



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย)

ปริญญา

วิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย

วิศวกรรมศาสตร์

สาขา

คณะ

เรื่อง การศึกษาการระบายควันไฟในโถงสูงอาคารนวัตกรรมการจัดการและการท่องเที่ยว
มหาวิทยาลัยบูรพา จังหวัดชลบุรี ด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลข

A Numerical Simulation of Atrium Smoke Ventilation in the New Building of
Faculty of Management and Tourism Burapha University at Chon Buri Province

นามผู้วิจัย นายวีรุต หงษ์ทอง

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์สุรัช รดาการ, Ph.D.)

ประธานสาขาวิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ณัฐศักดิ์ บุญมี, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญจนา วีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

สิงสีทจี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การศึกษาการระบายควันไฟในโถงสูงอาคารนวัตกรรมการจัดการและการท่องเที่ยว
มหาวิทยาลัยบูรพา จังหวัดชลบุรี ด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลข

A Numerical Simulation of Atrium Smoke Ventilation in the New Building of Faculty of
Management and Tourism Burapha University at Chon Buri Province

โดย

นายวีรุต หงษ์ทอง

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย)

พ.ศ. 2557

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วีรวิทย์ หงษ์ทอง 2557: การศึกษาการระบายควันไฟในโรงสูงอาคารนวัตกรรมการจัดการและการ
ท่องเที่ยว มหาวิทยาลัยบูรพา จังหวัดชลบุรี ด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลข ปรินญาวิศวกรรมศาสตร
มหาบัณฑิต (วิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย) สาขาวิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ อาจารย์ที่
ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์สุรัชย์ รดาการ, Ph.D. 195 หน้า

วิทยานิพนธ์นี้เสนอผลการศึกษาการระบายควันไฟในโรงสูงอาคารนวัตกรรมการจัดการและการ
ท่องเที่ยว มหาวิทยาลัยบูรพา จังหวัดชลบุรี ด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลขโดยใช้โปรแกรม Fire Dynamics Simulator
(FDS) การวิจัยทำโดยจำลองการเผาไหม้ของเปลวไฟ 3 ขนาด ได้แก่ 2.2 7.1 และ 14.2 MW โดยกำหนดให้เพลิง
เกิดขึ้นบริเวณพื้นกลางของ atrium บนพื้นที่ชั้น 1 ของอาคาร การจำลองได้ศึกษาพฤติกรรมและการแพร่กระจายของควัน
ไฟภายในอาคารโดยแบ่งกลุ่มการจำลองเป็น 24 กรณีย่อยสำหรับ 6 กรณีหลักคือ 1. กรณีที่อาคารไม่มีระบบ
ควบคุมควันไฟติดตั้งอยู่เลย 2. กรณีที่อาคารติดตั้งระบบควบคุมควันไฟโดยวิธีทางกลเพียงอย่างเดียว 3. การหา
อัตราการระบายควันที่เหมาะสมกรณีอาคารติดตั้งระบบควบคุมควันไฟโดยวิธีทางกลและติดตั้งบ่อกักควันร่วมกัน
4. กรณีที่อาคารติดตั้งระบบควบคุมควันไฟโดยวิธีทางกลและติดตั้งบ่อกักควันและปิดหน้าต่างด้านหลังอาคาร 5.
กรณีที่อาคารติดตั้งระบบควบคุมควันไฟโดยวิธีทางกลและติดตั้งบ่อกักควันและติดตั้งม่านกันควัน 6. กรณีที่อาคาร
ติดตั้งระบบควบคุมควันไฟโดยวิธีทางกลและติดตั้งบ่อกักควันและติดตั้งม่านกันควันและปิดหน้าต่างด้านหลัง
อาคาร

ผลจากการจำลองแสดงให้เห็นว่า ถ้าพิจารณาเฉพาะอันตรายจากก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ตามมาตรฐาน
NFPA 130, 2007 edition อาจไม่มีความจำเป็นที่จะต้องติดตั้งระบบควบคุมควันไฟภายในอาคารสำหรับกองเพลิง
ทุกขนาด แต่ถ้าพิจารณาถึงอุณหภูมิในช่องทางเดินไปสู่ทางหนีไฟในทุกชั้นของอาคารแล้ว สำหรับกรณีที่อาคาร
ไม่มีระบบควบคุมควันไฟติดตั้งอยู่เลย จะมีเฉพาะสำหรับเฉพาะกองเพลิงขนาด 2.2 MW เท่านั้นที่อุณหภูมิเฉลี่ย
บริเวณช่องทางเดินไปสู่ทางหนีไฟยังคงมีค่าต่ำกว่า 49 องศาเซลเซียสซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ยอมรับได้สูงสุดได้ตาม
ภาคผนวก B ของมาตรฐาน NFPA 130, 2007 edition แต่เมื่อทำการติดตั้งระบบระบายควันทางกลเข้าไปแล้ว ควัน
ไฟจะถูกระบายออกจากอาคารทำให้กองเพลิงขนาด 7.1 MW มีอุณหภูมิเฉลี่ยภายในช่องทางเดินไปสู่ทางหนีไฟ
ต่ำกว่า 49 องศาเซลเซียส ส่วนสำหรับกองเพลิงขนาด 14.2 MW จะต้องติดตั้งบ่อกักควันร่วมกับระบบระบายควัน
ทางกลด้วย อุณหภูมิเฉลี่ยภายในช่องทางเดินไปสู่ทางหนีไฟจึงจะต่ำกว่า 49 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ยังพบว่าทุก
ขนาดกองเพลิงแม้จะติดตั้งระบบระบายควันทางกลร่วมกับบ่อกักควันแล้วแต่จะยังมียังมีควันไฟแพร่กระจายไปปก
คลุมทางเดินไปสู่ทางหนีไฟตั้งแต่ชั้น 2 ถึง 6 ซึ่งจะป้องกันได้โดยการติดตั้งม่านกันควันที่ชั้น 2 ถึง 6 รวมด้วย

Weerawuth Hongthong 2014: A Numerical Simulation of Atrium Smoke Ventilation in the New Building of Faculty of Management and Tourism Burapha University at Chon Buri Province. Master of Engineering (Fire Protection Engineering), Major Field: Fire Protection Engineering, Faculty of Engineering. Thesis Advisor: Associate Professor Surachai Radagan, Ph.D. 195 pages.

This thesis presents a numerical simulation of atrium smoke ventilation in the new building of the Faculty of Management and Tourism, Burapha University, Chon Buri province, by using Fire Dynamics Simulator (FDS). The simulation was performed for 3 fire sizes: 2.2 MW, 7.1 MW, and 14.2 MW. The fire was placed on the first floor at the center of the atrium. The simulation was divided into 24 sub cases for 6 major cases: 1. No smoke exhaust system; 2. Mechanical smoke exhaust fan without smoke reservoir; 3. Suitable mechanical smoke exhaust fan flow rate for cases of exhaust system with smoke reservoir; 4. Mechanical smoke exhaust fan with smoke reservoir and closed windows; 5. Mechanical smoke exhaust fan with smoke reservoir and smoke curtain; 6. Mechanical smoke exhaust fan with smoke reservoir, smoke curtain and closed windows.

The numerical results show that: Firstly, it is found that the installation of smoke ventilation is not required for every size of simulated fire regarding the danger from carbon monoxide, according to NFPA 130, 2007 edition. Next, temperature in the corridor to fire exit on every floor: it is found that, firstly, For no smoke exhaust system, it is only with 2.2 MW fire where the average temperature in the corridor is still below 49°C, which is a safe temperature for occupants according to appendix B of NFPA 130, 2007 edition. Secondly, a mechanical smoke exhaust system is required for buildings with 7.1 MW fires, to encourage the average temperature in the corridor to be below 49°C. Lastly, both a mechanical smoke exhaust system and a smoke reservoir are required in buildings with a 14.2 MW fire to achieve a safe temperature below 49°C in the corridor. A smoke curtain is still required to be installed from the second floor to the sixth floor in order to prevent the spread of smoke.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สุรัชย์ รดาการ ประธานกรรมการที่ปรึกษา ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาชี้แนะแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จนสามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ครูบาอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมป้องกันอัคคีภัยทุกท่าน ครูบาอาจารย์ทุกชั้นเรียนทุกรายวิชาที่ได้เคยอบรมสั่งสอนข้าพเจ้าทั้งหมดตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน

ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ประจำโครงการวิศวกรรมป้องกันอัคคีภัยที่ให้ความช่วยเหลือและความสะดวกทั้งในระหว่างที่ทำการศึกษจนถึงทำวิทยานิพนธ์แล้วเสร็จ

ประโยชน์อันเนื่องมาจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ข้าพเจ้าขอมอบแด่พระคุณของพ่อและแม่ที่ยิ่งใหญ่ตลอดกาล

วีรวิทย์ หงษ์ทอง
พฤษภาคม 2557

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(15)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	21
อุปกรณ์	21
วิธีการ	21
ผลและวิจารณ์	61
ผล	61
วิจารณ์	173
สรุปและข้อเสนอแนะ	176
สรุป	176
ข้อเสนอแนะ	177
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	178
ภาคผนวก	181
ภาคผนวก ก รายละเอียดการคำนวณระบบควบคุมควันไฟตามมาตรฐาน NFPA 204	182
ภาคผนวก ข การเขียนโครงสร้างของอาคารด้วยโปรแกรม PyroSim แล้วนำไปคำนวณด้วยโปรแกรม FDS	185
ภาคผนวก ค ขั้นตอนการทำงานวิจัย (Flowchart)	193
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	195

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	การใช้พื้นที่ของอาคารนวัตกรรมการจัดการและการท่องเที่ยว มหาวิทยาลัย บูรพา จังหวัดชลบุรี	23
2	ชนิดของวัสดุที่กำหนดในโปรแกรม FDS	34
3	พารามิเตอร์ในการศึกษาผลกระทบของขนาดกริดต่อผลการจำลอง	37
4	พารามิเตอร์ไร้นหน่วย เวลาที่จำลอง และ เวลาที่ใช้ในการคำนวณ	41
5	การเลือกขนาดกองเพลิงที่ใช้ในการจำลองสถานการณ์เพลิงไหม้ในเอเชีย	43
6	สัมประสิทธิ์ Stoichiometric สำหรับแบบจำลองการเผาไหม้ Mixture Fraction	43
7	ค่าพิกัดความสูงที่กำหนดในการคำนวณของโปรแกรม FDS	45
8	การคำนวณอัตราการระบายควันตามมาตรฐาน NFPA 92B	47
9	การคำนวณอัตราการระบายควัน ของพัดลมระบายควันตามมาตรฐาน NFPA 204 ที่ไม่ทำให้เกิดปรากฏการณ์ plugholing	47
10	การคำนวณอัตราการระบายควัน ของพัดลมระบายควันที่ใช้ในการวิจัย	48
11	กรณีศึกษาพฤติกรรมกรควบคุมควันไฟของโถง atrium	56
12	เวลาในการเริ่มทำงานของพัดลมระบายควันในแต่ละกรณี	62
13	ความสูงเฉลี่ยของห้องควันไฟ กรณีที่อัตราการปล่อยความร้อนของกอง เพลิงขนาด 2.2 MW	94
14	ความสูงเฉลี่ยของห้องควันไฟ กรณีที่อัตราการปล่อยความร้อนของกอง เพลิงขนาด 7.1 MW	98
15	ความสูงเฉลี่ยของห้องควันไฟ กรณีที่อัตราการปล่อยความร้อนของกอง เพลิงขนาด 14.2 MW	102
16	อุณหภูมิเฉลี่ยบริเวณทางเดินไปสู่ทางหนีไฟที่อัตราการปล่อยความร้อน ของกองเพลิงขนาด 2.2 MW	132
17	อุณหภูมิเฉลี่ยบริเวณทางเดินไปสู่ทางหนีไฟที่อัตราการปล่อยความร้อน ของกองเพลิงขนาด 7.1 MW	134

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
18	อุณหภูมิเฉลี่ยบริเวณทางเดินไปสู่ทางหนีไฟที่อัตราการปล่อยความร้อน ของกองเพลิงขนาด 14.2 MW	136
19	ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เฉลี่ยบริเวณทางเดินไปสู่ทางหนีไฟที่ อัตราการปล่อยความร้อนของกองเพลิงขนาด 2.2 MW	167
20	ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เฉลี่ยบริเวณทางเดินไปสู่ทางหนีไฟที่ อัตราการปล่อยความร้อนของกองเพลิงขนาด 7.1 MW	169
21	ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เฉลี่ยบริเวณทางเดินไปสู่ทางหนีไฟที่ อัตราการปล่อยความร้อนของกองเพลิงขนาด 14.2 MW	171

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ลำควันสมมาตร (Axisymmetric plume) ของ McCaffrey 1995	7
2	การกำหนดตัวแปรของควันไหลได้เพดานตามสมการของ Alpert 1972	9
3	การกำหนดตัวแปรของห้องซึ่งมีคานที่เพดานตามสมการของ Delichatsios 1978	12
4	พฤติกรรมเพลิงไหม้ภายในห้องหรือพื้นที่ปิดและการวัดความสูงของท้องควัน (Smoke interface height)	16
5	รูปแบบการระบายควันของโถง atrium ด้วยวิธีทางธรรมชาติ ตามมาตรฐาน NFPA 204 Standard for Smoke and Heat Venting	17
6	แสดงแปลนพื้นที่ของอาคารชั้นที่ 1	24
7	แสดงแปลนพื้นที่ของอาคารชั้นที่ 2	24
8	แสดงแปลนพื้นที่ของอาคารชั้นที่ 3	25
9	แสดงแปลนพื้นที่ของอาคารชั้นที่ 4	25
10	แสดงแปลนพื้นที่ของอาคารชั้นที่ 5	26
11	แสดงแปลนพื้นที่ของอาคารชั้นที่ 6	26
12	แสดงแปลนพื้นที่ของอาคารชั้นที่ 7	27
13	แสดงแปลนพื้นที่ของอาคารชั้นที่ 8	27
14	แสดงแปลนพื้นที่ของอาคารชั้นที่ 9	28
15	แสดงแปลนพื้นที่ของอาคารชั้นหลังคา	28
16	แสดงรูปด้านทิศตะวันออก	29
17	แสดงรูปด้านทิศใต้	29
18	แสดงรูปด้านตะวันตก	30
19	แสดงรูปด้านทิศเหนือ	30
20	ภาพตัดตามยาวและภาพตัดตามขวางของอาคารแสดงรายละเอียดโถง Atrium	31
21	แบบจำลองของอาคารนวัตกรรมการจัดการและการท่องเที่ยว มหาวิทยาลัยบูรพา จังหวัดชลบุรี สำหรับจำลองพฤติกรรมของเพลิงไหม้และการระบายควันด้วยโปรแกรม PyroSim	32

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
22	แสดงตำแหน่งของกองเพลิงและชนิดของวัสดุในส่วนต่าง ๆ ของตัวอาคารที่ใช้ในการศึกษาผลกระทบของช่องเปิด atrium ต่อการแพร่กระจายของควัน	35
23	ภาพแสดงตำแหน่งกองเพลิงและควันไฟในการจำลองเพลิงไหม้ภายในห้อง atrium	35
24	อุณหภูมิเฉลี่ยของควันในสภาวะคงตัวที่ความสูงต่างๆ จากพื้นชั้น 1 ตำแหน่ง $x=16$ m.	38
25	อุณหภูมิเฉลี่ยของควันในสภาวะคงตัวที่ความสูงต่างๆ จากพื้นชั้น 1 ตำแหน่ง $X=32$ m.	38
26	เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของอุณหภูมิของควันเมื่อทำการลดขนาดกริด ที่ความสูง 1.65 15.90 19.4 26.4 และ 29.90 เมตรจากระดับพื้นชั้น 1 ที่ระยะ $X=16$	39
27	เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของอุณหภูมิของควันเมื่อทำการลดขนาดกริด ที่ความสูง 1.65 15.90 19.4 26.4 และ 29.90 เมตรจากระดับพื้นชั้น 1 ที่ระยะ $X=32$	39
28	ความสูงเฉลี่ยของควันในสภาวะคงตัวภายในห้อง atrium ที่ระยะ $X=16$ และ $X=32$ m.	40
29	เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของความสูงของควันเมื่อทำการลดขนาดกริด	40
30	กราฟแสดงอัตราการปล่อยพลังงานความร้อนของกองเพลิงที่ใช้ในการจำลอง	44
31	รูปตัดแบบจำลองอาคารอาคารนวัตกรรมการจัดการและการท่องเที่ยว มหาวิทยาลัยบูรพา จังหวัดชลบุรี ขณะทำการจำลองพฤติกรรมการแพร่กระจายควันภายในอาคาร	45
32	การติดตั้งพัฒนาระบายควันในการจำลองด้วยแบบจำลอง FDS	50
33	ภาพด้านบนอาคารแสดงการติดตั้งพัฒนาระบายควันในการจำลองด้วยแบบจำลอง FDS	50
34	ภาพด้านบนอาคารแสดงการติดตั้ง heat detector และ smoke beam detector ในการจำลองด้วยแบบจำลอง FDS	51
35	ภาพตัดอาคารแสดงการติดตั้ง heat detector และ smoke beam detector ในการจำลองด้วยแบบจำลอง FDS	51

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
36	ภาพด้านบนอาคารแสดงตำแหน่งจุดวัดอุณหภูมิภายในช่องท้องไปสู่ทางหนีไฟของการในการจำลองด้วยแบบจำลอง FDS	52
37	ภาพตัดอาคารแสดงตำแหน่งจุดวัดอุณหภูมิภายในช่องท้องไปสู่ทางหนีไฟของการในการจำลองด้วยแบบจำลอง FDS	52
38	ภาพด้านบนอาคารแสดงตำแหน่งจุดวัดความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ภายในช่องท้องไปสู่ทางหนีไฟของการในการจำลองด้วยแบบจำลอง FDS	53
39	ภาพตัดอาคารแสดงตำแหน่งจุดวัดความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ภายในช่องท้องไปสู่ทางหนีไฟของการในการจำลองด้วยแบบจำลอง FDS	53
40	ภาพอาคารแสดงตำแหน่งของหน้าต่างด้านที่ติดกับโถงสูงในการจำลองด้วยแบบจำลอง FDS	54
41	ภาพอาคารแสดงบ่อกักควันที่ชั้น 9 8 และ 7 ในการจำลองด้วยแบบจำลอง FDS	54
42	ภาพอาคารแสดงม่านกั้นควันที่ชั้น 6 5 4 3 และ 2 ในการจำลองด้วยแบบจำลอง FDS	55
43	ภาพการกระจายตัวของควันภายในอาคาร กรณีที่ 1 (2.2 MW, no vent)	63
44	ภาพการกระจายตัวของควันภายในอาคาร กรณีที่ 2 (7.1 MW, no vent)	64
45	ภาพการกระจายตัวของควันภายในอาคาร กรณีที่ 3 (14.2MW, no vent)	65
46	ภาพการกระจายตัวของควันภายในอาคาร กรณีที่ 4 (2.2 MW, exhaust fan 131.29x2, no smoke reservoir)	67
47	ภาพการกระจายตัวของควันภายในอาคาร กรณีที่ 5 (7.1 MW, exhaust fan 184.84x2, no smoke reservoir)	68
48	ภาพการกระจายตัวของควันภายในอาคาร กรณีที่ 6 (14.2 MW, exhaust fan 226.33x2, no smoke reservoir)	69
49	ภาพการกระจายตัวของควันภายในอาคาร กรณีที่ 7 (2.2 MW, exhaust fan 131.29x2, smoke reservoir)	71

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
50	ภาพการกระจายตัวของควันภายในอาคาร กรณีที่ 8 (7.1 MW, exhaust fan 184.84x2, smoke reservoir)	72
51	ภาพการกระจายตัวของควันภายในอาคาร กรณีที่ 9 (14.2 MW, exhaust fan 226.33x2, smoke reservoir)	73
52	ภาพการกระจายตัวของควันภายในอาคาร กรณีที่ 10 (2.2 MW, exhaust fan 103.25x2, smoke reservoir)	75
53	ภาพการกระจายตัวของควันภายในอาคาร กรณีที่ 11 (7.1 MW, exhaust fan 145.41x2, smoke reservoir)	76
54	ภาพการกระจายตัวของควันภายในอาคาร กรณีที่ 12 (14.2 MW, exhaust fan 176.51x2, smoke reservoir)	77
55	ภาพการกระจายตัวของควันภายในอาคาร กรณีที่ 13 (2.2 MW, exhaust fan 83.05x2, smoke reservoir)	79
56	ภาพการกระจายตัวของควันภายในอาคาร กรณีที่ 14 (7.1 MW, exhaust fan 116.4x2, smoke reservoir)	80
57	ภาพการกระจายตัวของควันภายในอาคาร กรณีที่ 15 (14.2 MW, exhaust fan 140.88x2, smoke reservoir)	81
58	ภาพการกระจายตัวของควันภายในอาคาร กรณีที่ 16 (2.2 MW, exhaust fan 83.05x2, smoke reservoir, closed windows)	83
59	ภาพการกระจายตัวของควันภายในอาคาร กรณีที่ 17 (7.1 MW, exhaust fan 116.4x2, smoke reservoir, closed windows)	84
60	ภาพการกระจายตัวของควันภายในอาคาร กรณีที่ 18 (14.2 MW, exhaust fan 140.88x2, smoke reservoir, closed windows)	85
61	ภาพการกระจายตัวของควันภายในอาคาร กรณีที่ 19 (2.2 MW, exhaust fan 83.05x2, smoke reservoir, curtain)	87
62	ภาพการกระจายตัวของควันภายในอาคาร กรณีที่ 20 (7.1 MW, exhaust fan 116.4x2, smoke reservoir, curtain)	88

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
63	ภาพการกระจายตัวของควันภายในอาคาร กรณีที่ 21 (14.2 MW, exhaust fan 140.88x2, smoke reservoir, curtain)	89
64	ภาพการกระจายตัวของควันภายในอาคาร กรณีที่ 22 (2.2 MW, exhaust fan 83.05x2, smoke reservoir, curtain, closed windows)	91
65	ภาพการกระจายตัวของควันภายในอาคาร กรณีที่ 23 (7.1 MW, exhaust fan 116.4x2, smoke reservoir, curtain, closed windows)	92
66	ภาพการกระจายตัวของควันภายในอาคาร กรณีที่ 24 (14.2 MW, exhaust fan 140.88x2, smoke reservoir, curtain, closed windows)	93
67	ความสูงเฉลี่ยของห้องควันไฟจากพื้นที่ 1 สำหรับกรณีศึกษาที่ 1 และ 4 ที่มีอัตราการปล่อยพลังงานความร้อนของกองเพลิงขนาด 2.2 MW	95
68	ความสูงเฉลี่ยของห้องควันไฟจากพื้นที่ 1 สำหรับกรณีศึกษาที่ 7 10 และ 13 ที่มีอัตราการปล่อยพลังงานความร้อนของกองเพลิงขนาด 2.2 MW	95
69	ความสูงเฉลี่ยของห้องควันไฟจากพื้นที่ 1 สำหรับกรณีศึกษาที่ 16 19 และ 22 ที่มีอัตราการปล่อยพลังงานความร้อนของกองเพลิงขนาด 2.2 MW	96
70	ความสูงเฉลี่ยของห้องควันไฟจากพื้นที่ 1 สำหรับกรณีศึกษาที่ 2 และ 5 ที่มีอัตราการปล่อยพลังงานความร้อนของกองเพลิงขนาด 7.1 MW	99
71	ความสูงเฉลี่ยของห้องควันไฟจากพื้นที่ 1 สำหรับกรณีศึกษาที่ 8 11 และ 14 ที่มีอัตราการปล่อยพลังงานความร้อนของกองเพลิงขนาด 7.1 MW	99
72	ความสูงเฉลี่ยของห้องควันไฟจากพื้นที่ 1 สำหรับกรณีศึกษาที่ 17 20 และ 23 ที่มีอัตราการปล่อยพลังงานความร้อนของกองเพลิงขนาด 7.1 MW	100
73	ความสูงเฉลี่ยของห้องควันไฟจากพื้นที่ 1 สำหรับกรณีศึกษาที่ 3 และ 6 ที่มีอัตราการปล่อยพลังงานความร้อนของกองเพลิงขนาด 14.2 MW	103
74	ความสูงเฉลี่ยของห้องควันไฟจากพื้นที่ 1 สำหรับกรณีศึกษาที่ 9 12 และ 15 ที่มีอัตราการปล่อยพลังงานความร้อนของกองเพลิงขนาด 14.2 MW	103

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
75	ความสูงเฉลี่ยของท้องคว้นไฟจากพื้นชั้น 1 สำหรับกรณีศึกษาที่ 18 21 และ 24 ที่มีอัตราการปล่อยพลังงานความร้อนของกองเพลิงขนาด 14.2 MW	104
76	การกระจายตัวของอุณหภูมิที่ระนาบผ่านกึ่งกลางโถงสูง atrium กรณีที่ 1 (2.2 MW, no vent)	108
77	การกระจายตัวของอุณหภูมิที่ระนาบผ่านกึ่งกลางโถงสูง atrium กรณีที่ 2 (7.1 MW, no vent)	109
78	การกระจายตัวของอุณหภูมิที่ระนาบผ่านกึ่งกลางโถงสูง atrium กรณีที่ 3 (14.2 MW, no vent)	110
79	การกระจายตัวของอุณหภูมิที่ระนาบผ่านกึ่งกลางโถงสูง atrium กรณีที่ 4 (2.2 MW, exhaust fan 131.29x2, no smoke reservoir)	111
80	การกระจายตัวของอุณหภูมิที่ระนาบผ่านกึ่งกลางโถงสูง atrium กรณีที่ 5 (7.1 MW, exhaust fan 184.84x2, no smoke reservoir)	112
81	การกระจายตัวของอุณหภูมิที่ระนาบผ่านกึ่งกลางโถงสูง atrium กรณีที่ 6 (14.2 MW, exhaust fan 226.33x2, no smoke reservoir)	113
82	การกระจายตัวของอุณหภูมิที่ระนาบผ่านกึ่งกลางโถงสูง atrium กรณีที่ 7 (2.2 MW, exhaust fan 131.29x2, smoke reservoir)	114
83	การกระจายตัวของอุณหภูมิที่ระนาบผ่านกึ่งกลางโถงสูง atrium กรณีที่ 8 (7.1 MW, exhaust fan 184.84x2, smoke reservoir)	115
84	การกระจายตัวของอุณหภูมิที่ระนาบผ่านกึ่งกลางโถงสูง atrium กรณีที่ 9 (14.2 MW, exhaust fan 226.33x2, smoke reservoir)	116
85	การกระจายตัวของอุณหภูมิที่ระนาบผ่านกึ่งกลางโถงสูง atrium กรณีที่ 10 (2.2 MW, exhaust fan 103.25x2, smoke reservoir)	117
86	การกระจายตัวของอุณหภูมิที่ระนาบผ่านกึ่งกลางโถงสูง atrium กรณีที่ 11 (7.1 MW, exhaust fan 145.41x2, smoke reservoir)	118

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
87	การกระจายตัวของอุณหภูมิที่ระนาบผ่านกึ่งกลางโถงสูง atrium กรณีที่ 12 (14.2 MW, exhaust fan 176.51x2, smoke reservoir)	119
88	การกระจายตัวของอุณหภูมิที่ระนาบผ่านกึ่งกลางโถงสูง atrium กรณีที่ 13 (2.2 MW, exhaust fan 83.05x2, smoke reservoir)	120
89	การกระจายตัวของอุณหภูมิที่ระนาบผ่านกึ่งกลางโถงสูง atrium กรณีที่ 14 (7.1 MW, exhaust fan 116.4x2, smoke reservoir)	121
90	การกระจายตัวของอุณหภูมิที่ระนาบผ่านกึ่งกลางโถงสูง atrium กรณีที่ 15 (14.2 MW, exhaust fan 140.88x2, smoke reservoir)	122
91	การกระจายตัวของอุณหภูมิที่ระนาบผ่านกึ่งกลางโถงสูง atrium กรณีที่ 16 (2.2 MW, exhaust fan 83.05x2, smoke reservoir, closed windows)	123
92	การกระจายตัวของอุณหภูมิที่ระนาบผ่านกึ่งกลางโถงสูง atrium กรณีที่ 17 (7.1 MW, exhaust fan 116.4x2, smoke reservoir, closed windows)	124
93	การกระจายตัวของอุณหภูมิที่ระนาบผ่านกึ่งกลางโถงสูง atrium กรณีที่ 18 (14.2 MW, exhaust fan 140.88x2, smoke reservoir, closed windows)	125
94	การกระจายตัวของอุณหภูมิที่ระนาบผ่านกึ่งกลางโถงสูง atrium กรณีที่ 19 (2.2 MW, exhaust fan 83.05x2, smoke reservoir, curtain)	126
95	การกระจายตัวของอุณหภูมิที่ระนาบผ่านกึ่งกลางโถงสูง atrium กรณีที่ 20 (7.1 MW, exhaust fan 116.4x2, smoke reservoir, curtain)	127
96	การกระจายตัวของอุณหภูมิที่ระนาบผ่านกึ่งกลางโถงสูง atrium กรณีที่ 21 (14.2 MW, exhaust fan 140.88x2, smoke reservoir, curtain)	128
97	การกระจายตัวของอุณหภูมิที่ระนาบผ่านกึ่งกลางโถงสูง atrium กรณีที่ 22 (2.2 MW, exhaust fan 83.05x2, smoke reservoir, curtain, closed windows)	128
98	การกระจายตัวของอุณหภูมิที่ระนาบผ่านกึ่งกลางโถงสูง atrium กรณีที่ 23 (7.1 MW, exhaust fan 116.4x2, smoke reservoir, curtain, closed windows)	130

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
99	การกระจายตัวของอุณหภูมิที่ระนาบผ่านกึ่งกลางโถงสูง atrium กรณีที่ 24 (14.2 MW, exhaust fan 140.88x2, smoke reservoir, curtain, closed windows)	131
100	อุณหภูมิเฉลี่ยบริเวณทางเดินไปสู่ทางหนีไฟที่อัตราการปล่อยความร้อนของ กองเพลิงขนาด 2.2 MW	133
101	อุณหภูมิเฉลี่ยบริเวณทางเดินไปสู่ทางหนีไฟที่อัตราการปล่อยความร้อนของ กองเพลิงขนาด 7.1 MW	135
102	อุณหภูมิเฉลี่ยบริเวณทางเดินไปสู่ทางหนีไฟที่อัตราการปล่อยความร้อนของ กองเพลิงขนาด 14.2 MW	137
103	ภาพแสดงผลอุณหภูมิของควันไฟบริเวณใกล้เพดานโถง atrium ในการจำลอง กรณีที่กองเพลิงมีอัตราการปล่อยพลังงานความร้อน 2.2 MW	138
104	ภาพแสดงผลอุณหภูมิของควันไฟบริเวณใกล้เพดานโถง atrium ในการจำลอง กรณีที่กองเพลิงมีอัตราการปล่อยพลังงานความร้อน 7.1 MW	139
105	ภาพแสดงผลอุณหภูมิของควันไฟบริเวณใกล้เพดานโถง atrium ในการจำลอง กรณีที่กองเพลิงมีอัตราการปล่อยพลังงานความร้อน 14.2 MW	140
106	การกระจายตัวของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ระนาบผ่านกึ่งกลางโถงสูง atrium กรณีที่ 1 (2.2 MW, no vent)	143
107	การกระจายตัวของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ระนาบผ่านกึ่งกลางโถงสูง atrium กรณีที่ 2 (7.1 MW, no vent)	144
108	การกระจายตัวของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ระนาบผ่านกึ่งกลางโถงสูง atrium กรณีที่ 3 (14.2 MW, no vent)	145
109	การกระจายตัวของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ระนาบผ่านกึ่งกลางโถงสูง atrium กรณีที่ 4 (2.2 MW, exhaust fan 131.29x2, no smoke reservoir)	146
110	การกระจายตัวของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ระนาบผ่านกึ่งกลางโถงสูง atrium กรณีที่ 5 (7.1 MW, exhaust fan 184.84x2, no smoke reservoir)	147

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
111	การกระจายตัวของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ระนาบผ่านกึ่งกลางโถงสูง atrium กรณีที่ 6 (14.2 MW, exhaust fan 226.33x2, no smoke reservoir)	148
112	การกระจายตัวของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ระนาบผ่านกึ่งกลางโถงสูง atrium กรณีที่ 7 (2.2 MW, exhaust fan 131.29x2, smoke reservoir)	149
113	การกระจายตัวของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ระนาบผ่านกึ่งกลางโถงสูง atrium กรณีที่ 8 (7.1 MW, exhaust fan 184.84x2, smoke reservoir)	150
114	การกระจายตัวของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ระนาบผ่านกึ่งกลางโถงสูง atrium กรณีที่ 9 (14.2 MW, exhaust fan 226.33x2, smoke reservoir)	151
115	การกระจายตัวของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ระนาบผ่านกึ่งกลางโถงสูง atrium กรณีที่ 10 (2.2 MW, exhaust fan 103.25x2, smoke reservoir)	152
116	การกระจายตัวของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ระนาบผ่านกึ่งกลางโถงสูง atrium กรณีที่ 11 (7.1 MW, exhaust fan 145.41x2, smoke reservoir)	153
117	การกระจายตัวของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ระนาบผ่านกึ่งกลางโถงสูง atrium กรณีที่ 12 (14.2 MW, exhaust fan 176.51x2, smoke reservoir)	154
118	การกระจายตัวของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ระนาบผ่านกึ่งกลางโถงสูง atrium กรณีที่ 13 (2.2 MW, exhaust fan 83.05x2, smoke reservoir)	155
119	การกระจายตัวของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ระนาบผ่านกึ่งกลางโถงสูง atrium กรณีที่ 14 (7.1 MW, exhaust fan 116.4x2, smoke reservoir)	156
120	การกระจายตัวของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ระนาบผ่านกึ่งกลางโถงสูง atrium กรณีที่ 15 (14.2 MW, exhaust fan 140.88x2, smoke reservoir)	157
121	การกระจายตัวของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ระนาบผ่านกึ่งกลางโถงสูง atrium กรณีที่ 16 (2.2 MW, exhaust fan 83.05x2, smoke reservoir, closed windows)	158
122	การกระจายตัวของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ระนาบผ่านกึ่งกลางโถงสูง atrium กรณีที่ 17 (7.1 MW, exhaust fan 116.4x2, smoke reservoir, closed windows)	159

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
123	การกระจายตัวของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ระนาบผ่านกึ่งกลางโถงสูง atrium กรณีที่ 18 (14.2 MW, exhaust fan 140.88x2, smoke reservoir, closed windows)	160
124	การกระจายตัวของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ระนาบผ่านกึ่งกลางโถงสูง atrium กรณีที่ 19 (2.2 MW, exhaust fan 83.05x2, smoke reservoir, curtain)	161
125	การกระจายตัวของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ระนาบผ่านกึ่งกลางโถงสูง atrium กรณีที่ 20 (7.1 MW, exhaust fan 116.4x2, smoke reservoir, curtain)	162
126	การกระจายตัวของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ระนาบผ่านกึ่งกลางโถงสูง atrium กรณีที่ 21 (14.2 MW, exhaust fan 140.88x2, smoke reservoir, curtain)	163
127	การกระจายตัวของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ระนาบผ่านกึ่งกลางโถงสูง atrium กรณีที่ 22 (2.2 MW, exhaust fan 83.05x2, smoke reservoir, curtain, closed windows)	164
128	การกระจายตัวของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ระนาบผ่านกึ่งกลางโถงสูง atrium กรณีที่ 23 (7.1 MW, exhaust fan 116.4x2, smoke reservoir, curtain, closed windows)	165
129	การกระจายตัวของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ระนาบผ่านกึ่งกลางโถงสูง atrium กรณีที่ 24 (14.2 MW, exhaust fan 140.88x2, smoke reservoir, curtain, closed windows)	166
130	ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เฉลี่ยบริเวณทางเดินไปสู่ทางหนีไฟที่อัตรา การปล่อยความร้อนของกองเพลิงขนาด 2.2 MW	168
131	ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เฉลี่ยบริเวณทางเดินไปสู่ทางหนีไฟที่อัตรา การปล่อยความร้อนของกองเพลิงขนาด 7.1 MW	170
132	ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เฉลี่ยบริเวณทางเดินไปสู่ทางหนีไฟที่อัตรา การปล่อยความร้อนของกองเพลิงขนาด 14.2 MW	172

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
ข1	การกำหนดขนาดโดเมนการจำลอง	187
ข2	การกำหนดคุณสมบัติของโครงสร้างของอาคารต่างๆ	188
ข3	การสร้างโครงสร้างส่วนต่างของอาคารลงในโปรแกรม PyroSim	189
ข4	แสดงภาพโครงสร้างของอาคารที่สร้างเรียบร้อยแล้วโดยโปรแกรม PyroSim	189
ข5	แสดงภาพการกำหนดคุณสมบัติของเชื้อเพลิง	190
ข6	กำหนดอัตราการปล่อยพลังงานความร้อนของกองเพลิง	190
ข7	กำหนดเวลาในการจำลองเหตุการณ์เพลิงไหม้	191
ข8	การนำไฟล์นามสกุล .fds ไปคำนวณด้วยโปรแกรม FDS	192
ค1	ขั้นตอนการทำการวิจัย (Flowchart)	194

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

A_p	=	พื้นที่ของช่องเปิดระบายควันไฟมีหน่วยเป็นตารางเมตร (m^2)
A_c	=	พื้นที่ของช่องดูดอากาศมีหน่วยเป็นตารางเมตร (m^2)
C_s	=	ค่าคงที่ของ Smagorinsky
$C_{d,v}$	=	สัมประสิทธิ์ของการไหลผ่านช่องเปิดระบายควันไฟ
$C_{d,i}$	=	สัมประสิทธิ์ของการไหลผ่านช่องดูดอากาศ
D	=	สัมประสิทธิ์การแพร่ (Diffusion Coefficient)
g	=	ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (Acceleration of Gravity)
h	=	เอนทัลปี (Enthalpy; Heat Transfer Coefficient)
h_{fg}	=	ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ
H	=	ค่าความสูงที่วัดจากฐานของกองเพลิงจนถึงเพดานมีหน่วยเป็นเมตร (m)
k	=	ค่าคงที่ของการนำความร้อน (Thermal Conductivity)
L	=	ความสูงเฉลี่ยของเปลวไฟ มีหน่วยเป็นเมตร (m)
L_v	=	ขนาดความยาวของช่องเปิดระบายควัน มีหน่วยเป็นเมตร (m)
$\dot{m}_p$	=	อัตราการเกิดควันไฟจากกองเพลิง (kg/s)
$\dot{m}_v$	=	อัตราการระบายควันไฟผ่านช่องเปิดระบายควันไฟ (kg/s)
$\dot{m}_i'''$	=	อัตราการผลิตมวลของสปีชีส์ที่ i ต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร (Mass Production Rate of i^{th} species per unit volume)
p	=	ความดัน (Pressure)
ρ	=	ความหนาแน่น (Density)
$\dot{Q}$	=	อัตราการปล่อยพลังงานความร้อนมีหน่วยเป็นกิโลวัตต์ (kW)
$\dot{Q}_c$	=	อัตราการปล่อยพลังงานความร้อนโดยการพาความร้อนของกองเพลิง (kW)
q_r	=	เวกเตอร์การแผ่รังสีความร้อนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ (Radiative Heat Flux Vector)
γ	=	ค่า exhaust location factor
S	=	ระยะห่างของช่องเปิดระบายควันจากจุดศูนย์กลางสู่จุดศูนย์กลาง (m)
S	=	อัตราส่วนโดยมวลของออกซิเจนต่อเชื้อเพลิงที่ทำปฏิกิริยาโดยสมบูรณ์ (stoichiometric oxygen to fuel mass ratio)
τ	=	แรงเค้นเฉือน (Viscous Stress Tensor)

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

t	= เวลา (Time)
T_0	= อุณหภูมิของลำควัน
T_p	= อุณหภูมิของควัน
T_∞	= อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม
u	= ความเร็วของเวกเตอร์ u , v และ w (Velocity Vector)
$V_{\max}$	= อัตราการระบายควันสูงสุดที่อุณหภูมิ T_s ที่ไม่ทำให้เกิดปรากฏการณ์ plugholing (m^3/sec)
W_v	= ขนาดความกว้างของช่องเปิด มีหน่วยเป็นเมตร (m)
Y_F^L	= เศษส่วนโดยมวลของเพลิงเชื้อเพลิงจากแหล่งกำเนิด
Y_F	= เศษส่วนโดยมวลของเชื้อเพลิง
Y_0	= เศษส่วนโดยมวลของออกซิเจน
Y_0^∞	= เศษส่วนโดยมวลของออกซิเจนในอากาศ
Y_l	= สัดส่วนของมวล (Mass Fraction)
Z	= mixture fraction
Z_s	= ความสูงของควัน (m)
Z_0	= ความสูงเสมือนของกองเพลิง (m)

คำอธิบายคำย่อ

FDS	= Fire Dynamics Simulator
NIST	= National Institute of Standards and Technology

**การศึกษาการระบายควันไฟในโถงสูงอาคารนวัตกรรมการจัดการและการท่องเที่ยว
มหาวิทยาลัยบูรพา จังหวัดชลบุรี ด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลข**

**A Numerical Simulation of Atrium Smoke Ventilation in the New Building of
Faculty of Management and Tourism Burapa University at Chon Buri Province**

คำนำ

อัคคีภัย นับเป็นอุบัติเหตุที่สร้างความเสียหายให้กับชีวิตและทรัพย์สิน และยังส่งผลทำให้เกิดความสูญเสียต่อระบบเศรษฐกิจและสังคมเป็นอย่างมาก จากสถิติของกรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยพบว่าความเสียหายที่เกิดจากอัคคีภัยมีมูลค่ามากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับภัยที่เกิดขึ้นจากสาเหตุอื่นๆ โดยในระหว่างปี พ.ศ.2532-2554 สถิติการเกิดอัคคีภัยของประเทศไทย มีจำนวน 50,413 ครั้ง มูลค่าความเสียหายมากกว่า 30,132 ล้านบาท โดยเมื่อพิจารณาจำแนกลงไปถึงเหตุอัคคีภัยที่เกิดขึ้นในอาคารสูง อาคารขนาดใหญ่พิเศษ อาคารชุมนุมคน โรงมหรสพ อาคารพาณิชย์ โรงงาน และโรงแรม พบว่ามีการเกิดเหตุอัคคีภัยขึ้นหลายครั้ง โดยในปี พ.ศ.2550 เกิดขึ้นจำนวน 98 ครั้ง ,ในปี พ.ศ.2551 เกิดขึ้นจำนวน 78 ครั้ง, ในปี พ.ศ.2552 เกิดขึ้นจำนวน 69 ครั้ง, ในปี พ.ศ.2553 เกิดขึ้นจำนวน 65 ครั้ง และในปี พ.ศ.2554 เกิดขึ้นจำนวน 59 ครั้ง ซึ่งจากสถิติดังกล่าว สามารถเป็นข้อบ่งชี้ได้ว่าการเกิดอัคคีภัยในอาคารสูงและอาคารขนาดใหญ่พิเศษนั้นมีอยู่มาก ดังนั้นมาตรการด้านการป้องกันอัคคีภัยรวมไปถึงการป้องกันไม่ให้ควันและไฟลุกลามแพร่กระจายภายในอาคารประเภทดังกล่าวจึงเป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องมีการเตรียมเอาไว้เพื่อให้เกิดความปลอดภัยในการใช้อาคารในกรณีที่เกิดเหตุอัคคีภัยขึ้นมา

เนื่องด้วยคณะกรรมการจัดการและการท่องเที่ยว มหาวิทยาลัยบูรพา จังหวัดชลบุรี ได้มีโครงการก่อสร้าง “อาคารนวัตกรรมการจัดการและการท่องเที่ยว” ซึ่งเป็นอาคารเอนกประสงค์สำหรับใช้งานภายในมหาวิทยาลัย ด้วยราคากลางค่าก่อสร้างเป็นจำนวนเงิน 329,022,000.00 บาท ซึ่งอาคารดังกล่าวนี้เป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่จัดเป็นอาคารสาธารณะขนาดใหญ่พิเศษและเป็นอาคารสูงตามพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ.2522 เนื่องจากอาคารนี้เป็นอาคารสูง 9 ชั้นที่มีความสูงจากระดับพื้นดินถึงระดับพื้นชั้นดาดฟ้า 34.30 เมตร และ ขนาดพื้นที่รวมประมาณ 30,500 ตารางเมตร ซึ่งอาคารนี้มีแผนจะก่อสร้างให้แล้วเสร็จภายในช่วงประมาณปลายปี พ.ศ. 2558 โดยในการนี้ผู้วิจัยได้เป็นหนึ่งในคณะผู้ออกแบบอาคารในส่วนของระบบป้องกันอัคคีภัย ผู้วิจัยได้เล็งเห็นถึง

ความจำเป็นในการเตรียมความพร้อมด้านมาตรการในการป้องกันอัคคีภัยของอาคารฯ แนวทางหนึ่งในการเตรียมความพร้อมด้านการป้องกันอัคคีภัยของอาคาร คือการจำลองเพลิงไหม้ภายในอาคาร (building fire modeling) ซึ่งผลที่ได้จากการจำลองจะช่วยให้สามารถประเมินประสิทธิภาพของระบบป้องกันอัคคีภัยต่างๆ และยังสามารถใช้ประเมินสถานะต่างๆ ในกรณีที่เกิดเหตุเพลิงไหม้ขึ้นในอาคารเช่น ประสิทธิภาพของระบบดับเพลิงและระบบระบายควันไฟที่ได้ติดตั้งภายในอาคาร ประเมินอุณหภูมิของควัน ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และระดับพลังความร้อนที่เป็นอันตราย ดังนั้นผู้วิจัยจึงขอเสนองานวิจัยที่จะจำลองเพลิงไหม้ภายในอาคารดังกล่าวนี้ เพื่อศึกษาพฤติกรรมของเพลิงไหม้และการกระจายควันไฟที่อาจเกิดขึ้นจากเหตุการณ์เพลิงไหม้สมมุติ (fire scenario) ซึ่งกำหนดบนสมมุติฐานแบบเกิดเหตุการณ์ไฟไหม้ที่กึ่งกลางโถงสูงเพื่อผลที่ได้จากการศึกษานี้จะสามารถใช้เป็นแนวทางในการติดตั้งและออกแบบระบบระบายควันและระบบควบคุมการกระจายของควันเพื่อยกระดับความปลอดภัยด้านอัคคีภัยของอาคารนี้ได้ต่อไปในอนาคต

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาพฤติกรรมของเพลิงไหม้และการกระจายตัวของควันภายในอาคารนวัตกรรมการจัดการและการท่องเที่ยวมหาวิทยาลัยบูรพา ด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลขโดยการศึกษาจะเน้นถึงพฤติกรรมของเพลิงไหม้และการกระจายตัวของควันภายในโถงสูงและเส้นทางสู่ทางหนีไฟ ในเหตุการณ์เพลิงไหม้สมมุติ
2. เพื่อเปรียบเทียบถึงการติดตั้งระบบควบคุมควันไฟกับการไม่ติดตั้งระบบควบคุมควันไฟของอาคารนวัตกรรมการจัดการและการท่องเที่ยวมหาวิทยาลัยบูรพาโดยอ้างอิงตามมาตรฐาน NFPA 92B, Standard for Smoke Management Systems in Malls, Atria, and Large Spaces (2009)
3. เพื่อวิเคราะห์ผลการศึกษาพฤติกรรมการแผ่กระจายตัวของควันเพื่อเสนอแนวทางการติดตั้งและออกแบบระบบระบายควันไฟ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ทราบความแตกต่างด้านการแพร่กระจายควันไฟ การแพร่กระจายอุณหภูมิ และ ปริมาณ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ของอาคารนวัตกรรมการจัดการและการท่องเที่ยว มหาวิทยาลัยบูรพา จังหวัดชลบุรี ในกรณีไม่ได้ติดตั้งระบบควบคุมควันไฟ และกรณีติดตั้งระบบควบคุมควันไฟ ประเภทต่างๆ เพื่อสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบการติดตั้งระบบควบคุมควันไฟให้ปลอดภัยที่สุด

ขอบเขตของการวิจัย

1. ทำการจำลองเพลิงไหม้เพื่อศึกษาการระบายควันที่เกิดในโถงสูงและทางเดินไปสู่ประตูหนีไฟภายในอาคารนวัตกรรมการจัดการและการท่องเที่ยวมหาวิทยาลัยบูรพา บนสมมุติฐานเหตุการณ์เพลิงไหม้ที่ตำแหน่งกลางโถงสูงไม่ได้รวมถึงการเกิดเพลิงไหม้ที่บริเวณอื่น
2. แบบจำลองเพลิงไหม้ที่ใช้ในงานวิจัยเป็นแบบจำลองเพลิงไหม้พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ Fire Dynamics Simulator (FDS) และใช้โปรแกรม PyroSim เพื่อการสร้างกริด

การตรวจเอกสาร

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้ใช้แบบจำลองเพลิงไหม้พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณที่มีชื่อว่า Fire Dynamics Simulator (FDS) ในการจำลองเพลิงไหม้ โดยโปรแกรม FDS ได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องโดยหน่วยงานชื่อ National Institute of Standards and Technology (NIST) ประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งปัจจุบันเป็นโปรแกรมรุ่นที่ 5 แล้ว โดยโปรแกรม Fire Dynamics Simulator (FDS) ใช้ระเบียบวิธีปริมาตรจำกัด (finite volume method) ในการแก้สมการการเคลื่อนที่และสมการพลังงานของของไหล และใช้ระเบียบวิธีการคำนวณแบบ Large Eddy Simulation (LES) โดยใช้ subgrid scale model ของ Smagorinsky สำหรับการจำลองสภาวะการไหลแบบปั่นป่วน ในส่วนของการเผาไหม้เพื่อแก้ปัญหาขนาดของกริดซึ่งไม่สามารถทำให้ละเอียดเพียงพอที่จะจำลองพฤติกรรมของการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงกับอากาศในการคำนวณซึ่งมีโดเมนการคำนวณขนาดใหญ่ FDS ได้ใช้แบบจำลอง mixture fraction-based infinitely fast chemical reaction บนสมมุติฐานที่ว่าอัตราการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงกับอากาศถูกควบคุมโดยอัตราที่เชื้อเพลิงกับอากาศเข้าผสมกัน (mixing controlled) แทนที่ที่เชื้อเพลิงกับอากาศเข้าผสมกันเชื้อเพลิงจะทำปฏิกิริยากับอากาศอย่างรวดเร็ว (infinitely fast chemical reaction) ได้เป็นแก๊สผลิตภัณฑ์การเผาไหม้ที่เกิดจากการเผาไหม้โดยสมบูรณ์ นักวิจัยหลายคนได้ใช้ FDS เพื่อศึกษาพฤติกรรมของการเผาไหม้ในรูปแบบต่างๆ มากมาย ในส่วนของการใช้งานโปรแกรม FDS เพื่อจำลองเพลิงไหม้ภายในอาคารนั้นมงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเช่น Mammoser และ Battaglia ใช้โปรแกรม FDS จำลองเพลิงไหม้ที่เกิดขึ้นในอาคารสูงที่เป็นอพาร์ทเมนต์โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการป้องกันการลามไฟในแนวดิ่งของอาคารจากชั้นสูงด้วยขบวนการเบี่ยงของอาคารที่ติดตั้งในรูปแบบต่างๆ, Hadjisophocleous และ Ko ได้ใช้โปรแกรม FDS ศึกษาการเคลื่อนตัวของควันไฟ รวมถึงอุณหภูมิและการมองเห็น ภายในอาคารขนาดใหญ่ที่มีรูปร่างซับซ้อน เมื่อเปลี่ยนตำแหน่งและขนาดของพัดลมระบายควันไฟไปยังส่วนต่างๆ ของอาคาร เพื่อให้ผู้ใช้อาคารอพยพออกจากอาคารได้อย่างปลอดภัย, Chang *et al.* (2003) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบการแพร่กระจายของควันไฟที่เกิดจากเพลิงไหม้ในโรงเปิดภายในอาคารขนาดใหญ่ (Building Atrium) โดยใช้แบบจำลอง Zone Base Model ด้วยโปรแกรม Atria Smoke Management Engineering Tool (ASMET) และ แบบจำลอง Field Base Model ด้วยโปรแกรม FDS และโปรแกรม FLUENT

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ประกอบด้วย

1. ทฤษฎีการเคลื่อนที่ของไฟในพื้นที่ปิดล้อม (Enclosure Fire Dynamics)

ทฤษฎีที่สำคัญที่ใช้ในการศึกษาการจำลองการเกิดเพลิงไหม้และการออกแบบระบบป้องกันอัคคีภัยภายในอาคารคือทฤษฎีการเคลื่อนที่ของไฟภายในพื้นที่ปิดล้อม โดยการจำลองเหตุการณ์การเกิดเพลิงไหม้นั้นจะดำเนินการเพื่อศึกษาและคำนวณถึงการเปลี่ยนแปลงสถานะต่างๆ ที่เกิดขึ้นภายในห้องขณะเกิดเพลิงไหม้ พฤติกรรมการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงตลอดจนถึงพัฒนาการของเพลิงไหม้ในระยะเวลาต่างๆ รวมทั้งการตอบสนองของอุปกรณ์แจ้งเหตุเพลิงไหม้และระบบป้องกันอัคคีภัยที่ติดตั้งภายในห้องนั้นๆ ซึ่งการจำลองพฤติกรรมของเพลิงไหม้ภายในห้องสามารถจำลองได้ 2 แบบคือ

1.1 การจำลองแบบโซน (Zone Model) ซึ่งเป็นการจำลองแบบการแบ่งสถานะของก๊าซภายในห้องออกเป็นโซนตามคุณสมบัติทางกายภาพของการเป็นเนื้อเดียวกัน เช่น ขณะเกิดเพลิงไหม้ควันร้อนจะลอยตัวอยู่ด้านบนเพดาน ในขณะที่อากาศเย็นจะลอยตัวอยู่ด้านล่างบนพื้นห้อง ทำให้สามารถแบ่งห้องออกเป็น 2 โซนคือ โซนด้านบนที่เป็นควันร้อน และโซนด้านล่างที่เป็นอากาศเย็น โดยในการวิเคราะห์สถานะต่างๆ ในแต่ละโซนของห้องจะใช้สมการอนุรักษ์พลังงาน สมการอนุรักษ์มวลในการวิเคราะห์ โดยการจำลองแบบโซนจะใช้ได้ดีกับห้องหรืออาคารที่ไม่สลับซับซ้อนนัก

1.2 แบบจำลองพลศาสตร์การไหล (Computation Fluid Dynamics Model; CFD) เป็นการสร้างแบบจำลองโดยการแบ่งห้องหรืออาคารที่เกิดเพลิงไหม้ออกเป็นปริมาตรเล็กๆ จากนั้นใช้สมการอนุรักษ์ต่างๆ ในการคำนวณหาสถานะและคุณสมบัติในการเคลื่อนที่ของไฟและควันไฟในปริมาตรเล็กๆ เหล่านั้น โดยการแก้สมการจะอาศัยการคำนวณขั้นสูงโดยใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณ ระยะเวลาในการคำนวณจะขึ้นอยู่กับความซับซ้อนของห้องหรืออาคาร และจำนวนความละเอียดของปริมาตรเล็กๆ ที่ได้แบ่งไว้ ผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองจะคล้ายกับเหตุการณ์เพลิงไหม้จริง แต่ความถูกต้องของการจำลองจะขึ้นอยู่กับความรู้และความเชี่ยวชาญพื้นฐานทางวิศวกรรมของผู้ใช้การใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์โมเดลสำหรับการคำนวณ โดยโปรแกรม Fire Dynamics Simulator และ Smokeview ของสถาบัน National Institute of Standards and Technology ได้ถูกพัฒนาต่อยอดจากโปรแกรมพลศาสตร์การไหล เพื่อนำไปประยุกต์ใช้กับงานที่มีความสลับซับซ้อน

และเป็นเครื่องมือสำคัญในการใช้ประเมินความเสี่ยงอันตรายจากเพลิงไหม้ และช่วยในการศึกษาพฤติกรรมของการเกิดเพลิงและการลามของเพลิงไหม้ เทียบเคียงกับการทดลองจริง ผลการศึกษาองค์ประกอบของไฟในพื้นที่ปิดล้อม ทำให้ทราบและเข้าใจถึงพฤติกรรมของการเกิดเพลิงไหม้และการพัฒนาของเพลิง การส่งถ่ายพลังงานความร้อนในรูปแบบต่างๆ ตลอดจนการเคลื่อนที่ของควันไฟ และการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในแต่ละช่วงเวลาที่มีการเผาไหม้เชื้อเพลิง

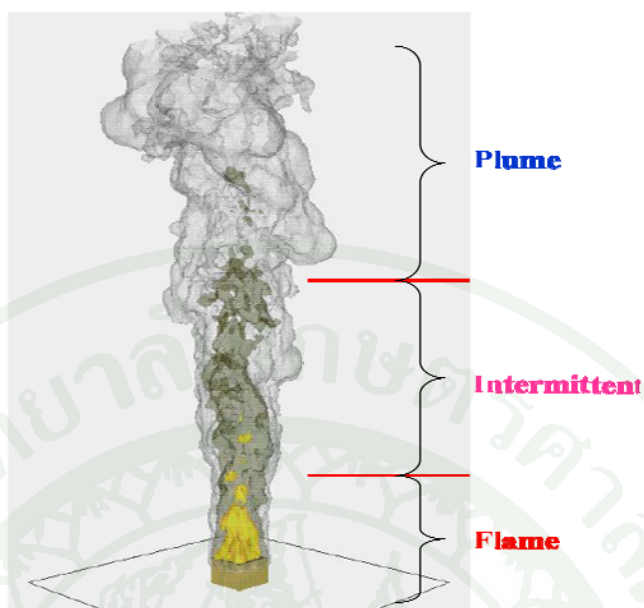
2. ลำควัน (Fire plume)

ลำควันหรือพลูม (Plume) คือลำของควันร้อนซึ่งเป็นแก๊สผลิตภัณฑ์จากการเผาไหม้ลอยตัวขึ้นไปในแนวดิ่งเนื่องจากแรงลอยตัว สำหรับลำควันแบบสมมาตร (Axisymmetric plume) McCaffrey (1995) ได้แบ่งช่วงของลำควันแบบสมมาตรออกเป็น 3 ช่วง คือ

2.1 ช่วงเปลวไฟต่อเนื่อง (Continuous flame) คือช่วงความสูงซึ่งวัดจากผิวหน้าของกองเพลิงจนถึงระดับสูงสุดที่มีเปลวไฟปรากฏอยู่อย่างต่อเนื่องตลอดเวลา ช่วงนี้เป็นช่วงที่เชื้อเพลิงและอากาศเกิดการเผาไหม้ อุณหภูมิของลำควันในช่วงนี้มีค่าสูงซึ่งโดยประมาณจะเท่ากับอุณหภูมิของเปลวไฟ

2.2 ช่วงเปลวไฟบางส่วน (Intermittent flame) คือช่วงความสูงที่การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงกับอากาศเกือบสมบูรณ์แล้วทำให้มองเห็นเปลวไฟปรากฏอยู่เพียงบางช่วงบางเวลาไม่ต่อเนื่อง ความเร็วการไหลในแนวดิ่งของลำควันจะมีค่าค่อนข้างคงที่ การไหลเดิมของอากาศจากภายนอกเข้ามาผสมกับควันทำให้อัตราการไหลของลำควันมีค่าเพิ่มขึ้นตามความสูง

2.3 ช่วงพลูม (Plume) เป็นช่วงที่การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเสร็จสมบูรณ์ ลำควันในช่วงนี้จะประกอบไปด้วยควันร้อนและอากาศซึ่งไหลเดิมจากบรรยากาศโดยรอบเท่านั้น ความเร็วและอุณหภูมิของลำควันในช่วงนี้จะแปรผกผันกับความสูงเนื่องจากมีอากาศซึ่งเย็นกว่าโดยรอบไหลเข้ามาผสมเจือจางทำให้ควันเย็นลง



ภาพที่ 1 ลำควันสมมาตร (Axisymmetric plume) ตามที่ McCaffrey เสนอ

ที่มา: McCaffrey (1995)

จากการศึกษาพฤติกรรมของลำควัน McCaffrey (1995) ได้ทำการทดลองและเสนอสมการจากการทดลองเพื่อประมาณค่าอุณหภูมิและความเร็วของลำควันที่ระดับความสูงต่างๆ ตามแนวแกนของลำควัน (Plume centerline) ดังนี้

ช่วงเปลวไฟต่อเนื่อง เมื่อ $z / \dot{Q}^{2/5} < 0.08$:

$$\Delta T_0 = T_0 - T_\infty = 2.91 T_\infty \quad (1)$$

$$u_0 = 6.8 z^{1/2} \quad (2)$$

ช่วงเปลวไฟบางส่วน เมื่อ $0.08 < z / \dot{Q}^{2/5} < 0.2$:

$$\Delta T_0 = T_0 - T_\infty = 0.227 \left(\frac{\dot{Q}^{2/5}}{z} \right) T_\infty \quad (3)$$

$$u_0 = 1.9 \dot{Q}^{1/5} \quad (4)$$

ช่วงพลุเมื่อ $z / \dot{Q}^{2/5} > 0.2$:

$$\Delta T_0 = T_0 - T_\infty = 0.076 T_\infty \left(\frac{\dot{Q}^{2/5}}{z} \right)^{5/3} \quad (5)$$

$$u_0 = 1.1 z^{-1/3} \dot{Q}^{1/3} \quad (6)$$

โดย T_0 คืออุณหภูมิของลำควัน (K) T_∞ คืออุณหภูมิสิ่งแวดล้อม u_0 คือความเร็วของลำควัน (m/s) z คือความสูงในแนวตั้งวัดจากผิวหน้าของเชื้อเพลิง และ $\dot{Q}$ คืออัตราการปล่อยพลังงานความร้อนของกองเพลิง (kW)

Heskestad (1995) ได้เสนอสมการสำหรับการคำนวณอุณหภูมิและความเร็วของลำควันในช่วงพลุ ($z / \dot{Q}^{2/5} > 0.2$) โดย

$$\Delta T_0 = 25 \left(\frac{\dot{Q}_c^{2/5}}{(z - z_0)} \right)^{5/3} \quad (7)$$

