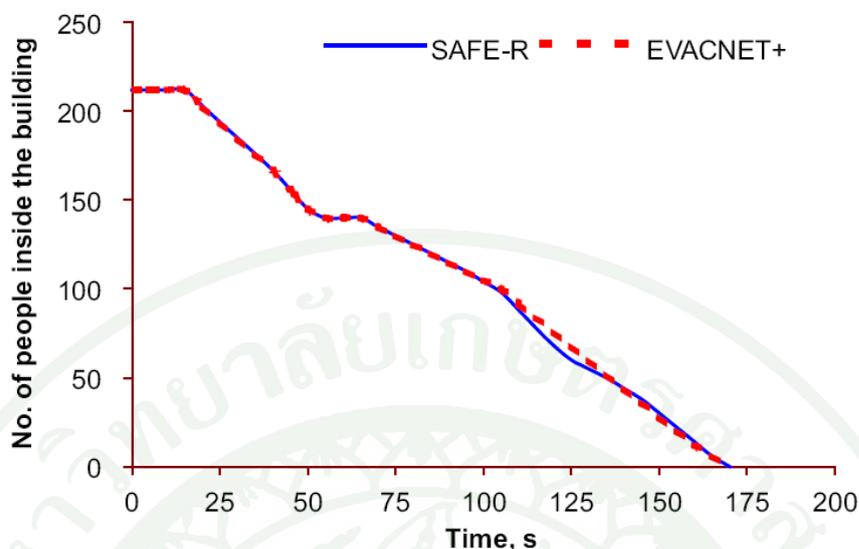
Gupta* and Yadav (2004) ได้ทำการศึกษาการอพยพภายในอาคาร โดยการใช้โปรแกรมแบบจำลอง Safe and Accessible Fire Escape-Route (SAFE-R) ทำการเปรียบเทียบกับ โปรแกรม EVACNET+ โดยใช้ทฤษฎีของโครงข่ายและกราฟ เพื่อใช้ในการระบุนความสามารถในการหาเส้นทางการเคลื่อนที่ของผู้อพยพ เวลาของการอพยพในแต่ละเส้นทางจะหาจากระยะทางการอพยพเทียบกับความเร็วในการเดิน โดยมั่นใจว่าใช้เวลาในการอพยพน้อยที่สุด เส้นทางการอพยพจะถูกกำหนดตามลำดับของการเชื่อมต่อของพื้นที่ เริ่มต้นจากจุดกลมและสิ้นสุดที่จุดกลมซึ่งเป็นพื้นที่ปลอดภัย การอพยพจะถูกกำหนดไม่ให้ย้อนกลับทางเดิมและผ่านตำแหน่งเดิม ตัวโปรแกรมจะทำการสร้างเส้นทางการอพยพและจัดการด้วยระเบียบวิธีการเลือกเส้นทางที่สั้นที่สุดเป็นเส้นทางแรกและเส้นทางที่ยาวที่สุดเป็นลำดับสุดท้าย มีการคำนวณจำนวนผู้อพยพที่เคลื่อนที่ผ่านในแต่ละเส้นทางภายใต้เงื่อนไขว่า จำนวนผู้อพยพในช่วงเวลาเฉพาะนั้นห้ามมากกว่าจำนวนคนที่เคลื่อนที่ผ่านต่อช่วงเวลาหนึ่งที่อยู่ภายในเส้นทางออกสุดท้าย กระบวนการจะดำเนินการจนกระทั่งผู้อพยพคนสุดท้ายออกจากภายในอาคาร

ผลของการศึกษาพบว่า โปรแกรมแบบจำลอง SAFE-R มีความสามารถในการอพยพที่เร็วกว่าโปรแกรม EVACNET+ ตามกราฟดังต่อไปนี้



ภาพที่ 11 จำนวนคนที่เคลื่อนที่อพยพในแต่ละช่วงเวลา

ที่มา: Gupta* and Yadav (2004)



ภาพที่ 12 จำนวนคนที่อพยพออกจากภายในอาคารในเวลาช่วงใดๆ

ที่มา: Gupta* and Yadav (2004)

มีข้อเสนอแนะเพิ่มเติมเพื่อเป็นประโยชน์ในการอพยพดังต่อไปนี้

1. โดยทั่วไปกำหนดเวลาในการอพยพไปอยู่ในที่ที่ปลอดภัยมากที่สุดไม่ควรเกิน 2.5 นาที แต่เป็นเรื่องที่ปฏิบัติได้ค่อนข้างยาก
2. ระยะทางในการเดินทางอพยพไม่ควรเกิน 40-60 เมตร โดยรวมกรณีที่เกิดการจี้คขวางทางจนทำให้ต้องอาจเปลี่ยนเส้นทางใหม่ด้วย
3. มีความเป็นไปได้สูงที่อาจเกิดการแออัดกันระหว่างเส้นทางอพยพที่สั้นที่สุด เพราะฉะนั้นควรมีการแบ่งแยกและจำกัดจำนวนคนในการไปใช้เส้นทางอื่นๆอีก ซึ่งสามารถนำไปใช้ชักซ้อมการฝึกอพยพเพื่อให้มีประสิทธิภาพต่อไปได้

Gwynne *et al.* (2001) ได้ทำการทดลองโดยการใช้โปรแกรมแบบจำลองการอพยพในอาคาร EXODUS รุ่น 3.0 ซึ่งมีความสามารถทำการจำลองการอพยพกลุ่มคนขนาดใหญ่ในพื้นที่ปิด

ล้อม โดยทำการทดลอง 2 กรณี คือ กรณีที่ 1 พฤติกรรมการอพยพที่ทำให้เกิดการเดินไม่ตรง และ กรณีที่ 2 พฤติกรรมการตัดสินใจเปลี่ยนทิศทางการอพยพ

กรณีที่ 1 กำหนดให้มีผู้อพยพคนเดียวในสถานการณ์ที่มีควันและไม่มีควันในทางเดิน ภายในอาคารขนาด $20 \times 1.5 \text{ m}^2$ ความเร็วการเคลื่อนที่ 1.0, 1.3, 1.5 m/s สัมประสิทธิ์ความหนาแน่นของควันในสภาพแวดล้อม 0.2, 0.5 /m ไม่มีการสร้างสารพิษในแบบจำลอง

ผลการทดลองพบว่าผู้อพยพสามารถเดินได้เป็นแนวเส้นตรงในสถานการณ์ที่ไม่มีควันในเส้นทางเดิน และผู้อพยพเดินเอียงไม่เป็นเส้นตรงในสถานการณ์ที่มีควันในเส้นทางเดิน โดยผู้อพยพจะเดินเข้าหากำแพงเพื่อช่วยประกอบในการเดิน และเวลาที่ผู้อพยพจะเพิ่มขึ้นแปรผันตรงกับปริมาณกลุ่มควันที่เพิ่มขึ้น ตามรูปและตารางด้านล่าง



ภาพที่ 13 เส้นทางเคลื่อนที่ของผู้อพยพในกรณีการปรับตัวในสถานการณ์ที่มีควัน

ที่มา: Gwynne *et al.* (2000)

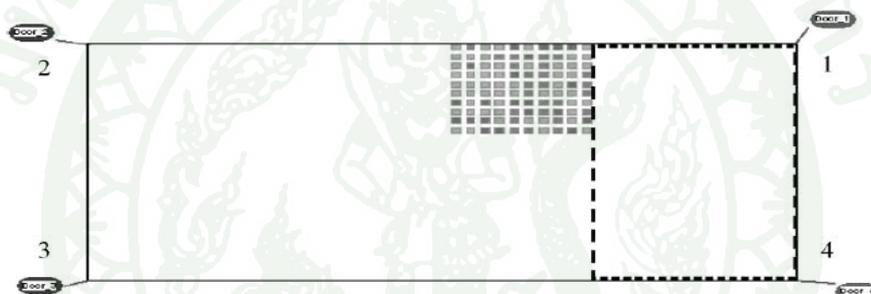
ตารางที่ 3 เวลาการอพยพของโปรแกรม EXODUS กับพฤติกรรมการเดินทางตรงและเดินไม่ตรง

Ext. coeff. (1/m)	Extrap. Jin time (s)	Initial travel speed 1.0 m/s		Initial travel speed 1.3 m/s		Initial travel speed 1.5 m/s	
		No_stag time (s)	Stag time (s)	No_stag time (s)	Stag time (s)	No_stag time (s)	Stag time (s)
0.2	15.9	22.4	23.5 (22.4-24.1)	17.3	17.7 (17.3-18.5)	15.0	15.6 (15.0-16.5)
0.3	19.5	26.0	27.1 (26.0-28.4)	19.9	20.5 (19.9-21.9)	17.4	18.4 (17.6-18.9)
0.4	26.0	31.5	31.1 (32.1-35.3)	23.8	25.7 (24.4-28.1)	20.9	24.5 (21.7-27.3)
0.5	41.1	39.0	48.8 (42.3-51.1)	30.0	35.5 (32.1-38.1)	26.0	34.2 (27.3-37.1)

ที่มา: Gwynne *et al.* (2000)

กรณีที่ 2 กำหนดให้มีผู้อพยพจำนวน 100 คน ภายในพื้นที่ $13 \times 25 \text{ m}^2$ มีทางประตูทางออก 4 ทาง กว้าง 0.5 m. เท่ากัน อยู่ที่แต่ละมุมของพื้นที่ ความหนาแน่นของกลุ่มควัน 0.5, 0.75, 1.0 /m ไม่มีการสร้างสารพิษในแบบจำลอง ซึ่งแบบจำลองแสดงให้เห็นถึงพฤติกรรม การเปลี่ยนทิศทางการอพยพภายใต้เงื่อนไขความคุ้นเคยของสถานที่ โดยกำหนดเหตุการณ์ขึ้นมา 8 เหตุการณ์ ตามตารางด้านล่าง เหตุการณ์ที่ 1-5 มีความเคยชินกับเส้นทางออกทั้งหมด 4 ทาง เหตุการณ์ที่ 6-8 ไม่มีความเคยชินกับเส้นทางอพยพ รู้จักแค่ประตู 1, 4 ซึ่งใกล้ที่สุด เหตุการณ์ที่ 1 ไม่มีการพฤติกรรมการเปลี่ยนเส้นทางอพยพ เหตุการณ์ 2-8 มีพฤติกรรมการเปลี่ยนเส้นทางอพยพตามข้อมูลของ Wood & Brian

ผลการทดลองพบว่า เหตุการณ์ที่ 1 ผู้อพยพเลือกใช้ทางออกที่ประตู 1 จึงเกิดความแออัด ต้องรอคิวในการอพยพ พร้อมทั้งกลุ่มควันที่เพิ่มขึ้นทำให้การเคลื่อนที่ช้าลงอีก เหตุการณ์ที่ 2-5 ไม่มีใครเลือกประตูที่ 4 เลย จากพฤติกรรมที่สนับสนุนให้ผู้อพยพไม่เลือกทางออกที่ต้องผ่านกลุ่มควัน โดยผู้อพยพเลือกทางออกประตูที่ 2 เนื่องจากอยู่ใกล้ที่สุด ส่วนประตูที่ 3 ไม่มีคนเลือกเนื่องจากอยู่ไกล เหตุการณ์ที่ 6-8 ผู้อพยพมีความคุ้นเคยกับบางทางออก ไม่ได้รู้จักทางออกหมดทั้ง 4 ประตู ผู้อพยพมีการเปลี่ยนทิศทางไปใช้ทางออกระหว่างประตูที่ 2 และ 3 โดยเลือกใช้ประตู 2 มากกว่า เนื่องจากความคุ้นเคยจำนวนผู้อพยพทั้งหมดที่มีการเปลี่ยนทิศทางการอพยพน้อยกว่าเหตุการณ์ 2-5 เนื่องจากความน่าจะเป็นที่ว่าผู้อพยพไม่มีความรู้จักประตูทางออกอื่น ซึ่งทำให้การเปลี่ยนทิศทางลดลง



ภาพที่ 14 ภาพขนาดของแผนผังพื้นที่โดยระบุประตูทางออกไว้ 4 ทางออก

ที่มา: Gwynne *et al.* (2000)

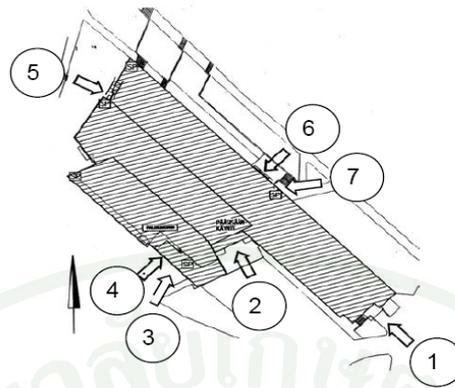
ตารางที่ 4 ผลของแบบจำลองเหตุการณ์ที่ได้จากโปรแกรม

Scenario	Population	Familiarity method used	Redirective behavior/Data
1	Male	Potential map	Disabled/-
2	Male	Potential map	Enabled/Wood
3	Female	Potential map	Enabled/Wood
4	Male	Potential map	Enabled/Bryan
5	Female	Potential map	Enabled/Bryan
6	Male	Localise occupant familiarity	Enabled/Wood
7	Male	Localise occupant familiarity	Enabled/Bryan
8	Male	Localise occupant familiarity	Enabled/average

ที่มา: Gwynne *et al.* (2000)

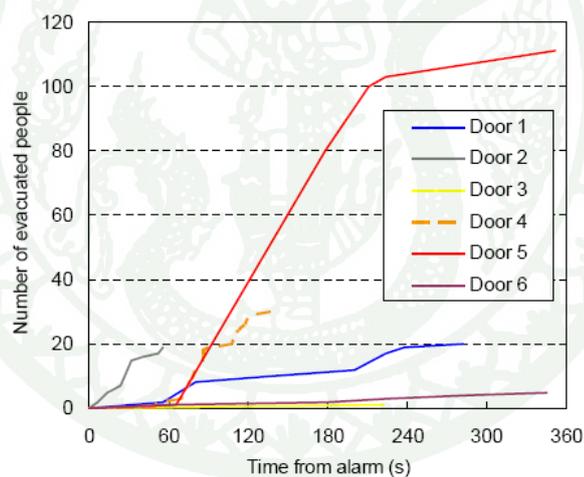
Hostikka *et al.* (2007) ได้ทำการทดลองการอพยพของห้องสมุดกลางที่มหาวิทยาลัยเฮลซิงกิ เพื่อสำหรับใช้เป็นโปรแกรมฝึกทักษะเจ้าหน้าที่ห้องสมุดในการอพยพ โดยมีการแจ้งเจ้าหน้าที่และมีการปะจื่อความแจ้งการอพยพที่ประตูเข้าออก สำหรับแจ้งผู้ให้บริการทราบแต่ไม่ได้ระบุเวลา มีการติดตั้งกล้องบันทึกที่ประตู 1 และ 4 ส่วนทางออกอื่นๆ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

การทดลองเริ่มต้นที่มีการสร้างวันเข้าไปภายในลิอบบี้ ผู้อพยพมีทั้งหมด 189 คน เวลาเฉลี่ยที่เตรียมตัวก่อนทำการอพยพวัดได้ 36 วินาที เจ้าหน้าที่ส่วนใหญ่ใช้ประตู 1 และผู้ให้บริการส่วนใหญ่เลือกใช้ประตูที่ 5 ซึ่งอยู่ตรงข้ามกับจุดสุดท้ายของอาคารที่เกิดเพลิง แม้ว่าในขณะที่ทำการอพยพ เจ้าหน้าที่ทำการแจ้งว่ามีบันได 2 ทางก็ตาม อัตราการอพยพออกที่ประตูที่ 5 เป็นไปอย่างคงตัว มีค่าเท่ากับ 0.7 คนต่อวินาที หรือ 0.8 คนต่อวินาทีต่อเมตร อย่างไรก็ตามค่าที่ได้อ้างอิงมาจากผู้จดบันทึก และอาจเปลี่ยนแปลงได้ถ้าอัตราการเคลื่อนที่ของผู้อพยพจริงผ่านเส้นทางการอพยพมีจำนวนมากสุด



ภาพที่ 15 จำนวนประตูของห้องสมุดกลางมหาวิทยาลัยเฮลซิงกิ

ที่มา: Development and validation of FDS+Evac for evacuation simulations (2007)



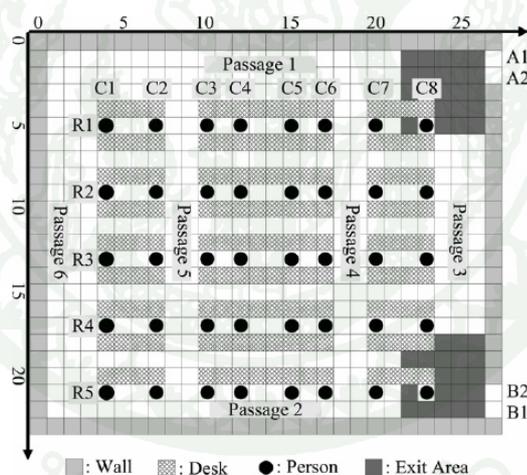
ภาพที่ 16 การเพิ่มจำนวนของผู้อพยพในแต่ละประตูที่เลือกใช้

ที่มา: Development and validation of FDS+Evac for evacuation simulations (2007)

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

การทดลองการอพยพในห้องเรียนของมหาวิทยาลัยในประเทศจีน มีนักเรียนทั้งหมด 40 คน อายุเฉลี่ย 20-23 ปี ห้องเรียนมีขนาด $9.6 \times 14 \text{ m}^2$ มีประตูทางออก 2 ประตู A, B แต่ละประตูมีบานเปิด 2 บาน A1, A2 และ B1, B2 กว้างบานละ 0.6 m มีโต๊ะเรียนขนาด $0.6 \times 0.35 \text{ m}^2$ วางในแนว 9 แถว 16 หลัก พื้นที่ว่างระหว่างแถวและหลักเท่ากับ $0.5, 1.0 \text{ m}$ (passage 4, 5) ตามลำดับ มีการแบ่งพื้นที่ห้องเรียนให้เป็นตารางย่อยๆ ที่เหมาะสมได้ออกเป็นส่วนๆ สามารถแบ่งตารางได้ทั้งหมด 27×23 ตาราง ซึ่งแต่ละตารางมีขนาด $0.5 \times 0.5 \text{ m}^2$ การอพยพถูกบันทึกด้วยกล้อง 4 ตัว ที่ทำการติดตั้งไว้ในตำแหน่งพิกัด (3,1), (1,6), (1,17), (3,22)

การอพยพจริง แบ่งเป็น 2 กรณี คือ กรณีที่ 1 ประตูทั้งสองทำการเปิดประตูแค่บานเดียว และตำแหน่งผู้อพยพอยู่ตามภาพด้านล่าง กรณีที่ 2 ประตูทั้งสองทำการเปิดประตูทั้งสองบาน และตำแหน่งผู้อพยพมีการเปลี่ยนตำแหน่งกัน โดยทำการทดลองแค่ 1 ครั้ง ผลที่ได้อาจจะไม่คงที่ แต่เป็นการสื่อให้เห็นถึงประสิทธิภาพความเป็นจริงในการทดลองอพยพจริง



ภาพที่ 17 ภาพการจัดตำแหน่งในห้องเรียนที่ทำการทดลองอพยพ

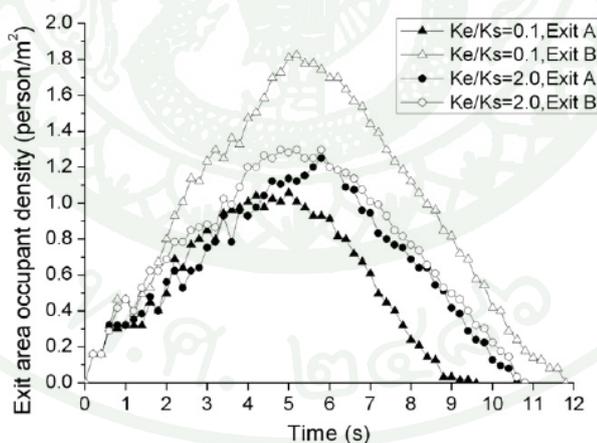
ที่มา: Shaoboo *et al.* (2009)

ผลการทดลองการอพยพที่ได้ คือ เวลาในการอพยพลดลงเมื่อประตูเปิดกว้างขึ้น แต่เวลาการอพยพทั้ง 2 กรณี เป็นไปในลักษณะทางเดียวกัน ในทุกๆแถว เวลาในการอพยพจะลดลงจากหลักที่ C1 ถึง C8 แต่ไม่ใช่ว่าคนที่อยู่ตำแหน่งไกลสุดของประตูจะอพยพออกจากห้องคนสุดท้าย

จะเห็นได้ว่าการทดลองที่ 1 มีการยื่นรอกเกิดขึ้นที่ทางออก แต่การทดลองที่ 2 ไม่มี ทำให้นักเรียนที่ยื่นรอกเกิดการลังเลไม่แน่ใจ เปลี่ยนไปใช้อีกประตูแทนในการอพยพออกจากห้องเรียน

การอพยพโดยใช้แบบจำลอง ความหนาแน่นเฉลี่ยของนักเรียนเท่ากับ 0.28 คนต่อตารางเมตร ทำการทดลอง 10 ครั้ง ความเร็วในการเคลื่อนที่ไม่ขึ้นกับความหนาแน่นเนื่องจากความหนาแน่นต่ำกว่า 0.54 คนต่อตารางเมตร ดังนั้นความเร็วในการอพยพมีค่า 0.2 เมตรต่อวินาที มีการใช้ค่าตัวแปร K_e/K_s ซึ่งเรียกว่า ความรู้สึกต่อความหนาแน่นผู้อพยพในพื้นที่ทางออก โดยมีการเปลี่ยนค่าตัวแปรดังกล่าว

ผลการทดลองที่ได้ คือ ที่ค่า K_e/K_s น้อย ผู้อพยพจะเลือกทางออก B มากกว่า A แต่พอค่า K_e/K_s มีค่าเพิ่มมากขึ้นผู้อพยพเริ่มมีการเปลี่ยนไปออกทางออก A เพิ่มมากขึ้นจนค่า $K_e/K_s \geq 2.0$ จำนวนผู้อพยพที่ออกทั้ง 2 ทางมีค่าใกล้เคียงกัน ทางออก A เท่ากับ 18 คน ทางออก B เท่ากับ 22 คน เวลาในการอพยพรวมประมาณ 10 วินาที ซึ่งผลที่ได้ใกล้เคียงกับผลการทดลองอพยพจริงด้วย เพราะจำนวนผู้อพยพในการเลือกทางออกเริ่มมีเหตุมีผล ความไม่แน่นอนในการเลือกทางออกลดลงอย่างมาก



ภาพที่ 18 ภาพค่าความรู้สึกต่อความหนาแน่นผู้อพยพในพื้นที่ทางออกกับเวลา โดยสีดำแทนทางออก A และสีขาวแทนทางออก B

ที่มา: Shaoboo *et al.* (2009)

ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

1. เวลาที่ใช้ในการอพยพขึ้นกับหลายปัจจัย ไม่ใช่แค่ระยะทาง ยังขึ้นกับการเลือกเส้นทางอพยพ, ความหนาแน่นของผู้อพยพรอบๆพื้นที่ทางออก
2. พฤติกรรมของมนุษย์จริงประกอบไปด้วยลักษณะนิสัยการสุ่มเลือกมากกว่าพฤติกรรมของแบบจำลองที่จะพิจารณา
3. เวลาการอพยพต่ำสุดถูกจำกัดด้วยอัตราการอพยพที่มากที่สุดที่ทางออก
4. ความหนาแน่นของผู้อพยพบริเวณทางออกมีส่วนสำคัญในกระบวนการตัดสินใจเลือกทางออก

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

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

$$T_{\text{escape}} = T_p + T_a + T_{rs} \quad (1)$$

T_p = เวลาที่ใช้ในการรับรู้ที่เกิดเพลิงไหม้ (Perception Time)

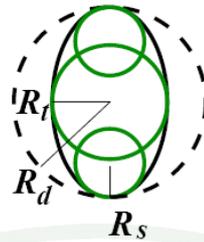
T_a = เวลาที่ตอบสนองต่อเหตุการณ์เพลิงไหม้ (Action Time)

T_{rs} = เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ไปยังจุดที่ปลอดภัย (Travel Time)

โปรแกรมแบบจำลองการอพยพสามารถคำนวณได้แค่ในส่วนของเวลาที่ใช้ในการอพยพเท่านั้น ส่วนเวลาการรับรู้ที่เกิดเพลิงไหม้และเวลาตอบสนองต่อเหตุเพลิงไหม้ไม่สามารถคำนวณได้แต่โปรแกรมเองสามารถกำหนดเวลาเริ่มต้นการอพยพหรือเวลาตอบสนองต่อเหตุได้ว่าจะให้ผู้อพยพเริ่มทำการอพยพที่เวลาเท่าไร ยังมีอิทธิพลอื่นที่ยังเป็นปัจจัยสำคัญที่เกี่ยวข้องกับ Travel Time คือ จำนวนประชากร ความเร็วในการอพยพ ความหนาแน่นของจำนวนคน ความกว้างของประตูและเส้นทางอพยพ ระยะทางที่ไปยังสถานที่ปลอดภัย ขนาดรูปทรงของอาคาร ความคุ้นเคยกับพื้นที่ ปริมาณสารพิษที่เพิ่มขึ้นในกระบวนการเผาไหม้จากวัสดุตกแต่งภายในอาคาร การใช้โปรแกรมแบบจำลองการอพยพหนีไฟเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่จะช่วยให้เห็นถึงศักยภาพ หรือข้อบกพร่องของพื้นที่ที่ใช้ในการอพยพและยังประหยัดในเรื่องของเวลาและค่าใช้จ่ายในการทดลอง ซักซ้อมทำแผนอพยพ การแก้ไขแบบภายในอาคารก่อนการสร้างจริง

1. ทฤษฎีพื้นฐานสำหรับแบบจำลองการอพยพของโปรแกรม FDS+EVAC

แบบจำลองการอพยพหนีไฟเป็นการแสดงพฤติกรรมเฉพาะของแต่ละบุคคล ผู้อพยพมีบุคลิกส่วนตัวในการตัดสินใจหาทางเส้นทางอพยพอย่างต่อเนื่อง ภายในพื้นที่ว่างของอาคาร โดยได้รับอิทธิพลมาจากแรงปฏิกิริยาจากบุคคลอื่นและความหนาแน่นของกลุ่มฝูงชน แบบจำลองการเคลื่อนที่ของผู้อพยพถูกแสดงผลเป็นแบบ 2 มิติ บนพื้นที่อาคารที่ใช้อพยพ มีการใช้วงกลม 3 วงซ้อนกันแทนรูปร่างคน โดยขนาดรูปร่างและความเร็วที่ใช้ในการเคลื่อนที่อพยพขึ้นกับชนิดของผู้อพยพ ตามรูปและตารางด้านล่าง ซึ่งเหมือนกับโปรแกรม SIMULEX



ภาพที่ 19 ภาพขนาดรูปร่างของคน โดยการใช้วงกลม 3 วง มาวางซ้อนเหลื่อมกัน

ที่มา: Fire Dynamics Simulator with Evacuation Version 5.0 (2008)

ตารางที่ 5 ความเร็วในการเดินหลบหลีกเลี่ยงสิ่งกีดขวางและขนาดรูปร่าง มีการซ้อนเหลื่อมกันของวงกลมที่แทนไหล่คน กำหนดให้ $d_s = R_d - R_s$ สำหรับระบุนขนาดของร่างกายที่เปลี่ยนแปลงไปตามค่าในตาราง

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

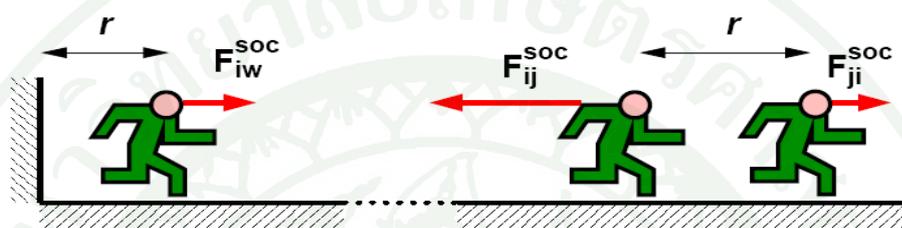
ที่มา: Fire Dynamics Simulator with Evacuation Version 5.0 (2008)

1.1 แบบจำลองการเคลื่อนที่ของผู้อพยพ

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

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

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



ภาพที่ 20 ภาพแนวคิดของแรงกระทำรอบข้าง

ที่มา: Fire Dynamics Simulator with Evacuation Version 5.0 (2008)

สมการของแรงที่มากระทำกับผู้อพยพ เป็นผลรวมของแรงรวม ประกอบด้วย แรงกระทำระหว่างผู้อพยพกับผู้อพยพ ผู้อพยพกับกำแพง ผู้อพยพกับสิ่งแวดล้อม เป็นตัวกระตุ้นให้เกิดการอพยพ และแรงการเคลื่อนที่ของผู้อพยพ

$$f_i = \frac{m_i}{\tau_i} (V_i^o - V_i) + \sum_{j \neq i} (f_{ij}^{soc} + f_{ij}^{att} + f_{ij}^c) + \sum_w (f_{iw}^{soc} + f_{iw}^c) + \sum_k f_{ik}^{att} \quad (3)$$

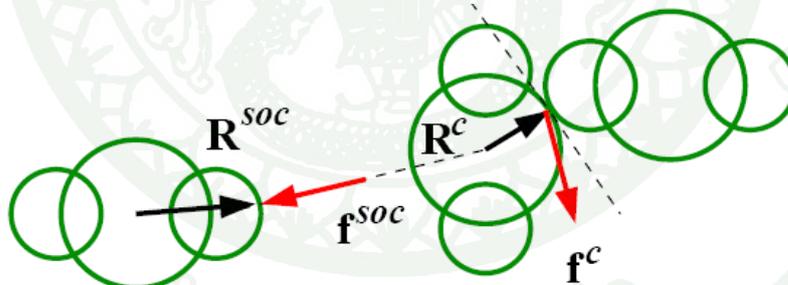
โดยที่	$\sum_{j \neq i} (f_{ij}^{soc} + f_{ij}^{att} + f_{ij}^c)$	แทน	ผลรวมของแรงกระทำระหว่างผู้อพยพกับ ผู้อพยพ
	$\sum_w (f_{iw}^{soc} + f_{iw}^c)$	แทน	ผลรวมของแรงกระทำระหว่างผู้อพยพกับ กำแพง
	$\sum_k f_{ik}^{att}$	แทน	ผลรวมของแรงกระทำระหว่างผู้อพยพกับ สิ่งแวดล้อม

$\frac{m_i}{\tau_i} (V_i^o - V_i)$ แทน แรงเคลื่อนที่ของผู้อพยพ
 τ_i แทน ตัวแปรของเวลาที่ใช้หยุดพัก

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

$$f_{ij}^{soc} = A_i e^{-(r_{ij}-d_{ij})/B_i} (\lambda_i + (1-\lambda_i) \frac{1 + \cos \varphi_{ij}}{2}) n_{ij} \quad (3.1)$$

โดยที่ r_{ij} แทน ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางวงกลมของผู้อพยพ
 d_{ij} แทน ผลรวมของรัศมีของวงกลม
 n_{ij} แทน เวกเตอร์ จากจุดของผู้อพยพ j ถึง i
 φ_{ij} แทน องศาระหว่างทิศทางการเคลื่อนที่ของผู้อพยพ i ถึง j
 A_i, B_i แทน ตัวแปรของความแข็งแรงและแรงการขยายระยะห่าง
 λ_i แทน ตัวแปรที่ควบคุมแรงกระทำรอบข้าง



ภาพที่ 21 ภาพการกำหนดรัศมีของเวกเตอร์ R^c และ R^{soc}

ที่มา: Fire Dynamics Simulator with Evacuation Version 5.0 (2008)

สมการของแรงสัมผัสที่กระทำระหว่างผู้อพยพด้วยกัน

$$f_{ij}^c = (k(d_{ij} - r_{ij}) + c_d \Delta v_{ij}^n) n_{ij} + K(d_{ij} - r_{ij}) \Delta v_{ij}^t t_{ij} \quad (3.2)$$

โดย Δv_{ij}^t แทน ความแตกต่างของความเร็วที่ขนานเส้นสัมผัสของจุดสัมผัสวงกลม
 Δv_{ij}^n แทน ความแตกต่างของความเร็วปกติ
 t_{ij} แทน เวกเตอร์ที่ขนานเส้นสัมผัสของวงกลมที่สัมผัสกัน
 k แทน ค่าคงที่ของแรงการยึดในแนวรัศมี
 K แทน ค่าคงที่ของแรงต้านความผิด
 c_d แทน ตัวแปรการหน่วง

สมการการเคลื่อนที่การหมุนของผู้อพยพแต่ละคน นอกเหนือจากที่ผู้อพยพจะมีองศาของการเคลื่อนที่อย่างแล้ว ก็ยังมีความอิสระในเรื่ององศาการหมุนด้วย

$$I_i^z \frac{d^2 \varphi_i(t)}{dt^2} = M_i^z(t) + \eta_i^z(t) \quad (4)$$

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

สมการผลรวมของแรงบิดที่กระทำกับผู้อพยพจากสิ่งแวดล้อม

$$M_i^z = M_i^c + M_i^{soc} + M_i^r \quad (5)$$

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

สมการแรงบิดที่สัมผัสกับผู้อพยพ

$$M_i^c = \sum_{j \neq i} (R_i^c \times f_{ij}^c) \quad (5.1)$$

โดย R_i^c แทน รัศมีเวกเตอร์จากจุดศูนย์กลางผู้อพยพ i ถึงจุดสัมผัส
สมการแรงบิดที่กระทำจากแรงรอบข้าง

$$M_i^{soc} = \sum_{j \neq i} (R_i^{soc} \times f_{ij}^{soc}) \quad (5.2)$$

โดย R_i^{soc} แทน เวกเตอร์จากจุดศูนย์กลางผู้อพยพ i ถึงจุดสัมผัสที่สร้างขึ้นจากแรง
รอบข้าง

สมการแรงบิดของการเคลื่อนที่

$$M_i^r = \frac{I_i^z}{\tau_i^z} ((\varphi_i(t) - \varphi_i^0)\omega_i^0 - \omega(t)) = \frac{I_i^z}{\tau_i^z} (\tilde{\omega}_i^0 - \omega(t)) \quad (5.3)$$

โดย ω_i^0 แทน ความเร็วเชิงมุมมากที่สุดที่กำหนดไว้ของผู้อพยพในการเลี้ยว

ω_t แทน อัตราเร็วเชิงมุมเวลา t เวลานั้น

φ_i^0 แทน มุมที่กำหนดให้

v_i^0 แทน จุดของเวกเตอร์

$\tilde{\omega}_i^0$ แทน ความเร็วเชิงมุมที่กำหนด

1.2 ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นระหว่างผู้อพยพกับไฟ

Frantzich and Nilsson (2003) ได้ทำการทดลองผลกระทบของความหนาแน่นควันที่มี
ผลต่อความความเร็วในการเดินของผู้อพยพ โดยพวกเขาได้ใช้ความหนาแน่นควันมากกว่าของ Jin
และมีการสร้างเป็นสมการขึ้นมาจากการทดลอง

$$v_i^o(K_s) = \text{Max} \{v_{i,\min}^o, \frac{v_i^o}{\alpha} (\alpha + \beta K_s)\} \quad (6)$$

โดย K_s แทน สัมประสิทธิ์การทำให้หมดไป

α แทน สัมประสิทธิ์คงที่ (0.706 m/s)

β แทน สัมประสิทธิ์คงที่ (-0.057 m²/s)

$v_{i,\min}^o$ แทน ความเร็วขั้นต่ำของผู้อพยพ (0.1 m/s)

ผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการเผาไหม้ คือ ปริมาณสารพิษที่เป็นอันตรายต่อผู้อพยพสามารถทำให้เสียชีวิตได้ โดยเลือกนำมาเฉพาะก๊าซที่ทำให้ผู้อพยพอาจหมดสติได้ สามารถนำมาเขียนเป็นอัตราส่วนความหนาแน่นของ Purser ได้ หรือ เรียกว่า ดัชนีบ่งชี้ของอัตราส่วนที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพ

$$FED_{tot} = FED_{co} \times HV_{co_2} + FED_{o_2} \quad (7)$$

อัตราส่วนของ CO ที่ก่อให้เกิดอันตรายหรือทำให้ความสามารถลดลง

$$FED_{co} = 4.607 \times 10^{-7} (C_{co})^{1.036} \cdot t \quad (7.1)$$

อัตราส่วนของ O₂ ที่ก่อให้เกิดอันตรายหรือภาวะที่เลือดขาดออกซิเจน

$$FED_{o_2} = \frac{t}{60 \exp[8.13 - 0.54(20.9 - C_{o_2})]} \quad (7.2)$$

โดย C_{co_2} แทน เปอร์เซ็นต์ความหนาแน่นโดยปริมาตรของออกซิเจน

ปัจจัยของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ก่อให้เกิดภาวะหายใจติดขัดไม่สะดวก

$$HV_{co_2} = \frac{\exp(0.1930C_{co_2} + 2.004)}{7.1} \quad (7.3)$$

โดย C_{co_2} แทน เปอร์เซ็นต์ความหนาแน่นโดยปริมาตรของคาร์บอนไดออกไซด์

1.3 การเลือกทางออก

การประมาณเวลาในการอพยพประกอบด้วยเวลาโดยประมาณของการเดินและเวลาโดยประมาณของการรอคิว เวลาการเดินทางถูกประมาณด้วยระยะทางหารด้วยความเร็วในการเดิน และ

เวลาประมาณของการรอกิวเป็นผลมาจากการการกระทำและตำแหน่งของผู้อพยพคนอื่นๆ นอกจากตำแหน่งของทางออก การปฏิบัติของผู้อพยพคนอื่นๆ ยังมีปัจจัยอื่นที่มีอิทธิพลต่อกระบวนการตัดสินใจของผู้อพยพ มีเงื่อนไขที่สัมพันธ์กับไฟ ความคุ้นเคยของทางออก การมองเห็นเส้นทางอพยพ ความคุ้นเคยของทางออกเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความจำเป็นในการตัดสินใจเลือกทางออก เพราะถ้าการไม่รู้ทางออกจะส่งผลให้การพิจารณาในการตัดสินใจช้าเพิ่มขึ้น

กระบวนการเลือกทางออกประกอบด้วย 2 ช่วง คือ ช่วงแรกทางออกจะถูกแบ่งออกโดยเน้นไปตามกลุ่มคนส่วนใหญ่ตามตารางด้านล่าง และช่วงที่สอง ทางออกจะถูกเลือกจากกลุ่มคนส่วนใหญ่จากเวลาในการอพยพที่น้อยที่สุด สำหรับในโปรแกรมการใส่ค่าชุดคำสั่งในการเลือกทางออกของผู้อพยพ ผู้ใช้งานสามารถระบุได้ว่าจะให้เป็นการสุ่มเลือกทางออกหรือให้ผู้อพยพเลือกใช้ทางออกนั้นๆ ได้เลย

ตารางที่ 6 ความชอบของกลุ่มคนส่วนใหญ่ที่ใช้เป็นกระบวนการตัดสินใจในการเลือกทางออก

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

ที่มา: Fire Dynamics Simulator with Evacuation Version 5.0 (2008)

1.4 กลุ่มผู้อพยพ

Helbing ได้ทำการพัฒนาพฤติกรรมของกลุ่มผู้อพยพในแบบจำลองจากสมการ โดยได้ทำการแบ่งแบบจำลองการกระทำของกลุ่มออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ

1.4.1. ขั้นตอนการรวมกลุ่ม ผู้อพยพจะทำการเดินมาข้างหน้าเพื่อมาทำการจับกลุ่มกัน

1.4.2. ขั้นตอนการอพยพ กลุ่มผู้อพยพจะเคลื่อนที่ไปด้วยกันทั้งหมดตามเส้นทางออกที่ได้ถูกเลือกไว้

กลุ่มผู้อพยพจะมีแรงดึงดูดระหว่างกัน เรียกว่า แรงกระทำของกลุ่ม โดยจะพยายามรักษาการรวมกลุ่มกันไว้ในขณะทำการเคลื่อนที่ไปหาทางออก ค่าแรงกระทำของกลุ่มก็จะมีผลแตกต่างกันไปในแต่ละกลุ่มผู้อพยพ แบบจำลองของกลุ่มยังไม่สามารถใช้ได้โปรแกรม FDS แต่จะมีการเพิ่มเติมเข้าไปในภายหลังสำหรับโปรแกรมตัวล่าสุด

1.5 วิธีการระบบวิธีเชิงตัวเลข

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

2. ทฤษฎีโครงข่ายสำหรับแบบจำลองในโปรแกรม Pyrosim 2008

การกำหนดโครงข่ายของแบบจำลอง โดยทั่วไปจะเริ่มต้นกำหนดโครงข่ายที่นำมาใช้กับแบบจำลองเป็นโครงข่ายแบบหยาบก่อน และหลังจากนั้นก็เริ่มทำการปรับแก้ไขขนาดของโครงข่ายให้ลดลงจนกระทั่งไม่เห็นความเปลี่ยนแปลงของผลลัพธ์ที่เกิดจากโครงข่ายที่ลดลง แบบจำลองที่เกี่ยวข้องกับแรงลอยตัวของลำควัน จะมีการวัดว่าการเคลื่อนที่ของของไหลกระจายตัวดีหรือไม่โดยมีการแสดงในรูปสมการของตัวแปรไร้หน่วย

สมการตัวแปรไร้หน่วย

$$R^* = \frac{\Delta X}{D^*} \quad (7.4)$$

โดย R^* แทน อัตราส่วนของจำนวนขนาดโครงข่ายต่อเส้นผ่านศูนย์กลาง
สัมพัทธ์

ΔX แทน ขนาดของจำนวนโครงข่าย

D^* แทน เส้นผ่านศูนย์กลางสัมพัทธ์

3. ขั้นตอนในการอพยพ

3.1 ส่วนประกอบของเวลาในการอพยพหนีไฟ

NFPA 101, Life Safety Code, 2009 Edition ได้กำหนดเวลาในการอพยพสำหรับแต่ละบุคคลเป็นช่วงของเวลาทั้งหมด เริ่มตั้งแต่เกิดการลุกไหม้จนกระทั่งคนเริ่มอพยพออกจากอาคาร ไปสู่จุดที่ปลอดภัย จะประกอบไปด้วยองค์ประกอบ 4 ส่วนดังนี้

Time to Notification คือ เวลาที่เกิดเพลิงไหม้จนมีการแจ้งเตือน

Reaction Time คือ เช่นเซอร์จับได้และมีการแจ้งเตือนจนกระทั่งคนรู้สึกตัว

Prevacuation Time คือ คนรู้สึกตัวและเริ่มจะทำการหนี

Travel or Movement Time คือ คนเริ่มหนีจนกระทั่งไปอยู่ในจุดที่ปลอดภัย

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

$$\text{Evacuation Time} = \text{Delay Time} + \text{Travel Time} \quad (8)$$

เวลาก่อนการเคลื่อนที่ (Premovement Time) คือ เวลาหลังจากที่มีสัญญาณการแจ้งเตือนอพยพจนถึงเวลาที่ผู้อพยพรู้สึกตัวแล้วกำลังจะเริ่มทำการอพยพ มีผลกระทบมาจากหลายปัจจัยตามตารางด้านล่าง

ตารางที่ 7 เวลาก่อนการเคลื่อนที่อพยพในอาคารแต่ละประเภท

Building Type	Mean Pre-Movement Time (s)	Range	Count	Reference
Offices	113.4	0-540	19 ^a	(13)
Shops and commercial places	108.6	0-420	16 ^a	
Publics entertainment places	120	0-540	28 ^a	
Large Retail Store	37.1	21.1-45.0	410	(5)
Lingerie	22.3	18.0-29.0		
Childrenwear	29.6	22.4-37.0		
Household	27.1	19.3-34.8		
Menswear	24.7	22.3-26.6		
Ladies shoe	29.5	23.0-36.0		
Ladieswear	29.3	18.2-45.6		
Customer services	21.1	19.0-23.1		
School Staff	70.8	0-246	17	(14)
student	73.7	8-200	228	
Hospital Pathology and physiotherapy Staff	52	26.6-91.9	9	
Patients	37.3	30.0-45.0	3	
All	48.3	26.0-91.0	12	
Waiting room staff	26.0	16.0-43.0	4	
Patients	36.3	34.0-40.0	4	

ตารางที่ 7 (ต่อ)

Building Type		Mean Pre-Movement Time (s)	Range	Count	Reference
Treatment	All	31.1	16.0-43.0	8	
	staff	45.0	45.0-45.0	1	
	Patients	59.1	46.0-66.0	12	
All areas	All	58.0	45.0-66.0	13	
	staff	44.1	16.0-19.0	14	
	Patients	50.8	30.0-66.0	19	
	All	48.0	16.0-91.0	33	

หมายเหตุ a ใช้แทนจำนวนครั้งของเหตุเพลิงไหม้หรือจำนวนครั้งของประสบการณ์จากเหตุเพลิงไหม้ของบุคคล

ที่มา: Shi* *et al.* (2009)

3.2 ความเร็วที่ใช้ในการเคลื่อนที่อพยพ

ความเร็วในการเคลื่อนที่อพยพ (Travel Speed) เป็นตัวแปรที่สำคัญที่ใช้ในแบบจำลองการอพยพ โดยขึ้นกับหลายปัจจัย ตามตารางข้างล่างดังต่อไปนี้

ตารางที่ 8 ความเร็วในการเดินที่ขึ้นกับหลายปัจจัยที่มีอิทธิพล

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

ที่มา: Shi* *et al.* (2009)

ตารางที่ 9 ความเร็วในการเดินบนบันไดในหลายลักษณะขนาดของบันได

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

ที่มา: Shi* *et al.* (2009)

ตารางที่ 10 อัตราการเคลื่อนที่อพยพของจำนวนนักเรียนที่อพยพผ่านบันไดในแต่ละชั้น

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

ที่มา: Xu and Song (2009)

ตารางที่ 11 เวลาการเดินทางแบบอิสระและความเร็วในการเดินลงบันไดของกลุ่มตัวอย่างนักเรียน 6 คน

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

ที่มา: Xu and Song (2009)

3.3 พฤติกรรมที่เกิดขึ้นระหว่างการอพยพ

ลักษณะของพฤติกรรมเฉพาะบุคคลและเป็นกลุ่มได้มีการศึกษาค้นคว้ามาตั้งแต่ในสมัยอดีตด้วยการเก็บรวบรวมข้อมูลจากผู้ซึ่งประสบเหตุหรืออยู่ในเหตุการณ์เพลิงไหม้ ผลกระทบของไฟที่มีผลต่อพฤติกรรมผู้อพยพมีความไม่แน่นอน เนื่องจากขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ลักษณะของไฟที่เกิดขึ้น ช่วงเวลาที่พบไฟไหม้ สภาพแวดล้อม พฤติกรรมที่แสดงออกมาทั้งเฉพาะบุคคล

และเป็นกลุ่มเป็นวิธีแสดงออกโดยทั่วไปของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเมื่อเข้าสู่สภาวะวิกฤต หากทางเอาตัวรอด มีรูปแบบวิธีที่แสดงออกมาหลากหลายลักษณะ

3.3.1 การรับรู้เหตุเพลิงไหม้ เริ่มแรกผู้อพยพสามารถรับรู้ได้ถึงไฟไหม้โดยใช้ประสาทสัมผัสการรับรู้จากกลิ่นของควัน การสังเกตส่วนบุคคล การได้ยินเสียงสัญญาณแจ้งเตือน มีการเก็บข้อมูลเสียงที่มีหลากหลายประเภทที่ทำให้ผู้อพยพหรือผู้ที่อยู่ในพื้นที่นั้นทราบ รับรู้ว่ามีเหตุเพลิงไหม้เกิดขึ้น ตามตารางด้านล่างนี้เป็นผลการเก็บข้อมูลของประชากรในประเทศอเมริกา

ตารางที่ 12 ค่าเฉลี่ยการรับรู้เหตุเพลิงไหม้

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

ที่มา: NFPA Ready Reference Human Behavior in Fire Emergencies (2003)

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

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

ตารางที่ 13 การศึกษาการเปรียบเทียบพฤติกรรมการแสดงออกของประชากรของประเทศอังกฤษและประเทศอเมริกา

Behavior	British (Percent, P ₁)	U.S. (Percent, P ₂)	P ₁ -P ₂	SE ^a _{p₁-p₂}	CR _b
Evacuation	54.5	80	25.5	2.30	11.09 ^c
Reentry	43.0	27.9	15.1	2.30	6.51 ^c
Fire fighting	14.7	22.9	8.2	1.74	4.71 ^c
Moved through smoke	60.0	62.7	2.7	2.29	1.18
Turned back	26.0	18.3	7.7	2.01	3.83 ^c
	2193	584			

หมายเหตุ a คือ ค่าผิดพลาดมาตรฐาน b คือ อัตราส่วนวิกฤต c คือ อัตราส่วนวิกฤตนี้สำคัญ

ที่มา: NFPA Ready Reference Human Behavior in Fire Emergencies (2003)

ตารางที่ 14 เหตุผลในการกลับเข้าไปในทิศทางเดิม

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

ที่มา: NFPA Ready Reference Human Behavior in Fire Emergencies (2003)

ตารางที่ 15 พฤติกรรมการต่อสู้อุบัติภัยไฟของเพศและอายุ

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

Percent of participant population = 22.9

ที่มา: NFPA Ready Reference Human Behavior in Fire Emergencies (2003)

ตารางที่ 16 การเปรียบเทียบระยะทางการเคลื่อนที่ผ่านควันของประชากรของประเทศอังกฤษและ
ประเทศสหรัฐอเมริกา

Distance Moved (ft)	British (Percent, P ₁)	U.S. (Percent, P ₂)	P ₁ -P ₂	SE ^a _{P₁-P₂}	CR _b
0-2	3.0	2.3	0.7	1.02	0.69
3-6	18.0	8.4	9.6	2.23	4.30 ^c
7-12	30.0	17.1	12.9	2.71	4.76 ^c
13-30	19.0	45.5	26.5	2.62	10.11 ^c
31-36	5.0	2.0	3.0	1.25	2.40 ^d
37-45	4.0	4.1	0.1	1.19	0.08
46-60	5.0	11.0	6.0	1.47	4.08 ^c
60+	15.0	9.6	5.4	2.10	2.57 ^d
	1316	322			

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

ที่มา: NFPA Ready Reference Human Behavior in Fire Emergencies (2003)

3. แบบจำลองอาคารห้องสมุดมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา

3.1 ลักษณะรูปร่างของอาคาร

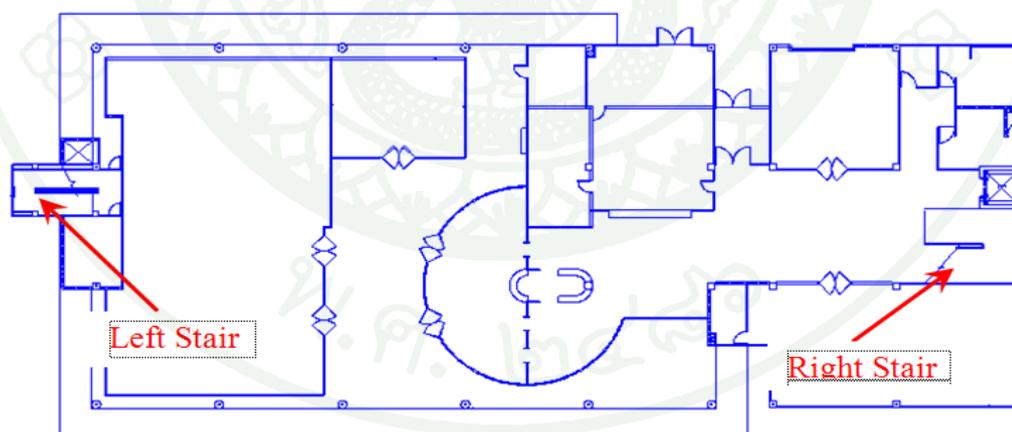
ลักษณะอาคารห้องสมุด เป็นอาคารสูง 5 ชั้น มีทางเข้าออกทางด้านหน้าอาคารสู่ทาง
สาธารณะ 2 ทางที่ชั้นล่างสุด มีบันไดขึ้นลงซึ่งใช้งานปกติ 1 บันได อยู่ทางด้านฝั่งขวาของอาคาร
และบันไดหนีไฟทางด้านฝั่งซ้ายของอาคาร ซึ่งใช้งานเฉพาะการอพยพกรณีเกิดเหตุการณ์ฉุกเฉิน
เท่านั้นอาคารมีขนาดกว้าง 22.8 เมตร ยาว 54.8 เมตร สูง 15.3 เมตร อาคารแบ่งออกเป็น 5 ชั้น ชั้น
ล่างสุดหรือชั้น 1 ลักษณะพื้นที่ภายในส่วนใหญ่เป็น โถงทางเข้าอาคาร มีโถงแสดงนิทรรศการ โถง
ทางเดิน และส่วนบริการยืมหนังสือ ชั้น 2 พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นในส่วนชั้นจัดวางหนังสือ พื้นที่จัด
วางโต๊ะอ่านหนังสือ โถงทางเดิน ห้องประชุม ห้องโสตศึกษา ชั้น 3 การจัดวางพื้นที่ส่วนใหญ่

เหมือนกับชั้น 2 พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นชั้นวางหนังสือ และพื้นที่โตะอ่านหนังสือ มีโถงทางเดินเข้าพื้นที่ ชั้น 4 พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นห้องฟังบรรยายขนาดใหญ่ ห้องค้นคว้านิสิตแบบห้องเดี่ยว ห้องเก็บเล่มวิทยานิพนธ์ปีเก่าๆ ห้องแสดงสื่อวีดิทัศน์ต่างๆ และชั้น 5 เป็นส่วนของคาเฟ่ มีการจัดวางถึงน้ำหนักใหญ่สำหรับใช้งานภายในของอาคารห้องสมุด ด้านหน้าอาคารติดถนน



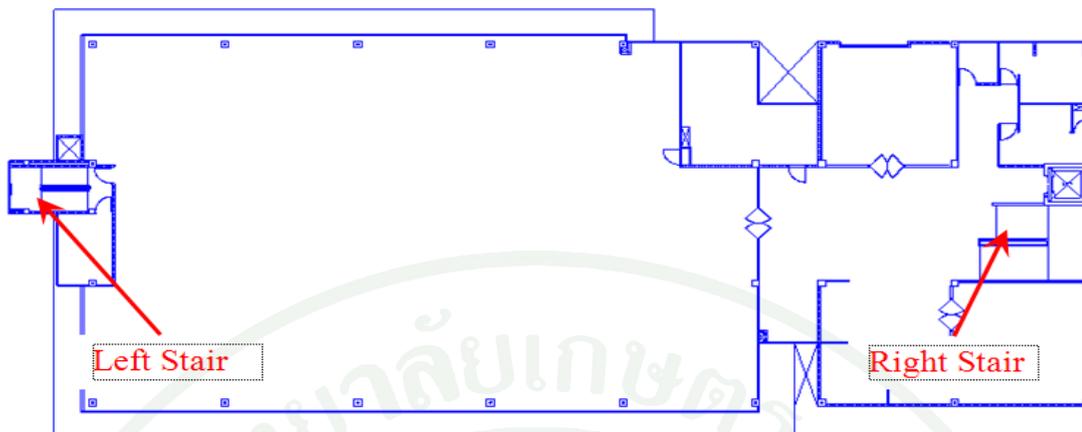
ภาพที่ 22 ภาพอาคารห้องสมุดมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา

ที่มา: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา (2009)



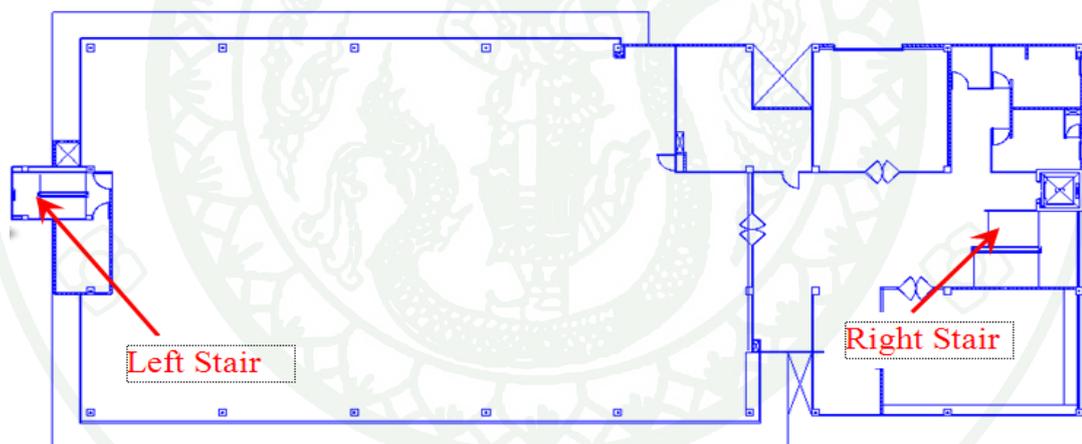
ภาพที่ 23 ภาพแผนผังภายในอาคารห้องสมุดชั้นที่ 1

ที่มา: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา (2007)



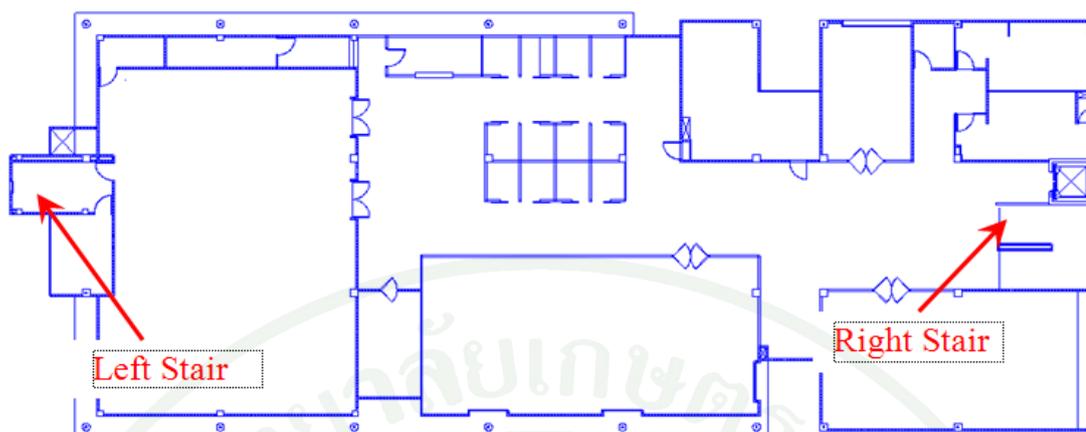
ภาพที่ 24 ภาพแผนผังภายในอาคารห้องสมุดชั้นที่ 2