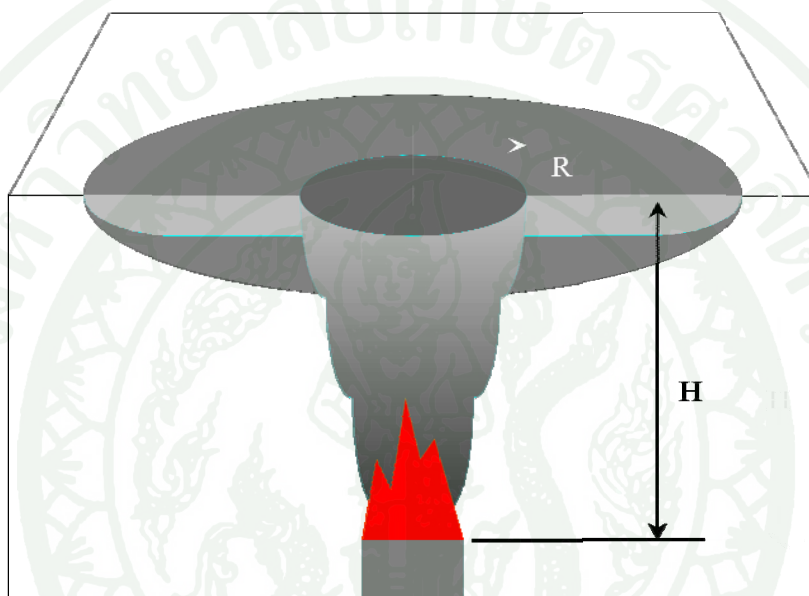
$$u_0 = 25 \left(\frac{\dot{Q}_c}{(z - z_0)} \right)^{1/3} \quad (8)$$

$$\text{โดย } z_0 = 0.083 \dot{Q}^{2/5} - 1.02 D \quad (9)$$

เมื่อ $\dot{Q}_c$ คือ อัตราการปล่อยพลังงานความร้อนของกองเพลิงโดยการพาความร้อน (kW) โดย $\dot{Q}_c = 0.7 \dot{Q}$ z_0 คือ จุดกำเนิดเสมือน (virtual origin, m) และ A คือพื้นที่ของกองเพลิง (m^2) ส่วน D คือเส้นผ่านศูนย์กลางกลางกองเพลิง (m) โดย $D = \sqrt{4A / \pi}$

3. คว้นไหลได้เพดานอย่างอิสระ (Unconfined Ceiling Jet)

เมื่อคว้นจากกองเพลิงลอยตัวขึ้นไปในแนวดิ่งกระทบกับเพดาน คว้นจะเปลี่ยนทิศทางการไหลไปในแนวระดับ เราเรียกคว้นที่ไหลได้เพดานอย่างอิสระนี้ว่ากลุ่มคว้นไหลได้เพดานอย่างอิสระ (unconfined ceiling jet)



ภาพที่ 2 การกำหนดตัวแปรของคว้นไหลได้เพดานตามสมการของ Alpert (1972)

Alpert (1972) คว้นร้อนจากกองเพลิงจะลอยตัวขึ้นไปในแนวดิ่งกระทบกับเพดาน คว้นจะเปลี่ยนทิศทางการไหลจากแนวดิ่งไปในแนวระดับ เรียกคว้นที่ไหลได้เพดานอย่างอิสระนี้ว่ากลุ่มคว้นไหลได้เพดานอย่างอิสระ (unconfined ceiling jet) ตำแหน่งที่ความเร็วและอุณหภูมิสูงสุดของกลุ่มคว้นไหลได้เพดานนี้จะอยู่ใกล้กับเพดานมากที่สุด โดยปกติจะอยู่ห่างจากเพดานไม่เกินร้อยละ 1 ของความสูงห้อง Alpert ทำการทดลองวัดอุณหภูมิและความเร็วของกลุ่มคว้นไหลได้เพดานเรียบด้วยการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงทั้งของเหลวและของแข็งหลายชนิดที่มีอัตราการปล่อยพลังงานความร้อนของกองเพลิงในช่วงตั้งแต่ 500 kW ถึง 100 MW ที่เพดานซึ่งมีความสูงในช่วง 4.6 เมตร ถึง 15.5 เมตร พบว่าอุณหภูมิและความเร็วของคว้นไหลได้เพดานมีความสัมพันธ์กับระยะห่างจากกองเพลิง R โดยสามารถแบ่งออกได้เป็นสองช่วงคือ

3.1 ช่วงใกล้ลำควัน (near plume)

ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิสูงสุดของควันได้เปดานที่ระยะ R

$$\frac{\Delta T_{CJ}}{T_{\infty} \dot{Q}^{2/3}} = \frac{16.9}{T_{\infty} H^{5/3}} \quad \text{เมื่อ } R/H < 0.18 \text{ (near plume)} \quad (10)$$

ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในการไหลสูงสุดของควันได้เปดานที่ระยะ R

$$\frac{u_{CJ}}{\dot{Q}^{1/3}} = \frac{0.96}{H^{1/3}} \quad \text{เมื่อ } R/H < 0.15 \text{ (near plume)} \quad (11)$$

3.2 ช่วงไกลลำควัน (far plume)

ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิสูงสุดของควันได้เปดานที่ระยะ R

$$\frac{\Delta T_{CJ}}{T_{\infty} \dot{Q}^{2/3}} = \frac{5.38}{T_{\infty} H^{5/3} (R/H)^{2/3}} \quad \text{เมื่อ } R/H > 0.18 \text{ (far plume)} \quad (12)$$

ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในการไหลสูงสุดของควันได้เปดานที่ระยะ R

$$\frac{u_{CJ}}{\dot{Q}^{1/3}} = \frac{0.195 H^{-1/3}}{(R/H)^{5/6}} \quad \text{เมื่อ } R/H > 0.15 \text{ (far plume)} \quad (13)$$

$\Delta T_{CJ} = T_{CJ} - T_{\infty}$ คือ ผลต่างอุณหภูมิของกลุ่มควันไหลได้เปดานกับอุณหภูมิอากาศ
 u_{CJ} คือ ความเร็วในการไหลของกลุ่มควันไหลได้เปดาน H คือ ความสูงจากกองเพลิงถึงเปดานใน
 หน่วยเมตร

จากสมการของ Alpert (1972) กลุ่มควันไหลได้เปดานแบบอิสระเมื่อในช่วง near plume
 อุณหภูมิและความเร็วในการไหลของควันจะไม่ขึ้นกับระยะ R

Heskestad and Delichatsios (1972) ได้พัฒนาสมการเพื่อคำนวณอุณหภูมิของควันไหลได้เพดานจากสมการของ Alpert โดยเขียนอุณหภูมิควันไหลได้เพดานดังนี้

เมื่อ $R / H > 0.3$ (far plume)

$$\frac{\Delta T_{CJ}}{T_\infty \dot{Q}^{2/3}} = \frac{(0.188 + 0.313(R/H))^{4/3}}{\Pi_H^{2/3}} \quad (14)$$

$$\text{โดย } \Pi_H = \rho_\infty c_p T_\infty g^{1/2} H^{5/2} \quad (15)$$

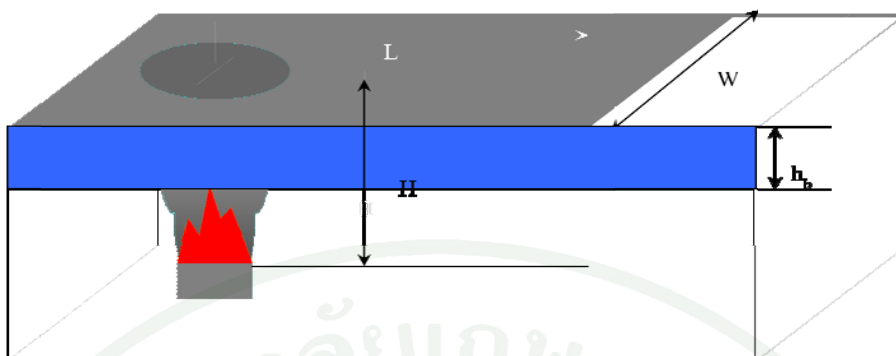
เมื่อ $\rho_\infty c_p$ และ T_∞ คือ ความหนาแน่น ความจุความร้อนจำเพาะ และอุณหภูมิของอากาศที่สภาวะแวดล้อมตามลำดับ g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก และ Π_H คือ Characteristic Heat Release Rate Based on Ceiling Height

4. ควันไหลได้เพดานอย่างจำกัด (Confined Ceiling Jet)

Delichatsios (1978) ทำการทดลองเพื่อหาค่าอุณหภูมิของควันไหลได้เพดานระหว่างคานที่ระยะ L จากกองเพลิง พบว่าเมื่ออัตราส่วนระหว่างระยะระหว่างคาน (W) ต่อความสูงห้อง (H) มีค่าอยู่ระหว่าง 0.4 ถึง 1.2 ($0.4 < W/H < 1.2$) อุณหภูมิของควันไหลได้เพดานสามารถคำนวณโดย

$$\frac{\Delta T_{CJ}}{\Delta T_0} = 0.37 \left(\frac{H}{W} \right)^{1/3} \exp \left[-0.16 \left(\frac{L}{H} \right) \left(\frac{W}{H} \right)^{1/3} \right] \quad (16)$$

$\Delta T_{CJ} = T_{CJ} - T_\infty$ คือ ผลต่างอุณหภูมิของควันไหลได้เพดานกับอุณหภูมิแวดล้อม ΔT_0 คือ ผลต่างอุณหภูมิของลำควันที่ความสูง H เหนือกองเพลิงกับสิ่งแวดล้อม H คือ ความสูงจากผิวบนของเชื้อเพลิงถึงเพดาน W คือ ระยะระหว่างช่องคานหรือช่องทางเดิน และ L คือ ระยะจากแนวกึ่งกลางของกองเพลิง



ภาพที่ 3 การกำหนดตัวแปรของห้องซึ่งมีคานที่เพดานตามสมการของ Delichatsios (1978)

Delichatsios (1978) กำหนดความเร็วในการไหลได้เพดานบนสมมุติฐานว่าการไหลของควันระหว่างช่องคานไม่เกิดการไหลล้นไปสู่ช่องระหว่างคานข้างเคียง เนื่องจากพื้นที่หน้าระหว่างคานซึ่งตั้งฉากกับการไหลของควันมีขนาดคงที่และอัตราการไหลโดยมวลของควันมีค่าคงที่ ดังนั้นความเร็วในการไหลของควันจึงมีขนาดคงที่ไม่ขึ้นกับระยะ L โดย

$$\frac{u_{CJ}}{u_0} = 0.27 \left(\frac{H}{W} \right)^{1/3} \quad (17)$$

โดย u_{CJ} คือ ความเร็วของควันไหลได้เพดาน (m/s) u_0 คือ ความเร็วในแนวดิ่งของลำควันที่ความสูง H

อุณหภูมิของลำควัน ΔT_0 ในสมการที่ (16) และความเร็วของลำควัน u_0 ในสมการที่ (17) คำนวณจากสมการลำควันของ McCaffrey (1995) (สมการที่ (1) ถึง (6)) สมการที่ (16) และ (17) ใช้ได้เมื่อ $L > W/2$ ในกรณีที่ $L < W/2$ (ก่อนที่ควันจะไหลกระทบกับคาน) หรือระยะระหว่างคานมีค่ามาก ($W/H > 1.2$)

Delichatsios (1978) เสนอว่าพฤติกรรมการไหลของควันได้เพดานจะมีลักษณะเหมือนเหมือนกับการไหลของควันได้เพดานอย่างอิสระ ดังนั้นการคำนวณหาอุณหภูมิและความเร็วในการไหลของควันสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (10) ถึงสมการที่ (13)

ถ้าความหนา (h_b) ไม่มาก คว้นที่ไหลระหว่างช่องคานจะมีโอกาสไหลล้นไปสู่ช่องระหว่างคานที่อยู่ติดกันทำให้อุณหภูมิที่คำนวณจากสมการที่ (16) มีค่าคลาดเคลื่อน เพื่อป้องกันการไหลล้นของคว้นระหว่างช่องคาน Evans (1995) เสนอว่าคานควรมีความหนาอย่างน้อยเป็นไปตามสมการที่ (18) เมื่อ

$$\frac{h_b}{H} > 0.126 \left(\frac{H}{W} \right)^{1/3} \quad (18)$$

เมื่อ h_b คือ ความหนาของคาน

5. การจำลองพฤติกรรมของเพลิงไหม้ด้วยแบบจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ Fire Dynamics Simulator (FDS)

แบบจำลองพลศาสตร์อรรถกฤษ FDS (2008) จำลองพฤติกรรมการไหลของคว้นได้เพดานโดยการแก้ระบบสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยซึ่งประกอบด้วย

สมการอนุรักษ์มวล (conservation of mass)

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot \rho \bar{u} = 0 \quad (19)$$

สมการอนุรักษ์มวลย่อย (conservation of species)

$$\frac{\partial (\rho Y_l)}{\partial t} + \nabla \cdot \rho Y_l \bar{u} = \nabla \cdot \rho D_l Y_l + \dot{m}_l''' \quad (20)$$

สมการอนุรักษ์โมเมนตัม (conservation of momentum)

$$\rho \left(\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} + (\bar{u} \cdot \nabla) \bar{u} \right) + \nabla p = \rho \bar{g} + \bar{f} + \nabla \tau \quad (21)$$

สมการอนุรักษ์โมเมนตัม (conservation of momentum)

$$\frac{\partial(\rho h)}{\partial t} + \nabla \cdot \rho h \bar{u} = \frac{Dp}{Dt} - \nabla \cdot \bar{q}_r + \nabla \cdot k \nabla T + \sum_l \nabla \cdot h_l \rho D_l \nabla Y_l \quad (22)$$

โดย ρ คือ ความหนาแน่น $\bar{u}$ คือ เวกเตอร์ความเร็ว Y_l คือ เศษส่วนโดยมวลของมวลย่อยที่ l m'' คือ อัตราการทำปฏิกิริยาต่อปริมาตรของมวลย่อยที่ l D_l คือ สัมประสิทธิ์การแพร่ของมวลย่อยที่ l p คือ ความดัน $\bar{f}$ คือ แรงภายนอกที่กระทำต่อของไหล τ คือ viscous stress tensor h คือ เอนทัลปี $\bar{q}_r$ คือ ฟลักซ์การแผ่รังสีความร้อน k คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อน และ T คือ อุณหภูมิ

โปรแกรม FDS ใช้แบบจำลอง Large Eddy Simulation (LES) ของ Smagorinsky (1963) ในการจำลองพฤติกรรมการไหลแบบปั่นป่วนโดยเทอม viscous stress tensor (τ) เขียนในรูป

$$\tau = \mu_{LES} \left(\text{def } \bar{u} - \frac{2}{3} (\nabla \cdot \bar{u}) I \right) \quad (23)$$

$$\text{โดย } \mu_{LES} = \rho (Cs \Delta)^2 \left(2 (\text{def } \bar{u}) \cdot (\text{def } \bar{u}) - \frac{2}{3} (\nabla \cdot \bar{u})^2 \right)^{1/2} \quad (24)$$

$$\text{เมื่อ } \text{def } \bar{u} = \frac{1}{2} \left(\nabla \cdot \bar{u} + (\nabla \cdot \bar{u})^t \right) \quad (25)$$

ซึ่ง $\text{def } \bar{u}$ คือ อัตราการเปลี่ยนรูปของ stress tensor (stress tensor deformation) I คือ เมตริกเอกลักษณ์ μ_{LES} คือ ความหนืดของ LES Cs คือค่าคงที่ของ Smagorinsky โดยใช้ค่าคงที่เท่ากับ 0.2 สำหรับในงานวิจัยนี้

โปรแกรม FDS ใช้แบบจำลอง mixture fraction ในการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงกับอากาศ โดยอาศัยสมมุติฐานที่ว่า อัตราการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงกับออกซิเจนถูกควบคุมโดยอัตราของการที่เชื้อเพลิงกับออกซิเจนเข้าผสมกัน (mixing controlled combustion) และทันทีที่เชื้อเพลิงกับออกซิเจนผสมกันเชื้อเพลิงจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนอย่างรวดเร็ว (infinitely fast chemical

reaction) ได้เป็นแก๊สผลิตภัณฑ์การเผาไหม้ที่เกิดจากการเผาไหม้โดยสมบูรณ์ (stoichiometric combustion) ตัวแปร mixture fraction เขียนได้ตามการเสนอของ Mell *et al.* (2000) ดังนี้

$$v_F \text{Fuel} + v_O \text{O}_2 \rightarrow \sum_i v_{p,i} \text{Products}$$

$$Z = \frac{sY_F - (Y_O - Y_O^\infty)}{sY_F^I + Y_O^\infty} \quad (26)$$

$$s = \frac{v_O M_O}{v_F M_F} \quad (27)$$

โดย Z คือ mixture fraction Y_F คือเศษส่วนโดยมวลของเชื้อเพลิง Y_F^I คือ เศษส่วนโดยมวลของเพลิงเชื้อเพลิงจากแหล่งกำเนิด Y_O คือ เศษส่วนโดยมวลของออกซิเจน Y_O^∞ คือ เศษส่วนโดยมวลของออกซิเจนในอากาศและ s คือ อัตราส่วนโดยมวลของออกซิเจนต่อเชื้อเพลิงที่ทำให้ปฏิกิริยาโดยสมบูรณ์ (stoichiometric oxygen to fuel mass ratio)

ตัวแปร mixture fraction เป็นปริมาณสเกลาร์ เขียนในเทอมของสมการการเคลื่อนที่ของปริมาณสเกลาร์ (scalar transport equation) ได้โดยอาศัยสมการที่ (20) และ (26) ซึ่ง

$$\rho \left(\frac{\partial Z}{\partial t} + \vec{u} \cdot \nabla Z \right) = \nabla \cdot \rho D \nabla Z \quad (28)$$

สมการอนุรักษ์ของปริมาณต่าง ๆ (สมการที่ (19) ถึง (28)) สามารถหาผลเฉลยได้โดยอาศัยระเบียบวิธีเชิงตัวเลข

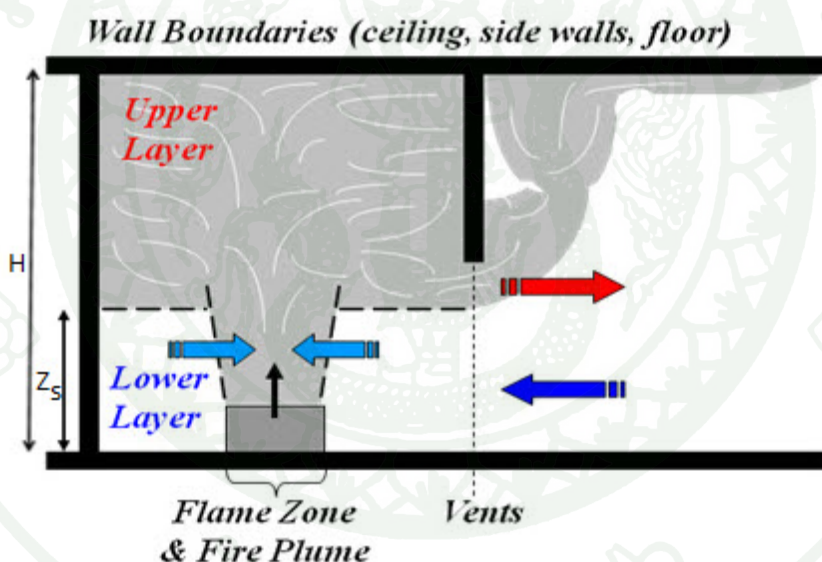
6. ความสูงของห้องควันภายในพื้นที่ปิด (Smoke Interface Height in A Compartment)

เมื่อเกิดเพลิงไหม้ภายในห้องหรือพื้นที่ปิด ควันไฟซึ่งร้อนกว่าอากาศโดยรอบจะลอยตัวสูงขึ้นไปในแนวดิ่งเนื่องจากแรงลอยตัว เมื่อควันลอยไปกระทบเพดานควันจะไหลไปในแนวระดับใต้เพดานจนกระทั่งไปกระทบผนังห้อง จากนั้นควันจะเกิดการสะสมตัวและลดระดับต่ำลงมาสถานะภายในห้องในขณะนี้สามารถแบ่งได้ออกเป็น 2 โซน โซนด้านบนประกอบไปด้วยควันร้อน

และโซนด้านล่างประกอบด้วยอากาศซึ่งมีอุณหภูมิโดยประมาณเท่ากับอุณหภูมิห้อง การไหลภายในห้องเป็นการไหลแบบปั่นป่วนอย่างมาก ทำให้สภาวะของก๊าซภายในแต่ละโซนมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ (uniform condition) ตำแหน่งที่ความสูงโซนทั้ง 2 แยกออกจากกันอย่างชัดเจน เรียกระดับความสูงนี้ว่าความสูงของท้องควัน หรือ smoke interface height (z_s) ในการจำลองด้วยแบบจำลอง FDS เราสามารถหาความสูงของท้องควันภายในห้องได้ด้วยการอินทิเกรตสมการที่ (29)

$$(H - z_s)T_U = \int_{z_s}^H T(z) dz \quad (29)$$

เมื่อ H คือ ความสูงของห้อง z_s คือ ความสูงของท้องควัน T_U คือ อุณหภูมิของอากาศที่โซนด้านล่าง และ $T(z)$ คือ อุณหภูมิของก๊าซภายในห้องแปรผันตามความสูง z จากพื้นห้อง



ภาพที่ 4 พฤติกรรมเพลิงไหม้ภายในห้องหรือพื้นที่ปิดและการวัดความสูงของท้องควัน (smoke interface height)

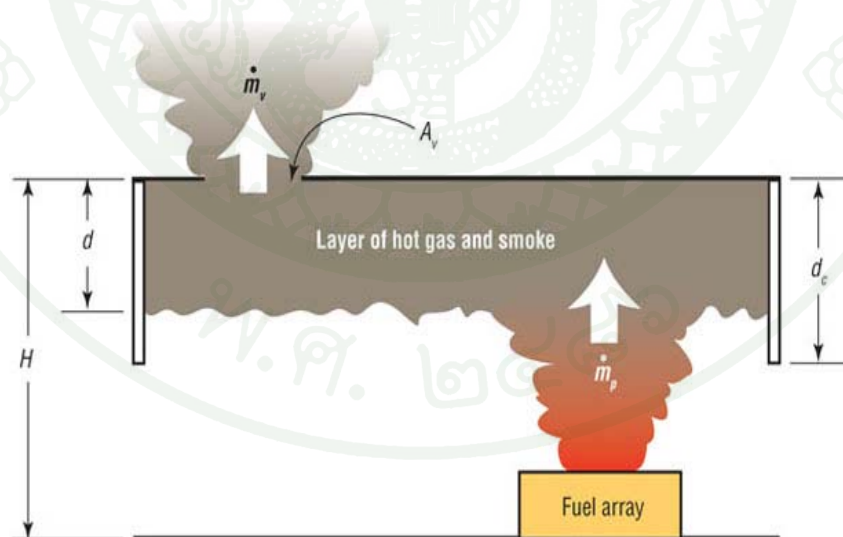
ความสูงของท้องควันนี้จะเป็นค่าบ่งชี้ที่สำคัญในการวิเคราะห์สภาวะที่ปลอดภัยภายในอาคารขณะเกิดเพลิงไหม้ โดยมาตรฐาน NFPA 101, Life Safety Codes (2009) กำหนดให้ความสูงของท้องควันจากพื้นในบริเวณทางไปสู่ทางหนีไฟ (exit access) ของชั้นที่สูงที่สุดซึ่งเชื่อมต่อกับโถง atrium ต้องมีสูงอย่างน้อย 6 ฟุต (185 เซนติเมตร) เป็นเวลาอย่างน้อย 20 นาที หรือ 1.5 เท่าของเวลา

การอพยพ เพื่อให้คนภายในอาคารปลอดภัยจากควันพิษตามข้อกำหนดของ NFPA 101 อาคารจะต้องมีการติดตั้งระบบควบคุมควันไฟภายในอาคารที่เหมาะสม

7. มาตรฐานการควบคุมควันไฟภายในห้อง atrium

อาคารขนาดใหญ่ภายในประเทศไทยรวมถึงอาคารสูง เช่น ห้างสรรพสินค้า โรงแรม อาคารสนามบิน เป็นต้น มักมีการออกแบบให้มีห้องสูงลักษณะ atrium ไว้ภายในอาคาร เนื่องจากความสวยงามและให้ความรู้สึกที่โปร่งไม่เกิดอาการคับแคบเมื่อใช้อาคาร แต่ในด้านความปลอดภัยนั้น เมื่อเกิดเพลิงไหม้ห้อง atrium เป็นช่องทางให้ควันไฟสามารถแพร่กระจายไปยังส่วนต่าง ๆ ของอาคารได้อย่างรวดเร็ว ถ้าห้องสูง atrium ของอาคารไม่มีระบบควบคุมควันไฟที่เหมาะสม

NFPA 204, Standard for Smoke and Heat Venting (2007) ได้กำหนดมาตรฐานในการระบายควันภายในห้องสูง atrium ไว้ดังแสดงในภาพที่ 5 แสดงรูปแบบการระบายควันของห้อง atrium ตามมาตรฐาน NFPA 204 ด้วยวิธีธรรมชาติ โดยการเจาะช่องเปิดระบายควัน (smoke vent) ที่เพดานของห้อง atrium



ภาพที่ 5 รูปแบบการระบายควันของห้อง Atrium ด้วยวิธีทางธรรมชาติ ตามมาตรฐาน NFPA 204, Standard for Smoke and Heat Venting (2007)

จากภาพที่ 5 ช่องเปิดระบายควันพื้นที่ A_v เปิดออกเพื่อระบายควันภายในโถงสูง atrium ไม่ให้ลดระดับต่ำลงมาจนอยู่ในระดับความสูงที่เป็นอันตรายต่อผู้ใช้อาคาร อัตราการเกิดควัน $\dot{m}_p$ อัตราการระบายควัน $\dot{m}_v$ พื้นที่ช่องเปิด A_v และความหนาของควัน d ที่สภาวะคงตัว ตามมาตรฐาน NFPA 204 สามารถหาได้จากสมการดังนี้

อัตราการเกิดควันสามารถคำนวณได้จากสมการ

เมื่อ $z_s > L$

$$\dot{m}_p = \left[0.071 \dot{Q}_c^{1/3} (z_s - z_0)^{5/3} \right] \left[1 + 0.027 \dot{Q}_c^{2/3} (z_s - z_0)^{-5/3} \right] \quad (30)$$

และ เมื่อ $z_s < L$

$$\dot{m}_p = 0.0056 \dot{Q}_c \left(\frac{z_s}{L} \right) \quad (31)$$

โดย $\dot{m}_p$ คือ อัตราการเกิดควัน (kg/s) $\dot{Q}_c$ คือ อัตราการปล่อยพลังงานความร้อนโดยการพาความร้อนของกองเพลิง (kW) เท่ากับ $0.7 \dot{Q}$ เมื่อ $\dot{Q}$ คือ อัตราการปล่อยพลังงานความร้อนของกองเพลิง z_s คือ ความสูงของห้องควัน (m) z_0 คือ ความสูงเสมือนของกองเพลิง (virtual origin, m) และ L คือ ความสูงเฉลี่ยของเปลวไฟ (m)

ความสูงเฉลี่ยของเปลวไฟ L และความสูงเสมือนของกองเพลิง z_0 คำนวณได้จาก

$$L = -1.02D + 0.235 \dot{Q}_c^{2/5} \quad (32)$$

$$z_0 = 0.083 \dot{Q}_c^{2/5} - 1.02D \quad (33)$$

เมื่อ D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของกองเพลิง

สำหรับอัตราการไหลของควันผ่านช่องเปิด $\dot{m}_v$ สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\dot{m}_v = \frac{C_{d,v} A_v}{\sqrt{1 + \frac{C_{d,v}^2 A_v}{C_{d,i}^2 A_i} \left(\frac{T_0}{T_p} \right)}} \left(\sqrt{2 \rho^2 g d} \right) \left(\sqrt{\frac{T_0 (T_p - T_0)}{T_p^2}} \right) \quad (34)$$

เมื่อ $\dot{m}_v$ คือ อัตราการไหลของควันผ่านช่องเปิด (kg/s) A_v คือ พื้นที่ของช่องเปิด (m^2) $C_{d,v}$ และ $C_{d,i}$ คือ สัมประสิทธิ์ของการไหลผ่านช่องเปิด A_v และ A_i คือ พื้นที่ของช่องเปิด T_0 และ T_p คือ อุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมและอุณหภูมิของควันตามลำดับ d คือ ความหนาของควันดังแสดงในภาพที่ 5 อุณหภูมิของควันสามารถประมาณได้จากสมการ

$$T_p = T_0 + \frac{K Q_c}{c_p \dot{m}_p} \quad (35)$$

โดย K คือ Energy conversion factor เท่ากับ 0.5 ตามข้อกำหนดของ NFPA 204 วัตถุประสงค์ของการควบคุมควันไฟคือการรักษาให้ระดับความสูงของท้องควันให้อยู่สูงกว่าพื้นของเส้นทางการหนีไฟตลอดช่วงเวลาที่ใช้ในการหนีไฟ อัตราการเกิดควัน $\dot{m}_p$ เท่ากับอัตราการระบายควันผ่านช่องเปิด $\dot{m}_v$ ความสูงของท้องควันจะคงที่ ถ้ากำหนดให้สมการที่ (30) หรือ (31) เท่ากับสมการที่ (34) เราสามารถแก้สมการเพื่อหาขนาดของช่องเปิด A_v ที่เหมาะสมเพื่อการระบายควันโดยวิธีธรรมชาติได้

8. วิธีการระบายควันไฟโดยทางเครื่องกล (mechanical exhaust)

NFPA 130, Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems (2007) ได้กำหนดสภาวะแวดล้อมที่คนสามารถอยู่ได้ในกรณีฉุกเฉินเมื่อมีการใช้งานระบบพัดลมระบายอากาศ โดยกำหนดให้อุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศภายในช่องทางเดินที่เชื่อมต่อไปสู่ทางหนีไฟของทุกชั้นห้ามสูงเกินกว่า 49 องศาเซลเซียส ภายในช่วง 6 นาทีแรก

อัตราการระบายควันโดยใช้พัดลมระบายอากาศ ต้องมีค่าไม่น้อยกว่าอัตราการเกิดควันไฟจากกองเพลิง $\dot{m}_p$ โดยที่จำนวนน้อยที่สุดของพัดลมระบายควันไฟที่จะใช้ติดตั้งต้องติดตั้งโดยที่ค่าอัตราการระบายควันสูงสุดของพัดลมระบายควันไฟมีค่าไม่เกินค่าที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์ plugholing โดยที่ค่าอัตราการระบายควันสูงสุดโดยใช้พัดลมระบายควันไฟ โดยไม่เกิดปรากฏการณ์ plugholing สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (36)

$$V_{\max} = 4.16\gamma d^{5/2} \left(\frac{T_p - T_0}{T_0} \right)^{1/2} \quad (36)$$

โดยที่ $V_{\max}$ คืออัตราการระบายควันสูงสุดที่อุณหภูมิ T_p ที่ไม่ทำให้เกิดปรากฏการณ์ plugholing (m^3/sec) γ คือค่า exhaust location factor d คือ ความหนาของควันไฟ (m) T_0 และ T_p คืออุณหภูมิสัมบูรณ์ของสิ่งแวดล้อมและอุณหภูมิของควันตามลำดับ ($^{\circ}\text{K}$)



อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เครื่องคอมพิวเตอร์ CPU AMD 2.31 GHz, RAM 3.25 GB, Harddisk 80 GB.
2. โปรแกรม FDS version 5.2.0
3. โปรแกรม Smokeview version 5.2.2
4. โปรแกรม PyroSim version 2008
5. โปรแกรม AutoCAD 2007
6. โปรแกรม Microsoft Office 2007
7. แบบก่อสร้างอาคารนวัตกรรมการจัดการและการท่องเที่ยว มหาวิทยาลัยบูรพา

วิธีการ

1. ทำการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลของการออกแบบของอาคารนวัตกรรมการจัดการและการท่องเที่ยว มหาวิทยาลัยบูรพา จังหวัดชลบุรีในส่วนของแบบวิศวกรรมโยธาและแบบสถาปัตยกรรมเพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์และศึกษาจำลองการเกิดเหตุการณ์เพลิงไหม้รวมถึงพฤติกรรมการแพร่กระจายควันภายในอาคารนวัตกรรมการจัดการและการท่องเที่ยว มหาวิทยาลัยบูรพา จังหวัดชลบุรี โดยการสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรม PyroSim และส่งต่อไปคำนวณด้วยโปรแกรมแบบจำลองพลศาสตร์อวกาศ (Fire Dynamics Simulator, FDS) เพื่อทำการประมวลผลต่อไป

1.1 โปรแกรมแบบจำลองพลศาสตร์อวกาศ (Fire Dynamics Simulator, FDS) เป็นโปรแกรมที่ได้รับการพัฒนาขึ้นมาโดยเฉพาะสำหรับวิเคราะห์ปัญหาทางด้านอวกาศโดยสถาบัน National Institute of Standards and Technology (NIST) ประเทศสหรัฐอเมริกา เพื่อใช้สำหรับการจำลองการเคลื่อนที่ของไฟโดยใช้ระเบียบวิธีปริมาตรจำกัด (Finite Volume Method) ในการแก้สมการการเคลื่อนที่ของของไหลและสมการพลังงานของของไหล ซึ่งเป็นการไหลที่ความเร็วต่ำ (Low Speed) ซึ่งการใช้โปรแกรม FDS ในการจำลองเหตุเพลิงไหม้มีความปลอดภัยสูง เนื่องจาก

ไม่ได้ดำเนินการทดลองจากการเผาไหม้จริงอีกทั้งยังสามารถนำผลการจำลองไปใช้ในการวิเคราะห์และประเมินเหตุการณ์เพลิงไหม้ที่ได้อีกด้วย

การทำงานของโปรแกรมแบบจำลองพลศาสตร์อัคคีภัย (Fire Dynamics Simulator, FDS) ได้ใช้หลักการของการแบ่งห้องหรืออาคารออกเป็นส่วนเล็ก ๆ ในลักษณะที่เรียกว่า “computational cell” หรือ “grid” เพื่อใช้คำนวณความหนาแน่น ความเร็ว อุณหภูมิ ความดัน และความเข้มข้นของแก๊สในแต่ละส่วนเล็ก ๆ โดยใช้กฎการอนุรักษ์มวลและพลังงานช่วยในการคำนวณ นอกเหนือจากนั้นโปรแกรม FDS ยังอนุญาตให้ผู้ใช้สามารถกำหนดรูปแบบ ขนาดของอาคาร หรือห้องที่เป็นต้นเหตุของเพลิงไหม้ รวมถึงคุณสมบัติของวัสดุต่างๆ เช่น วัสดุตกแต่ง ผนังห้อง พื้นห้อง และเพดานในการจำลองเหตุการณ์การเกิดเพลิงไหม้

ความแม่นยำและความถูกต้อง (verification and validation) ในการคำนวณและแสดงผลของแบบจำลองนี้ขึ้นอยู่กับกริดการออกแบบจำนวนกริด (grid refine) ดังนั้นผู้ใช้งานต้องตัดสินใจว่าต้องการผลลัพธ์ที่มีความละเอียดมากน้อยเพียงใด แต่ในทางกลับกันจำนวนกริดเป็นส่วนสำคัญในการกำหนดระยะเวลาในการทดลอง โดยระยะเวลาในการทดลองอาจอยู่ในช่วงของนาที่ถึงสัปดาห์ขึ้นอยู่กับจำนวนของกริดและระยะเวลาของการคำนวณ (simulation time)

โปรแกรม FDS สามารถแสดงผลลัพธ์ได้หลายอย่าง เช่น อุณหภูมิของควันไฟ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ การเคลื่อนที่ของควันไฟ เวกเตอร์ความเร็ว อัตราการไหลเชิงมวลของควันไฟผ่านช่องเปิด อัตราการไหลเชิงปริมาตรของควันไฟผ่านช่องเปิด การมองเห็น ความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์ การทำงานของอุปกรณ์ตรวจจับควันและการทำงานของอุปกรณ์ตรวจจับความร้อน เป็นต้น ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองโดยใช้โปรแกรมแบบจำลองพลศาสตร์อัคคีภัย (Fire Dynamics Simulator, FDS) สามารถแสดงให้เห็นผ่านทางภาพเคลื่อนไหวผ่านทางโปรแกรม Smokeview ซึ่งเป็นโปรแกรมประกอบของโปรแกรม FDS

1.2 แบบจำลองอาคารนวัตกรรมการจัดการและการท่องเที่ยว มหาวิทยาลัยบูรพา จังหวัดชลบุรี

อาคารนวัตกรรมการจัดการและการท่องเที่ยว มหาวิทยาลัยบูรพา จังหวัดชลบุรีเป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก มีขนาดกว้าง 50 เมตร ยาว 85 เมตร สูง 9 ชั้นที่มีความสูงจากระดับพื้นดินถึงระดับพื้นชั้นดาดฟ้า 34.30 ม. และมีขนาดพื้นที่ใช้งานรวมประมาณ 30,500 ตารางเมตร มีการเปิด

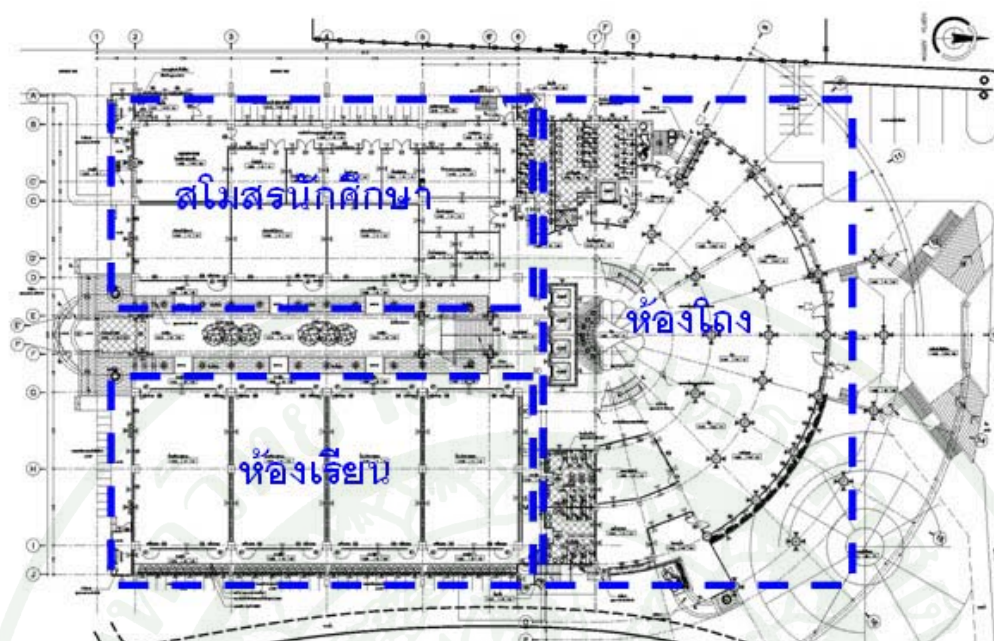
พื้นเป็น โถง atrium ตั้งแต่พื้นชั้น 1 จนถึงชั้นหลังคาต่อเนื่องถึงกัน โดยพื้นชั้น 2 ถึงชั้น 6 มีพื้นที่เปิด โถงขนาดกว้าง 6.20 เมตร ยาว 27.75 เมตร (พื้นที่เท่ากับ 172.05 ตารางเมตร) และพื้นที่ชั้นที่ 7 ถึงชั้นหลังคามีพื้นที่เปิดโถงขนาดกว้าง 11.50 เมตร ยาว 27.75 เมตร (พื้นที่เท่ากับ 319.12 ตารางเมตร) ลักษณะการใช้งานของอาคารโดยสรุปในแต่ละชั้นได้แสดงไว้ในตารางที่ 1

เนื่องจากอาคารนวัตกรรมการจัดการและการท่องเที่ยว มหาวิทยาลัยบูรพา จังหวัดชลบุรี มี โถง atrium เปิดโล่งถึงกันตั้งแต่พื้นชั้น 1 จนถึงชั้นหลังคา ดังนั้นในกรณีที่เกิดเพลิงไหม้อาคารและ ไม่มีการติดตั้งระบบควบคุมการแพร่กระจายของควันภายในอาคารที่เหมาะสม จะทำให้เกิดการแพร่กระจายของควันซึ่งประกอบไปด้วยความร้อนและก๊าซพิษไปยังพื้นที่ต่างๆ ในแต่ละชั้นของอาคาร ได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งทำให้เป็นอันตรายต่อการอพยพหนีไฟ

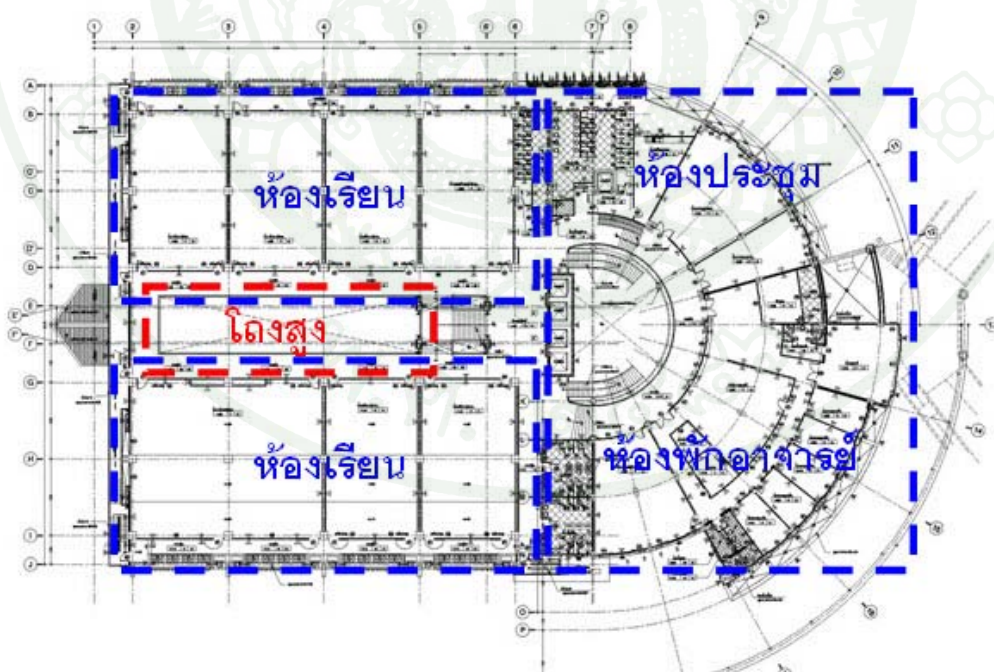
ตารางที่ 1 การใช้พื้นที่ของอาคารนวัตกรรมการจัดการและการท่องเที่ยว มหาวิทยาลัยบูรพา จังหวัดชลบุรี

ชั้นที่	โซนด้านทิศเหนือ	โซนด้านทิศใต้
1	ห้องโถง	สโมสรนักศึกษา, ห้องเรียน
2	ห้องประชุม, ห้องพักอาจารย์	ห้องเรียน
3	ห้องประชุม, ห้องพักอาจารย์	ห้องคอมพิวเตอร์, ห้องพักอาจารย์พิเศษ
4	ห้องประชุม, ห้องพักอาจารย์	ห้องเรียน
5	ห้องจัดเลี้ยง, ห้องประชุม	ห้องเรียน
6	โถงห้องประชุม	ห้องปฏิบัติการการท่องเที่ยว, ห้องเรียน
7	หลังคาเมทัลชีท	ห้องค้นคว้าบัณฑิตศึกษา, ห้องเรียน
8	โถงทางเดิน	ห้องเรียนบัณฑิตศึกษา
9	ห้องสันทนการ	ห้องพักอาจารย์
ดาดฟ้า	พื้นดาดฟ้าใช้งานอเนกประสงค์	พื้นดาดฟ้าใช้งานอเนกประสงค์

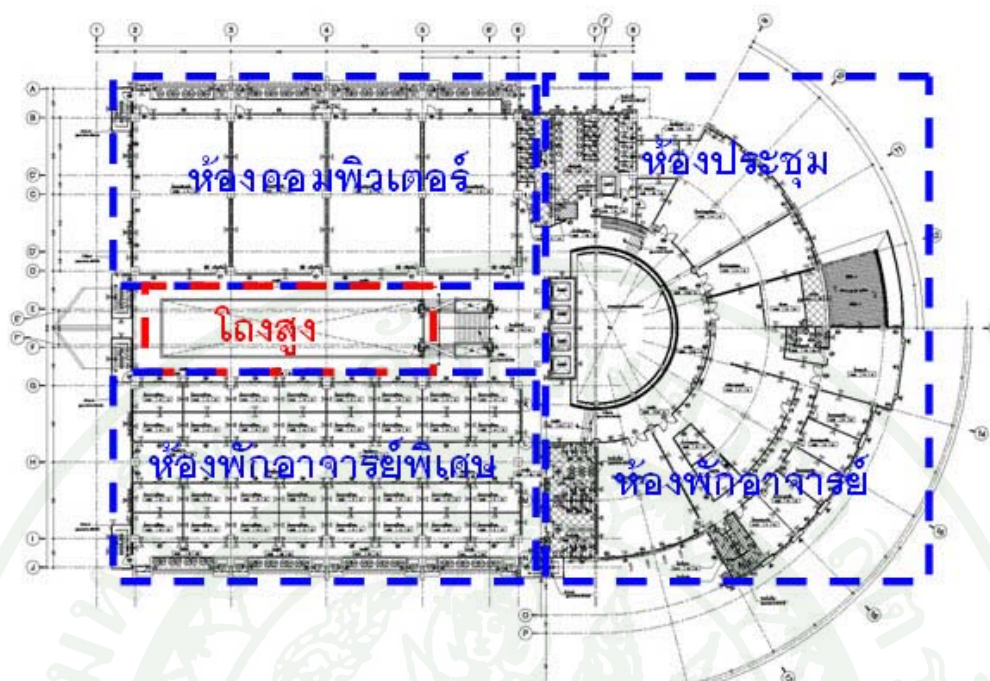
ภาพที่ 6 ถึง 20 แสดงแปลนพื้นของอาคารในแต่ละชั้น รูปด้าน และรูปตัดของอาคารเพื่อแสดงรายละเอียดของโถง atrium ภายในอาคาร



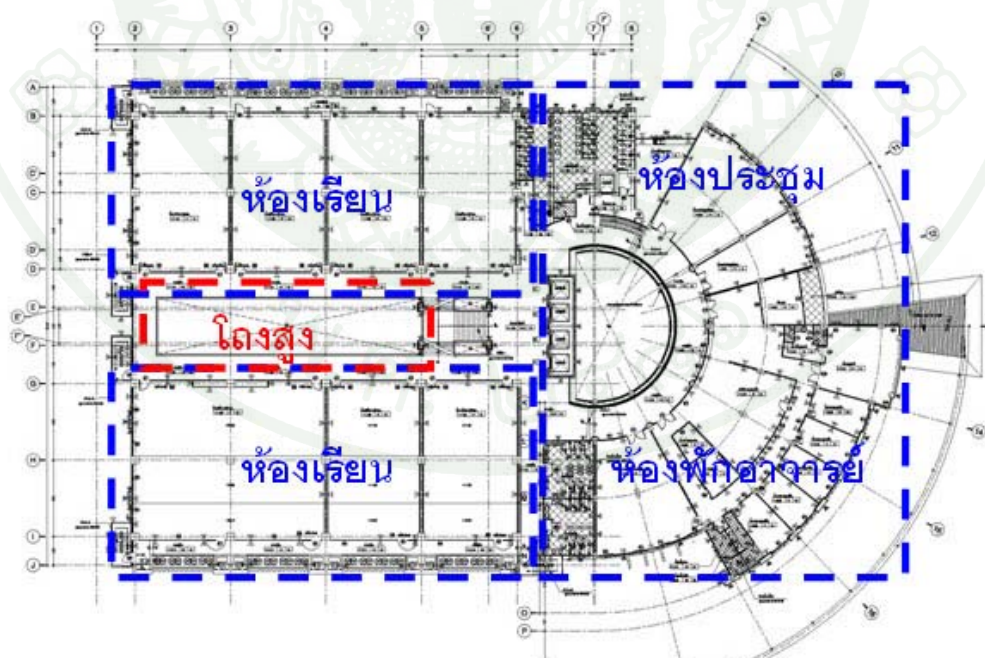
ภาพที่ 6 แสดงแปลนพื้นของอาคารชั้นที่ 1



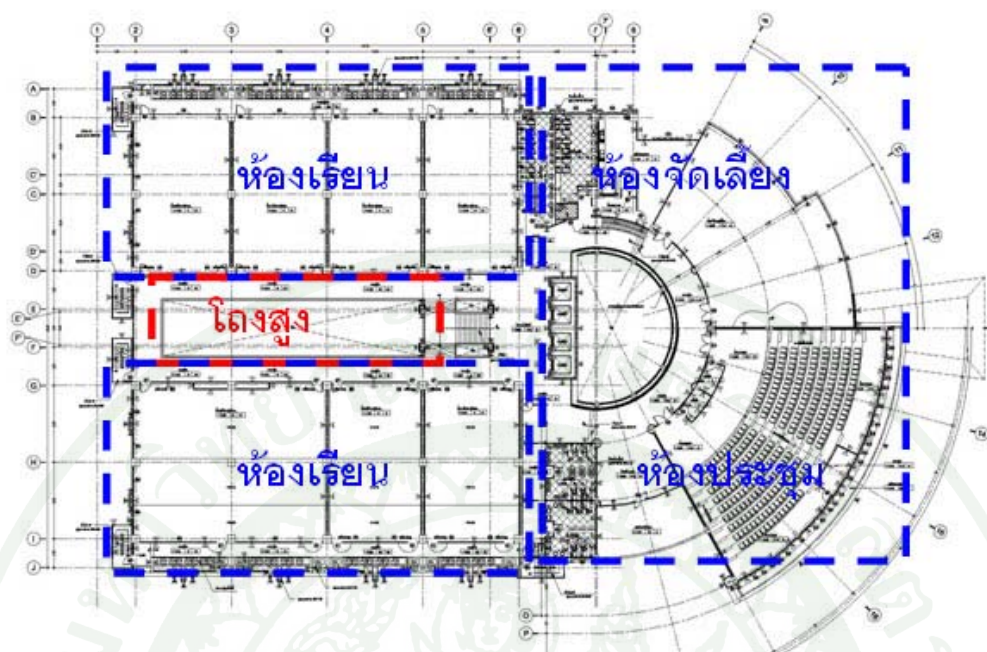
ภาพที่ 7 แสดงแปลนพื้นของอาคารชั้นที่ 2



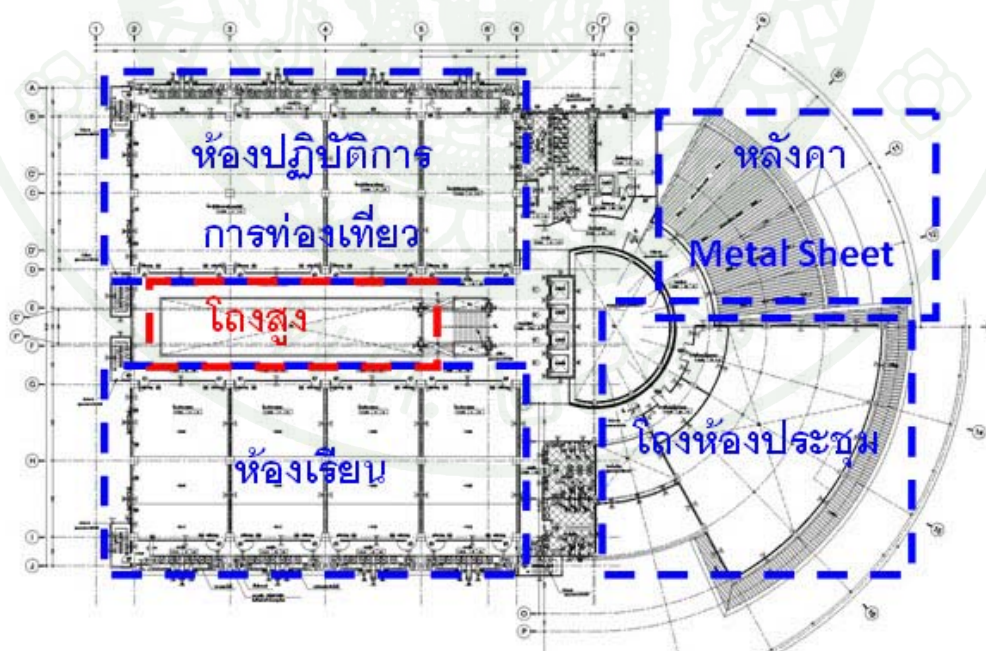
ภาพที่ 8 แสดงแปลนพื้นของอาคารชั้นที่ 3



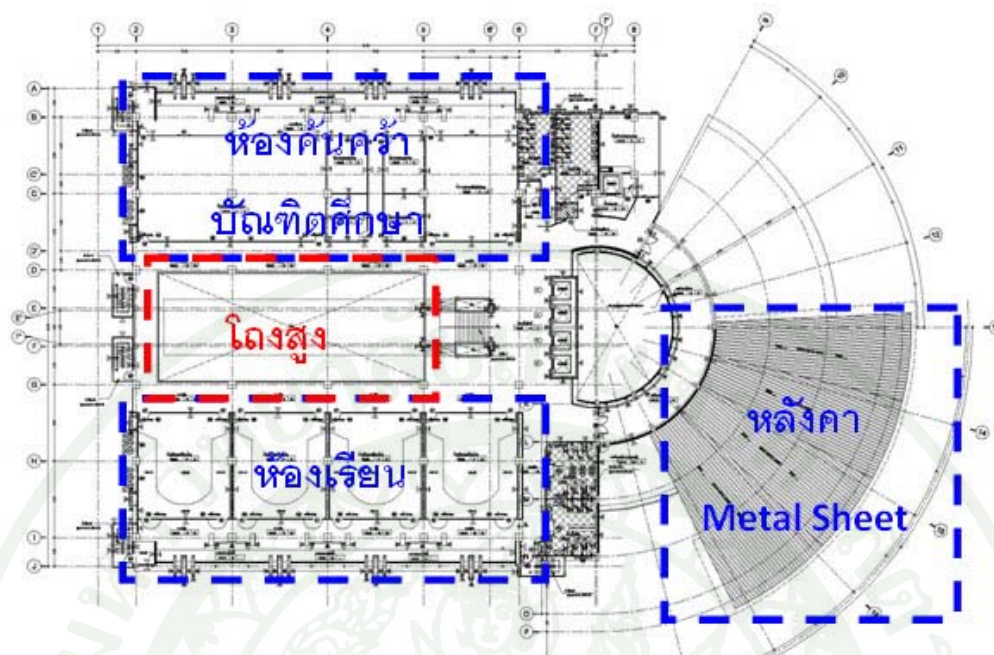
ภาพที่ 9 แสดงแปลนพื้นของอาคารชั้นที่ 4



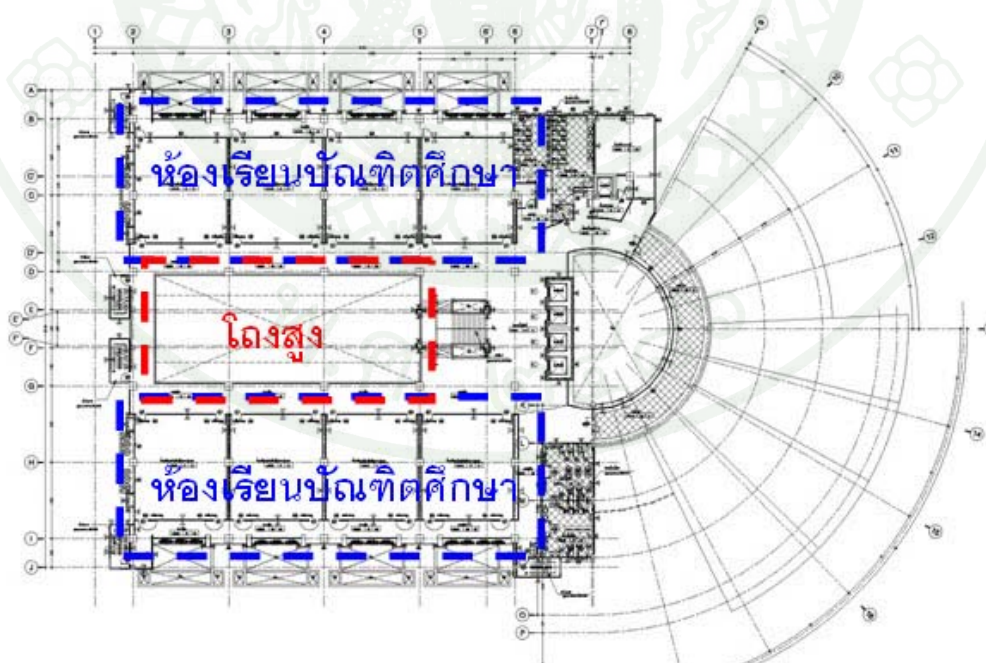
ภาพที่ 10 แสดงแปลนพื้นของอาคารชั้นที่ 5



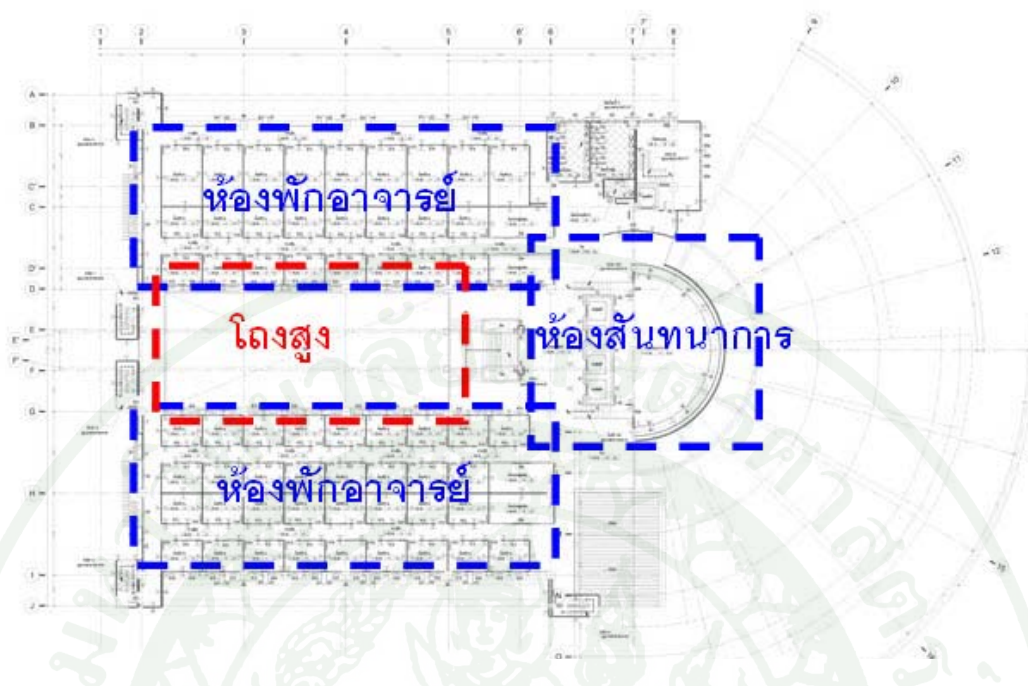
ภาพที่ 11 แสดงแปลนพื้นของอาคารชั้นที่ 6



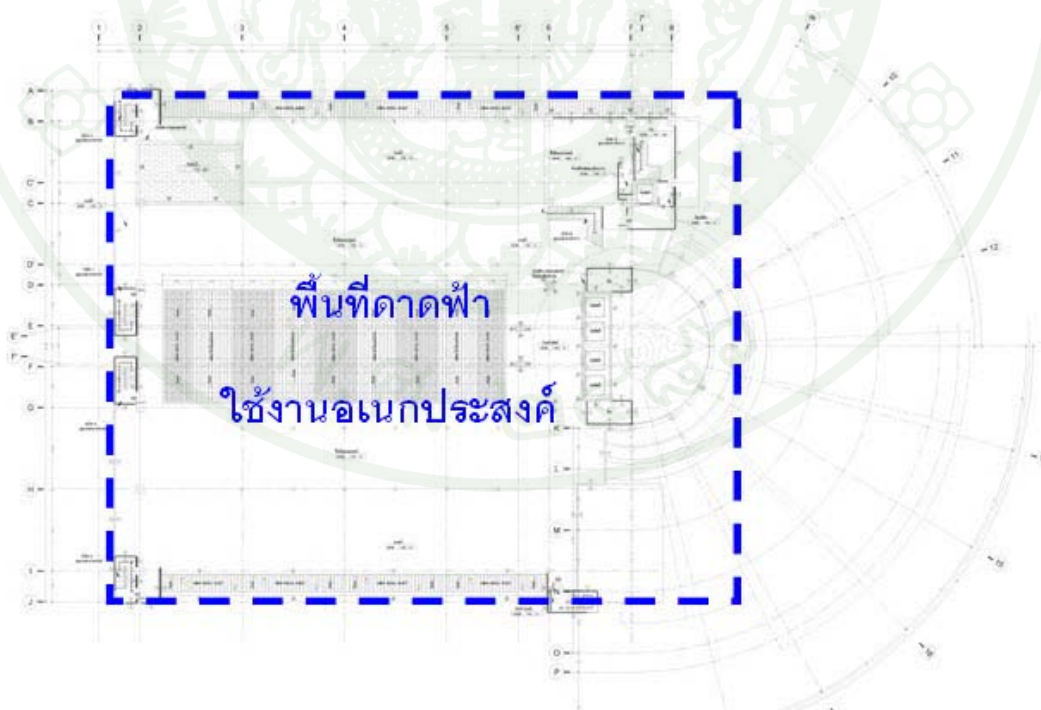
ภาพที่ 12 แสดงแปลนพื้นของอาคารชั้นที่ 7



ภาพที่ 13 แสดงแปลนพื้นของอาคารชั้นที่ 8



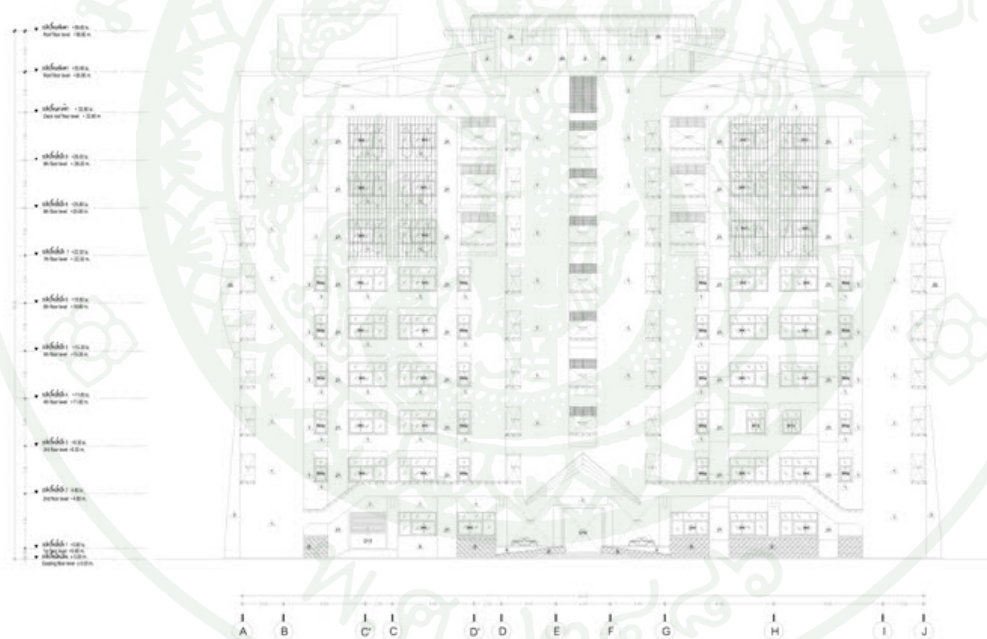
ภาพที่ 14 แสดงแปลนพื้นของอาคารชั้นที่ 9



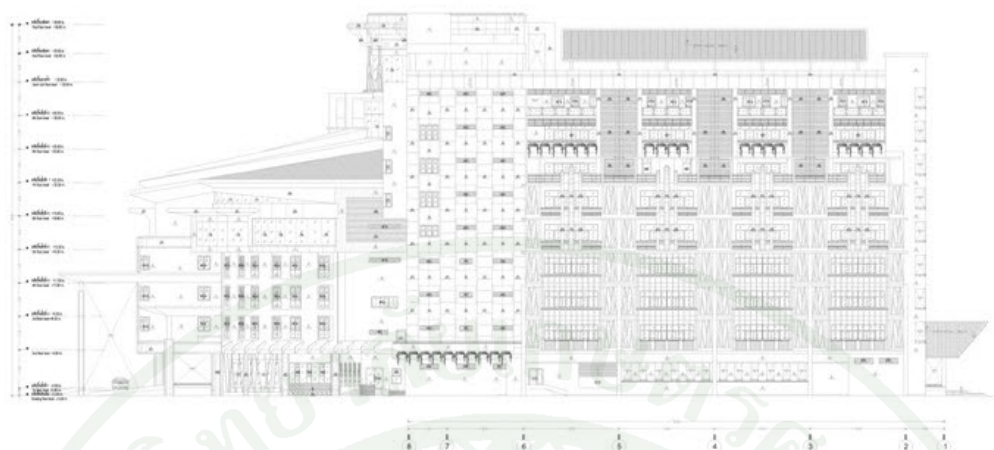
ภาพที่ 15 แสดงแปลนพื้นของอาคารชั้นหลังคา