ที่มา: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา (2007)



ภาพที่ 25 ภาพแผนผังภายในอาคารห้องสมุดชั้นที่ 3

ที่มา: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา (2007)



ภาพที่ 26 ภาพแผนผังภายในอาคารห้องสมุดชั้นที่ 4

ที่มา: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา (2007)

3.2 ลักษณะการใช้อาคารและประเภทบุคคลที่เข้าใช้อาคาร

NFPA 101, Life Safety Code, 2009 Edition ได้จำแนกประเภทของอาคาร โดยแบ่งตามลักษณะพื้นที่ครอบครองของผู้ใช้อาคารและลักษณะเชื้อเพลิงที่มีการใช้งานของห้องสมุด เป็นประเภท Assembly เนื่องจากมีผู้ใช้อาคารจำนวนมากเกินกว่า 50 คน เป็นสถานที่สาธารณะ บุคคลที่ใช้อาคารส่วนใหญ่จะเป็นกลุ่มนิสิต เจ้าหน้าที่ และบุคลากรของมหาวิทยาลัยซึ่งส่วนใหญ่จะมีความคุ้นเคยกับพื้นที่ภายในและเส้นทางเข้าออกของอาคารดี สำหรับบุคคลภายนอกถือว่าเป็นกลุ่มคนจำนวนน้อยที่เข้ามาใช้มาใช้บริการ ประเภทของผู้ใช้บริการส่วนใหญ่เป็นวัยรุ่น ช่วงเวลาของการใช้บริการตามปกติ แบ่งได้ 2 ช่วง คือ เวลา 8.30-16.30 น. และ 16.30-20.00 น. ผู้เข้าใช้บริการจะมีปริมาณหนาแน่นในช่วงของการสอบ

ตารางที่ 17 ค่าเฉลี่ยในแต่ละเดือนของผู้เข้าใช้บริการห้องสมุดปี 2552

เดือน	ช่วงเวลา		รวม
	8.30-16.30 น.	16.30-20.00 น.	
มกราคม	258	147	405
กุมภาพันธ์	348	241	562
มีนาคม	225	54	279
เมษายน	160	19	179
พฤษภาคม	174	53	227
มิถุนายน	517	195	712
กรกฎาคม	513	211	724
สิงหาคม	487	108	595

ที่มา: ห้องสมุดมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา (2009)

นอกจากนี้ยังสามารถใช้มาตรฐาน NFPA 101, Life Safety Code, 2009 Edition เพื่อทำการคำนวณความจุคนในอาคารห้องสมุดได้ โดยแสดงผลการคำนวณได้ตามตารางข้างล่างดังต่อไปนี้

ตารางที่ 18 ผลการคำนวณความจุคนตามมาตรฐาน NFPA 101, Life Safety Code, 2009 Edition

จำนวนของความจุคน	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3	ชั้นที่ 4	รวม
		160	223	216	

ที่มา: NFPA 101, Life Safety Code, 2009 Edition

3.3 อุปกรณ์ภายในที่ใช้ในการอพยพ

ภายในอาคารมีบันไดที่ใช้งานปกติ 1 บันได อยู่ทางด้านฝั่งขวาของอาคาร มีความกว้าง 2.15 เมตร และมีบันไดหนีไฟ 1 บันได ทางด้านฝั่งซ้ายของอาคารมีความกว้าง 1 เมตร ภายในบันได ด้านฝั่งซ้ายมีส่วนปิดล้อมกันแยกพื้นที่ออกจากส่วนของอาคาร มีทางปล่อยออกที่ชั้นล่างด้านหลัง

อาคาร โดยไม่ต้องผ่านส่วนโถงประตูกระจกทางเข้าด้านหน้าอาคาร ความสูงจากพื้นถึงเพดานของ
 ชั้น 1 สูง 3.6 เมตร และชั้น 2, 3, 4 สูง 2.7 เมตร เท่ากัน มีทางเข้าออกอาคาร 1 ทาง ด้านหน้า
 ด้านหน้ามีประตูเข้าออก 2 ประตู กว้าง 1.6 เมตร เท่ากัน ประตูทางออกจากบันไดหนีไฟฝั่งซ้าย
 กว้าง 0.6 เมตร



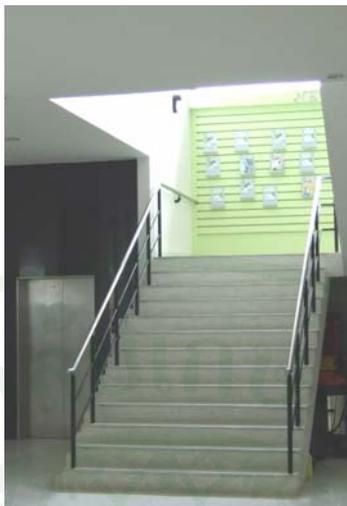
ภาพที่ 27 ภาพประตูทางเข้าบันไดหนีไฟของอาคารห้องสมุดชั้น 4

ที่มา: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา (2009)



ภาพที่ 28 ภาพบันไดหนีไฟทางด้านฝั่งซ้ายของอาคารห้องสมุด

ที่มา: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา (2009)

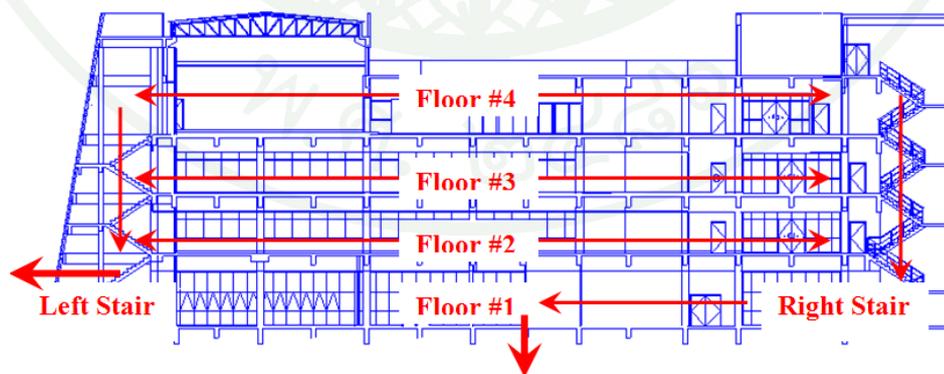


ภาพที่ 29 ภาพบันไดที่ใช้งานปกติกทางด้านฝั่งขวาของอาคารห้องสมุด

ที่มา: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา (2009)

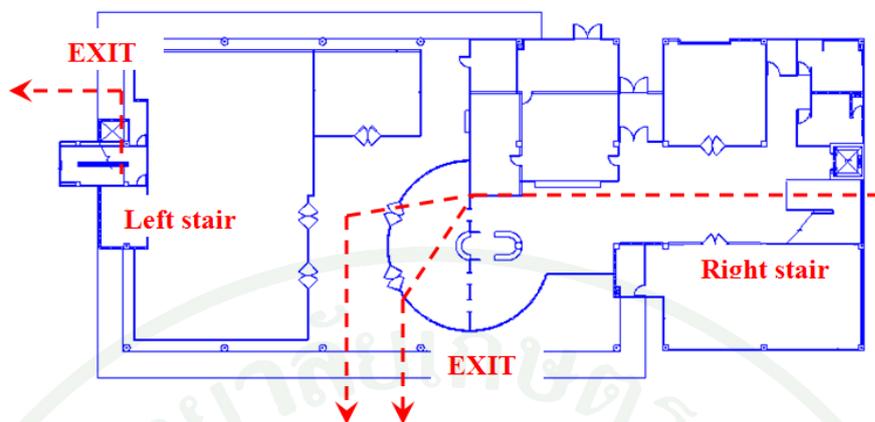
3.4 เส้นทางอพยพหนีไฟภายในอาคาร

จากภาพด้านล่างแสดงเส้นทางอพยพภายในของห้องสมุดในแต่ละชั้นเพื่อไปยังบันไดทั้ง 2 ด้านของอาคาร และอพยพลงมาสู่ทางออกชั้นล่างสุดของอาคาร ทางด้านหน้าอาคาร 2 ประตูและทางหลังอาคารที่ทางปล่อยออกประตูหนีไฟ 1 ประตู



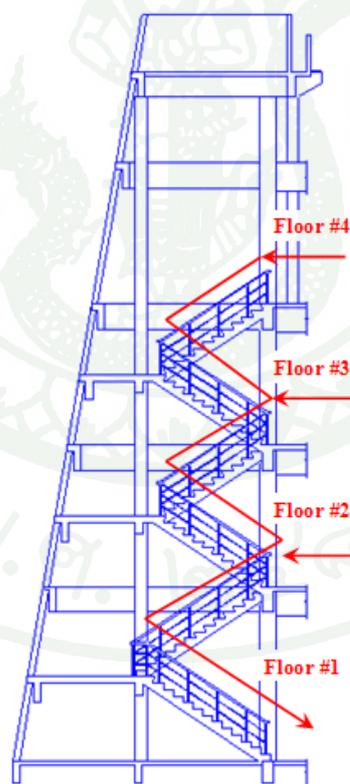
ภาพที่ 30 ภาพทิศทางการอพยพในแต่ละชั้นภายในของอาคารห้องสมุด

ที่มา: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา (2007)



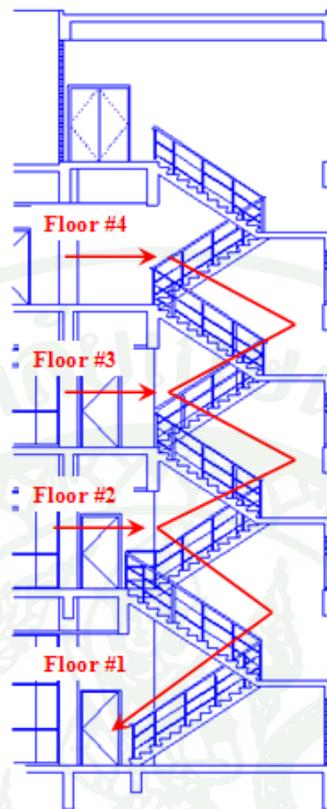
ภาพที่ 31 ภาพเส้นทางการอพยพออกที่ชั้น 1 ทางด้านหน้าอาคารและทางประตูหนีไฟ

ที่มา: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา (2007)



ภาพที่ 32 ภาพการอพยพภายในบันไดด้านซ้ายของอาคาร

ที่มา: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา (2007)



ภาพที่ 33 ภาพการอพยพภายในบันไดด้านขวาของอาคาร

ที่มา: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา (2007)

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เครื่องคอมพิวเตอร์แบบพกพา Genuine Intel ® Core 2 Duo CPU T8100 ความจุ Hard Disk ขนาด 250 GB หน่วยความจำ (RAM) 2 GB ความเร็ว Hard Disk 2.09 GHz
2. เครื่องพิมพ์ เลเซอร์เจ็ท (Laser Jet) จำนวน 1 เครื่อง
3. โปรแกรม Fire Dynamics Simulator with Evacuation FDS+Evac, Version 5.0 ของสถาบัน VTT Technical Research Center of Finland
4. โปรแกรม Pyrosim 2008 Version 2008.2 ของบริษัท Thunderhead Engineer Consultant Incorporation
5. โปรแกรม Microsoft Office 2003

วิธีการ

1. กำหนดขอบเขตของปัญหางานวิจัย โดยนำปัญหามาแยกเป็นแต่ละกรณีในการทำวิจัย
2. ศึกษาทฤษฎีและมาตรฐานอ้างอิงที่เกี่ยวข้อง ในการนำมาใช้ในแบบจำลองการอพยพ
3. ศึกษาการใช้งานโปรแกรม Pyrosim 2008 และ Fire Dynamics Simulator with Evacuation FDS+Evac
4. ประเมินและวิเคราะห์ผล
5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

ขั้นตอนการทำวิจัย

1. กำหนดขอบเขตของปัญหางานวิจัย และจำลองเป็นสถานการณ์

ช่วงเวลาให้บริการของห้องสมุดแบ่งออกเป็น 2 ช่วงเวลา คือ 8.30-16.30 น. และ 16.30-20.00 น. โดยกำหนดช่วงเวลาการใช้บริการห้องสมุดที่มีปริมาณผู้ใช้บริการหนาแน่นจะเป็นช่วงใกล้สอบ ซึ่งมีนิสิตเข้าใช้บริการหนาแน่นกว่าช่วงปกติที่ไม่มีการสอบ มีทั้งนิสิตที่มาอ่านหนังสือในห้องศึกษาเดี่ยว และมีทั้งมาอ่านหนังสือกันเป็นกลุ่มใหญ่เพื่อช่วยกันติวสอบ ที่นั่งตามโต๊ะที่มีการจัดวางไว้รอบๆ ห้องสมุดเต็มเกือบหมด มีการสมมุติให้แหล่งต้นเพลิงเกิดขึ้นที่ห้อง Air handing units ของชั้นที่ 3 และเมื่อมีสัญญาณแจ้งเตือนเหตุเพลิงไหม้ ทำให้นิสิตเกิดการแตกตื่นและต่างพยายามที่จะทำการอพยพออกจากอาคารห้องสมุด โดยใช้บันไดทั้ง 2 ฝั่งของอาคาร ซึ่งบันไดทางฝั่งขวาของอาคารเป็นบันไดที่มีการใช้งานขึ้นลงตามปกติ และบันไดทางด้านฝั่งซ้ายของอาคารเป็นบันไดหนีไฟ ซึ่งนิสิตเองก็มีความเคยชินกับเส้นทางอพยพและบันไดภายในอาคารเป็นส่วนใหญ่ ส่วนเวลาการรอคอยการอพยพในแต่ละชั้นไม่เกิดขึ้นเนื่องจากนิสิตอยู่ในสภาวะที่รู้สึกตัวอยู่เกือบตลอดเวลา ทำให้เวลาในส่วนการรอคอยก่อนการเริ่มการอพยพไม่น่ามาคิด

การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดค่าการมองเห็น ปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์ ปริมาณออกซิเจน และอุณหภูมิ ทั้ง 4 ชั้นของอาคาร เพื่อทำการเก็บค่าต่างๆ ในระหว่างทำการอพยพ

ระบบระบายควันและระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิงไม่ได้นำมาใช้ในแบบจำลองด้วย เนื่องจากสมมุติให้เป็นสถานการณ์ที่ร้ายแรงที่สุด

2. ศึกษามาตรฐานอ้างอิงที่เกี่ยวข้อง ตั้งสมมุติฐานและค่าเริ่มต้นเพื่อมาใช้ในแบบจำลอง

ตามมาตรฐาน NFPA 101, Life Safety Code, 2009 Edition ได้จัดประเภทห้องสมุดตามลักษณะการใช้งานออกเป็นประเภทอาคารชุมนุมชน เนื่องจากมีผู้ใช้บริการมากกว่า 50 คนขึ้นไป สำหรับจำนวนผู้อพยพที่นำมาใช้ในการจำลองสถานการณ์แบ่งเป็น 2 กรณี คือ กรณีที่หนึ่ง อ้างอิงตามข้อมูลจริงของผู้เข้าใช้บริการสูงสุดเท่ากับ 517 คน และกรณีที่สอง อ้างอิงตามการคำนวณจากมาตรฐาน NFPA 101, Life Safety Code, 2009 Edition ได้เท่ากับ 788 คน มาผลการคำนวณตามตารางที่ 18

ขนาดกองเพลิงที่ใช้ในแบบจำลอง เลือกใช้เชื้อเพลิงเป็น โพลียูรีเทน เนื่องจาก เป็นชนิดของเชื้อเพลิงชนิดหนึ่งที่มีให้เลือกใช้งานในโปรแกรม FDS+Evac. โดยแบ่งอัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนเป็น 2 กรณี อ้างอิงจากตารางที่ 19 คือ กรณีที่หนึ่ง พลังงานความร้อน 7,000 kW พื้นที่หน้าตัดกองเพลิง 7 m² ให้กรณีนี้เป็นกรณีเลวร้ายสุดของขนาดกองเพลิง และกรณีที่สอง พลังงานความร้อน 5,000 kW พื้นที่หน้าตัดกองเพลิง 5 m² กรณีนี้เป็นขนาดกองเพลิงที่กำหนดตามประเภทอาคารในตารางที่ 19 โดยทั้งสองกรณีกำหนดให้มีการปลดปล่อยพลังงานความร้อนต่อพื้นที่เท่ากับ 1,000 kW/m² เพื่อให้ค่าอัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนเป็นไปตามค่าในตารางที่ 19 จึงเลือกใช้พื้นที่หน้าตัดกองเพลิงเป็นเลขลงตัว

ตารางที่ 19 การเลือกขนาดกองเพลิงที่ใช้ในการจำลองสถานการณ์เพลิงไหม้ในเอเชีย

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

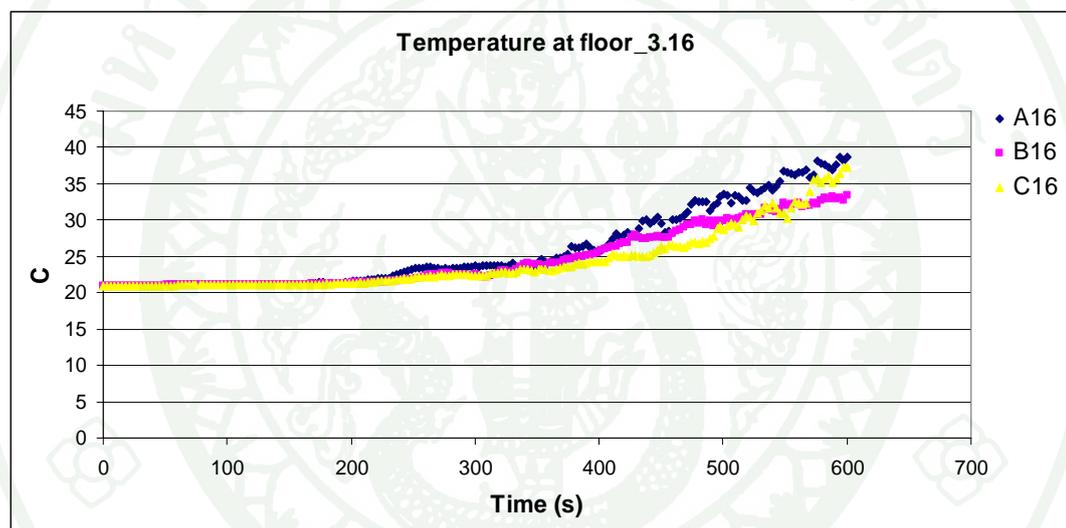
ที่มา: Wah Yuen and Ki Chow (2005)

การกำหนดขนาดโครงข่ายเพลิงไหม้ของอาคารห้องสมุด เพื่อหาขนาดโครงข่ายที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในแบบจำลอง โดยการแบ่งขนาดโครงข่ายออกเป็น 3 กรณี คือ แบบหยาบแบบปานกลาง และแบบละเอียด นำโครงข่ายทั้ง 3 กรณีมาทำการประมวลผลและนำผลที่ได้มาทำการเปรียบเทียบ ซึ่งค่าที่จะนำมาเปรียบเทียบกันระหว่างโครงข่ายทั้ง 3 กรณี ควรเลือกค่าที่ขึ้นกับตัวแปรอื่นน้อยๆ เพื่อป้องกันค่าความคลาดเคลื่อน งานวิจัยนี้เลือกค่าของอุณหภูมิมาทำการเปรียบเทียบ

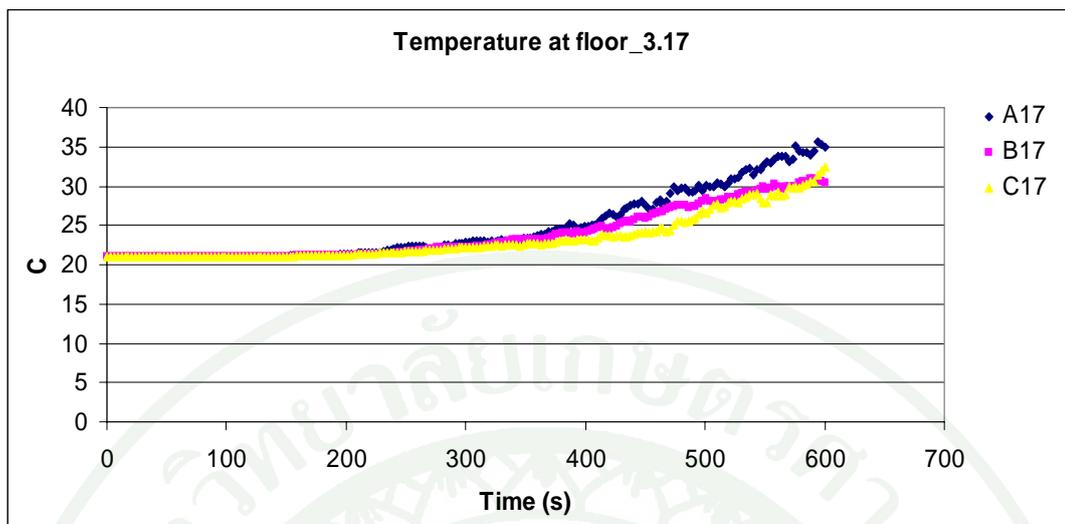
นำค่าผลลัพธ์ของอุปกรณ์ตรวจวัดที่มีติดตั้งภายในแบบจำลองมาทำการพล็อตกราฟและทำการเปรียบเทียบค่าของขนาดกริด ซึ่งขนาดกริดที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในแบบจำลองสามารถดูได้จาก เมื่อทำการลดขนาดกริดลงแล้วค่าผลลัพธ์ของกราฟต้องมีการเปลี่ยนแปลงน้อยหรือเรียกว่า การลดขนาดกริดไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของกราฟ

ตารางที่ 20 ผลของระยะเวลาในการคำนวณขนาดกริดแต่ละขนาดโครงข่ายเพลิงไหม้

กรณี	ความ ละเอียด	จำนวนกริด			ขนาดกริด			อัตราการปล่อย พลังงานความร้อน (kW)	CPU.Time (hr.)
		NPX	NPY	NPZ	ΔX	ΔY	ΔZ		
A	หยาบ	120	46	35	0.5	0.5	0.5	7,000	2.73
B	ปานกลาง	160	62	41	0.375	0.375	0.375	7,000	7.62
C	ละเอียด	240	92	62	0.25	0.25	0.25	7,000	36.75

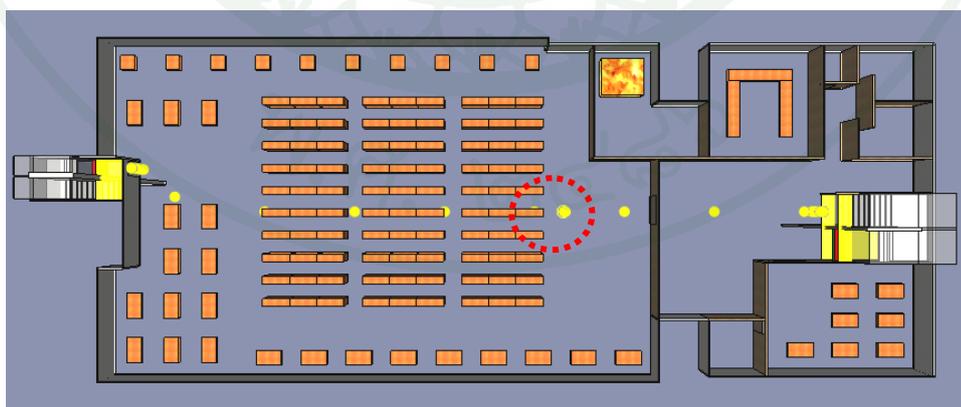


ภาพที่ 34 กราฟแสดงค่าของอุณหภูมิชั้นที่ 3 ที่อุปกรณ์ตรวจวัดตัวที่ 16



ภาพที่ 35 กราฟแสดงค่าของอุณหภูมิชั้นที่ 3 ที่อุปกรณ์ตรวจวัดตัวที่ 17

จากกราฟอุณหภูมิด้านบนทั้ง 2 กราฟ เป็นกราฟแสดงขนาดกริดทั้ง 3 กรณีนี ที่ความสูงต่างกัน ซึ่งตำแหน่งที่ติดตั้งอุปกรณ์อยู่ที่หน้าห้องของแหล่งต้นเพลิง โดยผลต่างของขนาดกริด $0.5 \Rightarrow 0.375$ มีความเปลี่ยนแปลงของเส้นกราฟมากกว่าผลต่างของขนาดกริด $0.375 \Rightarrow 0.25$ ดังนั้นผลต่างของขนาดกริด 0.375 และ 0.25 นี้ มีการเปลี่ยนแปลงของเส้นกราฟน้อยและไม่มีผลทางนัยสำคัญ อีกทั้งกริดขนาด 0.375 ใช้เวลาในการคำนวณผลเร็วกว่ากริดขนาด 0.25 ดังนั้น จึงเลือกเอากริดขนาด 0.375 มาใช้ในการคำนวณของแบบจำลอง



ภาพที่ 36 ภาพอาคารชั้นสามที่เป็นจุดต้นเพลิงและตำแหน่งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิตัวที่ 16, 17

หมายเหตุ กราฟอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆของชั้นที่ 3 มีการแสดงผลไว้ในภาคผนวก ข

ปัจจัยที่ใช้ในการพิจารณาสถานะแวดล้อมเพลิงไหม้ที่ผู้อพยพสามารถทนได้ใน ช่วงเวลาสั้นๆของการอพยพ ตามมาตรฐาน NFPA 130 Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems คือ อุณหภูมิของอากาศ ปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์ ความสูงของกลุ่มควัน อัตราการแผ่รังสีความร้อน ความดังของเสียง และความเร็วของอากาศ

ตารางที่ 21 อุณหภูมิของอากาศที่ผู้อพยพสามารถทนได้

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

ที่มา: NFPA 130 Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems (2000)

ตารางที่ 22 ปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์ที่ผู้อพยพสามารถทนได้

คาร์บอนมอนนอกไซด์	ระยะเวลาที่สามารถทนได้
≥ 2,000 PPM	2-3 วินาที
1,500 PPM	น้อยกว่า 6 นาที
800 PPM	น้อยกว่า 15 นาที
50 PPM	ส่วนที่เหลือจากการไหม้

ที่มา: NFPA 130 Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems (2000)

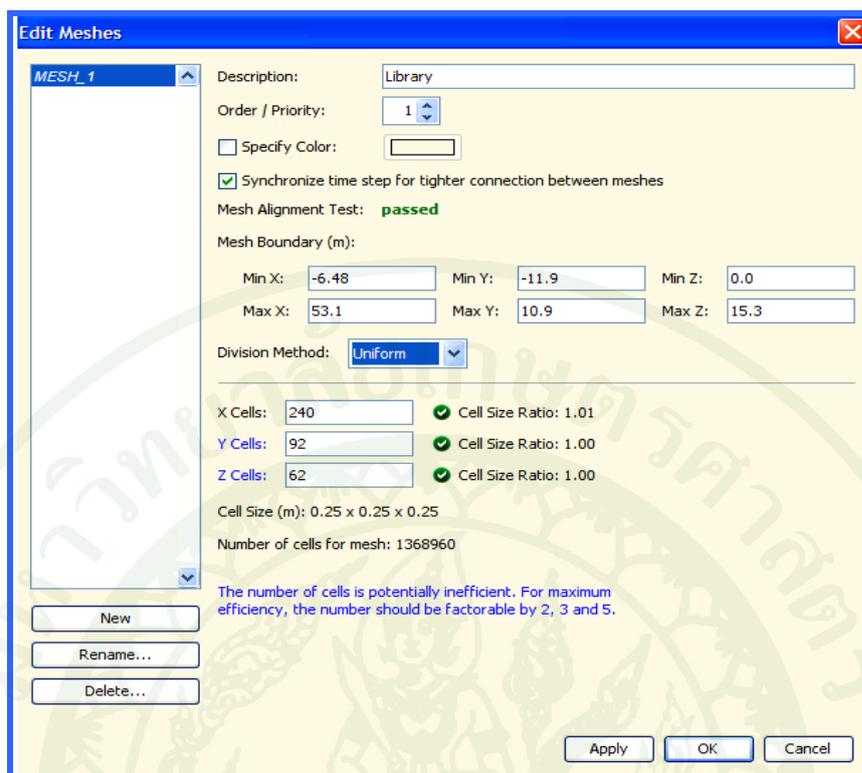
2. ศึกษาการใช้งานโปรแกรม Pyrosim 2008 และ FDS+Evac

โปรแกรม Pyrosim 2008 เป็นโปรแกรมที่ใช้ช่วยในการสร้างแบบจำลองของพื้นที่ที่ใช้ในการอพยพ เนื่องจากมีความสะดวกกว่าในการสร้างแบบจำลองจากโปรแกรม FDS+Evac หรือ FDS โดยไฟล์ที่ได้จากโปรแกรม Pyrosim 2008 จะมีนามสกุลเป็น .psm ซึ่งตัวโปรแกรมเองสามารถแปลงไฟล์ดังกล่าวนี้ให้เป็นนามสกุล .fds ได้ เพื่อความสะดวกในการนำไปใช้งานในโปรแกรม FDS+Evac ต่อไป

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

3. การสร้างแบบจำลองของอาคารอพยพ

การสร้างแบบจำลองของพื้นที่ที่ใช้ในการอพยพและเกิดเพลิงไหม้ โดยใช้โปรแกรม Pyrosim 2008 เริ่มต้นจากนำไฟล์ CAD ของพื้นที่อาคารแบบ 2 มิติ มาทำการนำเข้าไปแปลงในโปรแกรม Pyrosim 2008 เพื่อให้เกิดพื้นที่หรือขอบเขตของพื้นที่อาคารในแต่ละชั้น ต่อมาสร้างส่วนประกอบของห้องภายในตามแบบแปลน และทำการสร้างอุปกรณ์สิ่งของเครื่องใช้ต่างๆ ภายในอาคารตามแบบการจัดวางผังของสถานที่จริง และมีการกำหนดรายละเอียดของชนิดวัสดุต่างๆ ลงไปด้วย สำหรับกองเพลิงไหม้ที่เป็นแหล่งต้นเพลิง ก็มีการสร้างขนาดกองเพลิงไปวางไว้ในอาคารชั้น ซึ่งเป็นต้นเพลิง ทำการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดต่างๆ ลงไปตามตำแหน่งต่างๆ ภายใน เพื่อตรวจวัดค่าของปริมาณสารพิษ ระยะการมองเห็น ความร้อน หลังจากนั้นทำการกำหนดขนาดโครงข่ายเพลิงไหม้ของพื้นที่อาคาร โดยใส่ขนาดของอาคาร กว้าง 22.8 เมตร ยาว 59.58 เมตร สูง 15.8 เมตร โปรแกรมจะทำการกำหนดความเหมาะสมของขนาดโครงข่ายให้เอง หรือถ้าต้องการปรับขนาดโครงข่ายให้ละเอียดกว่าที่โปรแกรมกำหนดก็สามารถทำการปรับเพิ่มได้อีก หลังจากนั้นทำการแปลงไฟล์จากโปรแกรม Pyrosim 2008 ให้เป็นไฟล์นามสกุล .fds และทำการป้อนค่าเริ่มต้นของการอพยพลงไปในไฟล์ดังกล่าว และควรจะทำการบันทึกไฟล์แบบของอาคารห้องสมุดไว้เป็นไฟล์นามสกุล .psm ด้วย เพื่อความสะดวกในการแก้ไขพื้นที่แบบภายในอาคาร



ภาพที่ 37 ภาพการกำหนดขนาดโครงข่ายเพลิงไหม้ด้วยโปรแกรม Pyrosim 2008



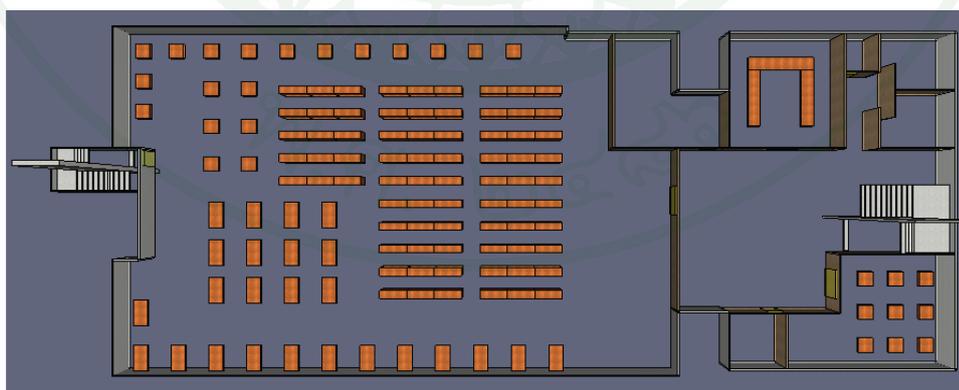
ภาพที่ 38 ภาพด้านหน้าของอาคารห้องสมุดด้วยโปรแกรม Pyrosim 2008



ภาพที่ 39 ภาพภายในของอาคารห้องสมุดด้วยโปรแกรม Pyrosim 2008



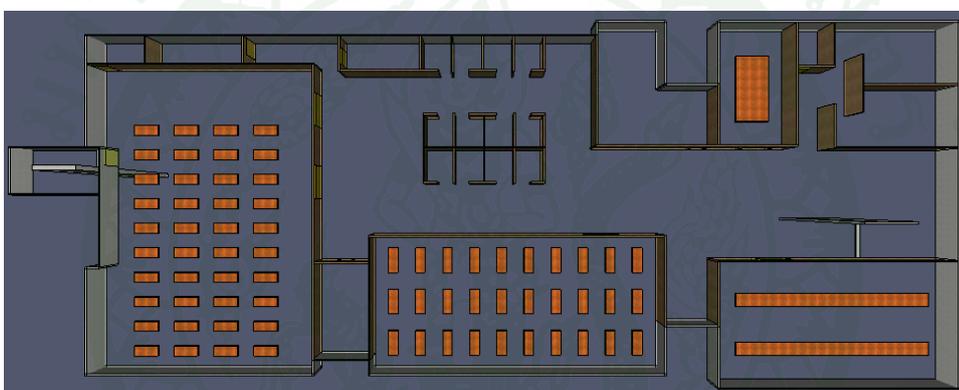
ภาพที่ 40 ภาพพื้นที่ภายในของอาคารห้องสมุดชั้นที่ 1 ด้วยโปรแกรม Pyrosim 2008



ภาพที่ 41 ภาพพื้นที่ภายในของอาคารห้องสมุดชั้นที่ 2 ด้วยโปรแกรม Pyrosim 2008



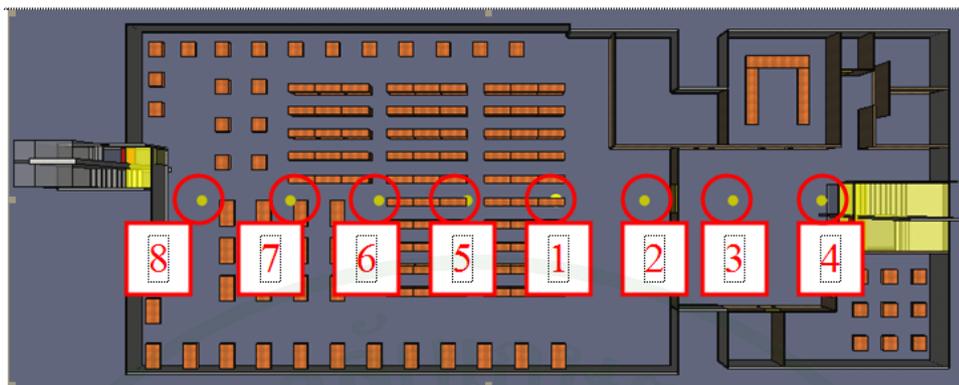
ภาพที่ 42 ภาพพื้นที่ภายในของอาคารห้องสมุดชั้นที่ 3 ด้วยโปรแกรม Pyrosim 2008



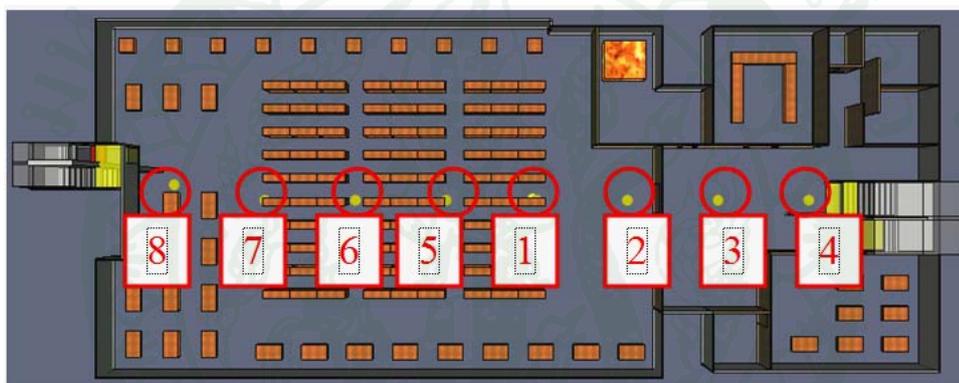
ภาพที่ 43 ภาพพื้นที่ภายในของอาคารห้องสมุดชั้นที่ 4 ด้วยโปรแกรม Pyrosim 2008



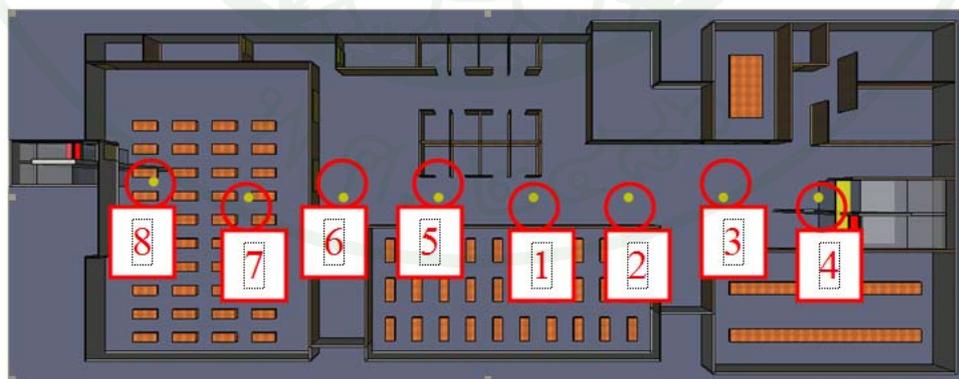
ภาพที่ 44 ภาพตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์วัดปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์ชั้นที่ 1



ภาพที่ 45 ภาพตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์วัดปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์ชั้นที่ 2



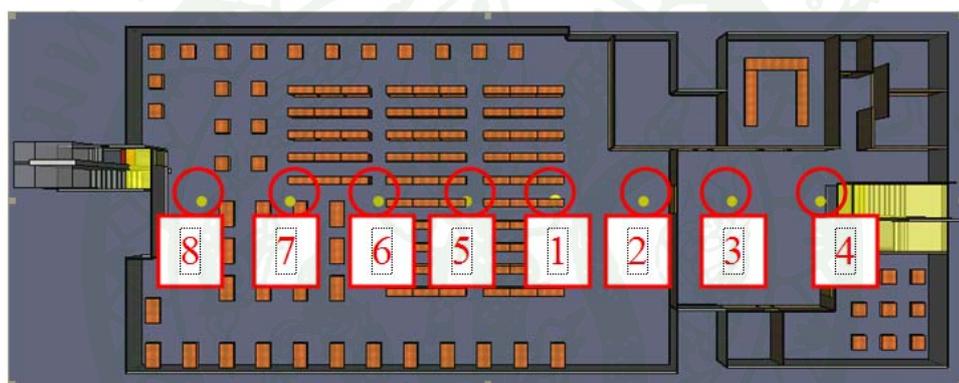
ภาพที่ 46 ภาพตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์วัดปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์ชั้นที่ 3



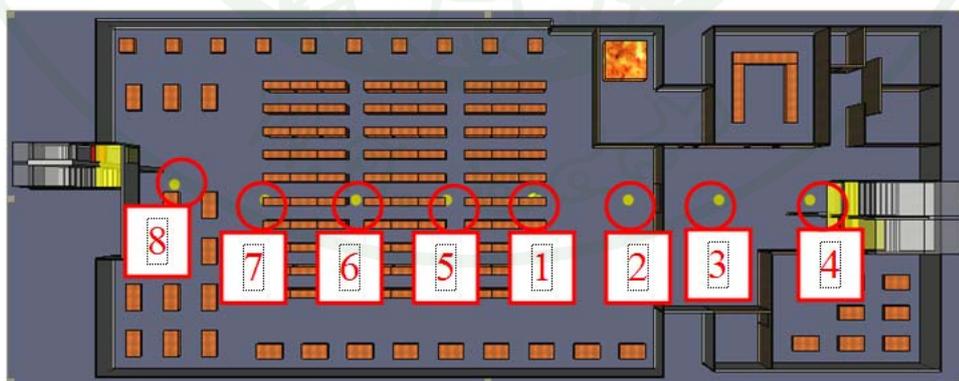
ภาพที่ 47 ภาพตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์วัดปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์ชั้นที่ 4



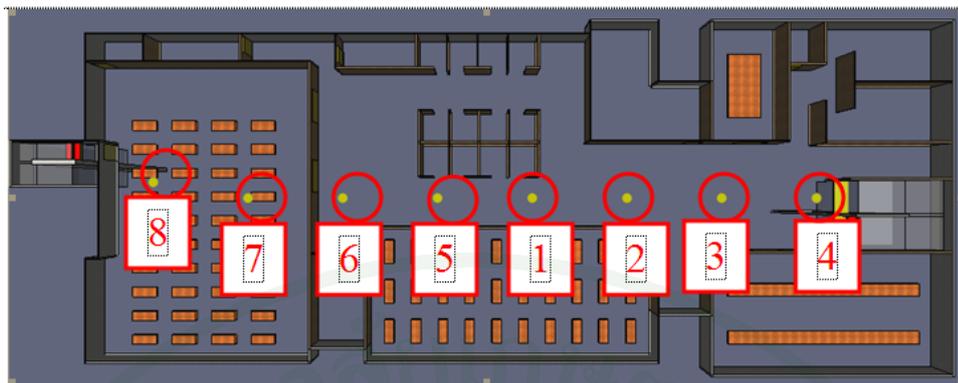
ภาพที่ 48 ภาพตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์วัดปริมาณออกซิเจนชั้นที่ 1



ภาพที่ 49 ภาพตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์วัดปริมาณออกซิเจนชั้นที่ 2



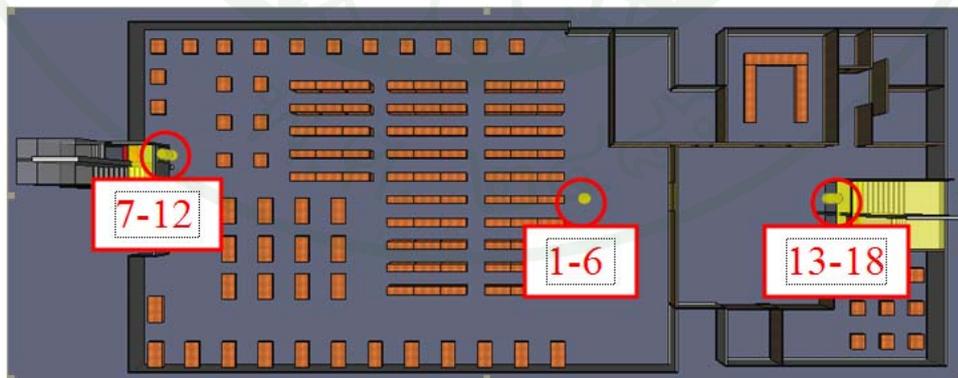
ภาพที่ 50 ภาพตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์วัดปริมาณออกซิเจนชั้นที่ 3



ภาพที่ 51 ภาพตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์วัดปริมาณออกซิเจนชั้นที่ 4



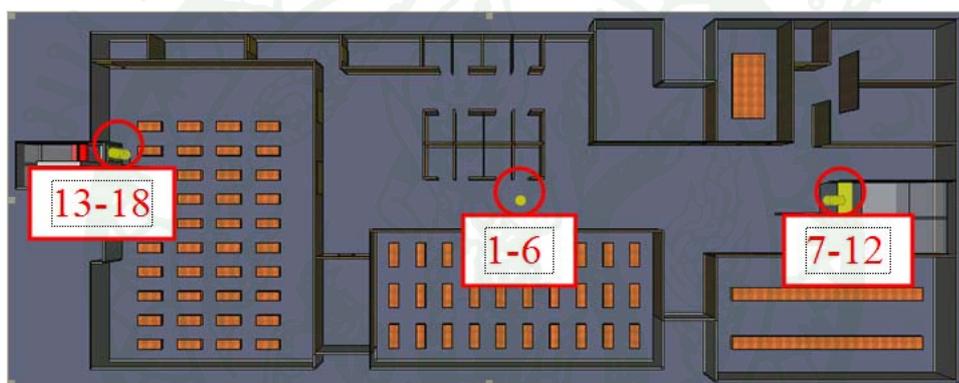
ภาพที่ 52 ภาพตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิชั้นที่ 1



ภาพที่ 53 ภาพตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิชั้นที่ 2



ภาพที่ 54 ภาพตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิชั้นที่ 3



ภาพที่ 55 ภาพตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิชั้นที่ 4

4. การป้อนค่าเริ่มต้นในการอพยพและการแสดงผลลัพธ์

นำไฟล์นามสกุล .fds ที่ได้จากการแปลงจากโปรแกรม Pyrosim 2008 มาเปิดด้วยโปรแกรม Notepad และทำการกรอกค่าเริ่มต้นการอพยพและการประมวลผลลงไปว่าต้องการให้โปรแกรมทำการแสดงผลลัพธ์อะไรออกมา ซึ่งผลลัพธ์บางค่าก็ต้องให้สอดคล้องกับชนิดและตำแหน่งอุปกรณ์ตรวจวัดที่ได้ทำการติดตั้งลงไป หลังจากนั้นนำไฟล์ที่มีการเพิ่มเติมค่าเข้าไปใหม่ไปทำการทดลองรันบนโปรแกรม DOS โดยพิมพ์คำสั่งเรียกไฟล์จากไดเรกทอรี และพิมพ์คำสั่ง fds5.exe CHID.fds ซึ่งสามารถกำหนดเวลาในการรันให้เท่ากับศูนย์เพื่อความสะดวกในการตรวจสอบรูปร่างโครงสร้างอาคารที่ใช้อพยพ โดยนำไฟล์ .smv ที่ได้จากการรันไปทำการเปิดในโปรแกรม Smokeview หลังจากนั้นแก้ไขเวลาใหม่ให้เท่ากับที่ต้องการใช้ในการอพยพแล้วทำการทดลองรันอีกครั้ง รายละเอียดการแสดงผลค่าเริ่มต้นและคำสั่งต่างๆในโปรแกรม FDS+Evac.ดูได้ในภาคผนวก ก

ผลและวิจารณ์

ผล

1. ผลการอพยพ (Evacuation)

จากการประมวลโดยแบ่งการพิจารณาออกเป็น 4 กรณี ดังนี้

1.1 กรณีที่หนึ่ง จำนวนผู้อพยพตามการใช้งานจริง 517 คน และอัตราการปลดปล่อยความร้อน 5 MW ที่เวลาการอพยพ 10 นาที

ใช้ระยะเวลาในการประมวลผล 7.10 ชั่วโมง กำหนดให้ผู้อพยพทั้งหมด 517 คน กระจายตัวอยู่ในแต่ละชั้น โดยชั้นที่ 1 มี 127 คน และชั้นที่ 2, 3, 4 มี 130 คน ผู้อพยพคนสุดท้ายที่ออกจากอาคารใช้เวลา 467 วินาที หรือ 7.78 นาที โดยทำการอพยพออกจากด้านหน้าอาคาร 333 คน และด้านหลังอาคารซึ่งเป็นบันไดหนีไฟ 184 คน กรณีที่หนึ่งไม่มีผู้เสียชีวิต

ผู้อพยพชั้นที่ 2 เลือกใช้บันไดด้านซ้าย 62 คน และด้านขวา 68 คน

ผู้อพยพชั้นที่ 3 เลือกใช้บันไดด้านซ้าย 69 คน และด้านขวา 61 คน

ผู้อพยพชั้นที่ 4 เลือกใช้บันไดด้านซ้าย 53 คน และด้านขวา 77 คน

ผู้อพยพคนแรกที่ออกจากชั้นที่ 1 ใช้เวลา 20.0 วินาที

ผู้อพยพคนแรกที่ออกจากชั้นที่ 2 ใช้เวลา 9.0 วินาที

ผู้อพยพคนแรกที่ออกจากชั้นที่ 3 ใช้เวลา 16.0 วินาที

ผู้อพยพคนแรกที่ออกจากชั้นที่ 4 ใช้เวลา 13.0 วินาที

1.2 กรณีที่สอง จำนวนผู้อพยพตามการใช้งานจริง 517 คน และอัตราการปลดปล่อยความร้อน 7 MW ที่เวลาการอพยพ 10 นาที

ใช้ระยะเวลาในการประมวลผล 7.57 ชั่วโมง กำหนดให้ผู้อพยพทั้งหมด 517 คน กระจายตัวอยู่ในแต่ละชั้น โดยชั้นที่ 1 มี 127 คน และชั้นที่ 2, 3, 4 มี 130 คน ผู้อพยพคนสุดท้ายที่ออกจากอาคารใช้เวลา 550 วินาที หรือ 9.17 นาที โดยทำการอพยพออกจากด้านหน้าอาคาร 330 คน และด้านหลังอาคารซึ่งเป็นบันไดหนีไฟอาคาร 187 คน กรณีที่สองไม่มีผู้เสียชีวิต

ผู้อพยพชั้นที่ 2 เลือกใช้บันไดด้านซ้าย 64 คน และด้านขวา 66 คน

ผู้อพยพชั้นที่ 3 เลือกใช้บันไดด้านซ้าย 70 คน และด้านขวา 60 คน

ผู้อพยพชั้นที่ 4 เลือกใช้บันไดด้านซ้าย 53 คน และด้านขวา 77 คน

ผู้อพยพคนแรกที่ออกจากชั้นที่ 1 ใช้เวลา 21.0 วินาที

ผู้อพยพคนแรกที่ออกจากชั้นที่ 2 ใช้เวลา 15.0 วินาที

ผู้อพยพคนแรกที่ออกจากชั้นที่ 3 ใช้เวลา 14.0 วินาที

ผู้อพยพคนแรกที่ออกจากชั้นที่ 4 ใช้เวลา 16.0 วินาที

1.3 กรณีที่สาม จำนวนผู้อพยพตามมาตรฐาน NFPA 101 Life Safety Code, 2009 Edition จำนวน 788 คน และอัตราการปลดปล่อยความร้อน 5 MW ที่เวลาการอพยพ 20 นาที

ใช้ระยะเวลาในการประมวลผล 16.79 ชั่วโมง กำหนดให้ผู้อพยพทั้งหมด 788 คน กระจายตัวอยู่ในแต่ละชั้น ชั้นละ 197 คน ผู้อพยพคนสุดท้ายที่ออกจากอาคารใช้เวลา 1,090 วินาที หรือ 18.17 นาที โดยทำการอพยพออกจากด้านหน้าอาคาร 529 คน และด้านหลังอาคารซึ่งเป็นบันไดหนีไฟอาคาร 258 คน กรณีที่สามมีผู้เสียชีวิต 1 คน

ผู้อพยพชั้นที่ 2 เลือกใช้บันไดด้านซ้าย 86 คน และด้านขวา 111 คน

ผู้อพยพชั้นที่ 3 เลือกใช้บันไดด้านซ้าย 91 คน และด้านขวา 105 คน

ผู้อพยพชั้นที่ 4 เลือกใช้บันไดด้านซ้าย 81 คน และด้านขวา 116 คน

ผู้อพยพคนแรกที่ออกจากชั้นที่ 1 ใช้เวลา 25.1 วินาที

ผู้อพยพคนแรกที่ออกจากชั้นที่ 2 ใช้เวลา 13.1 วินาที

ผู้อพยพคนแรกที่ออกจากชั้นที่ 3 ใช้เวลา 11.1 วินาที

ผู้อพยพคนแรกที่ออกจากชั้นที่ 4 ใช้เวลา 15.0 วินาที

1.4 กรณีที่สี่ จำนวนผู้อพยพตามมาตรฐาน NFPA 101 Life Safety Code, 2009 Edition 788 คน และอัตราการปล่อยปลดความร้อน 7 MW ที่เวลาการอพยพ 20 นาที

ใช้ระยะเวลาในการประมวลผลชั่วโอมง 18.31 กำหนดให้ผู้อพยพทั้งหมด 788 คน กระจายตัวอยู่ในแต่ละชั้น ชั้นละ 197 คน ผู้อพยพคนสุดท้ายที่ออกจากอาคารใช้เวลา 1,130 วินาที หรือ 18.83 นาที โดยทำการอพยพออกจากด้านหน้าอาคาร 499 คน และด้านหลังอาคารซึ่งเป็น บันไดหนีไฟอาคาร 271 คน กรณีที่สี่มีผู้เสียชีวิต 18 คน

ผู้อพยพชั้นที่ 2 เลือกใช้บันไดด้านซ้าย 81 คน และด้านขวา 105 คน

ผู้อพยพชั้นที่ 3 เลือกใช้บันไดด้านซ้าย 107 คน และด้านขวา 85 คน

ผู้อพยพชั้นที่ 4 เลือกใช้บันไดด้านซ้าย 85 คน และด้านขวา 112 คน

ผู้อพยพคนแรกที่ออกจากชั้นที่ 1 ใช้เวลา 22.1 วินาที

ผู้อพยพคนแรกที่ออกจากชั้นที่ 2 ใช้เวลา 15.0 วินาที

ผู้อพยพคนแรกที่ออกจากชั้นที่ 3 ใช้เวลา 12.0 วินาที

ผู้อพยพคนแรกที่ออกจากชั้นที่ 4 ใช้เวลา 13.1 วินาที

1.5 ตารางสรุปผลการอพยพ

ตารางที่ 23 แสดงเวลาที่ใช้ทั้งหมดในการอพยพออกจากอาคารห้องสมุด

กรณี ที่	จำนวนผู้อพยพ (คน)	ขนาดกอง เพลิง (MW)	เวลาจำลอง สถานการณ์ (วินาที/นาที)	เวลาที่ใช้ อพยพจริง (วินาที/ นาที)	จำนวน ผู้เสียชีวิต (คน)
1	517	5	600/10	467/7.78	ไม่มี
2	517	7	600/10	550/9.17	ไม่มี
3	788	5	1,200/20	1,090/18.17	1
4	788	7	1,200/20	1,130/18.83	18

ตารางที่ 24 แสดงจำนวนผู้อพยพที่เลือกใช้บันไดทั้งสองฝั่งของอาคาร

กรณี ที่	จำนวนผู้อพยพ (คน)	ขนาดกองเพลิง (MW)	เวลาจำลองสถานการณ์ (วินาที/นาที)	บันไดฝั่งซ้าย (บันไดหนีไฟ)	บันไดฝั่งขวา (ใช้งานปกติ)
1	517	5	600/10	184	333
2	517	7	600/10	187	330
3	788	5	1,200/20	258	529
4	788	7	1,200/20	271	499

2. ผลของอุณหภูมิภายในอาคาร (Temperature)

ตารางที่ 25 ตารางแสดงอุณหภูมิเฉลี่ยของชั้นที่ 1

กรณี ที่	อุณหภูมิเฉลี่ยของชั้นที่ 1 (°C)												
	หน้าบันไดด้านขวา								ตรงกลางชั้น				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
2	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
3	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
4	22	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21

ตารางที่ 26 ตารางแสดงอุณหภูมิเฉลี่ยของชั้นที่ 2

กรณี ที่	อุณหภูมิเฉลี่ยของชั้นที่ 2 (°C)																	
	ตรงกลางชั้น						หน้าบันไดด้านซ้าย						หน้าบันไดด้านขวา					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	21	21	21	21	21	21	22	25	26	25	25	25	21	21	21	21	21	21
2	21	21	21	21	21	21	21	27	28	27	26	27	21	21	21	21	21	21
3	21	22	22	22	22	22	21	33	35	34	31	28	21	22	21	21	21	21
4	21	23	23	23	23	22	21	39	40	38	35	32	21	22	22	23	22	22

ตารางที่ 27 ตารางแสดงอุณหภูมิเฉลี่ยของชั้นที่ 3

กรณี ที่	อุณหภูมิเฉลี่ยของชั้นที่ 3 (°C)																	
	หน้าบันไดด้านซ้าย						หน้าบันไดด้านขวา						ตรงกลางชั้น					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	28	28	29	29	29	29	232	165	91	67	55	39	48	35	26	24	23	23
2	29	30	31	31	31	30	285	205	122	92	73	52	58	39	27	25	24	23
3	40	40	42	42	42	41	376	286	178	136	106	61	80	51	34	31	29	27
4	45	46	48	48	47	47	400	319	217	176	141	84	90	57	39	34	31	29

ตารางที่ 28 ตารางแสดงอุณหภูมิเฉลี่ยของชั้นที่ 4

กรณี ที่	อุณหภูมิเฉลี่ยของชั้นที่ 4 (°C)																	
	ตรงกลางชั้น						หน้าบันไดด้านขวา						หน้าบันไดด้านซ้าย					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	69	65	59	42	38	33	34	37	48	86	100	105	32	32	32	32	31	30
2	80	75	68	47	42	36	38	41	55	102	120	126	35	35	34	35	34	33
3	115	108	98	71	63	55	54	58	79	145	169	178	50	50	48	49	47	45
4	137	128	116	84	74	64	61	66	90	166	198	215	57	57	55	56	55	53