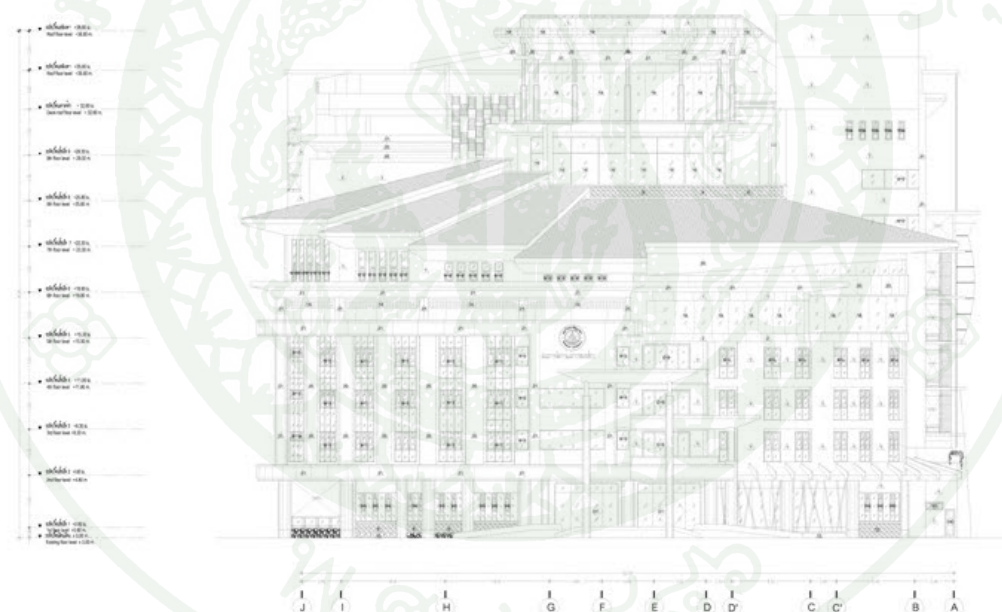
ภาพที่ 16 แสดงรูปด้านทิศตะวันออก



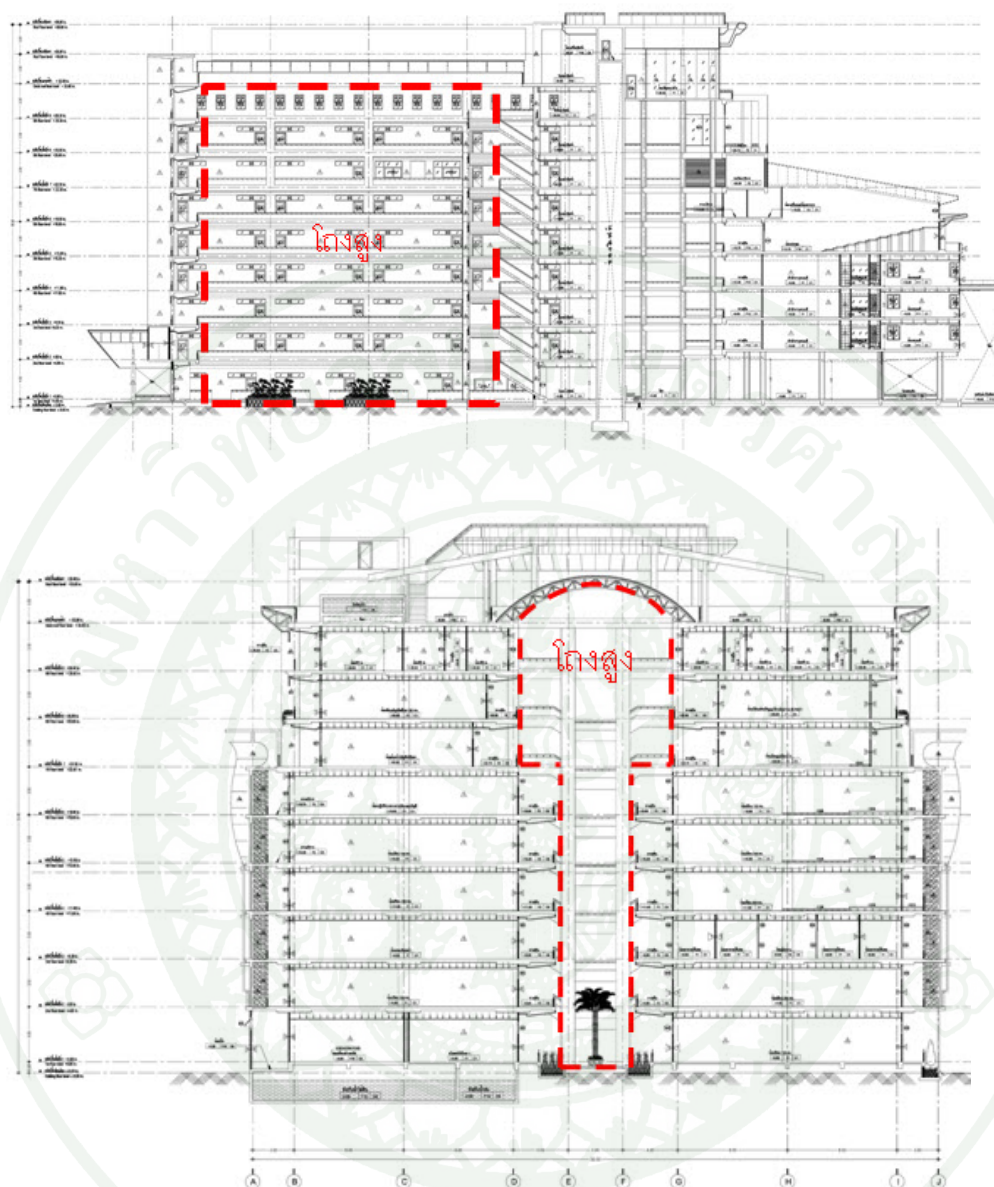
ภาพที่ 17 แสดงรูปด้านทิศใต้



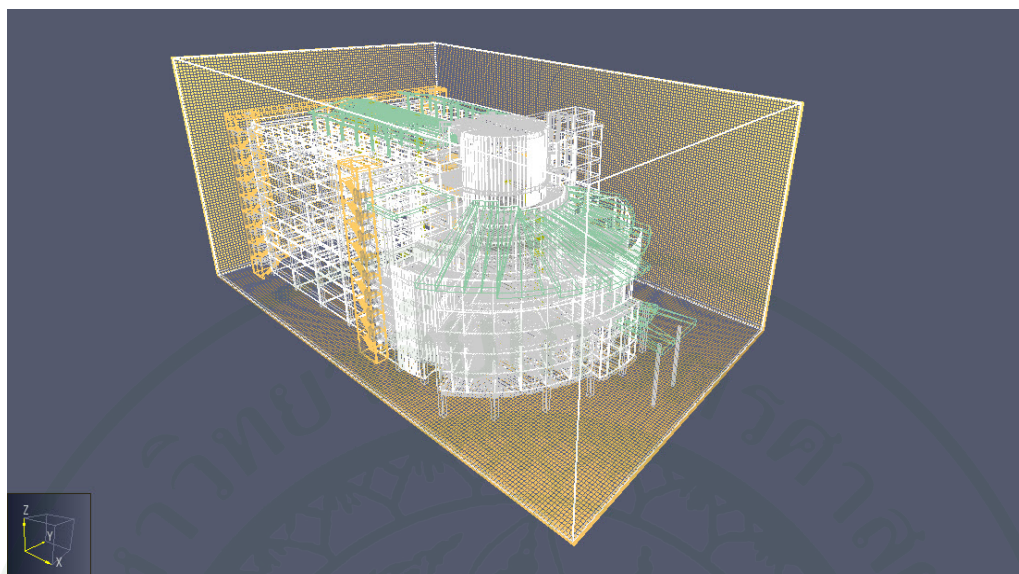
ภาพที่ 18 แสดงรูปด้านตะวันตก



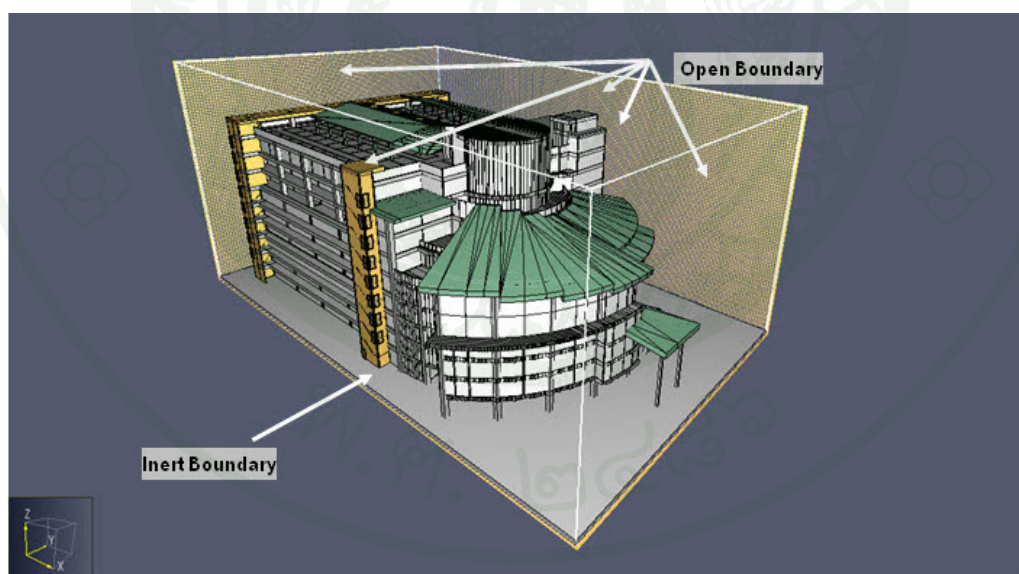
ภาพที่ 19 แสดงรูปด้านทิศเหนือ



ภาพที่ 20 ภาพตัดตามยาวและภาพตัดตามขวางของอาคารแสดงรายละเอียดโถง Atrium



แบบจำลองของอาคาร โดยแสดงเฉพาะเส้น Outline



แบบจำลองของอาคารและการกำหนดค่าขอบเขตของโดเมนการคำนวณ

ภาพที่ 21 แบบจำลองของอาคารนวัตกรรมการจัดการและการท่องเที่ยว มหาวิทยาลัยบูรพา สำหรับจำลองพฤติกรรมของเพลิงไหม้และการระบายควันด้วยโปรแกรม PyroSim

จากแบบก่อสร้างของอาคาร ผู้วิจัยได้ดำเนินการป้อนข้อมูลให้กับโปรแกรม PyroSim เพื่อการสร้างแบบจำลองของอาคารและส่งต่อไปคำนวณคำนวณพฤติกรรมการณ์เคลื่อนที่ของควัน ด้วยโปรแกรมพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ FDS (Fire Dynamics Simulator) แบบจำลองของอาคารที่สร้างด้วยโปรแกรม FDS ได้แสดงไว้ในภาพที่ 21

การกำหนดค่าขอบเขต (boundary conditions) ของโดเมนการคำนวณทำด้วยโปรแกรม PyroSim และส่งข้อมูลต่อไปโปรแกรม FDS จำลองพฤติกรรมการณ์ไหลของควัน โดเมนที่ใช้ในการคำนวณมีขนาดกว้าง 60 เมตร ยาว 100 เมตร และสูง 46 เมตร ซึ่งครอบคลุมอาคาร นวัตกรรมจัดการและการท่องเที่ยว มหาวิทยาลัยบูรพา จังหวัดชลบุรีทั้งหลัง ขอบเขตของโดเมน (domain boundaries) ที่ผิวด้านข้างทั้ง 4 ด้านและด้านบน กำหนดให้เปิดสู่สภาวะบรรยากาศภายนอก (open boundary) ซึ่งมีคุณสมบัติที่มวลและความร้อนสามารถไหลออกจากผิวโดเมนได้ โดยอิสระ ที่พื้นด้านล่างกำหนดให้ค่าขอบเขตเป็นผิวที่มวลไม่สามารถไหลผ่านได้ และกำหนดอุณหภูมิที่ผิวด้านล่างคงที่ 25 องศาเซลเซียส (inert boundary) ตลอดเวลาในการจำลอง

1.3 พฤติกรรมการณ์กระจายตัวของควันไฟภายในอาคาร

อาคารนวัตกรรมจัดการและการท่องเที่ยว มหาวิทยาลัยบูรพา จังหวัดชลบุรีมีขนาดพื้นที่รวมกันทุกชั้นประมาณ 30,500 ตารางเมตร และมีความสูงจากพื้นดินถึงพื้นชั้นดาดฟ้าเท่ากับ 34.30 เมตร ดังนั้นอาคารนี้จึงเป็นอาคารสูงและอาคารขนาดใหญ่พิเศษตามกฎหมายกระทรวงฉบับ 33 (พ.ศ.2535) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 ซึ่งบัญญัติไว้ว่าอาคารที่มีพื้นที่รวมกันทุกชั้นหรือชั้นหนึ่งชั้นใดในหลังเดียวกันตั้งแต่ 10,000 ตารางเมตรขึ้นไปจัดเป็นอาคารขนาดใหญ่พิเศษ และอาคารที่มีความสูงตั้งแต่ 23.00 เมตรขึ้นไปจัดเป็นอาคารสูง ซึ่งเมื่อพิจารณาบทบัญญัติเกี่ยวกับการระบายควันในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 พบว่า ข้อ 10 ทวิ บัญญัติไว้ว่า อาคารสูงหรืออาคารขนาดใหญ่พิเศษที่มีโถงภายในอาคารเป็นช่องเปิดทะลุพื้นของอาคารตั้งแต่สองชั้นขึ้นไปและไม่มีผนังปิดล้อม ต้องจัดให้มีระบบควบคุมการแพร่กระจายของควันที่สามารถทำงานได้โดยอัตโนมัติเมื่อเกิดเพลิงไหม้ ทั้งนี้เพื่อระบายควันออกสู่ภายนอกอาคารได้อย่างรวดเร็ว

อาคารที่มีโถง atrium เปิดโล่งถึงกันตั้งแต่ชั้นที่ 1 ถึงชั้นดาดฟ้ามีโอกาสทำให้ควันไฟเคลื่อนที่ไปตามช่องเปิด atrium และกระจายไปทั่วพื้นที่ภายในอาคารได้อย่างรวดเร็ว หากอาคารไม่มีการติดตั้งระบบควบคุมการแพร่กระจายของควันภายในอาคารที่เหมาะสม ดังนั้นการศึกษา

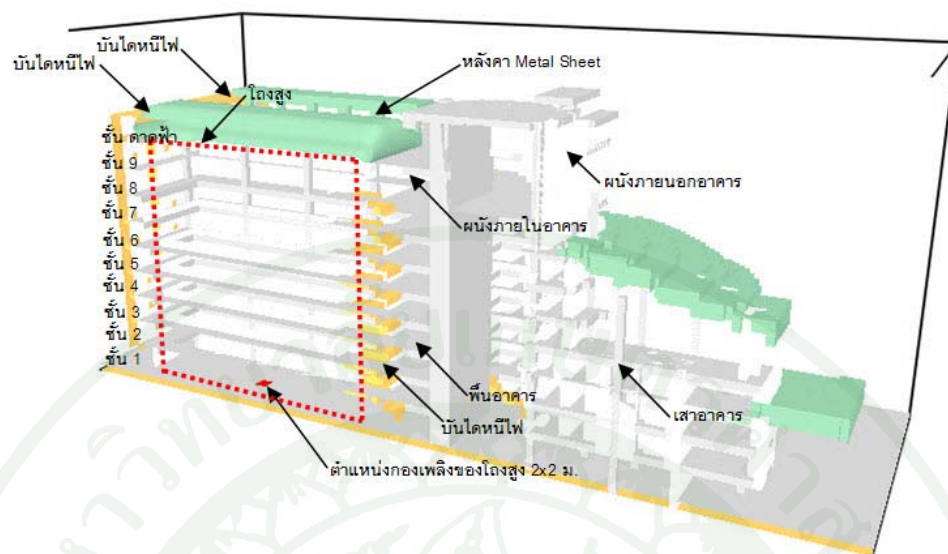
พฤติกรรมของเพลิงไหม้ภายในอาคารในหัวข้อนี้จะมุ่งเน้นศึกษาถึงผลกระทบของช่องเปิด atrium ต่อพฤติกรรมการแพร่กระจายของควันไฟภายในอาคารและเส้นทางอพยพหนีไฟที่มีช่องเปิดติดกับ โถง atrium รวมถึงหาแนวทางในการควบคุมการแพร่กระจายของควันในกรณีที่เกิดเพลิงไหม้ ภายในอาคาร

ในการศึกษาผลกระทบของช่องเปิด atrium ต่อพฤติกรรมการแพร่กระจายของควัน ผู้วิจัยได้กำหนดเหตุการณ์เพลิงไหม้สมมุติที่เลวร้ายที่สุด (worst case fire scenario) ให้เกิดเพลิงไหม้ ที่บริเวณพื้นที่ชั้น 1 (พื้น โถง atrium) ตรงตำแหน่งกึ่งกลางโถง atrium เนื่องจากเพลิงไหม้ที่ตำแหน่งนี้เป็นตำแหน่งที่ทำให้ควันไฟสามารถแพร่กระจายไปตามโถง atrium ผู้ชั้นต่าง ๆ ของอาคารได้อย่างรวดเร็วที่สุด กองเพลิงที่ใช้ในการคำนวณมีขนาดพื้นที่การเผาไหม้เท่ากับ 2×2 ตารางเมตร ตั้งอยู่บนพื้นที่ชั้น 1 กลางโถง atrium ดังแสดงในภาพที่ 22 การกำหนดค่าขอบเขตของวัตถุที่เป็น โครงสร้างของอาคารในโปรแกรม FDS ไว้ในตารางที่ 2

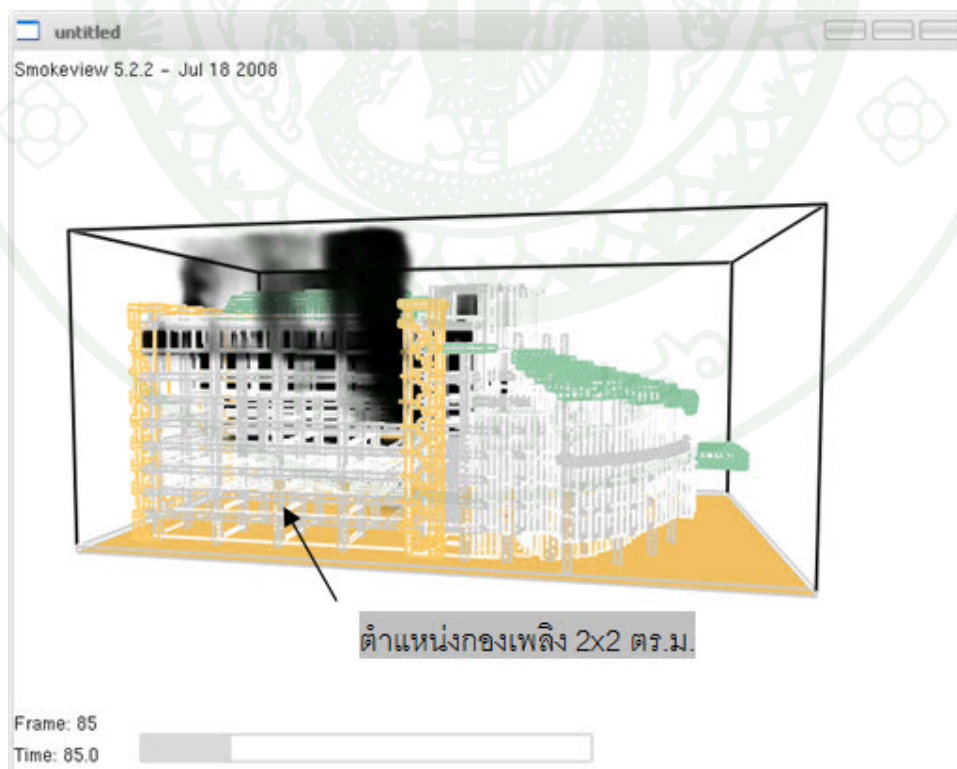
ตารางที่ 2 ชนิดของวัสดุที่กำหนดในโปรแกรม FDS

ส่วนประกอบอาคาร	ชนิดของวัสดุ
พื้นอาคาร	CONCRETE
ผนังภายในอาคาร	BRICK
ผนังโดยรอบอาคาร	BRICK
เสา	CONCRETE
หลังคา	STEEL

การเลือกใช้วัสดุเพื่อป้อนข้อมูลในการทดลองนั้นผู้วิจัยได้กำหนดชนิดของวัสดุต่าง ๆ ไว้ตามตารางที่ 1 โดยในการก่อสร้างอาคารจริงอาคารออกแบบติดตั้งกระจกบริเวณผนังภายในของ โถง atrium ซึ่งในความเป็นจริงหากเกิดเพลิงไหม้กระจกเมื่อโดนความร้อนจะแตก แต่ข้อจำกัดของ โปรแกรม FDS ผนังที่ติดตั้งในการจำลองนั้นจะติดตั้งคงที่อยู่ไม่สามารถกำหนดให้แตกได้ ดังนั้น ผู้วิจัยจึงกำหนดให้ผนังภายในของอาคารเป็นผนังอิฐแทนในการจำลอง



ภาพที่ 22 แสดงตำแหน่งของกองเพลิงและชนิดของวัสดุในส่วนต่างๆ ของตัวอาคารที่ใช้ในการศึกษาผลกระทบของช่องเปิด atrium ต่อการแพร่กระจายของควัน



ภาพที่ 23 ภาพแสดงตำแหน่งกองเพลิงและควันไฟในการจำลองเพลิงไหม้ภายในห้อง atrium

1.4 ผลกระทบของกริดต่อผลการจำลอง (Grid Refinement Study)

ขนาดของกริดมีผลกระทบต่อความถูกต้องแม่นยำของผลการจำลองด้วยวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ กริดขนาดเล็กมีแนวโน้มที่ให้การจำลองถูกต้องแม่นยำมากกว่า กริดขนาดใหญ่ อย่างไรก็ตามการกำหนดขนาดกริดที่เล็กลงจะทำให้จำนวนปริมาตรจำกัดที่ต้องพิจารณาในโดเมนการคำนวณมีมากขึ้น ส่งผลให้เวลาที่ใช้ในการคำนวณ (CPU time) มากตามไปด้วย จนในบางครั้งเวลาในการคำนวณอาจนานเกินกว่าที่จะยอมรับได้ ดังนั้นการเลือกขนาดกริดที่เหมาะสมจะต้องพิจารณาซึ่งน้ำหนักระหว่างความถูกต้องแม่นยำของผลการจำลองกับเวลาที่ใช้ในการคำนวณที่สามารถยอมรับได้

โดยปกติการประมาณหาความคลาดเคลื่อนของผลการจำลองจะทำการเปรียบเทียบผลที่คำนวณได้จากแบบจำลองกับค่าที่วัดได้จากการทดลองจริง แต่ในกรณีนี้การทดลองเพลาองเพลิงภายในอาคารจริงเป็นเรื่องที่ไม่สามารถดำเนินการได้ เนื่องจากปัจจุบันอาคารนี้ยังอยู่ระหว่างการดำเนินการก่อสร้าง นอกจากนี้การทดลองเพลาองเพลิงจริงภายในอาคาร ต้องใช้งบประมาณในการดำเนินการสูงมากจนอาจไม่สามารถดำเนินการได้ ดังนั้นในการศึกษานี้ผู้วิจัยจึงดำเนินการหาผลกระทบของขนาดกริดต่อผลการจำลองโดยมีสมมติฐานว่ากริดขนาดเล็กจะให้ผลการจำลองที่มีค่าใกล้เคียงความจริงมากกว่ากริดขนาดใหญ่ (กริดขนาดเล็กให้ผลการจำลองที่มีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่ากริดขนาดใหญ่) ถ้าลดขนาดกริดให้เล็กลงจนถึงจุดหนึ่งผลการจำลองจะไม่ขึ้นอยู่กับขนาดกริด หรือ grid convergence การลดขนาดกริดต่อไปจะไม่ให้ประโยชน์แต่อย่างไรซ้ำยังทำให้เวลาในการคำนวณเพิ่มขึ้นโดยไม่จำเป็นอีกด้วย ดังนั้นขนาดกริดที่เหมาะสมจึงเป็นขนาดกริดที่เมื่อลดขนาดลงต่อไปแล้วจะไม่ทำให้ผลการจำลองแตกต่างกันไปอย่างมีนัยสำคัญ (ในกรณีนี้แตกต่างกันน้อยกว่า 10 เปอร์เซ็นต์)

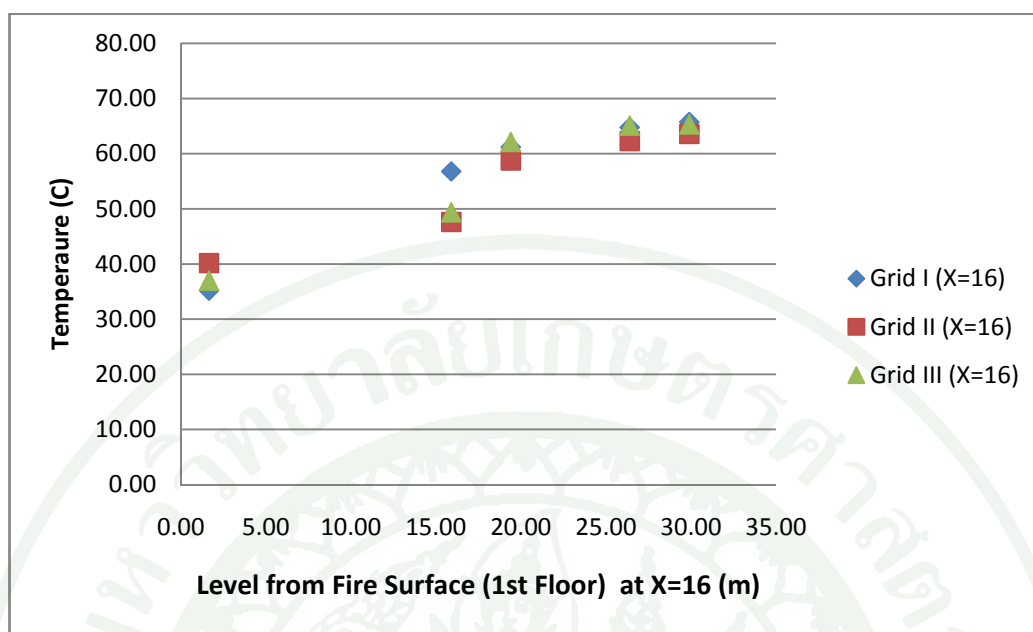
การศึกษาผลกระทบของขนาดกริดต่อผลการจำลองได้ดำเนินการโดยการจำลองเพลาองเพลิงไหม้จากกองเพลิงที่มีอัตราการปล่อยพลังงานความร้อน ($\dot{Q}$) เท่ากับ 7.1 MW การจำลองใช้ กริดที่มีความละเอียด 3 ระดับคือ coarse moderate และ fine โดยตารางที่ 3 แสดงพารามิเตอร์ที่ใช้ในการศึกษาผลกระทบของขนาดกริดต่อผลการจำลอง จำนวนกริดในแต่ละกรณีจาก Grid I ถึง Grid II และจาก Grid II ถึง Grid III มีจำนวนกริดเพิ่มขึ้นร้อยละ 50 ในแต่ละแกน การจำลองในแต่ละกรณีได้ดำเนินการเป็นเวลา 420 วินาที (simulation time) เมื่อสภาวะภายในห้องโถง atrium เข้าสู่สภาวะคงตัว (ที่เวลาประมาณ 200 วินาที) จากนั้นได้ทำการคำนวณหาอุณหภูมิเฉลี่ยของควันตั้งแต่วันที่ 250 วินาที ถึง 350 วินาที ที่ความสูง 1.65 15.90 19.40 26.40 และ 29.90 เมตรจากพื้นชั้น 1 (ความสูงของ

atrium วัดจากระดับพื้นชั้น 1 จนถึงระดับหลังคาเหล็กเท่ากับ 36.21 เมตร) ที่ตำแหน่งด้านซ้าย ($X=16$) และ ด้านขวา ($X=32$) ของกองเพลิง (ดูภาพที่ 31 ประกอบ) และความสูงของควันเฉลี่ย (smoke interface height ตามวิธีในทฤษฎีที่เกี่ยวข้องหัวข้อ 5) ภายในโถง atrium ในสภาวะคงตัวของที่ตำแหน่ง $X=16$ และ $X=32$ ตามลำดับ

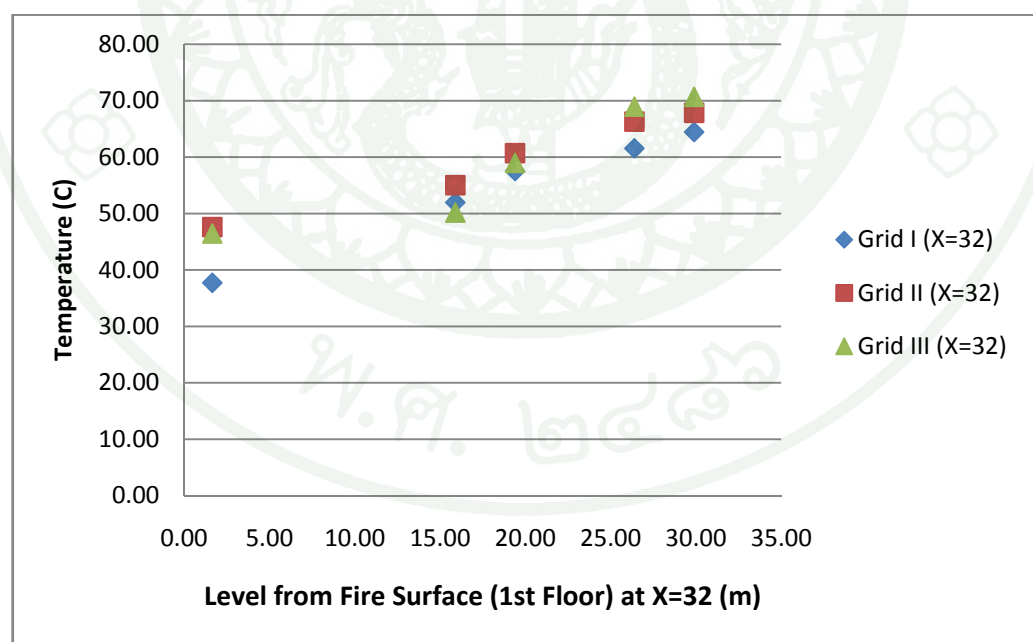
ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิที่สภาวะคงตัวสำหรับแต่ละขนาดกริดได้แสดงไว้ในภาพที่ 24 สำหรับตำแหน่ง $X=16$ และภาพที่ 25 สำหรับตำแหน่ง $X=32$ และความสูงเฉลี่ยของควันภายในโถง atrium ที่สภาวะคงตัวได้แสดงไว้ในภาพที่ 28 จากกราฟภาพที่ 28 พบว่าความสูงเฉลี่ยของควันมีค่าโดยประมาณเท่ากับ 15.45 เมตร (Grid I) 14.90 เมตร (Grid II) และ 13.31 เมตร (Grid III) ตามลำดับ ที่ระดับต่ำกว่าความสูงเฉลี่ยของควัน อุณหภูมิของก๊าซมีค่าประมาณ 25°C ซึ่งเท่ากับอุณหภูมิของอากาศที่สภาวะเริ่มต้นนั่นเอง ในขณะที่ระดับความสูงมากกว่าความสูงเฉลี่ยของควัน อุณหภูมิของควันมีค่าแปรผันเล็กน้อยกับความสูงเนื่องจากการไหลของควันเป็นการไหลแบบปั่นป่วนอย่างมาก ทำให้อุณหภูมิของควันมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอไม่ขึ้นอยู่กับระยะความสูง จากกราฟที่ 24 และ 25 พบว่าเมื่อกริดมีขนาดเล็กลง อุณหภูมิของควันที่คำนวณได้มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากอุณหภูมิที่คำนวณได้เป็นค่าเฉลี่ยภายในปริมาตรจำกัดนั้นๆ เมื่อกริดมีขนาดเล็กลง ปริมาตรจำกัดจะมีขนาดเล็กลง ส่งผลให้ค่าอุณหภูมิที่คำนวณได้เฉลี่ยต่อปริมาตรจำกัดมีค่าเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 3 พารามิเตอร์ในการศึกษาผลกระทบของขนาดกริดต่อผลการจำลอง

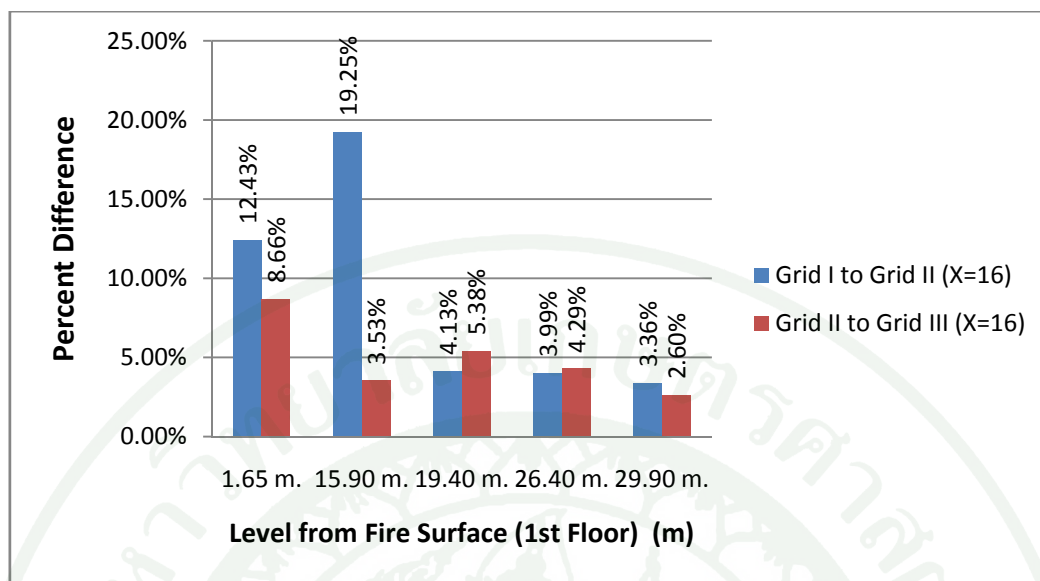
กรณี	ความละเอียด	จำนวนกริด			ขนาดกริด (m)			อัตราการปล่อยพลังงานความร้อน (kW)	หมายเหตุ
		NPX	NPY	NPZ	ΔX	ΔY	ΔZ		
1	Grid I : Coarse	80	48	36	1.25	1.25	1.28	7,100	ไม่ระบายควัน
2	Grid II : Moderate	120	72	54	0.83	0.83	0.85	7,100	ไม่ระบายควัน
3	Grid III : Fine	180	108	81	0.56	0.56	0.57	7,100	ไม่ระบายควัน



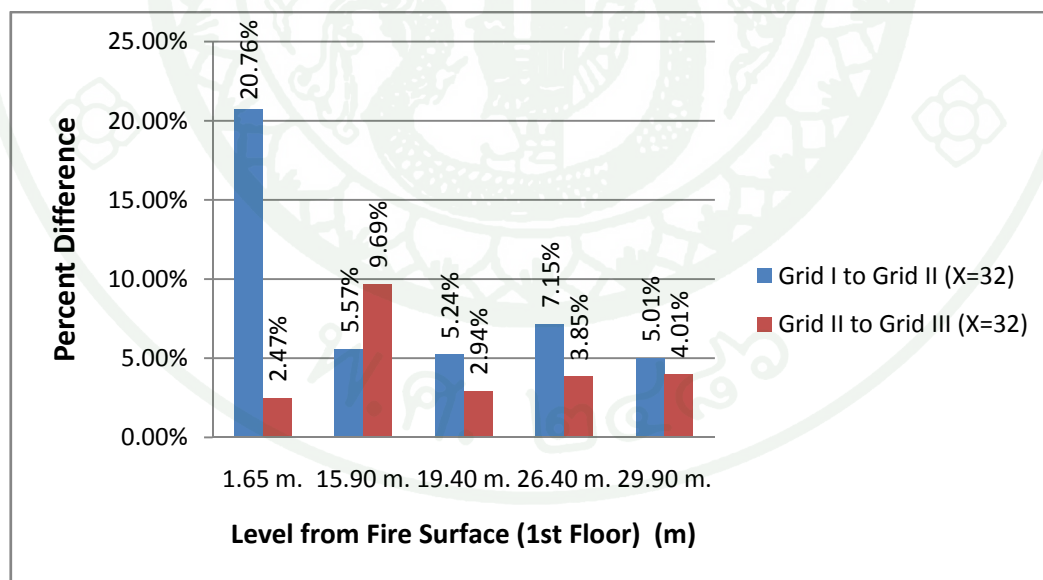
ภาพที่ 24 อุณหภูมิเฉลี่ยของควันในสภาวะคงตัวที่ความสูงต่างๆ จากพื้นชั้น 1 ตำแหน่ง X=16 m.



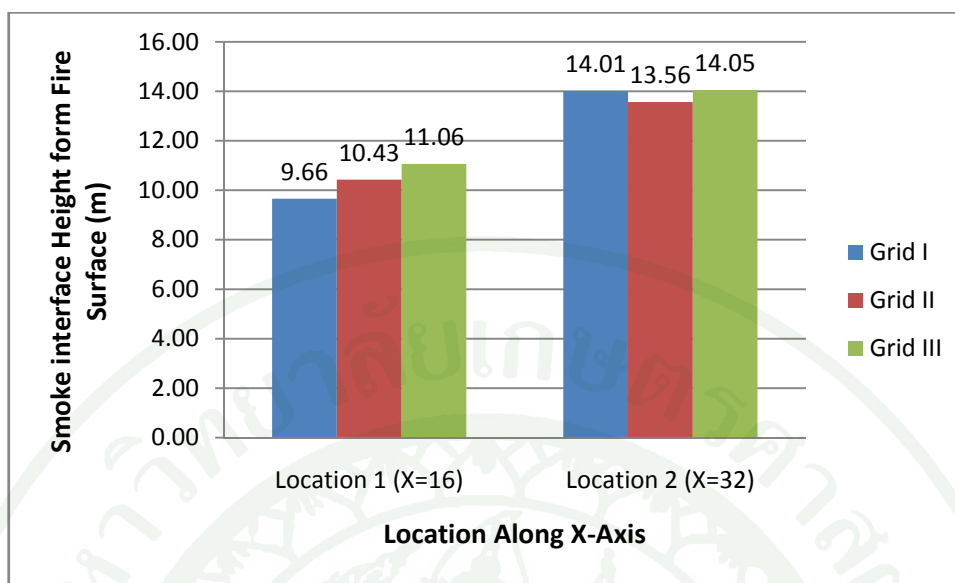
ภาพที่ 25 อุณหภูมิเฉลี่ยของควันในสภาวะคงตัวที่ความสูงต่างๆ จากพื้นชั้น 1 ตำแหน่ง X=32 m.



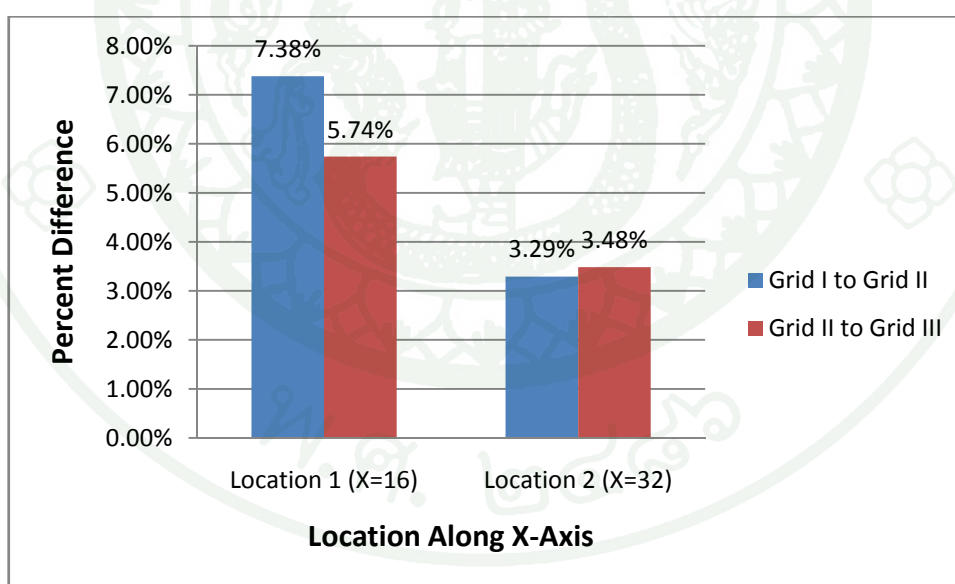
ภาพที่ 26 เปรอ์เซ็นต์ความแตกต่างของอุณหภูมิของควันเมื่อทำการลดขนาดกริด ที่ความสูง 1.65 15.90 19.40 26.40 และ 29.90 เมตรจากระดับพื้นชั้น 1 ที่ระยะ X=16 m.



ภาพที่ 27 เปรอ์เซ็นต์ความแตกต่างของอุณหภูมิของควันเมื่อทำการลดขนาดกริด ที่ความสูง 1.65 15.90 19.40 26.40 และ 29.90 เมตรจากระดับพื้นชั้น 1 ที่ระยะ X=32 m.



ภาพที่ 28 ความสูงเฉลี่ยของควันในสภาวะคงตัวภายในห้อง atrium ที่ระยะ X=16 และ X= 32 m.



ภาพที่ 29 เปอร์เซนต์ความแตกต่างของความสูงของควันเมื่อทำการลดขนาดกริด

ตารางที่ 4 พารามิเตอร์ไร้หน่วย เวลาที่จำลอง และ เวลาที่ใช้ในการคำนวณ

กรณี	ความละเอียด	จำนวนกริด	$\dot{Q}_D$	R^*	Simulate Time	CPU Time
1	Grid I : Coarse	138,240	1.25	0.61	420 sec	1.53 hr
2	Grid II : Moderate	466,560	0.83	0.41	420 sec	8.28 hr
3	Grid III : Fine	1,574,640	0.56	0.27	420 sec	45.49 hr

เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของผลการจำลองในการเปลี่ยนกริดจาก Grid I เป็น Grid II และ จาก Grid II เป็น Grid III สำหรับอุณหภูมิได้แสดงไว้ในภาพที่ 26 และภาพที่ 27 ส่วนความสูงเฉลี่ยของควัน ได้แสดงไว้ในภาพที่ 30 พารามิเตอร์ไร้หน่วยและเวลาที่ใช้ในการคำนวณ (CPU Time) ได้สรุปไว้ในตารางที่ 4

เมื่อลดขนาดกริดลงจาก Grid I ไปเป็น Grid II จะพบว่าที่ระดับความสูงที่ต่ำกว่าความสูงของควัน (ที่ระดับความสูง 1.65 ม.) เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเฉลี่ยของอุณหภูมิของควันที่คำนวณได้ มีค่าเท่ากับ 12.43% (X=16) และ 20.76% (X=32) ตามลำดับ และที่ระดับความสูงที่สูงกว่าความสูงของควัน (ที่ระดับความสูง 29.90 ม.) เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเฉลี่ยของอุณหภูมิของควันที่คำนวณได้ มีค่าเท่ากับ 3.36% (X=16) และ 5.01% (X=32) ตามลำดับ ในส่วนความสูงของควันเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างมีค่าเท่ากับ 7.38% (X=16) และ 3.29% (X=32) เวลาที่ใช้ในการคำนวณเพิ่มขึ้นจาก 1.53 ชั่วโมงเป็น 8.28 ชั่วโมง

เมื่อลดขนาดกริดลงจาก Grid II ไปเป็น Grid III จะพบว่าที่ระดับความสูงที่ต่ำกว่าความสูงของควัน (ที่ระดับความสูง 1.65 ม.) เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเฉลี่ยของอุณหภูมิของควันที่คำนวณได้ มีค่าเท่ากับ 8.66% (X=16) และ 2.47% (X=32) ตามลำดับ และที่ระดับความสูงที่สูงกว่าความสูงของควัน (ที่ระดับความสูง 29.90 ม.) เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเฉลี่ยของอุณหภูมิของควันที่คำนวณได้ มีค่าเท่ากับ 2.60% (X=16) และ 4.01% (X=32) ตามลำดับ ในส่วนความสูงของควัน เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างมีค่าเท่ากับ 5.74% (X=16) และ 3.48% (X=32) เวลาที่ใช้ในการคำนวณเพิ่มขึ้นจาก 8.28 ชั่วโมงเป็น 45.49 ชั่วโมง

การลดขนาดกริดจาก Grid II ไปเป็น Grid III ไม่ได้ทำให้ผลการจำลองที่สภาวะคงตัวเปลี่ยนไปอย่างมีนัยสำคัญ (น้อยกว่า 10%) แต่ต้องใช้เวลาในการคำนวณเพิ่มขึ้นสูงมาก ดังนั้นขนาดกริด Grid II จึงเป็นขนาดกริดที่เหมาะสมที่สุดซึ่งจะเป็นขนาดกริดที่จะใช้ในการศึกษาผลกระทบของโถง atrium ต่อการแพร่กระจายของควันในอาคารต่อไป

1.5 ระบบควบคุมควันไฟสำหรับโถง atrium

ในการวิจัยนี้ผู้วิจัยได้กำหนดให้เพลิงไหม้อยู่ที่บริเวณกึ่งกลางพื้นโถง atrium (พื้นที่ชั้น 1 ของอาคาร) กองเพลิงที่ใช้ในการจำลองมีพื้นที่กึ่งที่ 4 ตารางเมตร จากนั้นทำการแปรผันค่าอัตราการปล่อยพลังงานความร้อนต่อพื้นที่ (HRRPUA: Heat Release Rate Per Unit Area) เพื่อให้ได้อัตราการปล่อยพลังงานของกองเพลิง 2.2, 7.1 และ 14.2 MW ตามลำดับ โดยอัตราการปล่อยพลังงานความร้อนของกองเพลิงทั้ง 3 ค่านี้มีที่มาดังนี้

การกำหนดให้มีอัตราการปล่อยพลังงานของกองเพลิง 2.2 MW เนื่องจากตามมาตรฐาน NFPA 92B, Standard for Smoke Management Systems in Malls, Atria, and Large Spaces (2009) ได้กำหนดให้อัตราการปล่อยพลังงานความร้อนของกองเพลิงเพื่อการจำลองระบบควบคุมควันไฟภายในโถง atrium ต้องมีขนาดอย่างน้อย 2.1 MW

การกำหนดให้อัตราการปล่อยพลังงานของกองเพลิง 7.1 MW เพื่อให้สอดคล้องกับข้อเสนอแนะที่ปรากฏในงานวิจัยของ Walter and Wan (2005) ที่ได้แนะนำขนาดกองเพลิงที่ใช้ในการจำลองสถานการณ์เพลิงไหม้ในเอเชียไว้ตามที่แสดงไว้ในตารางที่ 5 ได้กำหนดให้อัตราการปล่อยพลังงานความร้อนของกองเพลิงเพื่อการจำลองระบบควบคุมควันไฟภายในโถง atrium ต้องมีขนาดอย่างน้อย 7 MW

ส่วนการกำหนดให้อัตราการปล่อยพลังงานของกองเพลิง 14.2 MW เป็นค่าที่ผู้วิจัยกำหนดขึ้นให้มีขนาดเป็น 2 เท่าของข้อเสนอแนะตามตารางที่ 5 เพื่อเป็นการจำลองสถานการณ์เลวร้ายที่สุดของขนาดกองเพลิง นอกจากนี้ผู้วิจัยได้กำหนดในการจำลองทั้งหมดทุกกรณีศึกษาให้ระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิงของอาคารไม่ทำงานเพื่อเป็นการจำลองสถานการณ์เพลิงไหม้ที่เลวร้ายที่สุด (worst case scenario)

ตารางที่ 5 การเลือกขนาดกองเพลิงที่ใช้ในการจำลองสถานการณ์เพลิงไหม้ในเอเชีย

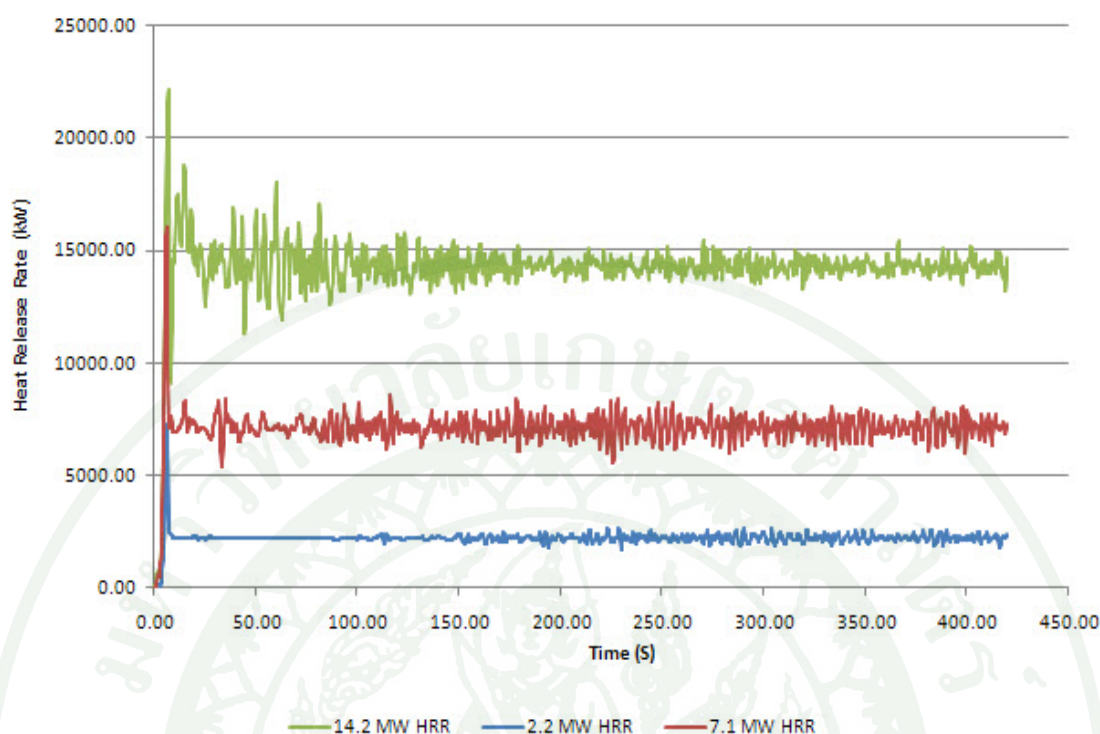
ประเภทอาคาร	อัตราการปล่อยพลังงานความร้อน
Airport and Train terminal hall	Up to 7 MW
Shopping mall	5 MW
Atrium	Up to 7 MW
Trian compartment	1 MW

ที่มา : Walter and Wan (2005)

ตารางที่ 6 สัมประสิทธิ์ stoichiometric สำหรับแบบจำลองการเผาไหม้ mixture fraction

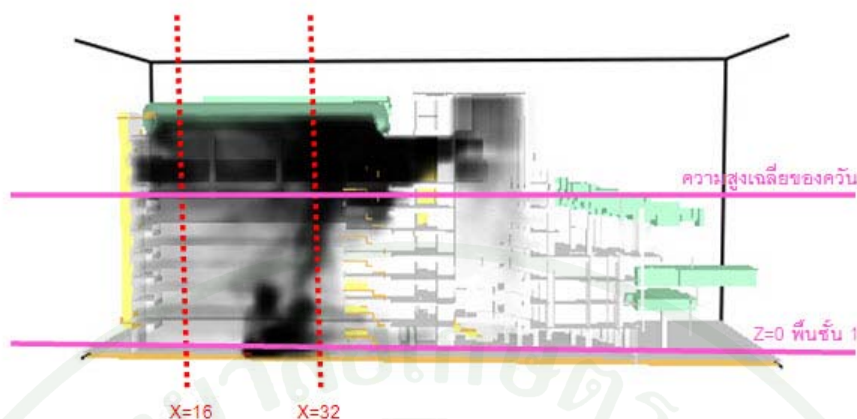
Combustion Species	Stoichiometric Coefficient
Fuel (Polyurethane)	1.000
Oxygen	5.803
Carbon dioxide, CO ₂	4.991
Water, H ₂ O	3.490
Soot Yield, C	1.195
Carbon monoxide, CO	0.233

ภาพที่ 30 แสดงอัตราการปล่อยพลังงานความร้อนของกองเพลิงทั้ง 3 ขนาด เมื่อเริ่มต้นการจำลองกองเพลิงเริ่มลุกติดไฟอัตราการเผาไหม้จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว การเผาไหม้ใช้เวลาประมาณ 5 วินาที อัตราการเผาไหม้ของกองเพลิงจึงเข้าสู่สภาวะคงตัว ต่อจากนั้นกองเพลิงเผาไหม้ด้วยอัตราคงที่ตลอดช่วงเวลา 420 วินาที ในการวิจัยนี้กำหนดให้การเผาไหม้ในโปรแกรม FDS ทำการเผาไหม้เชื้อเพลิงคือ polyurethane โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ stoichiometric ของตัวทำปฏิกิริยาและผลิตภัณฑ์จากการเผาไหม้สำหรับแบบจำลองการเผาไหม้ mixture fraction มีค่าตามตารางที่ 6 ค่า stoichiometric value of Z เท่ากับ 0.139 สำหรับกำหนดตำแหน่งพื้นผิวของเปลวไฟ (flame surface)



ภาพที่ 30 กราฟแสดงอัตราการปล่อยพลังงานความร้อนของกองเพลิงตลอดเวลาที่ใช้ในการจำลอง

ภาพที่ 31 แสดงแบบจำลองของอาคารนวัตกรรมการจัดการและการท่องเที่ยว มหาวิทยาลัยบูรพา จังหวัดชลบุรี ที่ใช้ในการจำลองพฤติกรรมการแพร่กระจายของควันเนื่องจากเหตุเพลิงไหม้บริเวณพื้นที่โถง atrium (พื้นที่ด้านล่างของอาคาร) ในตารางที่ 7 แสดงความสูงของพื้นที่แต่ละชั้นในโดเมนการจำลองไว้ โดยโถง atrium เปิดโล่งตั้งแต่ชั้นที่ 1 ถึงชั้นดาดฟ้า โดยหลังคาของชั้นดาดฟ้าใช้วัสดุเป็นแผ่นเหล็ก metal sheet ปัจจุบันโถง atrium ไม่มีการติดตั้งระบบควบคุมควันไฟ ดังนั้นหากเกิดเพลิงไหม้ขึ้นที่บริเวณพื้นที่โถง atrium ควันไฟสามารถแพร่กระจายไปในแนวตั้งตามโถง atrium และแพร่กระจายต่อเนื่องเข้าไปในช่องทางเดินตั้งแต่ชั้นที่ 2 ถึงชั้นที่ 9 ซึ่งเป็นช่องเปิดต่อเชื่อมกับโถง atrium เนื่องจากช่องทางเดินตั้งแต่ชั้นที่ 2 ถึงชั้นที่ 9 ซึ่งเป็นช่องเปิดต่อเชื่อมกับโถง atrium เป็นเส้นทางที่ผู้ใช้อาคารต้องใช้อพยพไปสู่บันไดหนีไฟหลักของอาคาร ดังนั้นถ้าเกิดเพลิงไหม้แล้วควันไฟแพร่กระจายเข้าไปในบริเวณเหล่านี้ควันไฟจะปกคลุมเส้นทางหนีไฟทำให้ผู้ใช้อาคารไม่สามารถอพยพไปบันไดหนีไฟของอาคารได้



ภาพที่ 31 รูปตัดแบบจำลองอาคารอาครณวัดกรรมการจัดการและการท่องเที่ยว มหาวิทยาลัยบูรพา จังหวัดชลบุรี ขณะทำการจำลองพฤติกรรมการแพร่กระจายควันภายในอาคาร

ตารางที่ 7 ค่าพิกัดความสูงที่กำหนดในการคำนวณของโปรแกรม FDS

ชั้นที่	ระดับของพื้น จากระดับพื้น ของโดเมนการ คำนวณ (m)	ระดับของเพดานจาก ระดับพื้นของโดเมน การคำนวณ (m)	ความหนาของพื้น (m)	ความสูงของชั้น (m)
1	0.80	4.10	0.70	3.30
2	4.80	7.60	0.70	2.80
3	8.30	11.10	0.70	2.80
4	11.80	14.60	0.70	2.80
5	15.30	18.10	0.70	2.80
6	18.80	21.60	0.70	2.80
7	22.30	25.10	0.70	2.80
8	25.80	28.60	0.70	2.80
9	29.30	32.10	0.70	2.80
ดาดฟ้า	32.85	-	0.70	-

เพื่อป้องกันไม่ให้ควันไฟแพร่กระจายปกคลุมเส้นทางหนีไฟของอาคาร ในอาคารจำเป็นต้องติดตั้งระบบระบายควันไฟที่เหมาะสม จากการศึกษาข้อกำหนดตามมาตรฐานการป้องกันอัคคีภัย และการควบคุมควันไฟภายในอาคาร สามารถกำหนดเป้าหมายของระบบควบคุมควันไฟที่จะต้องดำเนินการได้ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1.5.1 ทำให้ควันอยู่เหนือจากพื้นชั้นที่สูงที่สุดซึ่งที่ต่อเชื่อมต่อกับโถง atrium อย่างน้อย 1.85 เมตร ตลอดเวลาการอพยพ ซึ่งเป็นตามข้อกำหนดที่เป็นไปตามมาตรฐานทางหนีไฟของ NFPA 101, Life Safety Codes (2009) ที่ได้กำหนดให้ความสูงของท้องควันจากพื้นในบริเวณทางไปสู่ทางหนีไฟ (exit access) ของชั้นที่สูงที่สุดซึ่งเชื่อมต่อกับโถง atrium ต้องมีสูงอย่างน้อย 6 ฟุต (185 เซนติเมตร) เป็นเวลาอย่างน้อย 20 นาที หรือ 1.5 เท่าของเวลาการอพยพ เพื่อให้คนภายในอาคารปลอดภัยจากควันขณะหนีไฟตามข้อกำหนดของ NFPA 101 อาคารจะต้องมีการติดตั้งระบบควบคุมควันไฟภายในอาคารที่เหมาะสม

1.5.2 ป้องกันไม่ให้อุณหภูมิเฉลี่ยภายในช่องทางเดินที่เชื่อมต่อไปสู่ทางหนีไฟ (exit access) ของทุกชั้นสูงกว่า 49 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นไปตามข้อแนะนำใน Appendix B ของมาตรฐาน NFPA 130, Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail System (2007) ที่ได้กำหนดสภาวะแวดล้อมที่คนสามารถอยู่ได้ในกรณีฉุกเฉินเมื่อมีการใช้งานระบบพัสดุระบายอากาศ โดยกำหนดให้อุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศภายในช่องทางเดินที่เชื่อมต่อไปสู่ทางหนีไฟของทุกชั้นห้ามสูงเกินกว่า 49 องศาเซลเซียส ภายในช่วง 6 นาทีแรก

1.5.3 ป้องกันไม่ให้ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ภายในช่องทางไปสู่ทางหนีไฟ (exit access) มีค่าไม่เกิน 800 ppm ตลอดช่วงเวลาที่ใช้ในการหนีไฟ ซึ่งเป็นไปตามข้อแนะนำใน Appendix B ของมาตรฐาน NFPA 130, Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail System (2007)

1.6 ขนาดของพัสดุระบายควันตามมาตรฐาน NFPA 92B, Standard for Smoke Management Systems in Malls, Atria, and Large Spaces (2009) และ NFPA 204, Standard for Smoke and Heat Venting (2007)

การคำนวณมาตรฐาน NFPA 92B และ NFPA 204 เพื่อหาขนาดของพัสดุระบายควันที่เหมาะสมได้จากสมการที่ (30) ถึง สมการที่ (35)

จากข้อกำหนดของเหตุการณ์เพลิงไหม้สมมุติที่กำหนดให้อัตราการปล่อยพลังงานความร้อนเท่ากับ 2.2 7.1 และ 14.2 MW พื้นที่การเผาไหม้ของกองเพลิงเท่ากับ 4 ตารางเมตร ผู้วิจัยได้ทำการแก้สมการที่ (30) ถึง (35) เพื่อคำนวณหา อัตราการเกิดควันไฟ ($\dot{m}_p$) อัตราการระบายควัน ($\dot{m}_v$) อุณหภูมิของควัน (T_p) ที่ต้องการได้ในรูปของความสูงของห้องควัน (z_s) โดยการระบายควันจะเข้าสู่ภาวะสมดุล เมื่อ $\dot{m}_p = \dot{m}_v$ ดังนั้นการที่จะระบายควันไฟให้ได้หมดจะมีค่าอัตราการระบายควันไฟ ($\dot{m}_v$) ตามตารางที่ 8

ตารางที่ 8 การคำนวณอัตราการระบายควันตามมาตรฐาน NFPA 92B

ความสูง ของห้อง ควัน z_s (m)	$\dot{Q} = 2.2 \text{ MW}$		$\dot{Q} = 7.1 \text{ MW}$		$\dot{Q} = 14.2 \text{ MW}$	
	$\dot{m}_p = \dot{m}_v$ (kg/s)	T_p (K)	$\dot{m}_p = \dot{m}_v$ (kg/s)	T_p (K)	$\dot{m}_p = \dot{m}_v$ (kg/s)	T_p (K)
23.45	166.09	302.61	232.80	308.63	281.75	315.57
26.85	206.50	301.71	290.82	306.51	353.01	312.02
31.15	262.58	300.92	371.67	304.66	452.66	308.93