3. ผลของระดับปริมาณออกซิเจน (Oxygen)

ตารางที่ 29 ปริมาณก๊าซออกซิเจนของชั้นที่ 1 ที่เวลา 600 และ 1200 วินาที

กรณีที่	ปริมาณก๊าซออกซิเจนของชั้นที่ 1 (%)				
	1	2	3	4	5
1	21	21	21	21	21
2	21	21	21	21	21
3	21	21	21	21	21
4	21	21	21	21	21

ตารางที่ 30 ปริมาณก๊าซออกซิเจนของชั้นที่ 2 ที่เวลา 600 และ 1200 วินาที

กรณีที่	ปริมาณก๊าซออกซิเจนของชั้นที่ 2 (%)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	21	20	20	21	21	21	21	21
2	21	20	20	20	21	20	21	21
3	21	18	18	20	21	18	18	19
4	21	17	19	19	21	21	17	17

ตารางที่ 31 ปริมาณก๊าซออกซิเจนของชั้นที่ 3 ที่เวลา 600 และ 1200 วินาที

กรณีที่	ปริมาณก๊าซออกซิเจนของชั้นที่ 3 (%)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	21	19	18	18	21	19	21	19
2	21	19	11	13	21	19	21	18
3	21	14	9	10	21	14	21	13
4	21	14	11	11	21	13	21	13

ตารางที่ 32 ปริมาณก๊าซออกซิเจนของชั้นที่ 4 ที่เวลา 600 และ 1200 วินาที

กรณีที่	ปริมาณก๊าซออกซิเจนของชั้นที่ 4 (%)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	16	17	17	16	16	16	18	18
2	15	15	15	15	15	15	17	17
3	11	12	12	11	11	11	12	12
4	11	11	11	11	11	11	11	11

4. ผลของระดับปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์ (Carbonmonoxide)

ตารางที่ 33 ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ของชั้นที่ 1 ที่เวลา 600 และ 1200 วินาที

กรณีที่	ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ชั้นที่ 1 (PPM)				
	1	2	3	4	5
1	0.11	0.16	0.38	2.16	0.01
2	1.34	4.26	1.66	15.8	0.02
3	7.85	7.86	20.1	11.2	11.8
4	12.5	11.7	5.44	5.98	14.9

ตารางที่ 34 ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ของชั้นที่ 2 ที่ เวลา 600 และ 1200 วินาที

กรณีที่	ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ชั้นที่ 2 (PPM)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	6.17	45.4	30.7	7.57	4.48	26.4	13.4	18.0
2	10.7	58.6	55.4	41.3	8.60	50.7	26.3	22.3
3	103.9	395	355	152	94	356	333	285
4	163	514	226	267	148	496	484	455

ตารางที่ 35 ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ของชั้นที่ 3 ที่ เวลา 600 และ 1200 วินาที

กรณีที่	ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ชั้นที่ 3 (PPM)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	40.3	169	428	372	46.0	207	59.7	250
2	54.2	252	1290	1020	60.2	258	78.1	429
3	260	870	1570	1470	272	894	304	988
4	356	984	1240	1260	369	1100	402	1080

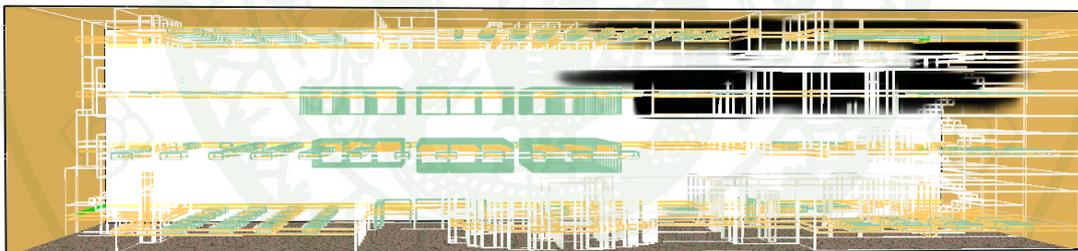
ตารางที่ 36 ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ของชั้นที่ 4 ที่ เวลา 600 และ 1200 วินาที

กรณีที่	ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ชั้นที่ 4 (PPM)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	611	541	546	594	617	579	362	399
2	845	739	719	798	804	748	452	510
3	1320	1240	1240	1270	1320	1290	1160	1180
4	1350	1300	1290	1340	1340	1330	1300	1300

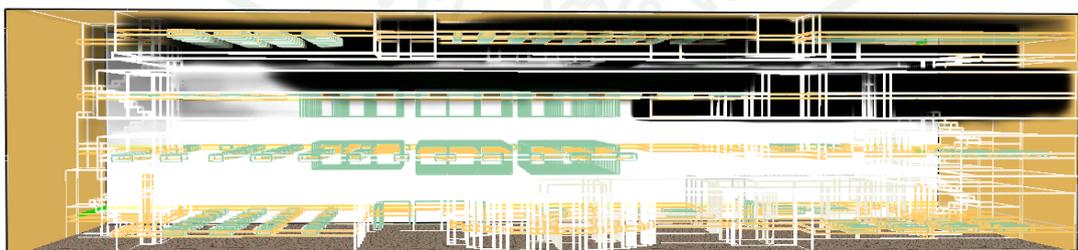
5. การเคลื่อนที่ของกลุ่มควัน (Smoke movement)

การเคลื่อนที่ของกลุ่มควัน เริ่มจากจุดต้นเพลิงชั้นที่ 3 ห้อง Air Handling Units ควันเริ่มเคลื่อนที่ออกจากห้องต้นเพลิงไหลเข้าไปภายในห้องโถงที่มีชั้นวางหนังสือและโต๊ะอ่านหนังสือวางอยู่รอบห้อง ขณะเดียวกันควันก็เคลื่อนที่ขึ้นไปชั้นที่ 4 ทางด้านบนไคฟ้งขวาด้วย ภายในชั้นที่ 4 มีลักษณะเป็นพื้นที่เปิดโล่งตรงกลางทำให้ควันเคลื่อนที่เข้าสู่ภายในได้รวดเร็วกว่าชั้นที่ 3 เมื่อควันเคลื่อนที่ภายในชั้นที่ 4 จนเต็มทั้งชั้น จึงเคลื่อนที่เข้าไปภายในบันไดหนีไฟฝั่งซ้ายและเข้าสู่ชั้นที่ 3 และชั้นที่ 2 ทางบันไดหนีไฟฝั่งซ้ายและถูกปล่อยออกที่ชั้นที่ 1 ทางประตูหนีไฟด้านหลังอาคาร ซึ่งชั้นที่ 1 นี้ มีการแบ่งแยกระหว่างบันไดด้านซ้ายออกจากอาคาร ไม่มีประตูเชื่อมต่อระหว่างชั้น เหมือนกับชั้นอื่นๆ ส่วนบันไดทางฝั่งขวาควันที่เคลื่อนตัวลงมาจากชั้นที่ 3 มาชั้นที่ 2 และลงสู่ภายในชั้นที่ 1 ซึ่งมีลักษณะเป็นทางเดินโล่งจนกระทั่งควันเคลื่อนที่มาสู่ทางออกด้านหน้าอาคาร

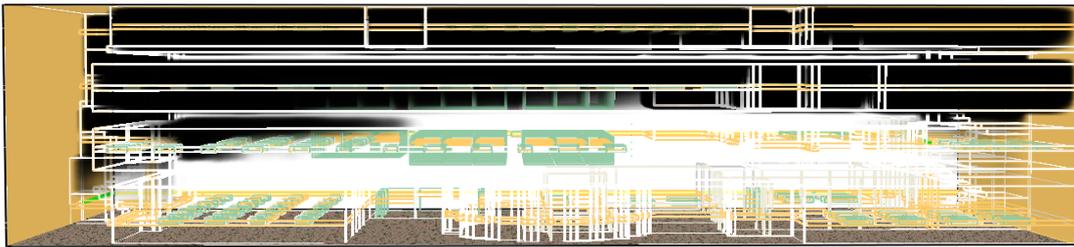
5.1 การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันกรณีทีหนึ่ง ขนาดกองเพลิง 5 MW เวลาจำลองสถานการณ์ 600 วินาที



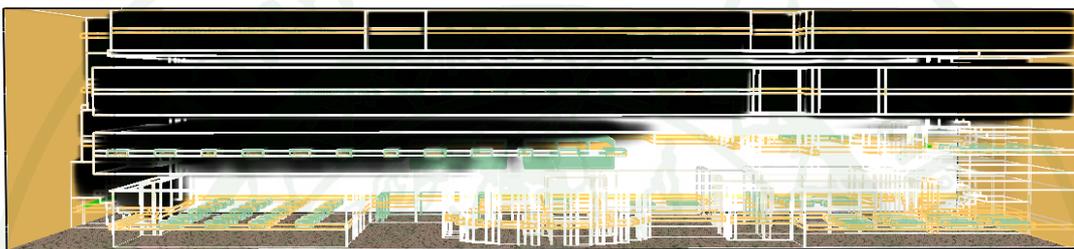
ภาพที่ 56 การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันที่เวลา 100 วินาที กรณีทีหนึ่ง



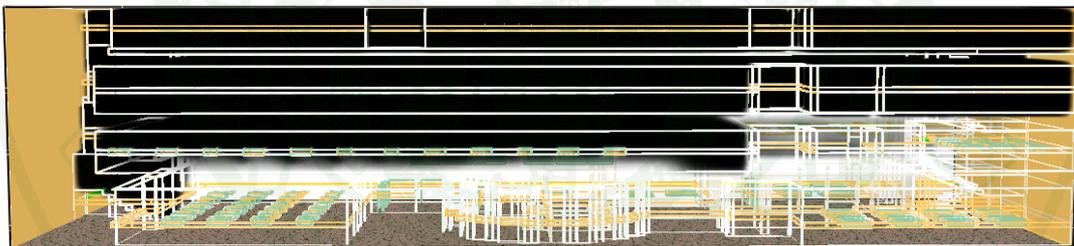
ภาพที่ 57 การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันที่เวลา 200 วินาที กรณีทีหนึ่ง



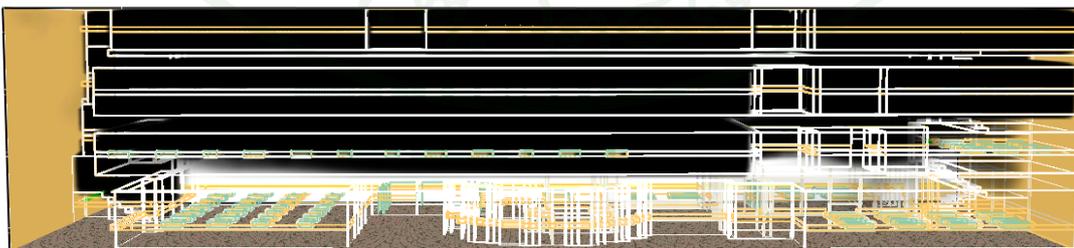
ภาพที่ 58 การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันที่เวลา 300 วินาที กรณีที่หนึ่ง



ภาพที่ 59 การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันที่เวลา 400 วินาที กรณีที่หนึ่ง

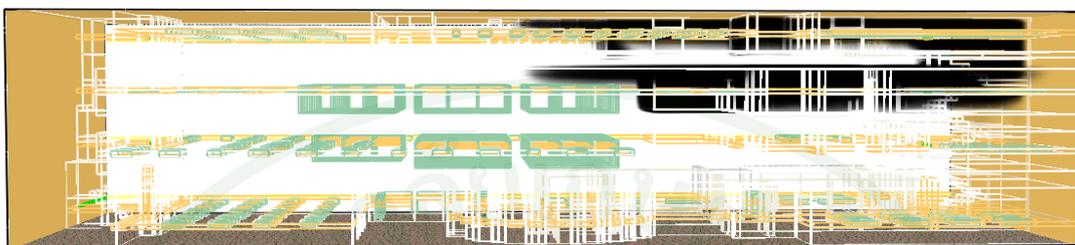


ภาพที่ 60 การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันที่เวลา 500 วินาที กรณีที่หนึ่ง

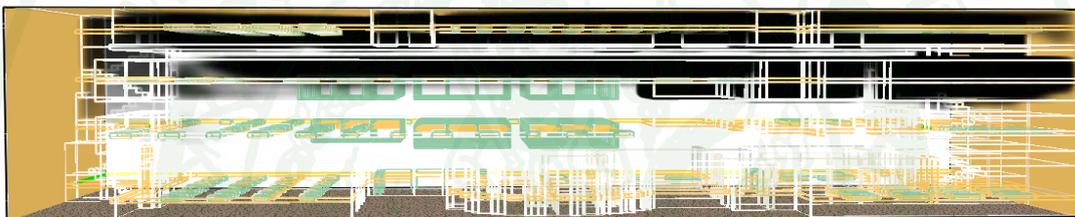


ภาพที่ 61 การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันที่เวลา 600 วินาที กรณีที่หนึ่ง

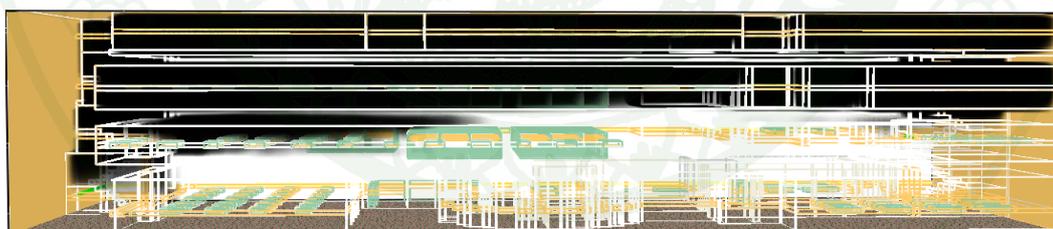
5.2 การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันกรณีที่สอง ขนาดกองเพลิง 7 MW เวลาจำลองสถานการณ์ 600 วินาที



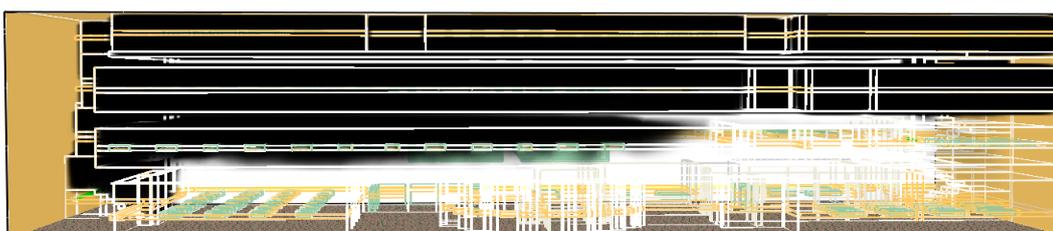
ภาพที่ 62 การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันที่เวลา 100 วินาที กรณีที่สอง



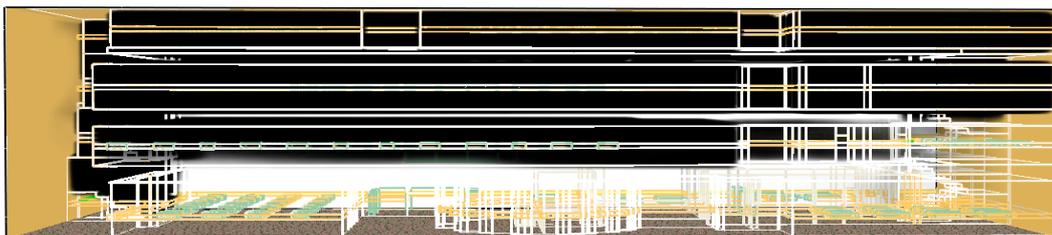
ภาพที่ 63 การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันที่เวลา 200 วินาที กรณีที่สอง



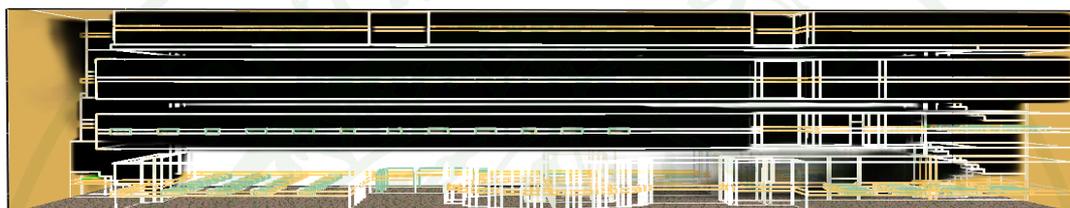
ภาพที่ 64 การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันที่เวลา 300 วินาที กรณีที่สอง



ภาพที่ 65 การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันที่เวลา 400 วินาที กรณีที่สอง

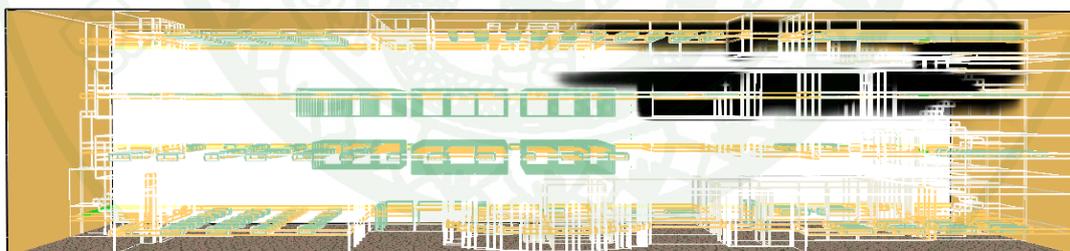


ภาพที่ 66 การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันที่เวลา 500 วินาที กรณีที่สอง

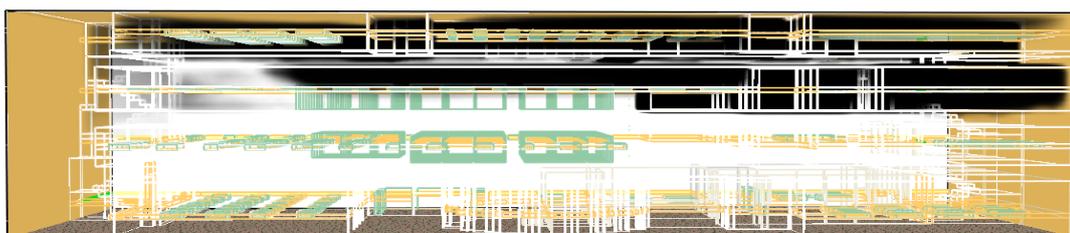


ภาพที่ 67 การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันที่เวลา 600 วินาที กรณีที่สอง

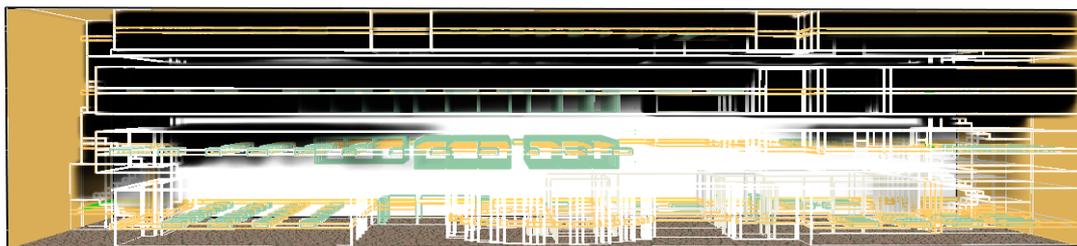
5.3 การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันกรณีที่สาม ขนาดกองเพลิง 5 MW เวลาจำลองสถานการณ์ 1200 วินาที



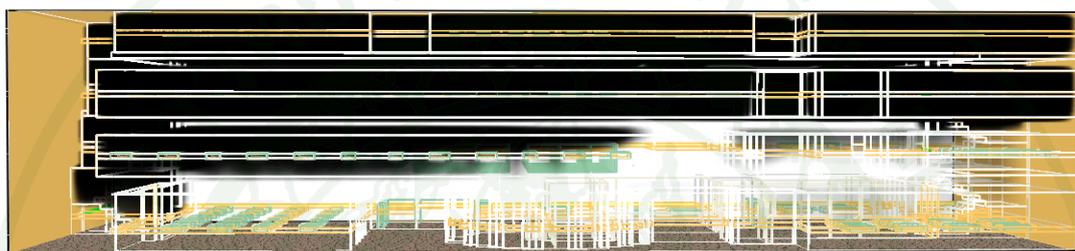
ภาพที่ 68 การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันที่เวลา 100 วินาที กรณีที่สาม



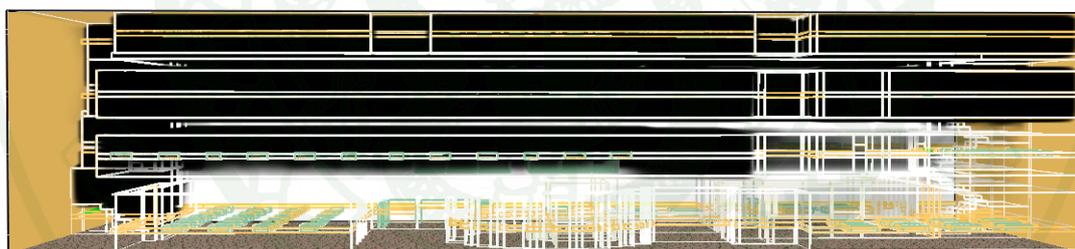
ภาพที่ 69 การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันที่เวลา 200 วินาที กรณีที่สาม



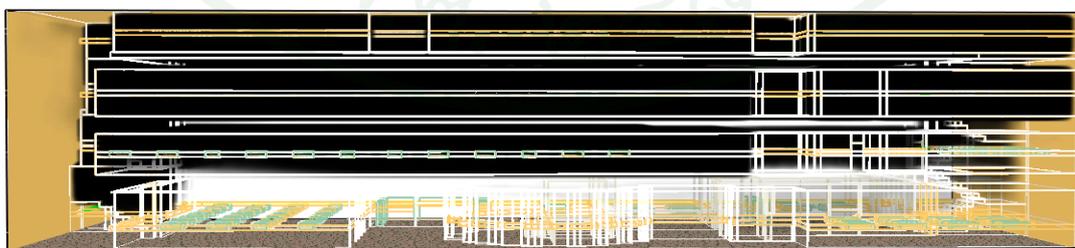
ภาพที่ 70 การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันที่เวลา 300 วินาที กรณีที่สาม



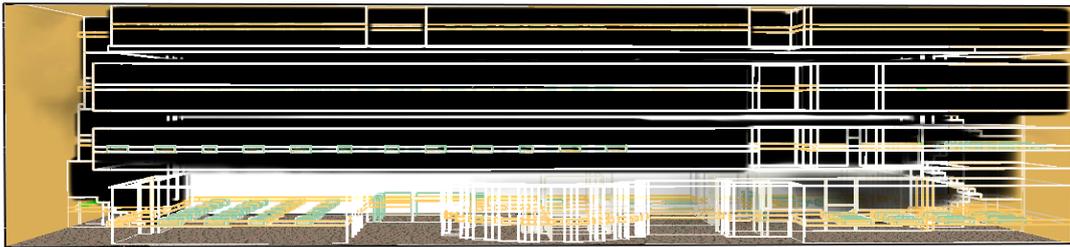
ภาพที่ 71 การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันที่เวลา 400 วินาที กรณีที่สาม



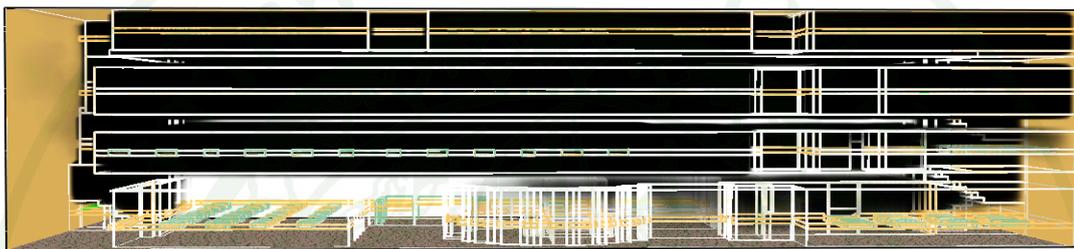
ภาพที่ 72 การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันที่เวลา 500 วินาที กรณีที่สาม



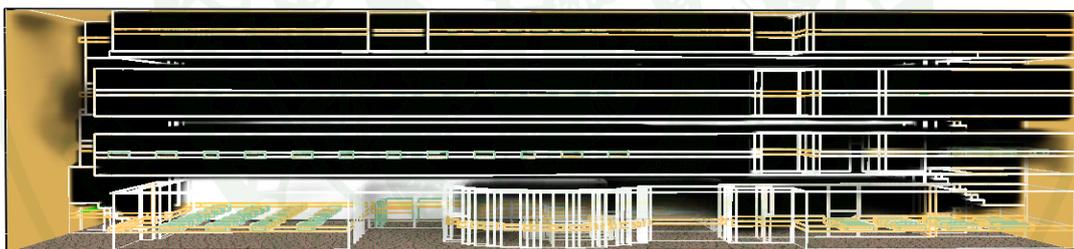
ภาพที่ 73 การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันที่เวลา 600 วินาที กรณีที่สาม



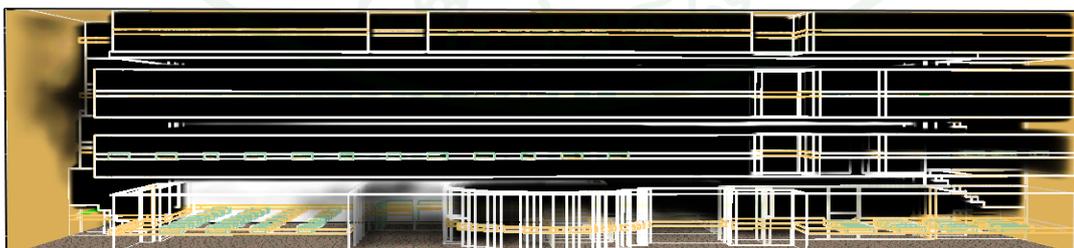
ภาพที่ 74 การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันที่เวลา 700 วินาที กรณีที่สาม



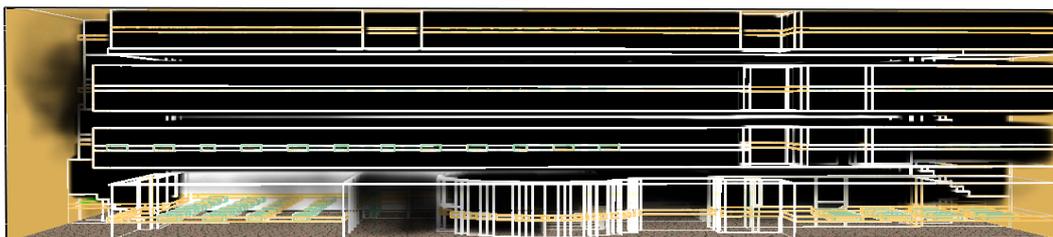
ภาพที่ 75 การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันที่เวลา 800 วินาที กรณีที่สาม



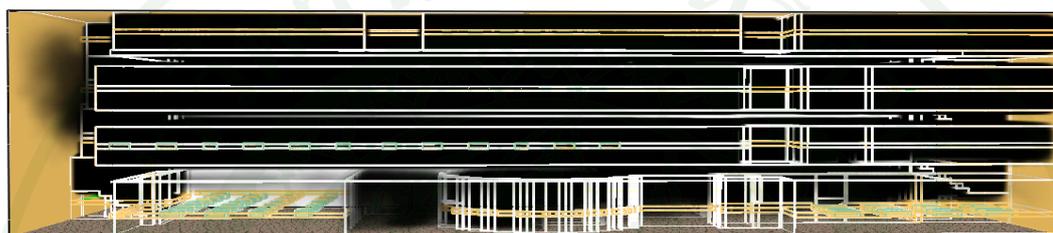
ภาพที่ 76 การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันที่เวลา 900 วินาที กรณีที่สาม



ภาพที่ 77 การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันที่เวลา 1000 วินาที กรณีที่สาม

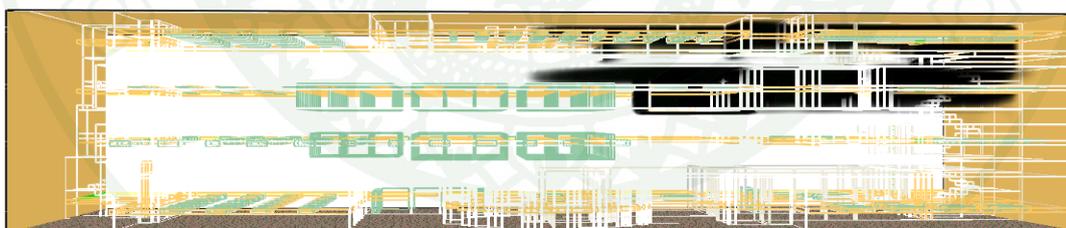


ภาพที่ 78 การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันที่เวลา 1100 วินาที กรณีที่สาม

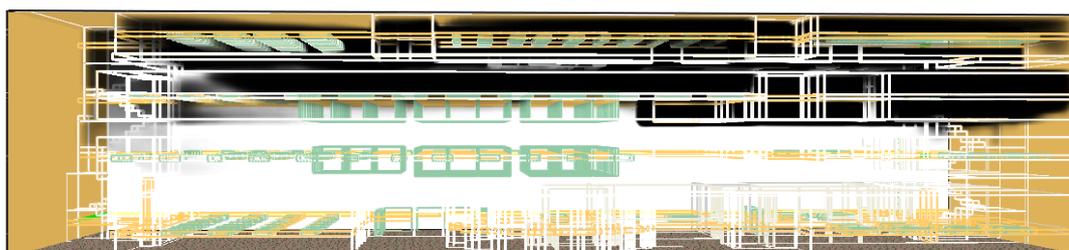


ภาพที่ 79 การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันที่เวลา 1200 วินาที กรณีที่สาม

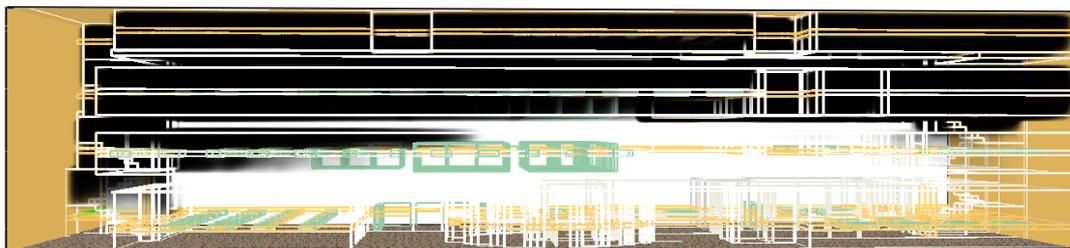
5.4 การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันกรณีทีสี่ ขนาดกองเพลิง 7 MW เวลาจำลองสถานการณ์ 1200 วินาที



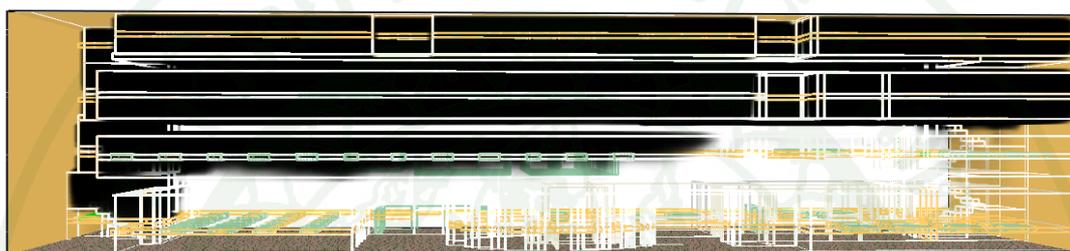
ภาพที่ 80 การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันที่เวลา 100 วินาที กรณีที่สี่



ภาพที่ 81 การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันที่เวลา 200 วินาที กรณีที่สี่



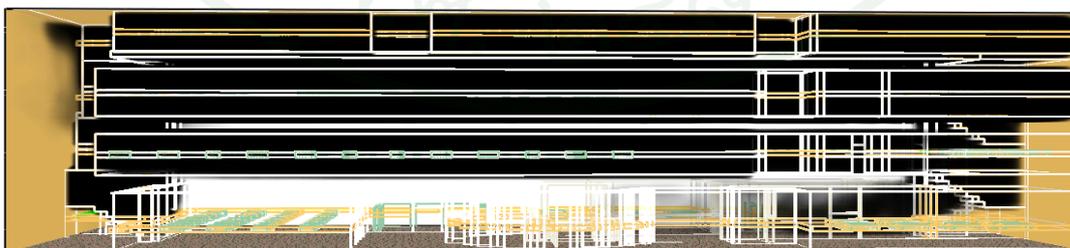
ภาพที่ 82 การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันที่เวลา 300 วินาที กรณีที่สี่



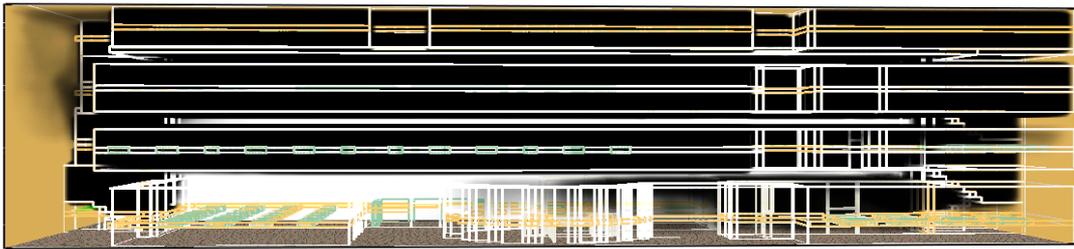
ภาพที่ 83 การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันที่เวลา 400 วินาที กรณีที่สี่



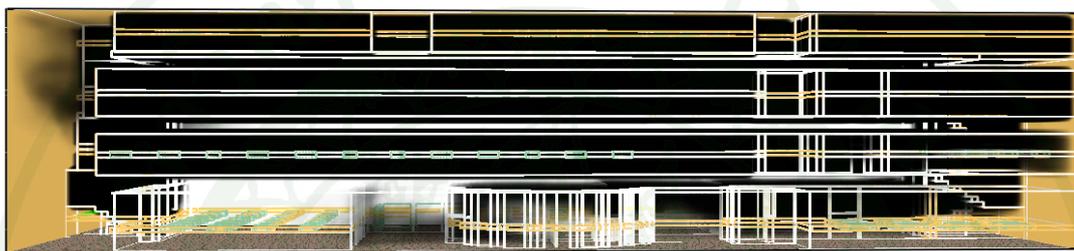
ภาพที่ 84 การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันที่เวลา 500 วินาที กรณีที่สี่



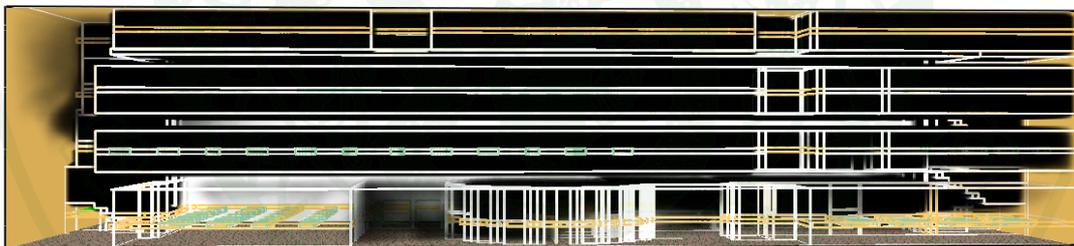
ภาพที่ 85 การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันที่เวลา 600 วินาที กรณีที่สี่



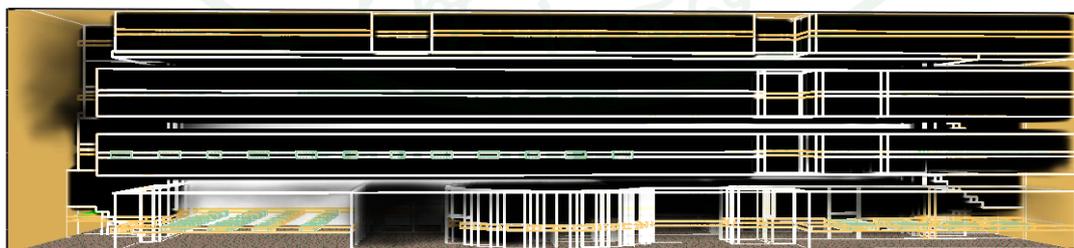
ภาพที่ 86 การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันที่เวลา 700 วินาที กรณีที่สี่



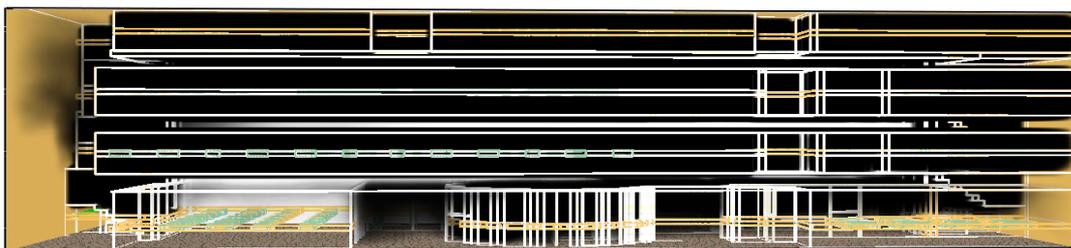
ภาพที่ 87 การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันที่เวลา 800 วินาที กรณีที่สี่



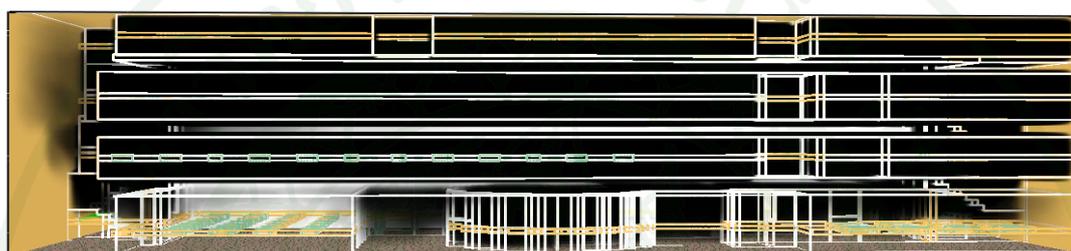
ภาพที่ 88 การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันที่เวลา 900 วินาที กรณีที่สี่



ภาพที่ 89 การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันที่เวลา 1000 วินาที กรณีที่สี่



ภาพที่ 90 การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันที่เวลา 1100 วินาที กรณีที่สี่



ภาพที่ 91 การเคลื่อนที่ของกลุ่มควันที่เวลา 1200 วินาที กรณีที่สี่

วิจารณ์

1. จากตารางที่ 23 การอพยพออกจากอาคารห้องสมุดของกรณีหนึ่งและสอง เวลาที่ใช้ในการอพยพใกล้เคียงกันแต่กรณีที่สองใช้เวลามากกว่า เนื่องจากขนาดกองเพลิงของกรณีที่สองมากกว่าทำให้เกิดควันและปริมาณสารพิษที่มีผลกระทบต่อผู้อพยพมากกว่า ส่วนกรณีสามและสี่ก็ใช้เวลาใกล้เคียงกันแต่ของกรณีสี่ใช้เวลามากกว่า และมีผู้เสียชีวิตมากกว่าประกอบกับผู้อพยพที่มากทำให้เกิดจุดคอคอดบริเวณบันไดในระหว่างอพยพซึ่งเป็นบริเวณที่ได้รับควันและขาดอากาศหายใจเป็นเวลานานเป็นผลให้การเคลื่อนที่อพยพเป็นไปได้ช้า

2. ตารางที่ 24 พบว่าผู้อพยพส่วนใหญ่เลือกใช้บันไดด้านขวามากกว่าบันไดด้านซ้าย เนื่องจากบันไดด้านขวามีขนาดที่กว้างกว่าบันไดด้านซ้าย และจำนวนของผู้อพยพก็เป็นอีกสาเหตุในการตัดสินใจเลือกเส้นทางอพยพตามกลุ่มคนหมู่มากด้วย

3. จากตารางที่ 25-28 อุณหภูมิทั้งสี่กรณีนั้น มีอุณหภูมิสูงสุดเกิดขึ้นที่ชั้น 3 ของทั้งสี่กรณี เนื่องจากเป็นชั้นของแหล่งต้นเพลิง และกรณีสามและสี่มีผู้อพยพเริ่มเสียชีวิตตรงหน้าทางลง

บันไดด้านขวาของชั้นที่สามซึ่งเป็นจุดที่มีอุณหภูมิสูงสุดในชั้น มีอุณหภูมิเฉลี่ยขณะที่ผู้อพยพเสียชีวิตประมาณ 200 °C ซึ่งสูงกว่าที่ผู้อพยพจะสามารถทนได้ ตามมาตรฐาน NFPA 130 อุณหภูมิสูงสุดที่มนุษย์ทนได้ คือ 60 °C ซึ่งสามารถทนได้ไม่กี่วินาที และตัวชี้วัดที่แสดงว่าผู้อพยพเสียชีวิตคือ Fractional Effective Dose (FED) มีค่าเท่ากับ 1 ซึ่งเป็นผลจากการบวกกันของอัตราส่วนของ CO, CO₂ และ O₂

4. จากตารางที่ 29-32 ค่าปริมาณออกซิเจนที่วัดได้ทั้งสี่กรณี ดังนี้

4.1 ชั้นที่ 1 ปริมาณออกซิเจนที่วัดได้ประมาณ 21 % ของทั้งสี่กรณีเท่ากันหมด เนื่องจาก ชั้นที่ 1 เป็นชั้นล่างสุดต้องใช้เวลามากกว่าวันจะเคลื่อนที่มาถึง และลักษณะพื้นที่ภายในของชั้นที่ 1 นั้นมีการกั้นแยกพื้นที่ระหว่างฝั่งบันไดหนีไฟออกไป ทำให้ควันมีการระบายออกสู่ภายนอกอาคารทางบันไดหนีไฟชั้นที่ 1 นี้ เป็นผลให้ระดับปริมาณของออกซิเจนยังคงรักษาระดับนี้ไว้ตลอดเวลาแม้ว่าขนาดกองเพลิงและระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นก็ตาม

4.2 ชั้นที่ 2 ปริมาณออกซิเจนที่วัดได้ 20-21% ทั้งชั้น ของกรณีหนึ่งและสอง กรณีที่สามและสี่ปริมาณออกซิเจนน้อยสุดที่วัดได้ 17% ที่ตำแหน่ง 2, 7 และ 8 ซึ่งจุดที่ 2 เป็นตำแหน่งหน้าประตูทางออกทางเดียวจากชั้นที่ 2 ไปยังชั้นที่ 1 เป็นบริเวณที่กลุ่มควันทั้งหมดต้องเคลื่อนที่ผ่านและจุดที่ 7, 8 เป็นตำแหน่งหน้าประตูบันไดหนีไฟของชั้นที่ 2 กลุ่มควันจะเคลื่อนที่มาจากชั้นที่ 3 มายังชั้นที่ 2 ทางประตูนี้ก่อน

4.3 ชั้นที่ 3 ปริมาณออกซิเจนน้อยสุดวัดได้ 18% ของกรณีหนึ่ง 12% ของกรณีที่สอง 10% ของกรณีที่สาม และ 11% ของกรณีที่สี่ โดยจุดที่วัดได้ คือ จุด 3, 4 เป็นจุดหน้าห้องของแหล่งต้นเพลิงและหน้าทางลงบันไดด้านขวาอาคาร ซึ่งบริเวณดังกล่าวนี้เป็นจุดที่มีอุณหภูมิสูงสุดของทุกชั้นของอาคาร

4.4 ชั้นที่ 4 ปริมาณออกซิเจนน้อยสุดที่วัดได้เป็นของกรณีที่สี่ 11% เนื่องจากชั้นที่ 4 มีลักษณะเป็นพื้นที่เปิดโล่ง ทำให้กลุ่มควันเคลื่อนตัวไปทั่วถึงกันหมดทั้งชั้นอย่างรวดเร็ว ไม่มีการกั้นแยกส่วนแบ่งครึ่งภายในชั้นเหมือนกับชั้นที่ 2 และ 3 ประกอบกับกรณีที่สี่มีขนาดกองเพลิงและเวลาในการจำลองสถานการณ์สูงสุด

5. จากตารางที่ 33-36 ค่าปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์ที่วัดได้ทั้งสี่กรณี ดังนี้

5.1 ชั้นที่ 1 ปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์สูงสุดที่วัดได้ 2.16 PPM ของกรณีทีหนึ่ง และ 15.8 PPM ของกรณีที่สอง ที่ตำแหน่งจุด 4 ทั้งสองกรณี ซึ่งเป็นทางออกของบันไดสู่ชั้นที่ 1 เนื่องจากกรณีทีหนึ่งและสองเวลาที่ใช้การอพยพ 600 วินาที เมื่อถึงช่วงเวลาดังกล่าวนี้ กลุ่มควันเพิ่งจะเริ่มต้นเข้ามาสู่ชั้นที่ 1 ที่ตำแหน่งนี้เท่านั้น กลุ่มควันยังไม่ได้มีการเคลื่อนที่เข้าสู่บริเวณภายในชั้นที่ 1 เลย สำหรับกรณีทีสามและสี่ปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์สูงสุดที่วัดได้ คือ 20.1 PPM และ 12.5 PPM ที่ตำแหน่งจุด 3 และ 1 ตามลำดับ เนื่องจาก กรณีทีสาม จุดที่ 3 นี้เป็นตำแหน่งที่ถัดออกมาจากหน้าบันไดที่เป็นทางออกมาจากชั้นที่ 2 กลุ่มควันเคลื่อนที่ออกมาตามระยะเวลาการอพยพที่มากขึ้น คือ 1,200 วินาที ส่วนกรณีทีสี่ จุดที่ 1 เป็นจุดที่ใกล้ทางออกของชั้นที่ 1 เนื่องจากขนาดของกองเพลิงที่มากกว่าของกรณีทีสาม ทำให้ปริมาณของกลุ่มควันมีมากกว่าและมีการสะสมของกลุ่มควันที่มากบริเวณทางออกของชั้นที่ 1 ทำให้เกิดการหมุนวนของกลุ่มควันในบริเวณดังกล่าวนี้มาก

5.2 ชั้นที่ 2 ปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์สูงสุดที่วัดได้ 45.4 PPM ของกรณีทีหนึ่ง 58.6 PPM ของกรณีทีสอง 395 PPM ของกรณีทีสาม และ 514 PPM ของกรณีทีสี่ โดยทั้งสี่กรณีเกิดที่จุดที่ 2 ซึ่งเป็นจุดเดียวกัน เนื่องจากจุดดังกล่าวเป็นตำแหน่งที่มีการกั้นแยกส่วนของชั้นที่สอง มีเพียงประตูเดียวที่สามารถผ่านถึงกันได้ ทำให้เกิดกลุ่มควันมีการสะสมและหมุนวนในบริเวณดังกล่าวมาก

5.3 ชั้นที่ 3 ปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์สูงสุดที่วัดได้ 428 PPM ของกรณีทีหนึ่ง 1290 PPM ของกรณีทีสอง 1570 PPM ของกรณีทีสาม และ 1260 PPM ที่กรณีทีสี่ โดยทั้งสี่กรณีเกิดที่จุดเดียวกันคือ จุด 3 และ 4 เนื่องจากเป็นจุดที่อยู่หน้าห้องที่เป็นแหล่งต้นเพลิงของชั้น โดยปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์ที่มนุษย์สามารถทนได้ คือ 1,500 PPM ที่เวลาไม่เกิน 6 นาที

5.4 ชั้นที่ 4 ปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์สูงสุดที่วัดได้ คือ 617 PPM ของกรณีทีหนึ่ง 845 PPM ของกรณีทีสอง 1320 PPM ของกรณีทีสาม และ 1350 PPM ของกรณีทีสี่ ซึ่งทั้งสี่กรณีนี้ จุดที่มีปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์สูงสุดอยู่กลางชั้นซึ่งเป็นพื้นที่เปิดโล่งทำให้กลุ่มควันเคลื่อนที่สะดวกและมีปริมาณมาก

6. จากกราฟอัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนทั้ง 4 กรณี แหล่งต้นเพลิงขนาด 7 MW ให้พลังงานความร้อนออกมาสูงกว่าแหล่งต้นเพลิง 5 MW โดยพลังงานความร้อนสูงสุดที่ทำได้ คือ 16,000 kW ที่เวลา 550 วินาที และ 12,000 kW ที่เวลา 700 วินาที ตามลำดับ ซึ่งขนาดของแหล่งต้นเพลิง 7 MW มีผลทำให้ปริมาณควันที่ผลิตออกมามากทำให้ผู้อพยพเสียชีวิตจากการสำลักควันมากกว่า เพราะไม่สามารถหาเส้นทางอพยพออกได้ทัน

7. จากภาพที่ 120-135 ค่าความสามารถในการมองเห็นของทั้งสี่กรณี ดังนี้

7.1 กรณีที่หนึ่งและสอง ชั้นที่ 1 แทบจะไม่มีเปลี่ยนแปลง เนื่องจากเวลาที่ใช้ในการจำลองสถานการณ์ 600 วินาที หรือ 10 นาที ควันไฟเพิ่งจะเคลื่อนตัวเข้ามาในบริเวณชั้นที่ 1 ส่วนชั้นที่ 2, 3 และ 4 การมองเห็นลดลงอย่างรวดเร็ว โดยชั้นที่ 4 การมองเห็นลดลงเร็วที่สุด เนื่องจากพื้นที่ตรงกลางมีลักษณะเป็นพื้นที่เปิดโล่ง ส่วนชั้นที่ 3 ซึ่งเป็นแหล่งต้นเพลิงนั้น การมองเห็นลดลงช้ากว่าชั้นที่ 4 เนื่องจากมีการขวางกั้นระหว่างแหล่งต้นเพลิงกับพื้นที่ภายในส่วนใหญ่ด้วยผนังภายใน ซึ่งมีประตูให้ควันผ่านไปได้ประตูเดียว และสุดท้ายชั้นที่ 2 ควันเคลื่อนตัวเข้ามาทางประตูหนีไฟก่อน ซึ่งประตูหนีไฟมีขนาดเล็กทำให้ควันเคลื่อนตัวเข้ามาภายในชั้นได้ช้ากว่าชั้นที่ 3 และ 4

7.2 ค่าความสามารถในการมองเห็นของกรณีที่สามและสี่ เวลาในการจำลองสถานการณ์ 1,200 วินาที หรือ 20 นาที โดยชั้นที่ 1 ความสามารถในการมองเห็นลดลงอย่างรวดเร็ว แต่ใช้เวลานานกว่าควันจะเริ่มเข้ามาภายในชั้น เนื่องจากอยู่ชั้นล่างสุด ส่วนชั้นที่ 2, 3 และ 4 ความสามารถในการมองเห็นคล้ายกับกรณีที่หนึ่งและสองแต่ลดลงเร็วกว่า เนื่องการจัดวางของพื้นที่ภายในอาคารเหมือนกันแต่มีระยะเวลาที่แหล่งต้นเพลิงเผาไหม้นานกว่า

8. จากภาพที่ 136-141 การเคลื่อนที่ของกลุ่มควัน จากแหล่งต้นเพลิงชั้นที่ 3 ควันเคลื่อนที่เข้าสู่ชั้นที่ 4 อย่างรวดเร็วกว่าชั้นที่ 3 เนื่องจากลักษณะพื้นที่ของชั้นที่ 4 ที่มีลักษณะเปิดโล่งและลักษณะทางการภาพของควันจะเคลื่อนที่ขึ้นสู่ที่สูง เมื่อควันสะสมจนเต็มปริมาตรอาคารชั้นที่ 4 แล้วจึงเคลื่อนที่ลงสู่ชั้นอื่นๆที่ต่ำกว่า โดยควันเคลื่อนที่ออกสู่ภายนอกด้านหลังอาคารที่เป็นทางออกของบันไดหนีไฟชั้นที่ 1 ก่อน หลังจากนั้น เมื่อควันเคลื่อนที่เข้าสู่ชั้นที่ 1 จนเต็มจึงเคลื่อนที่ออกทางประตูด้านหน้าอาคาร

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. การอพยพของทั้งสี่กรณีนั้นพบว่าผู้อพยพเกิดการเสียชีวิตขึ้นในกรณีที่สามและสี่ เนื่องจากปริมาณสารพิษที่ผู้อพยพได้รับเป็นเวลานาน โดยแปรผันตามจำนวนของผู้อพยพและขนาดกองเพลิง ซึ่งจุดที่เป็นจุดอันตรายและพบผู้เสียชีวิต คือ หน้าบันไคฝั่งขวาของชั้นที่ 3 ใกล้กับจุดต้นเพลิง ดังนั้น ควรมีการปรับปรุงบันไคด้านฝั่งขวาให้เป็นบันไคหนีไฟ
2. จากแบบจำลองพบว่าการเคลื่อนที่ของกลุ่มควันในชั้นที่ 4 เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วกว่าในชั้นที่ 2 และ 3 เนื่องจาก พื้นที่ในชั้นที่ 4 มีลักษณะเป็นพื้นที่เปิดโล่ง ส่วนในชั้นที่ 2 และ 3 มีการแบ่งส่วนของพื้นที่ในระหว่างชั้นทำให้กลุ่มควันเข้าไปเกิดการสะสมแล้วค่อยเคลื่อนที่ผ่านประตูที่ถูกจำกัดให้ผ่านได้แค่ประตูเดียว ดังนั้น ควรมีการสร้างส่วนปิดล้อมในบริเวณที่เป็นจุดเสี่ยงที่อาจเกิดเพลิงไหม้ ซึ่งจะช่วยให้ลดการกระจายตัวและกักเก็บกลุ่มควันและเพิ่มเวลาให้กับผู้อพยพมากขึ้นอีกด้วย
3. จากแบบจำลองพบว่าในระหว่างที่เกิดการรอคอยในการอพยพตรงบริเวณบันไคทั้งสองฝั่งของอาคารนั้น แม้ผู้อพยพไม่หนาแน่นแต่ผู้อพยพก็เคลื่อนที่ผ่านลงมาจากบันไคได้ช้าเป็นผลมาจากความหนาแน่นของกลุ่มควันและสารพิษที่ได้รับในบริเวณนั้น

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการติดตั้งระบบระบายควันภายในอาคารและสร้างส่วนปิดล้อมบันไคด้านฝั่งขวาให้เป็นบันไคหนีไฟซึ่งจะช่วยลดอุณหภูมิและปริมาณสารพิษที่เกิดขึ้นที่อาจจะมีผลกระทบต่อผู้อพยพลงได้ ซึ่งอาจมีการนำงานวิจัยนี้ไปทำการศึกษาเพิ่มเติมในส่วนนี้ต่อไป
2. ควรมีการติดตั้งป้ายบอกทางหนีไฟหรือเส้นทางอพยพในแต่ละชั้นให้ชัดเจนเพื่อให้ผู้อพยพสามารถเลือกใช้บันไคในการอพยพได้อย่างมีประสิทธิภาพ ไม่เกิดความแออัดกันที่บันไคใดบันไคหนึ่ง

3. บันไดทางด้านฝั่งขวาของอาคารควรมีประตูปล่อยผู้อพยพออกสู่ภายนอกได้เอง โดยไม่ต้องอพยพผ่านภายในพื้นที่ภายในชั้นที่หนึ่งเพื่อมาออกทางด้านหน้าอาคาร

4. จำนวนผู้อพยพที่อ้างอิงจากการคำนวณตามมาตรฐาน NFPA 101, Life Safety Code, 2009 Edition เป็นแค่จำนวนผู้อพยพสูงสุดที่อาคารนี้สามารถรองรับได้ ซึ่งในสถานการณ์จริงผู้ใช้งานอาจมีจำนวนที่มากที่สุดไม่เท่ากับจำนวนดังกล่าวนี้

5. ควรมีการซักซ้อมการอพยพและจัดทำแผนการอพยพของอาคารเพื่อให้การอพยพเกิดประสิทธิภาพในขณะที่เกิดเหตุการณ์จริง

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- Gupta*, A.K. and P.K. Yadav. 2004. SAFE-R: a new model to study the evacuation profile of a building. **Fire Saf. J.** 39 (2004): 539-556.
- Gwynne, S., E.R. Galea*, P.J. Lawrence and L. Filippidis. 2001. Modelling occupant interaction with fire conditions using the building EXODUS evacuation model. **Fire Saf. J.** 36 (2001): 327-357.
- Hostikka, S., T. Korhonen, T. Paloposki, T. Rinne, K. Matrikainen and S. Heliövaara. 2007. **Development and validation of FDS+Evac for evacuation simulations.** VTT Technical Research Center, Finland.
- KO^a, S., M. Spearpoint^{b,*} and A. Teo^a. 2007. Trial evacuation of an industrial premises and evacuation model comparison. **Fire Saf. J.** 42 (2007): 91-105.
- Korhonen, T. and S. Hostikka. 2008. **Fire Dynamics Simulator with Evacuation FDS+Evac Version 5 Technical Reference and User's Guide.** VTT Technical Research Center, Finland.
- Long, S., Q. Xie, X. Cheng, L. Chen, Y. Zhou and R. Zhang. 2009. Developing a database for emergency evacuation model. **Building and Environment** 44 (2009): 1724–1729.
- McGrattan, K., S. Hostikka, J. Floyd, B. Klein and G. Forney. 2008. **PyroSim User Manual 2007.2.** Thunderhead Engineer, Manhattan.
- National Fire Protection Association. 2003. **NFPA Ready Reference Human Behavior in Fire Emergencies.** National Fire Protection Association, Quincy, Massachusetts.

National Fire Protection Association. 2009. **NFPA 101 Life Safety Code Handbook**. National Fire Protection Association, Quincy, Massachusetts.

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

Rasbash, J., G. Ramachandran, B. Kandora, J. Watts and M. Law. 2004. **Evaluation of Fire Safety**. John Wiley & Sons Ltd, West Sussex, England.

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

Walter, W.Y. and K.C. Wan. 2005. A New Method for Selecting the Design Fire for Safety Provision. **Fire Sci. Tech.** 24 (2005): 133-149.





ภาคผนวก ก
คำสั่งในโปรแกรม FDS+Evac.

1. คำสั่งในโปรแกรม FDS+Evac

<p><< โครงข่ายพื้นที่เพลิงไหม้ของทั้งอาคาร >></p>
<p>อาคารห้องสมุด</p> <p>&MESH ID='Library', IJK=120,46,35, XB=-6.48,53.10, -11.90,10.90, 0.0,15.30 /</p>
<p><< โครงข่ายพื้นที่อพยพของอาคาร >></p>
<p>ชั้นที่ 1 ด้านฝั่งซ้าย</p> <p>&MESH ID = 'EMESH_1L', IJK=13,46,1, XB=-6.48,-0.02, -11.90,10.90, 1.20,1.50, EVAC_Z_OFFSET=1.0, EVACUATION=.TRUE., EVAC_HUMANS=.TRUE. /</p>
<p>ชั้นที่ 1 ด้านฝั่งขวา</p> <p>&MESH ID = 'EMESH_1R', IJK=106,46,1, XB=-0.02,53.10, -11.90,10.90, 1.20,1.50, EVAC_Z_OFFSET=1.0, EVACUATION=.TRUE., EVAC_HUMANS=.TRUE. /</p>
<p>ชั้นที่ 2</p> <p>&MESH ID = 'EMESH_2', IJK=120,46,1, XB=-6.48,53.10, -11.90,10.90, 6.00,6.30, EVAC_Z_OFFSET=1.0, EVACUATION=.TRUE., EVAC_HUMANS=.TRUE. /</p>
<p>ชั้นที่ 3</p> <p>&MESH ID = 'EMESH_3', IJK=120,46,1, XB=-6.48,53.10, -11.90,10.90, 9.90,10.20, EVAC_Z_OFFSET=1.0, EVACUATION=.TRUE., EVAC_HUMANS=.TRUE. /</p>
<p>ชั้นที่ 4</p> <p>&MESH ID = 'EMESH_4', IJK=120,46,1, XB=-6.48,53.10, -11.90,10.90, 13.80,14.10, EVAC_Z_OFFSET=1.0, EVACUATION=.TRUE., EVAC_HUMANS=.TRUE. /</p>

<< การเคลื่อนที่ผ่านประตู >>

ทางออกด้านหน้าอาคารชั้นที่ 1

&MESH ID = 'Exit_Front', IJK=106,46,1, XB = -0.02,53.10, -11.90,10.90, 1.20,1.50,
EVACUATION=.TRUE./

ทางออกด้านหลังอาคารชั้นที่ 1

&MESH ID = 'Exit_Back', IJK=13,46,1, XB=-6.48,-0.02, -11.90,10.90, 1.20,1.50,
EVACUATION=.TRUE./

ทางออกจากบันไดด้านซ้ายอาคารชั้นที่ 1

&MESH ID = 'ToStair_1L', IJK=13,46,1, XB=-6.48,-0.02, -11.90,10.90, 1.20,1.50,
EVACUATION=.TRUE./

ทางออกจากบันไดด้านขวาอาคารชั้นที่ 1

&MESH ID = 'ToStair_1R', IJK=106,46,1, XB= -0.02,53.10, -11.90,10.90, 1.20,1.50,
EVACUATION=.TRUE./

ทางออกจากบันไดด้านซ้ายอาคารชั้นที่ 2

&MESH ID = 'ToStair_2L', IJK=120,46,1, XB=-6.48,53.10, -11.90,10.90, 6.00,6.30,
EVACUATION=.TRUE./

ทางออกจากบันไดด้านขวาอาคารชั้นที่ 2

&MESH ID = 'ToStair_2R', IJK=120,46,1, XB=-6.48,53.10, -11.90,10.90, 6.00,6.30,
EVACUATION=.TRUE./

ทางออกจากบันไดด้านซ้ายอาคารชั้นที่ 3

&MESH ID = 'ToStair_3L', IJK=120,46,1, XB=-6.48,53.10, -11.90,10.90, 9.90,10.20,
EVACUATION=.TRUE./

ทางออกจกบันไดด้านขวาอาคารชั้นที่ 3

&MESH ID = 'ToStair_3R', IJK=120,46,1, XB=-6.48,53.10,-11.90, 10.90, 9.90,10.20,
EVACUATION=.TRUE./

ทางออกจกบันไดด้านซ้ายอาคารชั้นที่ 4

&MESH ID = 'ToStair_4L', IJK=120,46,1, XB=-6.48,53.10, -11.90,10.90, 13.80,14.10,
EVACUATION=.TRUE./

ทางออกจกบันไดด้านขวาอาคารชั้นที่ 4

&MESH ID = 'ToStair_4R', IJK=120,46,1, XB=-6.48,53.10, -11.90,10.90, 13.80,14.10,
EVACUATION=.TRUE./

<< ระยะเวลาที่ใช้ในการจำลองสถานการณ์ >>

เวลาการอพยพ 600 วินาที (10 นาที) , 1200 วินาที (20 นาที)

&TIME T_END=600, 1200.0 /

<< เชื้อเพลิงที่ใช้ในการจำลองสถานการณ์ >>

&REAC ID = 'POLYURETHANE',

FYI='NFPA Babrauskas',

C=6.30,

H=7.10,

O=2.10,

N=1.00,

CO_YIELD = 0.02,

SOOT_YIELD=0.1000/

<< ขนาดของกองเพลิงที่ใช้จำลองสถานการณ์ >>

&VENT XB=31.55,34.35,7.32,9.82,10.20,10.20, SURF_ID='BURNER'/ Burner vent
 &OBST XB=31.55,34.35,7.32,9.82,8.70,10.20, SURF_ID='BURNER'/ Burner

<< การปลดปล่อยพลังงานความร้อนต่อพื้นที่ >>

&SURF ID='BURNER',
 FYI='1000 kW/m2 burner',
 TEXTURE_MAP='psm_fire.jpg',
 TEXTURE_WIDTH=2.5,
 TEXTURE_HEIGHT=2.5,
 HRRPUA=1.0000000E003
 TAU_Q=386.00 /

<< วัสดุภายในอาคารที่ทำการจำลองสถานการณ์ >>

&MATL ID='TILE MATERIAL',
 FYI='UL Report NC987-96NK37863 - UL NFPRF Validation',
 SPECIFIC_HEAT=0.75,
 CONDUCTIVITY=0.0611,
 DENSITY=313.00/

&MATL ID='GYPSUM PLASTER',
 FYI='Quintiere, Fire Behavior - NIST NRC Validation',
 SPECIFIC_HEAT=0.84,
 CONDUCTIVITY=0.4800,
 DENSITY=1.4400000E003/

&MATL ID='CONCRETE',
 FYI='NBSIR 88-3752 - ATF NIST Multi-Floor Validation',

```
SPECIFIC_HEAT=1.04,  
CONDUCTIVITY=1.80,  
DENSITY=2.2800000E003/
```

```
&MATL ID='GYPSUM',
```

```
FYI='NBSIR 88-3752 - ATF NIST Multi-Floor Validation',  
SPECIFIC_HEAT=1.09,  
CONDUCTIVITY=0.1700,  
DENSITY=930.00/
```

```
&MATL ID='FOAM',
```

```
FYI='Caution: Reaction Rate Not Validated, remaining data from Jukka Hietaniemi,  
et al., "FDS simulation of fire spread..."',  
SPECIFIC_HEAT=1.70,  
CONDUCTIVITY=0.0500,  
DENSITY=28.00 /
```

```
&SURF ID='TILE MATERIAL',
```

```
COLOR='WHITE',  
TEXTURE_MAP='psm_tile.jpg',  
TEXTURE_WIDTH=0.2134,  
TEXTURE_HEIGHT=0.2134,  
MATL_ID(1,1)='TILE MATERIAL',  
MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.00,  
THICKNESS(1)=0.0100/
```

```
&SURF ID='OUTFLOW',
```

```
RGB=26,128,26,  
VEL=1.0000000E-006,  
TAU_V=0.1000/
```

```
&SURF ID='GYPSUM PLASTER',  
    COLOR='WHITE',  
    MATL_ID(1,1)='GYPSUM PLASTER',  
    MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.00,  
    THICKNESS(1)=0.1000/
```

```
&SURF ID='CONCRETE',  
    COLOR='WHITE',  
    TEXTURE_MAP='psm_concrete.jpg',  
    TEXTURE_WIDTH=0.76,  
    TEXTURE_HEIGHT=0.76,  
    MATL_ID(1,1)='CONCRETE',  
    MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.00,  
    THICKNESS(1)=0.1000/
```

```
&SURF ID='GYPSUM',  
    COLOR='WHITE',  
    TEXTURE_MAP='psm_brown.jpg',  
    MATL_ID(1,1)='GYPSUM',  
    MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.00,  
    THICKNESS(1)=0.1000/
```

```
&SURF ID='PVC',  
    COLOR='GREEN',  
    TEXTURE_MAP='psm_blue.jpg',  
    TEXTURE_WIDTH=0.61,  
    TEXTURE_HEIGHT=0.61/
```

```
&SURF ID='YELLOW PILE',  
    RGB=146,202,166,
```

```

TEXTURE_MAP='psm_wood1.jpg',
TEXTURE_WIDTH=0.61,
TEXTURE_HEIGHT=0.61/
&SURF ID='PICTURE',
COLOR='GRAY 80',
TEXTURE_MAP='KU_FPE_Logo.jpg',
ADIABATIC=.TRUE./

&SURF ID='UPHOLSTERY',
RGB=146,202,166,
TEXTURE_MAP='psm_shag.jpg',
TEXTURE_WIDTH=0.1829,
TEXTURE_HEIGHT=0.1829,
BACKING='INSULATED',
MATL_ID(1,1)='FOAM',
MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.00,
THICKNESS(1)=0.1000/

```

<< คุณสมบัติของผู้อพยพที่ใช้ในการจำลองสถานการณ์ >>

```

&PERS ID='Adult',
FYI='Male+Female diameter and velocity',
L_NON_SP=0.3,
DEFAULT_PROPERTIES='Adult',
PRE_EVAC_DIST=1,PRE_MEAN=5.0,PRE_LOW=1.0,PRE_HIGH=10.0,
DET_EVAC_DIST=1,DET_MEAN=10.0,DET_LOW=5.00,DET_HIGH=15.0,
TDET_SMOKE_DENS=0.1 ,
FED_DOOR_CRIT = -30.0,
HUMAN_SMOKE_HEIGHT=1.50,
OUTPUT_SPEED=.TRUE.,

```

```

OUTPUT_FED=.TRUE.,
OUTPUT_CONTACT_FORCE= .FALSE.,
DENS_INIT= 1.0,
COLOR_METHOD=0,
DEAD_COLOR='RED' /

```

<< ตำแหน่งเริ่มต้นของผู้อพยพในแบบจำลองสถานการณ์ >>

ชั้นที่ 1

```

&EVAC ID = 'HumanLeftExitFront_1',
    NUMBER_INITIAL_PERSONS = 50,
    XB = 0.5,11.5, -10.9,9.5, 1.2,1.5
    AVATAR_COLOR = 'MAGENTA',
    KNOWN_DOOR_NAMES = 'Exit_Front',
    KNOWN_DOOR_PROBS = 1.0,
    PERS_ID = 'Adult' /

```

```

&EVAC ID = 'HumanLeftExitFront_2',
    NUMBER_INITIAL_PERSONS = 20,
    XB = 24.0,34.0, 1.0,10.0, 1.2,1.5
    AVATAR_COLOR = 'MAGENTA',
    KNOWN_DOOR_NAMES = 'Exit_Front',
    KNOWN_DOOR_PROBS = 1.0,
    PERS_ID = 'Adult' /

```

```

&EVAC ID = 'HumanLeftExitFront_3',
    NUMBER_INITIAL_PERSONS = 27,
    XB = 13.0,19.0, 3.8,9.0, 1.2,1.5
    AVATAR_COLOR = 'MAGENTA',
    KNOWN_DOOR_NAMES = 'Exit_Front',

```

KNOWN_DOOR_PROBS = 1.0,

PERS_ID = 'Adult' /

&EVAC ID = 'HumanLeftExitFront_4',

NUMBER_INITIAL_PERSONS = 50,

XB = 38.0,52.0, -11.3,-4.0, 1.2,1.5

AVATAR_COLOR = 'MAGENTA',

KNOWN_DOOR_NAMES = 'Exit_Front',

KNOWN_DOOR_PROBS = 1.0,

PERS_ID = 'Adult' /

&EVAC ID = 'HumanLeftExitFront_5',

NUMBER_INITIAL_PERSONS = 50,

XB = 38.0,52.0, 3.1,10.4, 1.2,1.5

AVATAR_COLOR = 'MAGENTA',

KNOWN_DOOR_NAMES = 'Exit_Front',

KNOWN_DOOR_PROBS = 1.0,

PERS_ID = 'Adult' /

ชั้นที่ 2

&EVAC ID = 'HumanLeftStair_2.1',

NUMBER_INITIAL_PERSONS = 150,

XB = 0.30,33.00, -11.5,10.0, 6.00,6.30,

AVATAR_COLOR = 'GOLD',

KNOWN_DOOR_NAMES = 'Stair_1L','Stair_1R',

KNOWN_DOOR_PROBS = 1.0,1.0,

PERS_ID = 'Adult' /

&EVAC ID = 'HumanLeftStair_2.2',

NUMBER_INITIAL_PERSONS = 47,

XB = 38.00,50.00, -11.00,10.00 6.00,6.30,
 AVATAR_COLOR = 'GOLD',
 KNOWN_DOOR_NAMES = 'Stair_1L','Stair_1R',
 KNOWN_DOOR_PROBS = 1.0,1.0,
 PERS_ID = 'Adult' /

ชั้นที่ 3

&EVAC ID = 'HumanLeftStair_3.1',
 NUMBER_INITIAL_PERSONS = 150,
 XB = 0.30,30.00, -11.5,10.0, 9.90,10.20
 AVATAR_COLOR = 'GREEN',
 KNOWN_DOOR_NAMES = 'Stair_2L','Stair_2R',
 KNOWN_DOOR_PROBS = 1.0,1.0,
 PERS_ID = 'Adult' /

&EVAC ID = 'HumanLeftStair_3.2',
 NUMBER_INITIAL_PERSONS = 47,
 XB = 38.00,50.00, -11.00,10.00, 9.90,10.20
 AVATAR_COLOR = 'GREEN',
 KNOWN_DOOR_NAMES = 'Stair_2L','Stair_2R',
 KNOWN_DOOR_PROBS = 1.0,1.0,
 PERS_ID = 'Adult' /

ชั้นที่ 4

&EVAC ID = 'HumanLeftStair_4.1',
 NUMBER_INITIAL_PERSONS = 100,
 XB = 0.50,11.00, -10.00,7.00, 13.80,14.10
 AVATAR_COLOR = 'BLUE VIOLET',
 KNOWN_DOOR_NAMES = 'Stair_3L','Stair_3R',
 KNOWN_DOOR_PROBS = 1.0,1.0,

PERS_ID = 'Adult' /

&EVAC ID = 'HumanLeftStair_4.2',

NUMBER_INITIAL_PERSONS = 50,

XB = 18.00,32.00, -8.00,-2.00, 13.80,14.10

AVATAR_COLOR = 'BLUE VIOLET',

KNOWN_DOOR_NAMES = 'Stair_3L','Stair_3R',

KNOWN_DOOR_PROBS = 1.0,1.0,

PERS_ID = 'Adult' /

&EVAC ID = 'HumanLeftStair_4.3',

NUMBER_INITIAL_PERSONS = 20,

XB = 40.00,50.00, -10.00,-2.00, 13.80,14.10

AVATAR_COLOR = 'BLUE VIOLET',

KNOWN_DOOR_NAMES = 'Stair_3L','Stair_3R',

KNOWN_DOOR_PROBS = 1.0,1.0,

PERS_ID = 'Adult' /

&EVAC ID = 'HumanLeftStair_4.4',

NUMBER_INITIAL_PERSONS = 27,

XB = 14.00,50.00, -1.00,8.00, 13.80,14.10

AVATAR_COLOR = 'BLUE VIOLET',

KNOWN_DOOR_NAMES = 'Stair_3L','Stair_3R',

KNOWN_DOOR_PROBS = 1.0,1.0,

PERS_ID = 'Adult' /

<< ตำแหน่งอุปกรณ์ตรวจวัดต่างๆ ในแบบจำลองสถานการณ์ >>

อุปกรณ์ตรวจวัดการมองเห็นชั้นที่ 1

&DEVC ID='VIS_1.01', QUANTITY='visibility', XYZ=28.00,-4.10,1.50/

&DEVC ID='VIS_1.02', QUANTITY='visibility', XYZ=33.00,-2.10,1.50/
 &DEVC ID='VIS_1.03', QUANTITY='visibility', XYZ=39.00,-0.60,1.50/
 &DEVC ID='VIS_1.04', QUANTITY='visibility', XYZ=45.00,-0.60,1.50/
 &DEVC ID='VIS_1.05', QUANTITY='visibility', XYZ=21.00,-4.00,1.50/

อุปกรณ์ตรวจวัดการมองเห็นชั้นที่ 2

&DEVC ID='VIS_2.01', QUANTITY='visibility', XYZ=27.00,-0.60,6.30/
 &DEVC ID='VIS_2.02', QUANTITY='visibility', XYZ=33.00,-0.60,6.30/
 &DEVC ID='VIS_2.03', QUANTITY='visibility', XYZ=39.00,-0.60,6.30/
 &DEVC ID='VIS_2.04', QUANTITY='visibility', XYZ=45.00,-0.60,6.30/
 &DEVC ID='VIS_2.05', QUANTITY='visibility', XYZ=21.00,-0.60,6.30/
 &DEVC ID='VIS_2.06', QUANTITY='visibility', XYZ=15.00,-0.60,6.30/
 &DEVC ID='VIS_2.07', QUANTITY='visibility', XYZ=9.00,-0.60,6.30/
 &DEVC ID='VIS_2.08', QUANTITY='visibility', XYZ=3.00,-0.60,6.30/

อุปกรณ์ตรวจวัดการมองเห็นชั้นที่ 3

&DEVC ID='VIS_3.01', QUANTITY='visibility', XYZ=27.00,-0.60,10.20/
 &DEVC ID='VIS_3.02', QUANTITY='visibility', XYZ=33.00,-0.60,10.20/
 &DEVC ID='VIS_3.03', QUANTITY='visibility', XYZ=39.00,-0.60,10.20/
 &DEVC ID='VIS_3.04', QUANTITY='visibility', XYZ=45.00,-0.60,10.20/
 &DEVC ID='VIS_3.05', QUANTITY='visibility', XYZ=21.00,-0.60,10.20/
 &DEVC ID='VIS_3.06', QUANTITY='visibility', XYZ=15.00,-0.60,10.20/
 &DEVC ID='VIS_3.07', QUANTITY='visibility', XYZ=9.00,-0.60,10.20/
 &DEVC ID='VIS_3.08', QUANTITY='visibility', XYZ=3.00,0.40,10.20/

อุปกรณ์ตรวจวัดการมองเห็นชั้นที่ 4

&DEVC ID='VIS_4.01', QUANTITY='visibility', XYZ=27.00,-0.60,14.10/
 &DEVC ID='VIS_4.02', QUANTITY='visibility', XYZ=33.00,-0.60,14.10/
 &DEVC ID='VIS_4.03', QUANTITY='visibility', XYZ=39.00,-0.60,14.10/
 &DEVC ID='VIS_4.04', QUANTITY='visibility', XYZ=45.00,-0.60,14.10/

&DEVC ID='VIS_4.05', QUANTITY='visibility', XYZ=21.00,-0.60,14.10/
 &DEVC ID='VIS_4.06', QUANTITY='visibility', XYZ=15.00,-0.60,14.10/
 &DEVC ID='VIS_4.07', QUANTITY='visibility', XYZ=9.00,-0.60,14.10/
 &DEVC ID='VIS_4.08', QUANTITY='visibility', XYZ=3.00,0.40,14.10/

อุปกรณ์ตรวจวัดคาร์บอนมอนอกไซด์ชั้นที่ 1

&DEVC ID='COMO_1.01', QUANTITY='carbon monoxide', XYZ=28.00,-4.10,1.50/
 &DEVC ID='COMO_1.02', QUANTITY='carbon monoxide', XYZ=33.00,-2.10,1.50/
 &DEVC ID='COMO_1.03', QUANTITY='carbon monoxide', XYZ=39.00,-0.60,1.50/
 &DEVC ID='COMO_1.04', QUANTITY='carbon monoxide', XYZ=45.00,-0.60,1.50/
 &DEVC ID='COMO_1.05', QUANTITY='carbon monoxide', XYZ=21.00,-4.00,1.50/

อุปกรณ์ตรวจวัดคาร์บอนมอนอกไซด์ชั้นที่ 2

&DEVC ID='COMO_2.01', QUANTITY='carbon monoxide', XYZ=27.00,-0.60,6.30/
 &DEVC ID='COMO_2.02', QUANTITY='carbon monoxide', XYZ=33.00,-0.60,6.30/
 &DEVC ID='COMO_2.03', QUANTITY='carbon monoxide', XYZ=39.00,-0.60,6.30/
 &DEVC ID='COMO_2.04', QUANTITY='carbon monoxide', XYZ=45.00,-0.60,6.30/
 &DEVC ID='COMO_2.05', QUANTITY='carbon monoxide', XYZ=21.00,-0.60,6.30/
 &DEVC ID='COMO_2.06', QUANTITY='carbon monoxide', XYZ=15.00,-0.60,6.30/
 &DEVC ID='COMO_2.07', QUANTITY='carbon monoxide', XYZ=9.00,-0.60,6.30/
 &DEVC ID='COMO_2.08', QUANTITY='carbon monoxide', XYZ=3.00,-0.60,6.30/

อุปกรณ์ตรวจวัดคาร์บอนมอนอกไซด์ชั้นที่ 3

&DEVC ID='COMO_3.01', QUANTITY='carbon monoxide', XYZ=27.00,-0.60,10.20/
 &DEVC ID='COMO_3.02', QUANTITY='carbon monoxide', XYZ=33.00,-0.60,10.20/
 &DEVC ID='COMO_3.03', QUANTITY='carbon monoxide', XYZ=39.00,-0.60,10.20/
 &DEVC ID='COMO_3.04', QUANTITY='carbon monoxide', XYZ=45.00,-0.60,10.20/
 &DEVC ID='COMO_3.05', QUANTITY='carbon monoxide', XYZ=21.00,-0.60,10.20/
 &DEVC ID='COMO_3.06', QUANTITY='carbon monoxide', XYZ=15.00,-0.60,10.20/
 &DEVC ID='COMO_3.07', QUANTITY='carbon monoxide', XYZ=9.00,-0.60,10.20/

&DEVC ID='COMO_3.08', QUANTITY='carbon monoxide', XYZ=3.00,0.40,10.20/

อุปกรณ์ตรวจวัดคาร์บอนมอนอกไซด์ชั้นที่ 4

&DEVC ID='COMO_4.01', QUANTITY='carbon monoxide', XYZ=27.00,-0.60,14.10/

&DEVC ID='COMO_4.02', QUANTITY='carbon monoxide', XYZ=33.00,-0.60,14.10/

&DEVC ID='COMO_4.03', QUANTITY='carbon monoxide', XYZ=39.00,-0.60,14.10/

&DEVC ID='COMO_4.04', QUANTITY='carbon monoxide', XYZ=45.00,-0.60,14.10/

&DEVC ID='COMO_4.05', QUANTITY='carbon monoxide', XYZ=21.00,-0.60,14.10/

&DEVC ID='COMO_4.06', QUANTITY='carbon monoxide', XYZ=15.00,-0.60,14.10/

&DEVC ID='COMO_4.07', QUANTITY='carbon monoxide', XYZ=9.00,-0.60,14.10/

&DEVC ID='COMO_4.08', QUANTITY='carbon monoxide', XYZ=3.00,0.40,14.10/

อุปกรณ์ตรวจวัดออกซิเจนชั้นที่ 1

&DEVC ID='OXY_1.01', QUANTITY='oxygen', XYZ=28.00,-4.10,1.50/

&DEVC ID='OXY_1.02', QUANTITY='oxygen', XYZ=33.00,-2.10,1.50/

&DEVC ID='OXY_1.03', QUANTITY='oxygen', XYZ=39.00,-0.60,1.50/

&DEVC ID='OXY_1.04', QUANTITY='oxygen', XYZ=45.00,-0.60,1.50/

&DEVC ID='OXY_1.05', QUANTITY='oxygen', XYZ=21.00,-4.00,1.50/

อุปกรณ์ตรวจวัดออกซิเจนชั้นที่ 2

&DEVC ID='OXY_2.01', QUANTITY='oxygen', XYZ=27.00,-0.60,6.30/

&DEVC ID='OXY_2.02', QUANTITY='oxygen', XYZ=33.00,-0.60,6.30/

&DEVC ID='OXY_2.03', QUANTITY='oxygen', XYZ=39.00,-0.60,6.30/

&DEVC ID='OXY_2.04', QUANTITY='oxygen', XYZ=45.00,-0.60,6.30/

&DEVC ID='OXY_2.05', QUANTITY='oxygen', XYZ=21.00,-0.60,6.30/

&DEVC ID='OXY_2.06', QUANTITY='oxygen', XYZ=15.00,-0.60,6.30/

&DEVC ID='OXY_2.07', QUANTITY='oxygen', XYZ=9.00,-0.60,6.30/

&DEVC ID='OXY_2.08', QUANTITY='oxygen', XYZ=3.00,-0.60,6.30/

อุปกรณ์ตรวจวัดออกซิเจนชั้นที่ 3

&DEVC ID='OXY_3.01', QUANTITY='oxygen', XYZ=27.00,-0.60,10.20/

&DEVC ID='OXY_3.02', QUANTITY='oxygen', XYZ=33.00,-0.60,10.20/

&DEVC ID='OXY_3.03', QUANTITY='oxygen', XYZ=39.00,-0.60,10.20/

&DEVC ID='OXY_3.04', QUANTITY='oxygen', XYZ=45.00,-0.60,10.20/

&DEVC ID='OXY_3.05', QUANTITY='oxygen', XYZ=21.00,-0.60,10.20/

&DEVC ID='OXY_3.06', QUANTITY='oxygen', XYZ=15.00,-0.60,10.20/

&DEVC ID='OXY_3.07', QUANTITY='oxygen', XYZ=9.00,-0.60,10.20/

&DEVC ID='OXY_3.08', QUANTITY='oxygen', XYZ=3.00,0.40,10.20/

อุปกรณ์ตรวจวัดออกซิเจนชั้นที่ 4

&DEVC ID='OXY_4.01', QUANTITY='oxygen', XYZ=27.00,-0.60,14.10/

&DEVC ID='OXY_4.02', QUANTITY='oxygen', XYZ=33.00,-0.60,14.10/

&DEVC ID='OXY_4.03', QUANTITY='oxygen', XYZ=39.00,-0.60,14.10/

&DEVC ID='OXY_4.04', QUANTITY='oxygen', XYZ=45.00,-0.60,14.10/

&DEVC ID='OXY_4.05', QUANTITY='oxygen', XYZ=21.00,-0.60,14.10/

&DEVC ID='OXY_4.06', QUANTITY='oxygen', XYZ=15.00,-0.60,14.10/

&DEVC ID='OXY_4.07', QUANTITY='oxygen', XYZ=9.00,-0.60,14.10/

&DEVC ID='OXY_4.08', QUANTITY='oxygen', XYZ=3.00,0.40,14.10/

อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิชั้นที่ 1

&DEVC ID='THCP_1.01', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=46.00,-0.60,3.60/

&DEVC ID='THCP_1.02', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=46.00,-0.60,3.10/

&DEVC ID='THCP_1.03', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=46.00,-0.60,2.60/

&DEVC ID='THCP_1.04', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=46.00,-0.60,2.10/

&DEVC ID='THCP_1.05', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=46.00,-0.60,1.60/

&DEVC ID='THCP_1.06', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=46.00,-0.60,1.10/

&DEVC ID='THCP_1.07', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=46.00,-0.60,0.60/

&DEVC ID='THCP_1.08', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=34.00,-1.70,3.60/

&DEVC ID='THCP_1.09', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=34.00,-1.70,3.10/

&DEVC ID='THCP_1.10', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=34.00,-1.70,2.60/
 &DEVC ID='THCP_1.11', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=34.00,-1.70,2.10/
 &DEVC ID='THCP_1.12', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=34.00,-1.70,1.60/
 &DEVC ID='THCP_1.13', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=34.00,-1.70,1.10/

อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิชั้นที่ 2

&DEVC ID='THCP_2.01', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=29.00,-0.60,7.50/
 &DEVC ID='THCP_2.02', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=29.00,-0.60,7.00/
 &DEVC ID='THCP_2.03', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=29.00,-0.60,6.50/
 &DEVC ID='THCP_2.04', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=29.00,-0.60,6.00/
 &DEVC ID='THCP_2.05', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=29.00,-0.60,5.50/
 &DEVC ID='THCP_2.06', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=29.00,-0.60,5.00/
 &DEVC ID='THCP_2.07', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.4000,2.30,7.50/
 &DEVC ID='THCP_2.08', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.4000,2.30,7.00/
 &DEVC ID='THCP_2.09', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.4000,2.30,6.50/
 &DEVC ID='THCP_2.10', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.4000,2.30,6.00/
 &DEVC ID='THCP_2.11', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.4000,2.30,5.50/
 &DEVC ID='THCP_2.12', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.4000,2.30,5.00/
 &DEVC ID='THCP_2.13', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=46.00,-0.60,7.50/
 &DEVC ID='THCP_2.14', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=46.00,-0.60,7.00/
 &DEVC ID='THCP_2.15', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=46.00,-0.60,6.50/
 &DEVC ID='THCP_2.16', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=46.00,-0.60,6.00/
 &DEVC ID='THCP_2.17', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=46.00,-0.60,5.50/
 &DEVC ID='THCP_2.18', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=46.00,-0.60,5.00/

อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิชั้นที่ 3

&DEVC ID='THCP_3.01', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.4000,2.30,11.40/
 &DEVC ID='THCP_3.02', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.4000,2.30,10.90/
 &DEVC ID='THCP_3.03', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.4000,2.30,10.40/
 &DEVC ID='THCP_3.04', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.4000,2.30,9.90/

&DEVC ID='THCP_3.05', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.4000,2.30,9.40/
 &DEVC ID='THCP_3.06', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.4000,2.30,8.90/
 &DEVC ID='THCP_3.07', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=46.00,-0.60,11.40/
 &DEVC ID='THCP_3.08', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=46.00,-0.60,10.90/
 &DEVC ID='THCP_3.09', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=46.00,-0.60,10.40/
 &DEVC ID='THCP_3.10', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=46.00,-0.60,9.90/
 &DEVC ID='THCP_3.11', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=46.00,-0.60,9.40/
 &DEVC ID='THCP_3.12', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=46.00,-0.60,8.90/
 &DEVC ID='THCP_3.13', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=29.00,-0.60,11.40/
 &DEVC ID='THCP_3.14', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=29.00,-0.60,10.90/
 &DEVC ID='THCP_3.15', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=29.00,-0.60,10.40/
 &DEVC ID='THCP_3.16', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=29.00,-0.60,9.90/
 &DEVC ID='THCP_3.17', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=29.00,-0.60,9.40/
 &DEVC ID='THCP_3.18', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=29.00,-0.60,8.90/

อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิขั้นที่ 4

&DEVC ID='THCP_4.01', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=26.00,-0.60,15.30/
 &DEVC ID='THCP_4.02', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=26.00,-0.60,14.80/
 &DEVC ID='THCP_4.03', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=26.00,-0.60,14.30/
 &DEVC ID='THCP_4.04', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=26.00,-0.60,13.80/
 &DEVC ID='THCP_4.05', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=26.00,-0.60,13.30/
 &DEVC ID='THCP_4.06', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=26.00,-0.60,12.80/
 &DEVC ID='THCP_4.07', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=46.00,-0.60,12.80/
 &DEVC ID='THCP_4.08', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=46.00,-0.60,13.30/
 &DEVC ID='THCP_4.09', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=46.00,-0.60,13.80/
 &DEVC ID='THCP_4.10', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=46.00,-0.60,14.30/
 &DEVC ID='THCP_4.11', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=46.00,-0.60,14.80/
 &DEVC ID='THCP_4.12', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=46.00,-0.60,15.30/
 &DEVC ID='THCP_4.13', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.4000,2.30,15.30/
 &DEVC ID='THCP_4.14', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.4000,2.30,14.80/

&DEVC ID='THCP_4.15', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.4000,2.30,14.30/
 &DEVC ID='THCP_4.16', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.4000,2.30,13.80/
 &DEVC ID='THCP_4.17', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.4000,2.30,13.30/
 &DEVC ID='THCP_4.18', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.4000,2.30,12.80/

อุปกรณ์ตรวจวัดการมองเห็นชั้นที่ 1

&DEVC ID='VIS_1.01', QUANTITY='visibility', XYZ=28.00,-4.10,1.50/
 &DEVC ID='VIS_1.02', QUANTITY='visibility', XYZ=33.00,-2.10,1.50/
 &DEVC ID='VIS_1.03', QUANTITY='visibility', XYZ=39.00,-0.60,1.50/
 &DEVC ID='VIS_1.04', QUANTITY='visibility', XYZ=45.00,-0.60,1.50/
 &DEVC ID='VIS_1.05', QUANTITY='visibility', XYZ=21.00,-4.00,1.50/

อุปกรณ์ตรวจวัดการมองเห็นชั้นที่ 2

&DEVC ID='VIS_2.01', QUANTITY='visibility', XYZ=27.00,-0.60,6.30/
 &DEVC ID='VIS_2.02', QUANTITY='visibility', XYZ=33.00,-0.60,6.30/
 &DEVC ID='VIS_2.03', QUANTITY='visibility', XYZ=39.00,-0.60,6.30/
 &DEVC ID='VIS_2.04', QUANTITY='visibility', XYZ=45.00,-0.60,6.30/
 &DEVC ID='VIS_2.05', QUANTITY='visibility', XYZ=21.00,-0.60,6.30/
 &DEVC ID='VIS_2.06', QUANTITY='visibility', XYZ=15.00,-0.60,6.30/
 &DEVC ID='VIS_2.07', QUANTITY='visibility', XYZ=9.00,-0.60,6.30/
 &DEVC ID='VIS_2.08', QUANTITY='visibility', XYZ=3.00,-0.60,6.30/

อุปกรณ์ตรวจวัดการมองเห็นชั้นที่ 3

&DEVC ID='VIS_3.01', QUANTITY='visibility', XYZ=27.00,-0.60,10.20/
 &DEVC ID='VIS_3.02', QUANTITY='visibility', XYZ=33.00,-0.60,10.20/
 &DEVC ID='VIS_3.03', QUANTITY='visibility', XYZ=39.00,-0.60,10.20/
 &DEVC ID='VIS_3.04', QUANTITY='visibility', XYZ=45.00,-0.60,10.20/
 &DEVC ID='VIS_3.05', QUANTITY='visibility', XYZ=21.00,-0.60,10.20/
 &DEVC ID='VIS_3.06', QUANTITY='visibility', XYZ=15.00,-0.60,10.20/
 &DEVC ID='VIS_3.07', QUANTITY='visibility', XYZ=9.00,-0.60,10.20/

&DEVC ID='VIS_3.08', QUANTITY='visibility', XYZ=3.00,0.40,10.20/

อุปกรณ์ตรวจวัดการมองเห็นชั้นที่ 4

&DEVC ID='VIS_4.01', QUANTITY='visibility', XYZ=27.00,-0.60,14.10/

&DEVC ID='VIS_4.02', QUANTITY='visibility', XYZ=33.00,-0.60,14.10/

&DEVC ID='VIS_4.03', QUANTITY='visibility', XYZ=39.00,-0.60,14.10/

&DEVC ID='VIS_4.04', QUANTITY='visibility', XYZ=45.00,-0.60,14.10/

&DEVC ID='VIS_4.05', QUANTITY='visibility', XYZ=21.00,-0.60,14.10/

&DEVC ID='VIS_4.06', QUANTITY='visibility', XYZ=15.00,-0.60,14.10/

&DEVC ID='VIS_4.07', QUANTITY='visibility', XYZ=9.00,-0.60,14.10/

&DEVC ID='VIS_4.08', QUANTITY='visibility', XYZ=3.00,0.40,1

<< การอพยพภายในแบบจำลองสถานการณ์ >>

การอพยพทางบันไดด้านซ้ายของอาคารชั้น 1,2,3,4

&OBST XB= -6.38,-1.60, 0.22,0.22, 1.20,1.50, EVACUATION=.TRUE., COLOR='CYAN' /

&OBST XB= -6.38,-1.60, 2.92,2.92, 1.20,1.50, EVACUATION=.TRUE., COLOR='CYAN' /

&OBST XB= -6.38,-6.38, 0.22,2.92, 1.20,1.50, EVACUATION=.TRUE., COLOR='CYAN' /

&OBST XB= -5.58,-1.60, 0.22,0.22, 6.00,6.30, EVACUATION=.TRUE., COLOR='CYAN' /

&OBST XB= -5.58,-1.60, 2.92,2.92, 6.00,6.30, EVACUATION=.TRUE., COLOR='CYAN' /

&OBST XB= -5.58,-5.58, 0.22,2.92, 6.00,6.30, EVACUATION=.TRUE., COLOR='CYAN' /

&OBST XB= -5.58,-1.60, 0.22,0.22, 9.90,10.20, EVACUATION=.TRUE., COLOR='CYAN' /

/

&OBST XB= -5.58,-1.60, 2.92,2.92, 9.90,10.20, EVACUATION=.TRUE., COLOR='CYAN' /

/

&OBST XB= -5.58,-5.58, 0.22,2.92, 9.90,10.20, EVACUATION=.TRUE., COLOR='CYAN' /

/

&OBST XB= -5.58,-1.60, 0.22,0.22, 13.80,14.10, EVACUATION=.TRUE.,

COLOR='CYAN'

&OBST XB= -5.58,-1.60, 2.92,2.92, 13.80,14.10, EVACUATION=.TRUE.,

```

COLOR='CYAN'
&OBST XB= -5.58,-5.58, 0.22,2.92, 13.80,14.10, EVACUATION=.TRUE.,
COLOR='CYAN'

&HOLE XB=-5.58,-2.10, 1.69,2.89, 5.90,14.20, EVACUATION=.TRUE./
&HOLE XB=-5.58,-2.10, 0.22,1.59, 5.90,14.20, EVACUATION=.TRUE./
&HOLE XB=-5.57,-4.34, 0.23,2.88, 5.90,14.20, EVACUATION=.TRUE./
&HOLE XB=-6.48,-2.10, 1.69,2.89, 0.00,5.90, EVACUATION=.TRUE./
&HOLE XB=-6.48,-2.10, 0.22,1.59, 0.00,5.90, EVACUATION=.TRUE./
&HOLE XB=-6.47,-4.76, 0.23,2.92, 0.00,5.90, EVACUATION=.TRUE./

&EVSS XB=-6.38,-4.76, 0.22, 2.92, 1.20,1.50 , IOR=-1, ID='Landing1L',
    FAC_V0_UP=1.0, FAC_V0_DOWN=1.0, FAC_V0_HORI=1.0,
    HEIGHT=1.95, HEIGHT0=1.95, MESH_ID='EMESH_1L' /
&EVSS XB=-5.18,-1.60, 1.69,2.92, 1.20,1.50 , IOR=-1, ID='Upper1L',
    FAC_V0_UP=0.4, FAC_V0_DOWN=0.6, FAC_V0_HORI=1.0,
    HEIGHT=3.90, HEIGHT0=1.95, MESH_ID='EMESH_1L' /
&EVSS XB=-4.76,-1.46, 0.22,1.59, 1.20,1.50, IOR=+1, ID='Lower1L',
    FAC_V0_UP=0.4, FAC_V0_DOWN=0.6, FAC_V0_HORI=1.0,
    HEIGHT=1.95, HEIGHT0=0.00, MESH_ID='EMESH_1L' /

&EVSS XB=-5.58,-4.35, 0.22,2.92, 6.00,6.30 , IOR=-1, ID='Landing2L',
    FAC_V0_UP=1.0, FAC_V0_DOWN=1.0, FAC_V0_HORI=1.0,
    HEIGHT=1.95, HEIGHT0=1.95, MESH_ID='EMESH_2' /
&EVSS XB=-4.35,-2.0, 1.69,2.89, 6.00,6.30 , IOR=-1, ID='Upper2L',
    FAC_V0_UP=0.4, FAC_V0_DOWN=0.6, FAC_V0_HORI=1.0,
    HEIGHT=3.90, HEIGHT0=1.95, MESH_ID='EMESH_2' /
&EVSS XB=-4.35,-1.515, 0.22,1.59, 6.00,6.30 , IOR=+1, ID='Lower2L',
    FAC_V0_UP=0.4, FAC_V0_DOWN=0.6, FAC_V0_HORI=1.0,
    HEIGHT=1.95, HEIGHT0=0.00, MESH_ID='EMESH_2' /

```

```

&EVSS XB=-5.58,-4.35, 0.22,2.92, 9.90,10.20 , IOR=-1, ID='Landing3L',
  FAC_V0_UP=1.0, FAC_V0_DOWN=1.0, FAC_V0_HORI=1.0,
  HEIGHT=1.95, HEIGHT0=1.95, MESH_ID='EMESH_3' /
&EVSS XB=-4.35,-2.0, 1.69,2.92, 9.90,10.20 , IOR=-1, ID='Upper3L',
  FAC_V0_UP=0.4, FAC_V0_DOWN=0.6, FAC_V0_HORI=1.0,
  HEIGHT=3.90, HEIGHT0=1.95, MESH_ID='EMESH_3' /
&EVSS XB=-4.35,-1.515, 0.22,1.59, 9.90,10.20 , IOR=+1, ID='Lower3L',
  FAC_V0_UP=0.4, FAC_V0_DOWN=0.6, FAC_V0_HORI=1.0,
  HEIGHT=1.95, HEIGHT0=0.00, MESH_ID='EMESH_3' /

```

การอพยพทางบันไดด้านซ้ายของอาคารชั้นที่ 1

```

&EXIT ID='FireExitCounter', IOR=+2,
  FYI= 'Comment line',
  COUNT_ONLY=.TRUE.,
  XB= -0.77,-0.02, 3.02,3.02, 1.2,1.5 /
&VENT XB= -6.48,-6.48, 3.02,10.80, 1.2,1.5, SURF_ID='OUTFLOW',
MESH_ID='EMESH_1L', EVACUATION=.TRUE., COLOR='GREEN'/
&VENT XB= -6.48,-6.48, 3.02,10.80, 1.2,1.5, SURF_ID='OUTFLOW',
MESH_ID='Exit_Back', EVACUATION=.TRUE., COLOR='GREEN'/
&EXIT ID='Exit_BacK', IOR=-1,
  FYI= 'Comment line',
  VENT_FFIELD='Exit_Back',
  COLOR='YELLOW',
  XYZ= -2.0, 8.00, 1.35,
  XB= -6.48,-6.48, 3.02,10.80, 1.2,1.5 /

```

การอพยพทางบันไดด้านซ้ายของอาคารชั้นที่ 2

```

&OBST SURF_ID='INERT', XB=-2.00,-1.60, 1.69,2.89, 0.00,4.50/
&OBST SURF_ID='INERT', XB=-2.00,-1.60, 1.69,2.89, 6.00,6.30,

```

```

EVACUATION=.TRUE., THICKEN=.TRUE., COLOR='RED' /
&VENT SURF_ID='OUTFLOW', XB=-1.60,-1.60, 1.69,2.89, 6.00,6.30,
  MESH_ID='EMESH_2', EVACUATION=.TRUE., COLOR='GREEN'/
&VENT SURF_ID='OUTFLOW', XB=-1.60,-1.60, 1.69,2.89, 6.00,6.30,
  MESH_ID='ToStair_2L', EVACUATION=.TRUE., COLOR='GREEN'/
&DOOR ID='Stair_1L', IOR=-1,
  FYI= 'Comment line',
  VENT_FFIELD='ToStair_2L',
  COLOR='YELLOW',
  EXIT_SIGN=.TRUE.,
  TO_NODE= 'EntrStair_1L',
  XYZ= -1.10, 2.30, 6.15,
  XB= -1.60,-1.60, 1.69,2.89, 6.00,6.30/
&OBST SURF_ID='INERT', XB=-2.50,-2.20, 1.69,2.89, 6.00,6.30,
EVACUATION=.TRUE., THICKEN=.TRUE. /
&ENTR ID='EntrStair_1L', IOR=-1,
  FYI= 'Comment line',
  COLOR='YELLOW',
  XB= -2.00,-2.00, 1.69,2.89, 1.20,1.50 /

```

การอพยพทางบันไดด้านซ้ายของอาคารชั้นที่ 3

```

&OBST SURF_ID='INERT', XB=-2.00,-1.60, 1.69,2.89, 9.90,10.20,
  EVACUATION=.TRUE., THICKEN=.TRUE.,COLOR='RED' /
&VENT SURF_ID='OUTFLOW', XB=-1.60,-1.60, 1.69,2.89, 9.90,10.20,
  MESH_ID='EMESH_3', EVACUATION=.TRUE., COLOR='GREEN'/
&VENT SURF_ID='OUTFLOW', XB=-1.60,-1.60, 1.69,2.89, 9.90,10.20,
  MESH_ID='ToStair_3L', EVACUATION=.TRUE., COLOR='GREEN'/
&DOOR ID='Stair_2L', IOR=-1,
  FYI= 'Comment line',
  VENT_FFIELD='ToStair_3L',

```

```

COLOR='YELLOW',
EXIT_SIGN=.TRUE.,
TO_NODE= 'EntrStair_2L',
XYZ= -1.10, 2.30, 10.00,
XB= -1.60,-1.60, 1.69,2.89, 9.90,10.20/
&OBST SURF_ID='INERT', XB=-2.50,-2.20, 1.69,2.89, 9.90,10.20,
EVACUATION=.TRUE., THICKEN=.TRUE. /
&ENTR ID='EntrStair_2L', IOR=-1,
FYI= 'Comment line',
COLOR='YELLOW',
XB= -2.00,-2.00, 1.69,2.89, 6.00,6.30 /

```

การอพยพทางบันไดด้านซ้ายของอาคารชั้นที่ 4

```

&OBST SURF_ID='INERT', XB=-2.00,-1.60, 1.69,2.89, 13.80,14.10,
EVACUATION=.TRUE., THICKEN=.TRUE.,COLOR='RED' /
&VENT SURF_ID='OUTFLOW', XB=-1.60,-1.60, 1.69,2.89, 13.80,14.10,
MESH_ID='EMESH_4', EVACUATION=.TRUE., COLOR='GREEN'/
&VENT SURF_ID='OUTFLOW', XB=-1.60,-1.60, 1.69,2.89, 13.80,14.10,
MESH_ID='ToStair_4L', EVACUATION=.TRUE., COLOR='GREEN'/
&DOOR ID='Stair_3L', IOR=-1,
FYI= 'Comment line',
VENT_FFIELD='ToStair_4L',
COLOR='YELLOW',
EXIT_SIGN=.TRUE.,
TO_NODE= 'EntrStair_3L',
XYZ= -1.10, 2.30, 10.00,
XB= -1.60,-1.60, 1.69,2.89, 13.80,14.10/
&OBST SURF_ID='INERT', XB=-2.50,-2.20, 1.69,2.89, 13.80,14.10,
EVACUATION=.TRUE., THICKEN=.TRUE. /
&ENTR ID='EntrStair_3L', IOR=-1,

```

FYI= 'Comment line',
 COLOR='YELLOW',
 XB= -2.00,-2.00, 1.69,2.89, 9.90,10.20 /

การอพยพทางบันไดด้านขวาของอาคารชั้น 1,2,3,4

&OBST XB= 47.00,53.00, -4.00,-3.90, 1.20,1.50, EVACUATION=.TRUE.,

COLOR='CYAN' /

&OBST XB= 47.00,53.00, 0.55,0.65, 1.20,1.50, EVACUATION=.TRUE.,

COLOR='CYAN' /

&OBST XB= 53.00,53.00, -4.00,0.65, 1.20,1.50, EVACUATION=.TRUE.,

COLOR='CYAN' /

&OBST XB= 47.00,53.00, -4.00,-3.90, 6.00,6.30, EVACUATION=.TRUE.,

COLOR='CYAN' /

&OBST XB= 47.00,53.00, 0.55,0.65, 6.00,6.30, EVACUATION=.TRUE.,

COLOR='CYAN' /

&OBST XB= 53.00,53.00, -4.00,0.65, 6.00,6.30, EVACUATION=.TRUE.,

COLOR='CYAN' /

&OBST XB= 47.00,53.00, -4.00,-3.90, 9.90,10.20, EVACUATION=.TRUE.,

COLOR='CYAN' /

&OBST XB= 47.00,53.00, 0.55,0.65, 9.90,10.20, EVACUATION=.TRUE.,

COLOR='CYAN' /

&OBST XB= 53.00,53.00, -4.00,0.65, 9.90,10.20, EVACUATION=.TRUE.,

COLOR='CYAN' /

&OBST XB= 47.00,53.00, -4.00,-3.90, 13.80,14.10, EVACUATION=.TRUE.,

COLOR='CYAN' /

&OBST XB= 47.00,53.00, 0.55,0.65, 13.80,14.10, EVACUATION=.TRUE.,

COLOR='CYAN' /

&OBST XB= 53.00,53.00, -4.00,0.65, 13.80,14.10, EVACUATION=.TRUE.,

COLOR='CYAN' /

```

&HOLE XB=47.60,53.00, -3.90,-1.75, 0.00,7.50, EVACUATION=.TRUE./
&HOLE XB=47.60,53.00, -1.60,0.55, 0.00,7.50, EVACUATION=.TRUE./
&HOLE XB=50.35,53.00, -3.90,0.55, 0.00,7.50, EVACUATION=.TRUE./
&HOLE XB=47.60,53.00, -3.90,-1.75, 7.50,14.20, EVACUATION=.TRUE./
&HOLE XB=47.60,53.00, -1.60,0.55, 7.50,14.20, EVACUATION=.TRUE./
&HOLE XB=50.59,53.00, -3.90,0.55, 7.50,14.20, EVACUATION=.TRUE./
&EVSS XB= 50.35,52.58, -3.9,0.55, 1.2,1.5, IOR==+1, ID='Landing1R',
    FAC_V0_UP=1.0, FAC_V0_DOWN=1.0, FAC_V0_HORI=1.0,
    HEIGHT=2.00, HEIGHT0=2.00, MESH_ID='EMESH_1R' /
&EVSS XB= 46.74,50.59, -3.9,-1.75, 1.2,1.5, IOR==+1, ID='Upper1R',
    FAC_V0_UP=0.4, FAC_V0_DOWN=0.6, FAC_V0_HORI=1.0,
    HEIGHT=4.00, HEIGHT0=2.00, MESH_ID='EMESH_1R' /
&EVSS XB= 47.05,50.35, -1.6,0.55, 1.2,1.5, IOR=-1, ID='Lower1R',
    FAC_V0_UP=0.4, FAC_V0_DOWN=0.6, FAC_V0_HORI=1.0,
    HEIGHT=2.00, HEIGHT0=0.00, MESH_ID='EMESH_1R' /

&EVSS XB= 50.35,53.00, -3.9,0.55, 6.0,6.3, IOR==+1, ID='Landing2R',
    FAC_V0_UP=1.0, FAC_V0_DOWN=1.0, FAC_V0_HORI=1.0,
    HEIGHT=2.00, HEIGHT0=2.00, MESH_ID='EMESH_2' /
&EVSS XB= 47.56,50.59, -3.9,-1.75, 6.0,6.3, IOR==+1, ID='Upper2R',
    FAC_V0_UP=0.4, FAC_V0_DOWN=0.6, FAC_V0_HORI=1.0,
    HEIGHT=4.00, HEIGHT0=2.00, MESH_ID='EMESH_2' /
&EVSS XB= 47.84,50.59, -1.6,0.55, 6.0,6.3, IOR=-1, ID='Lower2R',
    FAC_V0_UP=0.4, FAC_V0_DOWN=0.6, FAC_V0_HORI=1.0,
    HEIGHT=2.00, HEIGHT0=0.00, MESH_ID='EMESH_2' /

&EVSS XB= 50.35,53.00, -3.9,0.55, 9.90,10.20, IOR==+1, ID='Landing3R',
    FAC_V0_UP=1.0, FAC_V0_DOWN=1.0, FAC_V0_HORI=1.0,
    HEIGHT=2.00, HEIGHT0=2.00, MESH_ID='EMESH_3' /
&EVSS XB= 47.56,50.59, -3.9,-1.75, 9.90,10.20, IOR==+1, ID='Upper3R',

```

```
FAC_V0_UP=0.4, FAC_V0_DOWN=0.6, FAC_V0_HORI=1.0,
HEIGHT=4.00, HEIGHT0=2.00, MESH_ID='EMESH_3' /
&EVSS XB= 47.84,50.59, -1.6,0.55, 9.90,10.20, IOR=-1, ID='Lower3R',
FAC_V0_UP=0.4, FAC_V0_DOWN=0.6, FAC_V0_HORI=1.0,
HEIGHT=2.00, HEIGHT0=0.00, MESH_ID='EMESH_3' /
```

การอพยพทางบันไดด้านขวาของอาคารชั้นที่ 1

```
&VENT SURF_ID='OUTFLOW', XB=13.29,20.48, -11.90,-11.90, 1.20,1.50,
MESH_ID='EMESH_1R', EVACUATION=.TRUE., COLOR='GREEN'/
&VENT SURF_ID='OUTFLOW', XB=13.29,20.48, -11.90,-11.90, 1.20,1.50,
MESH_ID='Exit_Front', EVACUATION=.TRUE., COLOR='GREEN'/
&EXIT ID='Exit_Front', IOR=-2,
FYI= 'Comment line',
COUNT_ONLY=.TRUE.,
VENT_FFIELD='Exit_Front',
COLOR='YELLOW',
XYZ= 16.9, -6.0, 1.0,
XB= 13.29,20.48, -11.90,-11.90, 1.20,1.50 /
```

การอพยพทางบันไดด้านขวาของอาคารชั้นที่ 2

```
&OBST SURF_ID='INERT', XB= 47.00,47.50, -3.90,-1.75, 0.0,3.6/
&OBST SURF_ID='INERT', XB= 47.00,47.50, -3.90,-1.75, 6.0,6.3,
THICKEN=.TRUE., COLOR='RED', EVACUATION=.TRUE./
&VENT XB= 47.00,47.00, -3.90,-1.75, 6.0,6.3, SURF_ID='OUTFLOW',
MESH_ID='EMESH_2', EVACUATION=.TRUE., COLOR='GREEN' /
&VENT XB= 47.00,47.00, -3.90,-1.75, 6.0,6.3, SURF_ID='OUTFLOW',
MESH_ID='ToStair_2R', EVACUATION=.TRUE., COLOR='GREEN' /
&DOOR ID='Stair_1R', IOR=+1,
FYI= 'Comment line',
VENT_FFIELD= 'ToStair_2R',
```

```

COLOR='YELLOW',
EXIT_SIGN=.TRUE.,
TO_NODE= 'EntrStair_1R',
XYZ= 46.0, -2.83, 6.15,
XB= 47.00,47.00, -3.90,-1.75, 6.0,6.3 /
&OBST SURF_ID='INERT', XB= 47.70,47.75, -3.90,-1.75, 6.0,6.3, COLOR='RED',
EVACUATION=.TRUE./
&ENTR ID='EntrStair_1R', IOR=+1,
FYI= 'Comment line',
COLOR='YELLOW',
XB= 47.50,47.50, -3.90,-1.75, 1.2,1.5 /

```

การอพยพทางบันไดด้านขวาของอาคารชั้นที่ 3

```

&OBST SURF_ID='INERT', XB= 47.00,47.50, -3.90,-1.75, 9.90,10.20,
THICKEN=.TRUE., COLOR='RED', EVACUATION=.TRUE./
&VENT XB= 47.00,47.00, -3.90,-1.75, 9.90,10.20, SURF_ID='OUTFLOW',
MESH_ID='EMESH_3', EVACUATION=.TRUE., COLOR='GREEN' /
&VENT XB= 47.00,47.00, -3.90,-1.75, 9.90,10.20, SURF_ID='OUTFLOW',
MESH_ID='ToStair_3R', EVACUATION=.TRUE., COLOR='GREEN' /
&DOOR ID='Stair_2R', IOR=+1,
FYI= 'Comment line',
VENT_FFIELD= 'ToStair_3R',
COLOR='YELLOW',
EXIT_SIGN=.TRUE.,
TO_NODE= 'EntrStair_2R',
XYZ= 46.0, -2.83, 10.05,
XB= 47.00,47.00, -3.90,-1.75, 9.90,10.20 /
&OBST SURF_ID='INERT', XB= 47.70,47.75, -3.90,-1.75, 9.90,10.20,
COLOR='RED', EVACUATION=.TRUE./
&ENTR ID='EntrStair_2R', IOR=+1,

```

FYI= 'Comment line',
 COLOR='YELLOW',
 XB= 47.50,47.50, -3.90,-1.75, 6.0,6.3 /

การอพยพทางบันไดด้านขวาของอาคารชั้นที่ 4

&OBST SURF_ID='INERT', XB= 47.00,47.50, -3.90,-1.75, 13.80,14.10,
 THICKEN=.TRUE., COLOR='RED', EVACUATION=.TRUE./
 &VENT XB= 47.00,47.00, -3.90,-1.75, 13.80,14.10, SURF_ID='OUTFLOW',
 MESH_ID='EMESH_4', EVACUATION=.TRUE., COLOR='GREEN' /
 &VENT XB= 47.00,47.00, -3.90,-1.75, 13.80,14.10, SURF_ID='OUTFLOW',
 MESH_ID='ToStair_4R', EVACUATION=.TRUE., COLOR='GREEN' /
 &DOOR ID='Stair_3R', IOR=+1,
 FYI= 'Comment line',
 VENT_FFIELD= 'ToStair_4R',
 COLOR='YELLOW',
 EXIT_SIGN=.TRUE.,
 TO_NODE= 'EntrStair_3R',
 XYZ= 46.0, -2.83, 13.95,
 XB= 47.00,47.00, -3.90,-1.75, 13.80,14.10 /
 &OBST SURF_ID='INERT', XB= 47.70,47.75, -3.90,-1.75, 13.80,14.10,
 COLOR='RED', EVACUATION=.TRUE./
 &ENTR ID='EntrStair_3R', IOR=+1,
 FYI= 'Comment line',
 COLOR='YELLOW',
 XB= 47.50,47.50, -3.90,-1.75, 9.90,10.20 /