จากการคำนวณอัตราการระบายควันที่ได้ตามตารางที่ 4 นำมาคำนวณหาอัตราการระบายควันของพัดลมที่ไม่ทำให้เกิดปรากฏการณ์ plugholing ได้ค่าดังแสดงในตารางที่ 9

ตารางที่ 9 การคำนวณอัตราการระบายควัน $\dot{m}_v$ ของพัดลมระบายควันตามมาตรฐาน NFPA 204 ที่ไม่ทำให้เกิดปรากฏการณ์ plugholing

ความสูงของห้องควัน z_s (m)	$\dot{Q} = 2.2 \text{ MW}$ $\dot{m}_v$ (kg/s)	$\dot{Q} = 7.1 \text{ MW}$ $\dot{m}_v$ (kg/s)	$\dot{Q} = 14.2 \text{ MW}$ $\dot{m}_v$ (kg/s)
23.45	165.53	251.18	322.90
26.85	48.32	73.15	93.89
31.15	1.83	2.76	3.54

ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบค่าอัตราการระบายควันของพัฒมระบายควันตามมาตรฐาน NFPA 204 ที่ไม่ทำให้เกิดปรากฏการณ์ plugholing ที่ความสูงของห้องควันที่ค่าระดับต่างๆ ในตารางที่ 5 กับอัตราการเกิดควันในตารางที่ 4 จะพบว่าสำหรับในกรณีห้องที่ห้องควันอยู่ที่ 31.15 เมตร และ 26.85 เมตร นั้นอัตราการระบายควัน ที่ไม่ทำให้เกิดปรากฏการณ์ plugholing นั้นมีค่าน้อยกว่าอัตราการเกิดควันมากซึ่งถ้าใช้ค่าดังกล่าวในการจำลองเหตุการณ์เพลิงไหม้จะทำให้ไม่สามารถระบายควันออกจากอาคารได้ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงได้กำหนดอัตราการระบายควันที่ใช้ในการคำนวณในกรณีที่ห้องควันอยู่ที่ 31.15 เมตร 26.85 เมตร และ 23.45 เมตร ให้เป็นไปตามค่าที่แสดงในตารางที่ 6 ดังนั้นอัตราการระบายควันกรณีห้องที่ห้องควันอยู่ที่ 31.15 เมตร และ 26.85 เมตรที่ระบุไว้ตามตารางที่ 10 เป็นอัตราการระบายควันที่จะทำให้เกิดปรากฏการณ์ plugholing ซึ่งไม่เป็นไปตามมาตรฐาน NFPA 204

ตารางที่ 10 การคำนวณอัตราการระบายควัน $\dot{m}_v$ ของพัฒมระบายควันที่ใช้ในการวิจัย

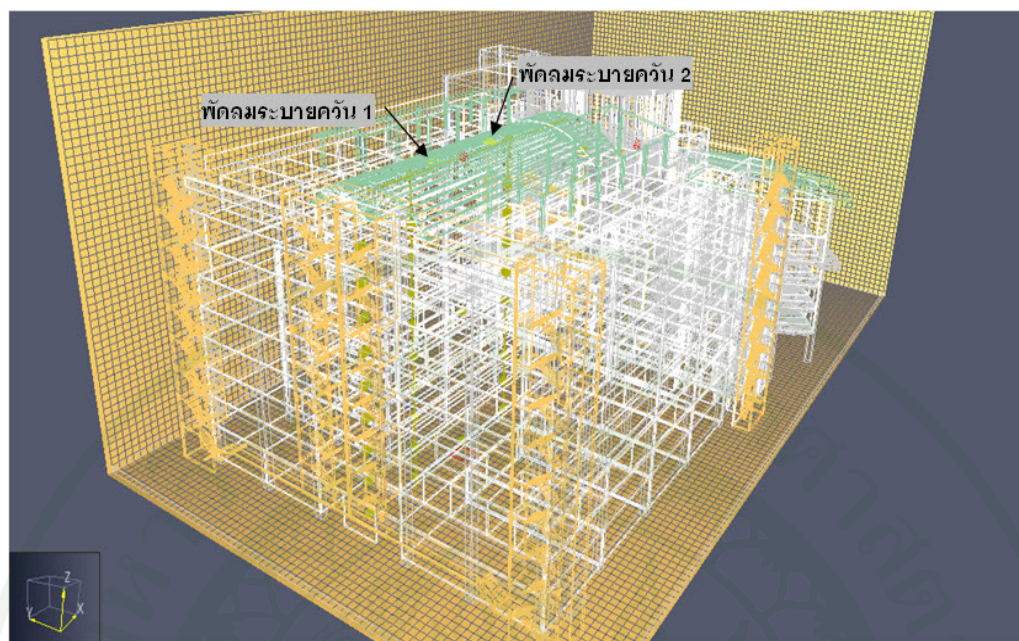
ความสูงของห้องควัน	$\dot{Q} = 2.2 \text{ MW}$	$\dot{Q} = 7.1 \text{ MW}$	$\dot{Q} = 14.2 \text{ MW}$
$z_s \text{ (m)}$	$\dot{m}_v \text{ (kg/s)}$	$\dot{m}_v \text{ (kg/s)}$	$\dot{m}_v \text{ (kg/s)}$
23.45	166.09	232.80	281.75
26.85	206.50	290.82	353.01
31.15	262.58	300.92	371.67

มาตรฐาน NFPA 92B และ NFPA 204 กำหนดหาอัตราการระบายควันโดยอาศัยสมการที่ได้จากการทดลองซึ่งเป็นสมการพื้นฐานของแบบจำลองอักษิภยแบบสองโซน (two-zone model) แต่แบบจำลองโปรแกรม FDS จะทำการแบ่งปริมาตรภายในโดเมนการคำนวณออกเป็นปริมาตรจำกัด (finite volume) จำนวนมากแล้วประมวลผลแก้สมการการอนุรักษ์ แบบจำลองอักษิภยในลักษณะนี้เรียกว่า แบบจำลองฟิลด์โมเดล (field model) แบบจำลอง FDS สามารถให้รายละเอียดสภาวะของควันไฟที่เกิดขึ้นภายในโถง atrium และบริเวณที่เชื่อมต่อกับช่องทางเดินได้ในขณะที่ไม่สามารถหาได้จากการคำนวณด้วยมาตรฐาน NFPA 204 และแบบจำลอง แบบสองโซน

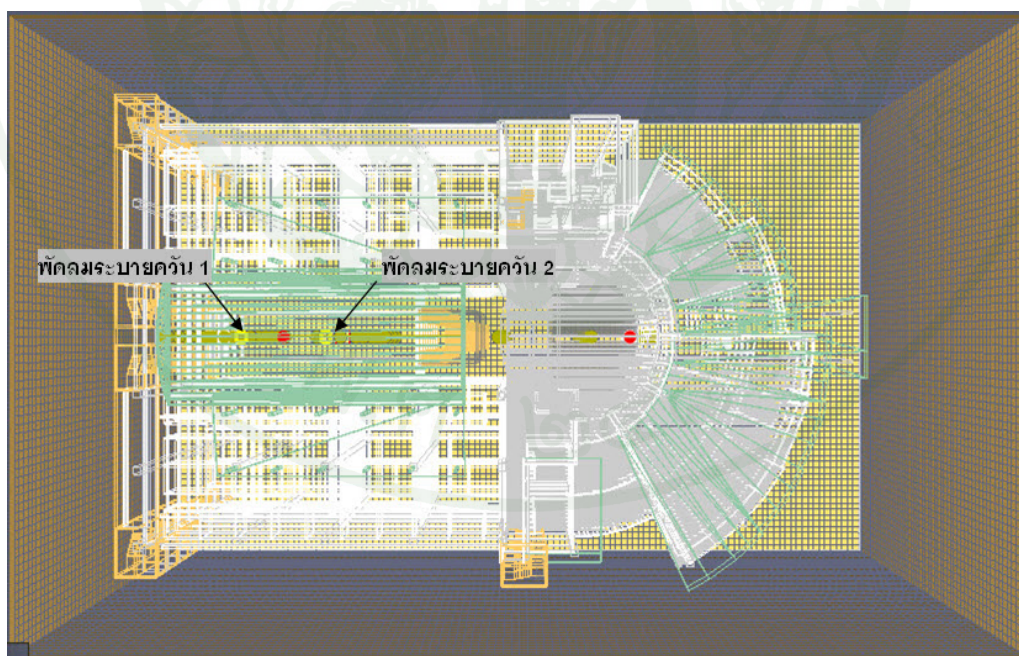
1.7 การจำลองการแพร่กระจายของควันไฟด้วยแบบจำลอง FDS

ผู้วิจัยได้ดำเนินการจำลองพฤติกรรมการแพร่กระจายของควันไฟโดยติดตั้งระบบระบายควันไฟด้วยพัฒมระบายควันที่หลังคา metal sheet ของโถง atrium แต่และแบบของระบบ

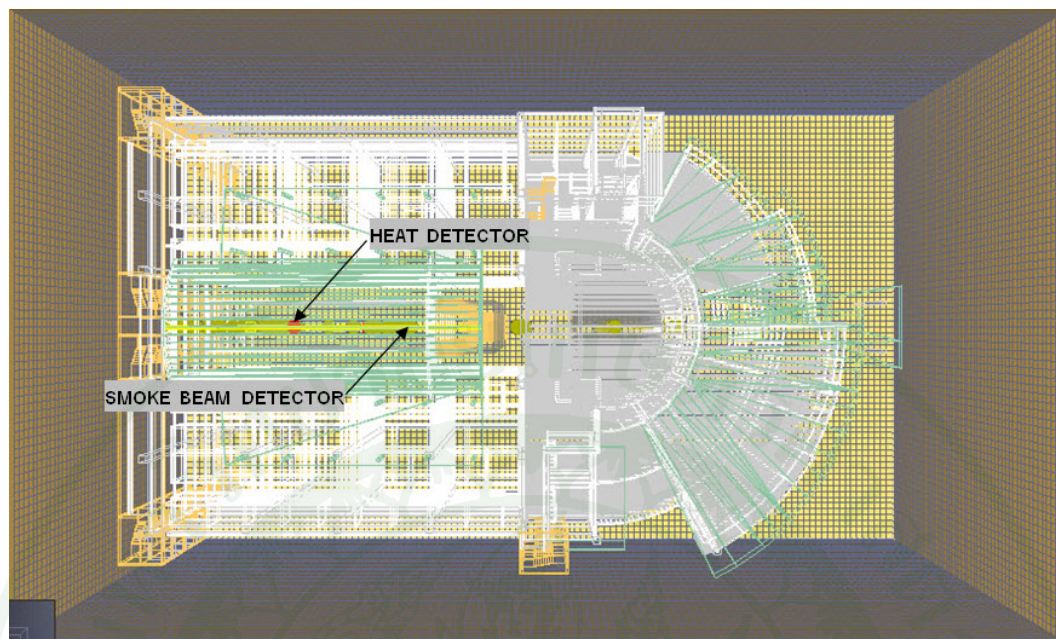
ระบายควันไฟที่ติดตั้งได้มีการแปรผันอัตราการปล่อยพลังงานความร้อนของกองเพลิงเป็น 2.2 MW 7.1 MW และ 14.2 MW ตามลำดับ เพื่อดูผลกระทบของอัตราการปล่อยพลังงานความร้อนต่อพฤติกรรมการแพร่กระจายของควันไฟภายในอาคาร ตารางที่ 11 ได้สรุปกรณีศึกษาทั้งหมด 24 กรณีที่ได้ดำเนินการจำลอง การระบายควันด้วยพัดลมระบายควัน (smoke exhaust fan) ซึ่งติดตั้งไว้ที่หลังคา metal sheet ของอาคารชั้นดาดฟ้า โดยรูปแบบการติดตั้งพัดลมมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 32 ถึงรูปที่ 42 และเนื่องจากการติดตั้งพัดลมเพื่อไม่ให้เกิดปรากฏการณ์ plugholing นั้นจำเป็นจะต้องมีบ่อกักควัน (smoke reservoir) ผู้วิจัยจึงได้ทำการติดตั้งบ่อกักควันตามมาตรฐาน NFPA 92B หัวข้อ 4.4.1.1 ที่ระบุการออกแบบความหนาของชั้นควันให้มีความหนาขั้นต่ำประมาณ 20% ของความสูงพื้นถึงเพดาน บ่อกักควันที่ติดตั้งขึ้นนั้นผู้วิจัยได้ติดตั้งไว้ตั้งแต่เริ่มต้นการจำลองของแต่ละกรณี โดยได้ทำการติดตั้งไว้ครอบคลุมให้มีความลึกตั้งแต่ระดับหลังคาดาดฟ้าบริเวณของช่องเปิด atrium จนถึงระดับพื้นของชั้นที่ 7 ของอาคาร ขนาดของพัดลมระบายควันและจำนวนของพัดลมได้แสดงไว้ในตารางที่ 11 โดยพยายามให้ขนาดของพัดลมระบายควันที่ทำการจำลองมีอัตราการระบายควันรวมใกล้เคียงกับอัตราการเกิดควันมากที่สุด ตามค่าเบื้องต้นที่คำนวณตามมาตรฐาน NFPA 204 เมื่อเริ่มต้นการจำลองพัดลมระบายควันทุกตัวอยู่ในสภาวะปิด และพัดลมจะเริ่มทำงานเมื่ออุปกรณ์ตรวจจับความร้อน (heat detector) ซึ่งติดตั้งไว้ที่เหนือโถงบริเวณชั้นหลังคา หรืออุปกรณ์ตรวจจับควัน (smoke beam detector) ที่ติดตั้งไว้ตลอดความยาวโถงสูงบริเวณชั้นหลังคา อย่างใดอย่างหนึ่งเริ่มทำงานก่อน โดยผู้วิจัยได้ตั้งค่าอุณหภูมิทำงานของอุปกรณ์ตรวจจับควันไว้เท่ากับ 60 องศาเซลเซียส (activation temperature = 60°C) อุปกรณ์ตรวจจับความร้อนที่ติดตั้งมีค่า response time index (RTI) เท่ากับ 55 (m.s)^{1/2} และ smoke beam detector ที่ติดตั้งมีค่าร้อยละต่อเมตรความบังแสง obscuration เท่ากับ 3.28%/m



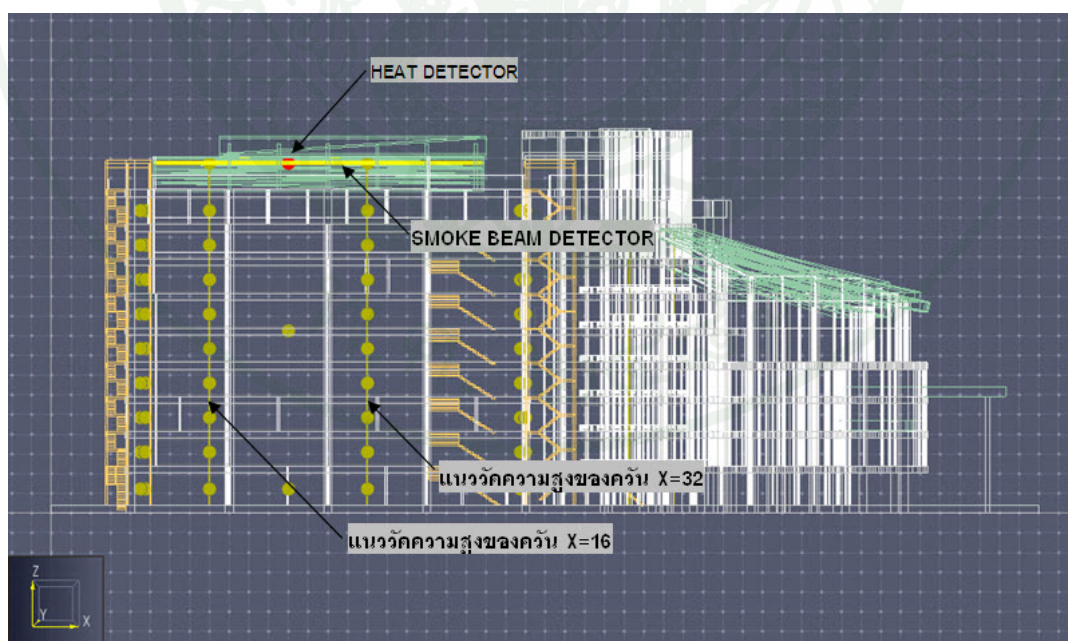
ภาพที่ 32 การติดตั้งพัดลมระบายควันในการจำลองด้วยแบบจำลอง FDS



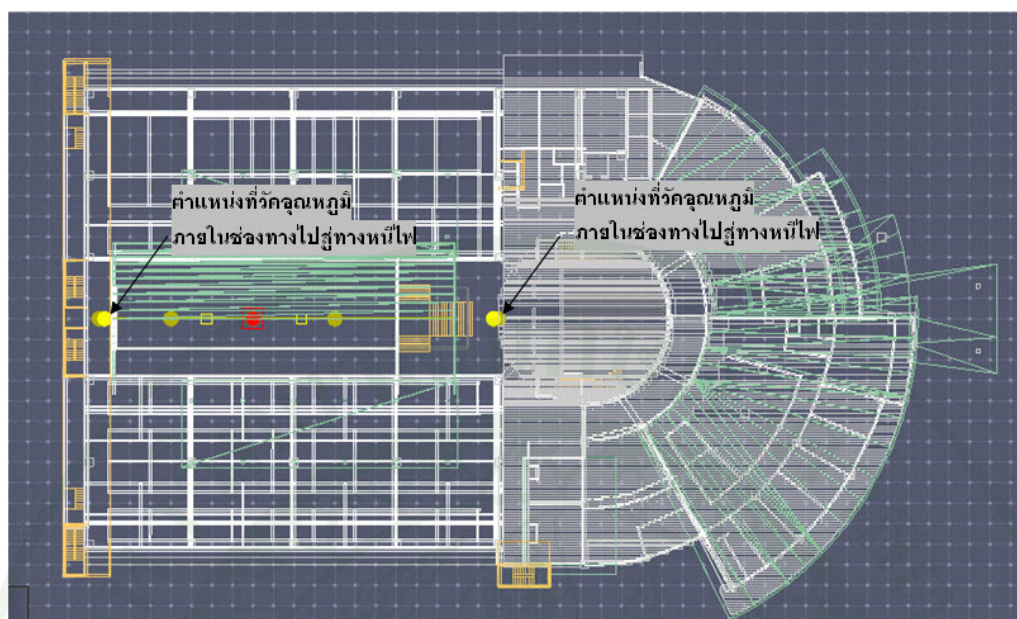
ภาพที่ 33 ภาพด้านบนอาคารแสดงการติดตั้งพัดลมระบายควันในการจำลองด้วยแบบจำลอง FDS



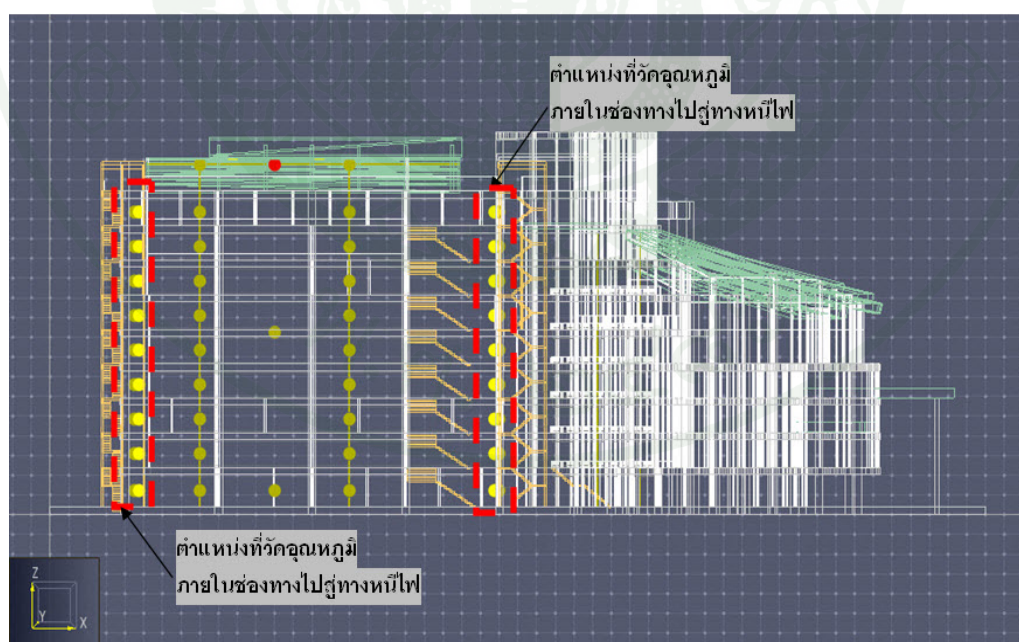
ภาพที่ 34 ภาพด้านบนอาคารแสดงการติดตั้ง heat detector และ smoke beam detector ในการจำลองด้วยแบบจำลอง FDS



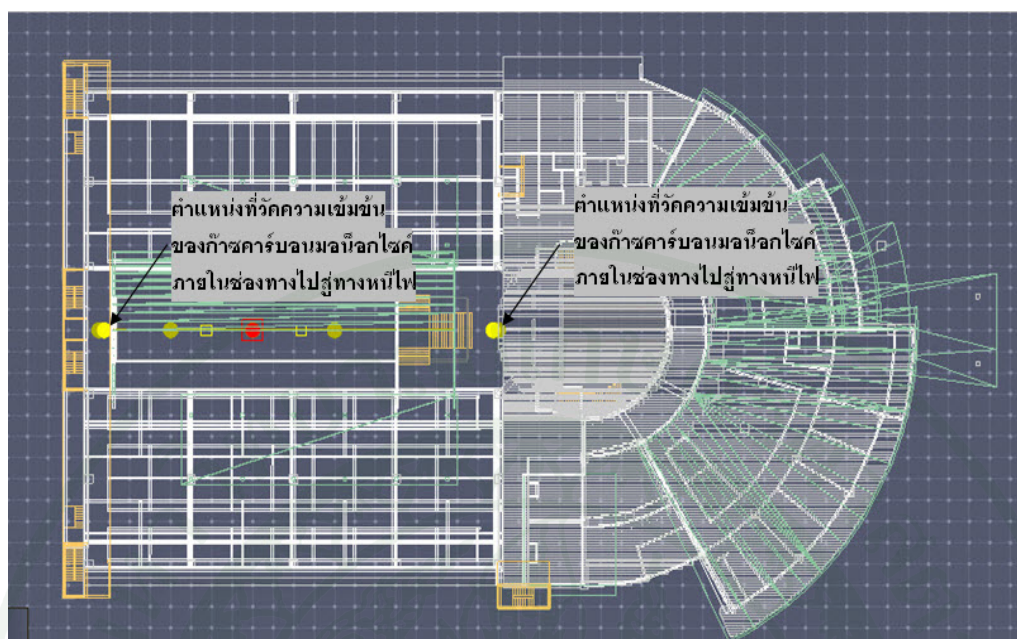
ภาพที่ 35 ภาพตัดอาคารแสดงการติดตั้ง heat detector และ smoke beam detector ในการจำลองด้วยแบบจำลอง FDS



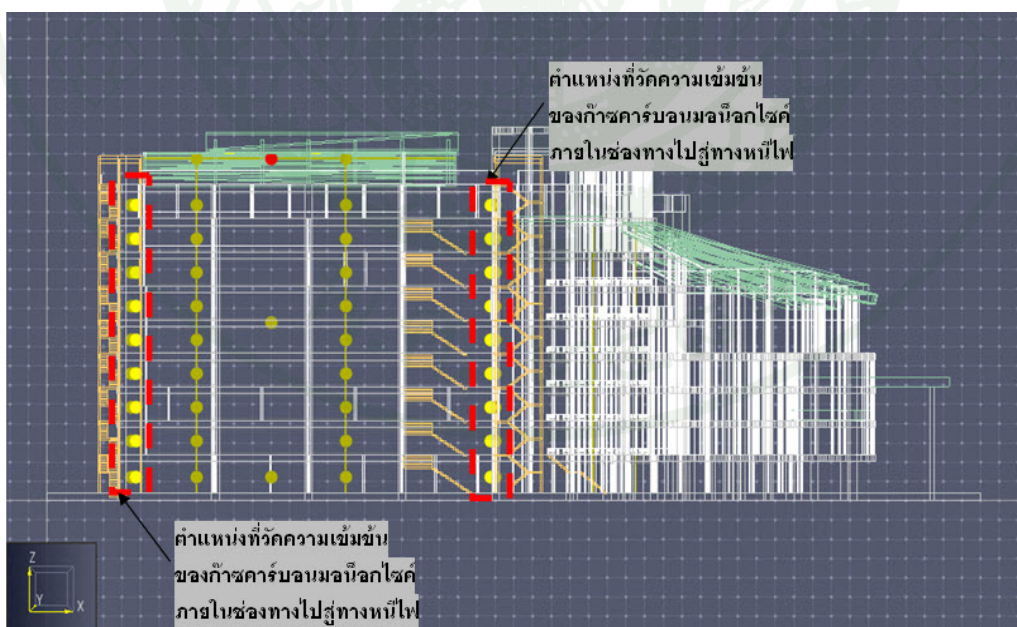
ภาพที่ 36 ภาพด้านบนอาคารแสดงตำแหน่งจุดวัดอุณหภูมิภายในช่องทางไปสู่ทางหนีไฟของการ
ในการจำลองด้วยแบบจำลอง FDS



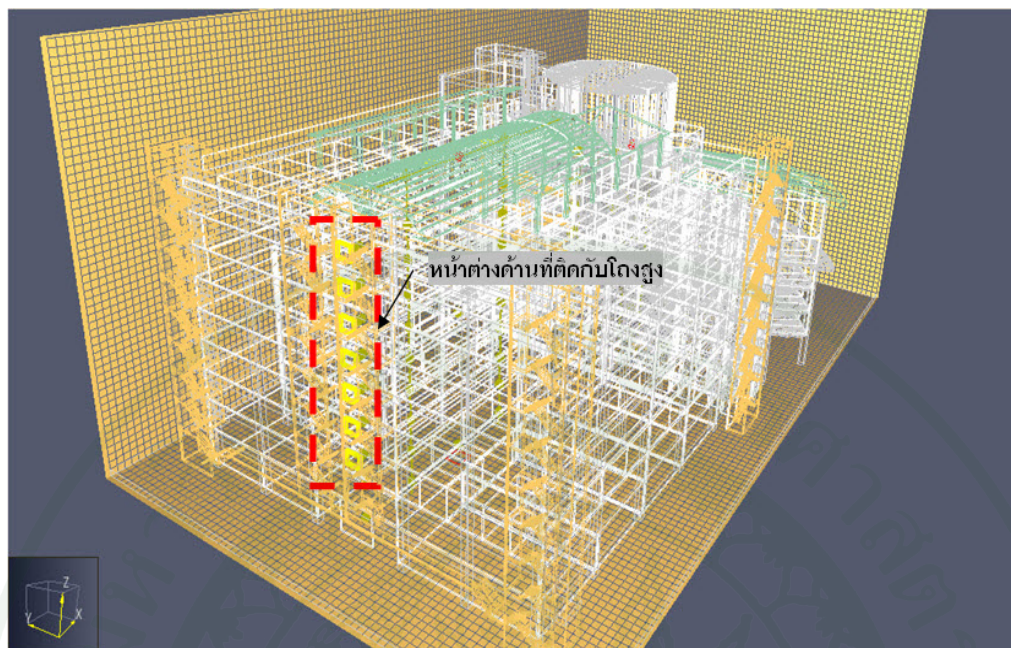
ภาพที่ 37 ภาพตัดอาคารแสดงตำแหน่งจุดวัดอุณหภูมิภายในช่องทางไปสู่ทางหนีไฟของการ
การจำลองด้วยแบบจำลอง FDS



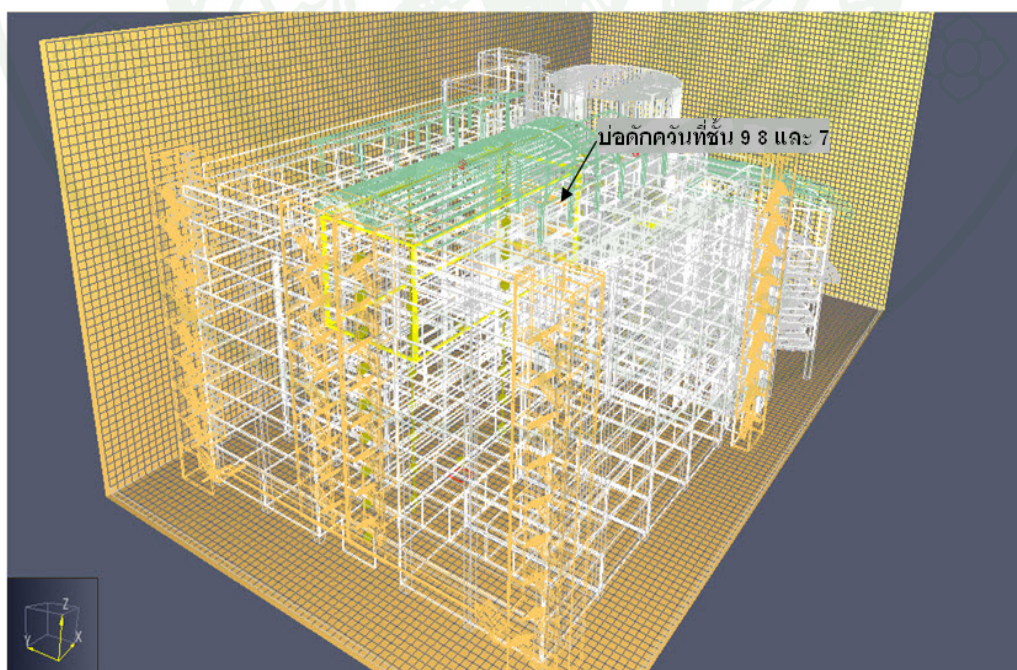
ภาพที่ 38 ภาพด้านบนอาคารแสดงตำแหน่งจุดวัดความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ภายในช่องทางไปสู่ทางหนีไฟของการในการจำลองด้วยแบบจำลอง FDS



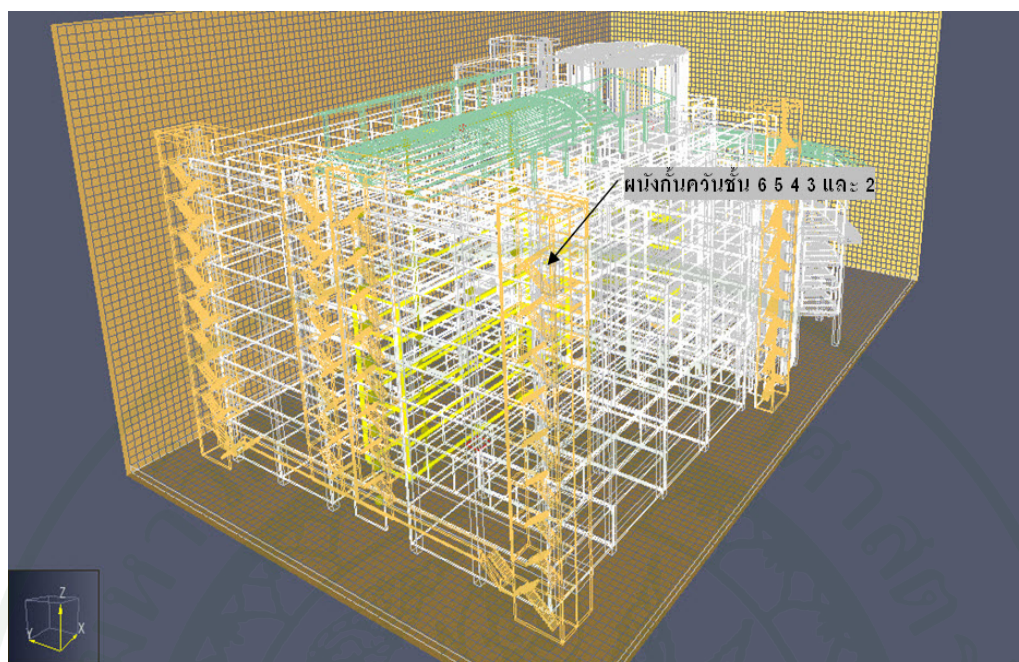
ภาพที่ 39 ภาพตัดอาคารแสดงตำแหน่งจุดวัดความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ภายในช่องทางไปสู่ทางหนีไฟของการในการจำลองด้วยแบบจำลอง FDS



ภาพที่ 40 ภาพอาคารแสดงตำแหน่งของหน้าต่างด้านที่ติดกับโถงสูงในการจำลองด้วยแบบจำลอง FDS



ภาพที่ 41 ภาพอาคารแสดงบ่อพักควันที่ชั้น 9 8 และ 7 ในการจำลองด้วยแบบจำลอง FDS



ภาพที่ 42 ภาพอาคารแสดงม่านกันควันที่ชั้น 6 5 4 3 และ 2 ในการจำลองด้วยแบบจำลอง FDS

ตารางที่ 11 กรณีศึกษาพฤติกรรมการควบคุมควันไฟของโถง atrium

กรณีที่	อัตราการปล่อยพลังงาน ความร้อนของกองเพลิง (MW)	ชนิดของระบบ ควบคุมควันไฟ	ขนาดของพัดลม ระบายควัน (kg/s) / จำนวนพัดลม (ตัว)
1	2.2	- ไม่มี	-
2	7.1	- ไม่มี	-
3	14.2	- ไม่มี	-
4	2.2	- พัดลมระบายควัน ให้ห้องควันอยู่เหนือพื้นที่ 9 เป็นระยะ 1.85 เมตร (ห้องควันสูง 31.15 เมตร) - ไม่มีบ่อกักควัน	131.29/2
5	7.1	- พัดลมระบายควัน ให้ห้องควันอยู่เหนือพื้นที่ 9 เป็นระยะ 1.85 เมตร (ห้องควันสูง 31.15 เมตร) - ไม่มีบ่อกักควัน	185.84/2
6	14.2	- พัดลมระบายควัน ให้ห้องควันอยู่เหนือพื้นที่ 9 เป็นระยะ 1.85 เมตร (ห้องควันสูง 31.15 เมตร) - ไม่มีบ่อกักควัน	226.33/2
7	2.2	- พัดลมระบายควัน ให้ห้องควันอยู่เหนือพื้นที่ 9 เป็นระยะ 1.85 เมตร (ห้องควันสูง 31.15 เมตร) - มีบ่อกักควัน	131.29/2

ตารางที่ 11 (ต่อ)

กรณีที่	อัตราการปล่อยพลังงานความร้อนของกองเพลิง (MW)	ชนิดของระบบควบคุมควันไฟ	ขนาดของพัดลมระบายควัน (kg/s) / จำนวนพัดลม (ตัว)
8	7.1	- พัดลมระบายควันให้ห้องควันอยู่เหนือพื้นชั้น 9 เป็นระยะ 1.85 เมตร (ห้องควันสูง 31.15 เมตร)	185.84/2
9	14.2	- มีบ่อกักควัน - พัดลมระบายควันให้ห้องควันอยู่เหนือพื้นชั้น 9 เป็นระยะ 1.85 เมตร (ห้องควันสูง 31.15 เมตร)	226.33/2
10	2.2	- มีบ่อกักควัน - พัดลมระบายควันให้ห้องควันอยู่เหนือพื้นชั้น 8 เป็นระยะ 1.85 เมตร 26.85 (ห้องควันสูง 26.85 เมตร)	103.25/2
11	7.1	- มีบ่อกักควัน - พัดลมระบายควันให้ห้องควันอยู่เหนือพื้นชั้น 8 เป็นระยะ 1.85 เมตร (ห้องควันสูง 26.85 เมตร)	145.41/2
12	14.2	- มีบ่อกักควัน - พัดลมระบายควันให้ห้องควันอยู่เหนือพื้นชั้น 8 เป็นระยะ 1.85 เมตร (ห้องควันสูง 26.85 เมตร)	176.51/2

ตารางที่ 11 (ต่อ)

กรณีที่	อัตราการปล่อยพลังงานความร้อนของกองเพลิง (MW)	ชนิดของระบบควบคุมควันไฟ	ขนาดของพัดลมระบายควัน (kg/s) / จำนวนพัดลม (ตัว)
13	2.2	- พัดลมระบายควัน ให้ห้องควันอยู่เหนือพื้นชั้น 7 เป็นระยะ 1.85 เมตร (ห้องควันสูง 23.45 เมตร)	83.05/2
14	7.1	- มีบ่อกักควัน - พัดลมระบายควัน ให้ห้องควันอยู่เหนือพื้นชั้น 7 เป็นระยะ 1.85 เมตร (ห้องควันสูง 23.45 เมตร)	116.40/2
15	14.2	- มีบ่อกักควัน - พัดลมระบายควัน ให้ห้องควันอยู่เหนือพื้นชั้น 7 เป็นระยะ 1.85 เมตร (ห้องควันสูง 23.45 เมตร)	140.88/2
16	2.2	- มีบ่อกักควัน - พัดลมระบายควัน ให้ห้องควันอยู่เหนือพื้นชั้น 7 เป็นระยะ 1.85 เมตร	83.05/2
17	7.1	- มีบ่อกักควัน - ปิดประตูหน้าต่างด้านหลัง - พัดลมระบายควัน ให้ห้องควันอยู่เหนือพื้นชั้น 7 เป็นระยะ 1.85 เมตร	116.40/2
		- มีบ่อกักควัน - ปิดประตูหน้าต่างด้านหลัง	

ตารางที่ 11 (ต่อ)

กรณีที่	อัตราการปล่อยพลังงานความร้อนของกองเพลิง (MW)	ชนิดของระบบควบคุมควันไฟ	ขนาดของพัดลมระบายควัน (kg/s) / จำนวนพัดลม (ตัว)
18	14.2	- พัดลมระบายควัน ให้ห้องควันอยู่เหนือพื้นชั้น 7 เป็นระยะ 1.85 เมตร	140.88/2
19	2.2	- มีบ่อกักควัน - ปิดประตูหน้าต่างด้านหลัง - พัดลมระบายควัน ให้ห้องควันอยู่เหนือพื้นชั้น 7 เป็นระยะ 1.85 เมตร	83.05/2
20	7.1	- มีบ่อกักควัน - ม่านกันควันที่ชั้น 2 ถึง 6 - พัดลมระบายควัน ให้ห้องควันอยู่เหนือพื้นชั้น 7 เป็นระยะ 1.85 เมตร	116.40/2
21	14.2	- มีบ่อกักควัน - ม่านกันควันที่ชั้น 2 ถึง 6 - พัดลมระบายควัน ให้ห้องควันอยู่เหนือพื้นชั้น 7 เป็นระยะ 1.85 เมตร	140.88/2
22	2.2	- มีบ่อกักควัน - ม่านกันควันที่ชั้น 2 ถึง 6 - ปิดประตูหน้าต่างด้านหลัง - พัดลมระบายควัน ให้ห้องควันอยู่เหนือพื้นชั้น 7 เป็นระยะ 1.85 เมตร	83.05/2

ตารางที่ 11 (ต่อ)

กรณีที่	อัตราการปล่อยพลังงานความร้อนของกองเพลิง (MW)	ชนิดของระบบควบคุมควันไฟ	ขนาดของพัดลมระบายควัน (kg/s) / จำนวนพัดลม (ตัว)
23	7.1	- พัดลมระบายควันให้ห้องควันอยู่เหนือพื้นชั้น 7 เป็นระยะ 1.85 เมตร	116.40/2
24	14.2	- มีบ่อกักควัน - ปิดประตูหน้าต่างด้านหลัง - ม่านกันควันที่ชั้น 2 ถึง 6 - พัดลมระบายควันให้ห้องควันอยู่เหนือพื้นชั้น 7 เป็นระยะ 1.85 เมตร - มีบ่อกักควัน - ปิดประตูหน้าต่างด้านหลัง - ม่านกันควันที่ชั้น 2 ถึง 6	140.88/2

ผลและวิจารณ์

ผล

1. ผลการจำลองการแพร่กระจายของควันไฟด้วยแบบจำลอง FDS

การจำลองใช้กริดที่มีขนาด $\Delta x \times \Delta y \times \Delta z = 0.83 \text{ m} \times 0.83 \text{ m} \times 0.85 \text{ m}$ มีจำนวนปริมาตรจำลองรวมเท่ากับ 466,560 ปริมาตร เวลาที่ใช้ในการคำนวณ (CPU time) โดยเฉลี่ยแต่ละกรณีเท่ากับ 50 ชั่วโมง สำหรับเวลาการจำลอง (simulation time) 420 วินาที

ตารางที่ 12 แสดงเวลาการเริ่มทำงานของพัฒนาระบายควันในแต่ละกรณีศึกษา โดยในการจำลองผู้วิจัยจะได้ใช้ทั้งอุปกรณ์ตรวจจับความร้อนและอุปกรณ์ตรวจจับควันร่วมกัน และตั้งเงื่อนไขว่าพัฒนาระบายควันจะเริ่มทำงานเมื่ออุปกรณ์อย่างตรวจจับความร้อนหรือตรวจจับควัน อย่างใดอย่างหนึ่งเริ่มทำงานก่อนเป็นตัวกระตุ้นให้พัฒนาระบายอากาศเริ่มทำงาน ซึ่งจากผลการจำลองพบว่าพัฒนาระบายควันของแต่ละกรณีจะทำงานที่เวลาใกล้เคียงกันและถูกกระตุ้นให้เริ่มทำงานโดยอุปกรณ์ตรวจจับควันก่อนอุปกรณ์ตรวจจับความร้อนเสมอทุกกรณีศึกษา

1.1 พฤติกรรมการแพร่กระจายควันภายในอาคาร

1.1.1 ผลการจำลอง

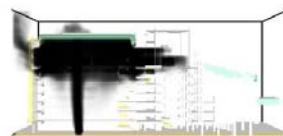
ภาพที่ 43 44 และ 45 แสดงพฤติกรรมการแพร่กระจายของควันภายในอาคารในกรณีที่ 1 2 และ 3 ซึ่งเป็นการจำลองกรณีที่อาคารไม่มีการติดตั้งระบบระบายควันไฟสำหรับกองเพลิงขนาด 2.2 7.1 และ 14.2 MW ตามลำดับ จะสังเกตได้ว่าควันร้อนจะลอยตัวขึ้นในแนวตั้งเนื่องจากแรงลอยตัวอย่างรวดเร็วไปที่หลังคาชั้นดาดฟ้า เมื่อไม่มีระบบระบายควัน ควันจะสะสมเป็นชั้นหนาขึ้นและจะลดต่ำลงจนแพร่กระจายไปยังช่องทางเดินที่มีช่องเปิดเชื่อมต่อกับโถง atrium ซึ่งมีอยู่ทุกชั้นของอาคาร เมื่อเวลาผ่านไปจะพบว่าควันจะเข้าไปปกคลุมเส้นทางหนีไฟที่ผู้ใช้อาคารจะต้องใช้ในการหนีไฟของทุกชั้น ทำให้ผู้ใช้อาคารไม่สามารถอพยพเข้าสู่บันไดหนีไฟของอาคารได้

ตารางที่ 12 เวลาในการเริ่มทำงานของพัดลมระบายควันในแต่ละกรณี

กรณีที่	อัตราการปล่อย พลังงานความร้อน ของกองเพลิง (MW)	เวลาที่ Heat Detector ทำงาน (s)	เวลาที่ Smoke Detector ทำงาน (s)	เวลาที่เริ่มทำงาน ของพัดลมระบาย ควัน (s)
4	2.2	ไม่ทำงาน	12.6035	12.6035
5	7.1	ไม่ทำงาน	10.1006	10.1006
6	14.2	ไม่ทำงาน	11.7673	11.7673
7	2.2	ไม่ทำงาน	12.6770	12.6770
8	7.1	ไม่ทำงาน	10.1085	10.1085
9	14.2	ไม่ทำงาน	11.7622	11.7622
10	2.2	ไม่ทำงาน	12.6770	12.6770
11	7.1	ไม่ทำงาน	10.1085	10.1085
12	14.2	246.965	11.7622	11.7622
13	2.2	ไม่ทำงาน	12.6770	12.6770
14	7.1	ไม่ทำงาน	10.1085	10.1085
15	14.2	100.803	11.7622	11.7622
16	2.2	ไม่ทำงาน	12.6094	12.6094
17	7.1	ไม่ทำงาน	10.1072	10.1072
18	14.2	112.564	11.8027	11.8027
19	2.2	ไม่ทำงาน	12.6745	12.6745
20	7.1	ไม่ทำงาน	10.0866	10.0866
21	14.2	51.2473	11.3566	11.3566
22	2.2	ไม่ทำงาน	12.6565	12.6565
23	7.1	ไม่ทำงาน	10.1388	10.1388
24	14.2	119.286	11.3759	11.3759

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Frame: 20
Time: 20.0Frame: 80
Time: 80.0

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Frame: 140
Time: 140.0Frame: 200
Time: 200.0

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Frame: 260
Time: 260.0Frame: 320
Time: 320.0

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

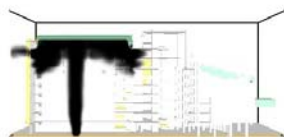
Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Frame: 380
Time: 380.0Frame: 420
Time: 420.0

ภาพที่ 43 ภาพการกระจายตัวของควันภายในอาคาร กรณีที่ 1 (2.2 MW, no vent)

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Frame: 20
Time: 20.0Frame: 80
Time: 80.0

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Frame: 140
Time: 140.0Frame: 200
Time: 200.0

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

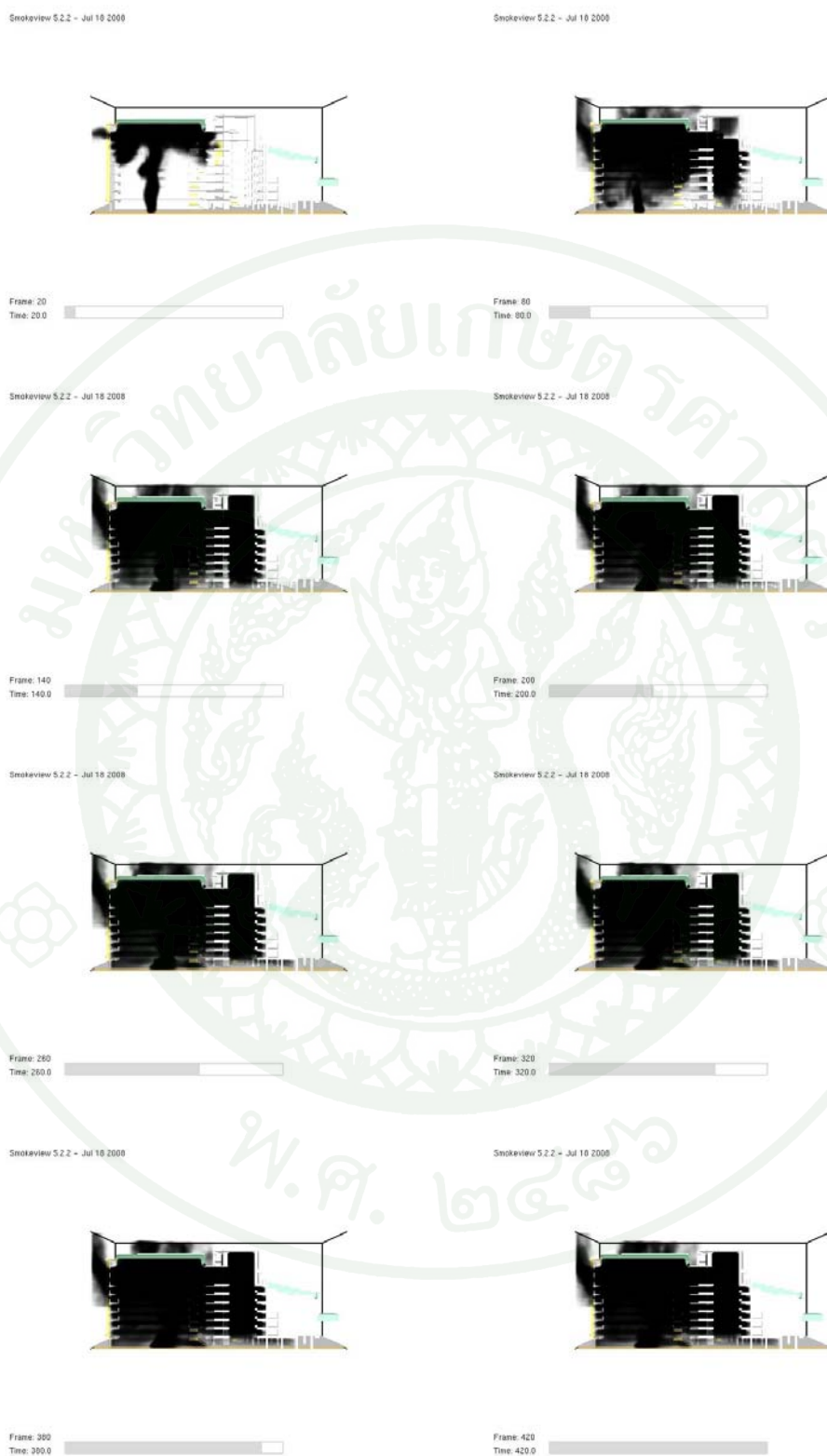
Frame: 280
Time: 280.0Frame: 320
Time: 320.0

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Frame: 380
Time: 380.0Frame: 420
Time: 420.0

ภาพที่ 44 ภาพการกระจายตัวของควันภายในอาคาร กรณีที่ 2 (7.1 MW, no vent)



ภาพที่ 45 ภาพการกระจายตัวของควันภายในอาคาร กรณีที่ 3 (14.2MW, no vent)

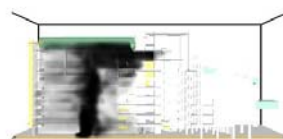
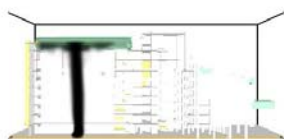
ภาพที่ 46 47 และ 48 แสดงพฤติกรรมการแพร่กระจายของควันภายในอาคารเมื่อมีการติดตั้งพัฒนาระบายควันกรณีที่ 4 5 และ 6 ตามลำดับ ซึ่งเป็นผลการจำลองกรณีที่ตั้งพัฒนาระบายควันโดยให้อัตราการระบายควันตามที่คำนวณให้ห้องควันอยู่ที่เหนือพื้นชั้นที่ 9 ซึ่งเป็นชั้นที่สูงที่สุดของอาคารเป็นระยะ 1.85 เมตรโดยไม่มีการติดตั้งบ่อกักควันและม่านกันควันในอาคารสำหรับกองเพลิงขนาด 2.2 7.1 และ 14.2 MW ตามลำดับ ซึ่งทั้ง 3 กรณีศึกษาพบว่าแม้พัฒนาระบายควันจะทำการระบายควันร้อนออกไป แต่พบว่าอัตราการระบายควันตามที่คำนวณให้ห้องควันอยู่เหนือพื้นชั้น 9 ไม่สามารถทำให้ห้องควันอยู่เหนือพื้นชั้น 9 ได้จริง แต่ห้องควันกลับเกิดที่เหนือพื้นชั้น 7 และสภาพภายในห้อง atrium และช่องทางเดินของชั้นที่ 9 8 และ 7 ก็ยังมีสถานะเหมือนกับการจำลองในกรณีที่ 1 ไม่มีการติดตั้งระบบระบายควัน แสดงว่าควันได้สะสมลงมาถึงระดับพื้นชั้นที่ 7

ส่วนสภาพภายในห้อง atrium ชั้นที่ 6 5 4 3 และ 2 แม้จะมีสภาพที่ดีกว่ากรณีที่ 1 ไม่มีการระบายควัน แต่ภายในช่องทางเดินชั้นที่ 6 5 4 3 และ 2 ก็มีควันปกคลุมอยู่ สันนิษฐานว่าเกิดจากรูปร่างของห้อง atrium มีความกว้างน้อยกว่าอัตราการขยายตัวของควันร้อนที่เกิดขึ้นจากการคำนวณทำให้ควันร้อนที่เกิดขึ้นขยายตัวออกไปไม่พ้นจากตำแหน่งเพดานของทางเดินรอบห้อง atrium จากนั้นควันร้อนที่ค้างอยู่ที่เพดานของชั้นทางเดินเกิดการสะสมแล้วเคลื่อนที่กลายเป็นควันไหลได้เพดาน (ceiling jet) ซึ่งแม้จะไม่เต็มความสูงของชั้น แต่ก็ปกคลุมและจะส่งผลกระทบต่อความปลอดภัยของบันไดหนีไฟของผู้ใช้อาคารได้

ข้อสังเกตของการจำลองในกรณีที่ 4 5 6 คือ แม้จะมีการติดตั้งระบบพัฒนาระบายควันที่เพียงพอกับอัตราการเกิดควันตามที่คำนวณให้ห้องควันอยู่ที่เหนือพื้นชั้นที่ 9 แล้วระบบทั้งหมดก็ยังไม่เพียงพอที่จะทำให้ผู้ใช้อาคารที่บริเวณชั้น 9 8 และ 7 สามารถอพยพไปยังบันไดหนีไฟได้เนื่องจากควันไฟยังมีการแพร่กระจายไปปกคลุมทั่วทุกพื้นที่ของทั้ง 3 ชั้น นอกจากนั้นที่ชั้น 6 5 4 3 และ 2 ก็ยังมีควันไฟปกคลุมอยู่ทุกชั้น

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Frame: 20
Time: 00.0Frame: 60
Time: 00.0

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Frame: 140
Time: 140.0Frame: 200
Time: 200.0

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Frame: 260
Time: 260.0Frame: 320
Time: 320.0

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

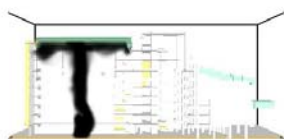
Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Frame: 360
Time: 360.0Frame: 420
Time: 420.0

ภาพที่ 46 ภาพการกระจายตัวของควันภายในอาคาร กรณีที่ 4 (2.2 MW, exhaust fan 131.29×2, no smoke reservoir)

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Frame: 20
Time: 20.0Frame: 60
Time: 60.0

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Frame: 140
Time: 140.0Frame: 200
Time: 200.0

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Frame: 260
Time: 260.0Frame: 320
Time: 320.0

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

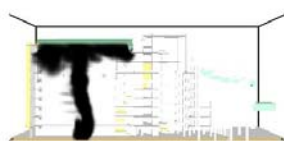
Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Frame: 380
Time: 380.0Frame: 420
Time: 420.0

ภาพที่ 47 ภาพการกระจายตัวของควันภายในอาคาร กรณีที่ 5 (7.1 MW, exhaust fan 184.84×2, no smoke reservoir)

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Frame: 20
Time: 20.0Frame: 80
Time: 80.0

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Frame: 140
Time: 140.0Frame: 200
Time: 200.0

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Frame: 260
Time: 260.0Frame: 320
Time: 320.0

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Frame: 380
Time: 380.0Frame: 420
Time: 420.0

ภาพที่ 48 ภาพการกระจายตัวของควันภายในอาคาร กรณีที่ 6 (14.2 MW, exhaust fan 226.33×2, no smoke reservoir)

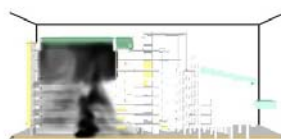
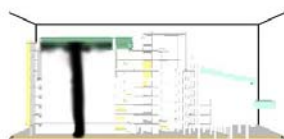
ภาพที่ 49 50 และ 51 แสดงพฤติกรรมการแพร่กระจายของควันภายในอาคาร เมื่อมีการติดตั้งช่องพัดลมระบายควันกรณีที่ 7 8 และ 9 ตามลำดับ ซึ่งเป็นผลการจำลองกรณีที่ตั้งพัดลมระบายควันโดยให้มีอัตราการระบายควันตามที่คำนวณให้ห้องควันอยู่ที่เหนือพื้นชั้นที่ 9 ซึ่งเป็นชั้นที่สูงที่สุดของอาคารเป็นระยะ 1.85 เมตรโดยมีการติดตั้งบ่อักกควันที่ครอบคลุมตั้งแต่หลังคาชั้นคาถาไฟถึงพื้นชั้น 7 แต่ไม่มีการติดตั้งม่านกันควันในอาคารที่ชั้น 6 5 4 3 และ 2 สำหรับกองเพลิงขนาด 2.2 7.1 และ 14.2 MW ตามลำดับ ซึ่งทั้ง 3 กรณีศึกษาพบว่าการติดตั้งบ่อักกควันส่งผลคืออย่างมากในการรวบรวมควันเพื่อให้พัดลมระบายควันทำการระบายควันร้อนออกไป และจากการที่มีการติดตั้งบ่อักกควัน ทำให้ไม่มีควันลามไปยังทางเดินรอบโถง atrium ที่เป็นช่องทางเดินไปสู่ทางหนีไฟในชั้นที่ 9 8 และ 7

ส่วนสภาพภายในโถง atrium ชั้นที่ 6 5 4 3 และ 2 ก็มีสภาพไม่แตกต่างจากกรณีที่ 4 5 และ 6 คือแม้จะมีสภาพที่ดีกว่ากรณีที่ไม่มีการระบายควัน แต่ภายในช่องทางเดินชั้นที่ 6 5 4 3 และ 2 ก็มีควันปกคลุมอยู่จาก ceiling jet เหมือนกับกรณีที่ 4 5 และ 6 นอกจากนี้ยังมีควันไหลออกจากโถง atrium ออกไปบริเวณชั้น 1 ซึ่งเป็นชั้นล่างสุดของอาคารอีกด้วย ซึ่งสันนิษฐานว่าอัตราการระบายควันในการจำลองในกรณีศึกษานี้มีค่าสูงเกินไป ทำให้ควันร้อนไม่ลอยขึ้นไปในแนวดิ่ง แต่กลับเซอออกไปด้านข้างฝั่งตรงข้ามกับด้านที่มีการเจาะหน้าต่างบริเวณโถง atrium

ข้อสังเกตของการจำลองในกรณีที่ 7 8 และ 9 คือ แม้จะมีการติดตั้งระบบพัดลมระบายควันที่เพียงพอกับอัตราการเกิดควันตามที่คำนวณให้ห้องควันอยู่ที่เหนือพื้นชั้นที่ 9 พร้อมกับการติดตั้งบ่อักกควันที่ครอบคลุมชั้น 9 8 และ 7 แล้วแต่ระบบทั้งหมดก็ยังไม่เพียงพอที่จะทำให้ผู้ใช้อาคารที่ชั้น 6 5 4 3 และ 2 สามารถอพยพไปยังบันไดหนีไฟได้เนื่องจากควันไฟยังมีการแพร่กระจายไปปกคลุม นอกจากนั้นที่ชั้น 1 ก็ยังมีควันไฟลามไปปกคลุมพื้นที่บริเวณใกล้เคียงกับโถง atrium อีกด้วย

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Frame: 20
Time: 20.0Frame: 80
Time: 80.0

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Frame: 140
Time: 140.0Frame: 200
Time: 200.0

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Frame: 260
Time: 260.0Frame: 320
Time: 320.0

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

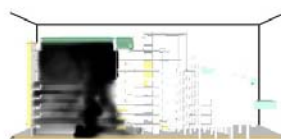
Frame: 380
Time: 380.0Frame: 420
Time: 420.0

ภาพที่ 49 ภาพการกระจายตัวของควันภายในอาคาร กรณีที่ 7 (2.2 MW, exhaust fan 131.29×2, smoke reservoir)

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Frame: 20
Time: 20.0

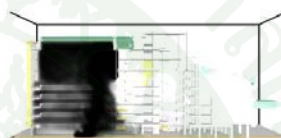
Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Frame: 60
Time: 60.0

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Frame: 140
Time: 140.0

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Frame: 200
Time: 200.0

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Frame: 260
Time: 260.0

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Frame: 320
Time: 320.0

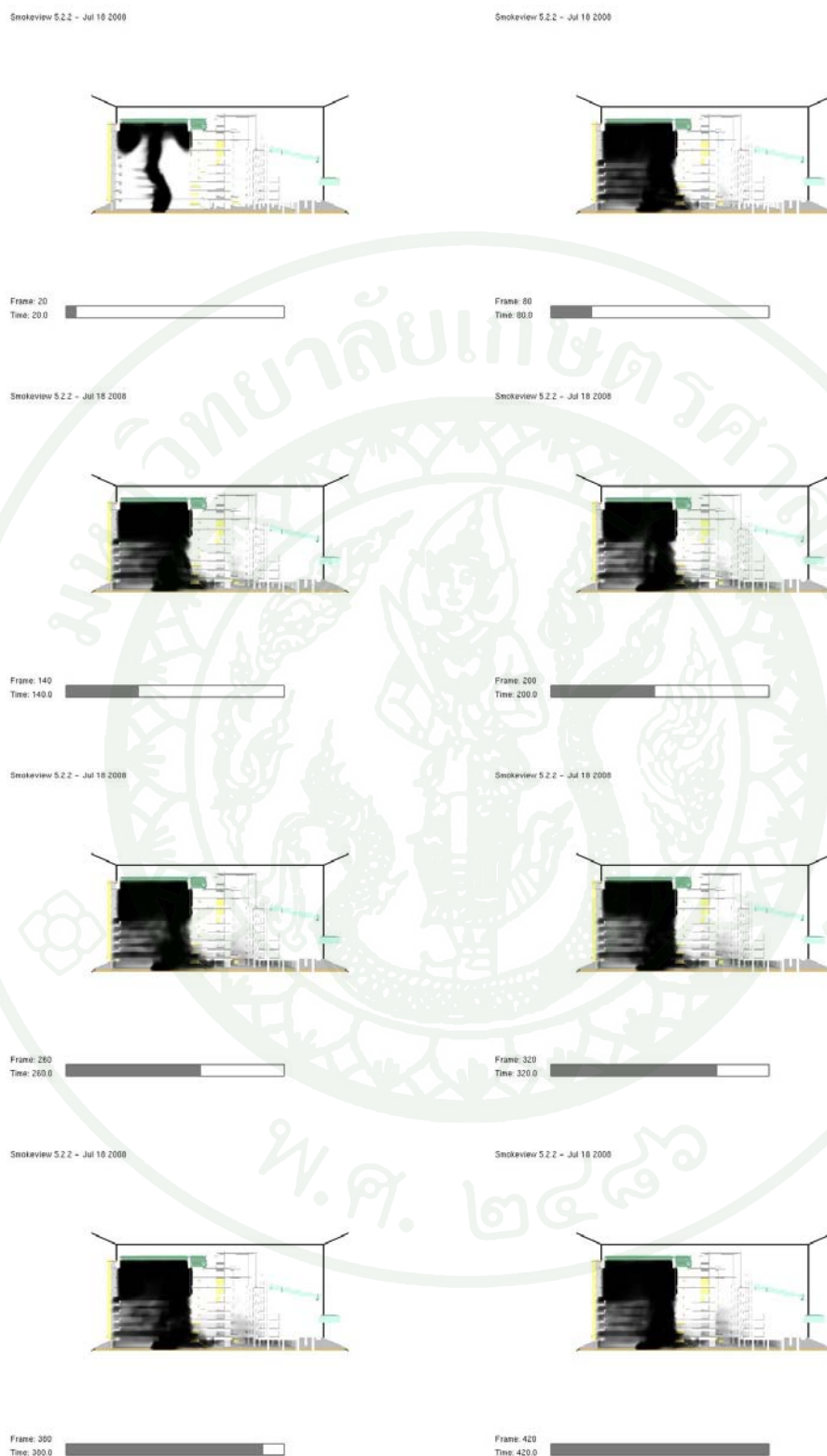
Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Frame: 360
Time: 360.0

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Frame: 420
Time: 420.0

ภาพที่ 50 ภาพการกระจายตัวของควันภายในอาคาร กรณีที่ 8 (7.1 MW, exhaust fan 184.84×2, smoke reservoir)



ภาพที่ 51 ภาพการกระจายตัวของควันภายในอาคาร กรณีที่ 9 (14.2 MW, exhaust fan 226.33×2, smoke reservoir)

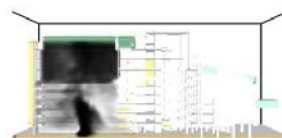
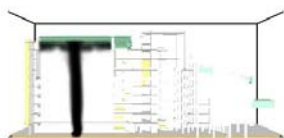
ภาพที่ 52 53 และ 54 แสดงพฤติกรรมการแพร่กระจายของควันภายในอาคาร เมื่อมีการติดตั้งช่องพัดลมระบายควันกรณีที่ 10 11 และ 12 ตามลำดับ ซึ่งเป็นผลการจำลองกรณีติดตั้งพัดลมระบายควันโดยให้มีอัตราการระบายควันตามที่คำนวณให้ห้องควันอยู่ที่เหนือพื้นชั้นที่ 8 เป็นระยะ 1.85 เมตร โดยมีการติดตั้งบ่อพักควันที่ครอบคลุมตั้งแต่หลังคาชั้นดาดฟ้าถึงพื้นชั้น 7 แต่ไม่มีการติดตั้งม่านกันควันในอาคารที่ชั้น 6 5 4 3 และ 2 สำหรับกองเพลิงขนาด 2.2 7.1 และ 14.2 MW ตามลำดับ ซึ่งทั้ง 3 กรณีศึกษาพบว่า การติดตั้งบ่อพักควันส่งผลอย่างมากในการรวบรวมควันเพื่อให้พัดลมระบายควันทำการระบายควันร้อนออกไปเช่นเดียวกับกรณีที่ 7 8 และ 9 และจากการที่มีการติดตั้งบ่อพักควัน ทำให้ไม่มีควันลามไปยังทางเดินรอบโถง atrium ที่เป็นช่องทางเดินไปสู่ทางหนีไฟในชั้นที่ 9 8 และ 7

ส่วนสภาพภายในโถง atrium ชั้นที่ 6 5 4 3 และ 2 ก็มีสภาพไม่แตกต่างจากกรณีที่ 7 8 และ 9 คือแม้จะมีสภาพที่ดีกว่ากรณีที่ไม่มีการระบายควัน แต่ภายในช่องทางเดินชั้นที่ 6 5 4 3 และ 2 ก็มีควันปกคลุมอยู่จาก ceiling jet เหมือนกับกรณีที่ 4 5 และ 6 นอกจากนี้ยังพบว่ายังคงมีควันไหลออกจากโถง atrium ออกไปบริเวณชั้น 1 ซึ่งเป็นชั้นล่างสุดของอาคารเช่นเดียวกับกรณีที่ 7 8 และ 9 แต่ความหนาของควันลดน้อยลง ซึ่งสันนิษฐานว่าอัตราการระบายควันในการจำลองในกรณีศึกษานี้ยังมีค่าสูงเกินไป ทำให้ควันร้อนไม่ลอยขึ้นไปในแนวดิ่ง แต่กลับเซ่ออกไปด้านข้างฝั่งตรงข้ามกับด้านที่มีการเจาะหน้าต่างบริเวณโถง atrium

ข้อสังเกตของการจำลองในกรณีที่ 10 11 และ 12 คือ แม้จะมีการติดตั้งระบบพัดลมระบายควันที่เพียงพอกับอัตราการเกิดควันตามที่คำนวณให้ห้องควันอยู่ที่เหนือพื้นชั้นที่ 8 และกำหนดให้ห้องควันหนาขึ้นเพื่อทำให้อัตราการระบายควันที่ต้องใช้ลดน้อยลง พร้อมกับมีการติดตั้งบ่อพักควันที่ครอบคลุมชั้น 9 8 และ 7 แล้วแต่ระบบทั้งหมดก็ยังไม่เพียงพอที่จะทำให้ผู้ใช้อาคารที่ชั้น 6 5 4 3 และ 2 สามารถอพยพไปยังบันไดหนีไฟได้เนื่องจากควันไฟยังมีการแพร่กระจายไปปกคลุม นอกจากนั้นที่ชั้น 1 ก็ยังคงมีควันไฟลามไปปกคลุมพื้นที่บริเวณใกล้เคียงกับโถง atrium อีกด้วยเช่นเดียวกับกรณี ที่ 7 8 และ 9

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Frame: 20
Time: 20.0Frame: 60
Time: 60.0

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Frame: 140
Time: 140.0Frame: 200
Time: 200.0

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

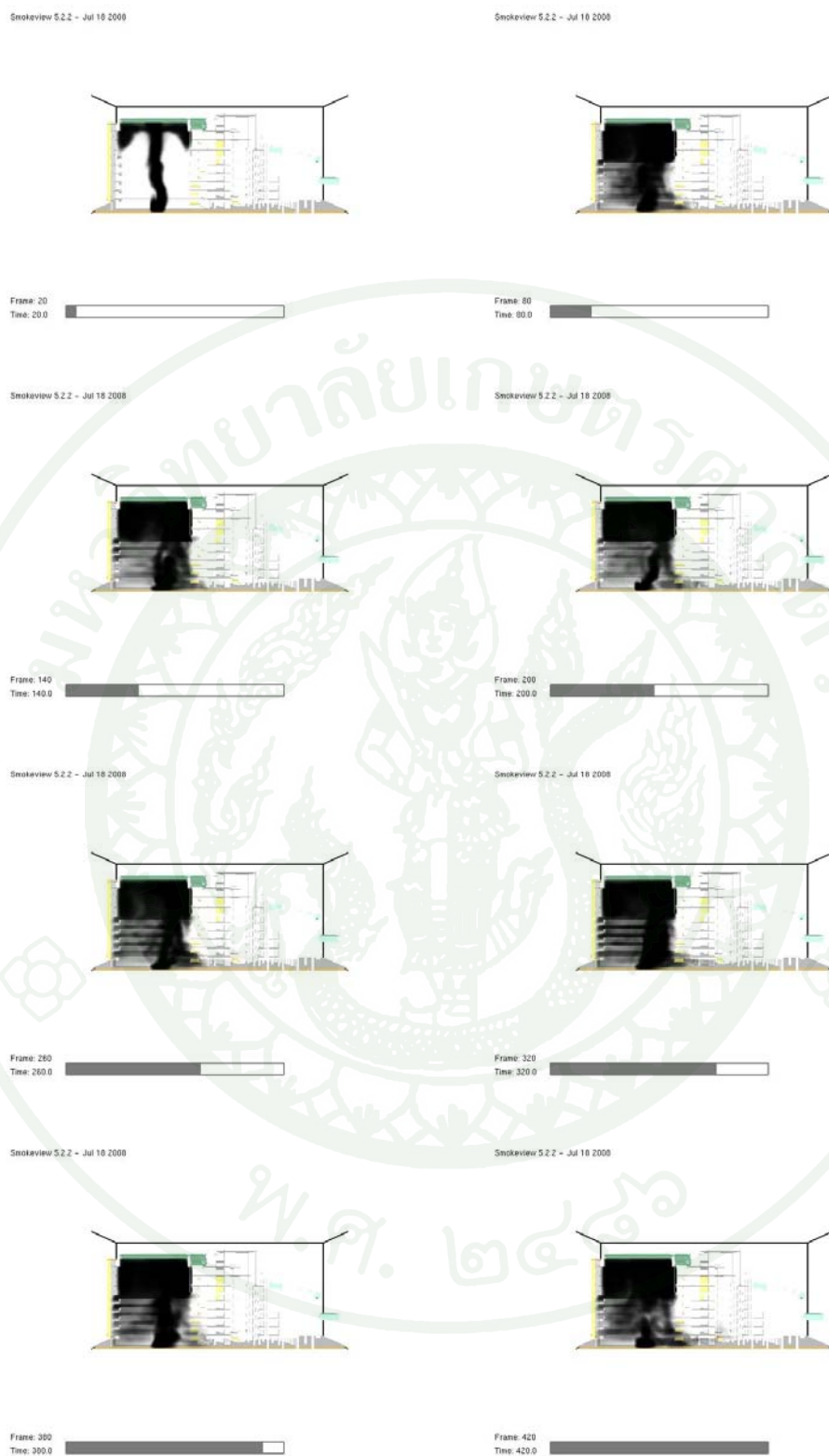
Frame: 260
Time: 260.0Frame: 320
Time: 320.0

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Frame: 300
Time: 300.0Frame: 420
Time: 420.0

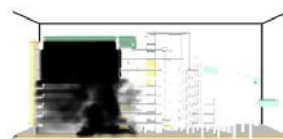
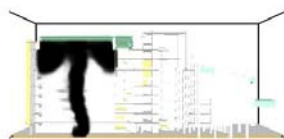
ภาพที่ 52 ภาพการกระจายตัวของควันภายในอาคาร กรณีที่ 10 (2.2 MW, exhaust fan 103.25×2, smoke reservoir)



ภาพที่ 53 ภาพการกระจายตัวของควันภายในอาคาร กรณีที่ 11 (7.1 MW, exhaust fan 145.41×2, smoke reservoir)

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Frame: 20
Time: 20.0Frame: 60
Time: 60.0

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Frame: 140
Time: 140.0Frame: 200
Time: 200.0

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Frame: 280
Time: 280.0Frame: 320
Time: 320.0

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Frame: 360
Time: 360.0Frame: 420
Time: 420.0

ภาพที่ 54 ภาพการกระจายตัวของควันภายในอาคาร กรณีที่ 12 (14.2 MW, exhaust fan 176.51×2, smoke reservoir)

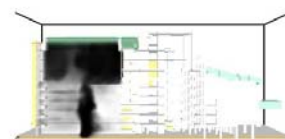
ภาพที่ 55 56 และ 57 แสดงพฤติกรรมการแพร่กระจายของควันภายในอาคาร เมื่อมีการติดตั้งช่องพัดลมระบายควันกรณีที่ 13 14 และ 15 ตามลำดับ ซึ่งเป็นผลการจำลองกรณี ที่ติดตั้งพัดลมระบายควันโดยให้มีอัตราการระบายควันตามที่คำนวณให้ห้องควันอยู่ที่เหนือระดับพื้นชั้น ที่ 7 เป็นระยะ 1.85 เมตร โดยมีการติดตั้งบ่อกักควันที่ครอบคลุมตั้งแต่หลังคาชั้นคาเฟ่ถึงพื้นชั้น 7 แต่ไม่มีการติดตั้งม่านกันควันในอาคารที่ชั้น 6 5 4 3 และ 2 สำหรับกองเพลิงขนาด 2.2 7.1 และ 14.2 MW ตามลำดับ ซึ่งทั้ง 3 กรณีศึกษาพบว่า การติดตั้งบ่อกักควันส่งผลอย่างมากในการรวบรวมควัน เพื่อให้พัดลมระบายควันทำการระบายควันร้อนออกไปเช่นเดียวกับกรณีที่ 7 8 และ 9 และจากการที่ มีการติดตั้งบ่อกักควัน ทำให้ไม่มีควันลามไปยังทางเดินรอบโถง atrium ที่เป็นช่องทางเดินไปสู่ทาง หนีไฟในชั้นที่ 9 8 และ 7

ส่วนสภาพภายในโถง atrium ชั้นที่ 6 5 4 3 และ 2 ก็มีสภาพไม่แตกต่างจากกรณี ที่ 7 8 และ 9 คือแม้จะมีสภาพที่ดีกว่ากรณีที่ไม่มีการระบายควัน แต่ภายในช่องทางเดินชั้นที่ 6 5 4 3 และ 2 ก็มีควันปกคลุมอยู่จาก ceiling jet เหมือนกับกรณีที่ 4 5 และ 6 แต่ไม่พบว่ามีควันไหลออก จากโถง atrium ออกไปบริเวณชั้น 1 ซึ่งเป็นชั้นล่างสุดของอาคารเช่นเดียวกับกรณีที่ 7 8 และ 9 แต่ กลับพบว่าเกิดควันไหลออกจากโถง atrium บริเวณชั้นที่ 6 เกิดขึ้นแทน โดยควันร้อนที่ไหลออกมา ได้ไหลไปทางช่องบันไดกลางอาคารและลามออกไปสู่พื้นที่ในชั้น 7 8 9 บางส่วนอีกครั้งหนึ่ง ซึ่ง สันนิษฐานว่าอัตราการระบายควันในการจำลองในกรณีศึกษานี้มีค่าเพียงพอที่จะทำให้ควันร้อนลอย ขึ้นไปในแนวตั้งโดยไม่เอียงออกด้านข้าง แต่การที่ยังคงมีควันไหลเหนือฝ้าเพดานทางเดินรอบโถง atrium ที่อาจเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดควันรั่วในชั้นที่ 6 นี้

ข้อสังเกตของการจำลองในกรณีที่ 13 14 และ 15 คือ แม้จะมีการติดตั้งระบบพัด ลมระบายควันที่เพียงพอกับอัตราการเกิดควันตามที่คำนวณให้ห้องควันอยู่ที่เหนือระดับพื้นชั้นที่ 7 และกำหนดให้ห้องควันหนาขึ้นเพื่อให้อัตราการระบายควันที่ต้องใช้ลดน้อยลง พร้อมกับมีการ ติดตั้งบ่อกักควันที่ครอบคลุมชั้น 9 8 และ 7 แล้วแต่ระบบทั้งหมดก็ยังไม่เพียงพอที่จะทำให้ผู้ใช้ อาคารที่ชั้น 6 5 4 3 และ 2 สามารถอพยพไปยังบันไดหนีไฟได้เนื่องจากควันไฟยังมีการ แพร่กระจายไปปกคลุม นอกจากนั้นที่ชั้น 6 ก็ยังคงมีควันไฟลามไปปกคลุมพื้นที่บริเวณใกล้เคียงกับ โถง atrium และไหลลามออกไปที่ชั้นใกล้เคียงอีกด้วย

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Frame: 20
Time: 20.0Frame: 60
Time: 60.0

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Frame: 140
Time: 140.0Frame: 200
Time: 200.0

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Frame: 280
Time: 280.0Frame: 320
Time: 320.0

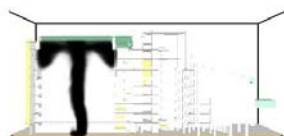
Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Frame: 360
Time: 360.0Frame: 420
Time: 420.0

ภาพที่ 55 ภาพการกระจายตัวของควันภายในอาคาร กรณีที่ 13 (2.2 MW, exhaust fan 83.05×2, smoke reservoir)

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008



Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Frame: 20
Time: 20.0Frame: 80
Time: 80.0

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008



Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Frame: 140
Time: 140.0Frame: 200
Time: 200.0

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008



Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Frame: 260
Time: 260.0Frame: 320
Time: 320.0

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008



Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Frame: 380
Time: 380.0Frame: 420
Time: 420.0

ภาพที่ 56 ภาพการกระจายตัวของควันภายในอาคาร กรณีที่ 14 (7.1 MW, exhaust fan 116.4×2, smoke reservoir)

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Frame: 20
Time: 20.0Frame: 60
Time: 60.0

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Frame: 140
Time: 140.0Frame: 200
Time: 200.0

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Frame: 260
Time: 260.0Frame: 320
Time: 320.0

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Frame: 380
Time: 380.0Frame: 420
Time: 420.0

ภาพที่ 57 ภาพการกระจายตัวของควันภายในอาคาร กรณีที่ 15 (14.2 MW, exhaust fan 140.88×2, smoke reservoir)

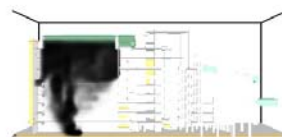
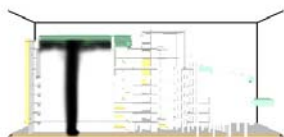
ภาพที่ 58 59 และ 60 แสดงพฤติกรรมการแพร่กระจายของควันภายในอาคาร เมื่อมีการติดตั้งช่องพัดลมระบายควันกรณีที่ 16 17 และ 18 ตามลำดับ ซึ่งเป็นผลการจำลองกรณีติดตั้งพัดลมระบายควันโดยให้อัตราระบายควันตามที่คำนวณให้ห้องควันอยู่ที่เหนือระดับพื้นชั้นที่ 7 เป็นระยะ 1.85 เมตร โดยมีการติดตั้งบ่อักควันที่ครอบคลุมตั้งแต่หลังคาชั้นดาดฟ้าถึงพื้นชั้น 7 แต่ไม่มีการติดตั้งม่านกันควันในอาคารที่ชั้น 6 5 4 3 และ 2 และเพิ่มการปิดหน้าต่างด้านหลังของอาคารโดยมีจุดประสงค์เพื่อป้องกันไม่ให้มีอากาศไหลเข้ามาในอาคารสำหรับกองเพลิงขนาด 2.2 7.1 และ 14.2 MW ตามลำดับ ซึ่งทั้ง 3 กรณีศึกษาพบว่าการติดตั้งบ่อักควันส่งผลอย่างมากในการรวบรวมควัน เพื่อให้พัดลมระบายควันทำการระบายควันร้อนออกไปเช่นเดียวกับกรณีที่ 7 8 และ 9 และจากการที่มีการติดตั้งบ่อักควัน ทำให้ไม่มีควันลามไปยังทางเดินรอบโถง atrium ที่เป็นช่องทางเดินไปสู่ทางหนีไฟในชั้นที่ 9 8 และ 7

แม้จะไม่พบว่ามีควันไหลออกจากโถง atrium ออกไปบริเวณชั้น 1 ซึ่งเป็นชั้นล่างสุดของอาคารเช่นเดียวกับกรณีศึกษาที่ 7 8 และ 9 และไม่พบที่เกิดควันไหลออกจากโถง atrium บริเวณชั้นที่ 6 เช่นเดียวกับที่เคยเกิดกับที่กรณีศึกษาที่ 13 14 และ 15 รวมทั้งไม่มี ceiling jet เกิดขึ้นที่ชั้น 6 5 4 3 และ 2 แต่กลับพบว่าลำควันไม่ลอยขึ้นในแนวดิ่ง แต่กลับมีการเอียงออกด้านข้างไปทางด้านหน้าต่างที่ได้ทำการปิดไว้จนทำให้สภาพภายในโถง atrium ชั้นที่ 6 5 4 3 และ 2 ก็มีสภาพปกคลุมไปด้วยควันเช่นเดียวกับกรณีศึกษาที่ 7 8 และ 9 คือแม้จะมีสภาพที่ดีกว่ากรณีที่ไม่มีการระบายควัน แต่ภายในช่องทางเดินชั้นที่ 6 5 4 3 และ 2 ก็มีควันปกคลุมเนื่องจากลำควันที่เอียงเข้าไปหาทางด้านหน้าต่างที่ได้ทำการปิดไว้

ข้อสังเกตของการจำลองในกรณีที่ 16 17 และ 18 คือ แม้จะมีการติดตั้งระบบพัดลมระบายควันที่เพียงพอกับอัตราการเกิดควันและกำหนดให้ห้องควันหนาขึ้นเพื่อให้อัตราการระบายควันที่ต้องใช้ลดน้อยลง พร้อมกับมีการติดตั้งบ่อักควันที่ครอบคลุมชั้น 9 8 และ 7 รวมทั้งทำการปิดช่องหน้าต่างด้านที่ติดกับโถง atrium แล้วแต่ระบบทั้งหมดก็ยังไม่เพียงพอที่จะทำให้ผู้ใช้อาคารที่ชั้น 6 5 4 3 และ 2 สามารถอพยพไปยังบันไดหนีไฟได้เนื่องจากควันไฟยังมีการแพร่กระจายไปปกคลุมโดยลำควันที่เอียงไปทางด้านหน้าต่างที่ได้ทำการปิดไว้

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Frame: 20
Time: 20.0Frame: 80
Time: 80.0

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Frame: 140
Time: 140.0Frame: 200
Time: 200.0

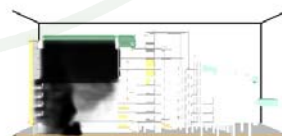
Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Frame: 260
Time: 260.0Frame: 320
Time: 320.0

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

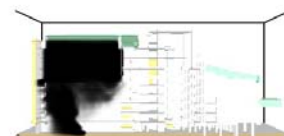
Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Frame: 380
Time: 380.0Frame: 420
Time: 420.0

ภาพที่ 58 ภาพการกระจายตัวของควันภายในอาคาร กรณีที่ 16 (2.2 MW, exhaust fan 83.05×2, smoke reservoir, closed windows)

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Frame: 20
Time: 20.0Frame: 80
Time: 80.0

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Frame: 140
Time: 140.0Frame: 200
Time: 200.0

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Frame: 260
Time: 260.0Frame: 320
Time: 320.0

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

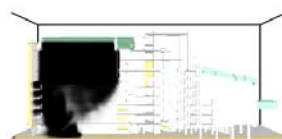
Frame: 380
Time: 380.0Frame: 420
Time: 420.0

ภาพที่ 59 ภาพการกระจายตัวของควันภายในอาคาร กรณีที่ 17 (7.1 MW, exhaust fan 116.4×2, smoke reservoir, closed windows)

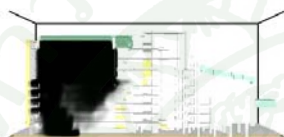
Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Frame: 20
Time: 20.0

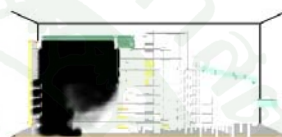
Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Frame: 80
Time: 80.0

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Frame: 140
Time: 140.0

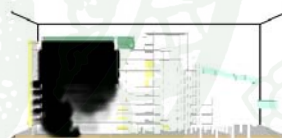
Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Frame: 200
Time: 200.0

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Frame: 260
Time: 260.0

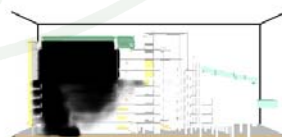
Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Frame: 320
Time: 320.0

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Frame: 380
Time: 380.0

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Frame: 420
Time: 420.0

ภาพที่ 60 ภาพการกระจายตัวของควันภายในอาคาร กรณีที่ 18 (14.2 MW, exhaust fan 140.88×2, smoke reservoir, closed windows)

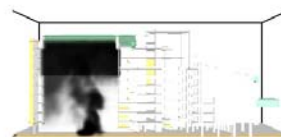
ภาพที่ 61 62 และ 63 แสดงพฤติกรรมการแพร่กระจายของควันภายในอาคาร เมื่อมีการติดตั้งช่องพัดลมระบายควันกรณีที่ 19 20 และ 21 ตามลำดับ ซึ่งเป็นผลการจำลองกรณี ที่ติดตั้งพัดลมระบายควันโดยให้อัตราระบายควันตามที่คำนวณให้ห้องควันอยู่ที่เหนือระดับพื้นชั้น ที่ 7 เป็นระยะ 1.85 เมตร โดยมีการติดตั้งบ่อักควันที่ครอบคลุมตั้งแต่หลังคาชั้นดาดฟ้าถึงพื้นชั้น 7 และมีการติดตั้งม่านกันควันในอาคารที่ชั้น 6 5 4 3 และ 2 แต่ไม่มีการปิดหน้าต่างเช่นเดียวกับที่ได้ ทำในกรณีศึกษาที่ 16 17 และ 18 สำหรับกองเพลิงขนาด 2.2 7.1 และ 14.2 MW ตามลำดับ ซึ่งทั้ง 3 กรณีศึกษาพบว่าการติดตั้งบ่อักควันส่งผลอย่างมากในการรวบรวมควัน เพื่อให้พัดลมระบายควัน ทำการระบายควันร้อนออกไปเช่นเดียวกับกรณีที่ 7 8 และ 9 และจากการที่มีการติดตั้งบ่อักควัน ทำให้ไม่มีควันลามไปยังทางเดินรอบโถง atrium ที่เป็นช่องทางเดินไปทางหนีไฟในชั้นที่ 9 8 และ 7

ส่วนสภาพภายในโถง atrium ชั้นที่ 6 5 4 3 และ 2 มีสภาพแตกต่างจากกรณีที่ 7 8 และ 9 อย่างเห็นได้ชัดคือภายในช่องทางเดินชั้นที่ 6 5 4 3 และ 2 ไม่พบว่ามีควันปกคลุมอยู่จาก ceiling jet เหมือนกับกรณีที่ 4 5 และ 6 และไม่พบว่ามีควันไหลออกจากโถง atrium ออกไปบริเวณ ชั้น 1 ซึ่งเป็นชั้นล่างสุดของอาคารเช่นเดียวกับกรณีที่ 7 8 และ 9 อีกทั้งยังพบว่าลำควันเกิดขึ้นใน แนวโค้งไม่เอียงเช่นเดียวกับที่พบว่าได้เกิดขึ้นในกรณีศึกษาที่ 16 17 และ 18 แต่อย่างไรก็ตามยัง พบว่าบริเวณเพดานของชั้น 1 ก็ยังมีการพบว่ามีควันมาปกคลุมเนื่องจากไม่มีการติดตั้งม่านกันควัน ไว้ที่ชั้นที่ 1

ข้อสังเกตของการจำลองในกรณีที่ 19 20 และ 21 คือ เมื่อมีการติดตั้งระบบพัด ลมระบายควันที่เพียงพอกับอัตราการเกิดควันและกำหนดให้ห้องควันหนาขึ้นเพื่อให้อัตราการ ระบายควันที่ต้องใช้ลดน้อยลง พร้อมกับมีการติดตั้งบ่อักควันที่ครอบคลุมชั้น 9 8 และ 7 รวมทั้งยัง มีการติดตั้งม่านกันควันที่ชั้น 6 5 4 3 และ 2 แล้วพบว่าระบบทั้งหมดดีขึ้นมากจนเพียงพอที่จะทำให้ ผู้ใช้อาคารตั้งแต่ชั้นที่ 9 จนถึงชั้นที่ 2 สามารถอพยพไปยังบันไดหนีไฟได้เนื่องจากไม่มีควันไฟ แพร่กระจายไปปกคลุม ยกเว้นชั้นที่ 1 บริเวณประตูด้านหลังอาคารที่มีควันไฟม้วนจากเพดานโถง atrium ลงมาปกคลุมบริเวณดังกล่าว

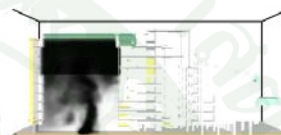
Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Frame: 20
Time: 20.0Frame: 80
Time: 80.0

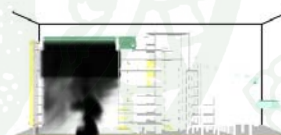
Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Frame: 140
Time: 140.0Frame: 200
Time: 200.0

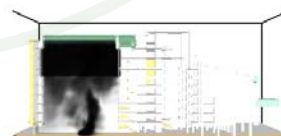
Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Frame: 260
Time: 260.0Frame: 320
Time: 320.0

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

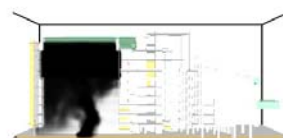
Frame: 380
Time: 380.0Frame: 420
Time: 420.0

ภาพที่ 61 ภาพการกระจายตัวของควันภายในอาคาร กรณีที่ 19 (2.2 MW, exhaust fan 83.05×2, smoke reservoir, curtain)

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008



Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Frame: 20
Time: 20.0Frame: 80
Time: 80.0

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008



Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Frame: 140
Time: 140.0Frame: 200
Time: 200.0

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008



Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Frame: 260
Time: 260.0Frame: 320
Time: 320.0

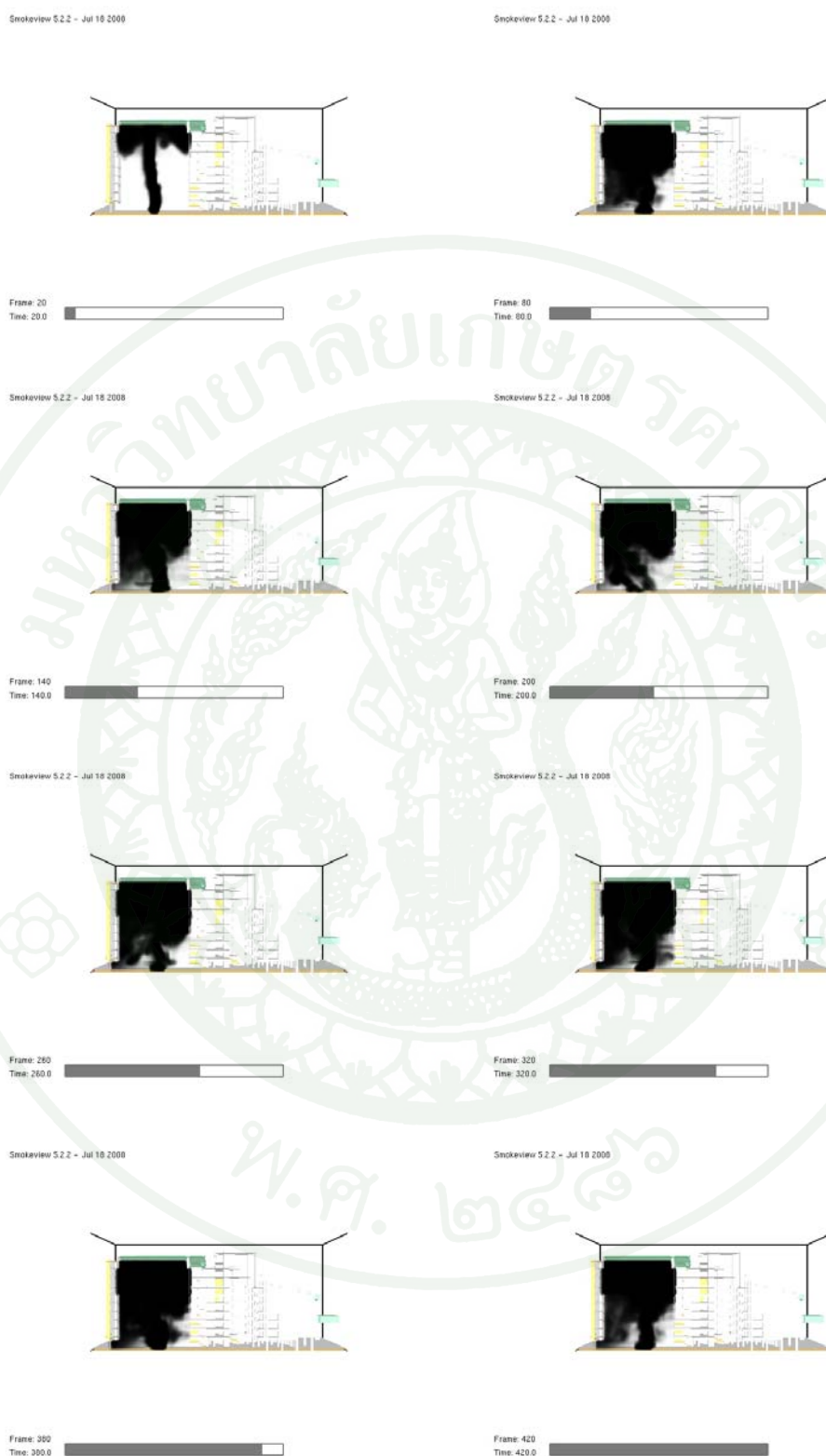
Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008



Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Frame: 380
Time: 380.0Frame: 420
Time: 420.0

ภาพที่ 62 ภาพการกระจายตัวของควันภายในอาคาร กรณีที่ 20 (7.1 MW, exhaust fan 116.4×2, smoke reservoir, curtain)



ภาพที่ 63 ภาพการกระจายตัวของควันภายในอาคาร กรณีที่ 21 (14.2 MW, exhaust fan 140.88×2, smoke reservoir, curtain)

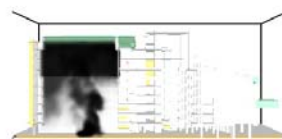
ภาพที่ 64 65 และ 66 แสดงพฤติกรรมการแพร่กระจายของควันภายในอาคาร เมื่อมีการติดตั้งช่องพัดลมระบายควันกรณีที่ 22 23 และ 24 ตามลำดับ ซึ่งเป็นผลการจำลองกรณี ที่ติดตั้งพัดลมระบายควัน โดยให้มีอัตราการระบายควันตามที่คำนวณให้ห้องควันอยู่ที่เหนือระดับพื้นชั้น ที่ 7 เป็นระยะ 1.85 เมตร โดยมีการติดตั้งบ่อกักควันที่ครอบคลุมตั้งแต่หลังคาชั้นดาดฟ้าถึงพื้นชั้น 7 และมีการติดตั้งม่านกันควันในอาคารที่ชั้น 6 5 4 3 และ 2 อีกทั้งยังมีการปิดหน้าต่างบริเวณด้านหลัง ของอาคารเช่นเดียวกับที่ได้ทำในกรณีศึกษาที่ 16 17 และ 18 สำหรับกองเพลิงขนาด 2.2 7.1 และ 14.2 MW ตามลำดับ ซึ่งทั้ง 3 กรณีศึกษาพบว่าการติดตั้งบ่อกักควันส่งผลดีอย่างมากในการรวบรวม ควัน เพื่อให้พัดลมระบายควันทำการระบายควันร้อนออกไปเช่นเดียวกับกรณีที่ 7 8 และ 9 และจาก การที่มีการติดตั้งบ่อกักควัน ทำให้ไม่มีควันลามไปยังทางเดินรอบโถง atrium ที่เป็นช่องทางเดิน ไปสู่ทางหนีไฟในชั้นที่ 9 8 และ 7

ส่วนสภาพภายในโถง atrium ชั้นที่ 6 5 4 3 และ 2 มีสภาพแตกต่างจากกรณีที่ 7 8 และ 9 อย่างเห็นได้ชัดคือภายในช่องทางเดินชั้นที่ 6 5 4 3 และ 2 ไม่พบว่ามีควันปกคลุมอยู่จาก ceiling jet เหมือนกับกรณีที่ 4 5 และ 6 และไม่พบว่ามีควันไหลออกจากโถง atrium ออกไปบริเวณ ชั้น 1 ซึ่งเป็นชั้นล่างสุดของอาคารเช่นเดียวกับกรณีที่ 7 8 และ 9 อีกทั้งยังพบว่าลำควันเกิดขึ้นใน แนวโค้งไม่เอียงเช่นเดียวกับที่พบว่าได้เกิดขึ้นในกรณีศึกษาที่ 16 17 และ 18 แต่อย่างไรก็ตามยัง พบว่าบริเวณเพดานของชั้น 1 สำหรับกรณีศึกษาที่ 23 และ 24 ที่มีกองเพลิงขนาด 7.1 และ 14.2 MW ตามลำดับก็ยังคงมีการพบว่ามีควันมาปกคลุมเนื่องจากไม่มีการติดตั้งม่านกันควันไว้ที่ชั้นที่ 1 ส่วน กรณีศึกษาที่ 22 ที่มีกองเพลิงขนาด 2.2 MW กลับไม่พบว่ามีควันมาปกคลุมที่ชั้น 1 บริเวณประตู ทางออกด้านหลัง

ข้อสังเกตของการจำลองในกรณีที่ 22 23 และ 24 คือ เมื่อมีการติดตั้งระบบพัด ลมระบายควันที่เพียงพอกับอัตราการเกิดควันและกำหนดให้ห้องควันหนาขึ้นเพื่อทำให้อัตราการ ระบายควันที่ต้องใช้ลดน้อยลง พร้อมกับการติดตั้งบ่อกักควันที่ครอบคลุมชั้น 9 8 และ 7 รวมทั้งยัง มีการติดตั้งม่านกันควันที่ชั้น 6 5 4 3 และ 2 ร่วมกับการปิดหน้าต่างด้านหลังอาคาร พบว่าระบบ ทั้งหมดดีขึ้นมากจนเพียงพอที่จะทำให้ผู้ใช้อาคารตั้งแต่ชั้นที่ 9 จนถึงชั้นที่ 2 สามารถอพยพไปยัง บันไดหนีไฟได้เนื่องจากไม่มีควันไฟแพร่กระจายไปปกคลุม ยกเว้นชั้นที่ 1 บริเวณประตูด้านหลัง อาคารที่มีควันไฟม้วนจากเพดานโถง atrium ลงมาปกคลุมเฉพาะแต่สำหรับกองเพลิงขนาด 7.1 และ 14.2 MW ส่วนกองเพลิงขนาด 2.1 MW ไม่มีปัญหาควันไฟม้วนลงมาซึ่งแตกต่างจากผลที่เกิดขึ้นใน กรณีที่ 19 ซึ่งมีปัญหาควันไฟม้วนลงมาปกคลุมอย่างชัดเจน

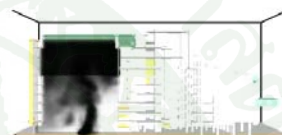
Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Frame: 20
Time: 20.0Frame: 80
Time: 80.0

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Frame: 140
Time: 140.0Frame: 200
Time: 200.0

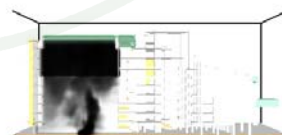
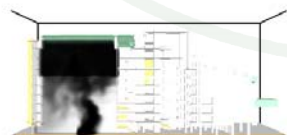
Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

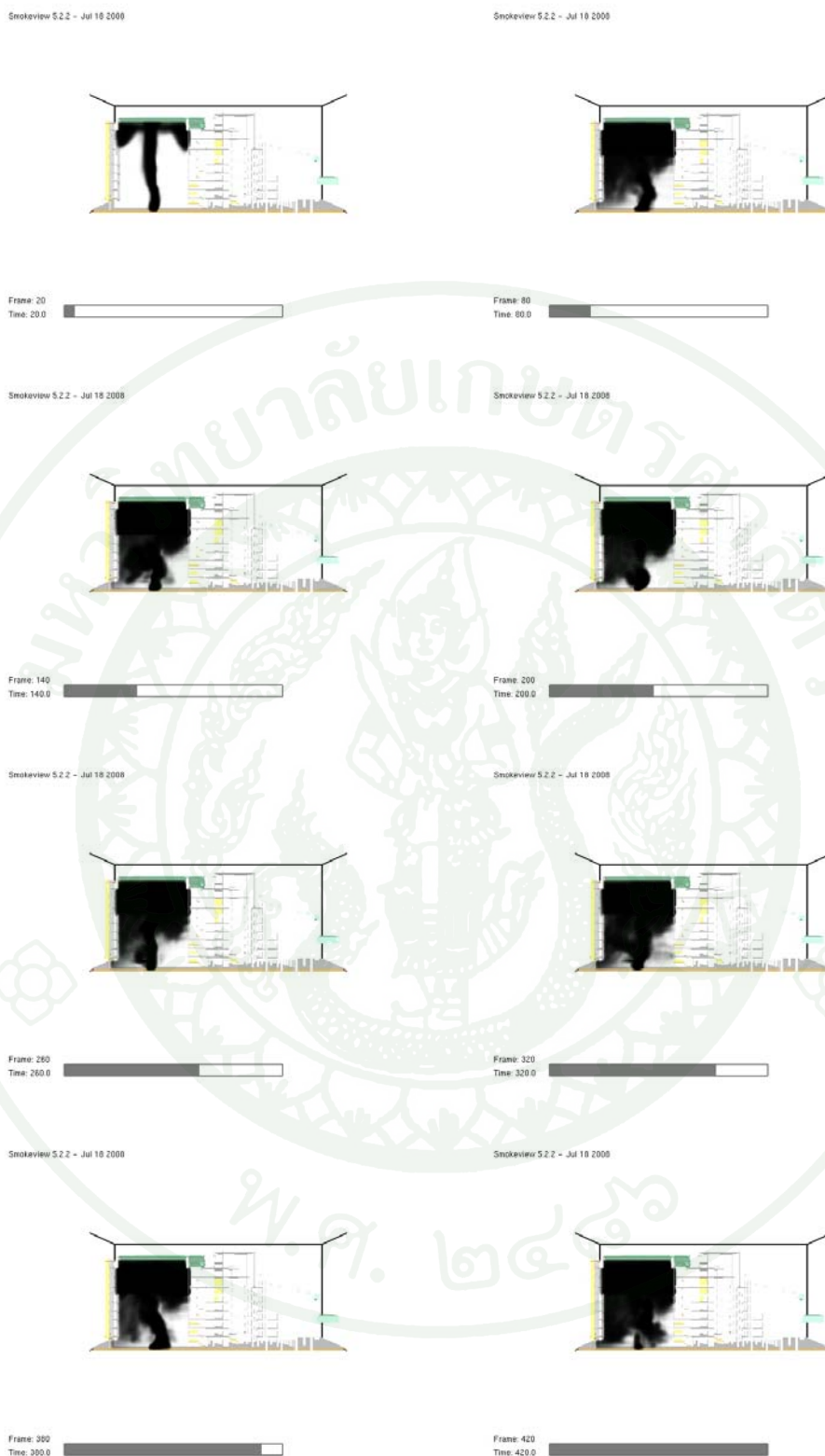
Frame: 260
Time: 260.0Frame: 320
Time: 320.0

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Frame: 380
Time: 380.0Frame: 420
Time: 420.0

ภาพที่ 64 ภาพการกระจายตัวของควันภายในอาคาร กรณีที่ 22 (2.2 MW, exhaust fan 83.05×2, smoke reservoir, curtain, closed windows)



ภาพที่ 65 ภาพการกระจายตัวของควันภายในอาคาร กรณีที่ 23 (7.1 MW, exhaust fan 116.4×2, smoke reservoir, curtain, closed windows)

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Frame: 20
Time: 20.0Frame: 60
Time: 60.0

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Frame: 140
Time: 140.0Frame: 200
Time: 200.0

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Frame: 280
Time: 280.0Frame: 320
Time: 320.0

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

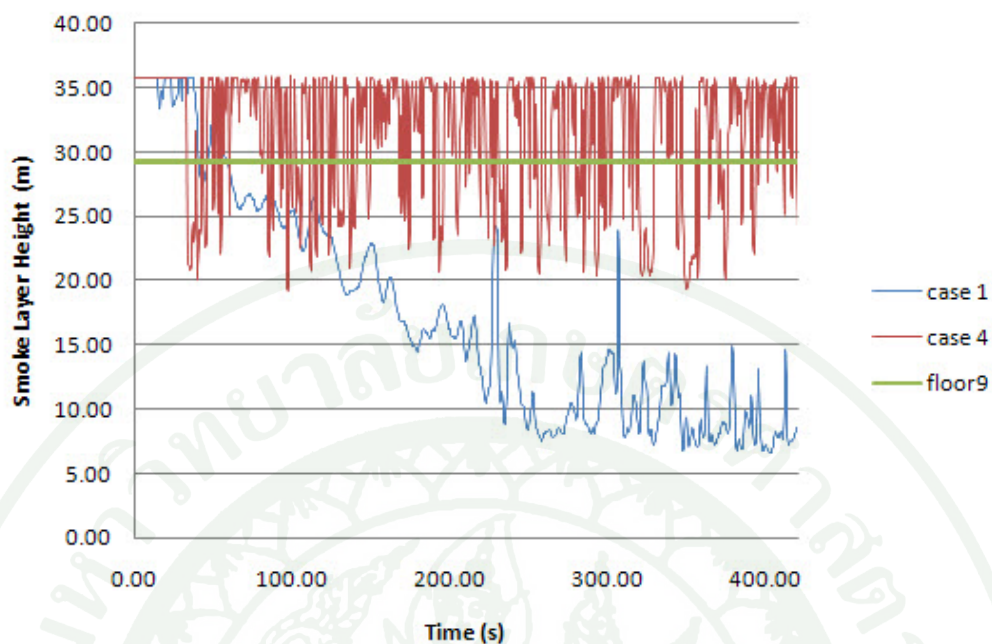
Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Frame: 360
Time: 360.0Frame: 420
Time: 420.0

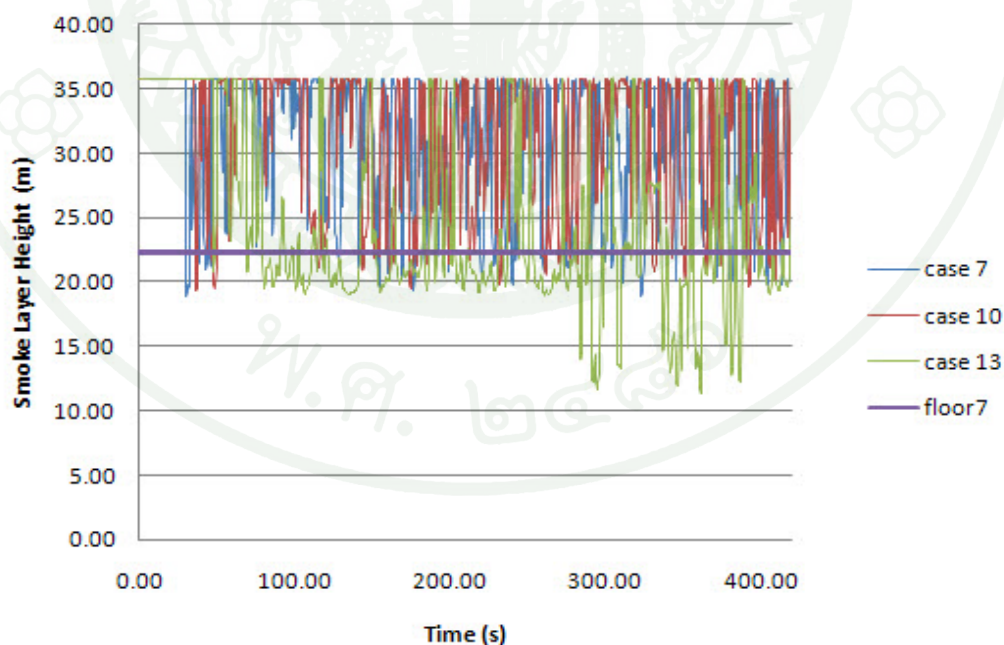
ภาพที่ 66 ภาพการกระจายตัวของควันภายในอาคาร กรณีที่ 24 (14.2 MW, exhaust fan 140.88×2, smoke reservoir, curtain, closed windows)

ตารางที่ 13 ความสูงเฉลี่ยของท่อน้ำวันไฟ กรณีที่อัตราการปล่อยความร้อนของกองเพลิง 2.2 MW

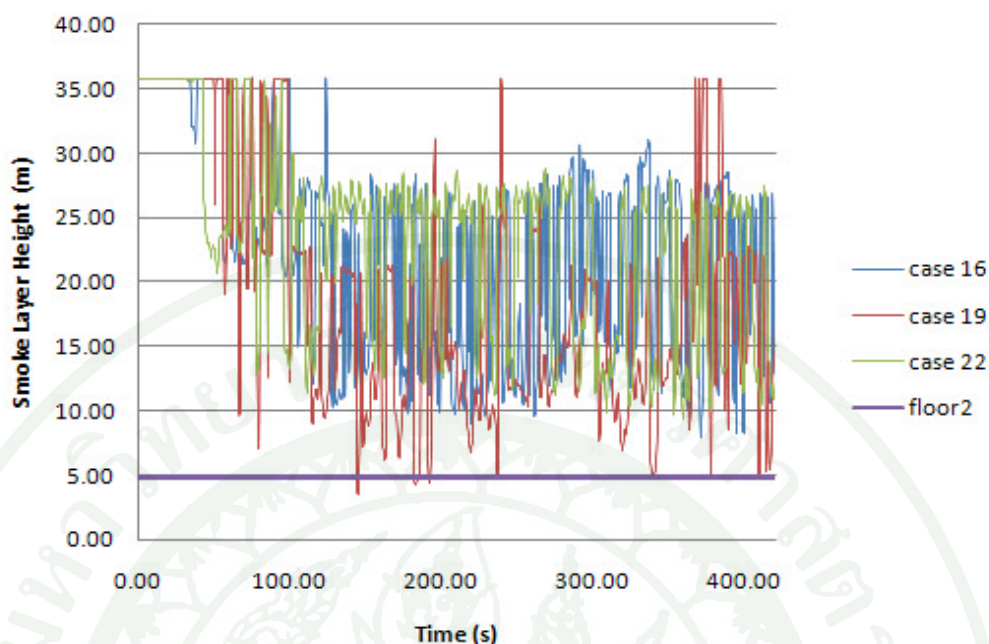
กรณี	อัตราการปล่อย พลังงานความร้อนของกอง เพลิง (MW)	ชนิดของระบบ ควบคุมควันไฟ	ขนาดของพัดลม ระบายควัน (kg/s) / จำนวน พัดลม (ตัว)	ความสูงเฉลี่ย ของท่อน้ำวัน ไฟจากพื้นชั้น 1 (m)
1	2.2	- ไม่มี	-	13.47
4	2.2	- พัดลมระบายควัน - ไม่มีบ่อพักควัน	131.29/2	30.87
7	2.2	- พัดลมระบายควัน - มีบ่อพักควัน	131.29/2	30.12
10	2.2	- พัดลมระบายควัน - มีบ่อพักควัน	103.25/2	30.19
13	2.2	- พัดลมระบายควัน - มีบ่อพักควัน	83.05/2	22.39
16	2.2	- พัดลมระบายควัน - มีบ่อพักควัน - ปิดประตูหน้าต่าง ด้านหลัง	83.05/2	19.99
19	2.2	- พัดลมระบายควัน - มีบ่อพักควัน - ม่านกันควันที่ชั้น 6 ถึง 2	83.05/2	15.52
22	2.2	- พัดลมระบายควัน - มีบ่อพักควัน - ปิดประตูหน้าต่าง ด้านหลัง - ม่านกันควันที่ชั้น 6 ถึง 2	83.05/2	20.95



ภาพที่ 67 ความสูงเฉลี่ยของท้องควันไฟจากพื้นชั้น 1 สำหรับกรณีศึกษาที่ 1 และ 4 ที่มีอัตราการปล่อยพลังงานความร้อนของกองเพลิงขนาด 2.2 MW



ภาพที่ 68 ความสูงเฉลี่ยของท้องควันไฟจากพื้นชั้น 1 สำหรับกรณีศึกษาที่ 7 10 และ 13 ที่มีอัตราการปล่อยพลังงานความร้อนของกองเพลิงขนาด 2.2 MW



ภาพที่ 69 ความสูงเฉลี่ยของท้องควันไฟจากพื้นชั้น 1 สำหรับกรณีศึกษาที่ 16 19 และ 22 ที่มีอัตราการปล่อยพลังงานความร้อนของกองเพลิงขนาด 2.2 MW

ภาพที่ 67 แสดงความสูงเฉลี่ยของท้องควันไฟจากพื้นชั้น 1 สำหรับกรณีศึกษาที่ 1 และ 4 ที่มีอัตราการปล่อยพลังงานความร้อนของกองเพลิง 2.2 MW เท่ากันทั้งสองกรณี แต่กรณีที่ 1 ไม่มีการระบายควัน ส่วนกรณีที่ 4 มีการระบายควัน ซึ่งจากภาพจะพบว่าความสูงเฉลี่ยของท้องควันเมื่ออยู่ในสถานะสมดุลของในกรณีที่ 1 ที่ไม่มีการระบายควันแตกต่างจาก ความสูงของท้องควันในกรณีศึกษาที่ 4 อย่างเห็นได้ชัด แต่อย่างไรก็ตามแม้จะมีการระบายควันก็ตาม แต่ท้องควันไฟก็ยังลดต่ำลงต่ำกว่าระดับพื้นที่ 9 ซึ่งเป็นชั้นสูงที่สุดของอาคาร แสดงว่าผู้ใช้อาคารไม่สามารถอพยพหนีไฟได้อย่างปลอดภัย

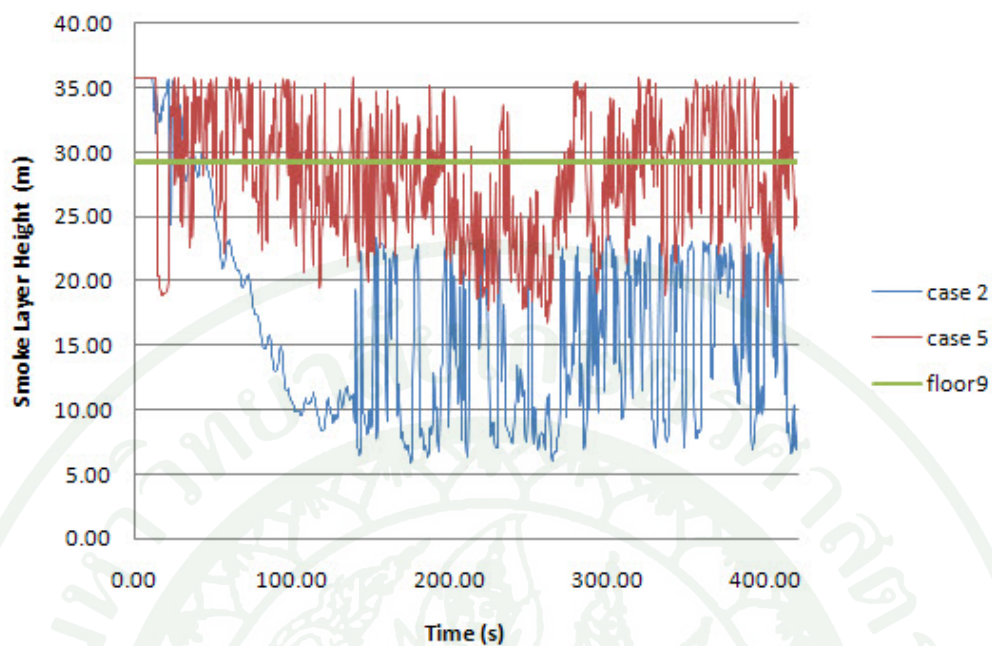
ภาพที่ 68 แสดงความสูงเฉลี่ยของท้องควันไฟจากพื้นชั้น 1 สำหรับกรณีศึกษาที่ 7 10 และ 13 ที่มีอัตราการปล่อยพลังงานความร้อนของกองเพลิง 2.2 MW เท่ากันทั้งสามกรณี รวมทั้งมีการติดตั้งบ่อกักควันที่ครอบคลุมตั้งแต่ระดับพื้นที่อาคารไปถึงระดับพื้นที่ 7 เหมือนกัน แต่แตกต่างกันที่อัตราการระบายควันที่เปลี่ยนไปตามการออกแบบให้ท้องควันอยู่เหนือพื้นที่ 9 8 และ 7 ตามลำดับ ซึ่งจากภาพจะพบว่าความสูงเฉลี่ยของท้องควันเมื่ออยู่ในสถานะสมดุลของในกรณีที่ 7 และกรณีที่ 10 มีค่าระดับใกล้เคียงกัน ส่วนความสูงเฉลี่ยของท้องควันในกรณีศึกษาที่ 13 บางช่วงเวลาลดต่ำลงอย่างเห็นได้ชัด แต่ท้องควันไฟเฉลี่ยตามค่าที่คำนวณได้ตามตารางที่ 13 ก็ยังไม่ลด

ต่ำลงมากกว่าระดับพื้นที่ 7 ซึ่งเป็นระดับล่างของบ่อถักควันที่ได้กำหนดไว้แสดงว่าบ่อถักควันสามารถถักควันที่เกิดขึ้นที่อัตราการปล่อยพลังงานความร้อนที่ 2.1 MW ได้

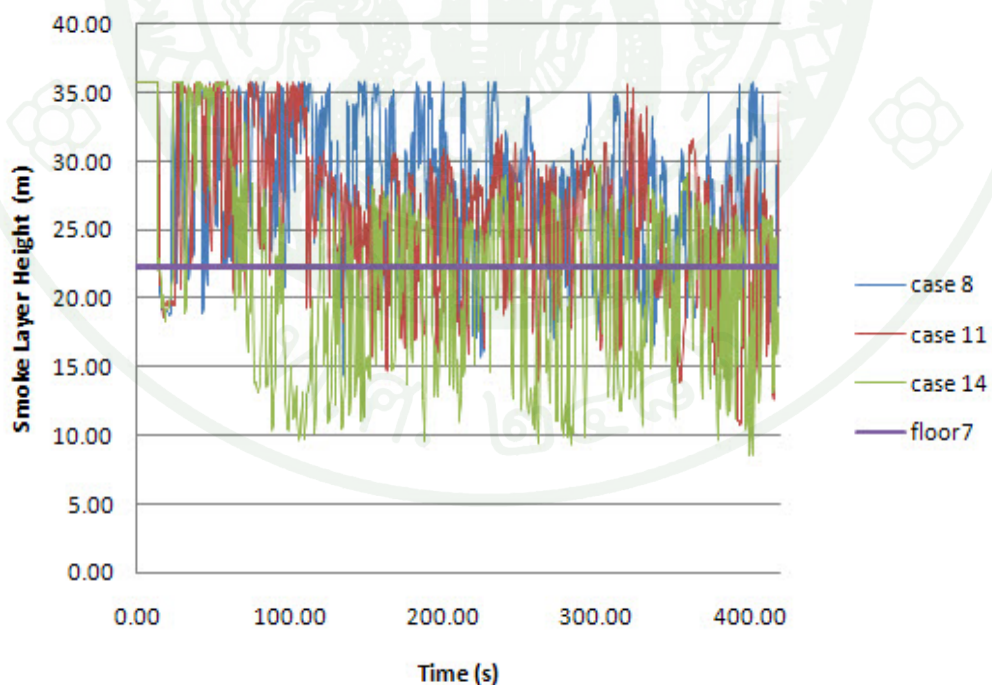
ภาพที่ 69 แสดงความสูงเฉลี่ยของห้องควันไฟจากพื้นที่ 1 สำหรับกรณีศึกษาที่ 16 19 และ 22 ที่มีอัตราการปล่อยพลังงานความร้อนของกองเพลิง 2 MW เท่ากันทั้งสามกรณี ทั้งมีการติดตั้งบ่อถักควันที่ครอบคลุมตั้งแต่ระดับพื้นที่ลาดฟ้าถึงระดับพื้นที่ 7 เหมือนกัน มีอัตราการระบายควันตามการออกแบบให้ห้องควันอยู่เหนือพื้นที่ 7 เช่นเดียวกัน แต่แตกต่างกันที่กรณีศึกษาที่ 16 ทำการปิดหน้าต่างด้านหลังอาคาร กรณีศึกษาที่ 19 ทำการติดตั้งม่านกันควันที่ชั้น 6 5 4 3 และ 2 ส่วนกรณีศึกษาที่ 22 ทำการปิดหน้าต่างด้านหลังอาคารและทำการติดตั้งม่านกันควันที่ชั้น 6 5 4 3 และ 2 ร่วมกัน ซึ่งจากภาพพบว่ากรณีศึกษาที่ 19 มีระดับความสูงของห้องควันผันผวนที่สุด แต่พบกว่าค่าระดับห้องควันเฉลี่ยที่คำนวณได้ตามตารางที่ 13 ของกรณีศึกษาที่ 19 อยู่สูงที่สุด ส่วนกรณีศึกษาที่ 16 และ 22 มีระดับความสูงของห้องควันใกล้เคียงกัน ซึ่งสอดคล้องกับค่าความสูงของระดับห้องควันเฉลี่ยที่คำนวณได้ตามตารางที่ 13

ตารางที่ 14 ความสูงเฉลี่ยของท่อน้ำมัน ไฟ กรณีที่อัตราการปล่อยความร้อนของกองเพลิง 7.1 MW

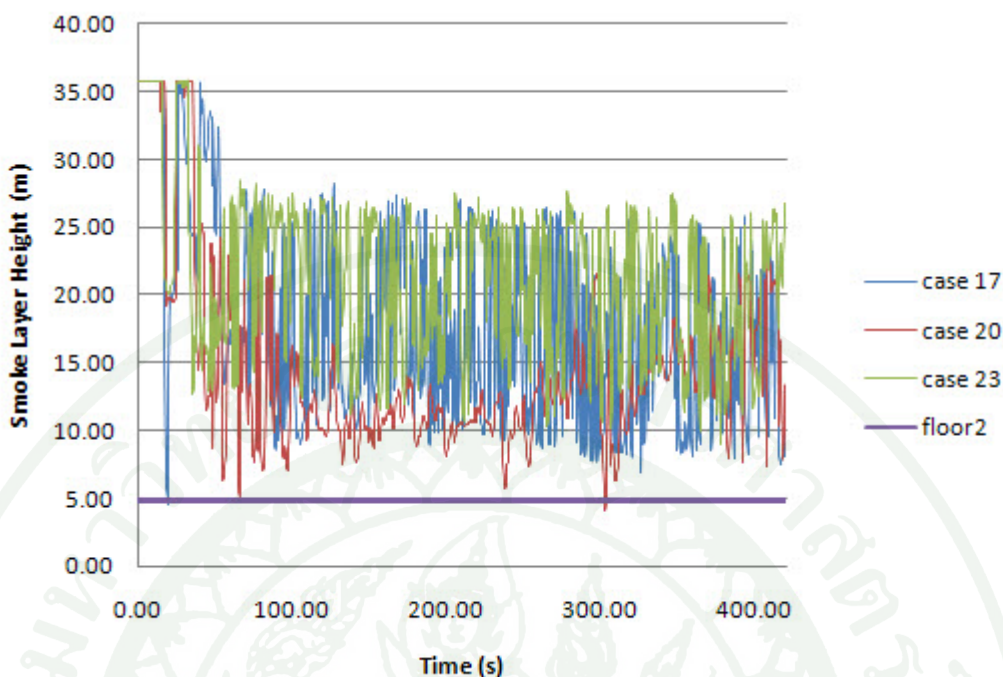
กรณี	อัตราการปล่อย พลังงานความร้อนของกอง เพลิง (MW)	ชนิดของระบบ ควบคุมควันไฟ	ขนาดของพัด ลมระบายควัน (kg/s) / จำนวน พัดลม (ตัว)	ความสูง เฉลี่ยของ ท่อน้ำมันไฟ จากพื้นชั้น 1 (m)
2	7.1	- ไม่มี	-	14.14
5	7.1	- พัดลมระบายควัน - ไม่มีบ่อกักควัน	185.84/2	27.24
8	7.1	- พัดลมระบายควัน - มีบ่อกักควัน	185.84/2	27.40
11	7.1	- พัดลมระบายควัน - มีบ่อกักควัน	145.41/2	24.51
14	7.1	- พัดลมระบายควัน - มีบ่อกักควัน	116.40/2	19.74
17	7.1	- พัดลมระบายควัน - มีบ่อกักควัน - ปิดประตูหน้าต่างด้านหลัง	116.40/2	16.23
20	7.1	- พัดลมระบายควัน - มีบ่อกักควัน - ม่านกันควันที่ชั้น 2 ถึง 6	116.40/2	12.68
23	7.1	- พัดลมระบายควัน - มีบ่อกักควัน - ปิดประตูหน้าต่างด้านหลัง - ม่านกันควันที่ชั้น 2 ถึง 6	116.40/2	20.08



ภาพที่ 70 ความสูงเฉลี่ยของท้องควันไฟจากพื้นชั้น 1 สำหรับกรณีศึกษาที่ 2 และ 5 ที่มีอัตราการปล่อยพลังงานความร้อนของกองเพลิงขนาด 7.1 MW



ภาพที่ 71 ความสูงเฉลี่ยของท้องควันไฟจากพื้นชั้น 1 สำหรับกรณีศึกษาที่ 8 11 และ 14 ที่มีอัตราการปล่อยพลังงานความร้อนของกองเพลิงขนาด 7.1 MW