<< คำสั่งแสดงผลพีชของการอพยพและอุปกรณ์การตรวจวัด >>

&ISOF QUANTITY='TEMPERATURE', VALUE=200.00/

&BNDF QUANTITY='BURNING RATE'/

&BNDF QUANTITY='NET HEAT FLUX'/

&BNDF QUANTITY='WALL TEMPERATURE'/

&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBZ=1.40/

&SLCF QUANTITY='VISIBILITY ', PBZ=6.20/

&SLCF QUANTITY='VISIBILITY ', PBZ=10.00/

&SLCF QUANTITY='VISIBILITY ', PBZ=14.00/

&SLCF QUANTITY='FED', PBZ=1.40/

&SLCF QUANTITY='FED', PBZ=6.20/

&SLCF QUANTITY='FED', PBZ=10.00/

&SLCF QUANTITY='FED', PBZ=14.00/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=0.40/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=26.00/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=29.00/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=34.00/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=46.00/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=27.00/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBY=-1.70/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBY=-0.60/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBY=2.30/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBZ=1.40 /

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBZ=6.20 /

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBZ=10.00 /

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBZ=14.00 /

&SLCF QUANTITY='CARBONMONOXIDE', PBX=3.00/
&SLCF QUANTITY='CARBONMONOXIDE',PBX=9.00/
&SLCF QUANTITY='CARBONMONOXIDE', PBX=15.00/
&SLCF QUANTITY='CARBONMONOXIDE', PBX=21.00/
&SLCF QUANTITY='CARBONMONOXIDE', PBX=27.00/
&SLCF QUANTITY='CARBONMONOXIDE', PBX=28.00/
&SLCF QUANTITY='CARBONMONOXIDE', PBX=33.00/
&SLCF QUANTITY='CARBONMONOXIDE',PBX=39.00/
&SLCF QUANTITY='CARBONMONOXIDE',PBX=45.00/
&SLCF QUANTITY='CARBONMONOXIDE',PBY=-4.10/
&SLCF QUANTITY='CARBONMONOXIDE',PBY=-4.00/
&SLCF QUANTITY='CARBONMONOXIDE',PBY=-2.10/
&SLCF QUANTITY='CARBONMONOXIDE',PBY=-0.60/
&SLCF QUANTITY='CARBONMONOXIDE', PBZ=1.40/
&SLCF QUANTITY='CARBONMONOXIDE',PBZ=6.20/
&SLCF QUANTITY='CARBONMONOXIDE',PBZ=10.00/
&SLCF QUANTITY='CARBONMONOXIDE', PBZ=14.00/
&TAIL/



2. การคำนวณความจุคนของพื้นที่อพยพ

2.1 ความจุคนของชั้นที่หนึ่ง

No.	Room	Use	Area (m ²)	Occupant Load Factor	Occupant Load
1	ห้อง AHU	Industrial	12.9	N/A	1
2	ห้องโถงนิทรรศการ	Assembly	261.94	9.3 Net	29
3	ห้องหอประวัติ	Assembly	48.24	9.3	6
4	ห้องโถงภายนอก	Assembly	129.58	9.3 Net	14
5	ห้องคัดแยกหนังสือ	Assembly	28.11	1.4 Net	21
6	ห้อง AHU	Industrial	29.5	N/A	1
7	ห้องสำนักงาน	Business	44.93	9.3	5
8	ห้องโถงภายใน	Assembly	245.87	9.3 Net	27
9	ห้องพักของ	Storage	12.10	N/A	3
10	ห้อง Server	Education	8.76	4.6 Net	2
11	ห้องประชุมย่อย	Education	58.06	1.9 Net	31
12	ห้อง Cyber Zone	Education	91.62	4.6 Net	20

2.2 ความจุคนของชั้นที่สอง

No.	Room	Use	Area (m ²)	Occupant	Occupant
				Load Factor	Load
1	ห้อง AHU	Industrial	12.9	N/A	1
2	ห้องหนังสือ	Assembly	789.84	4.6 Net	172
3	ห้อง AHU	Industrial	30.96	N/A	1
4	ห้องเก็บของ	Storage	6.48	N/A	3
5	ห้องประชุมย่อย	Education	51.84	4.6 Net	12
6	ห้องโถง	Assembly	101.89	9.3 Net	11
7	ห้องถ่ายเอกสาร	Industrial	26.64	N/A	5
8	ห้องเก็บเอกสาร	Storage	12.6	N/A	3
9	ห้อง Media	Education	12.6	4.6 Net	3
10	ห้อง Sound Lab	Education	51.84	4.6 Net	12

2.3 ความจุคนของชั้นที่สาม

No.	Room	Use	Area (m ²)	Occupant	Occupant
				Load Factor	Load
1	ห้อง AHU	Industrial	12.9	N/A	1
2	ห้องหนังสือ	Assembly	789.84	4.6 Net	172
3	ห้อง AHU	Industrial	30.96	N/A	1
4	ห้องเก็บของ	Storage	6.48	N/A	5
5	ห้องประชุมย่อย	Education	51.84	4.6 Net	12
6	ห้องโถง	Assembly	101.89	9.3 Net	11
7	ห้องถ่ายเอกสาร	Industrial	12.61	N/A	3
8	ห้องสำนักงาน	Business	79.5	9.3	9
9	ห้องครัว	Kitchen	12.61	9.3	2

2.4 ความจุคนของชั้นที่สี่

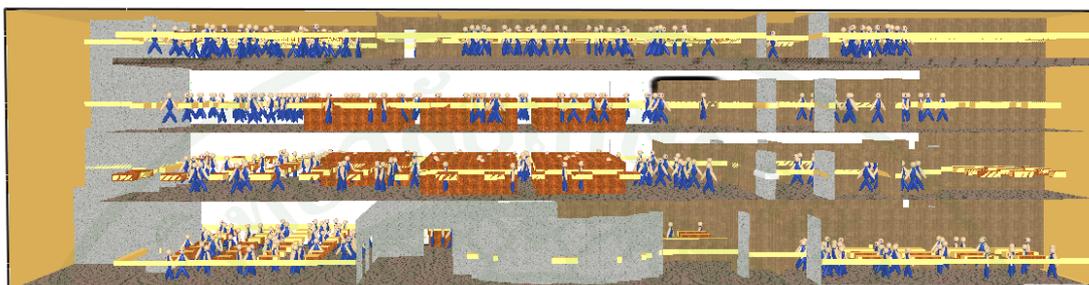
No.	Room	Use	Area (m ²)	Occupant Load Factor	Occupant Load
1	ห้องเก็บของ	Storage	5.25	N/A	3
2	ห้องบรรยาย	Education	266.40	4.6 Net	58
3	ห้อง AHU	Industrial	12.9	N/A	1
4	ห้องควบคุม	Education	88.5	4.6 Net	20
5	ห้องครัว	Kitchen	10	9.3	2
6	ห้องโถง 1	Assembly	274.27	9.3 Net	30
7	ห้องประชุมย่อย	Education	18.81	4.6 Net	5
8	ห้องค้นคว้าเดี่ยว (12)	Education	3.78/1 ห้อง	4.6 Net	12
9	ห้องวิทยานิพนธ์	Assembly	151.20	9.3	17
10	ห้อง AHU	Industrial	41.84	N/A	1
11	ห้องเก็บของ	Storage	5.76	N/A	3
12	ห้อง Special Collection	Mercantile	35.04	2.8	13
13	ห้อง Digital Media	Education	107.3	4.6 Net	24

สรุปจำนวนคนชั้นที่ หนึ่ง สอง สาม และสี่ เท่ากับ $160+223+216+189 = 788$ คน



1. ภาพแสดงการอพยพ

1.1 ภาพการอพยพของกรณีศึกษาที่หนึ่ง



ภาพผนวกที่ ค1 การอพยพช่วงเริ่มต้น 15 วินาที คิวไฟเริ่มเคลื่อนตัวออกมาจากชั้น 3 ห้อง AHU

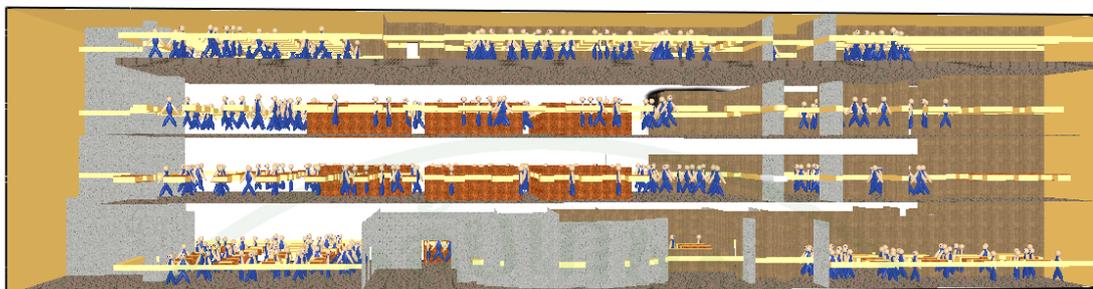


ภาพผนวกที่ ค2 การอพยพที่ 250 วินาที ขณะควันไฟลามลงมาชั้นที่ 2 ของอาคาร



ภาพผนวกที่ ค3 การอพยพที่เวลา 517 วินาที ผู้อพยพคนสุดท้ายออกจากอาคาร

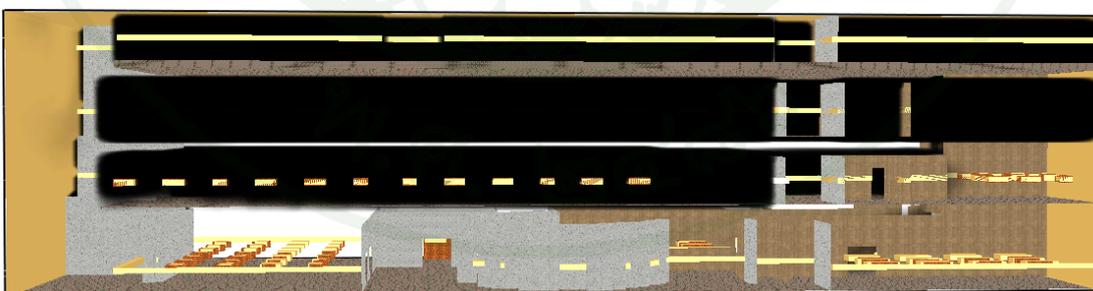
1.2 ภาพการอพยพของกรณีที่สอง



ภาพผนวกที่ ค4 การอพยพช่วงเริ่มต้นที่ 15 วินาที คิวไฟเริ่มเคลื่อนตัวออกจากชั้น 3 ห้อง AHU

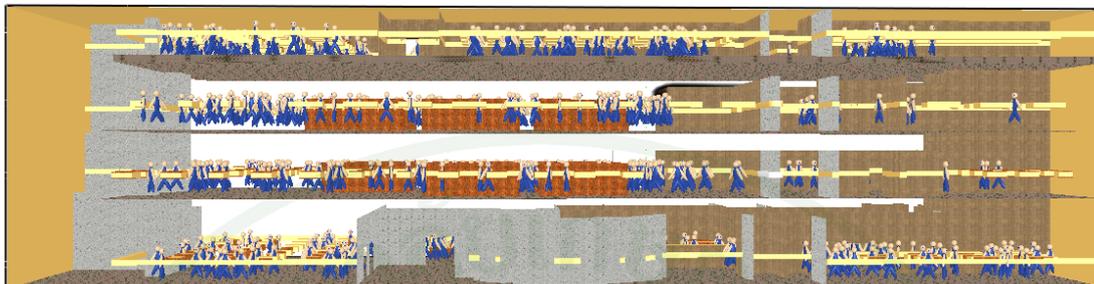


ภาพผนวกที่ ค5 การอพยพที่ 250 วินาที ขณะคิวไฟลามลงมาชั้นที่ 2 ของอาคาร



ภาพผนวกที่ ค6 การอพยพที่เวลา 529 วินาที ผู้อพยพคนสุดท้ายออกจากอาคาร

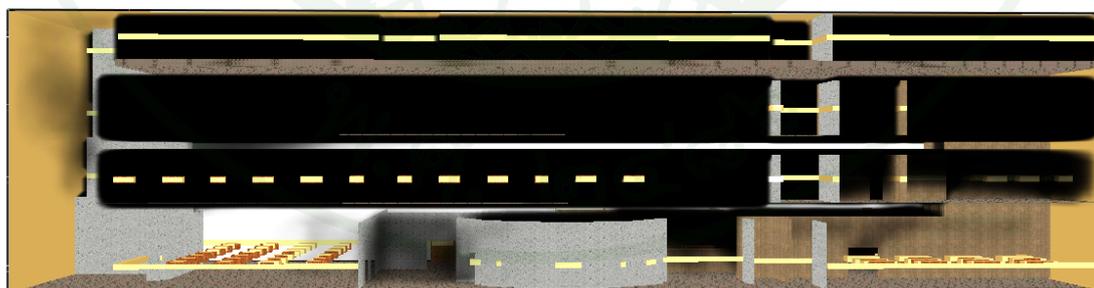
1.3 ภาพการอพยพของกรณีที่สาม



ภาพผนวกที่ ค7 การอพยพช่วงเริ่มต้นที่ 15 วินาที คิวไฟเริ่มเคลื่อนตัวออกมาจากชั้น 3 ห้อง AHU

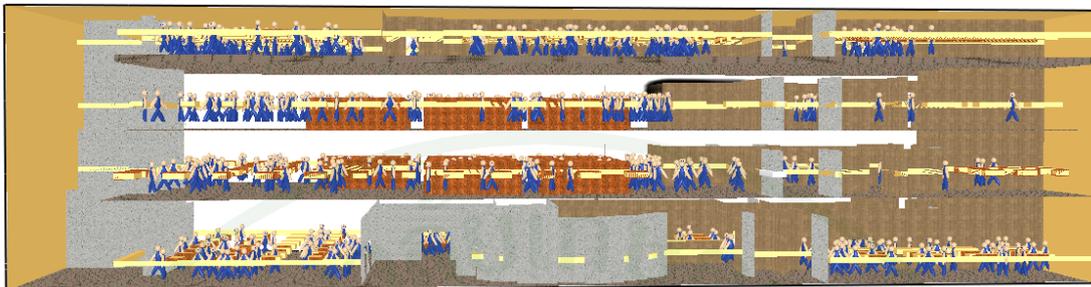


ภาพผนวกที่ ค8 การอพยพที่ 250 วินาที ขณะคิวไฟลามลงมาชั้นที่ 2 ของอาคาร



ภาพผนวกที่ ค9 การอพยพที่เวลา 1,090 วินาที ผู้อพยพคนสุดท้ายย้ายออกจากอาคาร

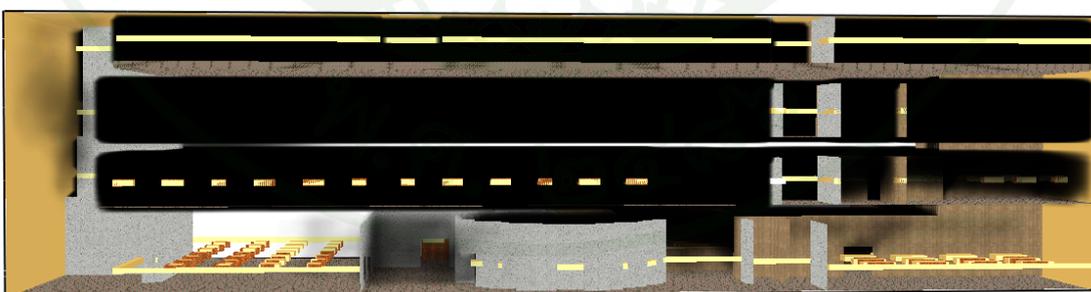
1.4 ภาพการอพยพของกรณีทีสี่



ภาพผนวกที่ ค10 การอพยพช่วงเริ่มต้นที่ 15 วินาที คควันไฟเริ่มเคลื่อนตัวออกจากชั้น 3 ห้อง AHU



ภาพผนวกที่ ค11 การอพยพที่ 250 วินาที ขณะควันไฟลามลงมาชั้นที่ 2 ของอาคาร

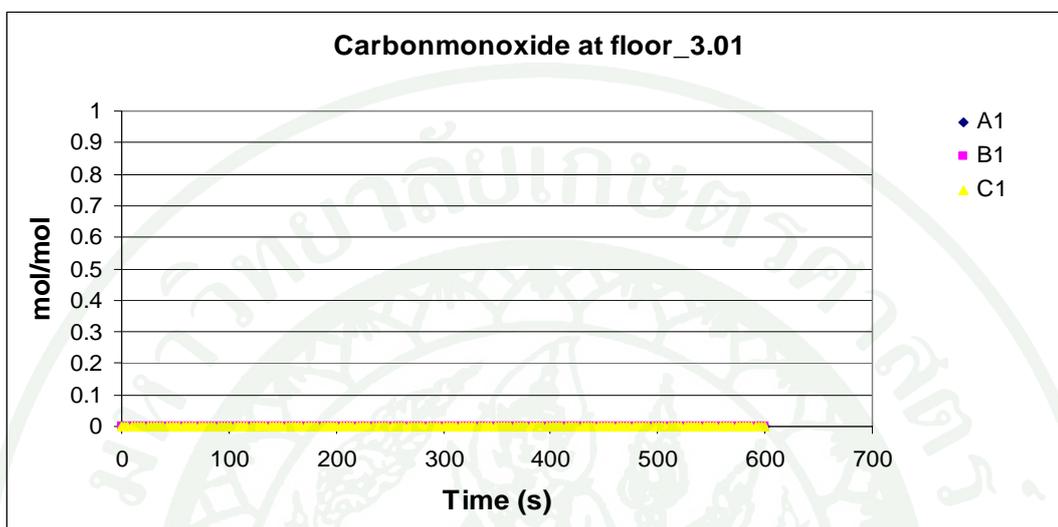


ภาพผนวกที่ ค12 การอพยพที่เวลา 1,129 วินาที ผู้อพยพคนสุดท้ายออกจากอาคาร

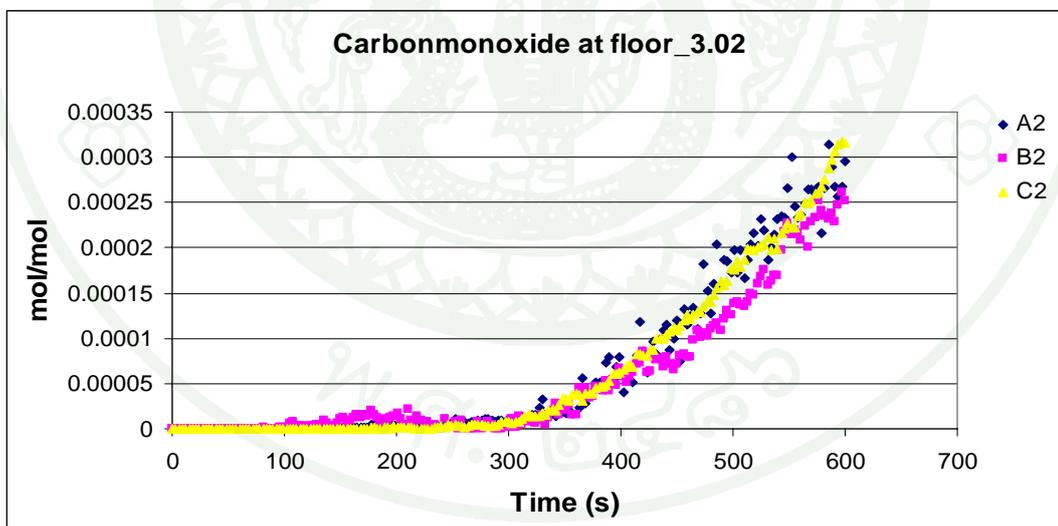


2. กราฟการเปรียบเทียบขนาดกริดชั้นที่ 3 หรือชั้นต้นเพลิง (A=หยาบ, B=ปานกลาง, C=ละเอียด)

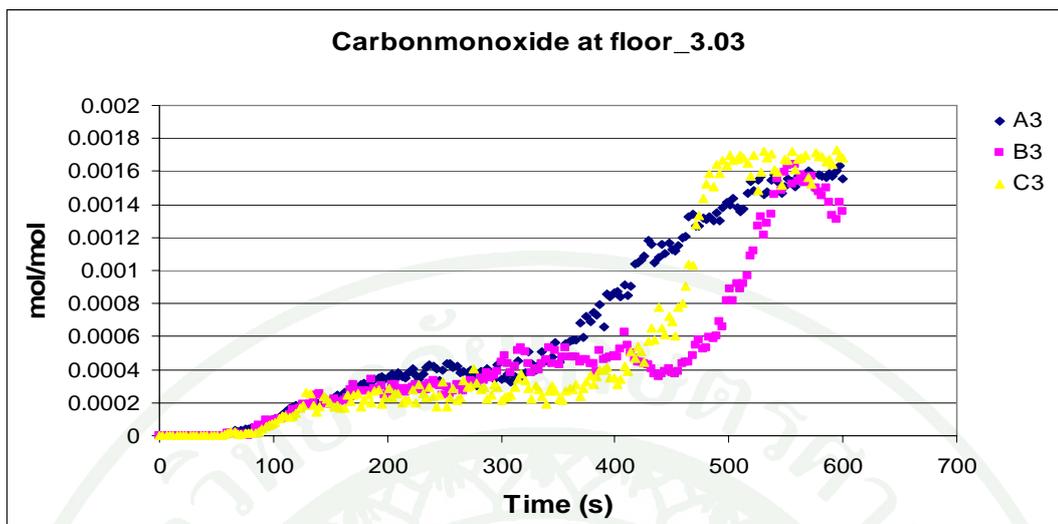
2.1 กราฟปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ทั้ง 8 จุด



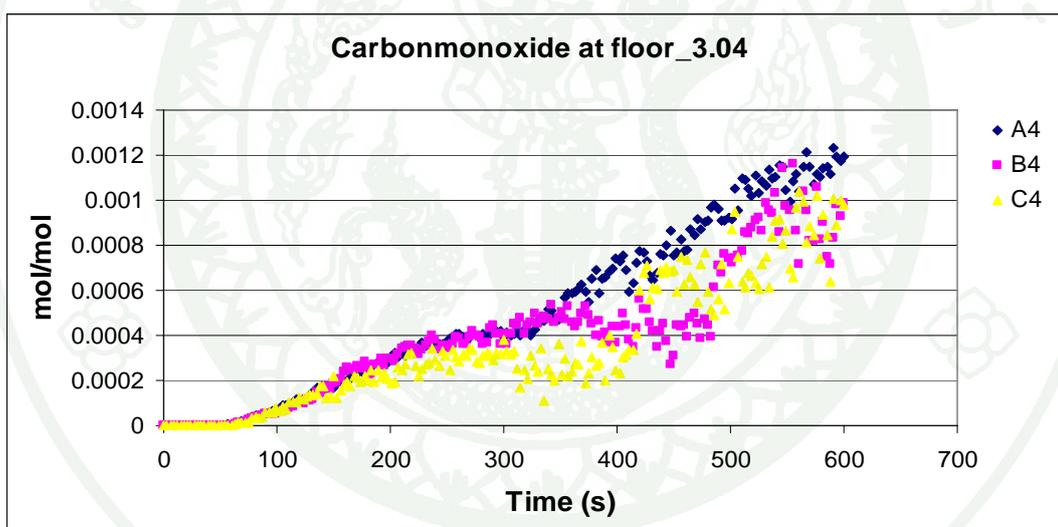
ภาพผนวกที่ 1 กราฟปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ชั้นที่ 3 จุดที่ 1



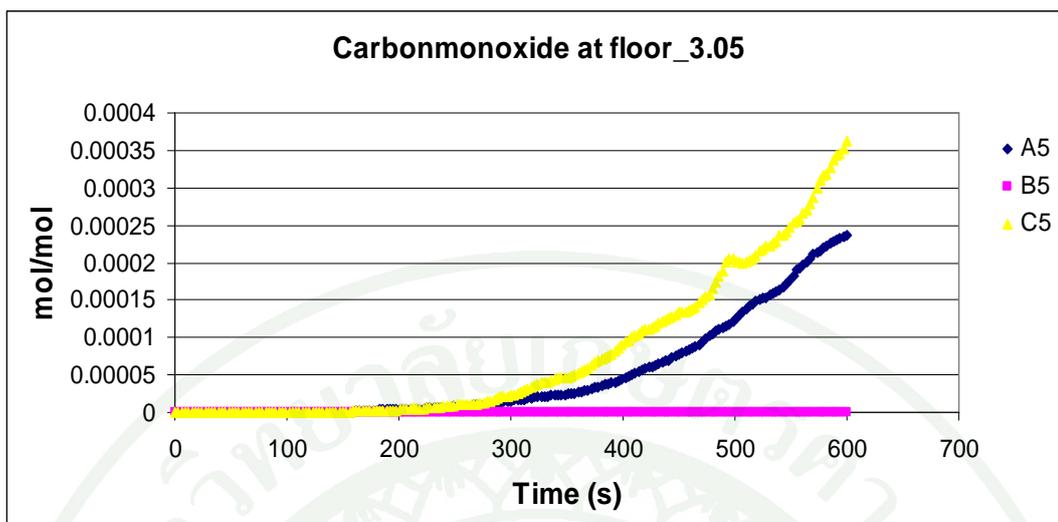
ภาพผนวกที่ 2 กราฟปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ชั้นที่ 3 จุดที่ 2



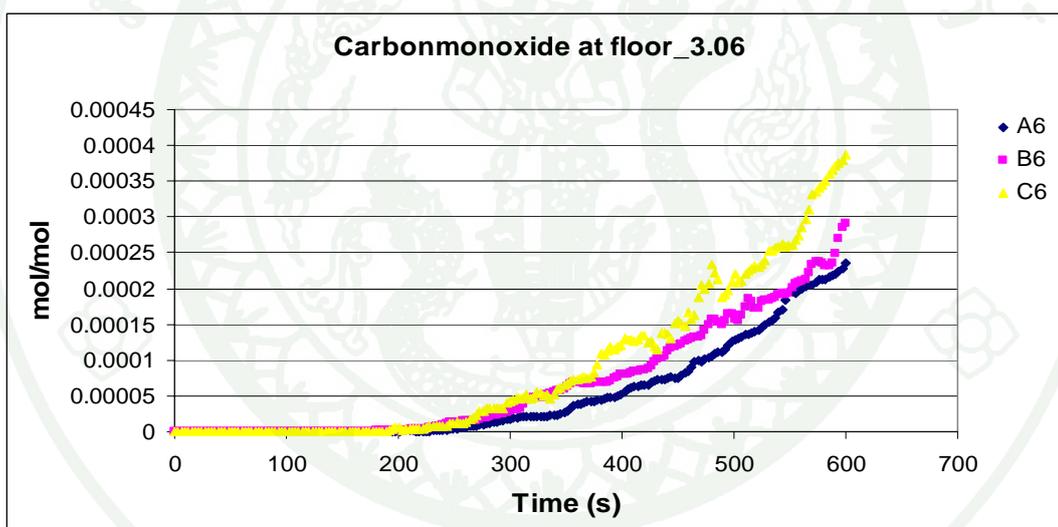
ภาพผนวกที่ ๓3 กราฟปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ชั้นที่ 3 จุดที่ 3



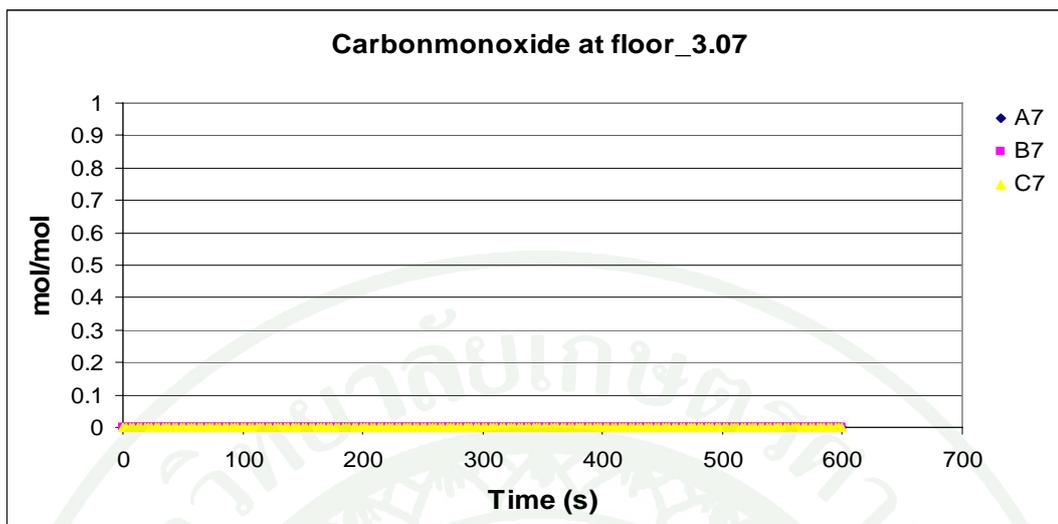
ภาพผนวกที่ ๓4 กราฟปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ชั้นที่ 3 จุดที่ 4



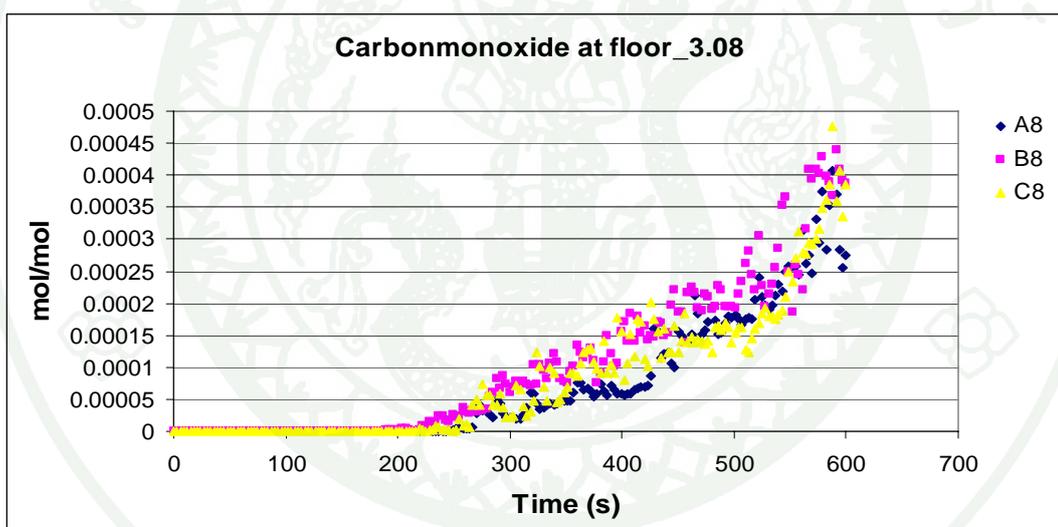
ภาพผนวกที่ ๓5 กราฟปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์ชั้นที่ 3 จุดที่ 5



ภาพผนวกที่ ๓6 กราฟปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์ชั้นที่ 3 จุดที่ 6

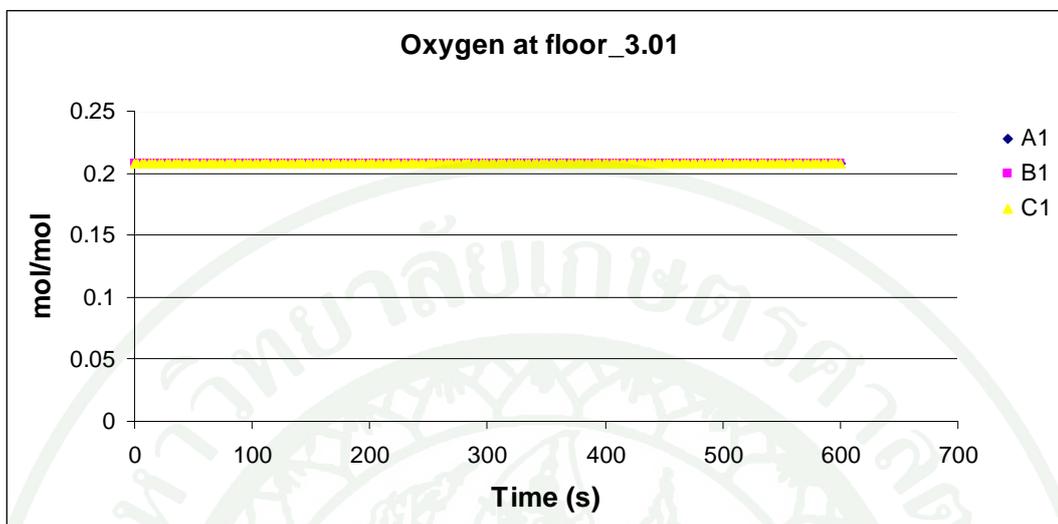


ภาพผนวกที่ ๗7 กราฟปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ชั้นที่ 3 จุดที่ 7

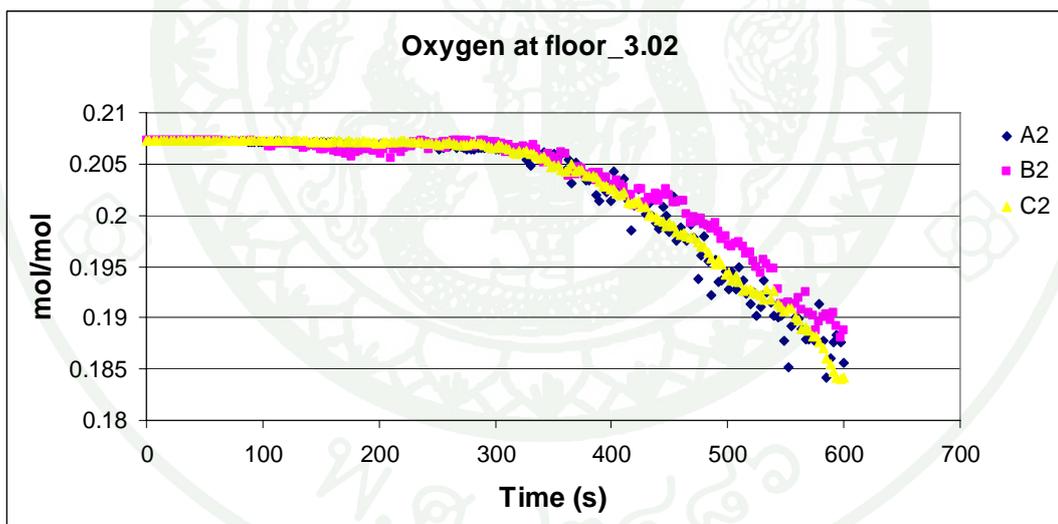


ภาพผนวกที่ ๗8 กราฟปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ชั้นที่ 3 จุดที่ 8

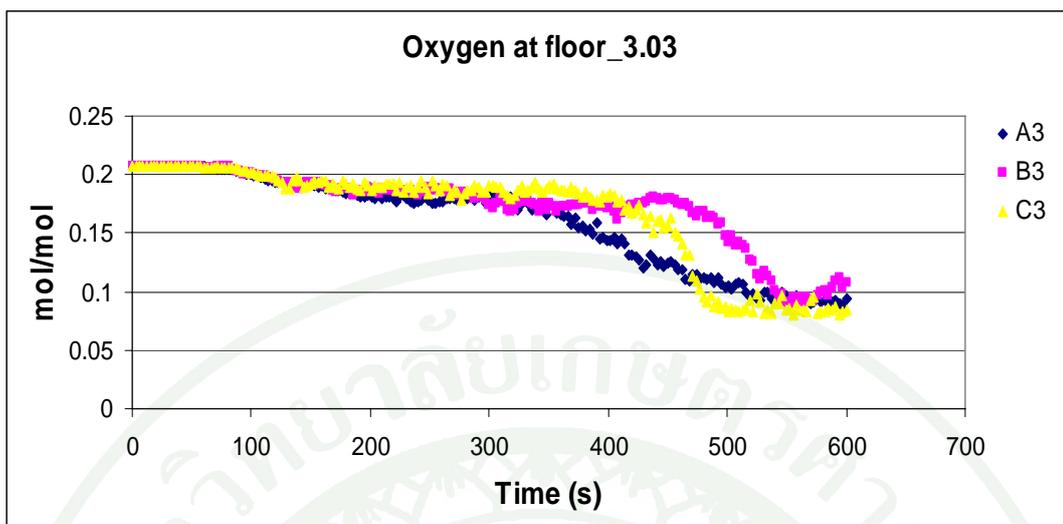
2.2 กราฟปริมาณออกซิเจนทั้ง 8 จุด



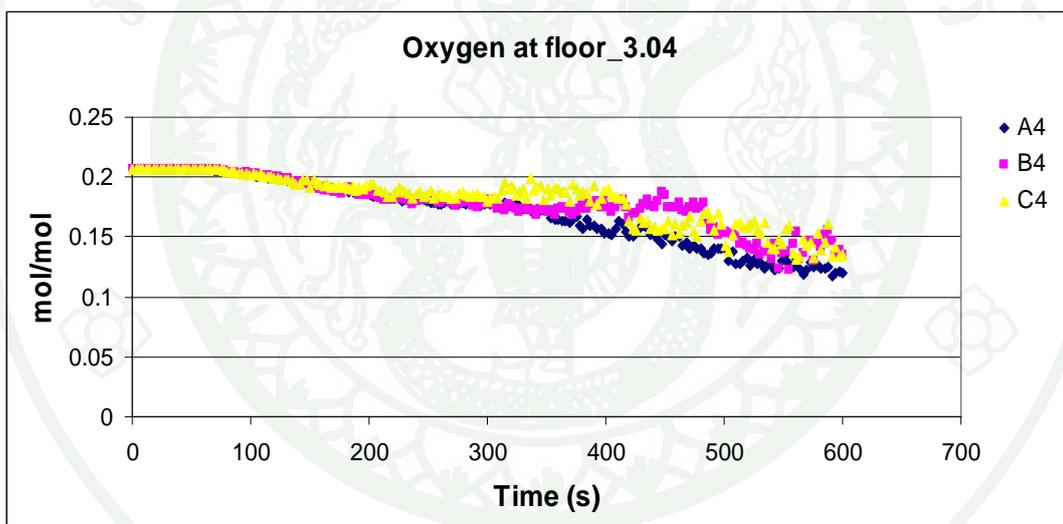
ภาพผนวกที่ ๙ กราฟปริมาณออกซิเจนชั้นที่ 3 จุดที่ 1



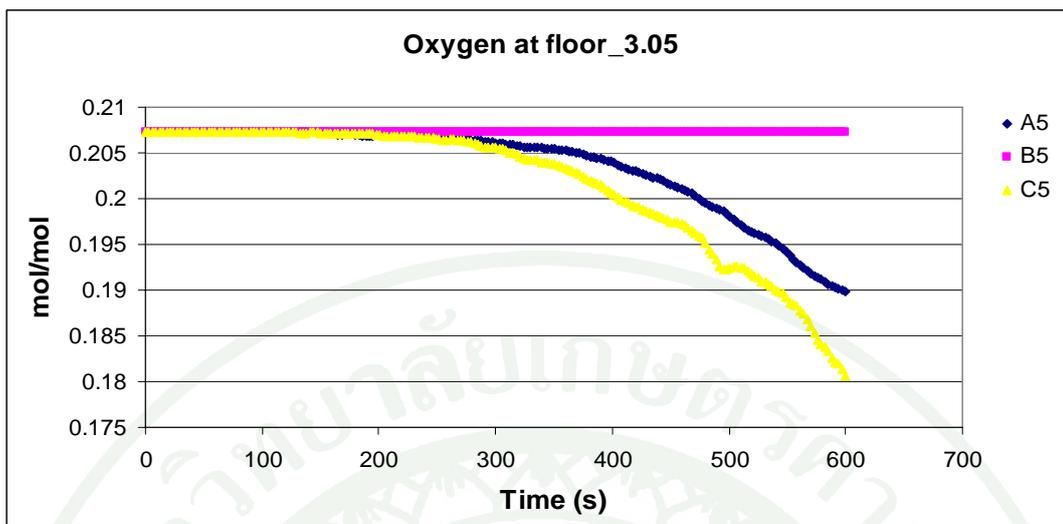
ภาพผนวกที่ ๑๐ กราฟปริมาณออกซิเจนชั้นที่ 3 จุดที่ 2



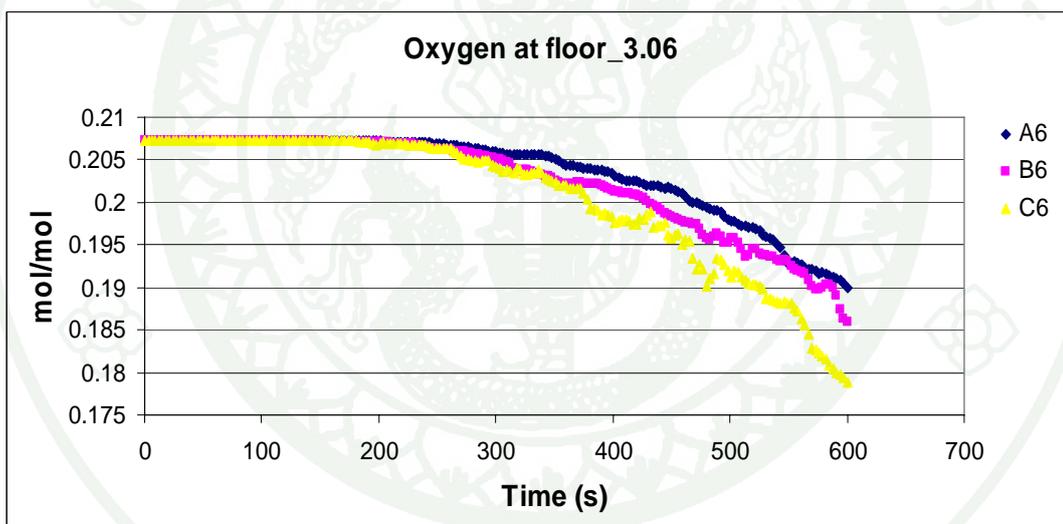
ภาพผนวกที่ ง11 กราฟปริมาณออกซิเจนชั้นที่ 3 จุดที่ 3



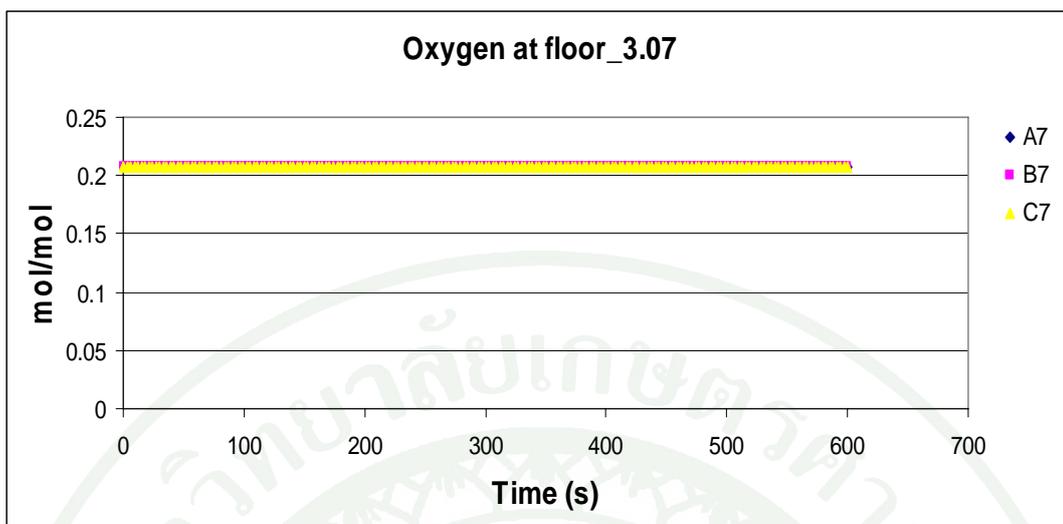
ภาพผนวกที่ ง12 กราฟปริมาณออกซิเจนชั้นที่ 3 จุดที่ 4



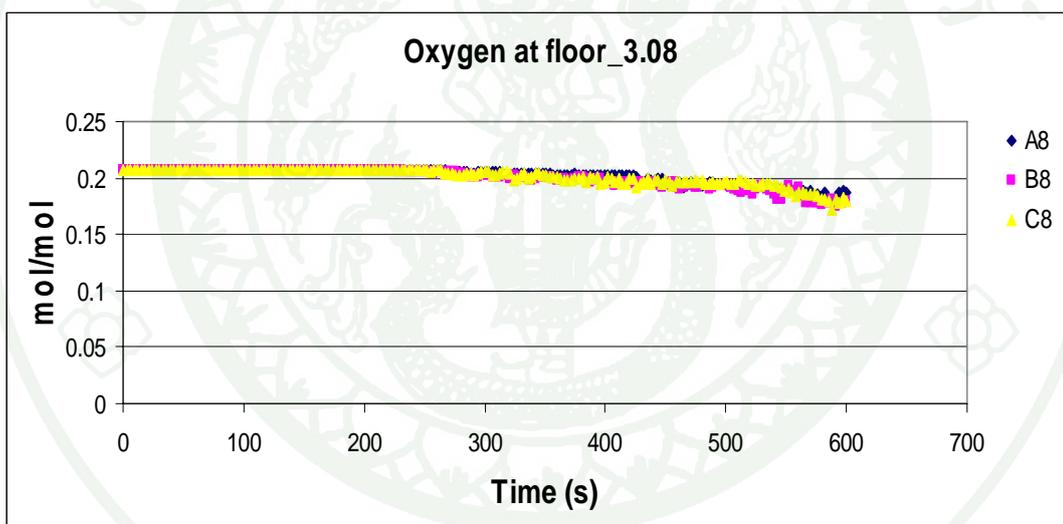
ภาพผนวกที่ 13 กราฟปริมาณออกซิเจนชั้นที่ 3 จุดที่ 5



ภาพผนวกที่ 14 กราฟปริมาณออกซิเจนชั้นที่ 3 จุดที่ 6

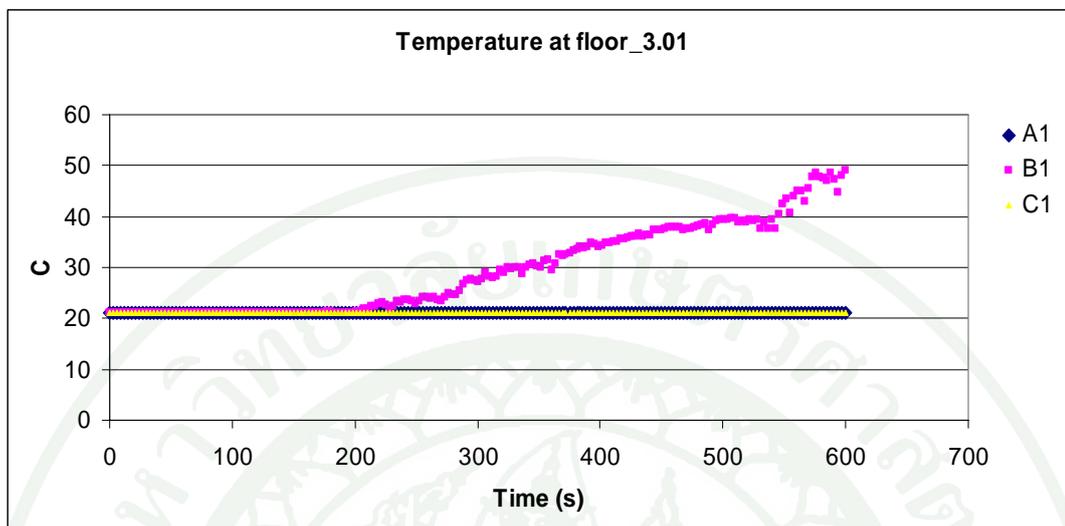


ภาพผนวกที่ 15 กราฟปริมาณออกซิเจนชั้นที่ 3 จุดที่ 7

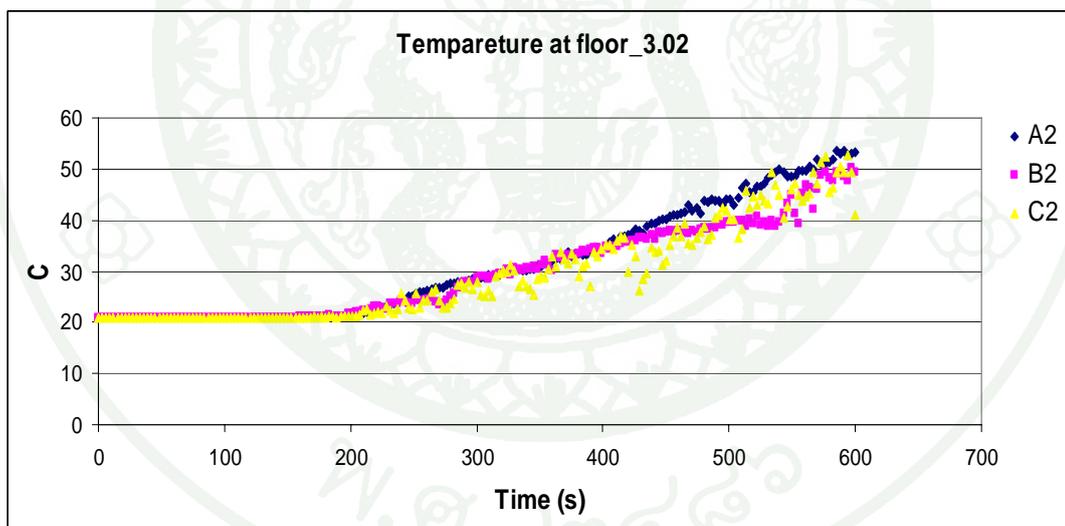


ภาพผนวกที่ 16 กราฟปริมาณออกซิเจนชั้นที่ 3 จุดที่ 8

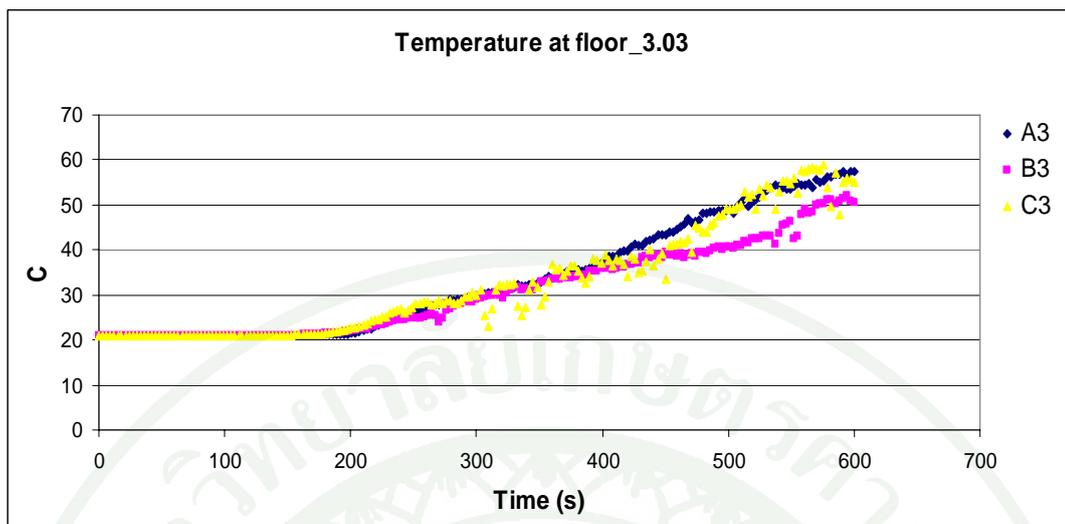
2.3 กราฟแสดงอุณหภูมิทั้ง 18 จุด



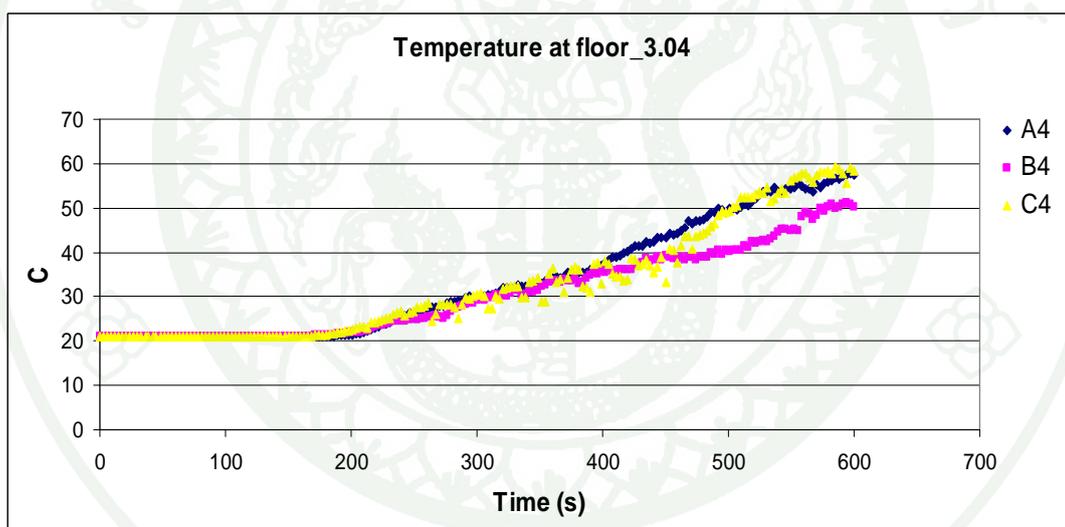
ภาพผนวกที่ 17 กราฟอุณหภูมิชั้นที่ 3 จุดที่ 1



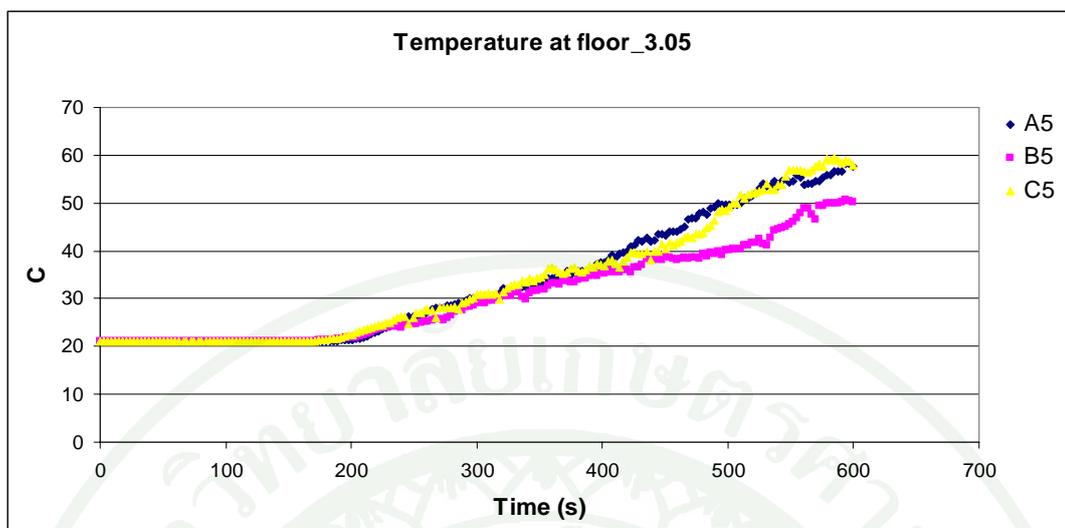
ภาพผนวกที่ 18 กราฟอุณหภูมิชั้นที่ 3 จุดที่ 2



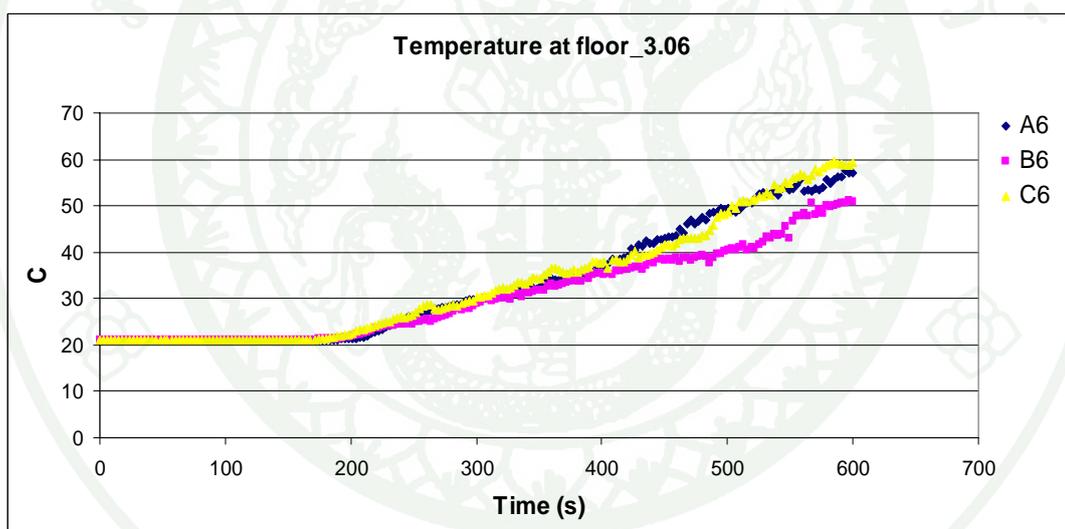
ภาพผนวกที่ ๑๑๙ กราฟอุณหภูมิชั้นที่ 3 จุดที่ 3