ภาพที่ 72 ความสูงเฉลี่ยของท้องควันไฟจากพื้นชั้น 1 สำหรับกรณีศึกษาที่ 17 20 และ 23 ที่มีอัตราการปล่อยพลังงานความร้อนของกองเพลิงขนาด 7.1 MW

ภาพที่ 70 แสดงความสูงเฉลี่ยของท้องควันไฟจากพื้นชั้น 1 สำหรับกรณีศึกษาที่ 2 และ 5 ที่มีอัตราการปล่อยพลังงานความร้อนของกองเพลิง 7.1 MW เท่ากันทั้งสองกรณี แต่กรณีที่ 2 ไม่มีการระบายควัน ส่วนกรณีที่ 5 มีการระบายควัน ซึ่งจากภาพจะพบว่าความสูงเฉลี่ยของท้องควันเมื่ออยู่ในสถานะสมดุลของในกรณีที่ 2 ที่ไม่มีการระบายควันแตกต่างจาก ความสูงของท้องควันในกรณีศึกษาที่ 5 อย่างเห็นได้ชัด แต่อย่างไรก็ตามแม้จะมีการระบายควันก็ตาม แต่ท้องควันไฟก็ยังลดต่ำลงมากกว่าระดับพื้นที่ 9 ซึ่งเป็นชั้นสูงที่สุดของอาคาร แสดงว่าผู้ใช้อาคารไม่สามารถอพยพหนีไฟได้อย่างปลอดภัย

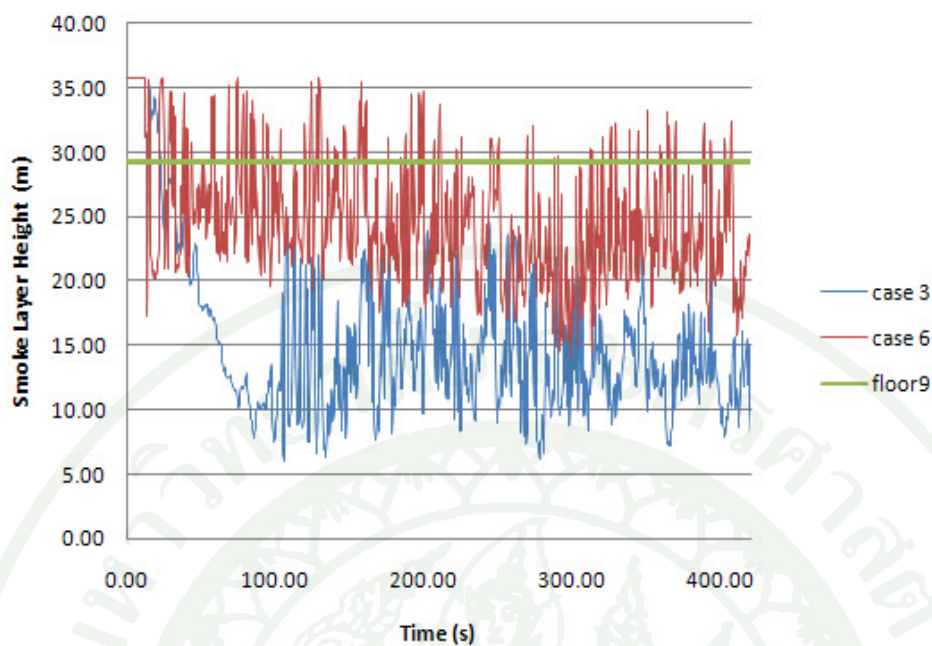
ภาพที่ 71 แสดงความสูงเฉลี่ยของท้องควันไฟจากพื้นชั้น 1 สำหรับกรณีศึกษาที่ 8 11 และ 14 ที่มีอัตราการปล่อยพลังงานความร้อนของกองเพลิง 7.1 MW เท่ากันทั้งสามกรณี รวมทั้งมีการติดตั้งบ่อกักควันที่ครอบคลุมตั้งแต่ระดับพื้นที่ชั้นคาเฟ่ถึงระดับพื้นที่ชั้น 7 เหมือนกัน แต่แตกต่างกันที่อัตราการระบายควันที่เปลี่ยนไปตามการออกแบบให้ท้องควันอยู่เหนือพื้นที่ชั้น 9 8 และ 7 ตามลำดับ ซึ่งจากภาพจะพบว่าความสูงเฉลี่ยของท้องควันเมื่ออยู่ในสถานะสมดุลของในกรณีที่ 8 และกรณีที่ 11 มีค่าระดับใกล้เคียงกัน ส่วนความสูงเฉลี่ยของท้องควันในกรณีศึกษาที่ 14 บางช่วงเวลาลดต่ำลงอย่างเห็นได้ชัด แต่ท้องควันไฟเฉลี่ยตามค่าที่คำนวณได้ตามตารางที่ 14 ก็ยังไม่ลด

ต่ำลงมากกว่าระดับพื้นที่ 7 ซึ่งเป็นระดับล่างของบ่อถักควันที่ได้กำหนดไว้แสดงว่าบ่อถักควันสามารถถักควันที่เกิดขึ้นที่อัตราการปล่อยพลังงานความร้อนที่ 7.1 MW ได้

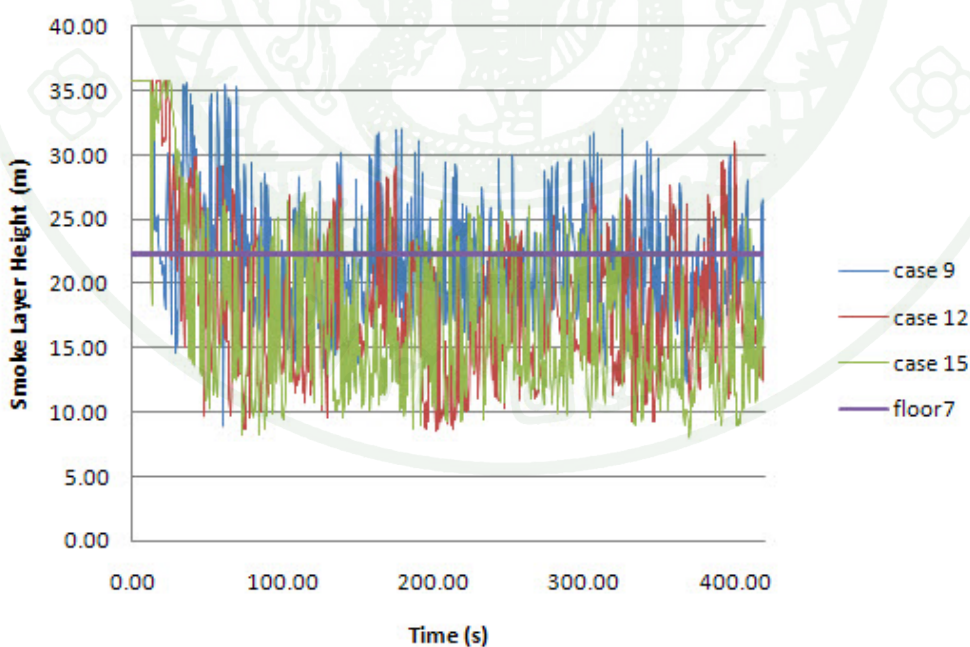
ภาพที่ 72 แสดงความสูงเฉลี่ยของห้องควันไฟจากพื้นที่ 1 สำหรับกรณีศึกษาที่ 17 20 และ 23 ที่มีอัตราการปล่อยพลังงานความร้อนของกองเพลิง 7.1 MW เท่ากันทั้งสามกรณี ทั้งมีการติดตั้งบ่อถักควันที่ครอบคลุมตั้งแต่ระดับพื้นที่ลาดฟ้าถึงระดับพื้นที่ 7 เหมือนกัน มีอัตราการระบายควันตามการออกแบบให้ห้องควันอยู่เหนือพื้นที่ 7 เช่นเดียวกัน แต่แตกต่างกันที่กรณีศึกษาที่ 17 ทำการปิดหน้าต่างด้านหลังอาคาร กรณีศึกษาที่ 20 ทำการติดตั้งม่านกันควันชั้น 6 5 4 3 และ 2 ส่วนกรณีศึกษาที่ 23 ทำการปิดหน้าต่างด้านหลังอาคารและทำการติดตั้งม่านกันควันชั้น 6 5 4 3 และ 2 ร่วมกัน ซึ่งจากภาพพบว่ากรณีศึกษาที่ 20 มีระดับความสูงของห้องควันผ่นผวนที่สุด แต่พบกว่าค่าระดับห้องควันเฉลี่ยที่คำนวณได้ตามตารางที่ 14 ของกรณีศึกษาที่ 20 อยู่สูงที่สุด ส่วนกรณีศึกษาที่ 16 และ 22 มีระดับความสูงของห้องควันใกล้เคียงกัน ซึ่งสอดคล้องกับค่าความสูงของระดับห้องควันเฉลี่ยที่คำนวณได้ตามตารางที่ 14

ตารางที่ 15 ความสูงเฉลี่ยของท่อน้ำวันไฟ กรณีที่อัตราการปล่อยความร้อนของกองเพลิง 14.2 MW

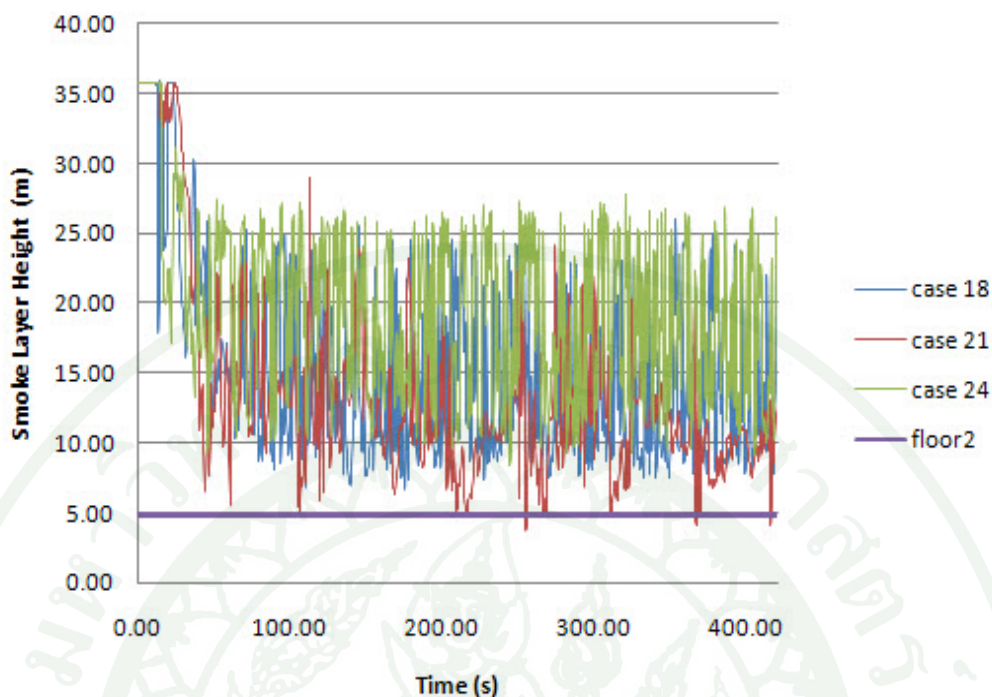
กรณี	อัตราการปล่อย พลังงานความร้อนของกอง เพลิง (MW)	ชนิดของระบบ ควบคุมควันไฟ	ขนาดของพัดลม ระบายควัน (kg/s) / จำนวนพัดลม (ตัว)	ความสูง เฉลี่ยของ ท่อน้ำวันไฟ จากพื้นชั้น 1 (m)
3	14.2	- ไม่มี	-	13.77
6	14.2	- พัดลมระบายควัน - ไม่มีบ่อพักควัน	226.33/2	23.62
9	14.2	- พัดลมระบายควัน - มีบ่อพักควัน	226.33/2	20.62
12	14.2	- พัดลมระบายควัน - มีบ่อพักควัน	176.51/2	17.11
15	14.2	- พัดลมระบายควัน - มีบ่อพักควัน	140.88/2	15.65
18	14.2	- พัดลมระบายควัน - มีบ่อพักควัน - ปิดประตูหน้าต่าง ด้านหลัง	140.88/2	13.35
21	14.2	- พัดลมระบายควัน - มีบ่อพักควัน - ม่านกันควันที่ชั้น 2 ถึง 6	140.88/2	11.53
24	14.2	- พัดลมระบายควัน - มีบ่อพักควัน - ปิดประตูหน้าต่าง ด้านหลัง - ม่านกันควันที่ชั้น 2 ถึง 6	140.88/2	18.46



ภาพที่ 73 ความสูงเฉลี่ยของท้องควันไฟจากพื้นชั้น 1 สำหรับกรณีศึกษาที่ 3 และ 6 ที่มีอัตราการปล่อยพลังงานความร้อนของกองเพลิงขนาด 14.2 MW



ภาพที่ 74 ความสูงเฉลี่ยของท้องควันไฟจากพื้นชั้น 1 สำหรับกรณีศึกษาที่ 9 12 และ 15 ที่มีอัตราการปล่อยพลังงานความร้อนของกองเพลิงขนาด 14.2 MW



ภาพที่ 75 ความสูงเฉลี่ยของท้องควันไฟจากพื้นชั้น 1 สำหรับกรณีศึกษาที่ 18 21 และ 24 ที่มีอัตราการปล่อยพลังงานความร้อนของกองเพลิงขนาด 14.2 MW

ภาพที่ 73 แสดงความสูงเฉลี่ยของท้องควันไฟจากพื้นชั้น 1 สำหรับกรณีศึกษาที่ 3 และ 6 ที่มีอัตราการปล่อยพลังงานความร้อนของกองเพลิง 14.2 MW เท่ากันทั้งสองกรณี แต่กรณีที่ 3 ไม่มีการระบายควัน ส่วนกรณีที่ 6 มีการระบายควัน ซึ่งจากภาพจะพบว่าความสูงเฉลี่ยของท้องควันเมื่ออยู่ในสถานะสมดุลของในกรณีที่ 3 ที่ไม่มีการระบายควันแตกต่างจาก ความสูงของท้องควันในกรณีศึกษาที่ 6 อย่างเห็นได้ชัด แต่อย่างไรก็ตามแม้จะมีการระบายควันก็ตาม แต่ท้องควันไฟก็ยังลดต่ำลงมากกว่าระดับพื้นที่ 9 ซึ่งเป็นชั้นสูงที่สุดของอาคาร แสดงว่าผู้ใช้อาคารไม่สามารถอพยพหนีไฟได้อย่างปลอดภัย

ภาพที่ 74 แสดงความสูงเฉลี่ยของท้องควันไฟจากพื้นชั้น 1 สำหรับกรณีศึกษาที่ 9 12 และ 15 ที่มีอัตราการปล่อยพลังงานความร้อนของกองเพลิง 14.2 MW เท่ากันทั้งสามกรณี รวมทั้งมีการติดตั้งบ่อกักควันที่ครอบคลุมตั้งแต่ระดับพื้นที่ดาดฟ้าถึงระดับพื้นที่ 7 เหมือนกัน แต่แตกต่างกันที่อัตราการระบายควันที่เปลี่ยนไปตามการออกแบบให้ท้องควันอยู่เหนือพื้นที่ 9 8 และ 7 ตามลำดับ ซึ่งจากภาพจะพบว่าความสูงเฉลี่ยของท้องควันเมื่ออยู่ในสถานะสมดุลของในกรณีที่ 9 และกรณีที่ 12 มีค่าระดับใกล้เคียงกัน ส่วนความสูงเฉลี่ยของท้องควันในกรณีศึกษาที่ 15 บาง

ช่วงเวลาลดต่ำลงอย่างเห็นได้ชัด แต่ห้องควันไฟเฉลี่ยตามค่าที่คำนวณได้ตามตารางที่ 15 ก็ยังไม่ลดต่ำลงมากกว่าระดับพื้นที่ชั้นที่ 7 ซึ่งเป็นระดับล่างของบ่อพักควันที่ได้กำหนดไว้แสดงว่าบ่อพักควันสามารถกักควันที่เกิดขึ้นที่อัตราการปล่อยพลังงานความร้อนที่ 14.2 MW ได้

ภาพที่ 75 แสดงความสูงเฉลี่ยของห้องควันไฟจากพื้นที่ชั้น 1 สำหรับกรณีศึกษาที่ 18 21 และ 24 ที่มีอัตราการปล่อยพลังงานความร้อนของกองเพลิง 14.2 MW เท่ากันทั้งสามกรณี ทั้งมีการติดตั้งบ่อพักควันที่ครอบคลุมตั้งแต่ระดับพื้นที่ชั้นดาดฟ้าถึงระดับพื้นที่ชั้น 7 เหมือนกัน มีอัตราการระบายควันตามการออกแบบให้ห้องควันอยู่เหนือพื้นที่ชั้น 7 เช่นเดียวกัน แต่แตกต่างกันที่กรณีศึกษาที่ 18 ทำการปิดหน้าต่างด้านหลังอาคาร กรณีศึกษาที่ 21 ทำการติดตั้งม่านกันควันที่ชั้น 6 5 4 3 และ 2 ส่วนกรณีศึกษาที่ 24 ทำการปิดหน้าต่างด้านหลังอาคารและทำการติดตั้งม่านกันควันที่ชั้น 6 5 4 3 และ 2 ร่วมกัน ซึ่งจากภาพพบว่ากรณีศึกษาที่ 21 มีระดับความสูงของห้องควันผันผวนที่สุด แต่พบกว่าค่าระดับห้องควันเฉลี่ยที่คำนวณได้ตามตารางที่ 15 ของกรณีศึกษาที่ 21 อยู่สูงที่สุด ส่วนกรณีศึกษาที่ 17 และ 23 มีระดับความสูงของห้องควันใกล้เคียงกัน ซึ่งสอดคล้องกับค่าความสูงของระดับห้องควันเฉลี่ยที่คำนวณได้ตามตารางที่ 15

1.2 การกระจายตัวของอุณหภูมิภายในอาคาร

ภาพที่ 76 ถึง 78 แสดงผลของการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ระนาบผ่านกึ่งกลางโถงสูง atrium ในกรณีที่ 1 2 และ 3 ซึ่งไม่มีการติดตั้งระบบระบายควันและระบบควบคุมควันไฟใดๆ เลย ของกองเพลิงที่มีอัตราการปล่อยพลังงานขนาด 2.2 7.1 และ 14.2 MW ตามลำดับ ส่วนในภาพที่ 79 ถึง 99 แสดงผลของการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ระนาบผ่านกึ่งกลางโถงสูง atrium ซึ่งมีการติดตั้งระบบระบายควันต่างๆ ตามกรณีศึกษาที่ 4 ถึง 24 ตามลำดับ

จากการติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิไว้ที่กึ่งกลางความสูงของชั้นในบริเวณโถงทางเดินไปสู่ทางหนีไฟทุกชั้นของอาคาร เพื่อนำอุณหภูมิที่วัดได้จากการจำลองในกรณีศึกษาต่างๆ มาทำการเปรียบเทียบกับอุณหภูมิที่มาตรฐาน NFPA 130 ที่ได้แนะนำให้อุณหภูมิเฉลี่ยภายในช่องทางเดินที่เชื่อมต่อไปสู่ทางหนีไฟ (exit access) ของทุกชั้นต้องมีค่าไม่สูงกว่า 49 องศาเซลเซียสภายในช่วง 6 นาทีแรก โดยผู้วิจัยได้แสดงค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่คำนวณได้บริเวณทางเดินไปสู่ทางหนีไฟที่อัตราการปล่อยความร้อนของกองเพลิง 2.2 7.1 และ 14.2 MW ไว้ในตารางที่ 16 17 และ 18 ตามลำดับ

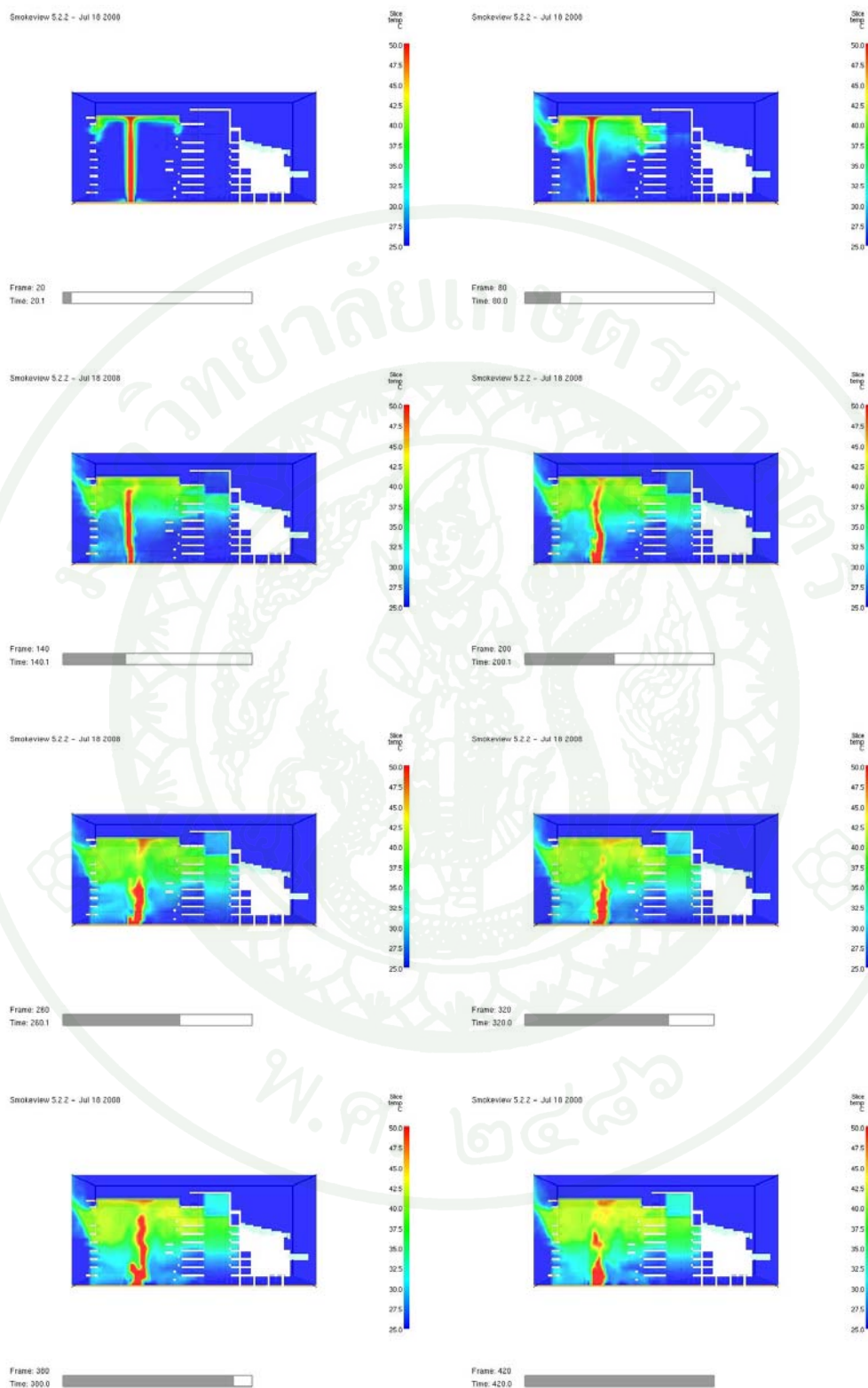
ภาพที่ 100 แสดงค่าอุณหภูมิเฉลี่ยบริเวณทางเดินไปสู่ทางหนีไฟที่อัตราการปล่อยความร้อนของกองเพลิง 2.2 MW สำหรับกรณีศึกษาที่ 1 4 7 10 13 16 19 และ 22 เทียบกับเส้นค่าอุณหภูมิ 49 องศาเซลเซียสตามมาตรฐาน NFPA 130 ซึ่งพบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยภายในช่องทางเดินที่เชื่อมต่อไปสู่ทางหนีไฟ (exit access) ของทุกชั้นในกรณีศึกษาที่ 1 ที่ในการจำลองยังไม่มีระบบระบายควันและระบบควบคุมควันไฟใด แต่ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยบริเวณทางเดินไปสู่ทางหนีไฟของทุกชั้นก็ยังมีค่าต่ำกว่า 49 องศาเซลเซียสตลอดระยะเวลาการจำลอง 420 วินาที และเมื่อทำการจำลองใส่ระบบระบายควันและระบบควบคุมควันไฟลงไปในการกรณีศึกษาที่ 4 7 10 13 16 19 และ 22 ก็พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยบริเวณทางเดินไปสู่ทางหนีไฟของทุกชั้นมีค่าลดต่ำลงกว่ากรณีที่ยังไม่มีระบบระบายควันและระบบควบคุมควันไฟทุกกรณีศึกษา

ภาพที่ 101 แสดงค่าอุณหภูมิเฉลี่ยบริเวณทางเดินไปสู่ทางหนีไฟที่อัตราการปล่อยความร้อนของกองเพลิง 7.1 MW สำหรับกรณีศึกษาที่ 2 5 8 11 14 17 20 และ 23 เทียบกับเส้นค่าอุณหภูมิ 49 องศาเซลเซียสตามมาตรฐาน NFPA 130 ซึ่งพบว่าผลการจำลองในกรณีศึกษาที่ 2 ที่ในการจำลองยังไม่มีระบบระบายควันและระบบควบคุมควันไฟใด อุณหภูมิเฉลี่ยภายในช่องทางเดินที่เชื่อมต่อไปสู่ทางหนีไฟ (exit access) ของชั้น 9 8 และ 7 มีค่าสูงกว่า 49 องศาเซลเซียส และเมื่อทำการจำลองใส่ระบบระบายควันและระบบควบคุมควันไฟลงไปในการกรณีศึกษาที่ 5 8 11 14 17 20 และ 23 ก็พบว่า

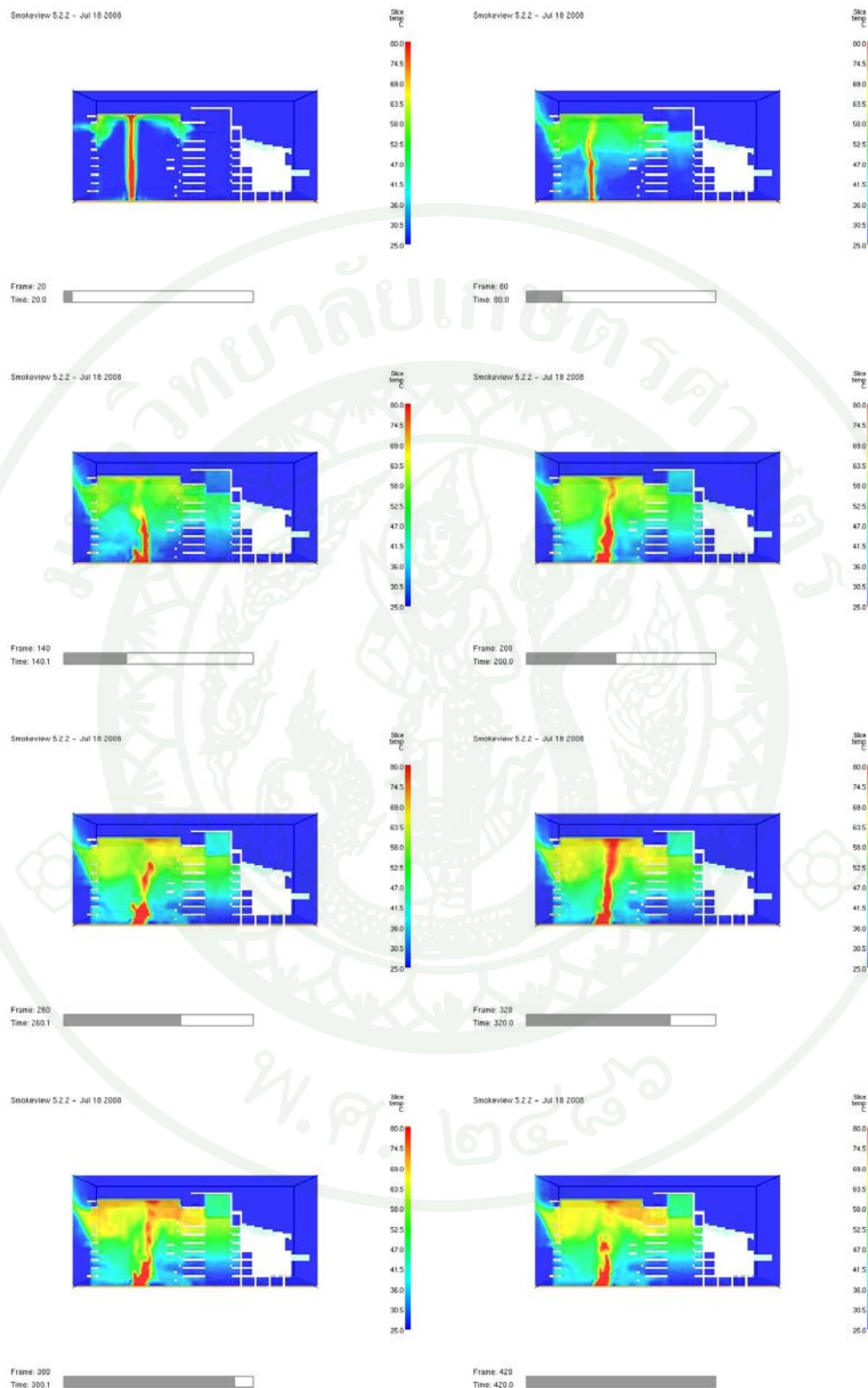
อุณหภูมิเฉลี่ยบริเวณทางเดินไปสู่ทางหนีไฟของทุกชั้นมีค่าลดต่ำกว่า 49 องศาเซลเซียสตลอดระยะเวลาการจำลอง 420 วินาทีทุกกรณีศึกษา

ภาพที่ 102 แสดงค่าอุณหภูมิเฉลี่ยบริเวณทางเดินไปสู่ทางหนีไฟที่อัตราการปล่อยความร้อนของกองเพลิง 14.2 MW สำหรับกรณีศึกษาที่ 3 6 9 12 15 18 21 และ 24 เทียบกับเส้นค่าอุณหภูมิ 49 องศาเซลเซียสตามมาตรฐาน NFPA ซึ่งพบว่าผลการจำลองในกรณีที่ 3 ที่ในการจำลองยังไม่มีระบบระบายควันและระบบควบคุมควันไฟใด อุณหภูมิเฉลี่ยภายในช่องทางเดินที่เชื่อมต่อไปสู่ทางหนีไฟ (exit access) ของชั้น 9 8 7 6 และ 5 มีค่าสูงกว่า 49 องศาเซลเซียส และเมื่อทำการจำลองใส่ระบบระบายควันไฟลงไปในกรณีศึกษาที่ 6 อุณหภูมิเฉลี่ยภายในช่องทางเดินที่เชื่อมต่อไปสู่ทางหนีไฟ (exit access) ของชั้น 9 ยังคงมีค่าสูงกว่า 49 องศาเซลเซียส และเมื่อทำการจำลองใส่ระบบระบายควันไฟและระบบควบคุมควันไฟลงไปในกรณีศึกษาที่ 12 15 18 และ 21 พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยบริเวณทางเดินไปสู่ทางหนีไฟของทุกชั้นมีค่าลดต่ำกว่า 49 องศาเซลเซียสตลอดระยะเวลาการจำลอง 420 วินาที ทุกกรณีศึกษา แต่สำหรับการจำลองใส่ระบบระบายควันไฟและระบบควบคุมควันไฟรวมกับการปิดหน้าต่างด้านหลังอาคารสำหรับการจำลองในกรณีศึกษาที่ 24 กลับพบว่ามีโอกาสที่ช่องทางเดินไปสู่ทางหนีไฟที่ชั้นที่ 1 จะมีอุณหภูมิสูงกว่า 49 องศาเซลเซียส แต่อุณหภูมิที่สูงกว่า 49 องศาเซลเซียสก็มิใช่ช่วงระยะเวลายาวนานประมาณ 3 วินาทีก่อนที่จะลดลงจนต่ำกว่า 49 องศาเซลเซียส

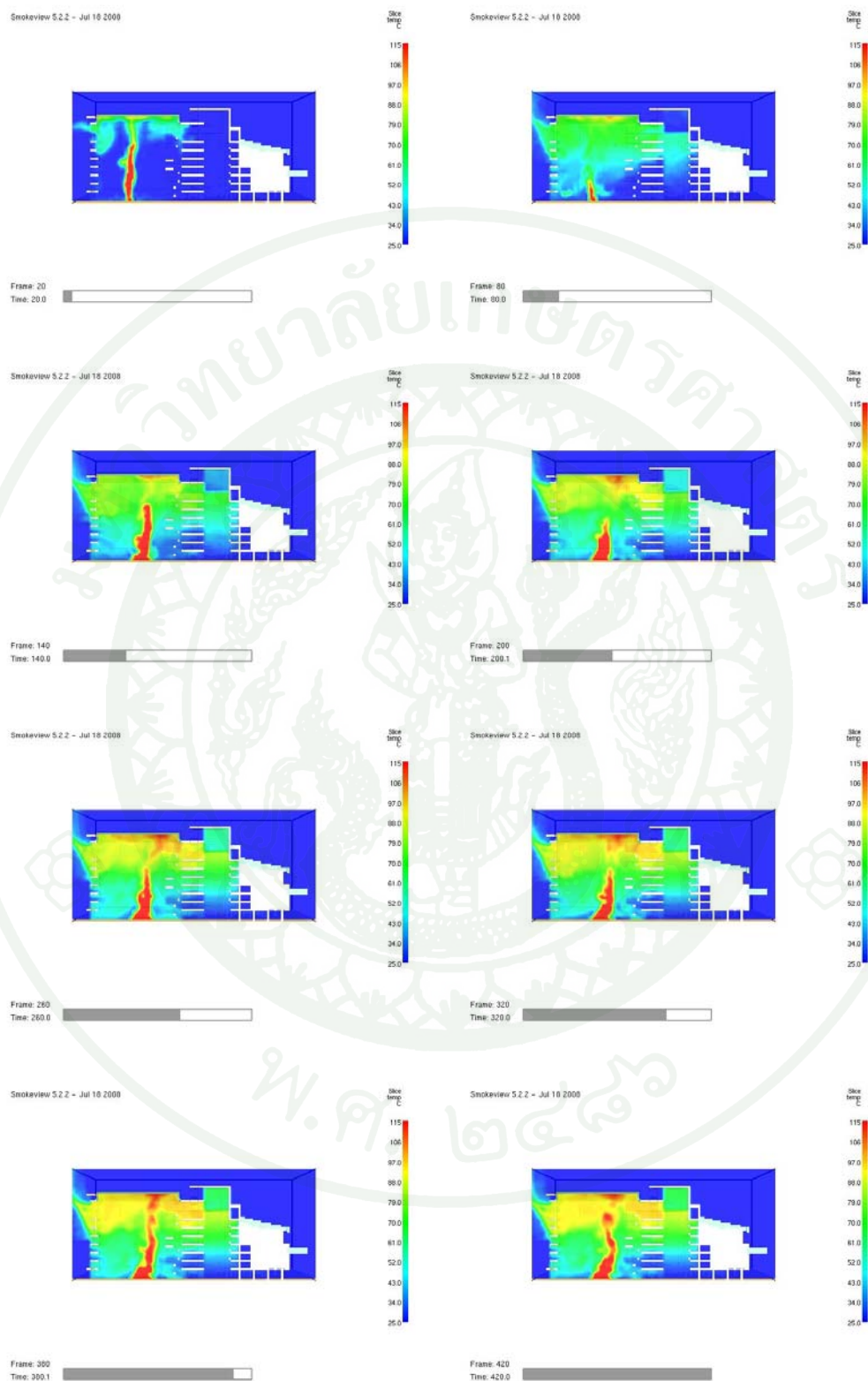
ภาพที่ 103 104 และ 105 เป็นภาพแสดงผลอุณหภูมิของควันไฟบริเวณโถง atrium จากการจำลองทุกกรณีศึกษาสำหรับกองเพลิงมีอัตราการปล่อยพลังงานความร้อน 2.2 7.1 และ 14.2 MW ตามลำดับเทียบกับอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสซึ่งเป็นค่าอุณหภูมิที่อุปกรณ์ตรวจจับความร้อน heat detector ในแบบจำลองทำงาน ซึ่งพบว่าอุณหภูมิของควันไฟบริเวณโถง atrium จากการจำลองในบางกรณีศึกษามีค่าไม่ถึง 60 องศาเซลเซียสทำให้อุปกรณ์ตรวจจับความร้อน heat detector ไม่ทำงานขณะการจำลอง โดยเฉพาะกรณีศึกษาสำหรับกองเพลิงที่มีอัตราการปล่อยพลังงาน 2.2 MW นั้นพบว่าทุกกรณีศึกษานั้นอุณหภูมิของควันไฟบริเวณโถง atrium ไม่ถึง 60 องศาเซลเซียสทุกกรณี



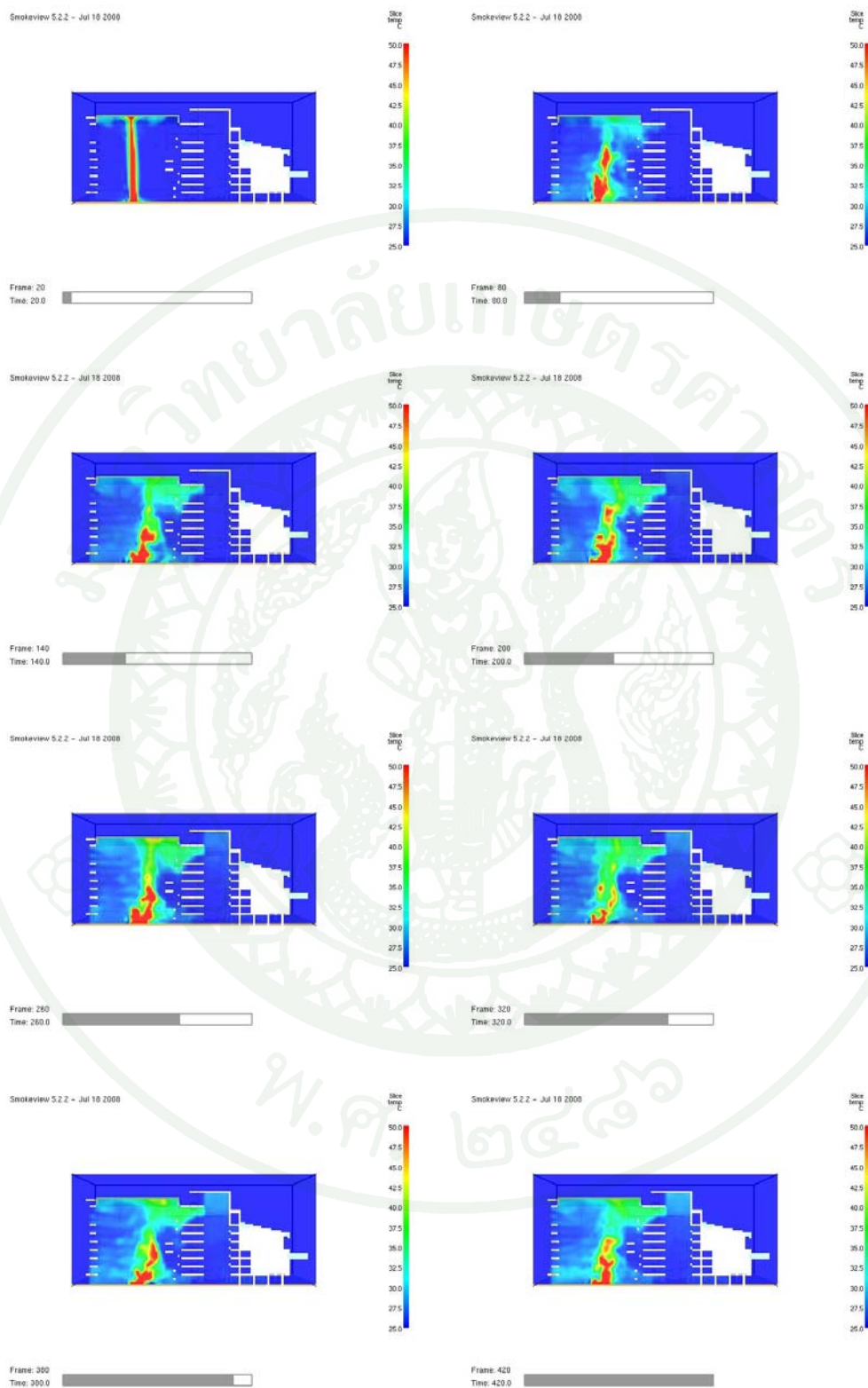
ภาพที่ 76 การกระจายตัวของอุณหภูมิที่ระนาบผ่านกึ่งกลางโถงสูง atrium กรณีที่ 1 (2.2 MW, no vent)



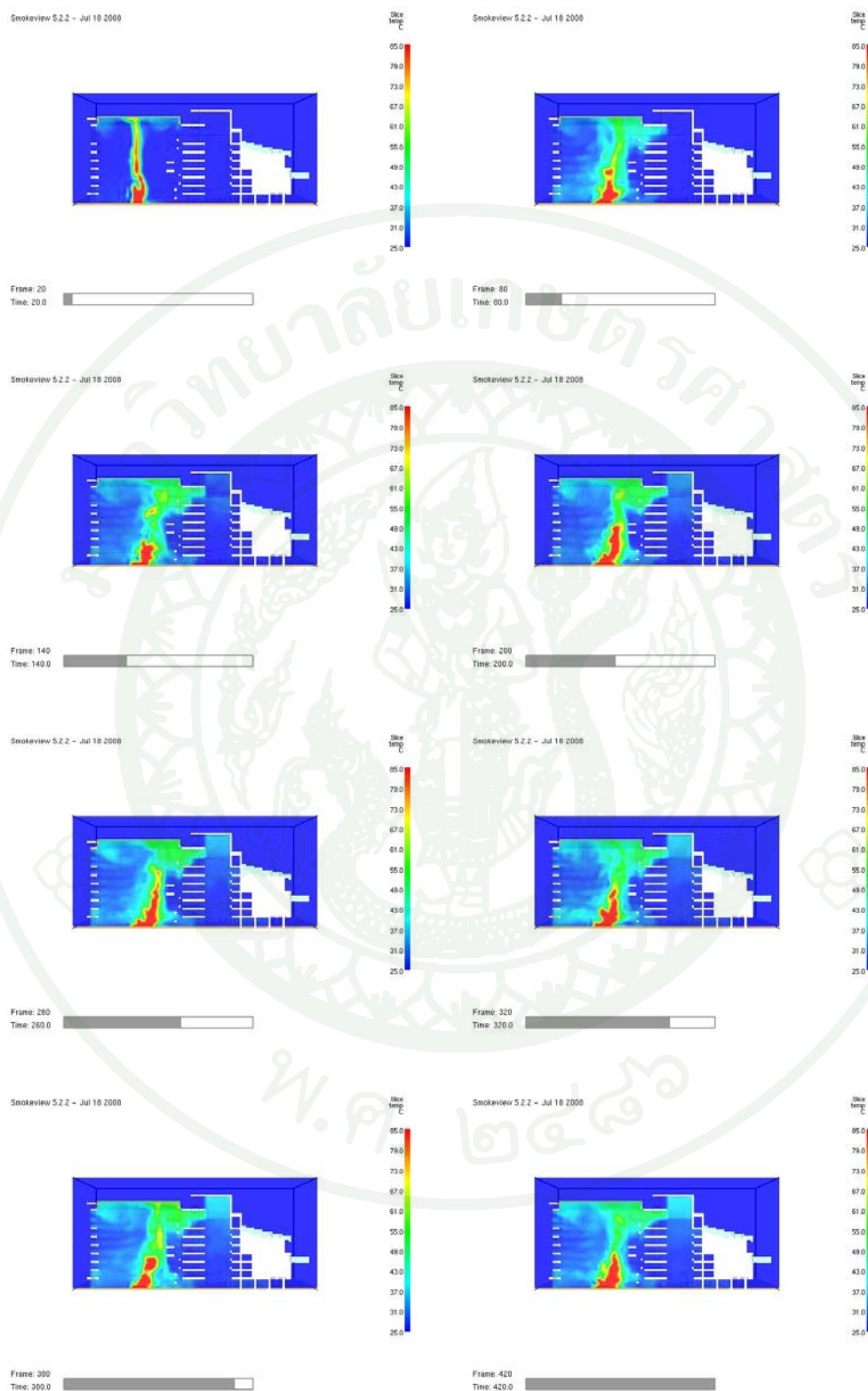
ภาพที่ 77 การกระจายตัวของอุณหภูมิที่ระนาบผ่านถึงกลางโถงสูง atrium กรณีที่ 2 (7.1 MW, no vent)



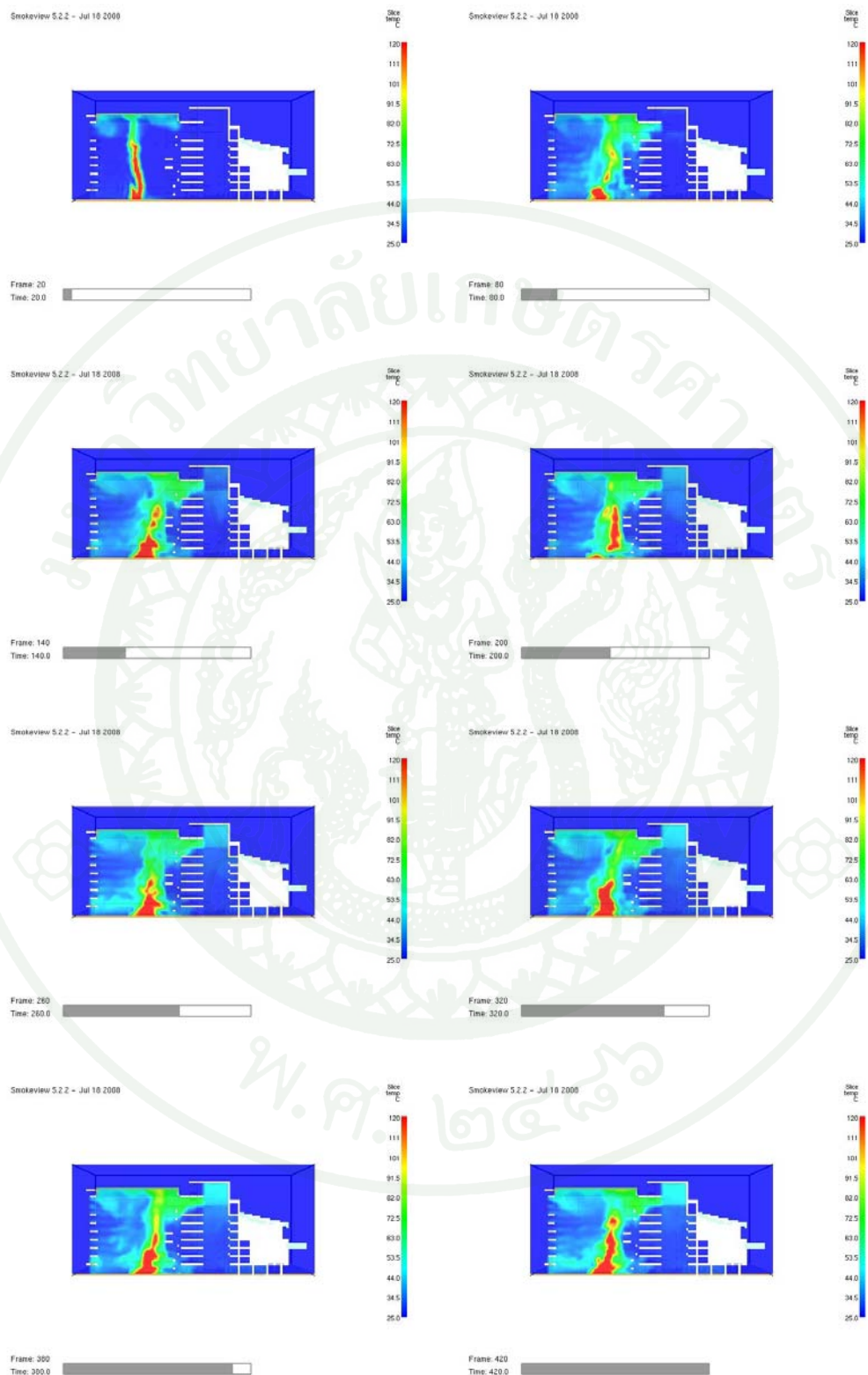
ภาพที่ 78 การกระจายตัวของอุณหภูมิที่ระนาบผ่านกึ่งกลางโถงสูง atrium กรณีที่ 3 (14.2MW, no vent)



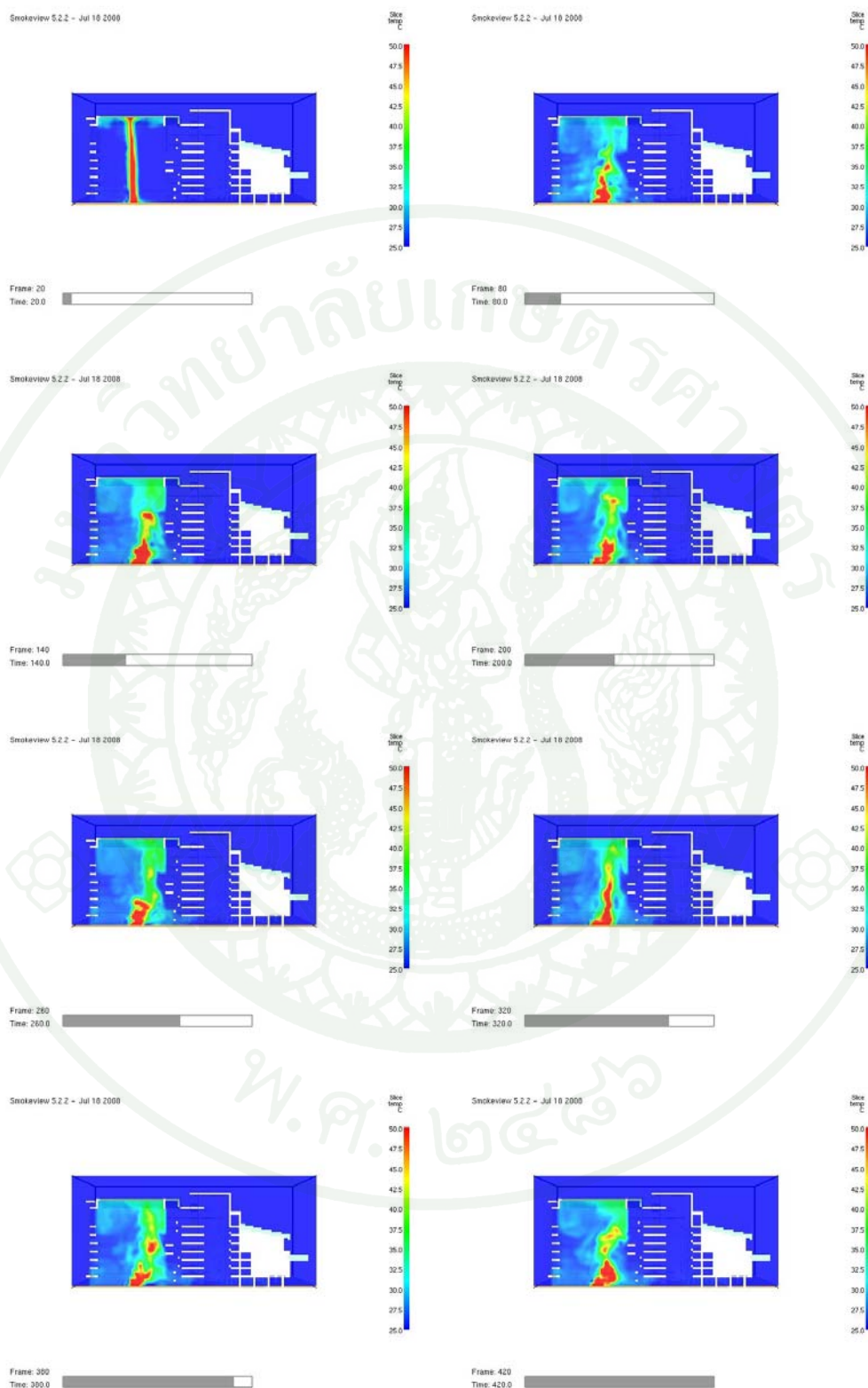
ภาพที่ 79 การกระจายตัวของอุณหภูมิที่ระนาบผ่านกึ่งกลางโถงสูง atrium กรณีที่ 4 (2.2 MW, exhaust fan 31.29×2, no smoke reservoir)



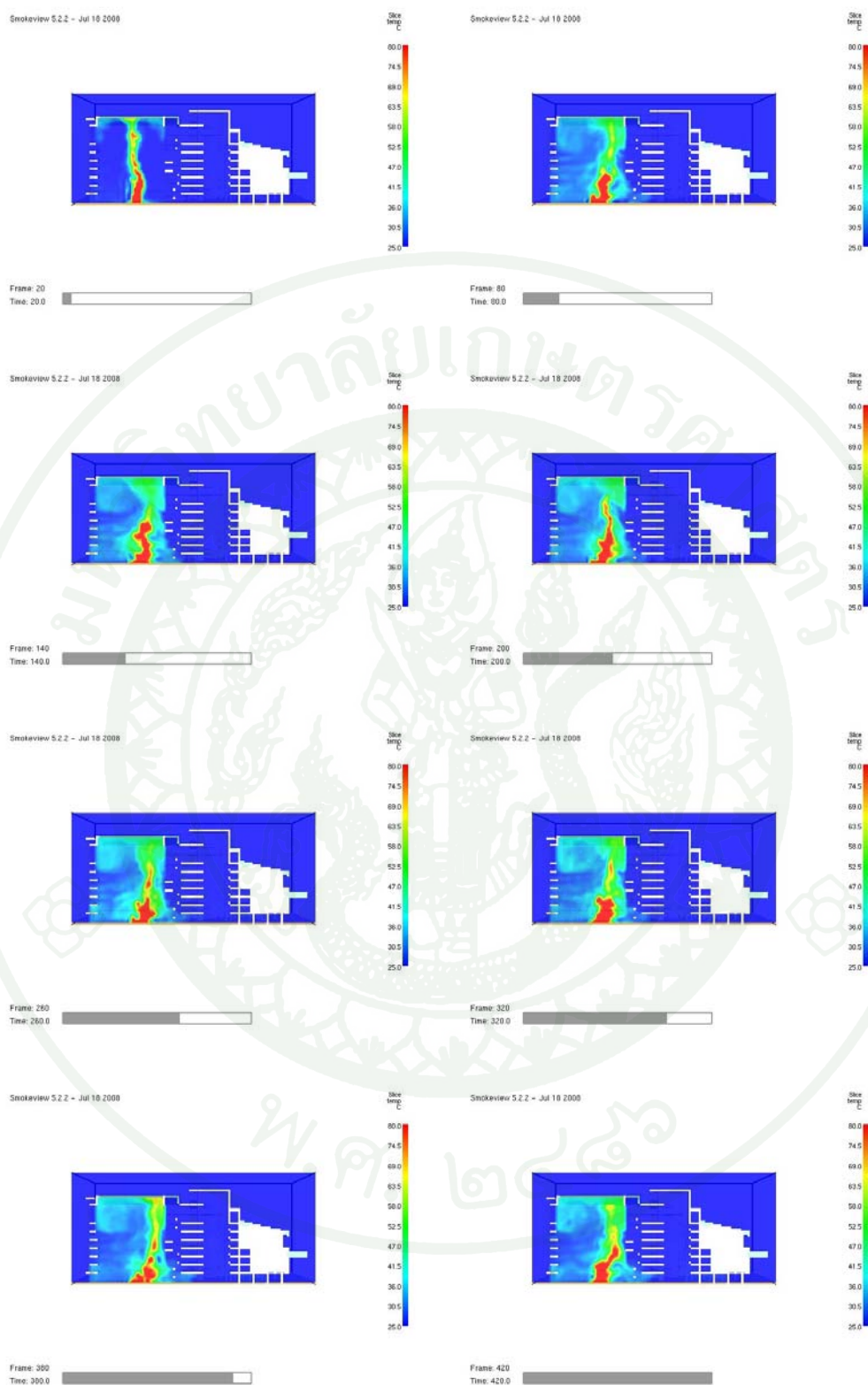
ภาพที่ 80 การกระจายตัวของอุณหภูมิที่ระนาบผ่านกึ่งกลางโถงสูง atrium กรณีที่ 5 (7.1 MW, exhaust fan 184.84×2, no smoke reservoir)



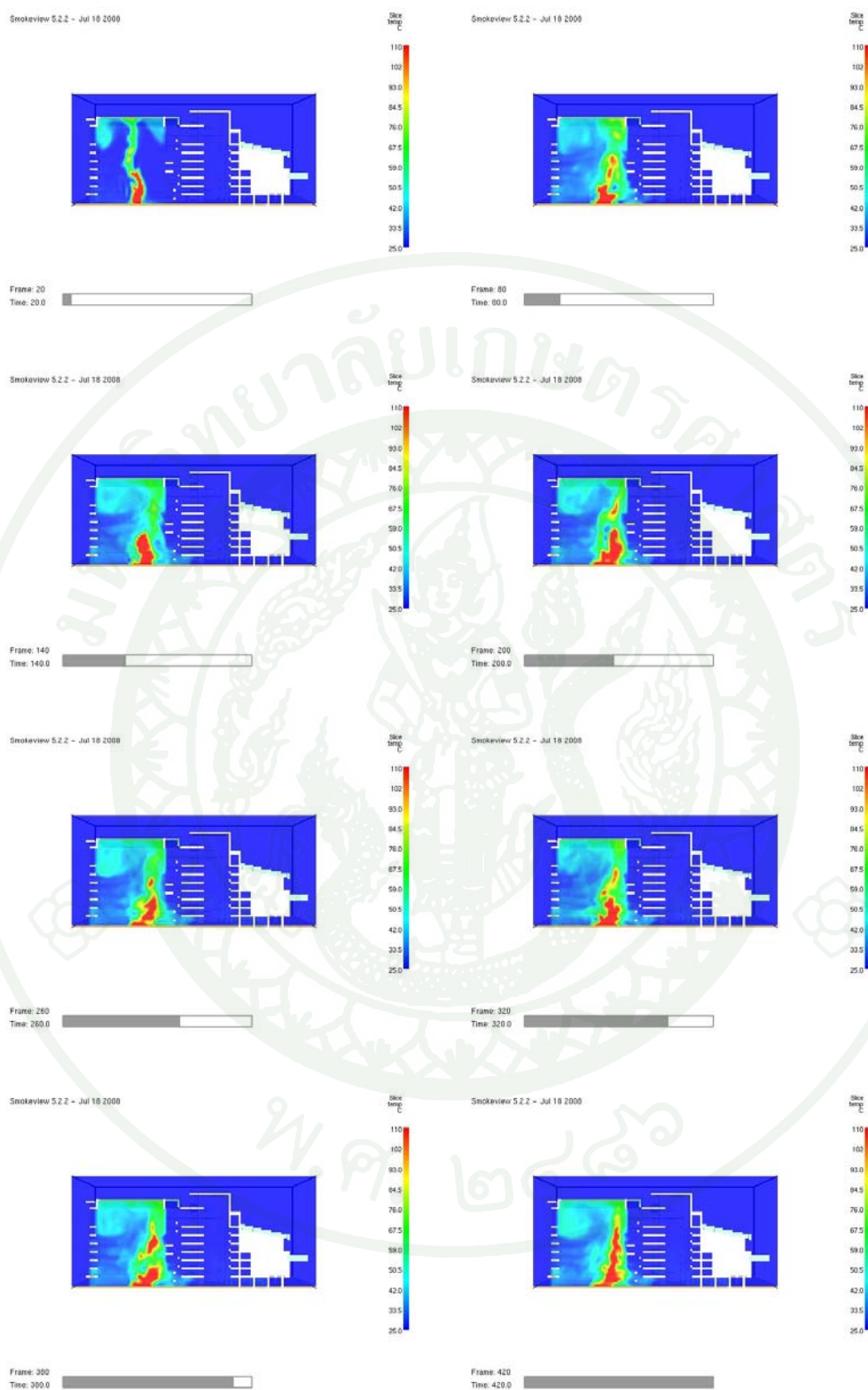
ภาพที่ 81 การกระจายตัวของอุณหภูมิที่ระนาบผ่านกึ่งกลางโถงสูง atrium กรณีที่ 6 (14.2 MW, exhaust fan 26.33×2, no smoke reservoir)



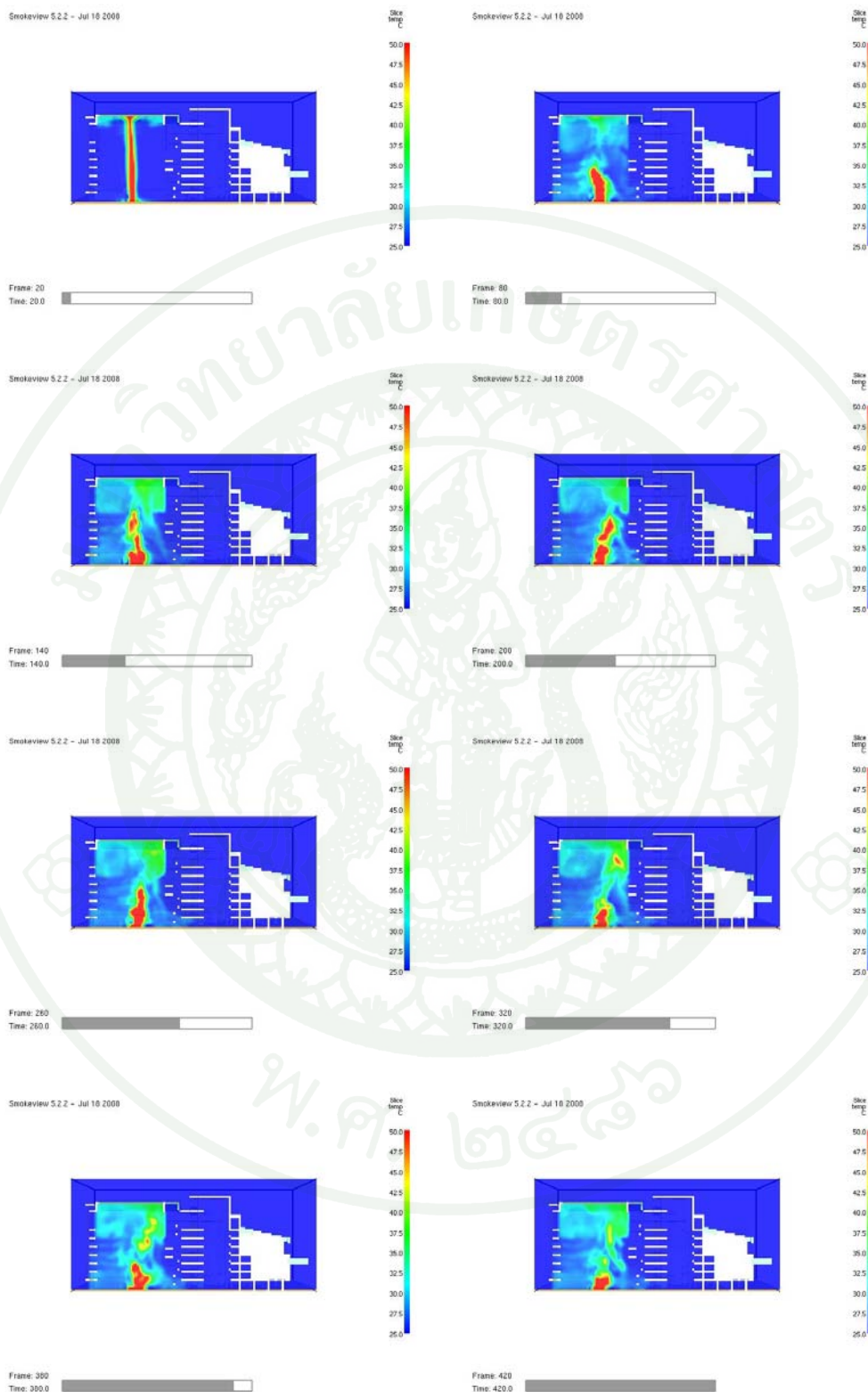
ภาพที่ 82 การกระจายตัวของอุณหภูมิที่ระนาบผ่านกึ่งกลางโถงสูง atrium กรณีที่ 7 (2.2 MW, exhaust fan 131.29×2, smoke reservoir)



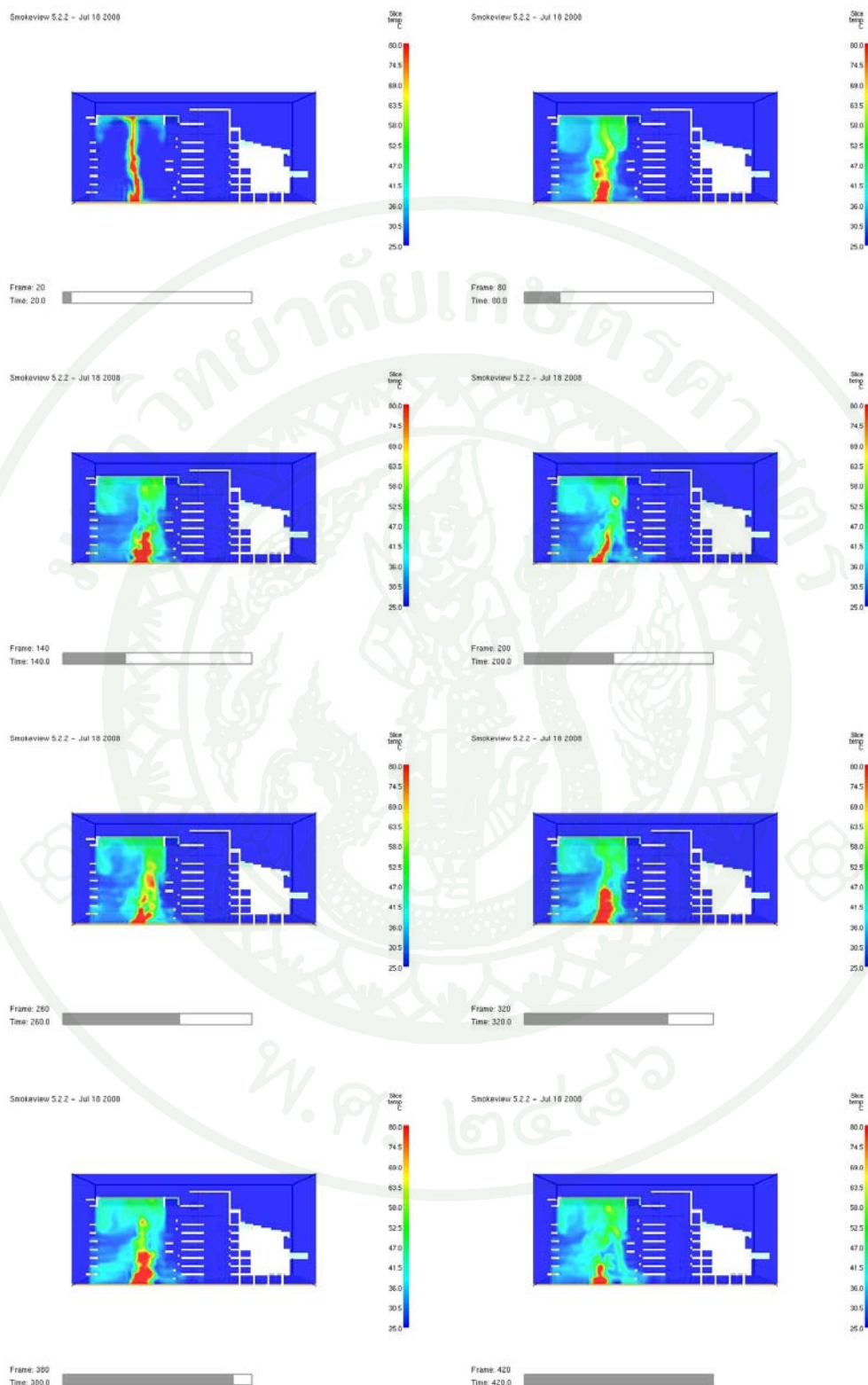
ภาพที่ 83 การกระจายตัวของอุณหภูมิที่ระนาบผ่านกึ่งกลางโถงสูง atrium กรณีที่ 8 (7.1 MW, exhaust fan 184.84×2, smoke reservoir)



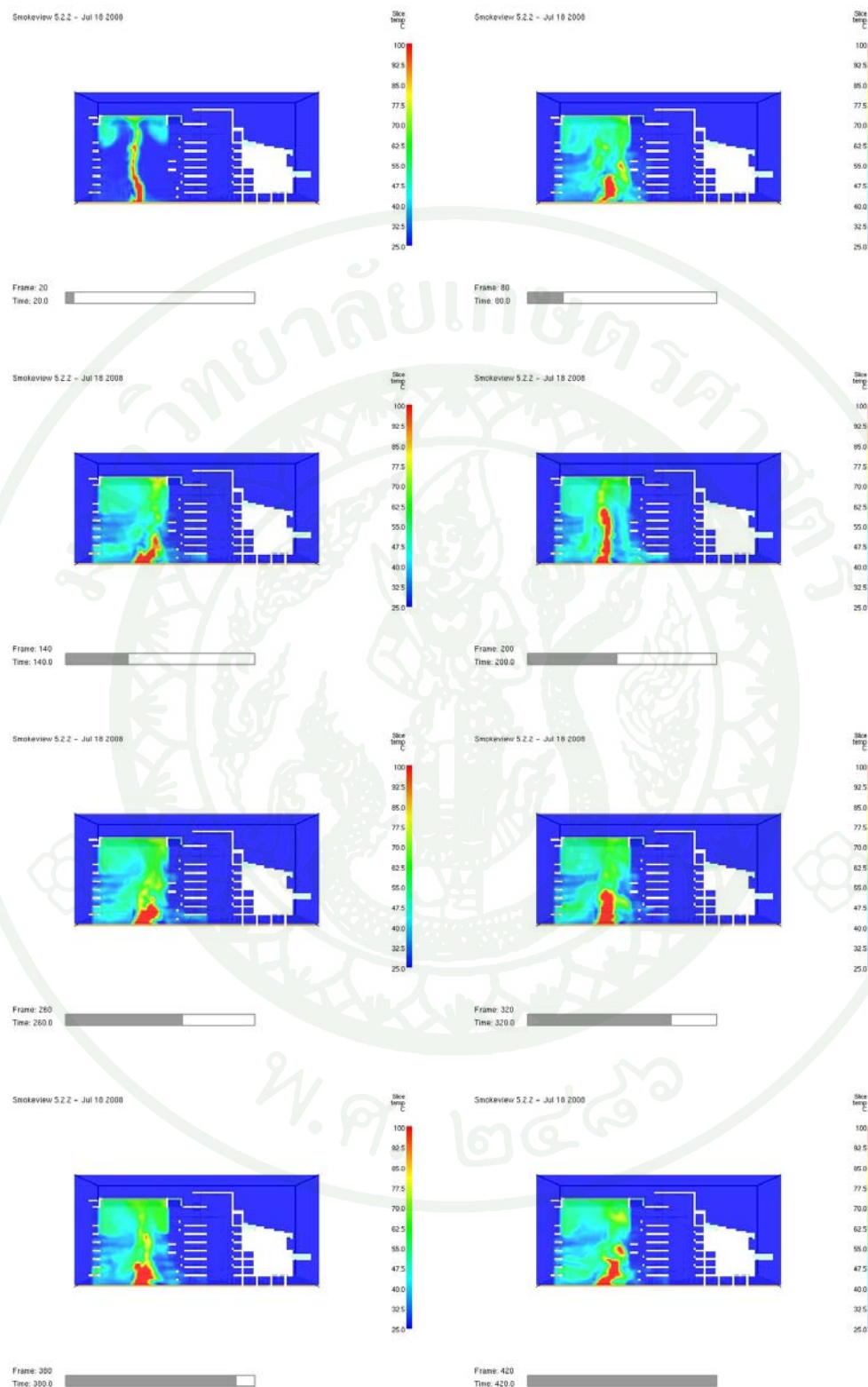
ภาพที่ 84 การกระจายตัวของอุณหภูมิที่ระนาบผ่านกึ่งกลางโถงสูง atrium กรณีที่ 9 (14.2 MW, exhaust fan 226.33×2, smoke reservoir)



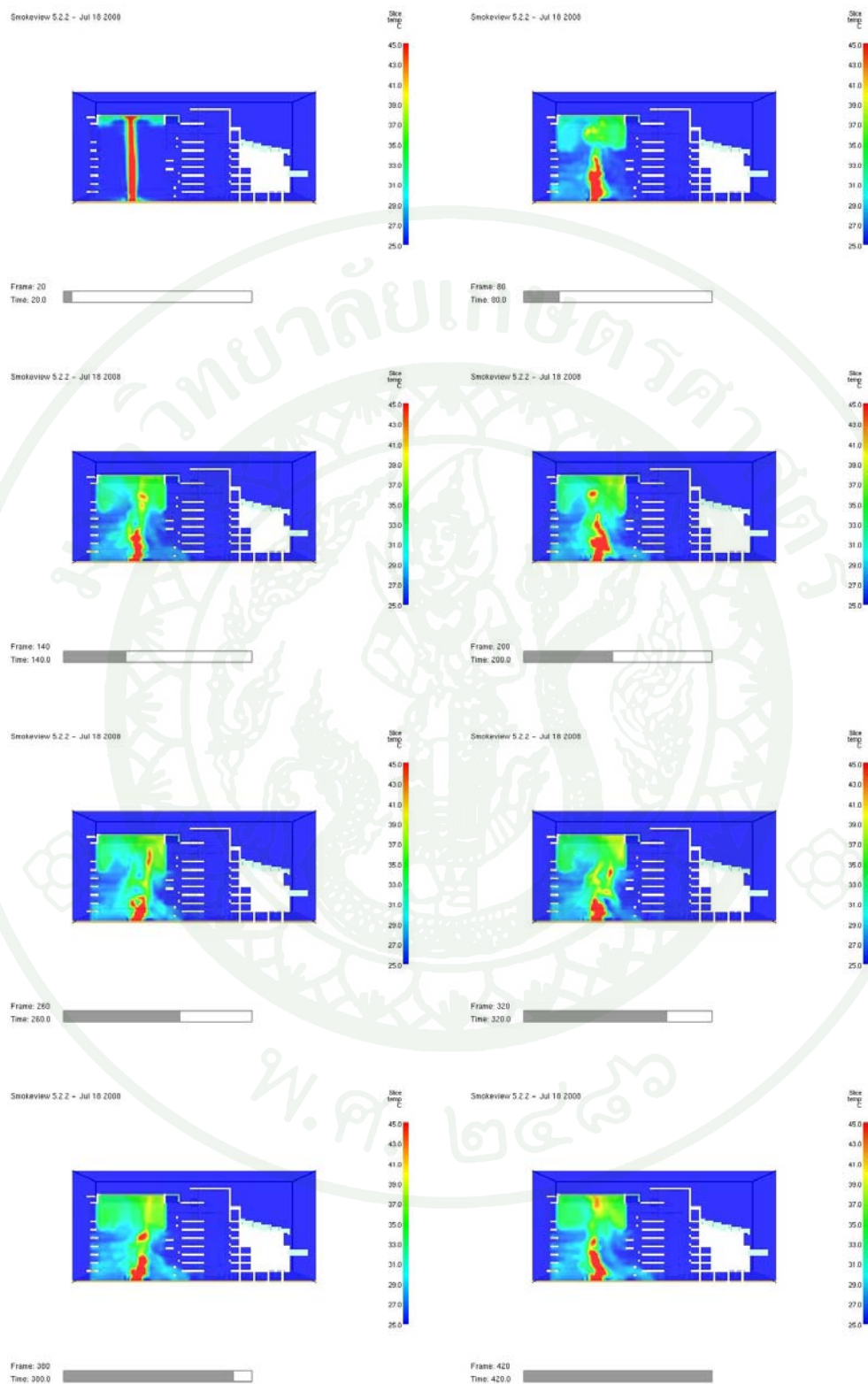
ภาพที่ 85 การกระจายตัวของอุณหภูมิที่ระนาบผ่านกึ่งกลางโถงสูง atrium กรณีที่ 10 (2.2 MW, exhaust fan 103.25×2, smoke reservoir)



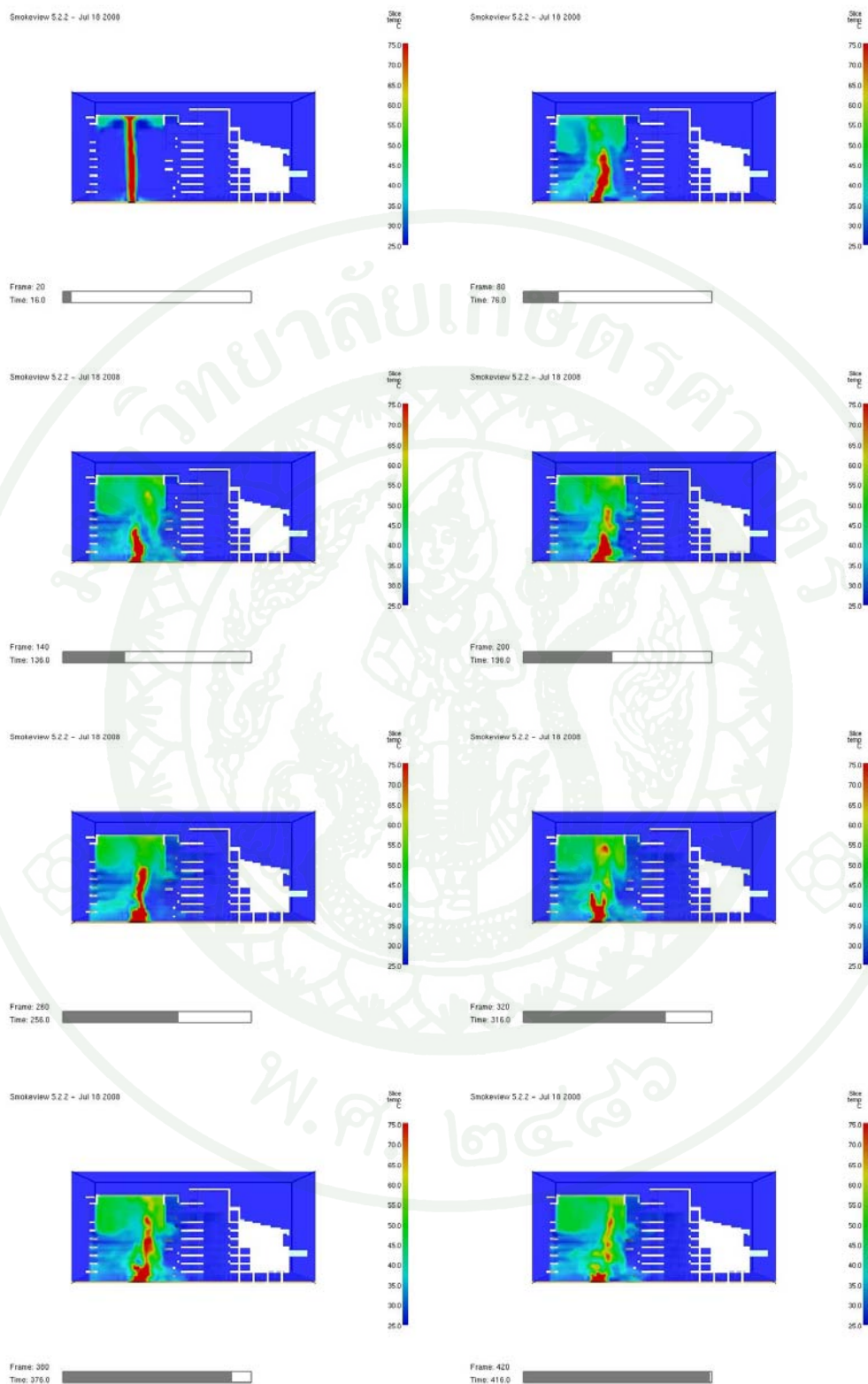
ภาพที่ 86 การกระจายตัวของอุณหภูมิที่ระนาบผ่านกึ่งกลางโถงสูง atrium กรณีที่ 11 (7.1 MW, exhaust fan 145.41×2, smoke reservoir)



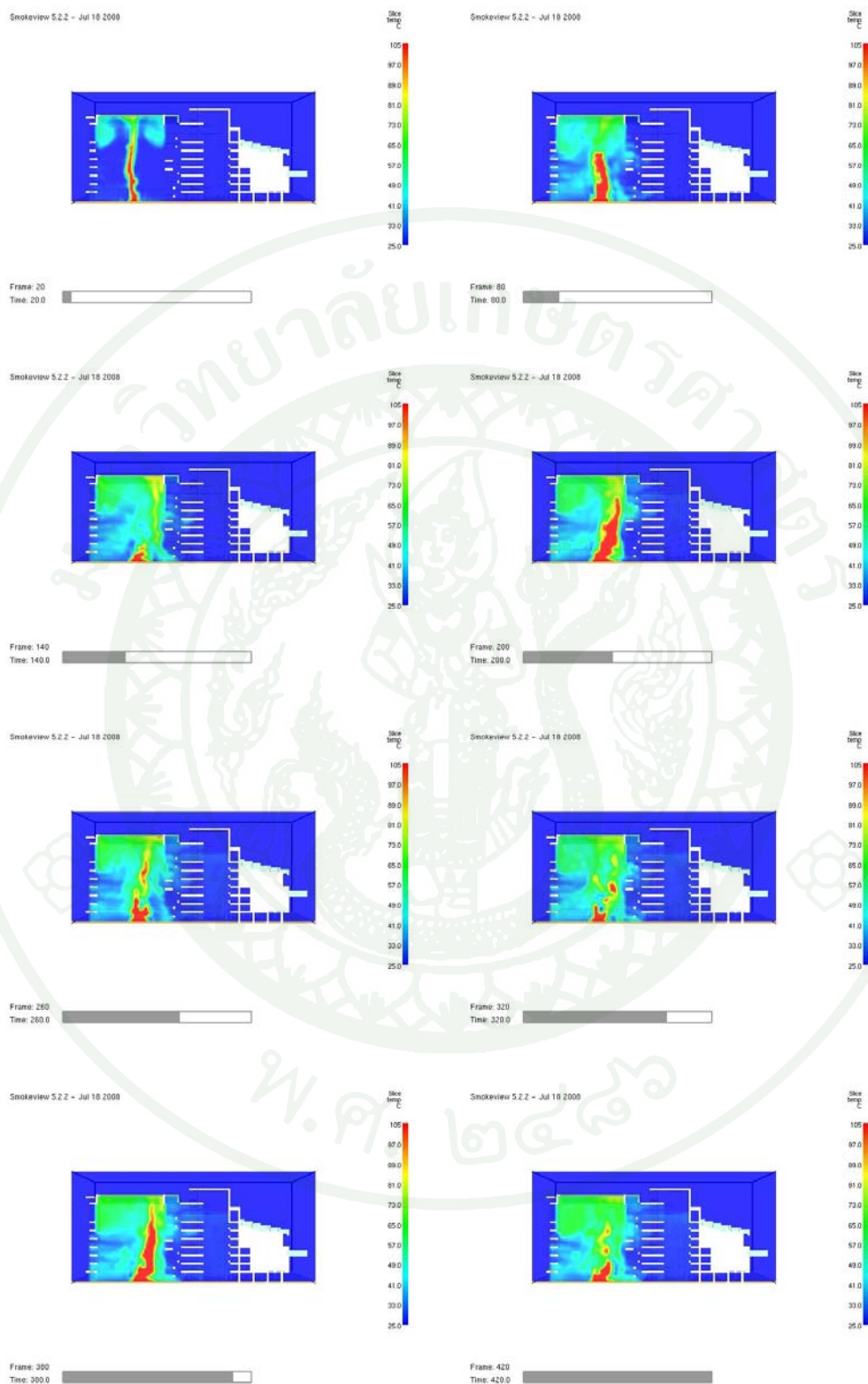
ภาพที่ 87 การกระจายตัวของอุณหภูมิที่ระนาบผ่านกึ่งกลางโถงสูง atrium กรณีที่ 12 (14.2 MW, exhaust fan 176.51×2, smoke reservoir)



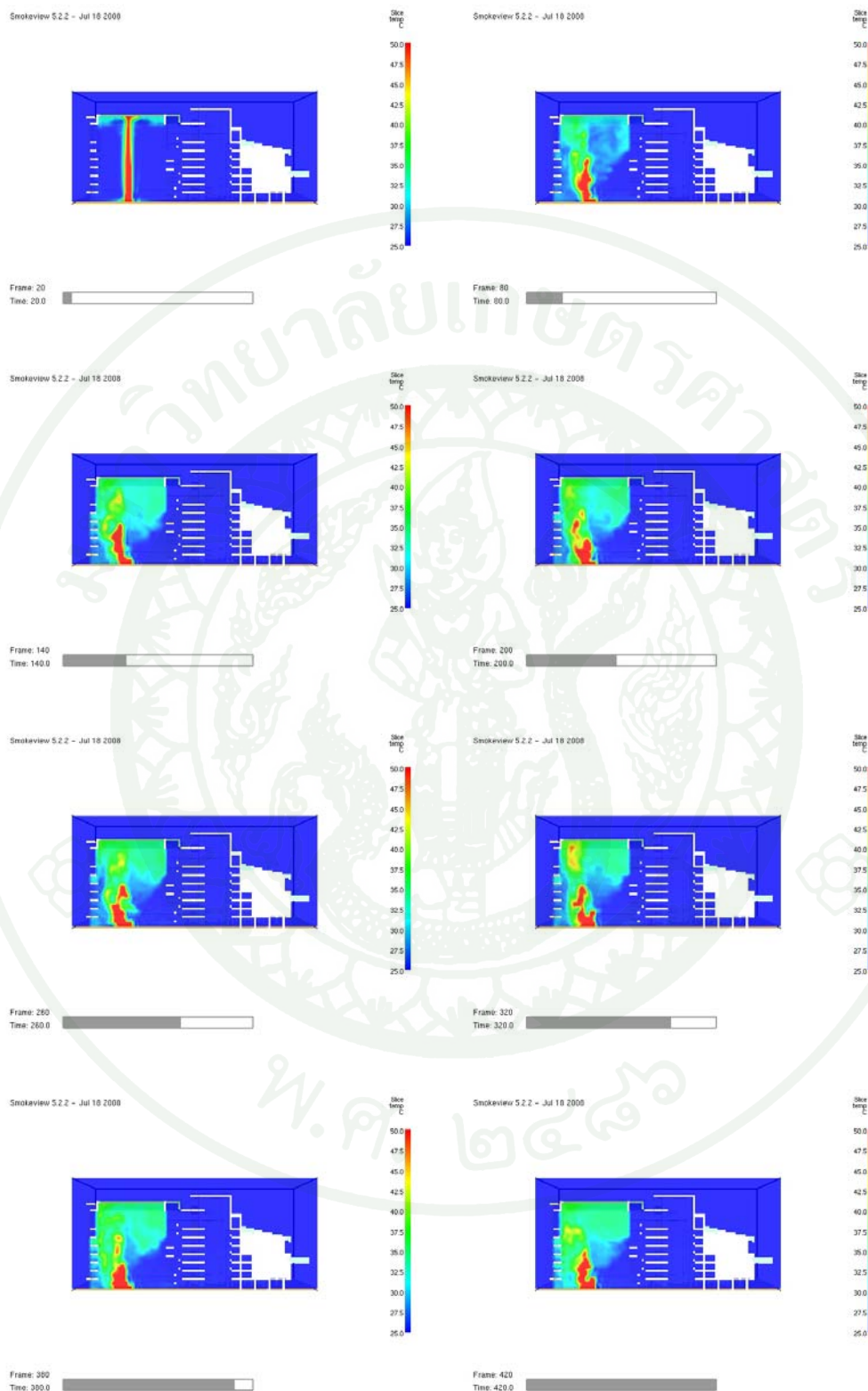
ภาพที่ 88 การกระจายตัวของอุณหภูมิที่ระนาบผ่านกึ่งกลางโถงสูง atrium กรณีที่ 13 (2.2 MW, exhaust fan 83.05×2, smoke reservoir)



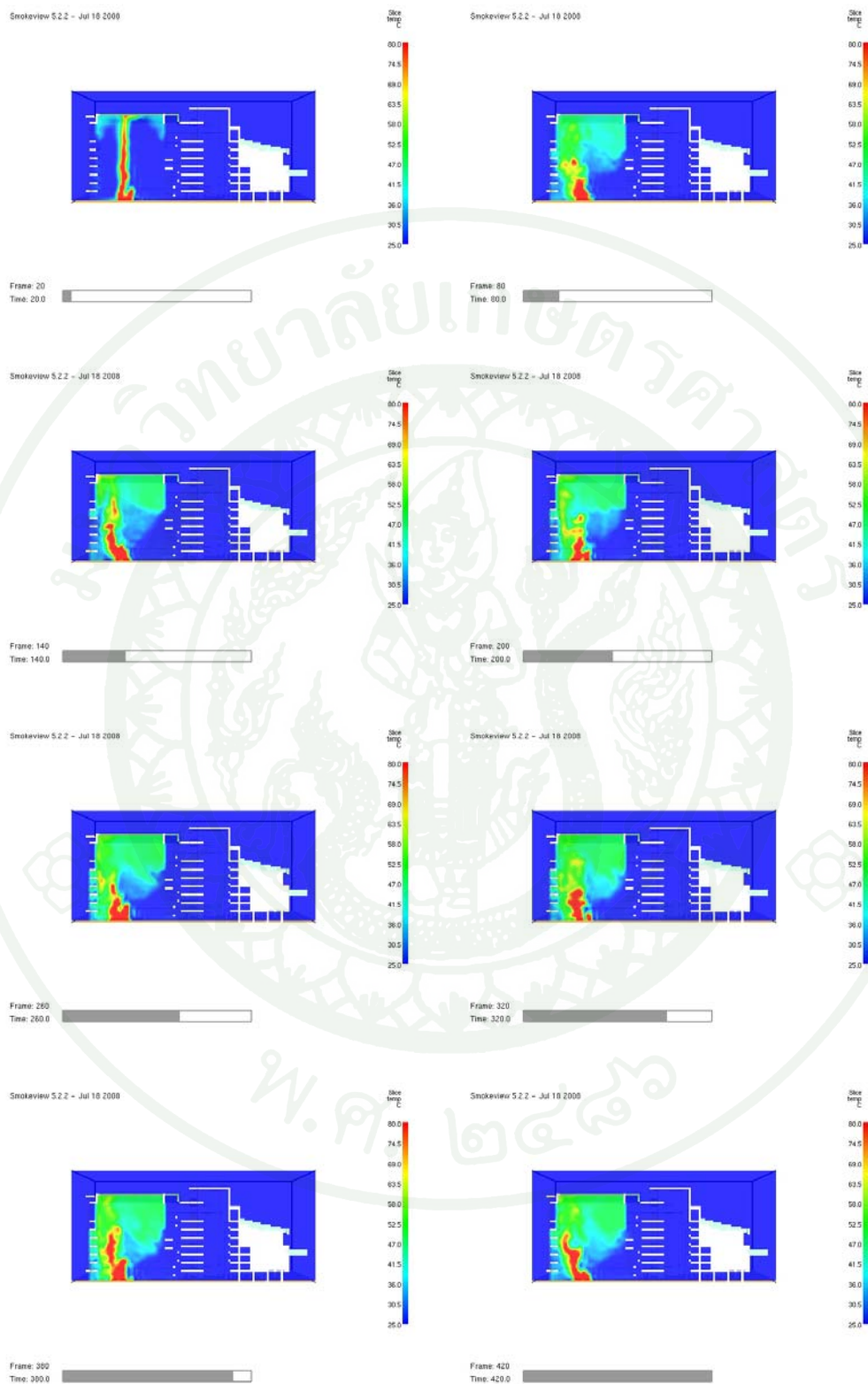
ภาพที่ 89 การกระจายตัวของอุณหภูมิที่ระนาบผ่านกึ่งกลางโถงสูง atrium กรณีที่ 14 (7.1 MW, exhaust fan 116.4×2, smoke reservoir)



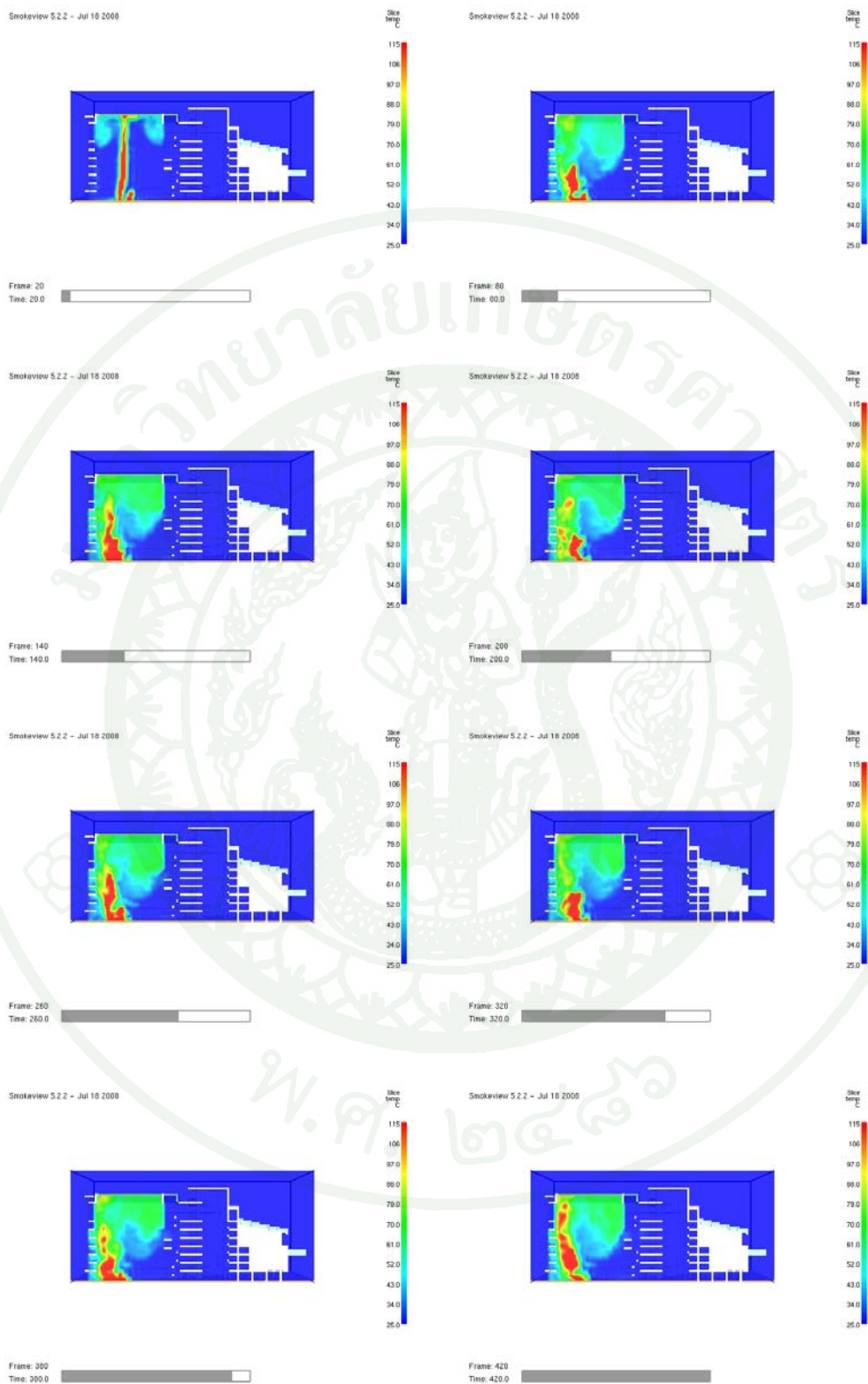
ภาพที่ 90 การกระจายตัวของอุณหภูมิที่ระนาบผ่านกึ่งกลางโถงสูง atrium กรณีที่ 15 (14.2 MW, exhaust fan 140.88×2, smoke reservoir)



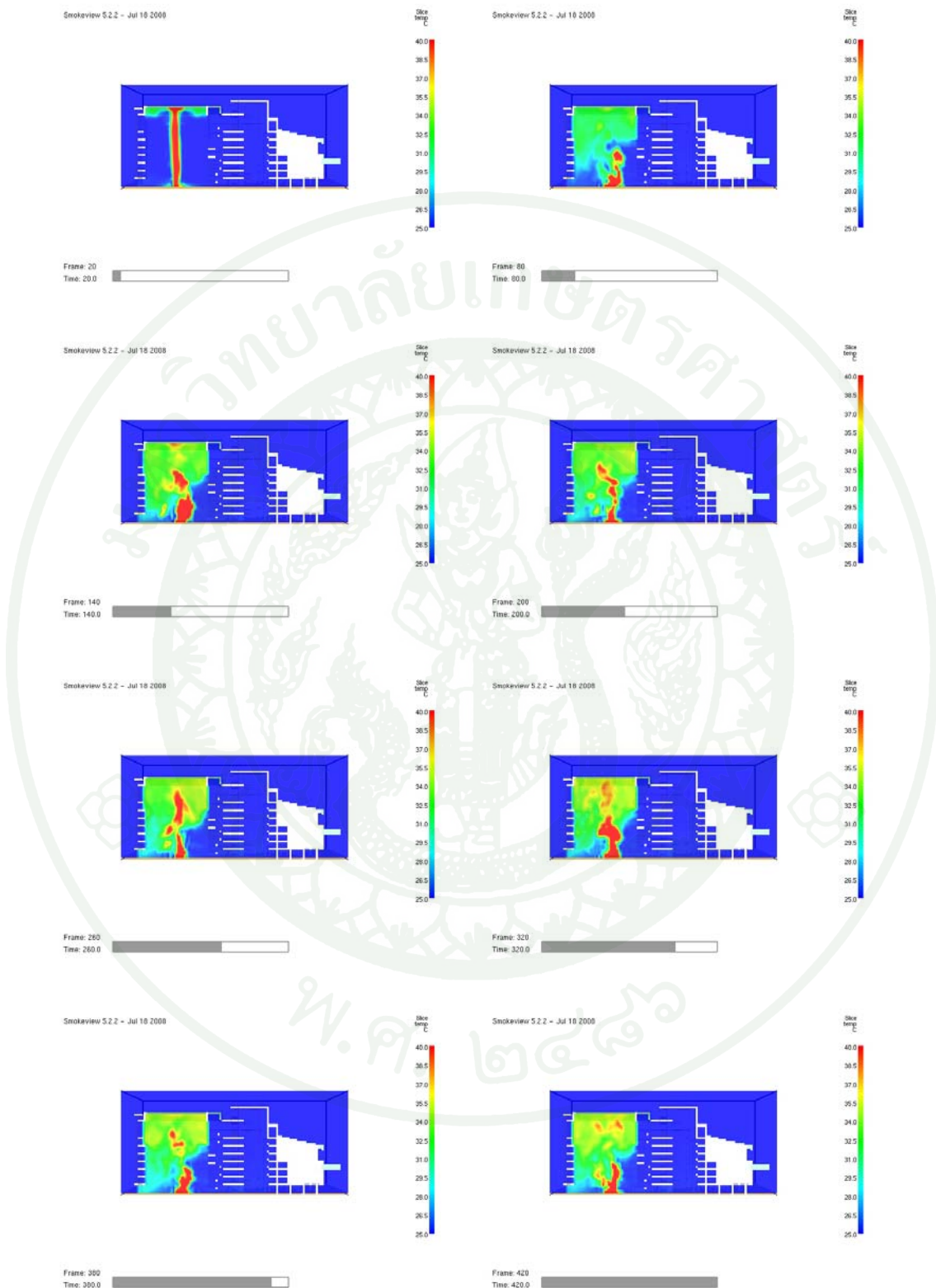
ภาพที่ 91 การกระจายตัวของอุณหภูมิที่ระนาบผ่านถึงกลางโถงสูง atrium กรณีที่ 16 (2.2 MW, exhaust fan 83.05×2, smoke reservoir, closed windows)



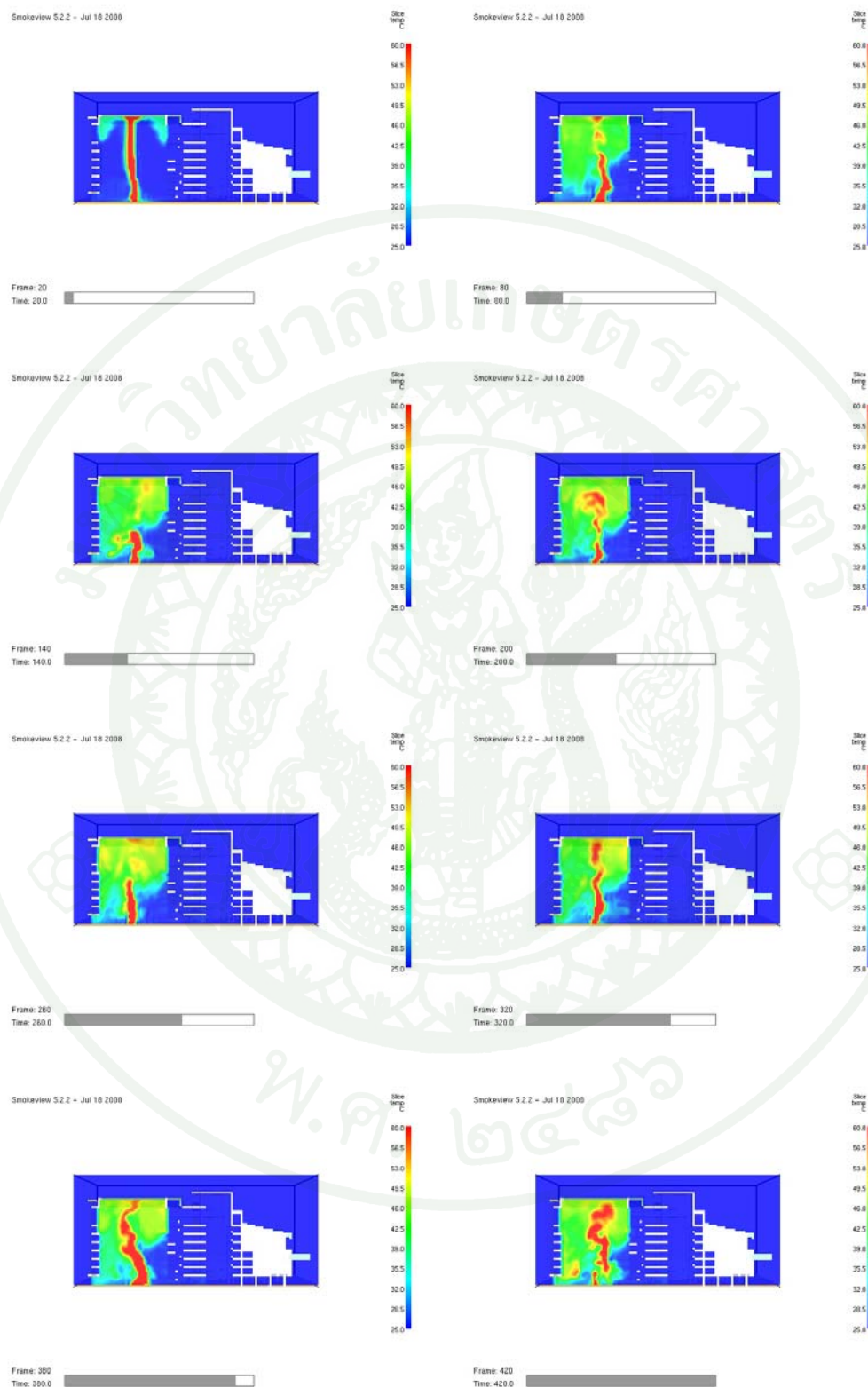
ภาพที่ 92 การกระจายตัวของอุณหภูมิที่ระนาบผ่านกึ่งกลางโถงสูง atrium กรณีที่ 17 (7.1 MW, exhaust fan 116.4×2, smoke reservoir, closed windows)



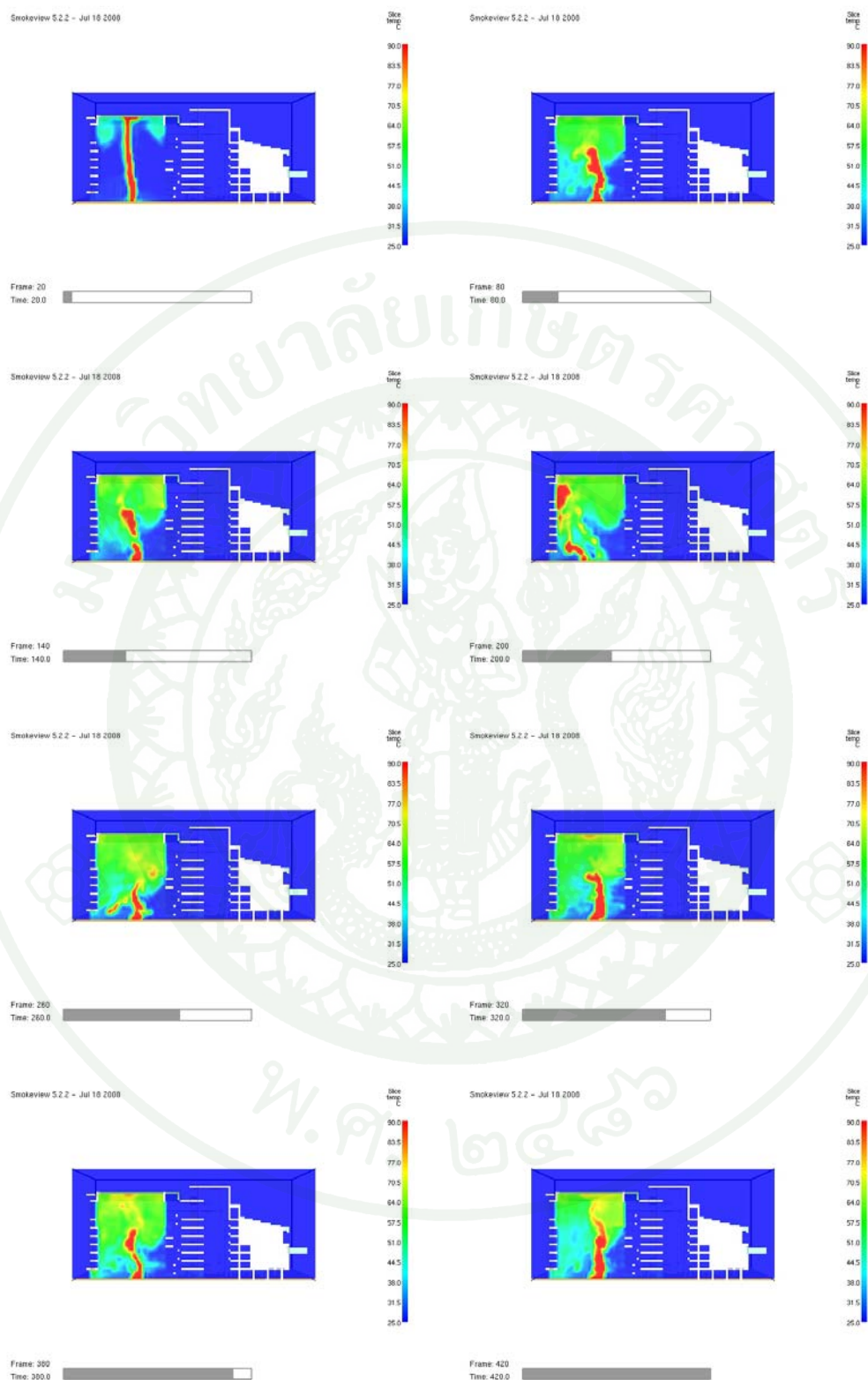
ภาพที่ 93 การกระจายตัวของอุณหภูมิที่ระนาบผ่านกึ่งกลางโถงสูง atrium กรณีที่ 18 (14.2 MW, exhaust fan 140.88×2, smoke reservoir, closed windows)



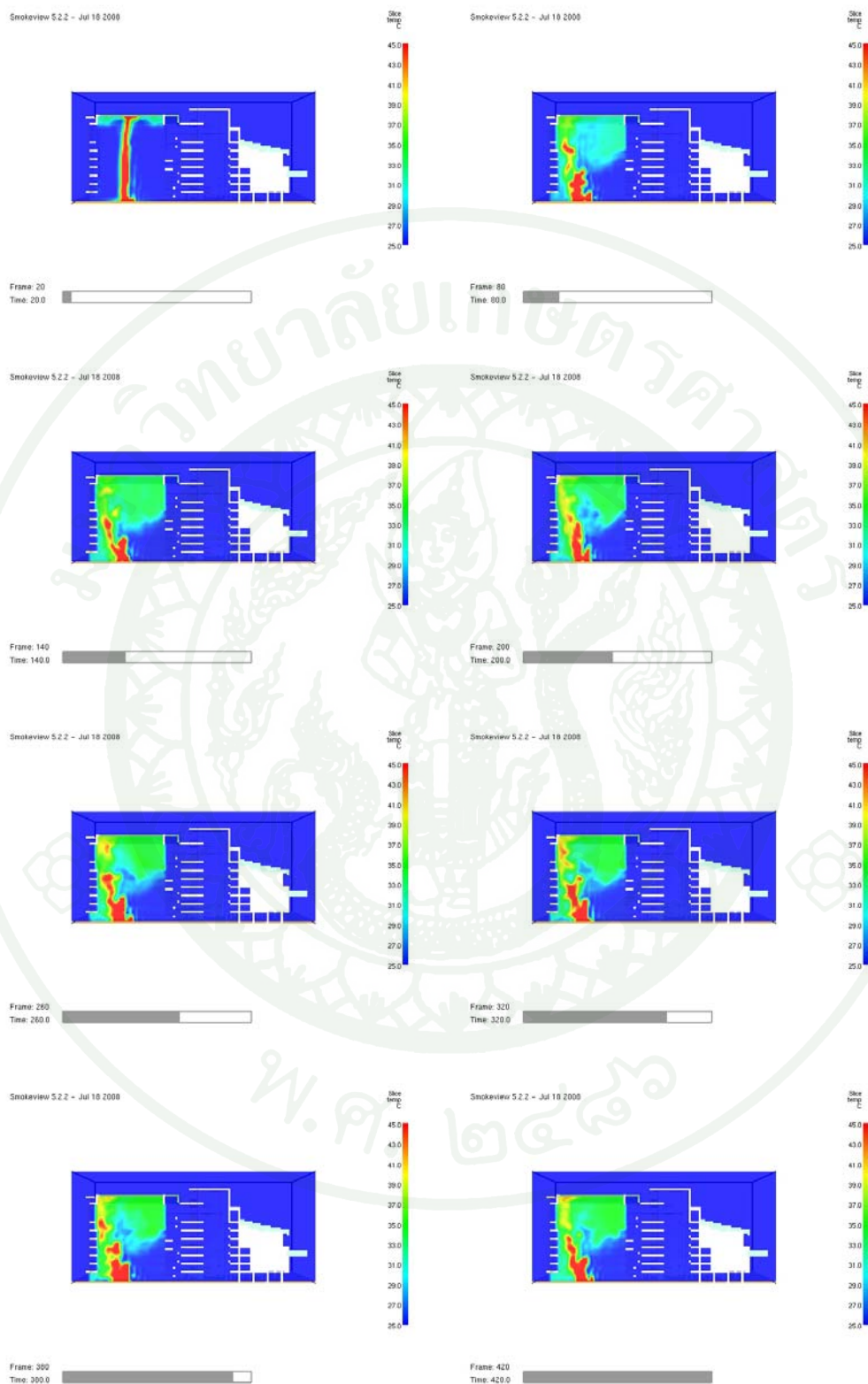
ภาพที่ 94 การกระจายตัวของอุณหภูมิที่ระนาบผ่านกึ่งกลางโถงสูง atrium กรณีที่ 19 (2.2 MW, exhaust fan 83.05×2 , smoke reservoir, curtain)



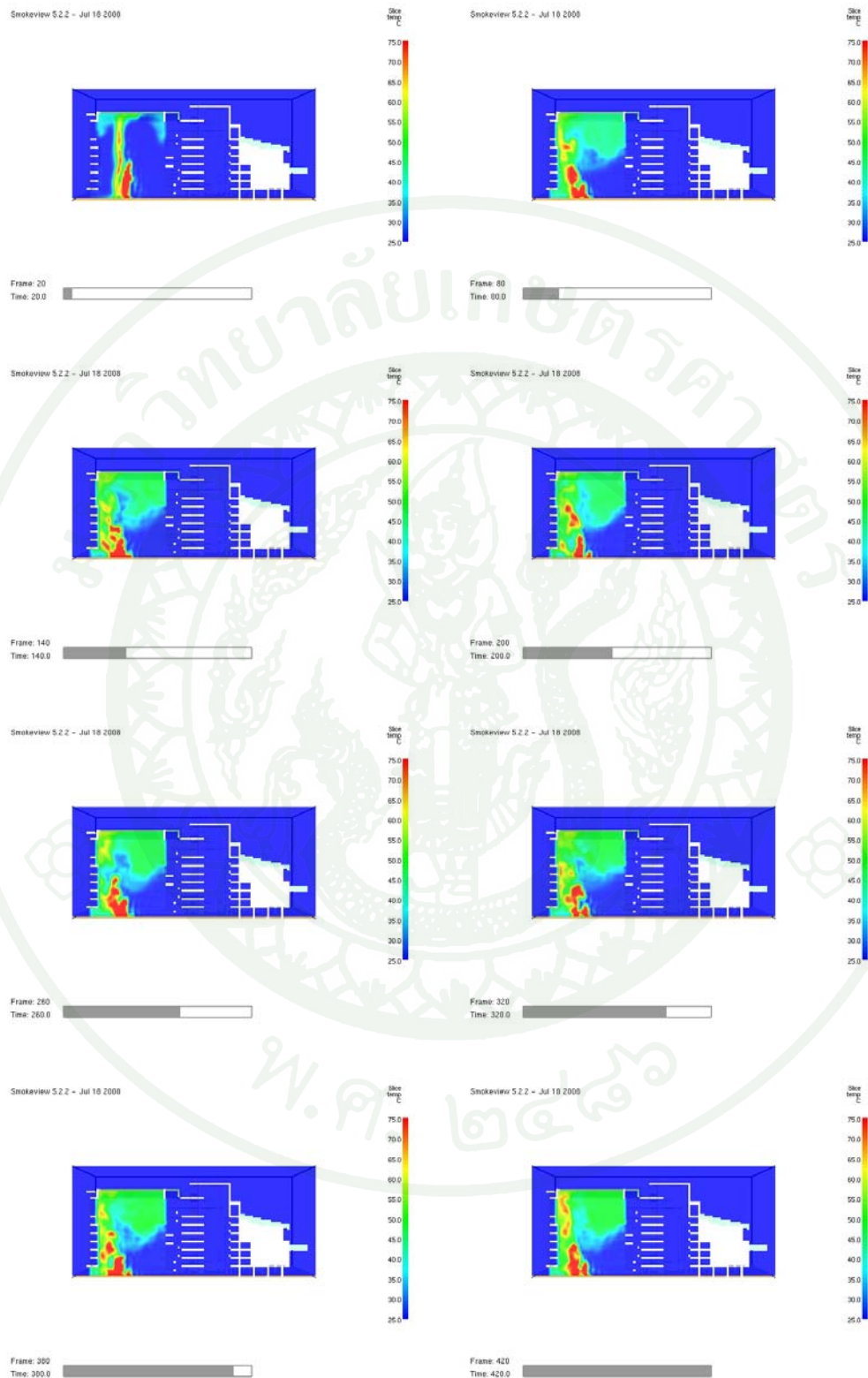
ภาพที่ 95 การกระจายตัวของอุณหภูมิที่ระนาบผ่านกึ่งกลางโถงสูง atrium กรณีที่ 20 (7.1 MW, exhaust fan 116.4×2, smoke reservoir, curtain)



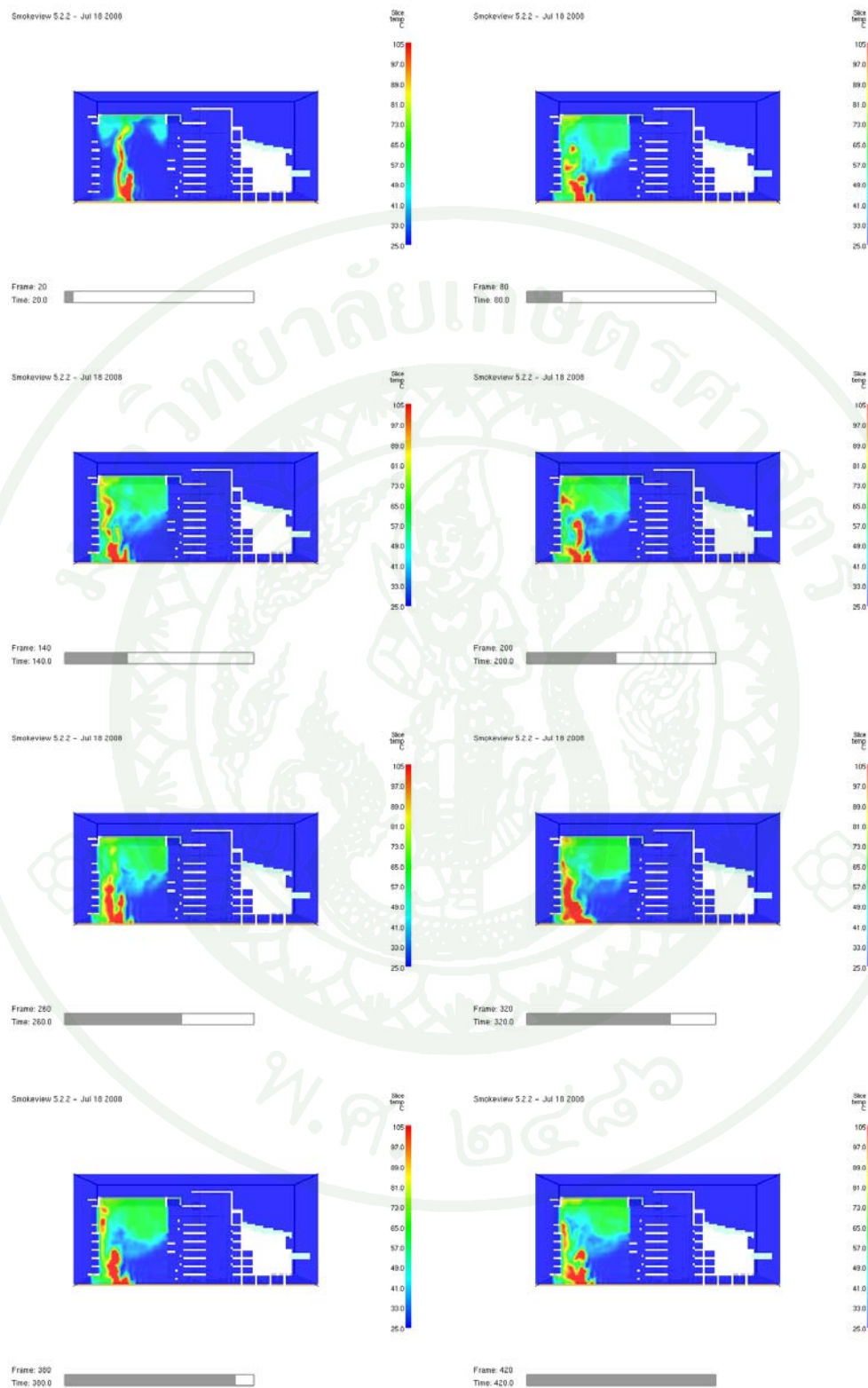
ภาพที่ 96 การกระจายตัวของอุณหภูมิที่ระนาบผ่านกึ่งกลางโถงสูง atrium กรณีที่ 21 (14.2 MW, exhaust fan 140.88×2, smoke reservoir, curtain)



ภาพที่ 97 การกระจายตัวของอุณหภูมิที่ระนาบผ่านกึ่งกลางโถงสูง atrium กรณีที่ 22 (2.2 MW, exhaust fan 83.05×2, smoke reservoir, curtain, closed windows)



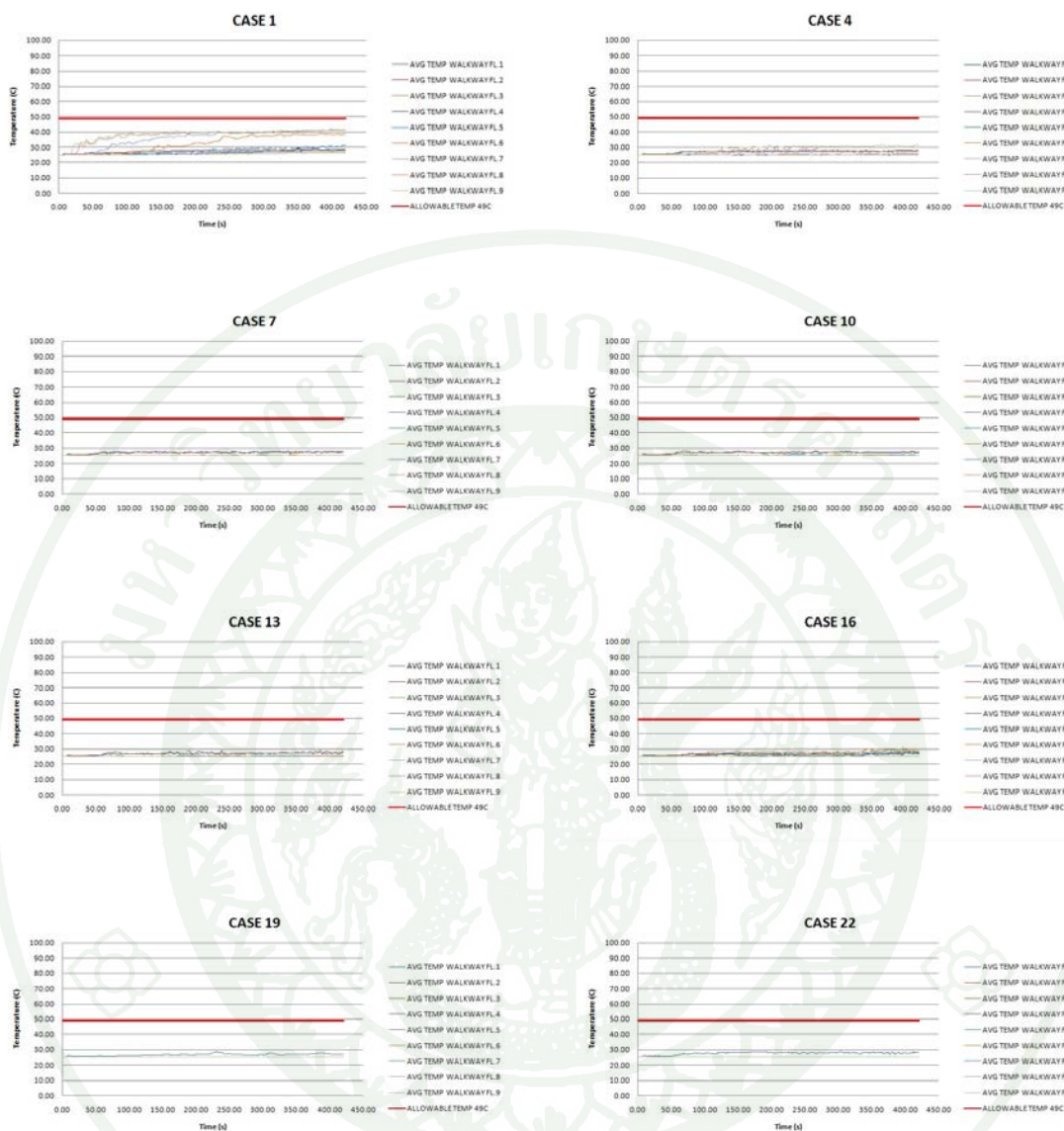
ภาพที่ 98 การกระจายตัวของอุณหภูมิที่ระนาบผ่านกึ่งกลางโถงสูง atrium กรณีที่ 23 (7.1 MW, exhaust fan 116.4×2, smoke reservoir, curtain, closed windows)



ภาพที่ 99 การกระจายตัวของอุณหภูมิที่ระนาบผ่านกึ่งกลางโถงสูง atrium กรณีที่ 24 (14.2 MW, exhaust fan 140.88×2, smoke reservoir, curtain, closed windows)

ตารางที่ 16 อุณหภูมิเฉลี่ยบริเวณทางเดินไปสู่ทางหนีไฟที่อัตราการปล่อยความร้อนของกองเพลิง
ขนาด 2.2 MW