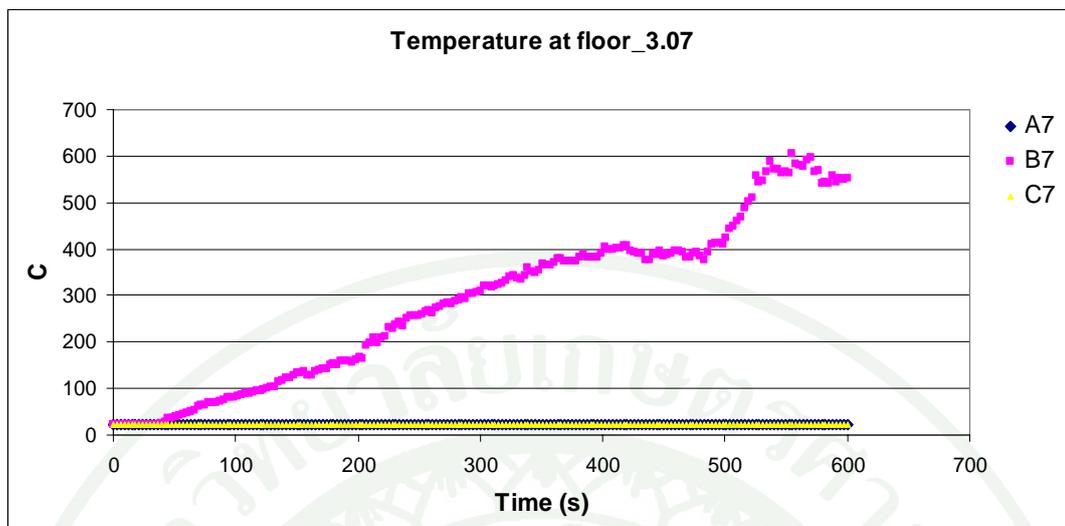
ภาพผนวกที่ ๑๒๐ กราฟอุณหภูมิชั้นที่ 3 จุดที่ 4



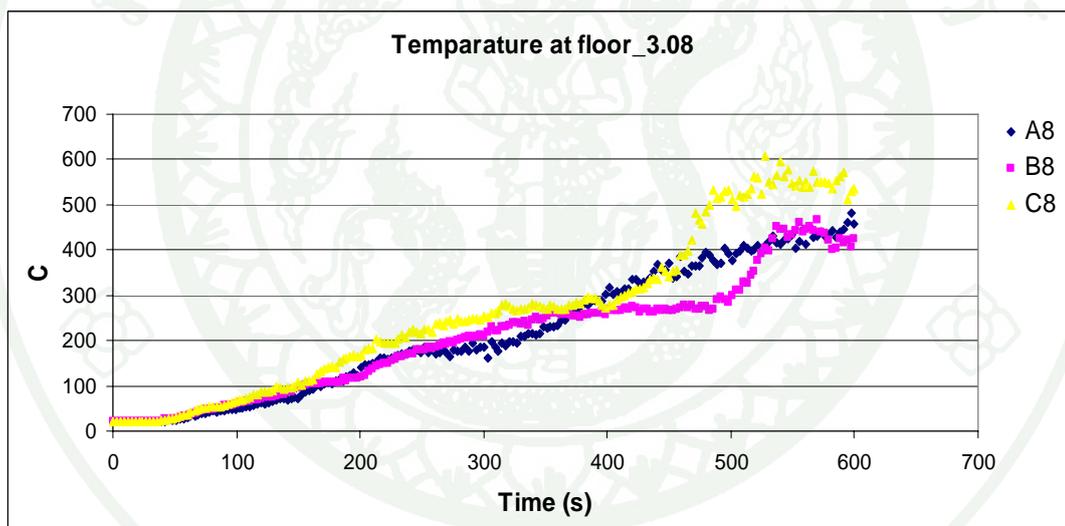
ภาพผนวกที่ ง21 กราฟอุณหภูมิชั้นที่ 3 จุดที่ 5



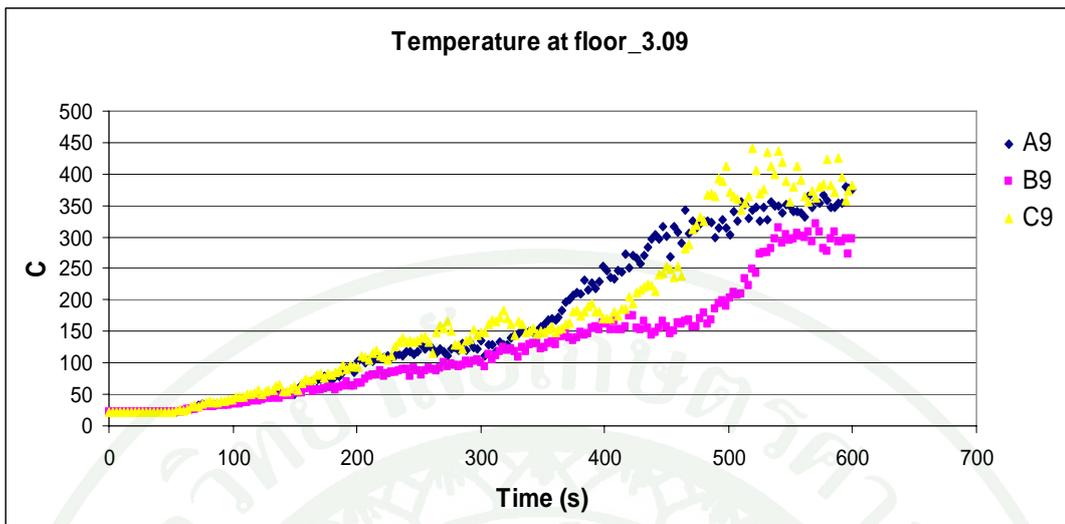
ภาพผนวกที่ ง22 กราฟอุณหภูมิชั้นที่ 3 จุดที่ 6



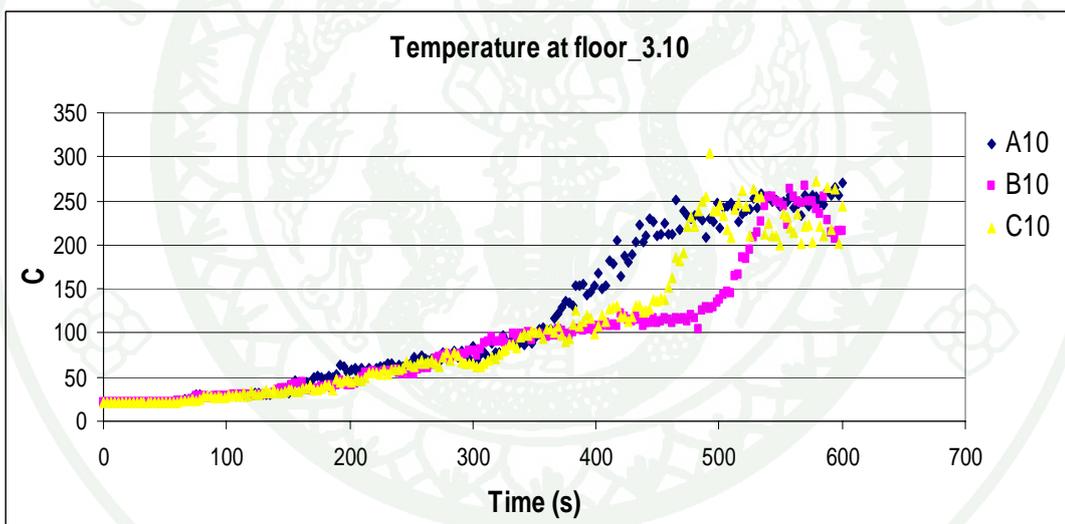
ภาพผนวกที่ ง23 กราฟอุณหภูมิชั้นที่ 3 จุดที่ 7



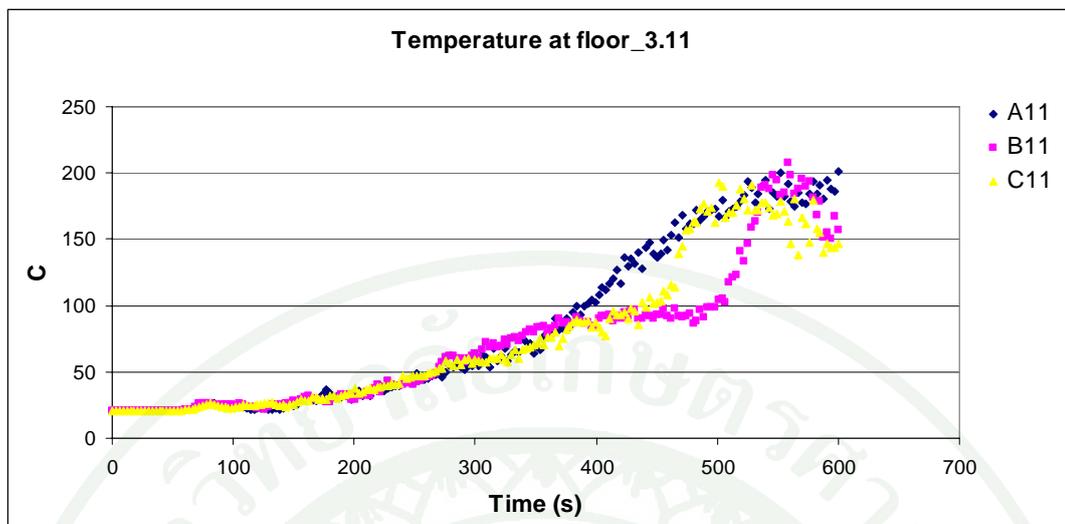
ภาพผนวกที่ ง24 กราฟอุณหภูมิชั้นที่ 3 จุดที่ 8



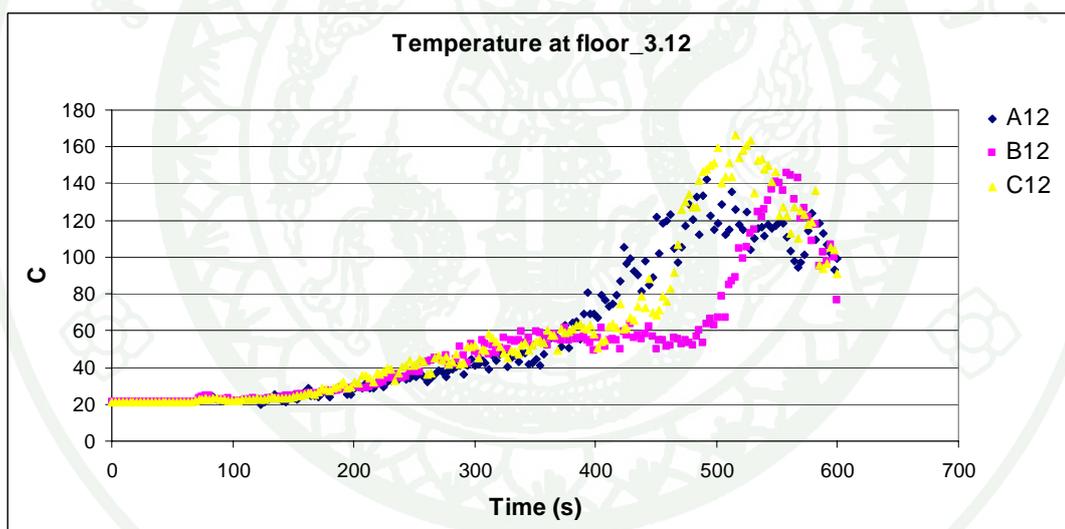
ภาพผนวกที่ ๖25 กราฟอุณหภูมิชั้นที่ 3 จุดที่ 9



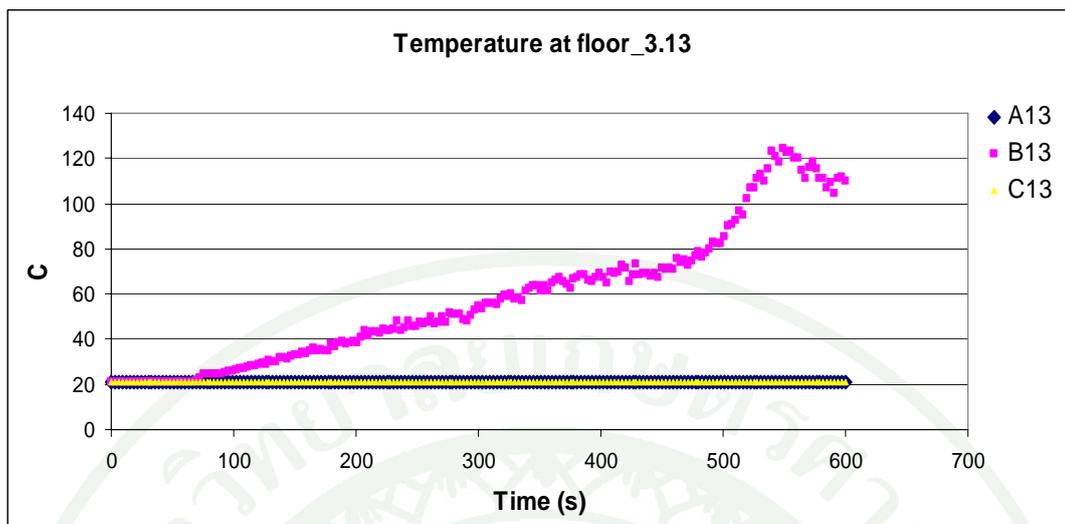
ภาพผนวกที่ ๖26 กราฟอุณหภูมิชั้นที่ 3 จุดที่ 10



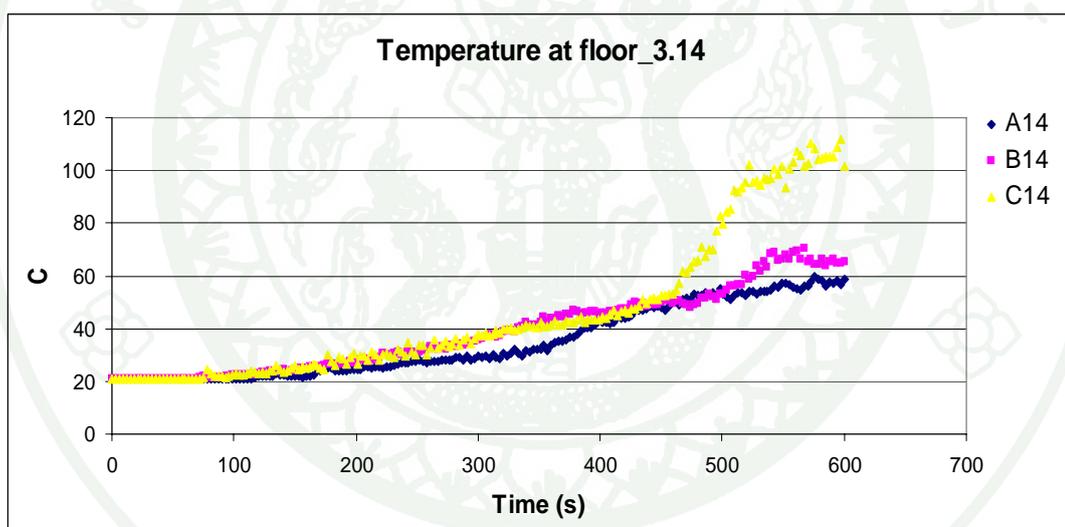
ภาพผนวกที่ ๖๒๗ กราฟอุณหภูมิชั้นที่ 3 จุดที่ 11



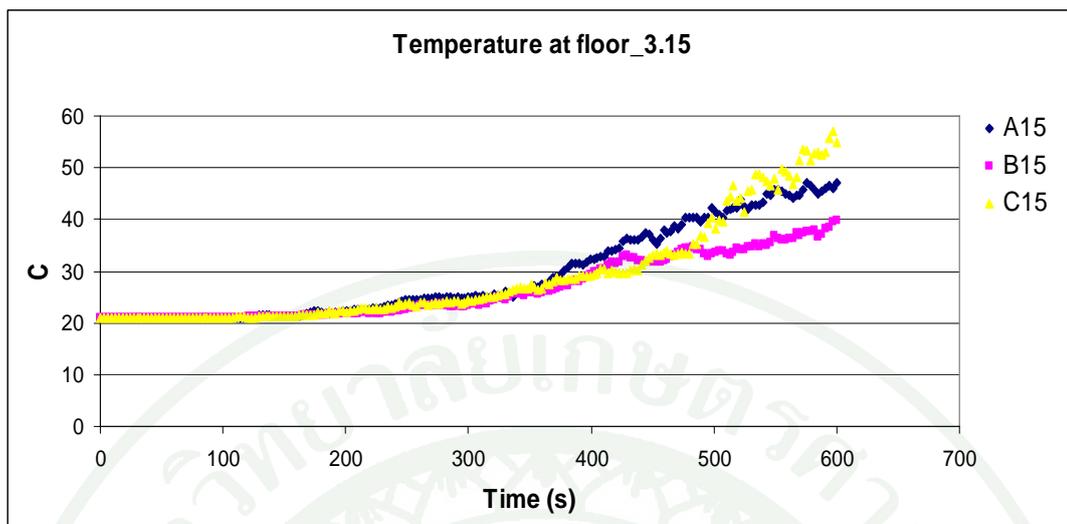
ภาพผนวกที่ ๖๒๘ กราฟอุณหภูมิชั้นที่ 3 จุดที่ 12



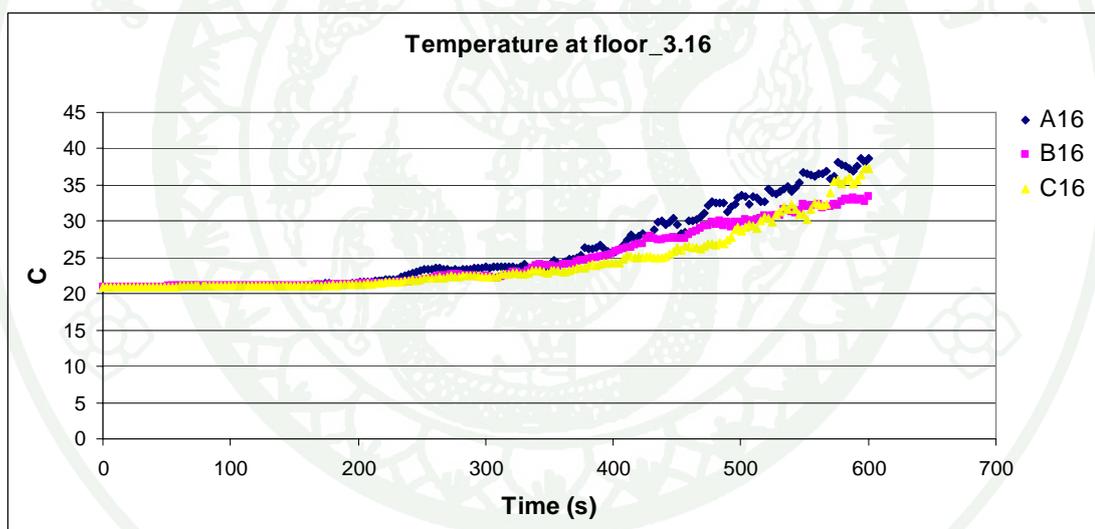
ภาพผนวกที่ ๓๒๙ กราฟอุณหภูมิชั้นที่ 3 จุดที่ 13



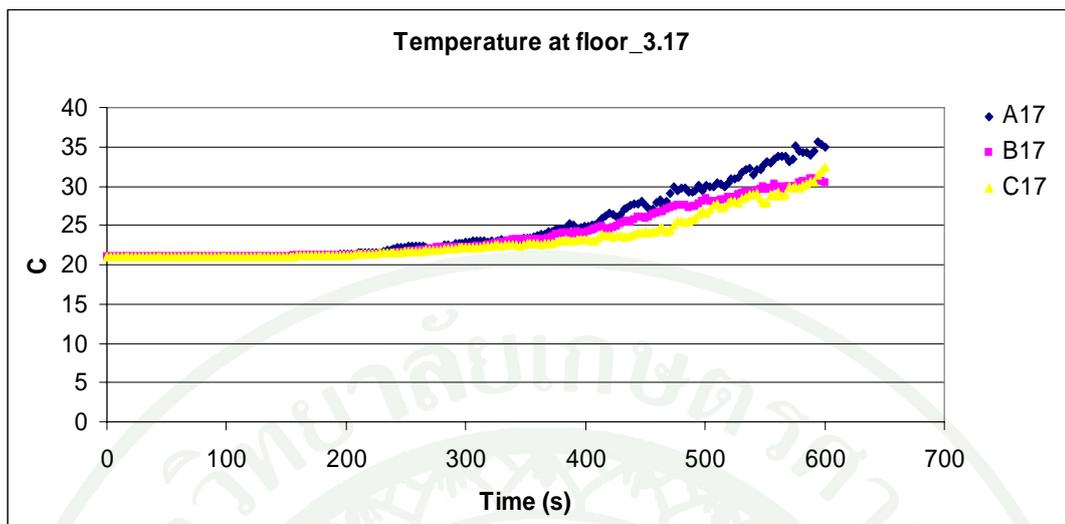
ภาพผนวกที่ ๓๓๐ กราฟอุณหภูมิชั้นที่ 3 จุดที่ 14



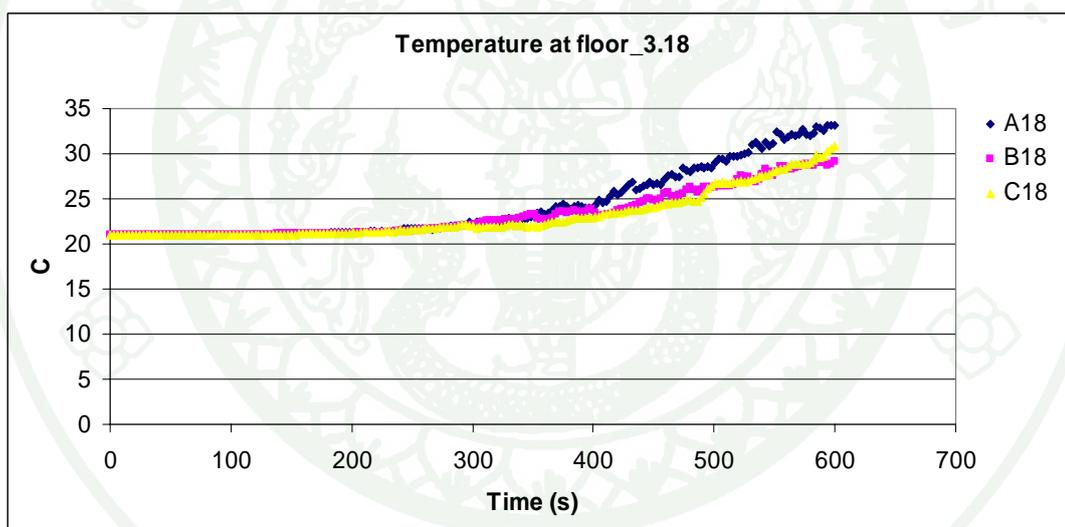
ภาพผนวกที่ ง31 กราฟอุณหภูมิชั้นที่ 3 จุดที่ 15



ภาพผนวกที่ ง32 กราฟอุณหภูมิชั้นที่ 3 จุดที่ 16

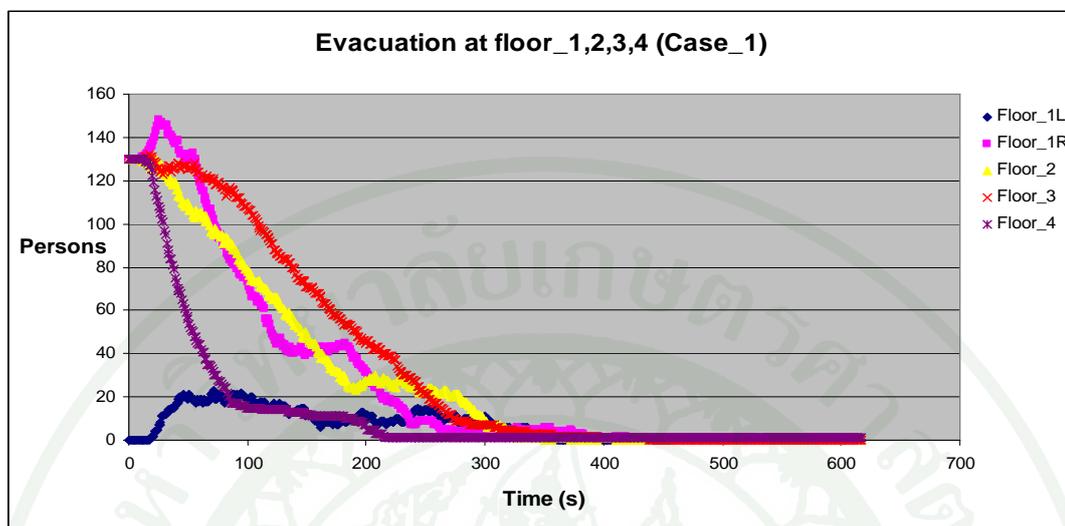


ภาพผนวกที่ ง33 กราฟอุณหภูมิชั้นที่ 3 จุดที่ 17

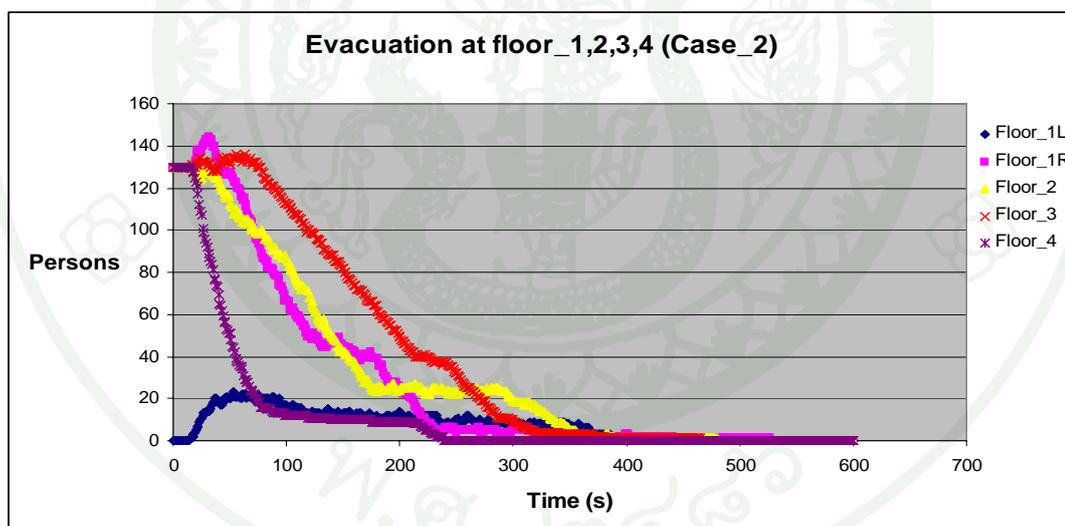


ภาพผนวกที่ ง34 กราฟอุณหภูมิชั้นที่ 3 จุดที่ 18

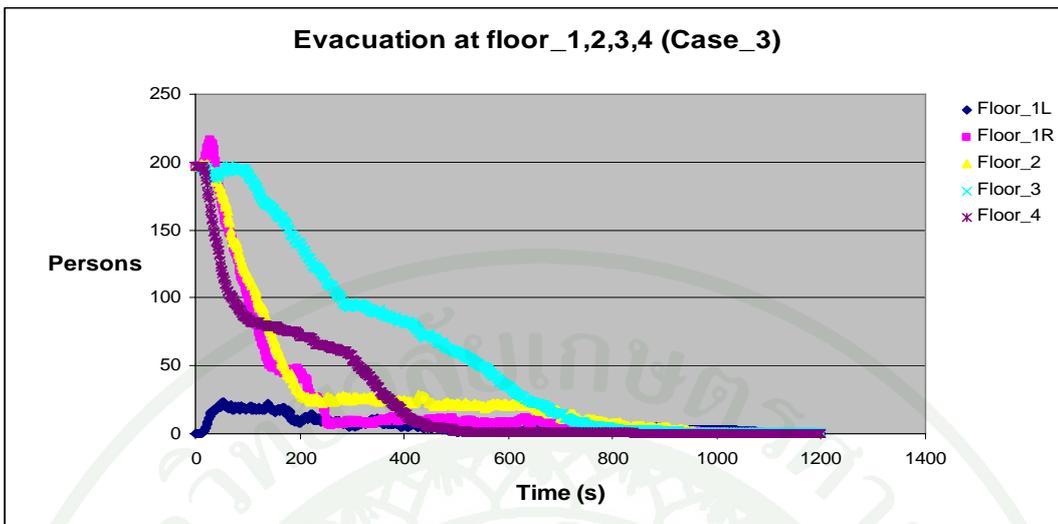
3. กราฟการอพยพของทั้ง 4 กรณี



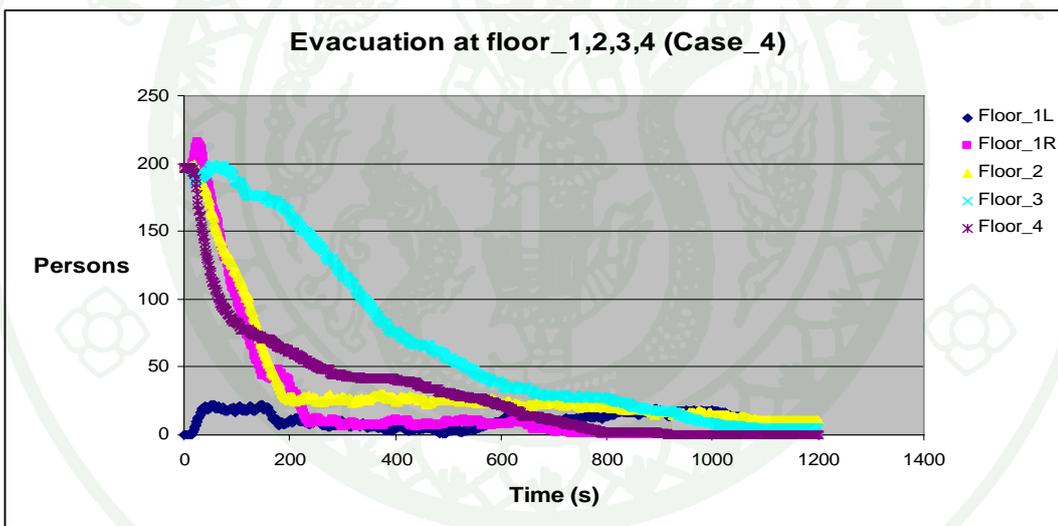
ภาพผนวกที่ 35 กราฟการอพยพของทั้ง 4 ชั้น ของกรณีทีี่หนึ่ง



ภาพผนวกที่ 36 กราฟการอพยพของทั้ง 4 ชั้น ของกรณีทีี่สอง

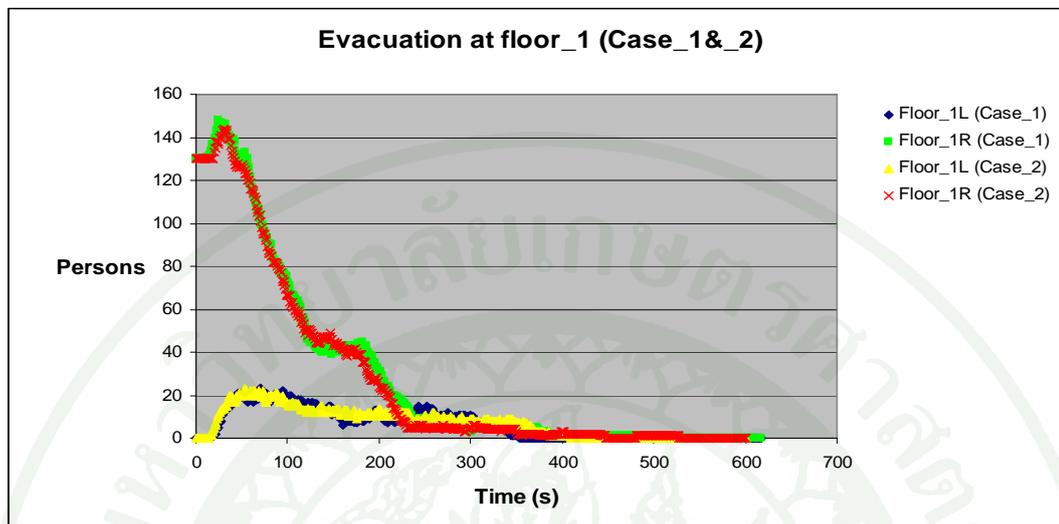


ภาพผนวกที่ 37 กราฟการอพยพของทั้ง 4 ชั้น ของกรณีที่สาม

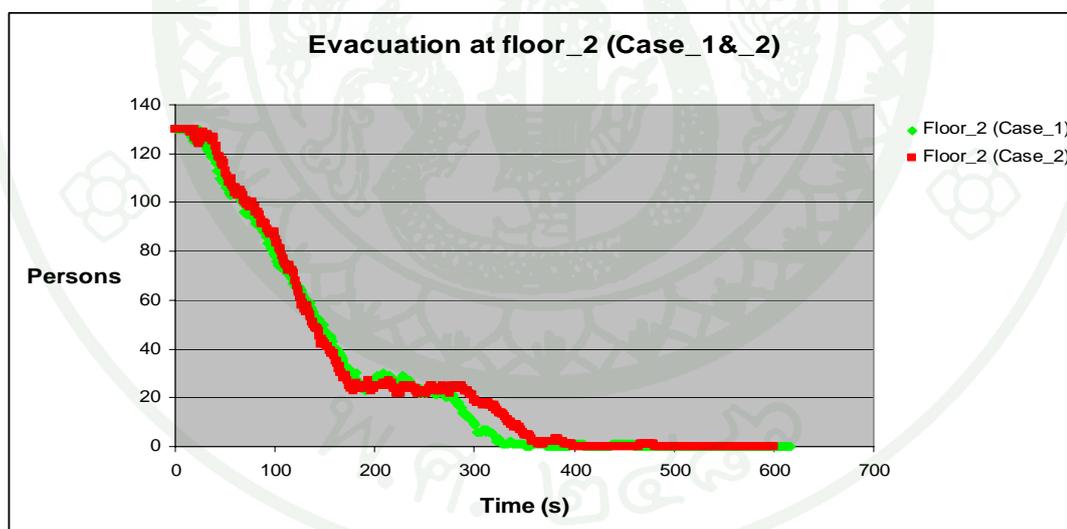


ภาพผนวกที่ 38 กราฟการอพยพของทั้ง 4 ชั้น ของกรณีที่สี่

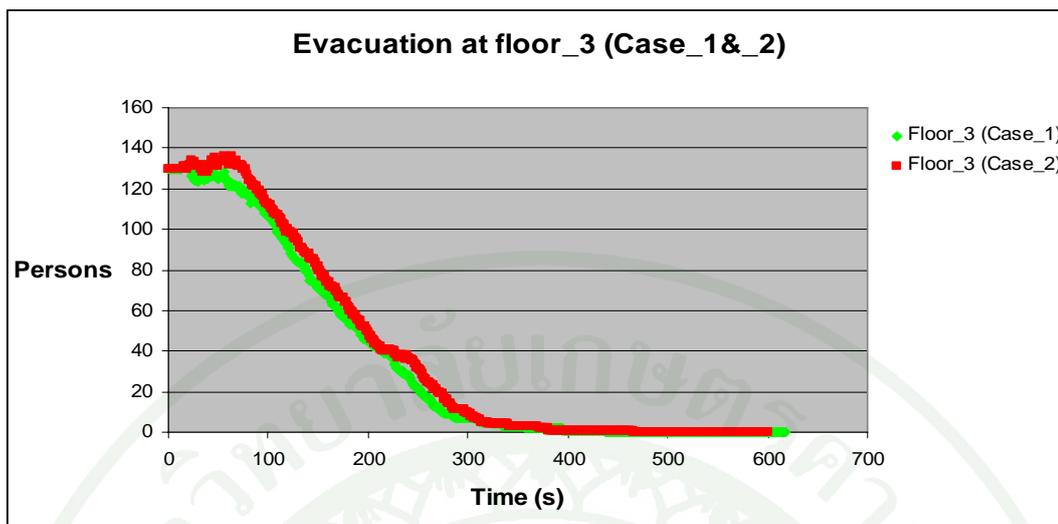
4. กราฟการเปรียบเทียบการอพยพ



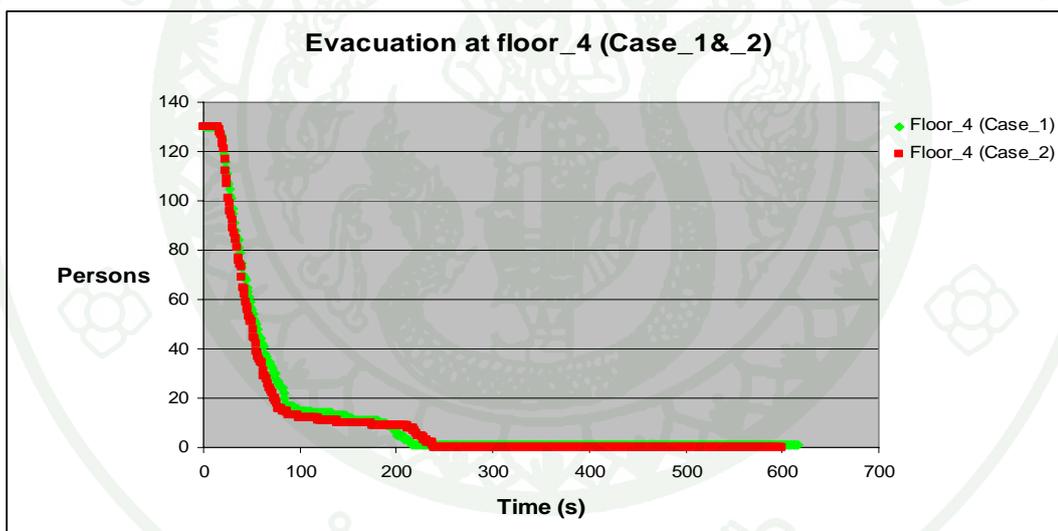
ภาพผนวกที่ 39 กราฟการอพยพของชั้น 1 ของกรณีทีหนึ่งและสอง



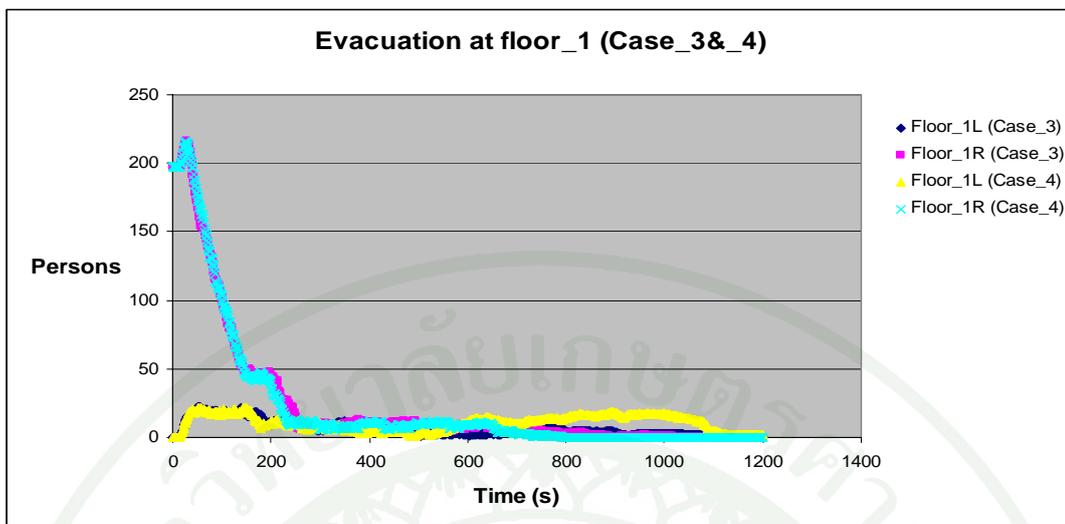
ภาพผนวกที่ 40 กราฟการอพยพของชั้น 2 ของกรณีทีหนึ่งและสอง



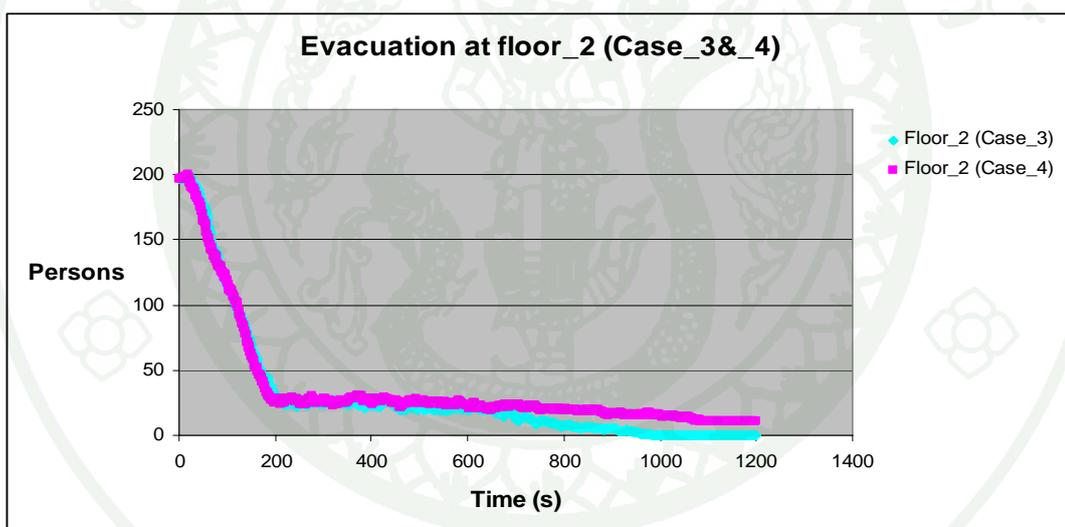
ภาพผนวกที่ ๓41 กราฟการอพยพของชั้น 3 ของกรณีที่หนึ่งและสอง



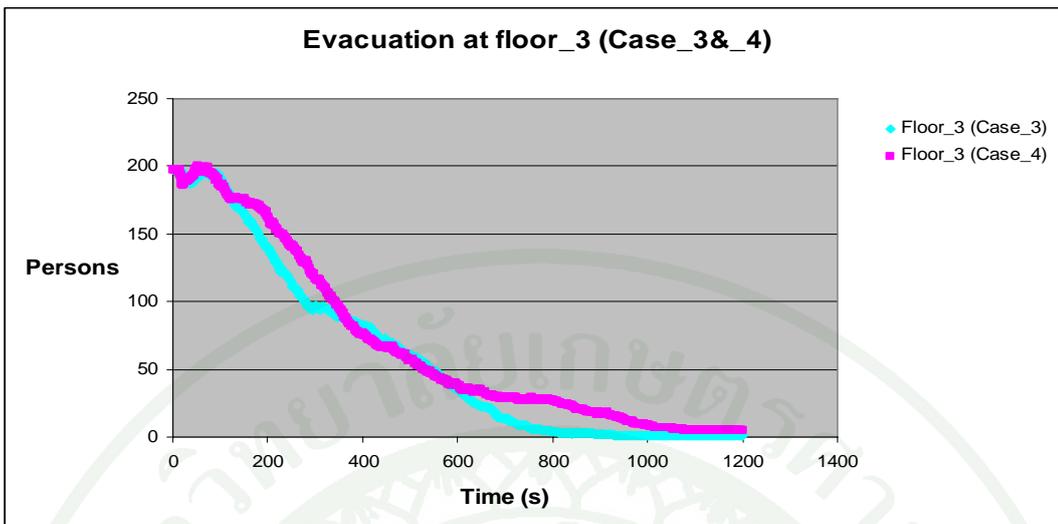
ภาพผนวกที่ ๓42 กราฟการอพยพของชั้น 4 ของกรณีที่หนึ่งและสอง



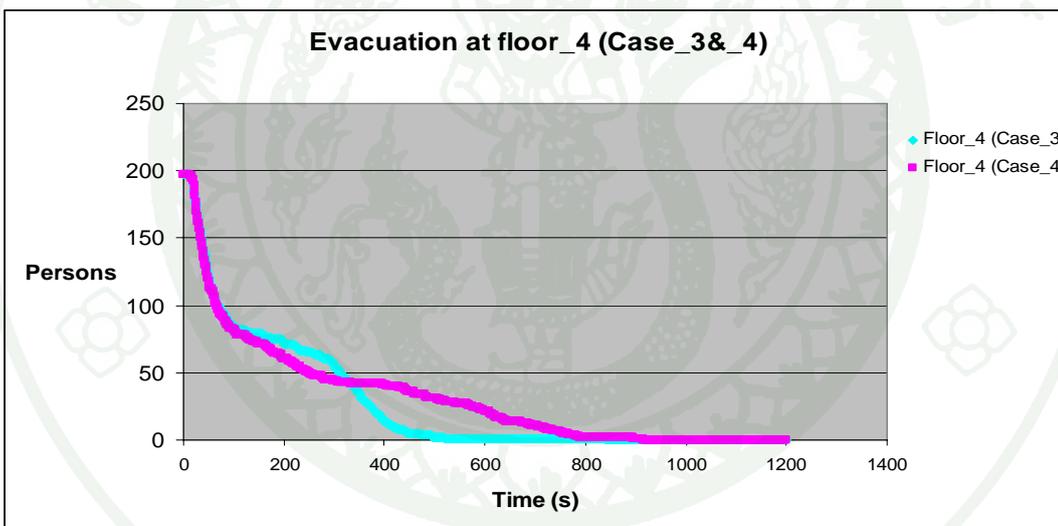
ภาพผนวกที่ ๓43 กราฟการอพยพของชั้น 1 ของกรณีที่สามและสี่



ภาพผนวกที่ ๓44 กราฟการอพยพของชั้น 2 ของกรณีที่สามและสี่



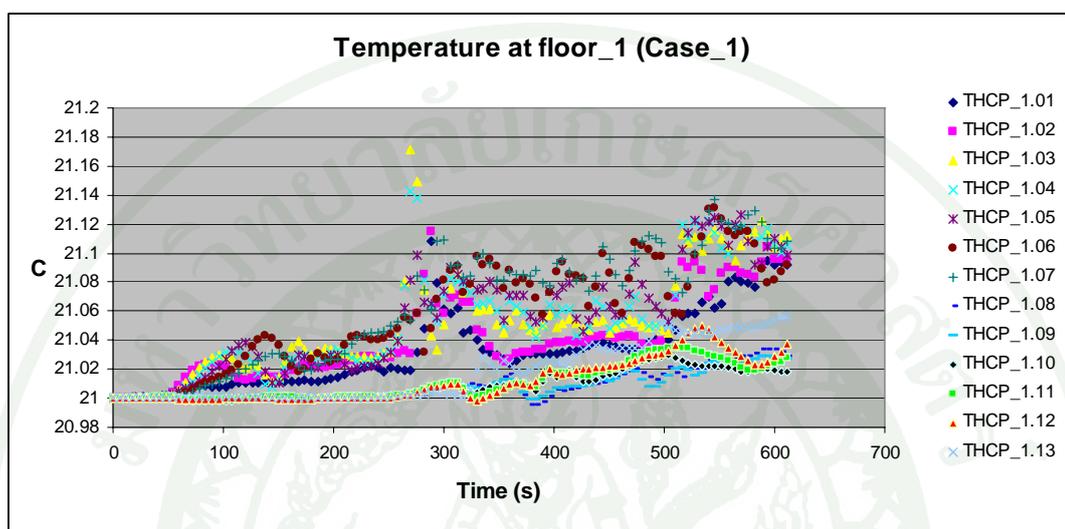
ภาพผนวกที่ 45 กราฟการอพยพของชั้น 3 ของกรณีที่สามและสี่



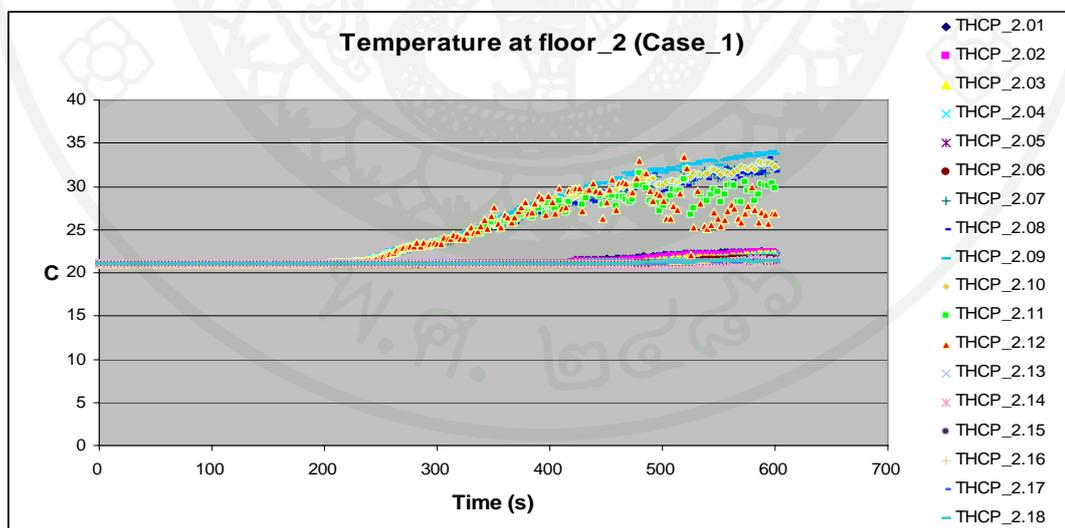
ภาพผนวกที่ 46 กราฟการอพยพของชั้น 4 ของกรณีที่สามและสี่

5. กราฟของอุณหภูมิภายในอาคาร

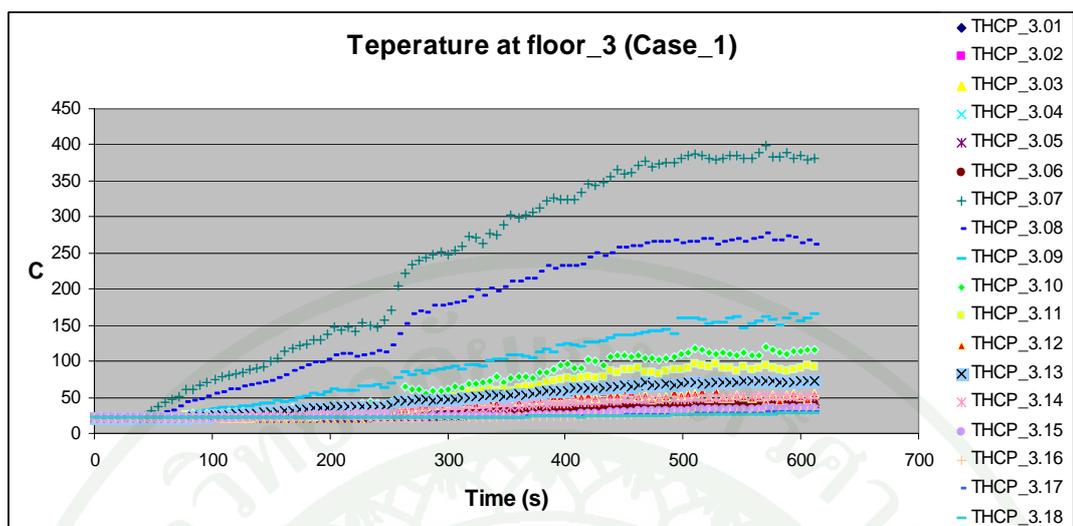
5.1 กรณีที่หนึ่งกราฟอุณหภูมิ



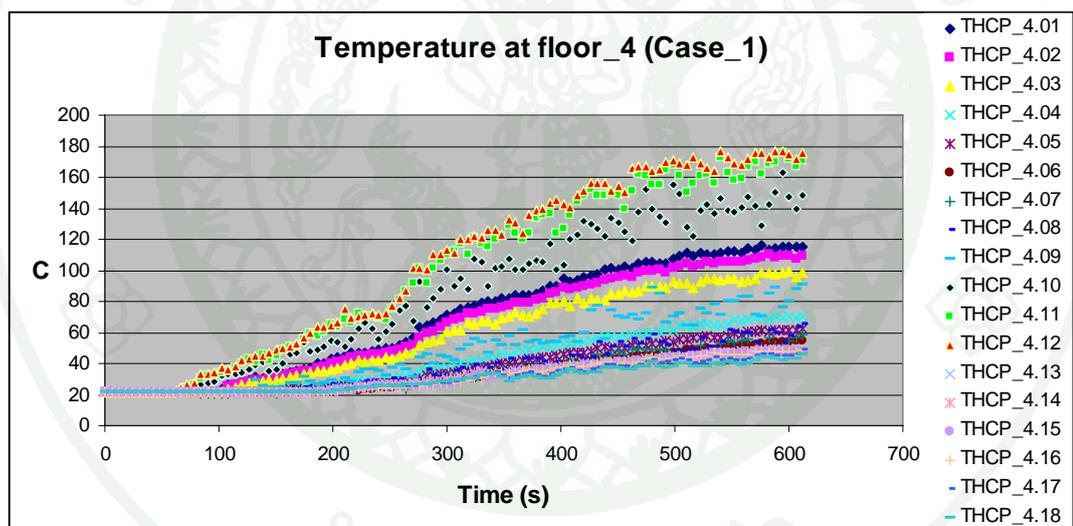
ภาพผนวกที่ 47 กราฟอุณหภูมิของชั้นที่ 1 กรณีที่หนึ่ง



ภาพผนวกที่ 48 กราฟอุณหภูมิของชั้นที่ 2 กรณีที่หนึ่ง

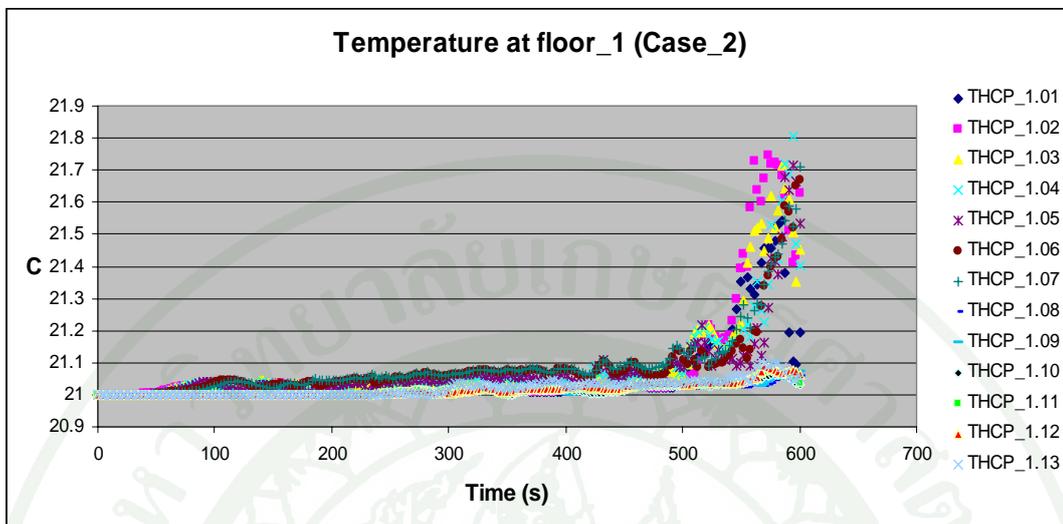


ภาพผนวกที่ ๔๙ กราฟอุณหภูมิของชั้นที่ 3 กรณีที่หนึ่ง

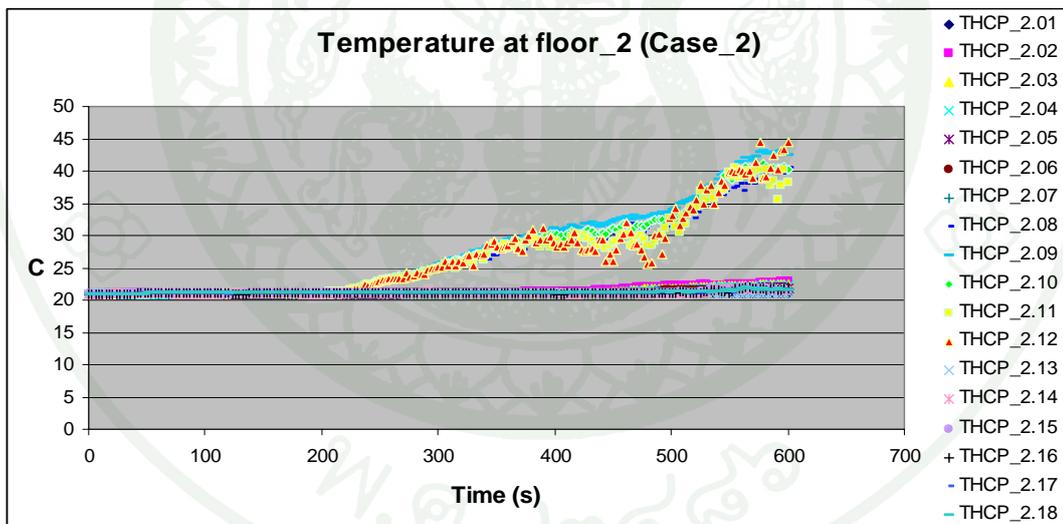


ภาพผนวกที่ ๕๐ กราฟอุณหภูมิของชั้นที่ 4 กรณีที่หนึ่ง

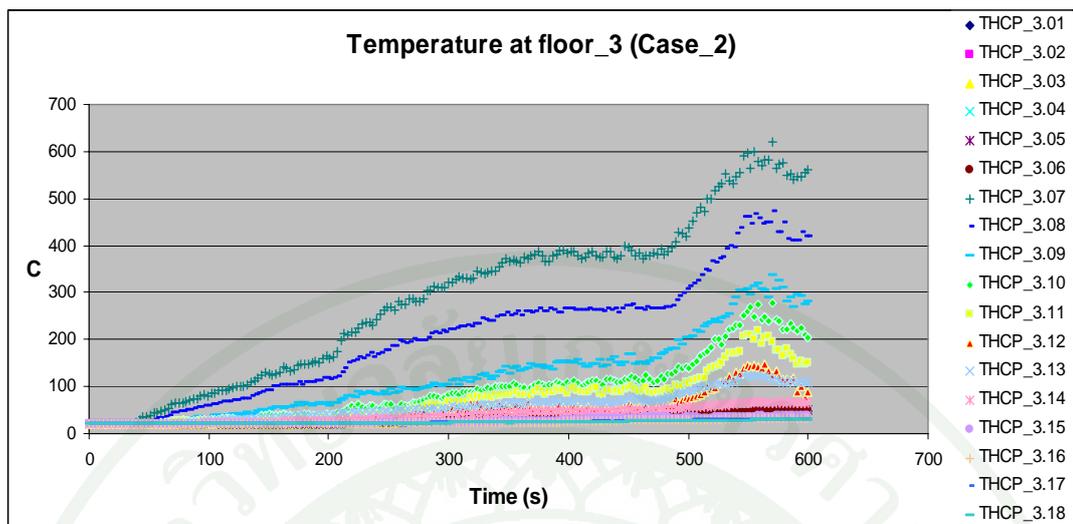
5.2 กรณีที่สองกราฟอุณหภูมิ



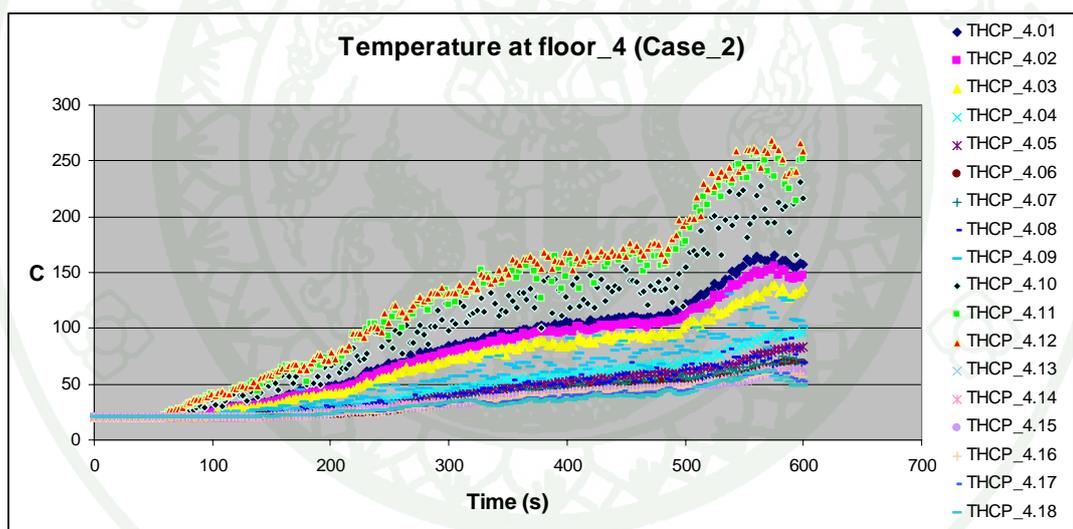
ภาพผนวกที่ 51 กราฟอุณหภูมิของชั้นที่ 1 กรณีที่สอง



ภาพผนวกที่ 52 กราฟอุณหภูมิของชั้นที่ 2 กรณีที่สอง

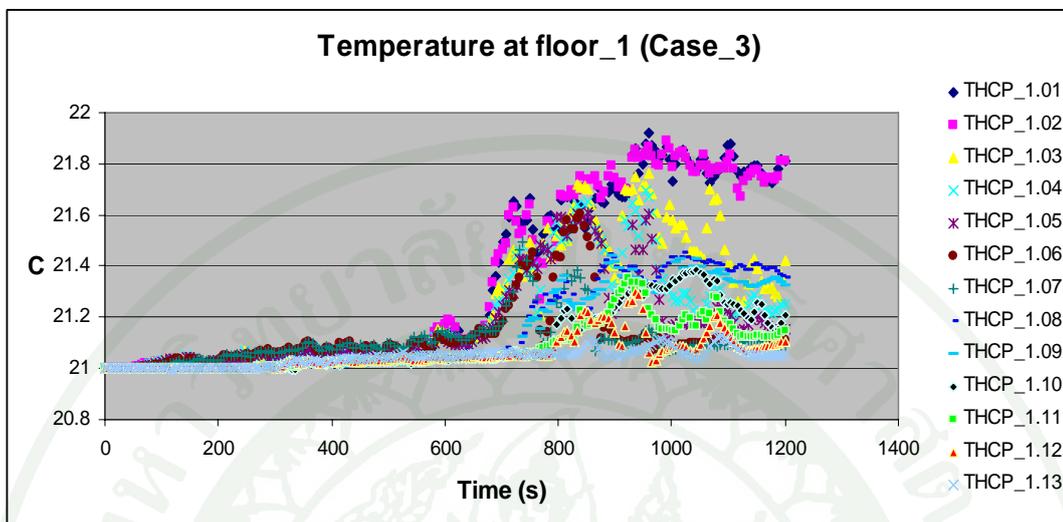


ภาพผนวกที่ 53 กราฟอุณหภูมิของชั้นที่ 3 กรณีที่สอง

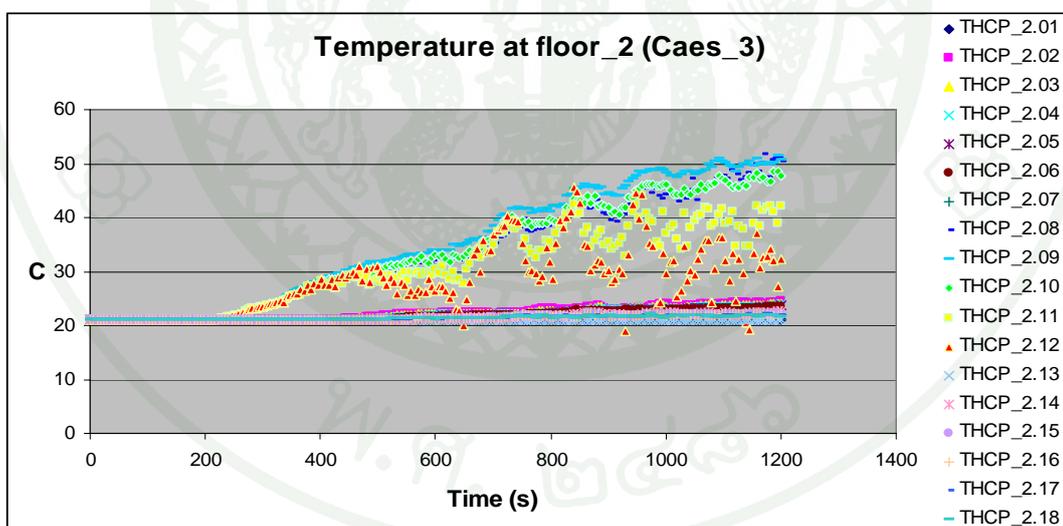


ภาพผนวกที่ 54 กราฟอุณหภูมิของชั้นที่ 4 กรณีที่สอง

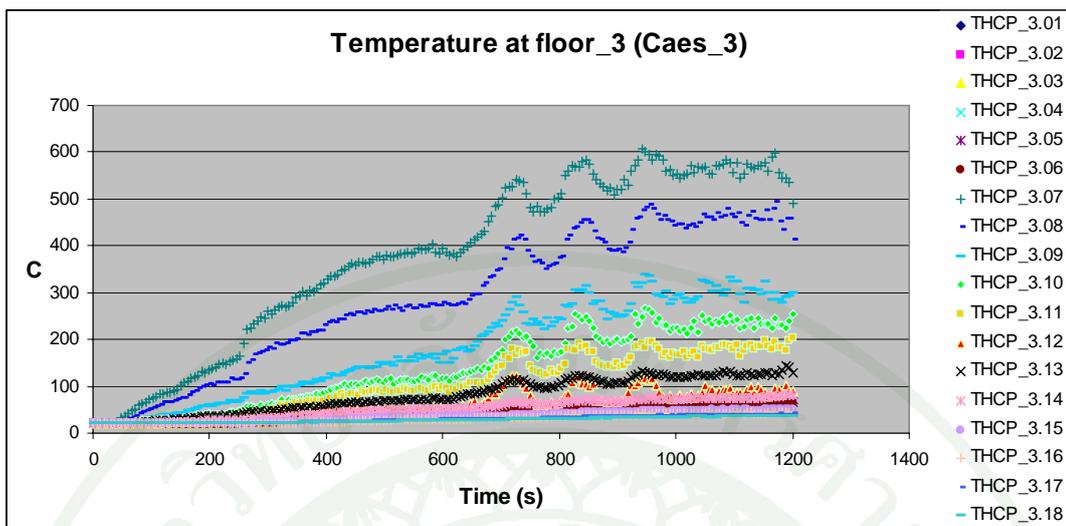
5.3 กรณีที่สามกราฟอุณหภูมิ



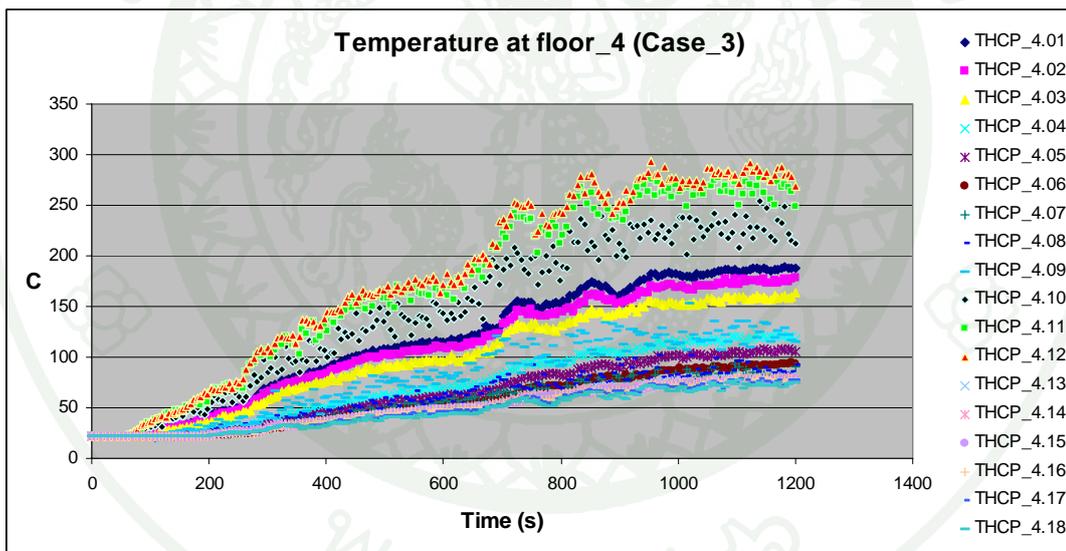
ภาพผนวกที่ 55 กราฟอุณหภูมิของชั้นที่ 1 กรณีที่สาม



ภาพผนวกที่ 56 กราฟอุณหภูมิของชั้นที่ 2 กรณีที่สาม

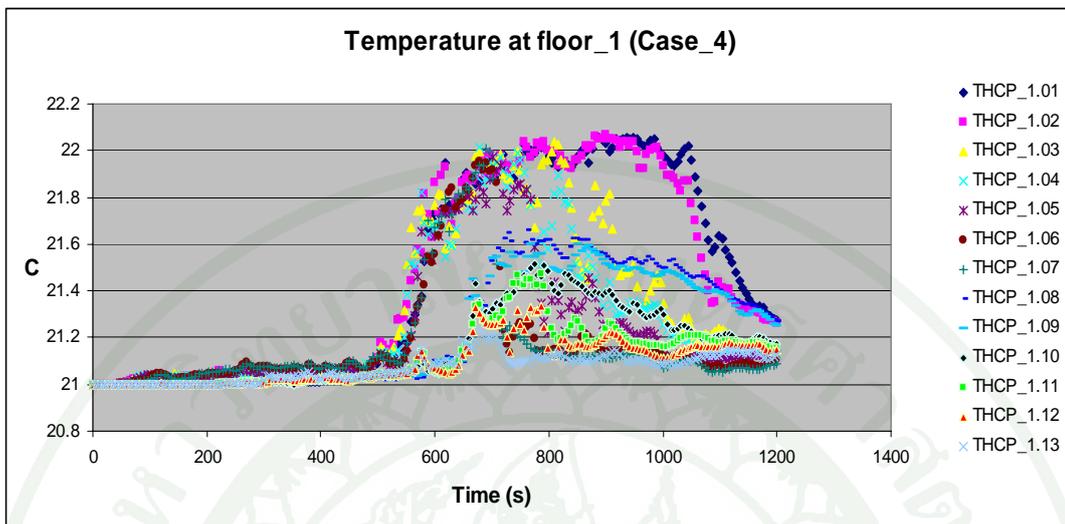


ภาพผนวกที่ ๓57 กราฟอุณหภูมิของชั้นที่ 3 กรณีที่สาม

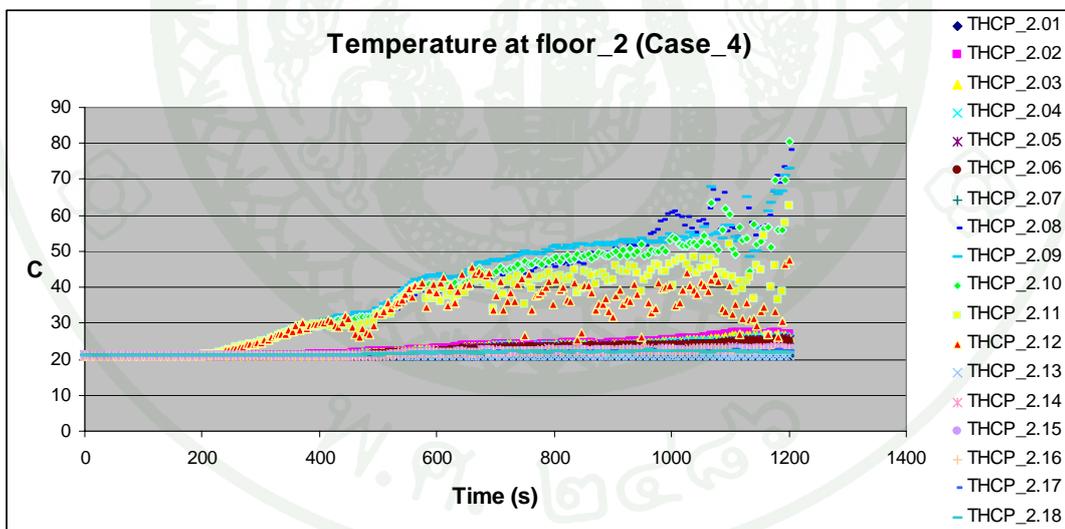


ภาพผนวกที่ ๓58 กราฟอุณหภูมิของชั้นที่ 4 กรณีที่สาม

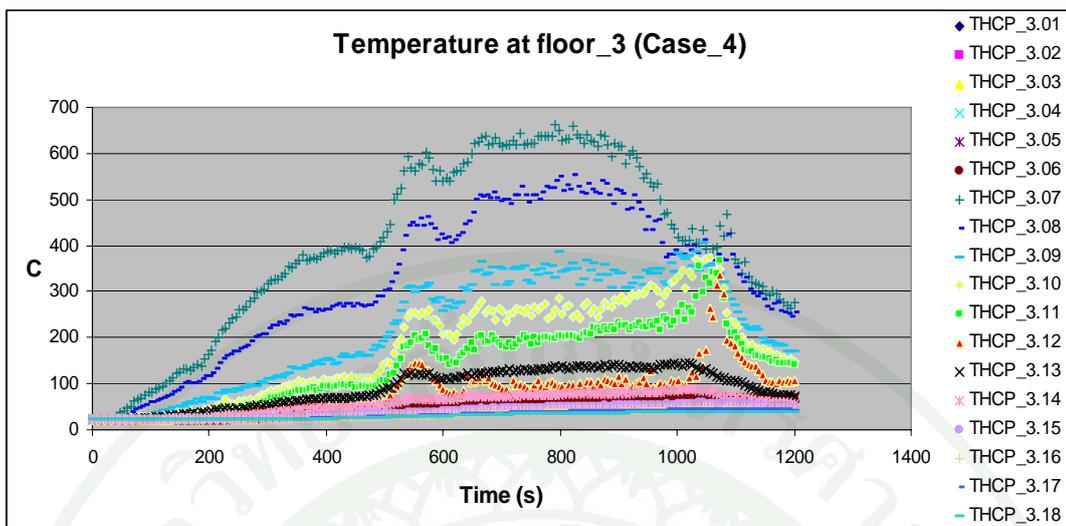
5.4 กรณีที่สี่กราฟอุณหภูมิ



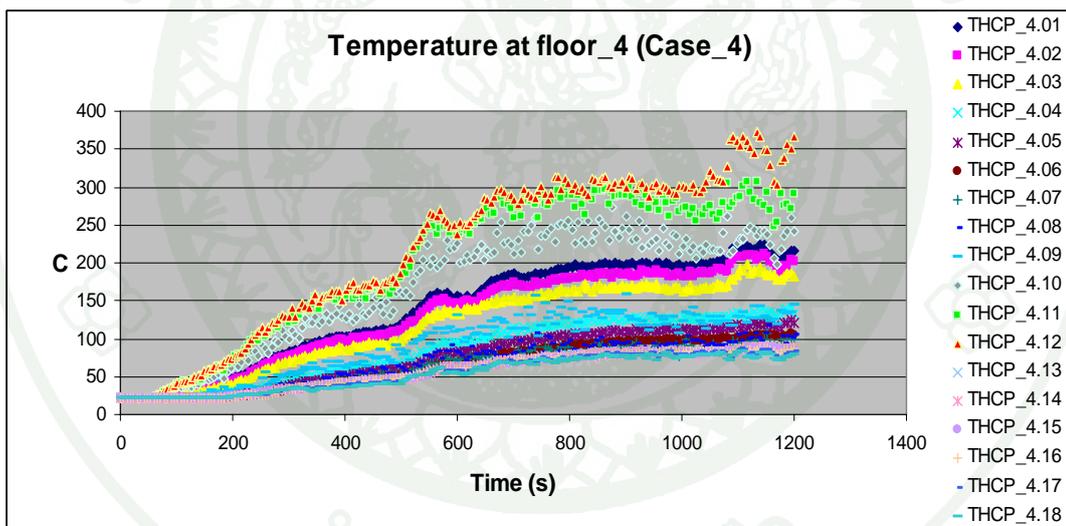
ภาพผนวกที่ 59 กราฟอุณหภูมิของชั้นที่ 1 กรณีที่สี่



ภาพผนวกที่ 60 กราฟอุณหภูมิของชั้นที่ 2 กรณีที่สี่



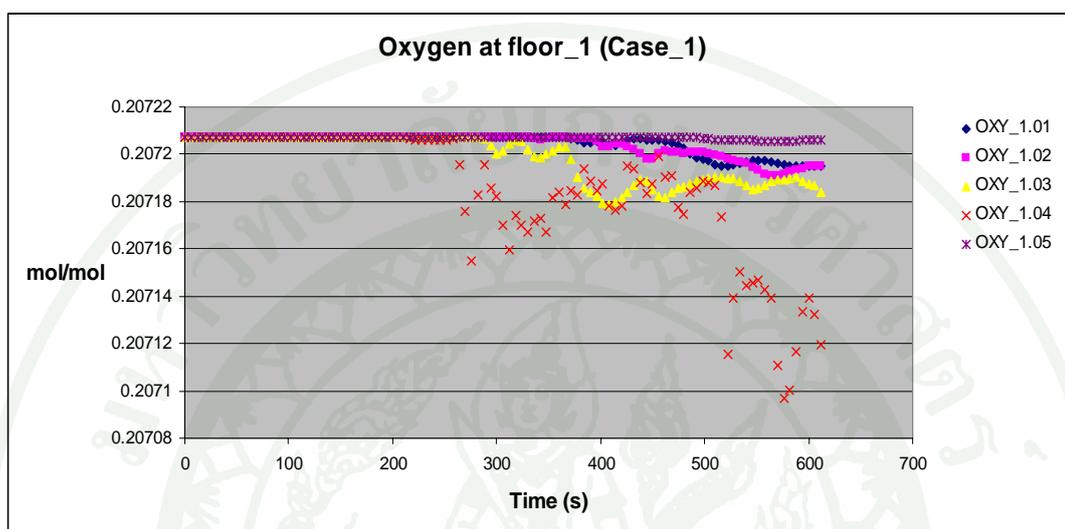
ภาพผนวกที่ ๖1 กราฟอุณหภูมิของชั้นที่ 3 กรณีที่สี่



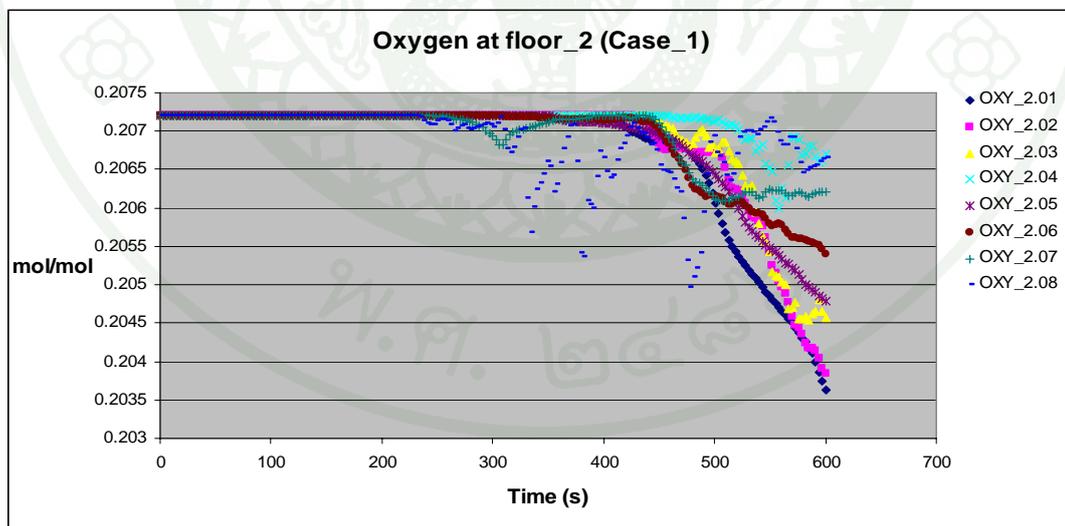
ภาพผนวกที่ ๖2 กราฟอุณหภูมิของชั้นที่ 4 กรณีที่สี่

6. กราฟปริมาณออกซิเจน

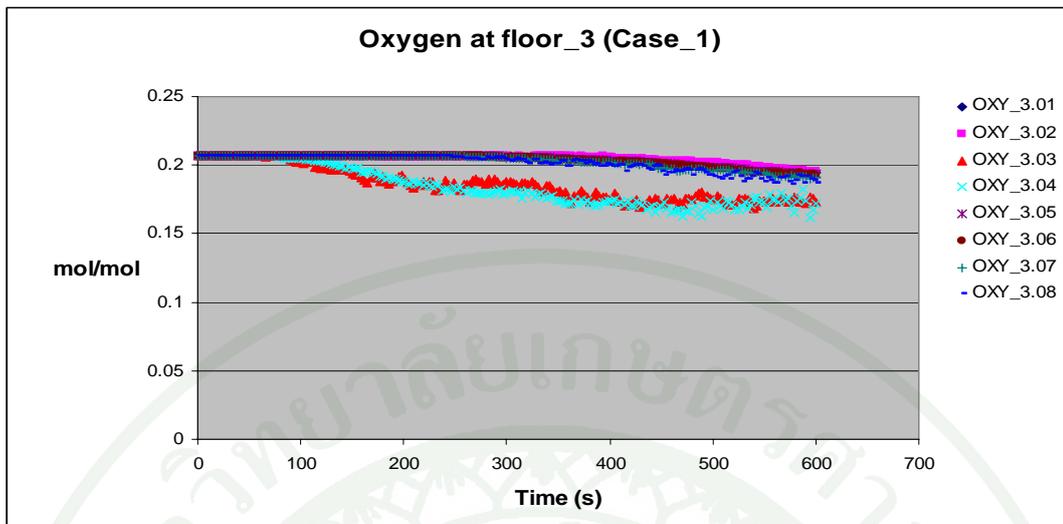
6.1 กรณีที่หนึ่งกราฟปริมาณออกซิเจน



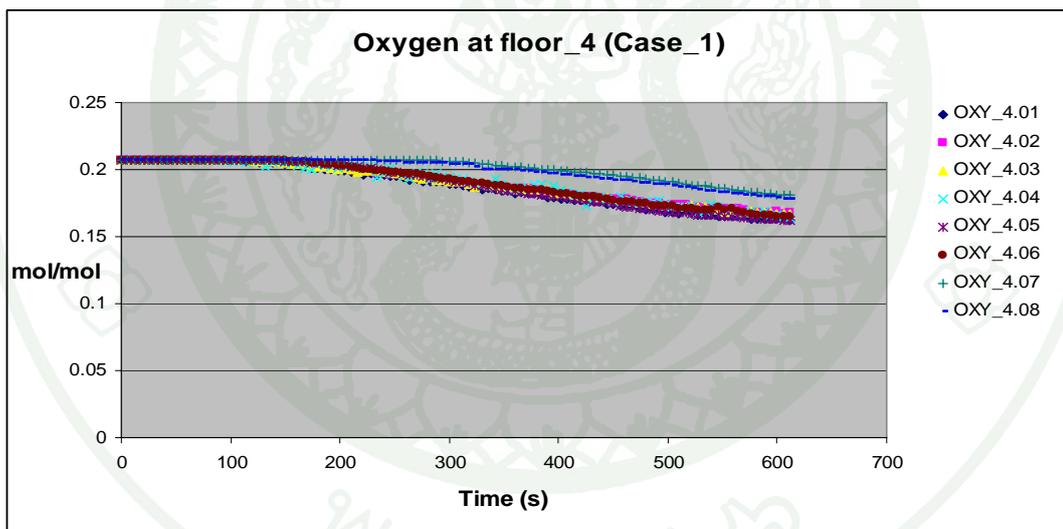
ภาพผนวกที่ 63 กราฟปริมาณออกซิเจนของชั้นที่ 1 กรณีที่หนึ่ง



ภาพผนวกที่ 64 กราฟปริมาณออกซิเจนของชั้นที่ 2 กรณีที่หนึ่ง

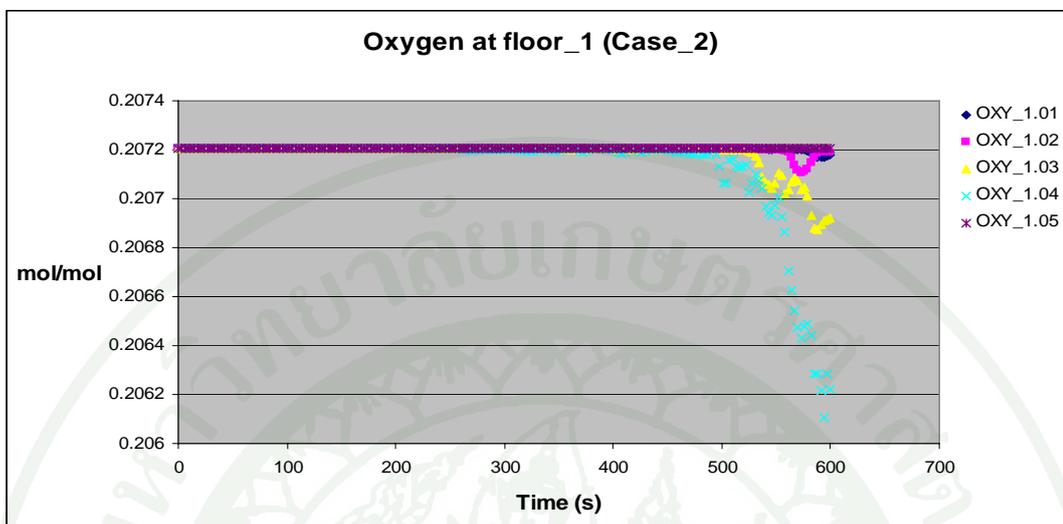


ภาพผนวกที่ ๖5 กราฟปริมาณออกซิเจนของชั้นที่ 3 กรณีที่หนึ่ง

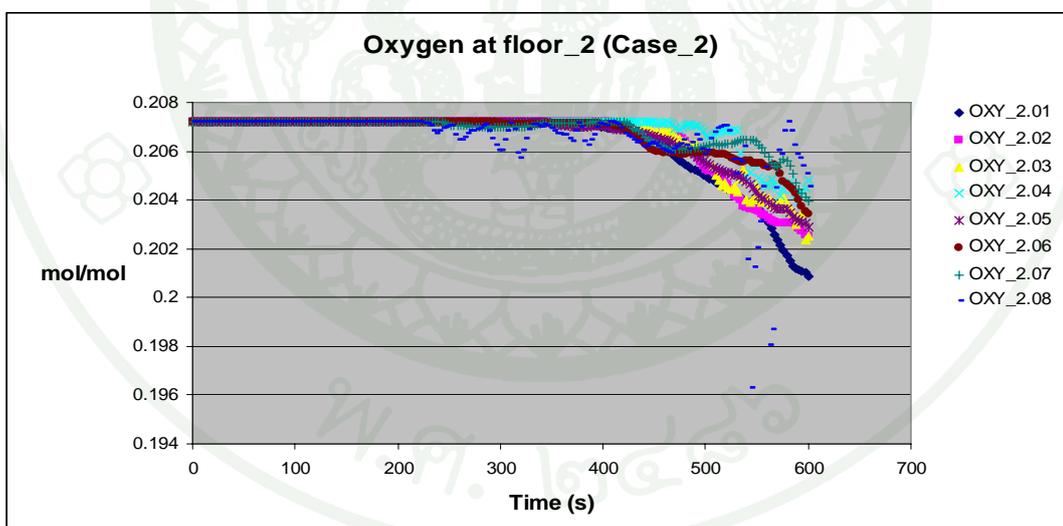


ภาพผนวกที่ ๖6 กราฟปริมาณออกซิเจนของชั้นที่ 4 กรณีที่หนึ่ง

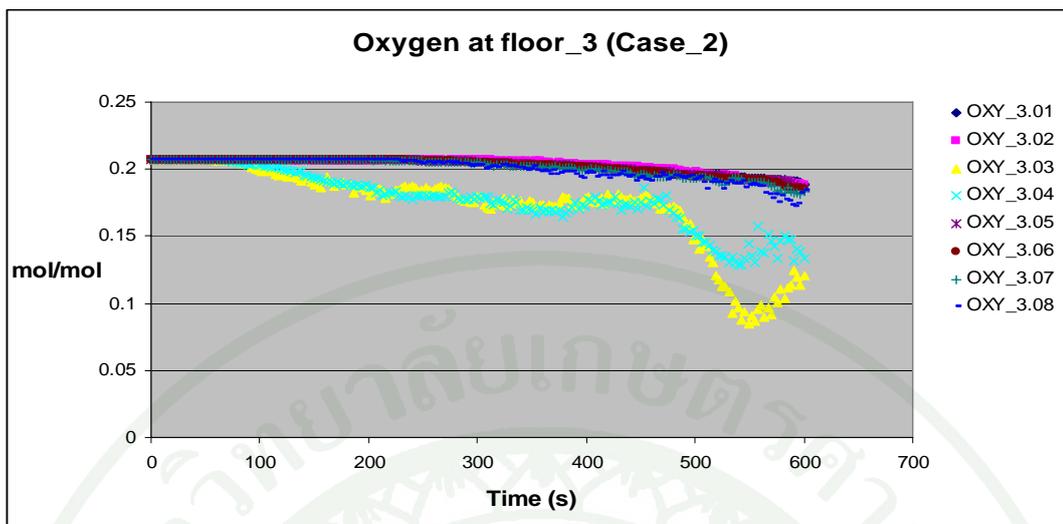
6.2 กรณีที่สองกราฟปริมาณออกซิเจน



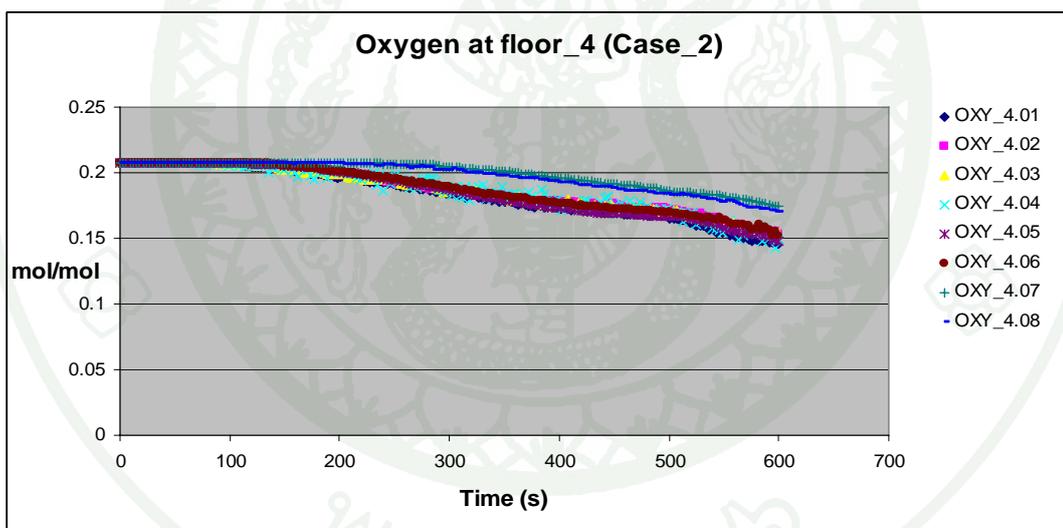
ภาพผนวกที่ ๖๖7 กราฟปริมาณออกซิเจนของชั้นที่ 1 กรณีที่สอง



ภาพผนวกที่ ๖๖8 กราฟปริมาณออกซิเจนของชั้นที่ 2 กรณีที่สอง

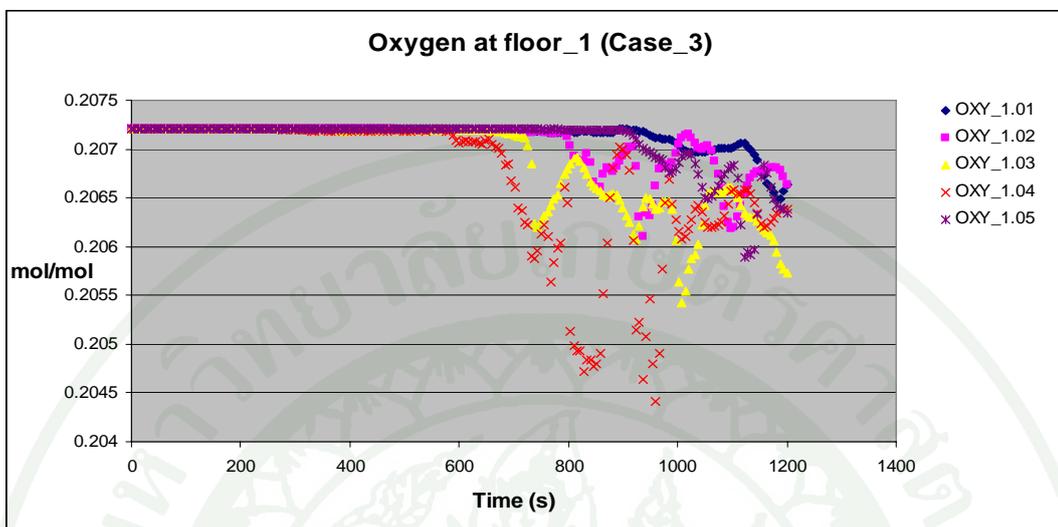


ภาพผนวกที่ ๖9 กราฟปริมาณออกซิเจนของชั้นที่ 3 กรณีที่สอง

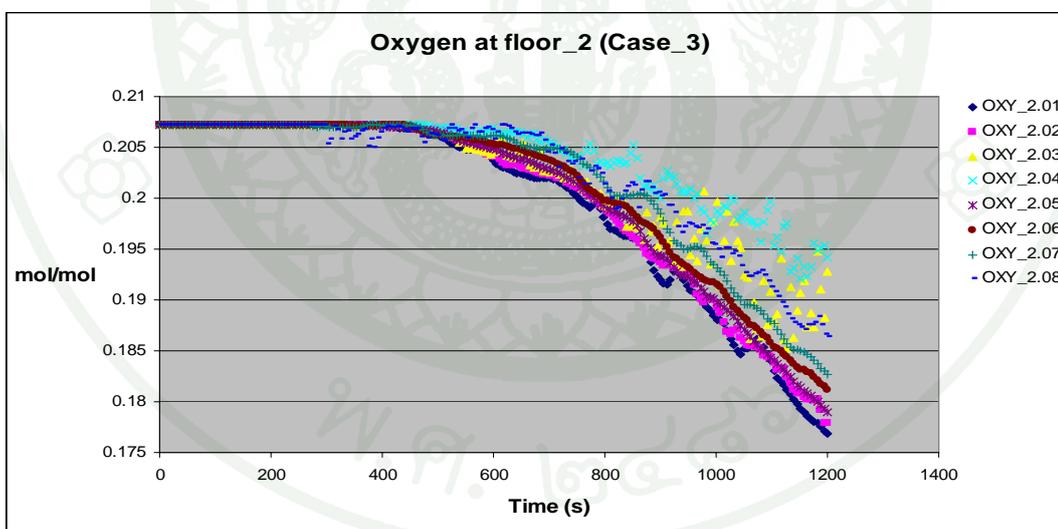


ภาพผนวกที่ ๖๗๐ กราฟปริมาณออกซิเจนของชั้นที่ 4 กรณีที่สอง

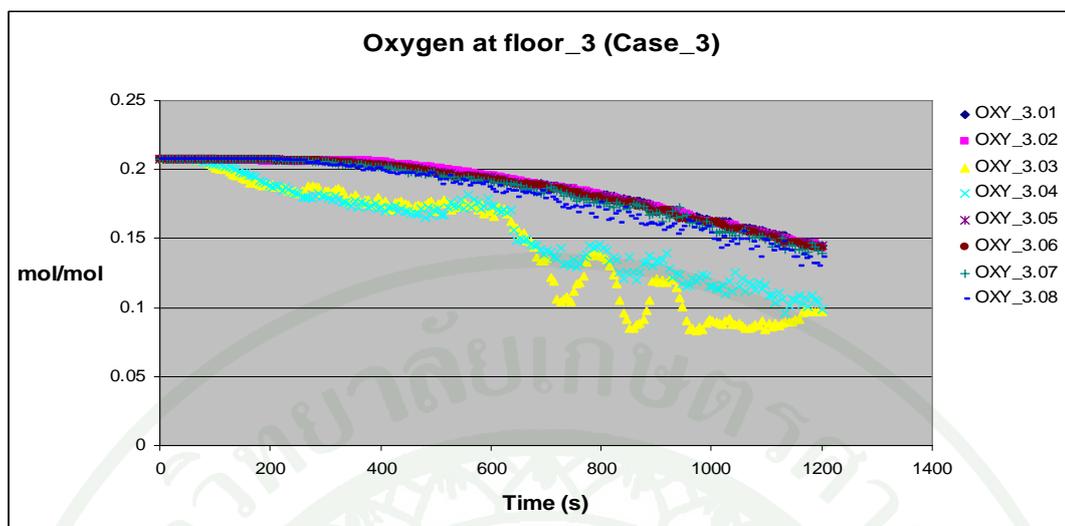
6.3 กรณีที่สามกราฟปริมาณออกซิเจน



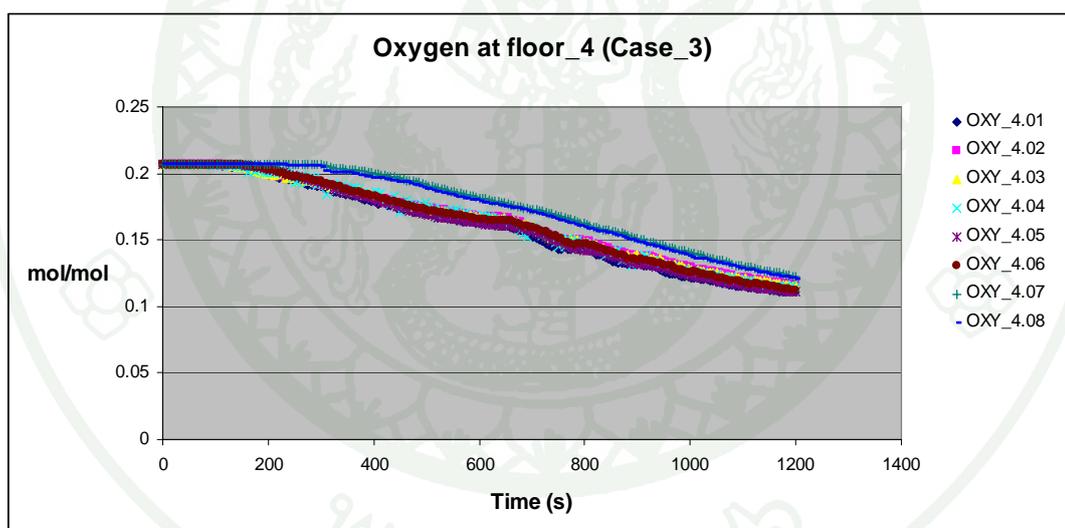
ภาพผนวกที่ ๗1 กราฟปริมาณออกซิเจนของชั้นที่ 1 กรณีที่สาม



ภาพผนวกที่ ๗2 กราฟปริมาณออกซิเจนของชั้นที่ 2 กรณีที่สาม

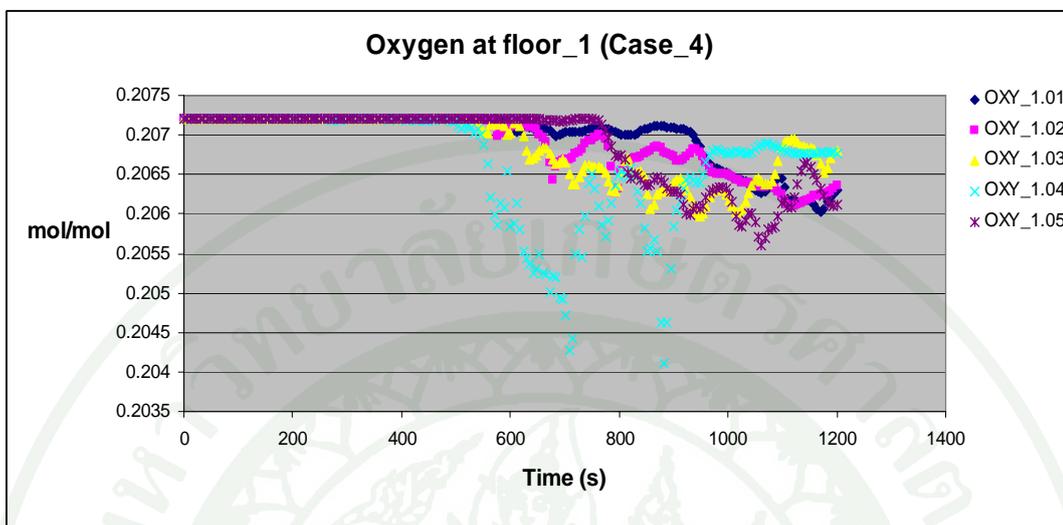


ภาพผนวกที่ ๗๓ กราฟปริมาณออกซิเจนของชั้นที่ 3 กรณีที่สาม

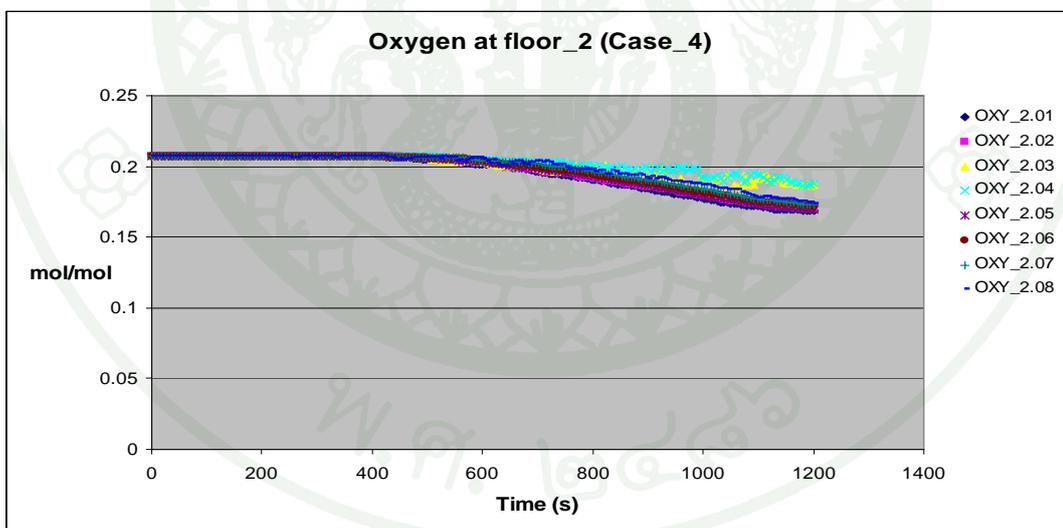


ภาพผนวกที่ ๗๔ กราฟปริมาณออกซิเจนของชั้นที่ 4 กรณีที่สาม

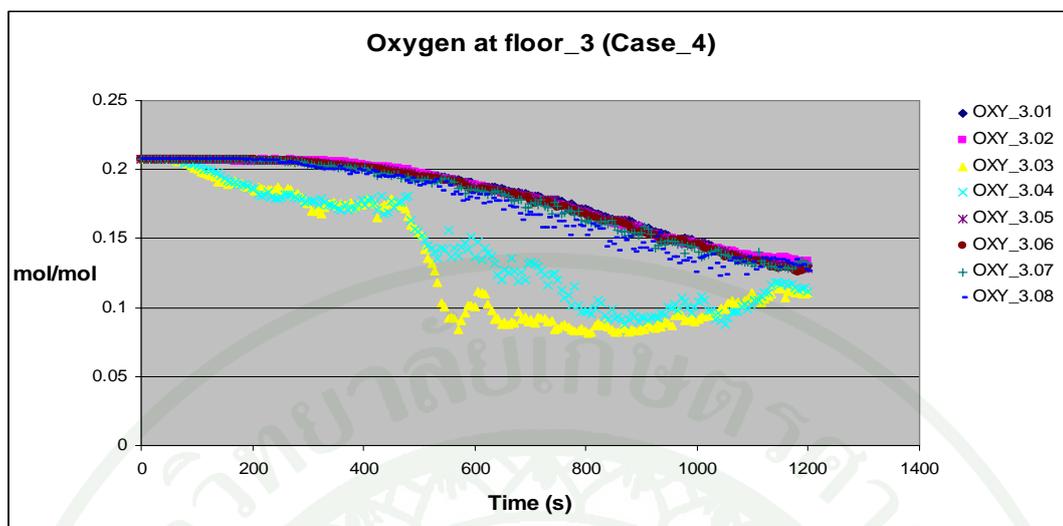
6.4 กรณีที่สี่กราฟปริมาณออกซิเจน



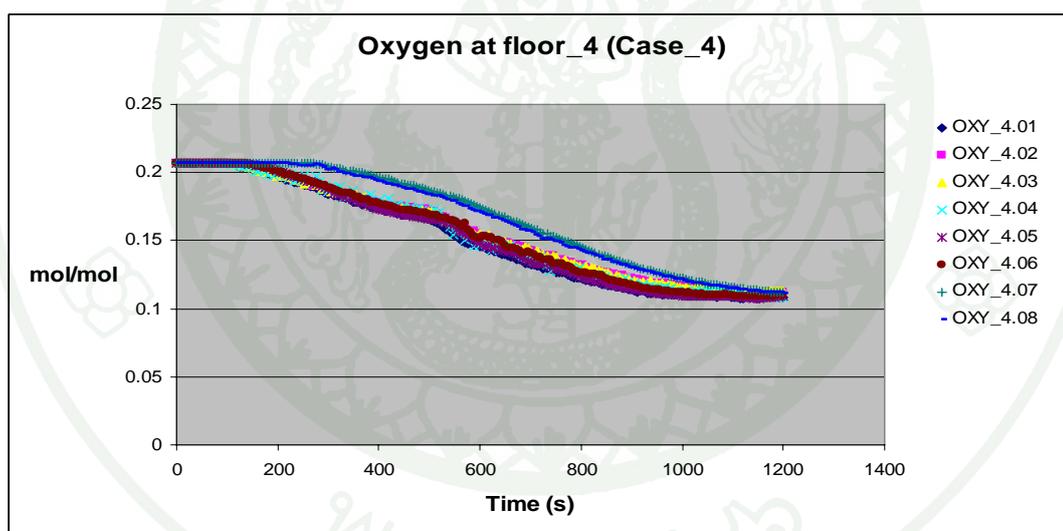
ภาพผนวกที่ 75 กราฟปริมาณออกซิเจนของชั้นที่ 1 กรณีที่สี่



ภาพผนวกที่ 76 กราฟปริมาณออกซิเจนของชั้นที่ 2 กรณีที่สี่



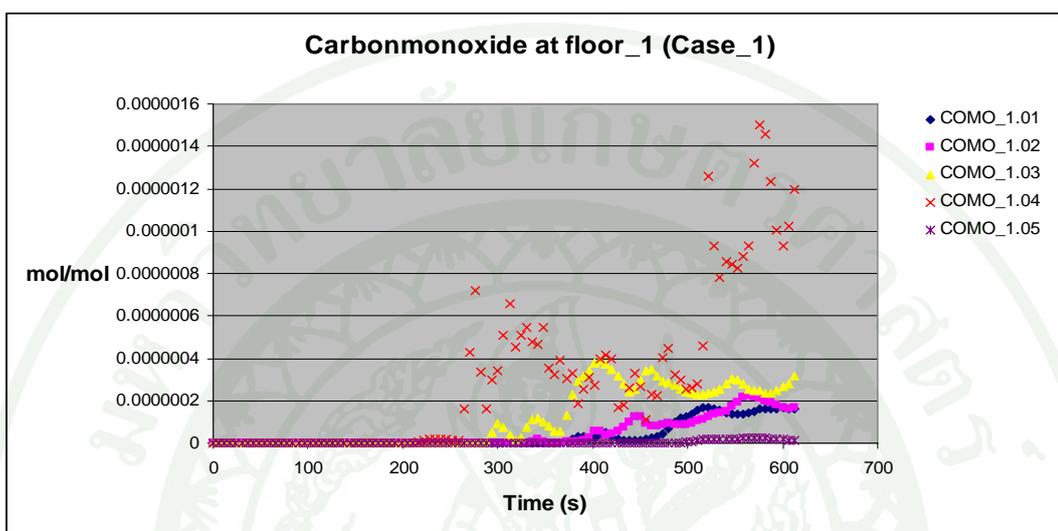
ภาพผนวกที่ ๗๗7 กราฟปริมาณออกซิเจนของชั้นที่ 3 กรณีที่สี่



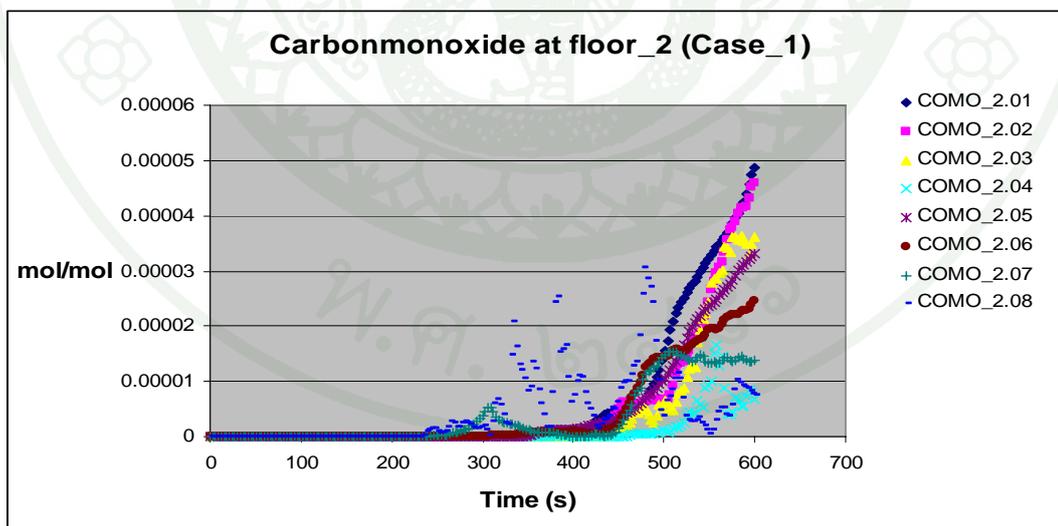
ภาพผนวกที่ ๗๗๘ กราฟปริมาณออกซิเจนของชั้นที่ 4 กรณีที่สี่

7. กราฟปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์

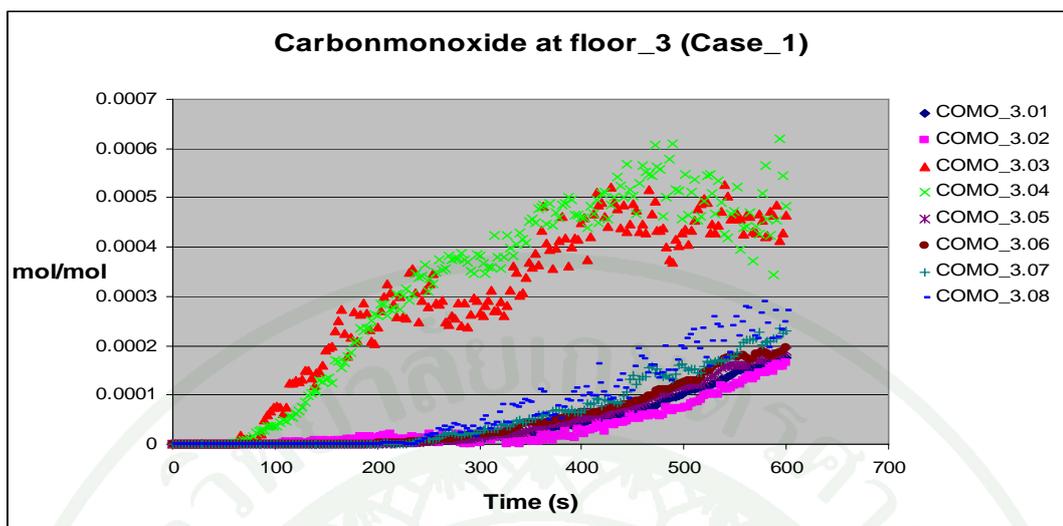
7.1 กรณีที่หนึ่งกราฟปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์



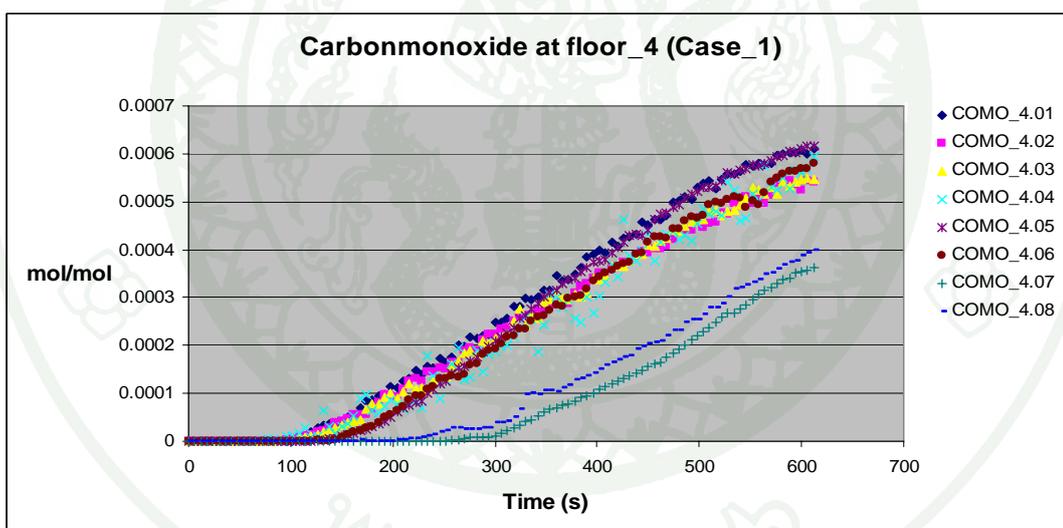
ภาพผนวกที่ ๗9 กราฟปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ของชั้นที่ 1 กรณีที่หนึ่ง



ภาพผนวกที่ ๗80 กราฟปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ของชั้นที่ 2 กรณีที่หนึ่ง

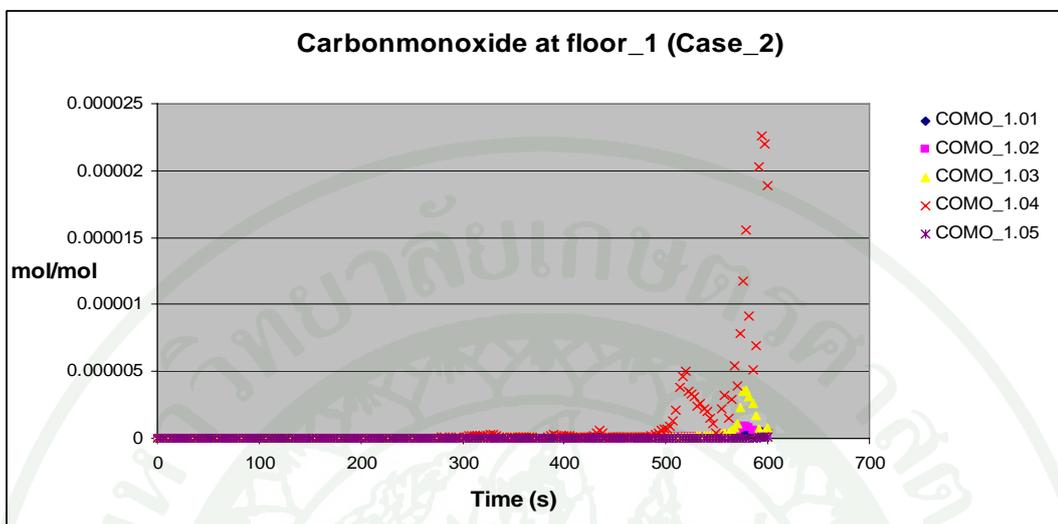


ภาพผนวกที่ ๓81 กราฟปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ของชั้นที่ 3 กรณีที่หนึ่ง

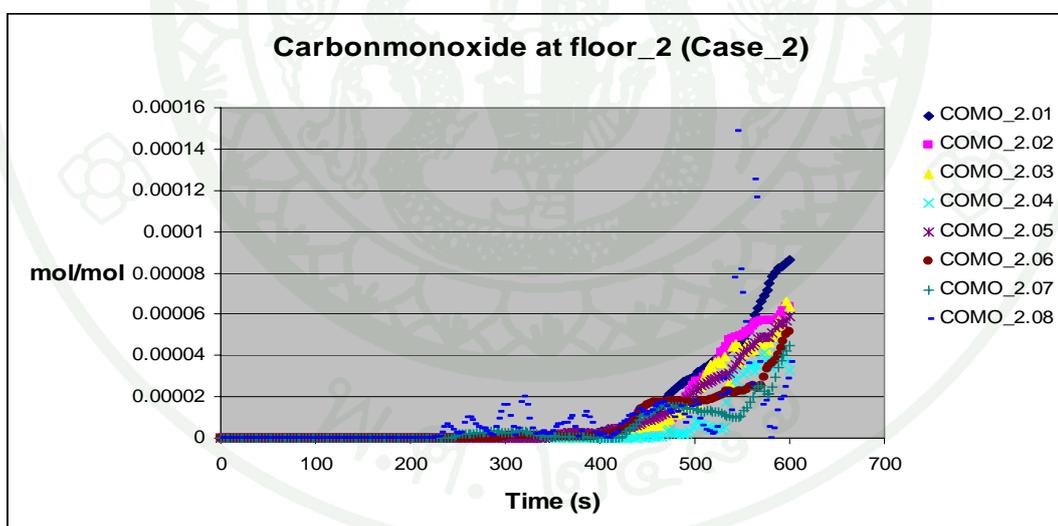


ภาพผนวกที่ ๓82 กราฟปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ของชั้นที่ 4 กรณีที่หนึ่ง

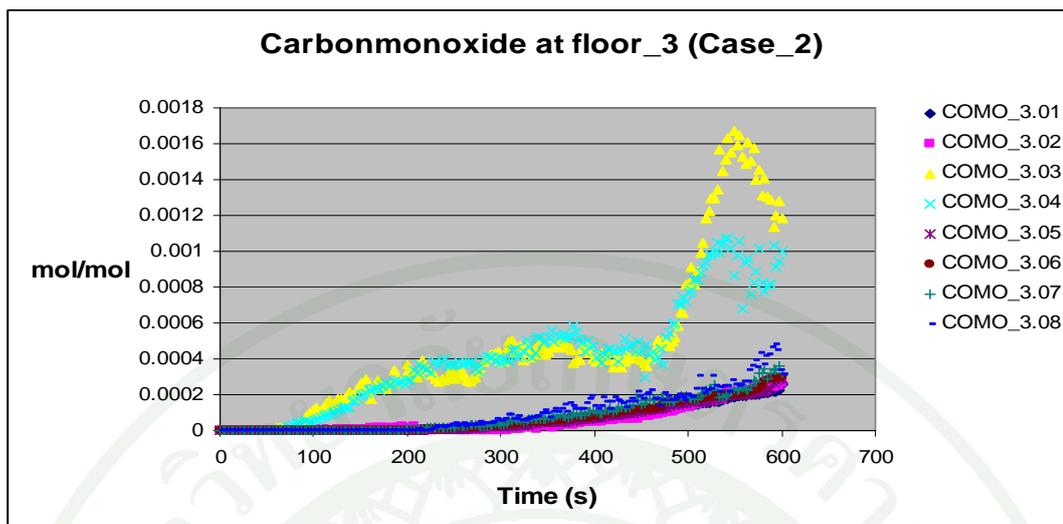
7.2 กรณีที่สองกราฟปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์



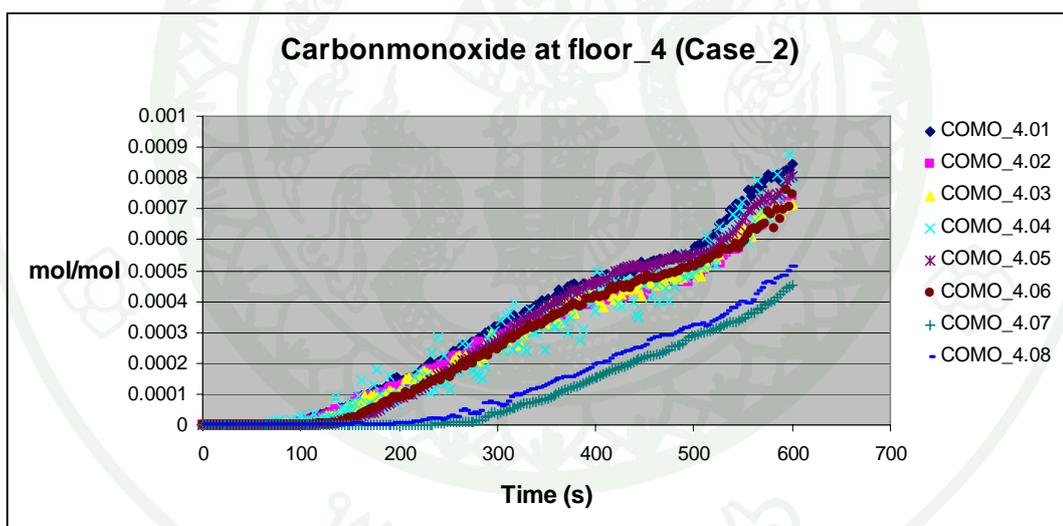
ภาพผนวกที่ ๘๓ กราฟปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ของชั้นที่ 1 กรณีที่สอง



ภาพผนวกที่ ๘๔ กราฟปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ของชั้นที่ 2 กรณีที่สอง

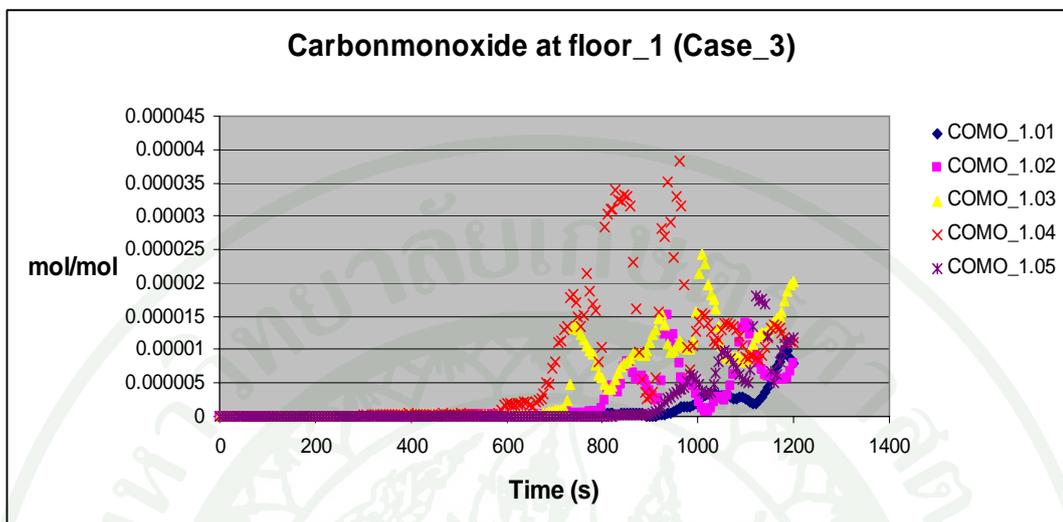


ภาพผนวกที่ ๓85 กราฟปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ของชั้นที่ 3 กรณีที่สอง

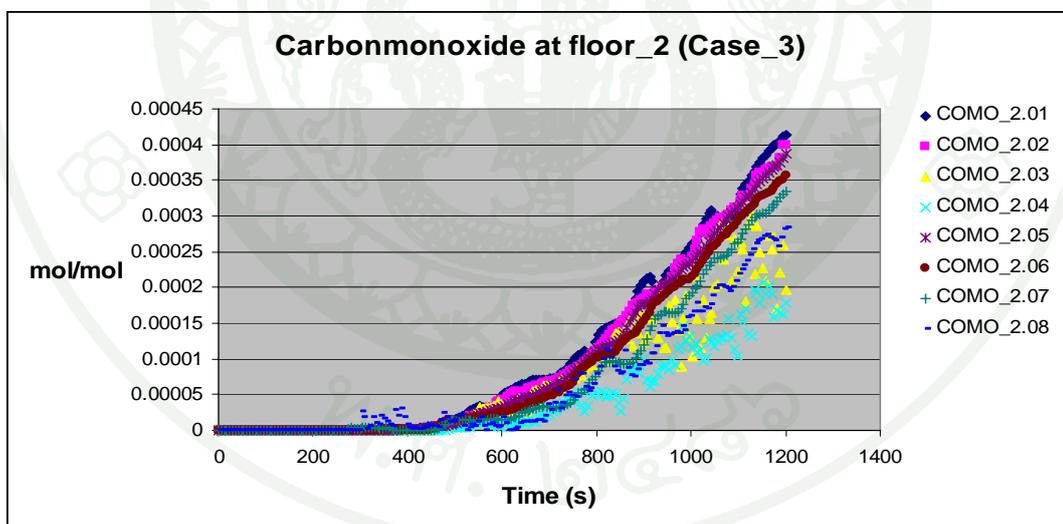


ภาพผนวกที่ ๓86 กราฟปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ของชั้นที่ 4 กรณีที่สอง

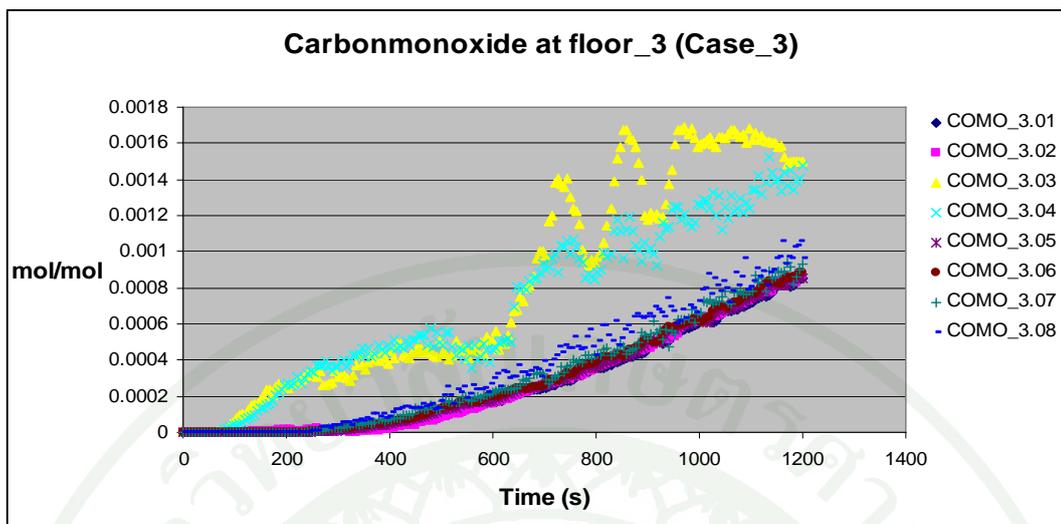
7.3 กรณีที่สามกราฟปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์



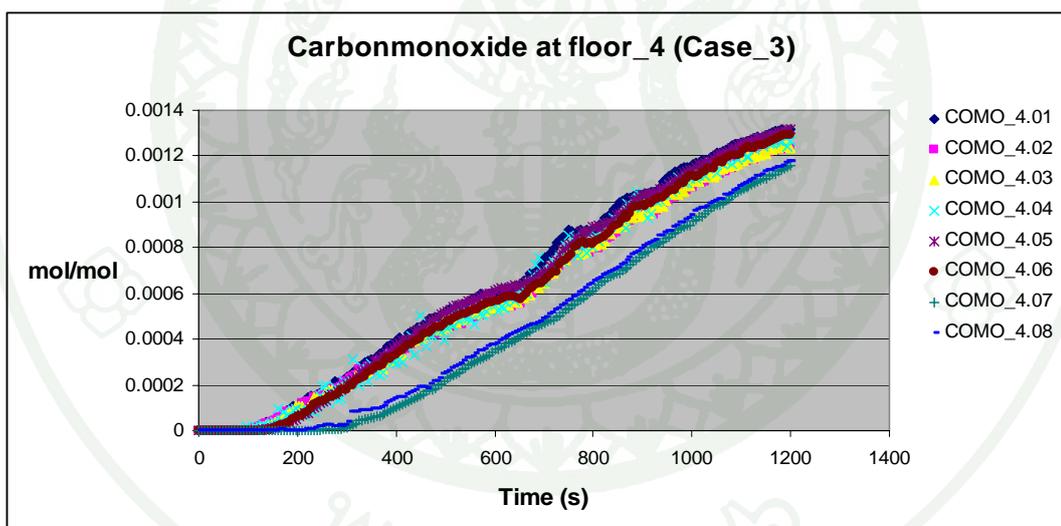
ภาพผนวกที่ ๓87 กราฟปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ของชั้นที่ 1 กรณีที่สาม



ภาพผนวกที่ ๓88 กราฟปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ของชั้นที่ 2 กรณีที่สาม

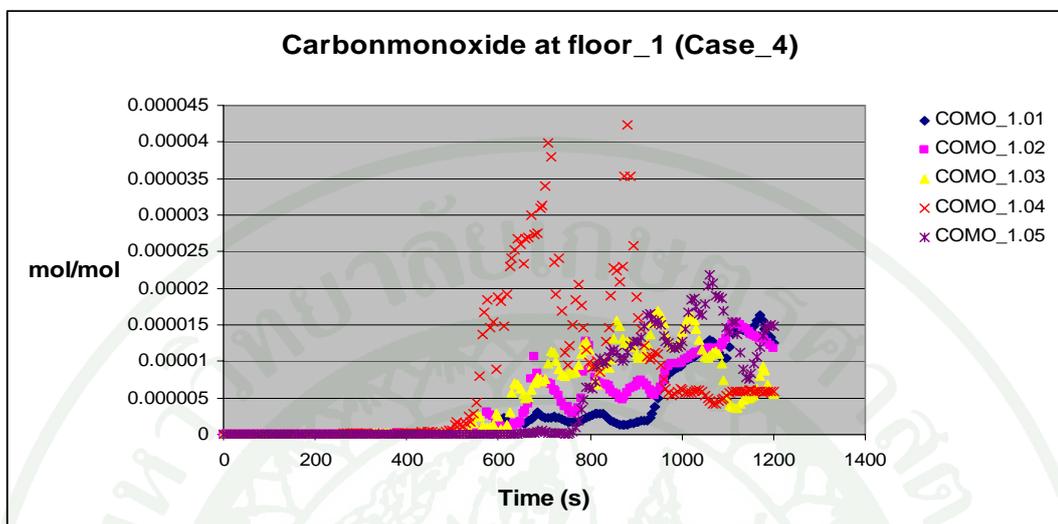


ภาพผนวกที่ ๓๘๙ กราฟปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ของชั้นที่ 3 กรณีที่สาม

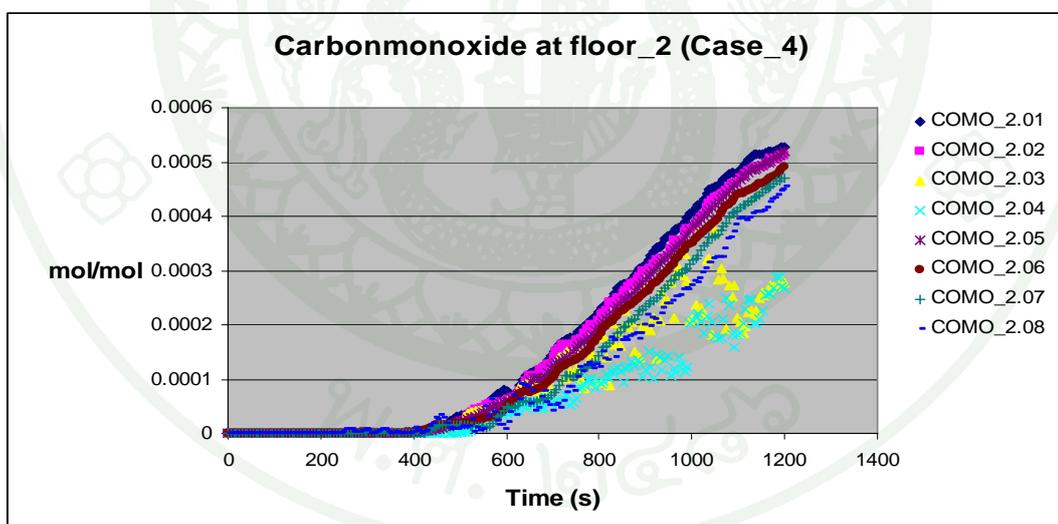


ภาพผนวกที่ ๓๙๐ กราฟปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ของชั้นที่ 4 กรณีที่สาม

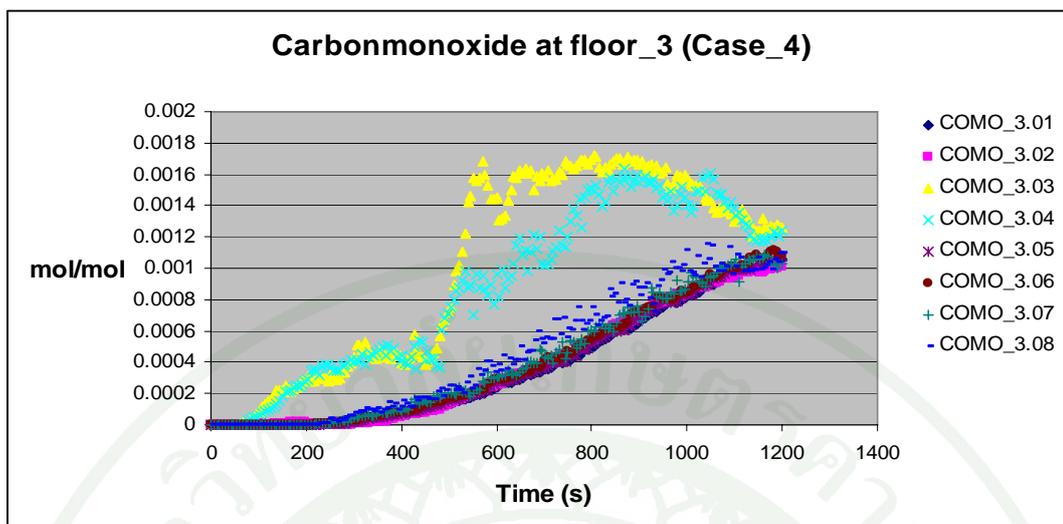
7.4 กรณีที่สี่กราฟปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์



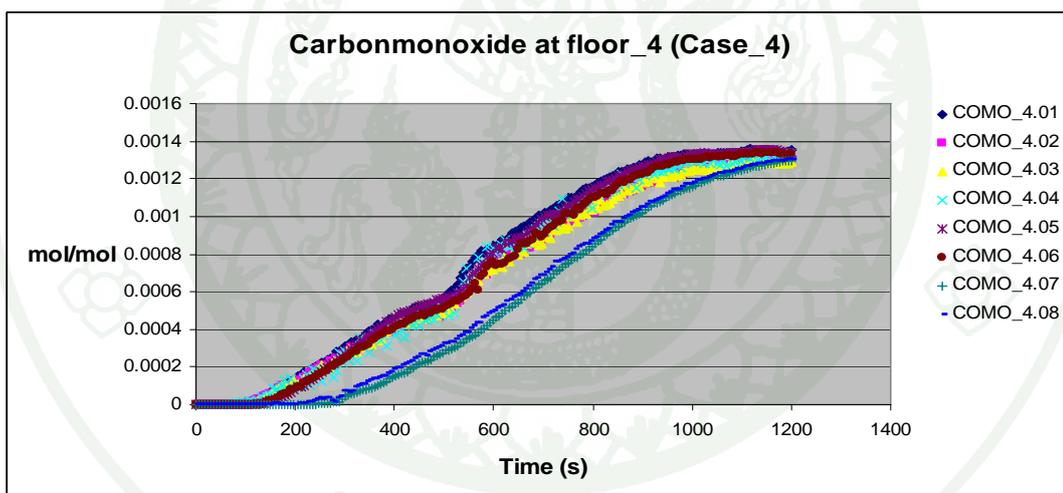
ภาพผนวกที่ ๑91 กราฟปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ของชั้นที่ 1 กรณีที่สี่



ภาพผนวกที่ ๑92 กราฟปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ของชั้นที่ 2 กรณีที่สี่

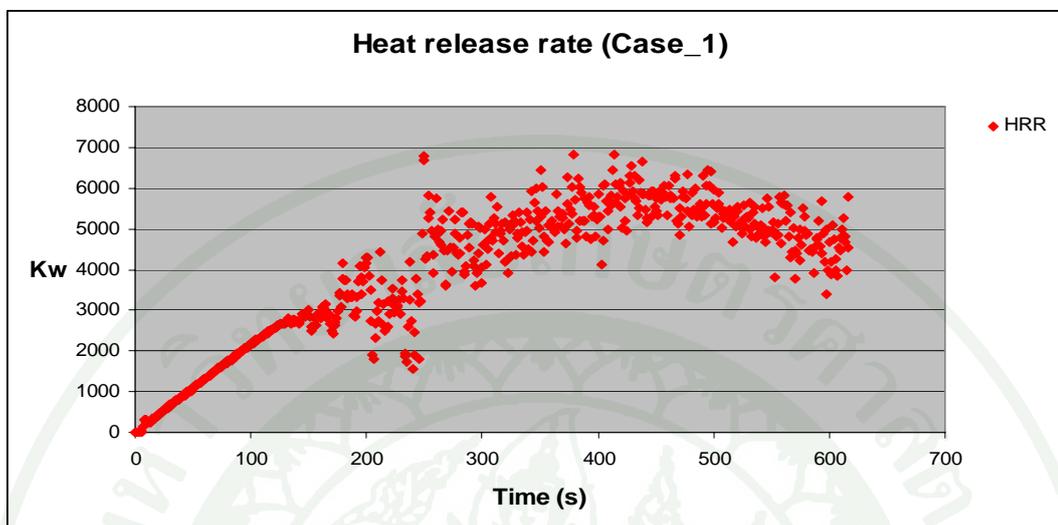


ภาพผนวกที่ 93 กราฟปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ของชั้นที่ 3 กรณีที่สี่

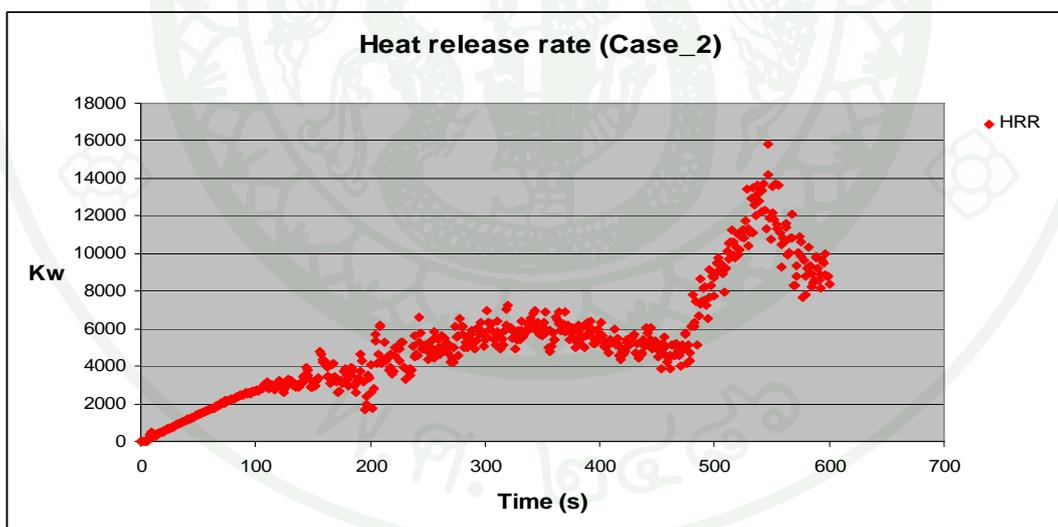


ภาพผนวกที่ 94 กราฟปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ของชั้นที่ 4 กรณีที่สี่

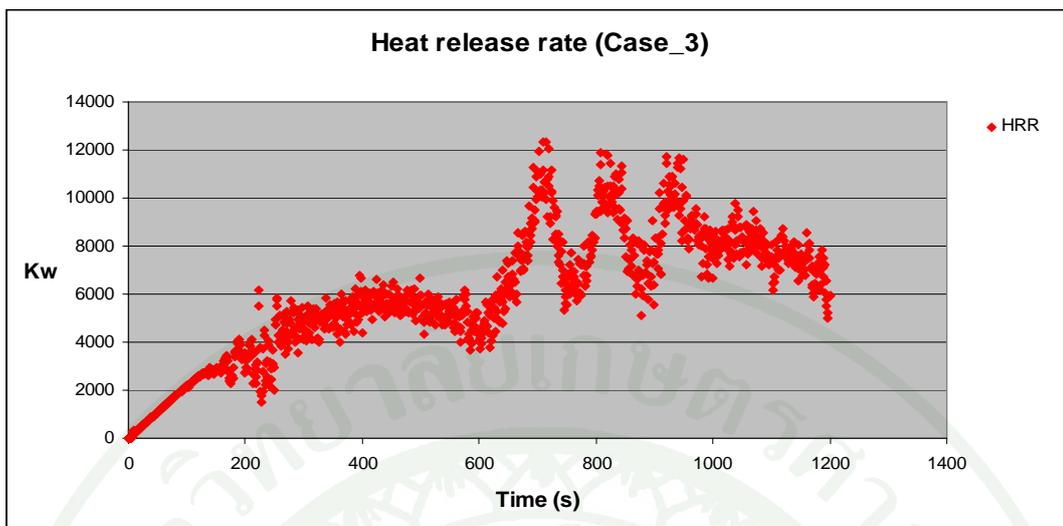
8. กราฟอัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อน



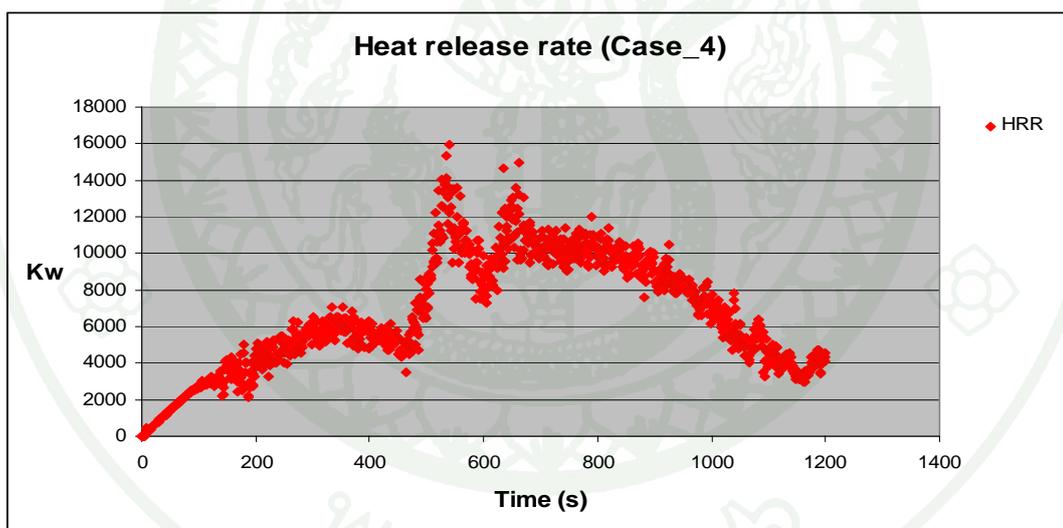
ภาพผนวกที่ 95 กราฟอัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนกรณีทีหนึ่ง



ภาพผนวกที่ 96 กราฟอัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนกรณีที่สอง



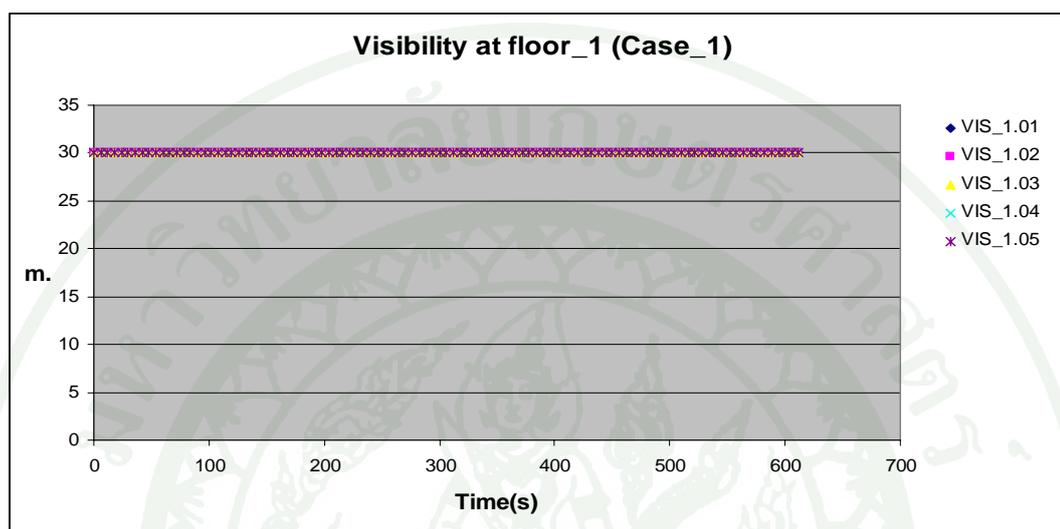
ภาพผนวกที่ ๙๗ กราฟอัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนกรณีที่สาม



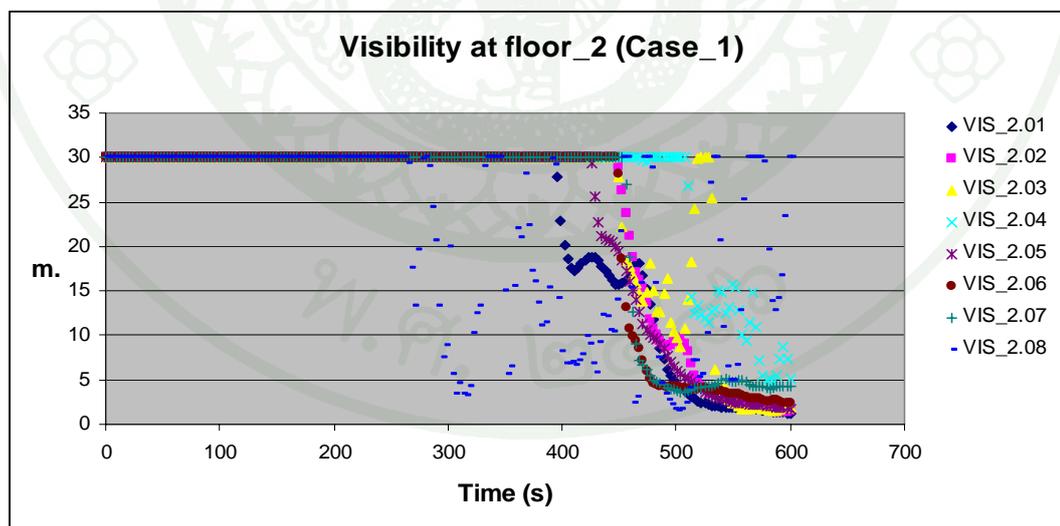
ภาพผนวกที่ ๙๘ กราฟอัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนกรณีที่สี่

9. กราฟค่าความสามารถในการมองเห็นของผู้อพยพ

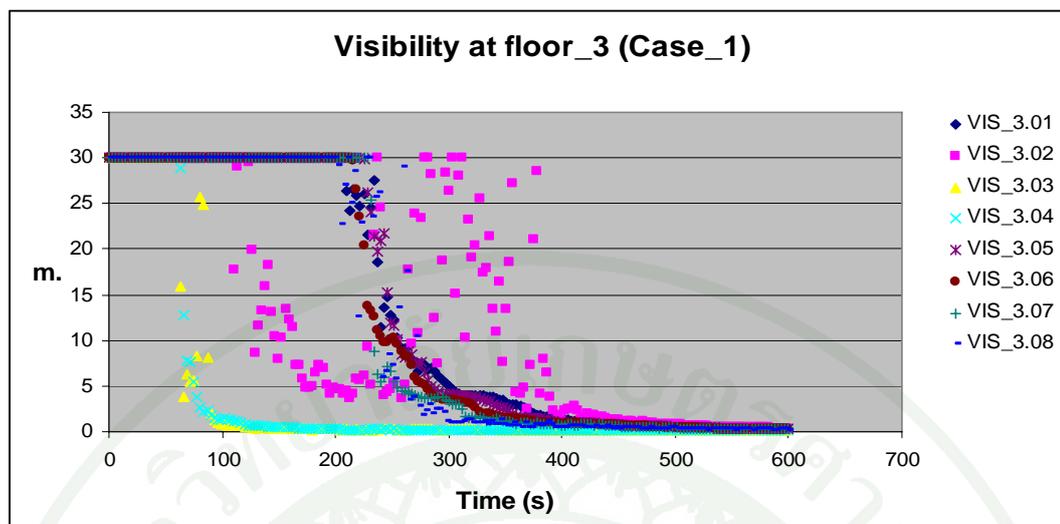
9.1 กรณีที่หนึ่งกราฟค่าความสามารถในการมองเห็น



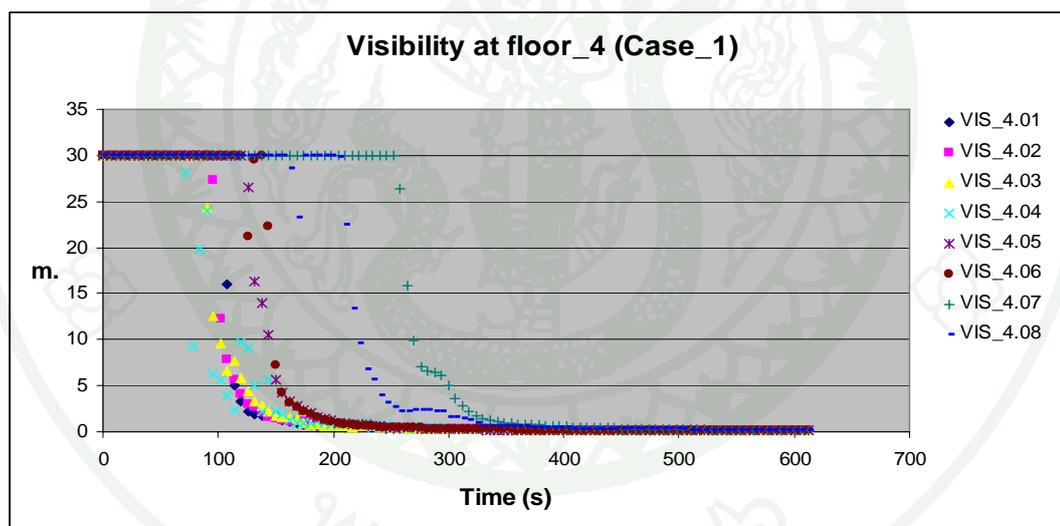
ภาพผนวกที่ 99 กราฟค่าความสามารถในการมองเห็นชั้นที่ 1 กรณีที่หนึ่ง



ภาพผนวกที่ 100 กราฟค่าความสามารถในการมองเห็นชั้นที่ 2 กรณีที่หนึ่ง

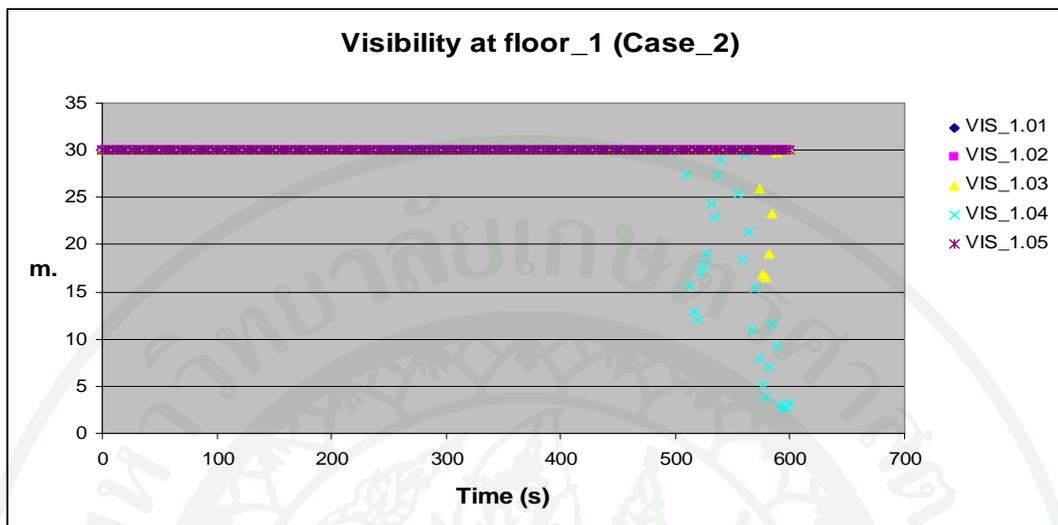


ภาพผนวกที่ 101 กราฟค่าความสามารถในการมองเห็นชั้นที่ 3 กรณีที่หนึ่ง

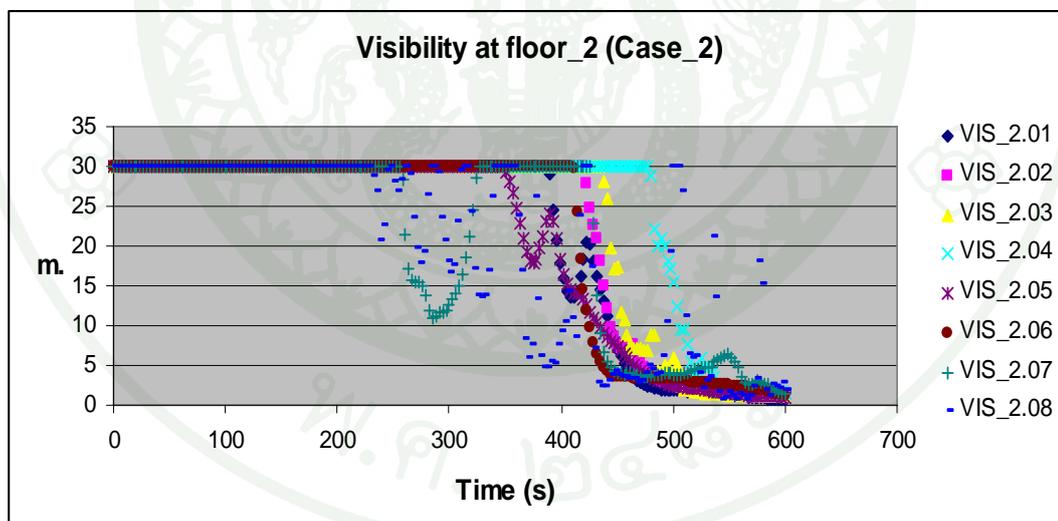


ภาพผนวกที่ 102 กราฟค่าความสามารถในการมองเห็นชั้นที่ 4 กรณีที่หนึ่ง

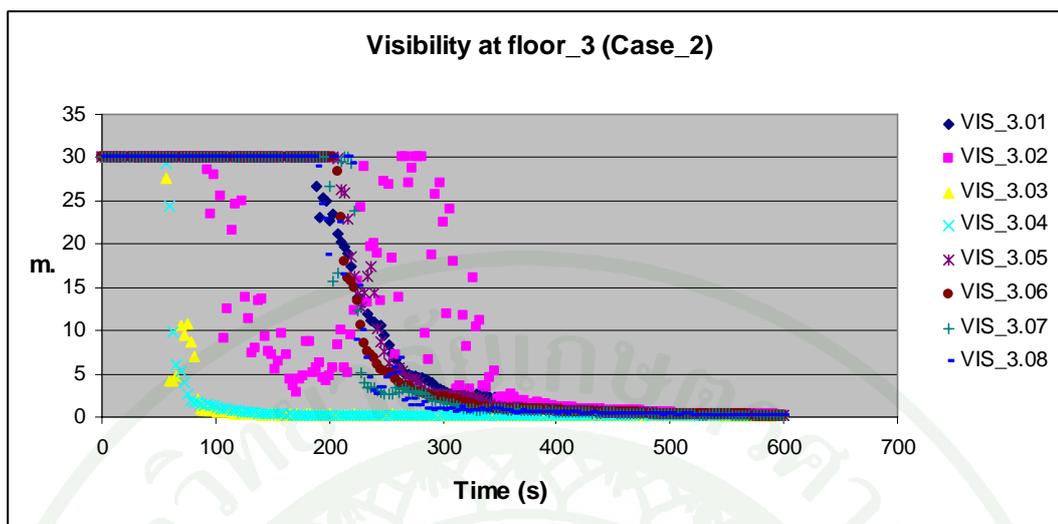
9.2 กรณีที่สองกราฟค่าความสามารถในการมองเห็น



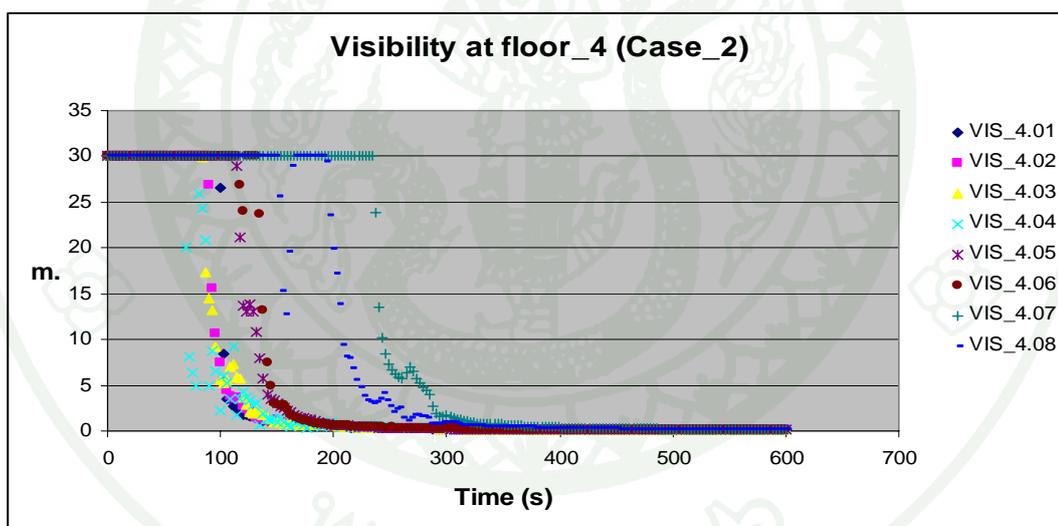
ภาพผนวกที่ 103 กราฟค่าความสามารถในการมองเห็นชั้นที่ 1 กรณีที่สอง



ภาพผนวกที่ 104 กราฟค่าความสามารถในการมองเห็นชั้นที่ 2 กรณีที่สอง

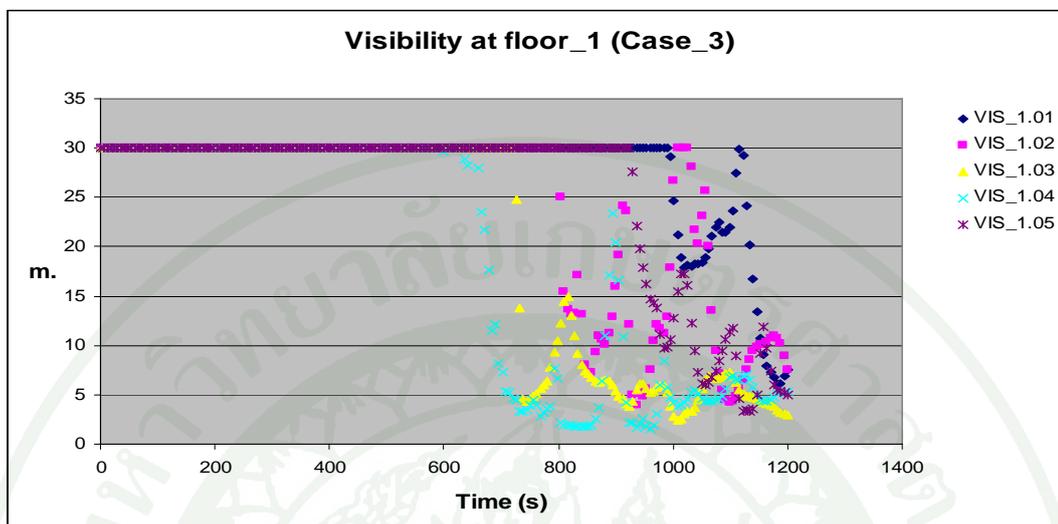


ภาพผนวกที่ 105 กราฟค่าความสามารถในการมองเห็นชั้นที่ 3 กรณีที่สอง

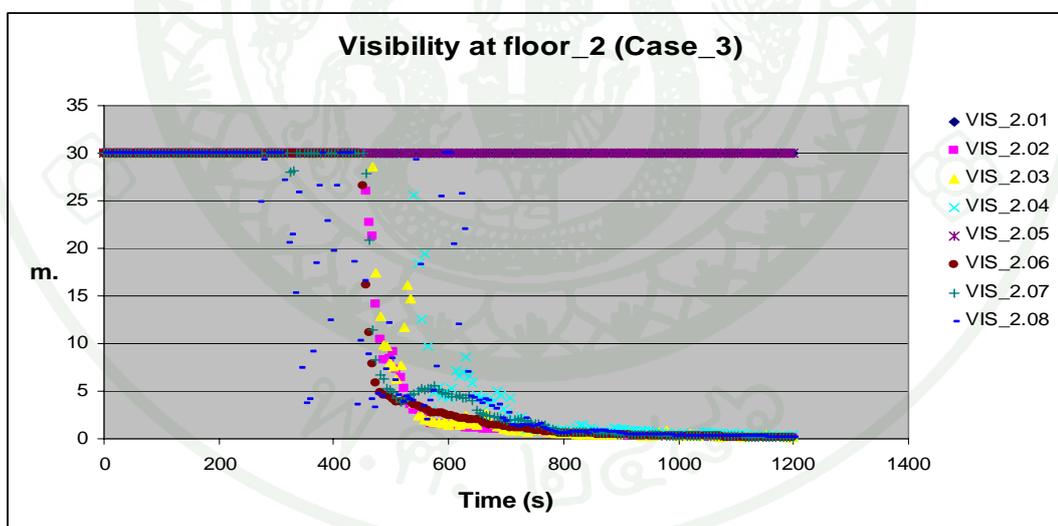


ภาพผนวกที่ 106 กราฟค่าความสามารถในการมองเห็นชั้นที่ 4 กรณีที่สอง

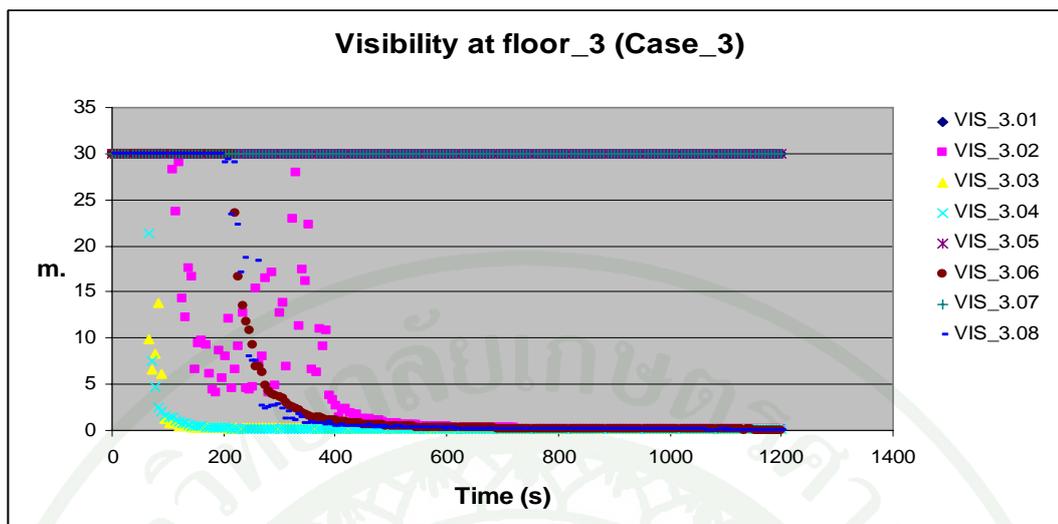
9.3 กรณีที่สามกราฟค่าความสามารถในการมองเห็น



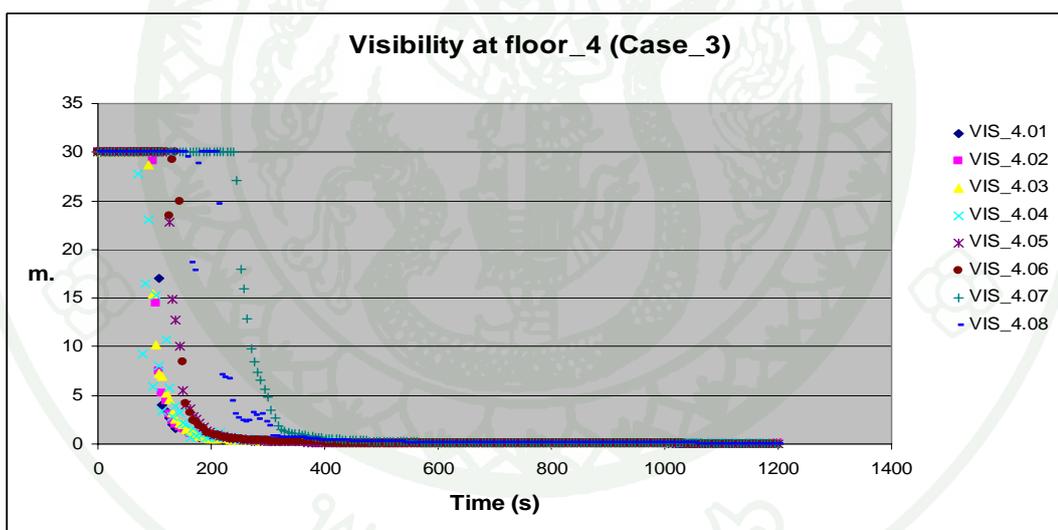
ภาพผนวกที่ 107 กราฟค่าความสามารถในการมองเห็นชั้นที่ 1 กรณีที่สาม



ภาพผนวกที่ 108 กราฟค่าความสามารถในการมองเห็นชั้นที่ 2 กรณีที่สาม

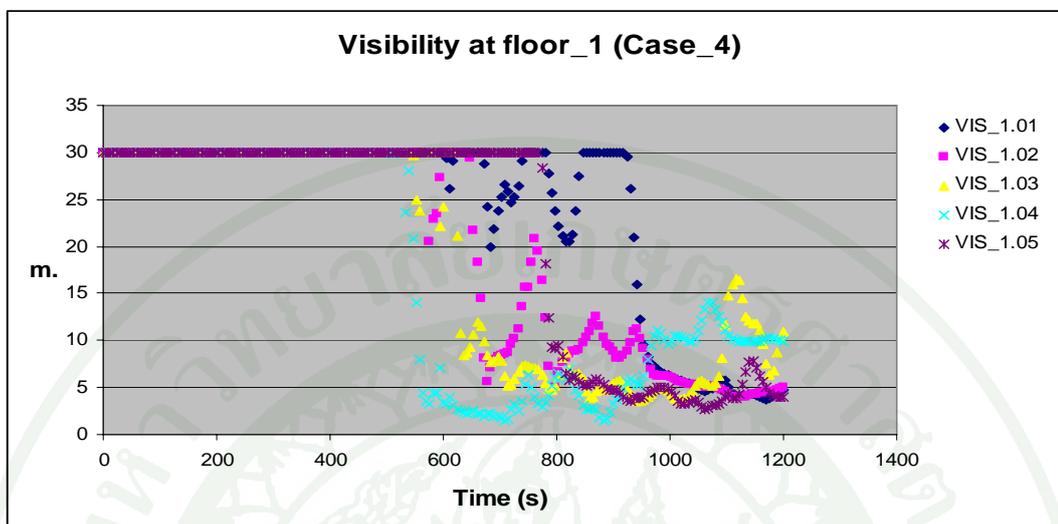


ภาพผนวกที่ 109 กราฟค่าความสามารถในการมองเห็นชั้นที่ 3 กรณีที่สาม

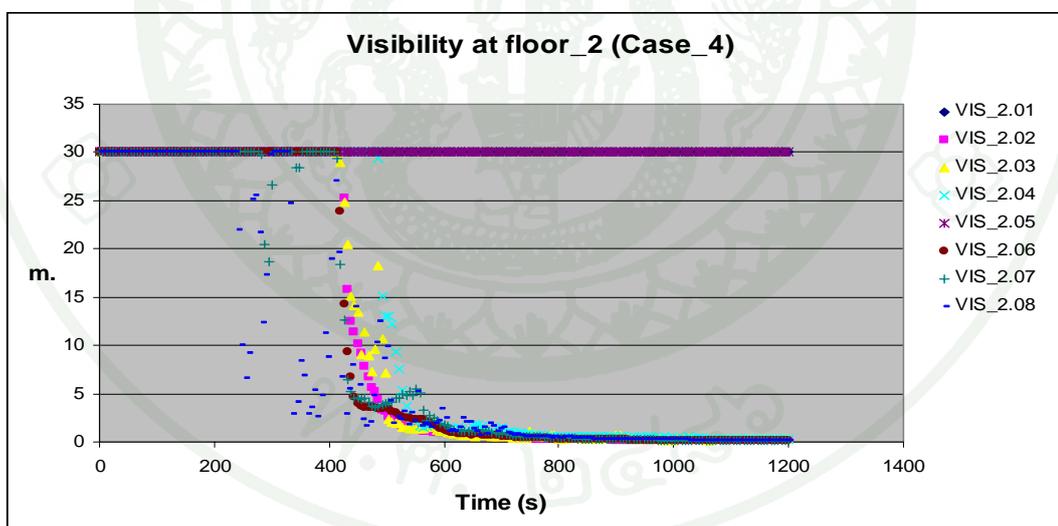


ภาพผนวกที่ 110 กราฟค่าความสามารถในการมองเห็นชั้นที่ 4 กรณีที่สาม

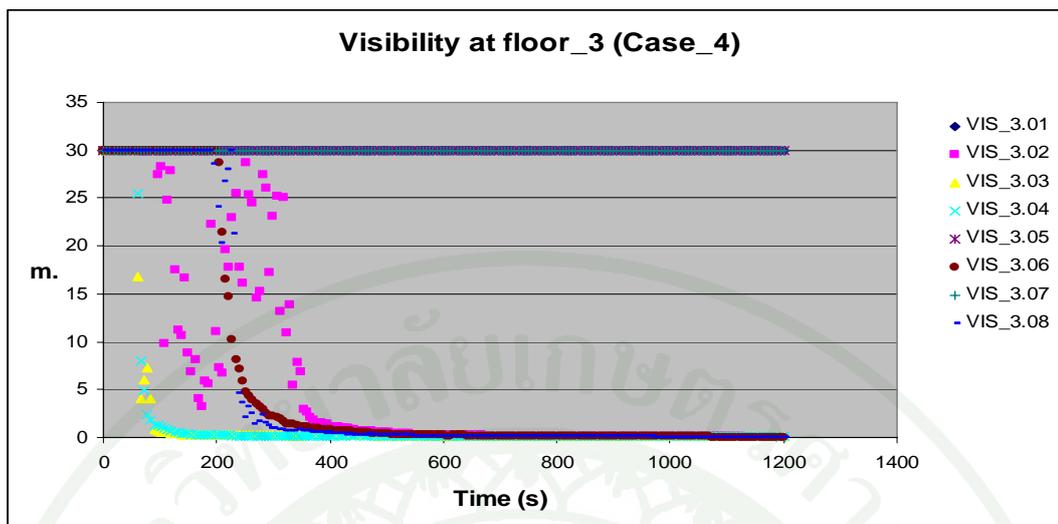
9.4 กรณีที่สี่ กราฟค่าความสามารถในการมองเห็น



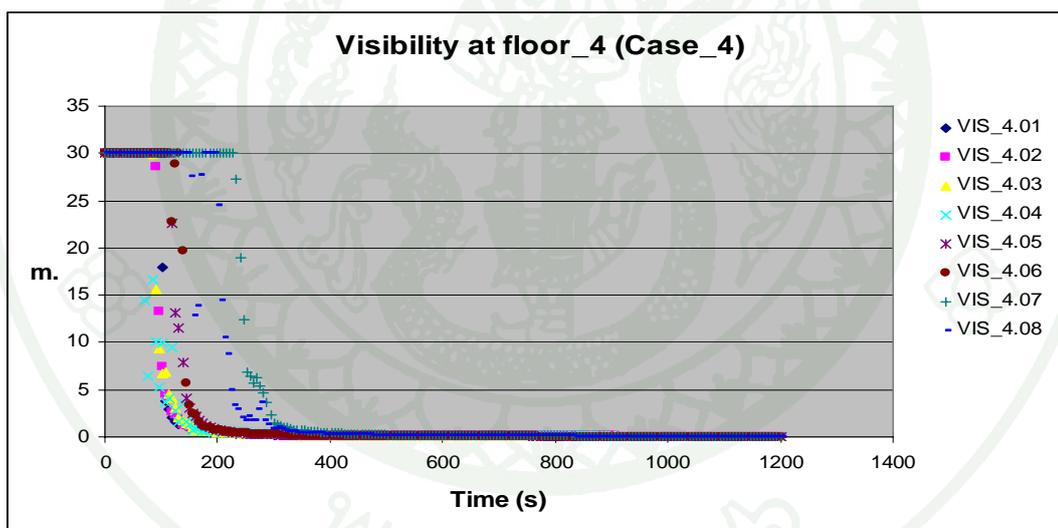
ภาพผนวกที่ 111 กราฟค่าความสามารถในการมองเห็นชั้นที่ 1 กรณีที่สี่



ภาพผนวกที่ 112 กราฟค่าความสามารถในการมองเห็นชั้นที่ 2 กรณีที่สี่



ภาพผนวกที่ 113 กราฟค่าความสามารถในการมองเห็นชั้นที่ 3 กรณีที่สี่



ภาพผนวกที่ 114 กราฟค่าความสามารถในการมองเห็นชั้นที่ 4 กรณีที่สี่

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นายวิทวูธ จิระสิงห์
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 8 ธันวาคม 2522
สถานที่เกิด	อำเภอเมือง จังหวัดฉะเชิงเทรา
ประวัติการศึกษา	วศ.บ. (เกษตรศาสตร์) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	บริษัท ชัมมิต ออโต้ซีท อินดัสตรี (พ.ศ.2546-2552)
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-
E-mail	witwut@gmail.com