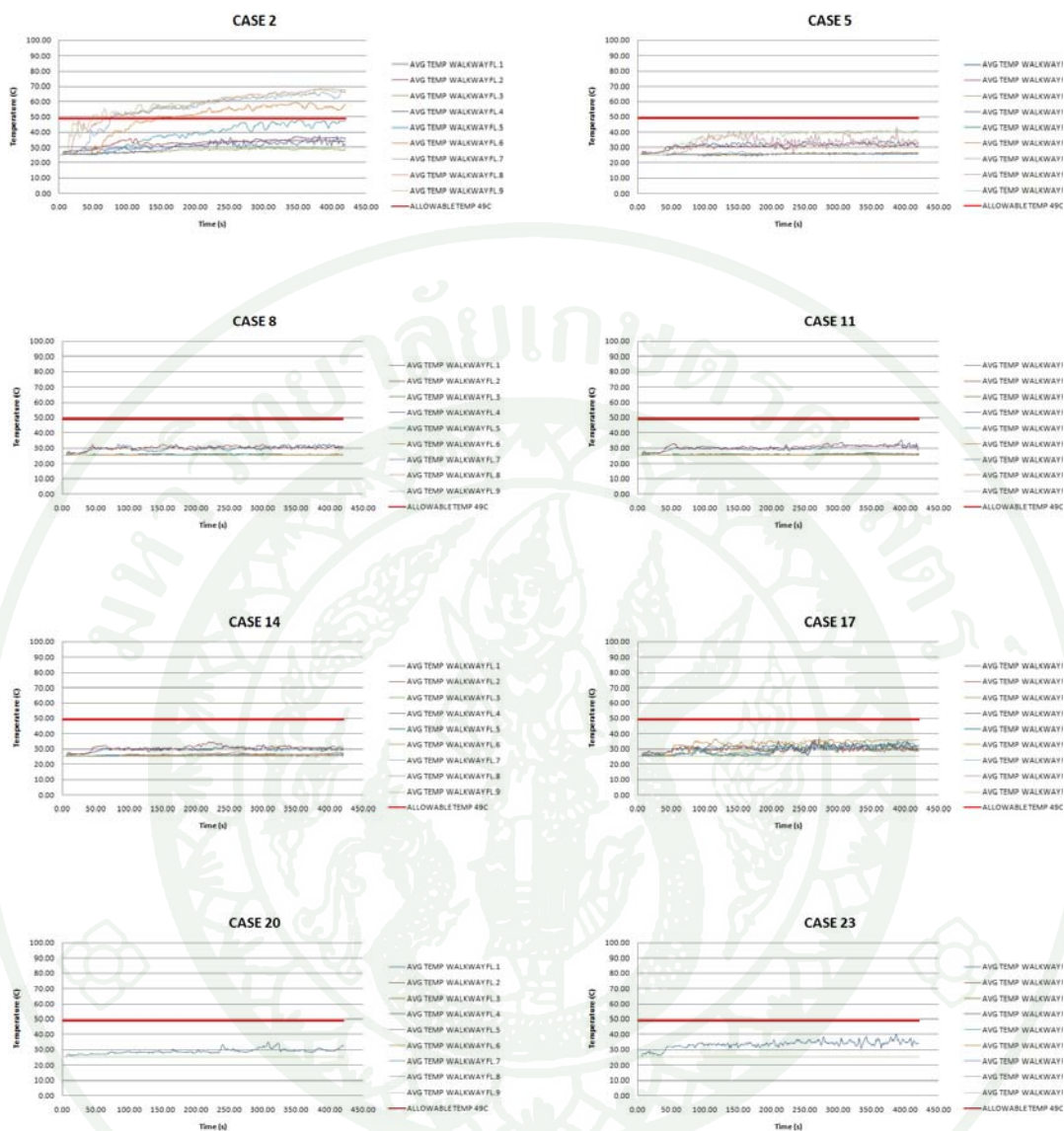
กรณีที่	อุณหภูมิเฉลี่ยบริเวณทางเดินไปสู่ทางหนีไฟ (องศาเซลเซียส)								
	ชั้น 1	ชั้น 2	ชั้น 3	ชั้น 4	ชั้น 5	ชั้น 6	ชั้น 7	ชั้น 8	ชั้น 9
1	27.77	28.36	26.16	27.12	29.14	36.88	39.86	40.37	40.16
4	27.70	27.32	25.34	25.27	25.20	25.25	25.30	27.83	30.50
7	27.40	27.12	25.31	25.22	25.21	25.21	25.02	25.03	25.02
10	26.90	27.29	25.35	25.29	25.31	25.25	25.02	25.03	25.02
13	27.43	27.29	25.36	25.44	25.41	25.32	25.02	25.02	25.01
16	27.50	26.89	26.87	26.21	26.28	28.40	25.02	25.03	25.00
19	27.00	25.12	25.05	25.03	25.02	25.02	25.01	25.02	25.01
22	27.92	25.11	25.03	25.03	25.03	25.04	25.02	25.03	25.00



ภาพที่ 100 อุณหภูมิเฉลี่ยบริเวณทางเดินไปสู่ทางหนีไฟที่อัตราการปล่อยความร้อนของกองเพลิง
ขนาด 2.2 MW

ตารางที่ 17 อุณหภูมิเฉลี่ยบริเวณทางเดินไปสู่ทางหนีไฟที่อัตราการปล่อยความร้อนของกองเพลิง
ขนาด 7.1 MW

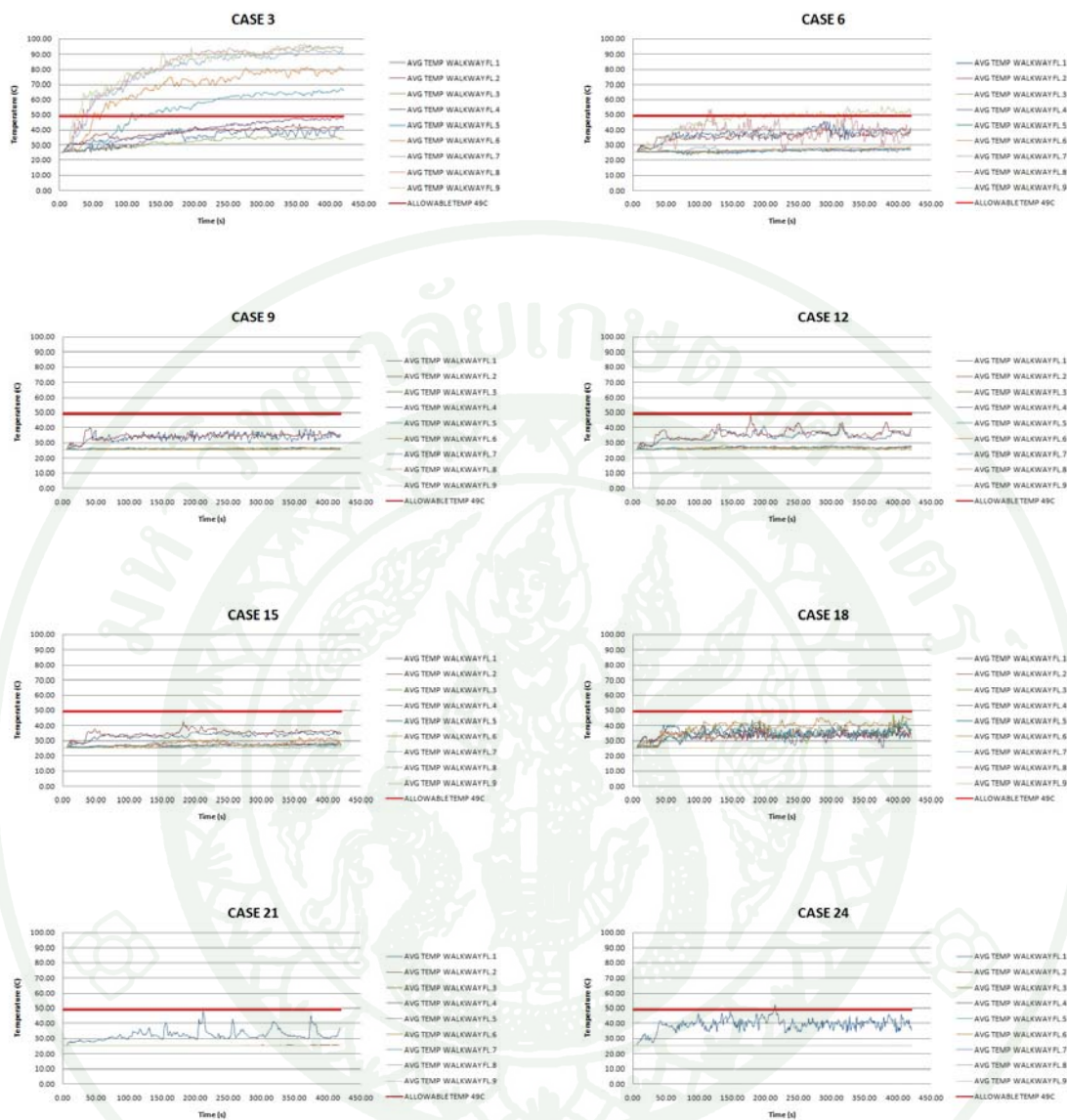
กรณี	อุณหภูมิเฉลี่ยบริเวณทางเดินไปสู่ทางหนีไฟ (องศาเซลเซียส)								
	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3	ชั้นที่ 4	ชั้นที่ 5	ชั้นที่ 6	ชั้นที่ 7	ชั้นที่ 8	ชั้นที่ 9
2	32.60	33.87	28.98	34.42	43.93	55.93	62.51	64.59	63.71
5	32.31	31.33	25.98	25.85	25.87	26.27	25.58	33.85	39.88
8	30.50	30.69	25.88	25.71	25.69	25.38	25.03	25.04	25.03
11	30.72	31.37	25.88	25.83	25.97	25.65	25.03	25.04	25.02
14	29.94	31.29	25.98	26.35	25.91	26.85	25.28	25.78	25.03
17	31.16	30.11	31.37	30.93	31.72	34.86	25.03	25.05	25.00
20	29.80	25.22	25.10	25.05	25.04	25.04	25.02	25.03	25.02
23	34.87	25.15	25.05	25.03	25.03	25.05	25.02	25.04	25.00



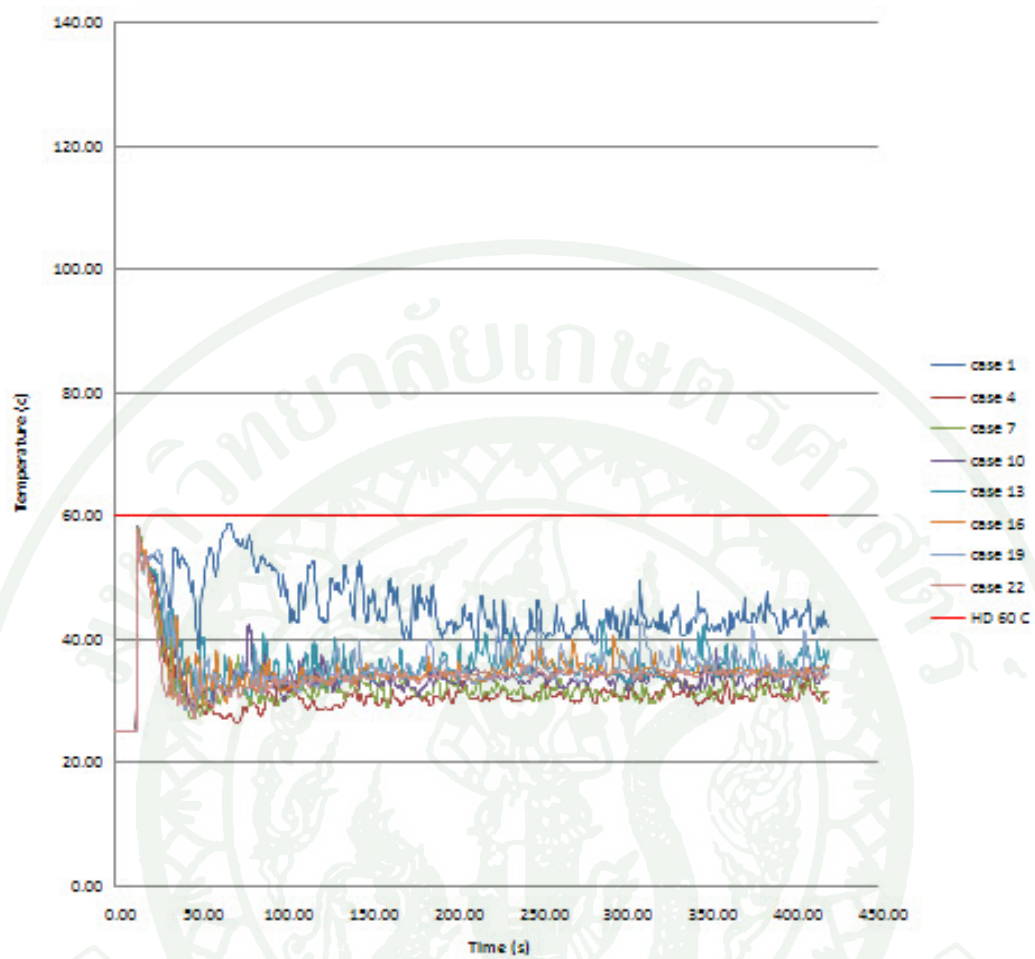
ภาพที่ 101 อุณหภูมิเฉลี่ยบริเวณทางเดินไปสู่ทางหนีไฟที่อัตราการปล่อยความร้อนของกองเพลิง
ขนาด 7.1 MW

ตารางที่ 18 อุณหภูมิเฉลี่ยบริเวณทางเดินไปสู่ทางหนีไฟที่อัตราการปล่อยความร้อนของกองเพลิง
ขนาด 14.2 MW

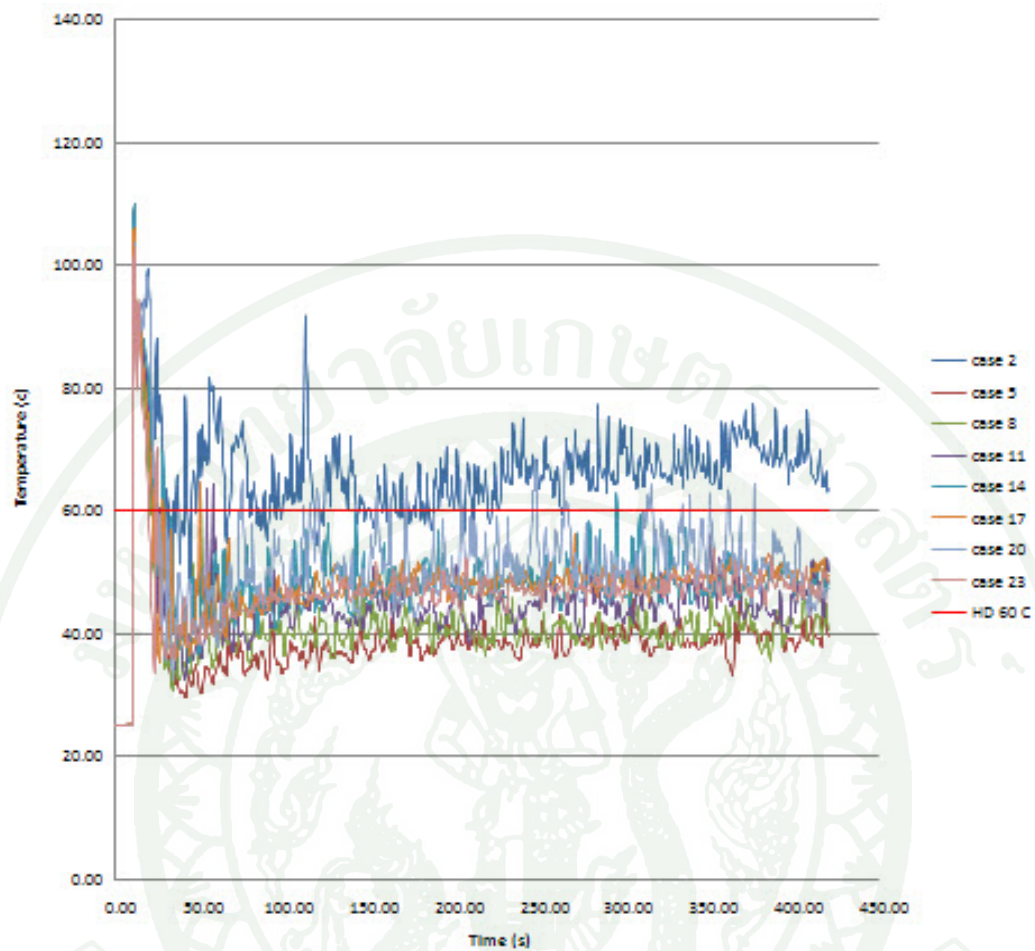
กรณีที่	อุณหภูมิเฉลี่ยบริเวณทางเดินไปสู่ทางหนีไฟ (องศาเซลเซียส)								
	ชั้น 1	ชั้น 2	ชั้น 3	ชั้น 4	ชั้น 5	ชั้น 6	ชั้น 7	ชั้น 8	ชั้น 9
3	38.19	40.98	34.28	44.70	62.82	76.70	89.21	92.59	91.67
6	38.72	37.22	26.73	26.72	26.46	27.85	26.61	38.60	50.71
9	34.54	35.22	26.33	25.86	25.93	25.67	25.03	25.05	25.03
12	35.00	36.66	26.59	26.81	26.78	26.07	25.05	25.05	25.03
15	34.25	35.83	26.94	27.41	27.28	28.86	25.56	27.50	26.55
18	34.84	33.79	35.44	33.73	35.36	40.74	25.02	25.04	25.00
21	33.41	25.33	25.13	25.05	25.06	25.08	25.06	25.05	25.02
24	39.84	25.18	25.07	25.04	25.03	25.05	25.03	25.05	25.00



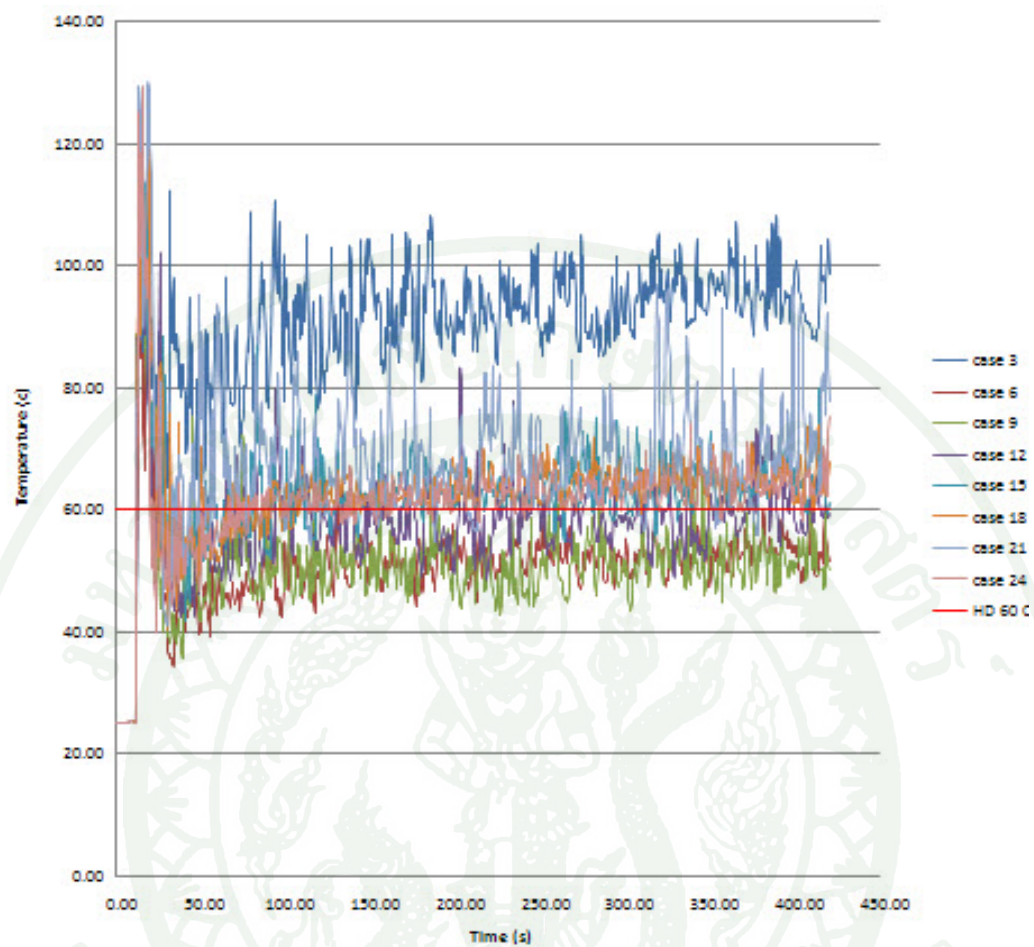
ภาพที่ 102 อุณหภูมิเฉลี่ยบริเวณทางเดินไปสู่ทางหนีไฟที่อัตราการปล่อยความร้อนของกองเพลิง
ขนาด 14.2 MW



ภาพที่ 103 ภาพแสดงผลอุณหภูมิของคว้นไฟบริเวณใกล้เพดาน โถง atrium ในการจำลองกรณีที่
กองเพลิงมีอัตราการปล่อยพลังงานความร้อนขนาด 2.2 MW



ภาพที่ 104 ภาพแสดงผลอุณหภูมิของคว้นไฟบริเวณใกล้เพดาน โถง atrium ในการจำลองกรณีที่
กองเพลิงมีอัตราการปล่อยพลังงานความร้อนขนาด 7.1 MW



ภาพที่ 105 ภาพแสดงผลอุณหภูมิของคว้นไฟบริเวณใกล้เพดาน โถง atrium ในการจำลองกรณีที่
กองเพลิงมีอัตราการปล่อยพลังงานความร้อนขนาด 14.2 MW

1.3 การกระจายตัวของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ภายในอาคาร

ภาพที่ 106 ถึง 108 แสดงผลของการกระจายตัวของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ระนาบผ่านกึ่งกลางโถงสูง atrium ในกรณีที่ 1 2 และ 3 ซึ่งไม่มีการติดตั้งระบบระบายควันและระบบควบคุมควันไฟใดๆ เลยของกองเพลิงที่มีอัตราการปล่อยพลังงานขนาด 2.2 7.1 และ 14.2 MW ตามลำดับ ส่วนในภาพที่ 109 ถึง 129 แสดงผลของการกระจายตัวของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ระนาบผ่านกึ่งกลางโถงสูง atrium ซึ่งมีการติดตั้งระบบระบายควันต่างๆ ตามกรณีศึกษาที่ 4 ถึง 24 ตามลำดับ

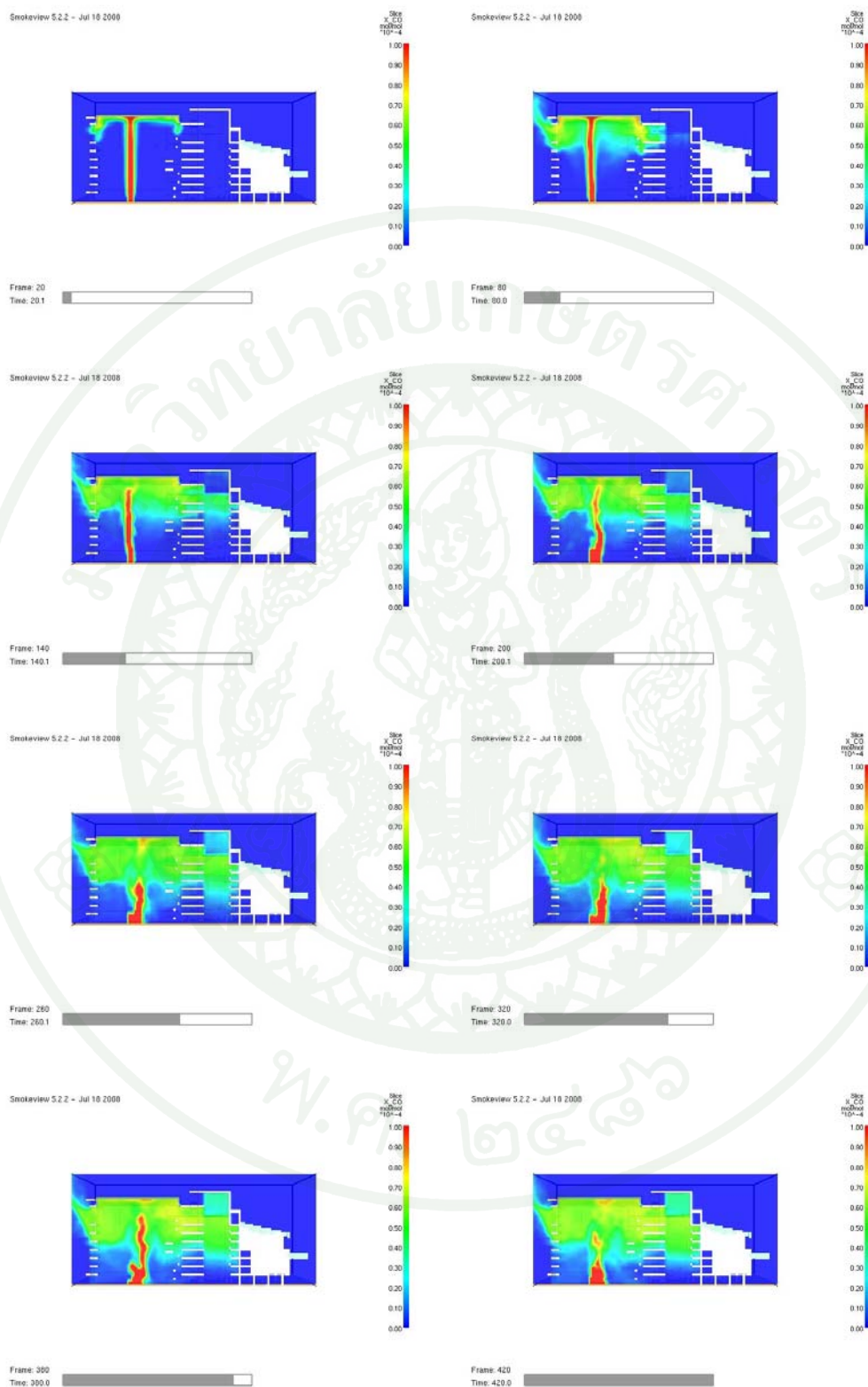
จากการติดตั้งเครื่องวัดมือปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ไว้ที่กึ่งกลางความสูงของชั้นในบริเวณโถงทางเดินไปสู่ทางหนีไฟทุกชั้นของอาคาร เพื่อนำปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่วัดได้จากการจำลองในกรณีศึกษาต่างๆ มาทำการเปรียบเทียบกับปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่มาตรฐาน NFPA 130 ที่ได้แนะนำให้ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ภายในช่องทางเดินที่เชื่อมต่อไปสู่ทางหนีไฟ (exit access) ของทุกชั้นต้องมีค่าไม่เกินกว่า 800 ppm ตลอดช่วงเวลาที่ใช้ในการหนีไฟ โดยผู้วิจัยได้แสดงค่าปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่คำนวณได้บริเวณทางเดินไปสู่ทางหนีไฟที่อัตราการปล่อยความร้อนของกองเพลิง 2.2 7.1 และ 14.2 MW ไว้ในตารางที่ 19 20 และ 21 ตามลำดับ

ภาพที่ 130 แสดงค่าก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์บริเวณทางเดินไปสู่ทางหนีไฟที่อัตราการปล่อยความร้อนของกองเพลิง 2.2 MW สำหรับกรณีศึกษาที่ 1 4 7 10 13 16 19 และ 22 เทียบกับเส้นค่าปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ 800 ppm ตามมาตรฐาน NFPA 130 จากการคำนวณพบว่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ภายในช่องทางเดินของชั้น 9 8 และ 7 สำหรับกรณีศึกษาที่ 1 เมื่อกองเพลิงมีขนาด 2.2 MW และไม่มีระบบระบายควันและระบบควบคุมควันไฟใดๆ มีค่าอยู่ในช่วง 60 ppm ซึ่งต่ำกว่าค่าที่กำหนดโดยมาตรฐาน NFPA 130

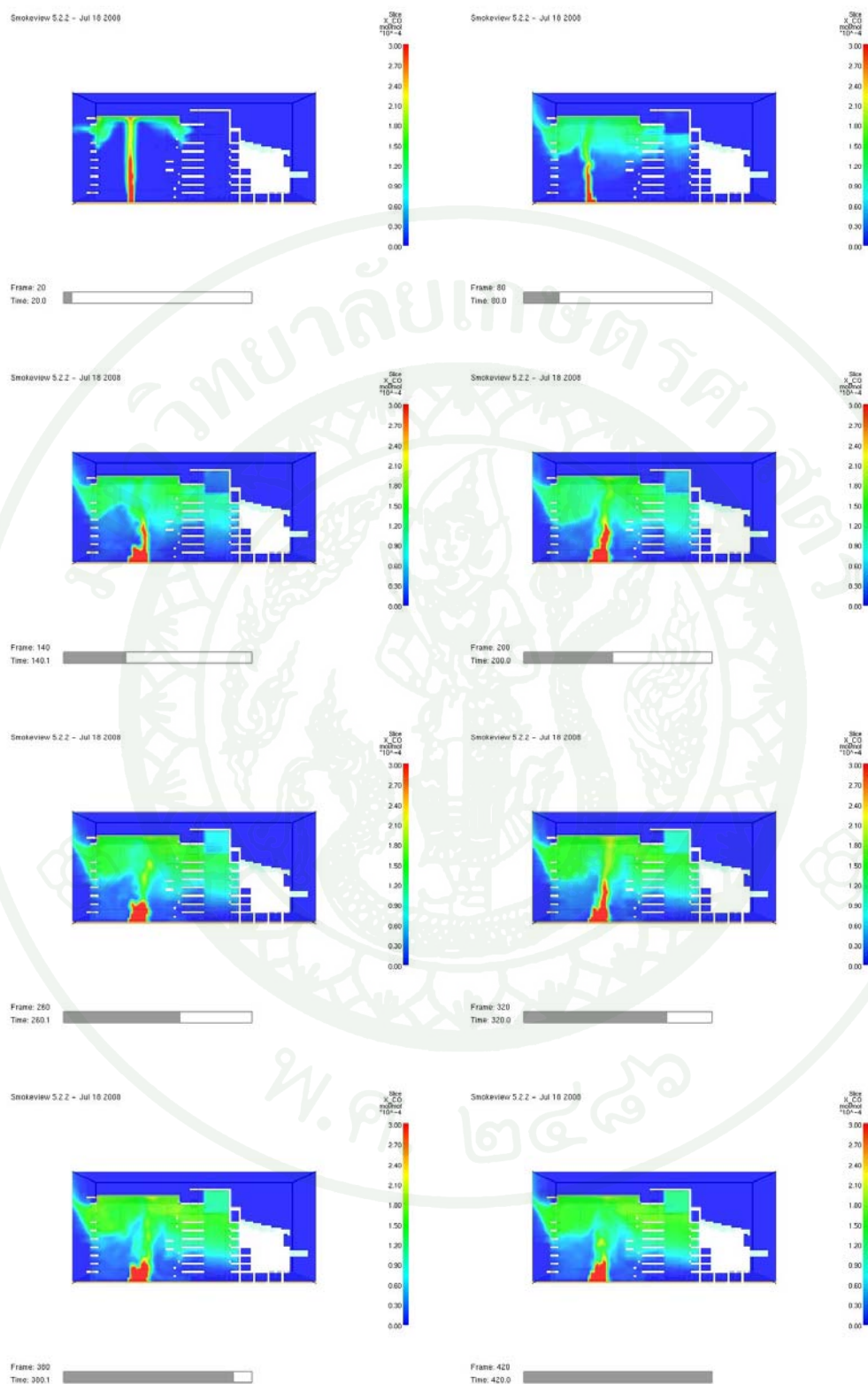
ภาพที่ 131 แสดงค่าก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์บริเวณทางเดินไปสู่ทางหนีไฟที่อัตราการปล่อยความร้อนของกองเพลิง 7.1 MW สำหรับกรณีศึกษาที่ 2 5 8 11 14 17 20 และ 23 เทียบกับเส้นค่าปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ 800 ppm ตามมาตรฐาน NFPA 130 จากการคำนวณพบว่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ภายในช่องทางเดินของชั้น 9 8 และ 7 สำหรับกรณีศึกษาที่ 1 เมื่อกองเพลิงมีขนาด 7.1 MW และไม่มีระบบระบายควันและระบบควบคุมควันไฟใดๆ มีค่าอยู่ในช่วง 150 ppm ซึ่งต่ำกว่าค่าที่กำหนดโดยมาตรฐาน NFPA 130

ภาพที่ 132 แสดงค่าก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์บริเวณทางเดินไปสู่ทางหนีไฟที่อัตราการปล่อยความร้อนของกองเพลิง 14.2 MW สำหรับกรณีศึกษาที่ 3 6 9 12 15 18 21 และ 24 เทียบกับเส้นค่าปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ 800 ppm ตามมาตรฐาน NFPA 130 จากการคำนวณพบว่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ภายในช่องทางเดินของชั้น 9 8 และ 7 สำหรับกรณีศึกษาที่ 1 เมื่อกองเพลิงมีขนาด 14.2 MW และไม่มีระบบระบายควันและระบบควบคุมควันไฟใดๆ มีค่าอยู่ในช่วง 250 ppm ซึ่งต่ำกว่าค่าที่กำหนดโดยมาตรฐาน NFPA 130

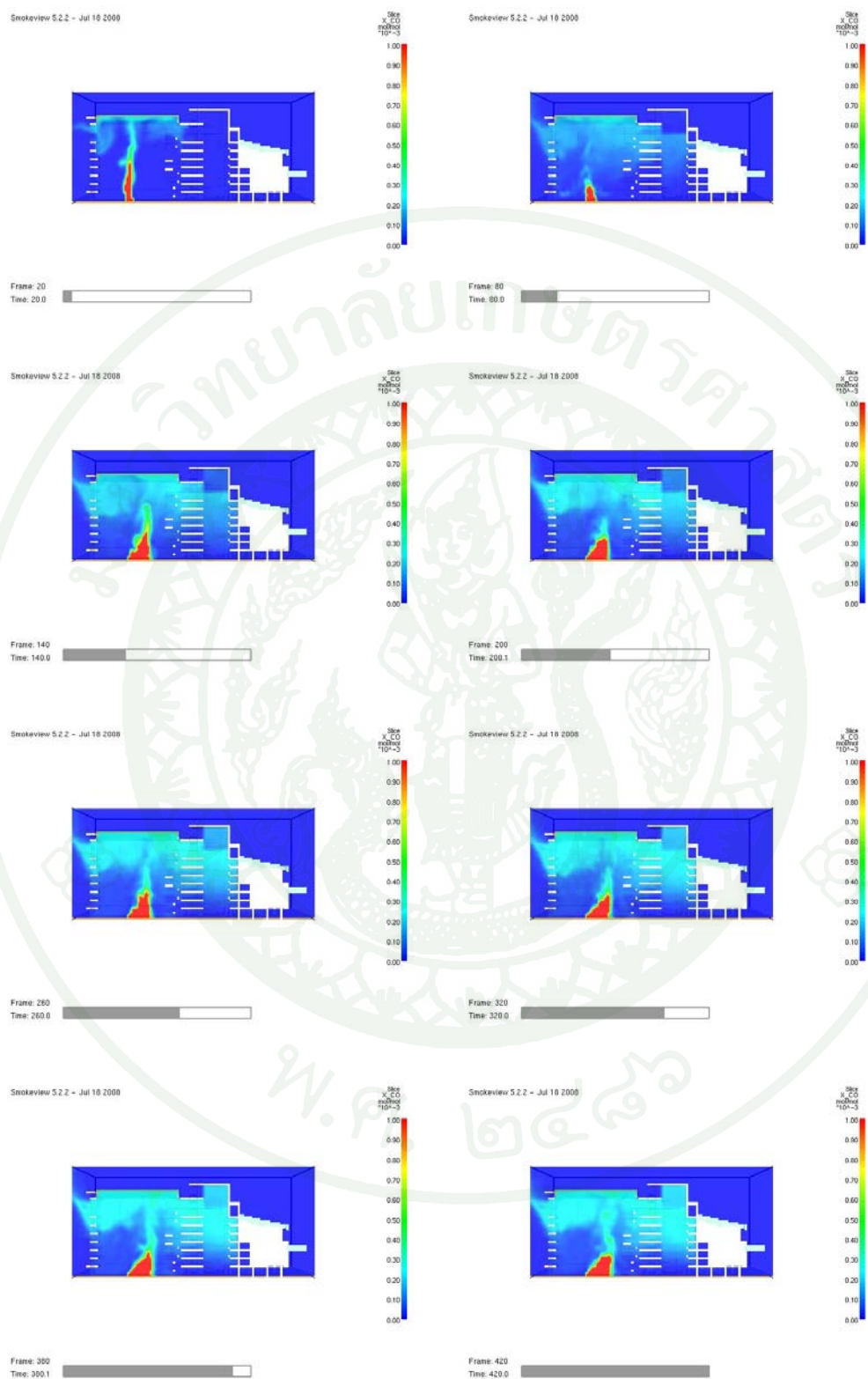
ดังนั้นถ้าพิจารณาเฉพาะอันตรายจากก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์อาจไม่มีความจำเป็นที่จะต้องติดตั้งระบบระบายควันไฟสำหรับโถง atrium และในกรณีที่อาคารติดตั้งระบบระบายควันและระบบควบคุมควันไฟแล้วพบว่าระดับก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ภายในช่องทางเดินมีน้อยมากและเข้าใกล้ 0 ppm



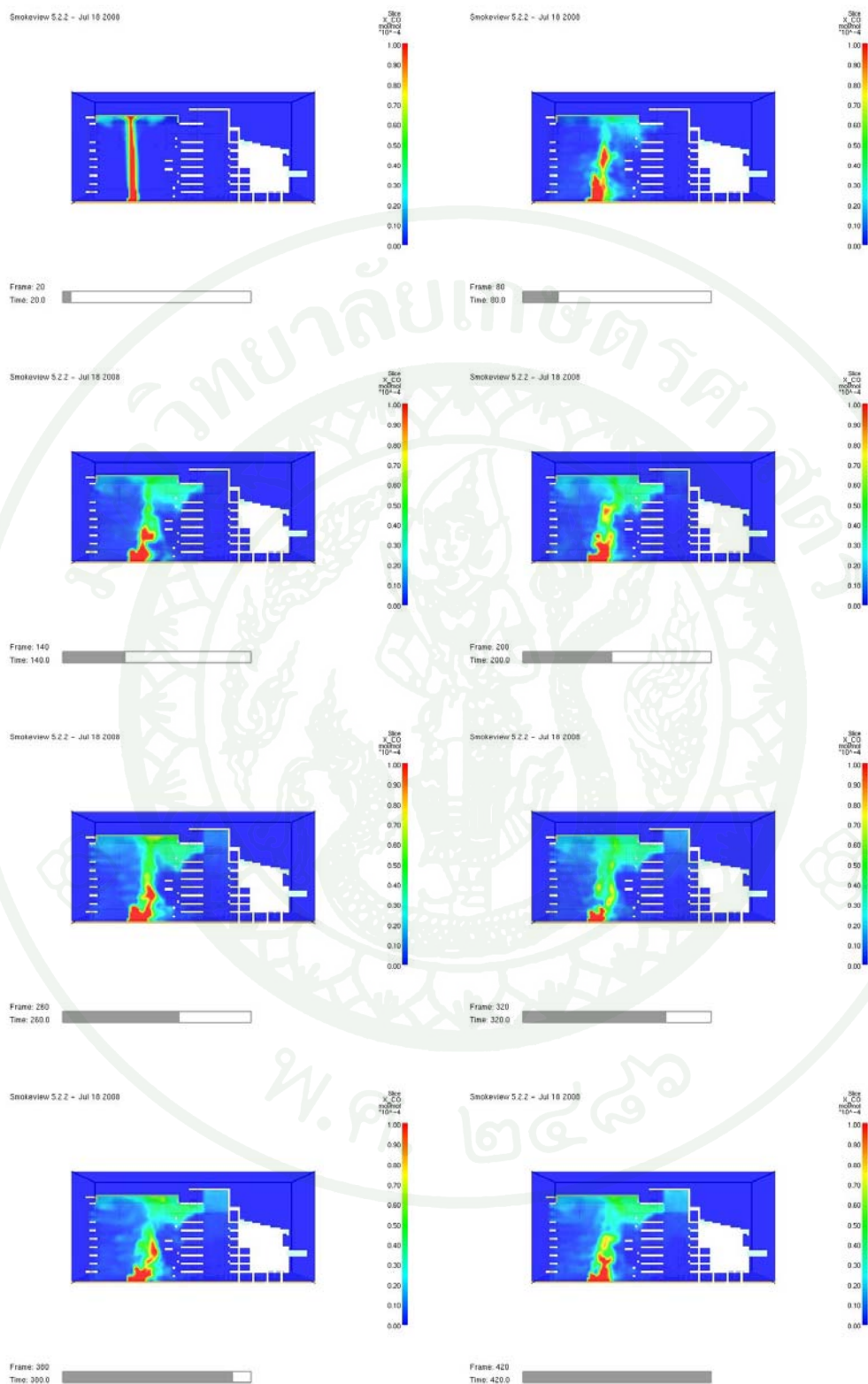
ภาพที่ 106 การกระจายตัวของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ที่ระนาบผ่านถึงกลางโถงสูง atrium กรณี
ที่ 1 (2.2 MW, no vent)



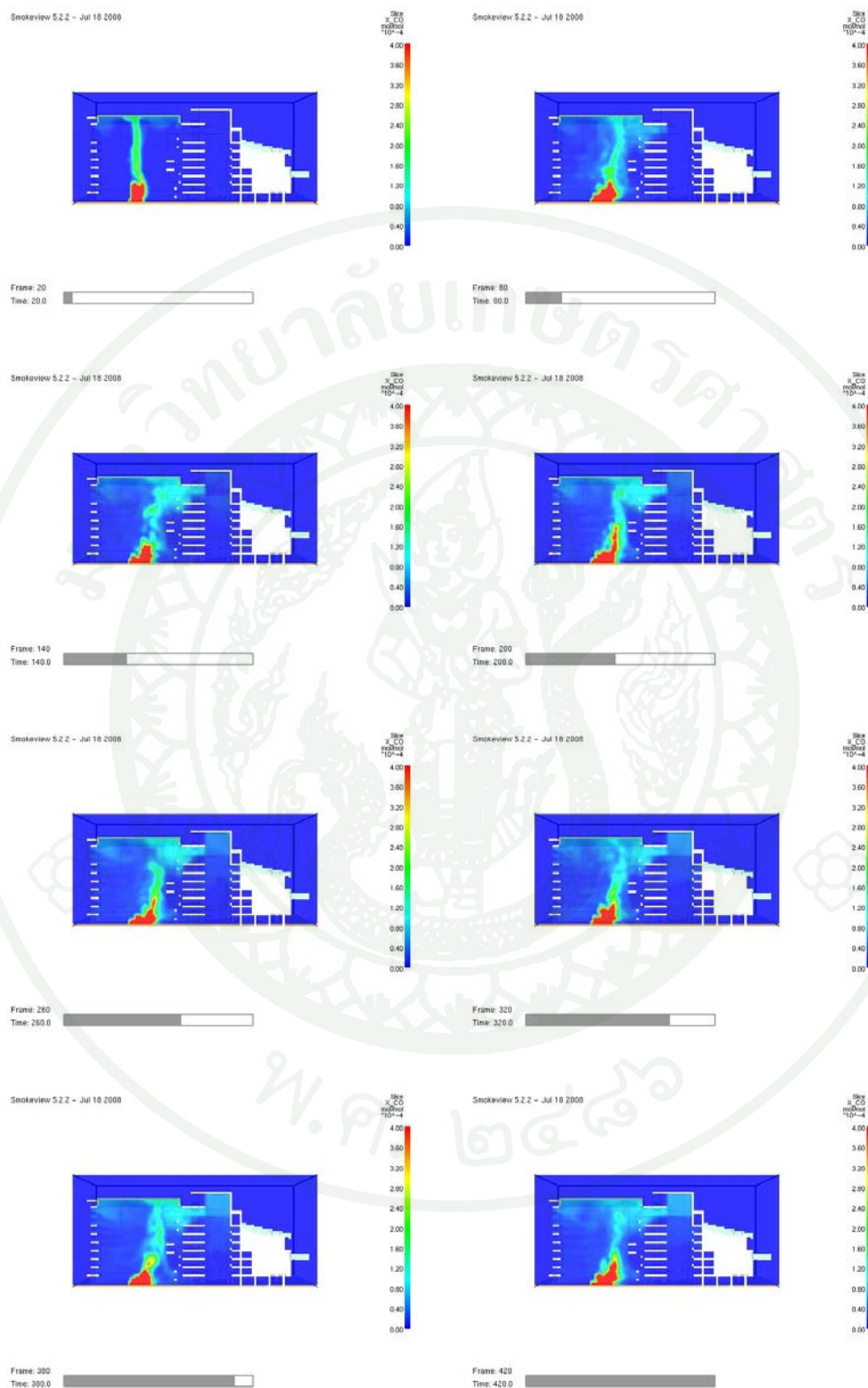
ภาพที่ 107 การกระจายตัวของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ที่ระนาบผ่านถึงกลางโถงสูง atrium กรณี
ที่ 2 (7.1 MW, no vent)



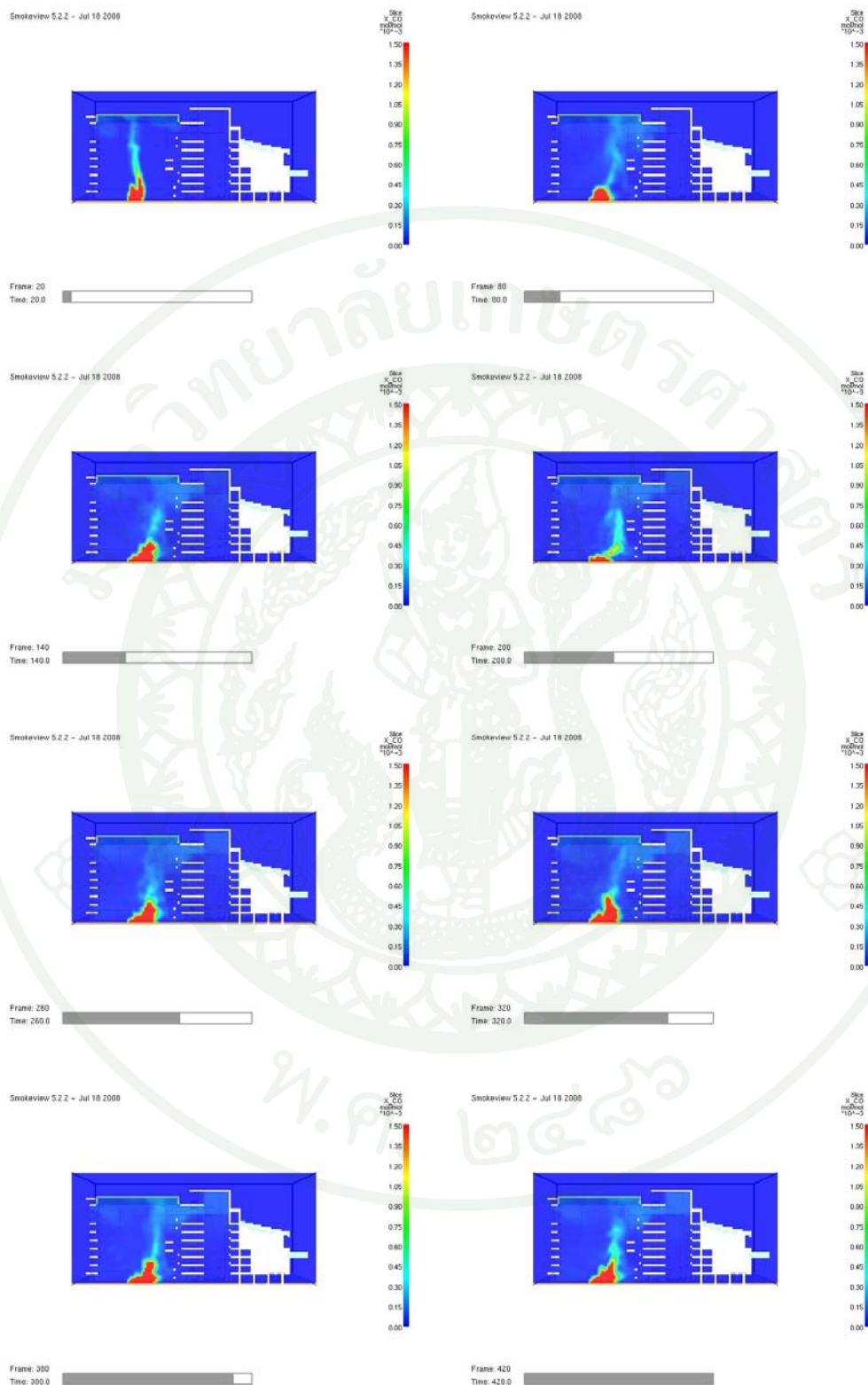
ภาพที่ 108 การกระจายตัวของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ที่ระนาบผ่านถึงกลางโถงสูง atrium กรณี
ที่ 3 (14.2MW, no vent)



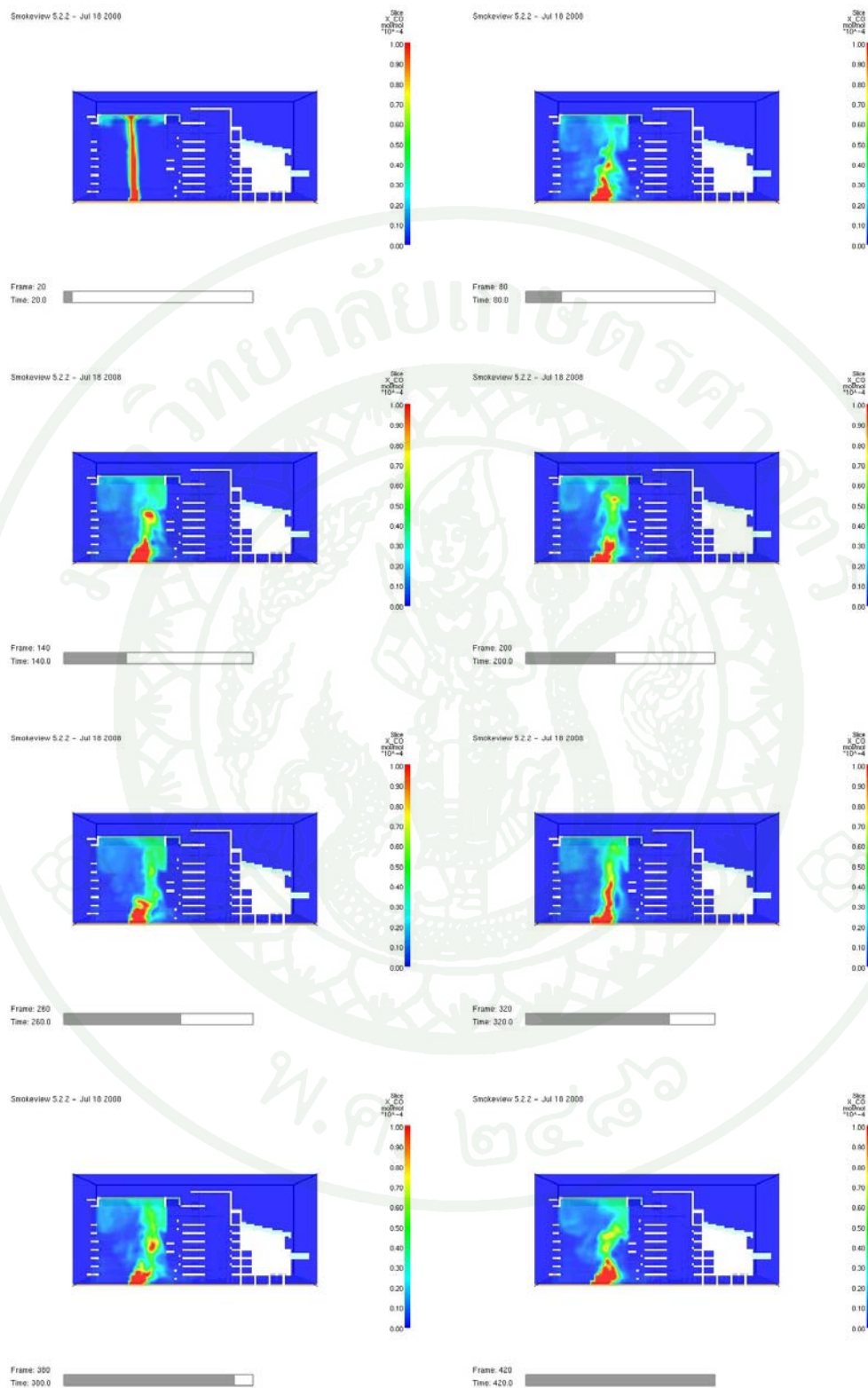
ภาพที่ 109 การกระจายตัวของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ที่ระนาบผ่านกึ่งกลางโถงสูง atrium กรณี
ที่ 4 (2.2 MW, exhaust fan 131.29×2, no smoke reservoir)



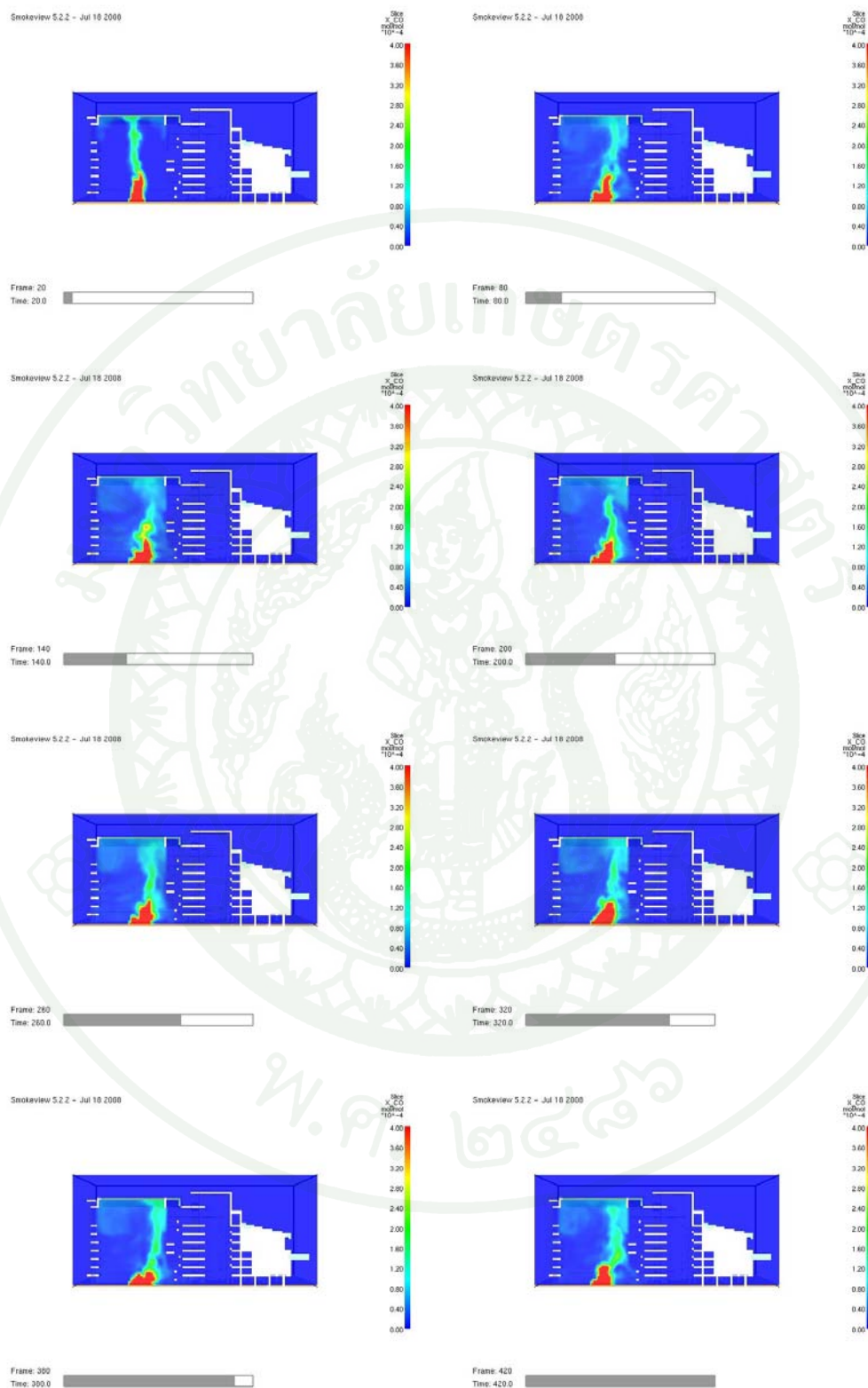
ภาพที่ 110 การกระจายตัวของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ที่ระนาบผ่านกึ่งกลางโถงสูง atrium กรณี
ที่ 5 (7.1 MW, exhaust fan 184.84×2, no smoke reservoir)



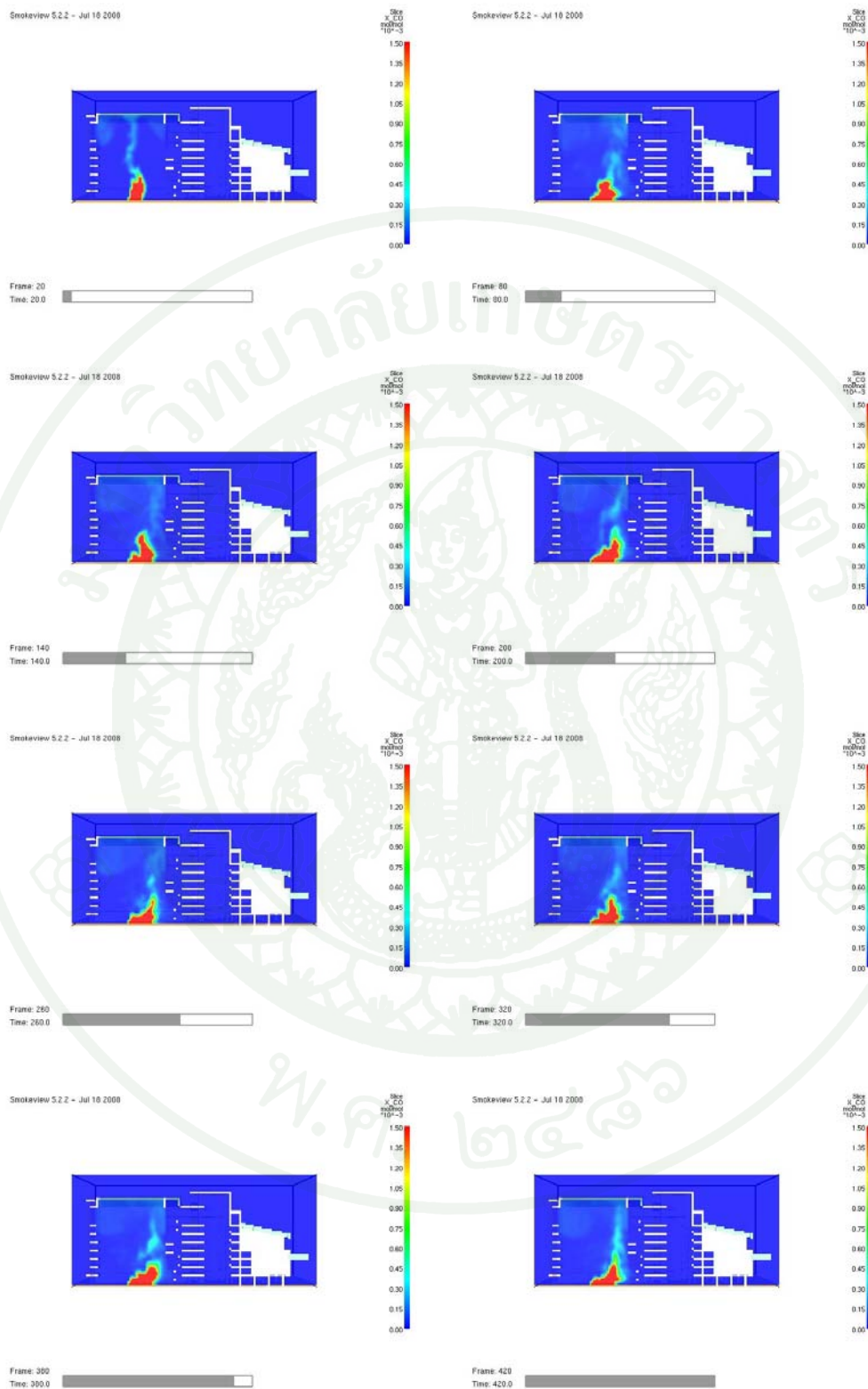
ภาพที่ 111 การกระจายตัวของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ที่ระนาบผ่านกึ่งกลางโถงสูง atrium กรณี
ที่ 6 (14.2 MW, exhaust fan 226.33×2, no smoke reservoir)



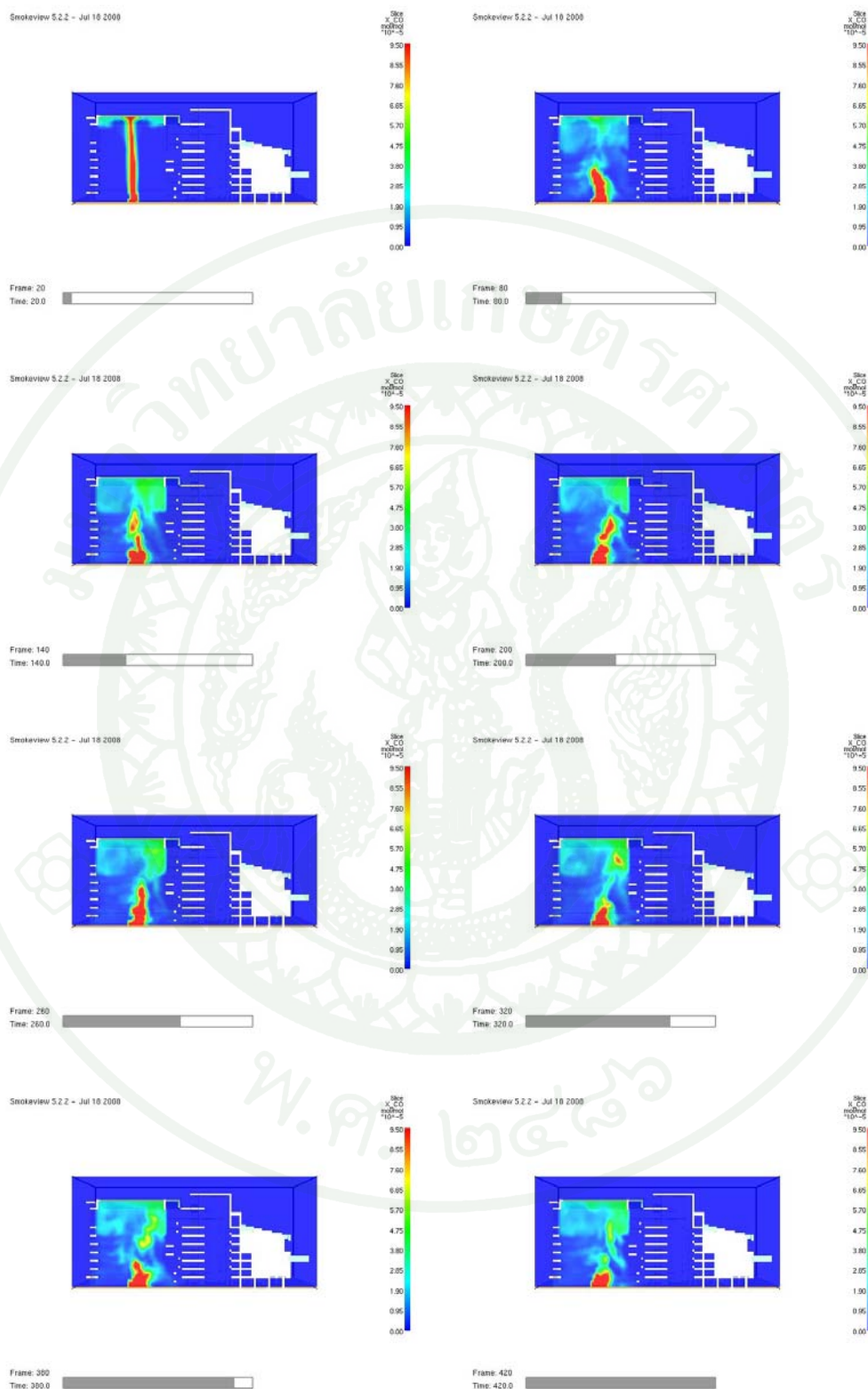
ภาพที่ 112 การกระจายตัวของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ที่ระนาบผ่านกึ่งกลางโถงสูง atrium กรณี
ที่ 7 (2.2 MW, exhaust fan 131.29×2, smoke reservoir)



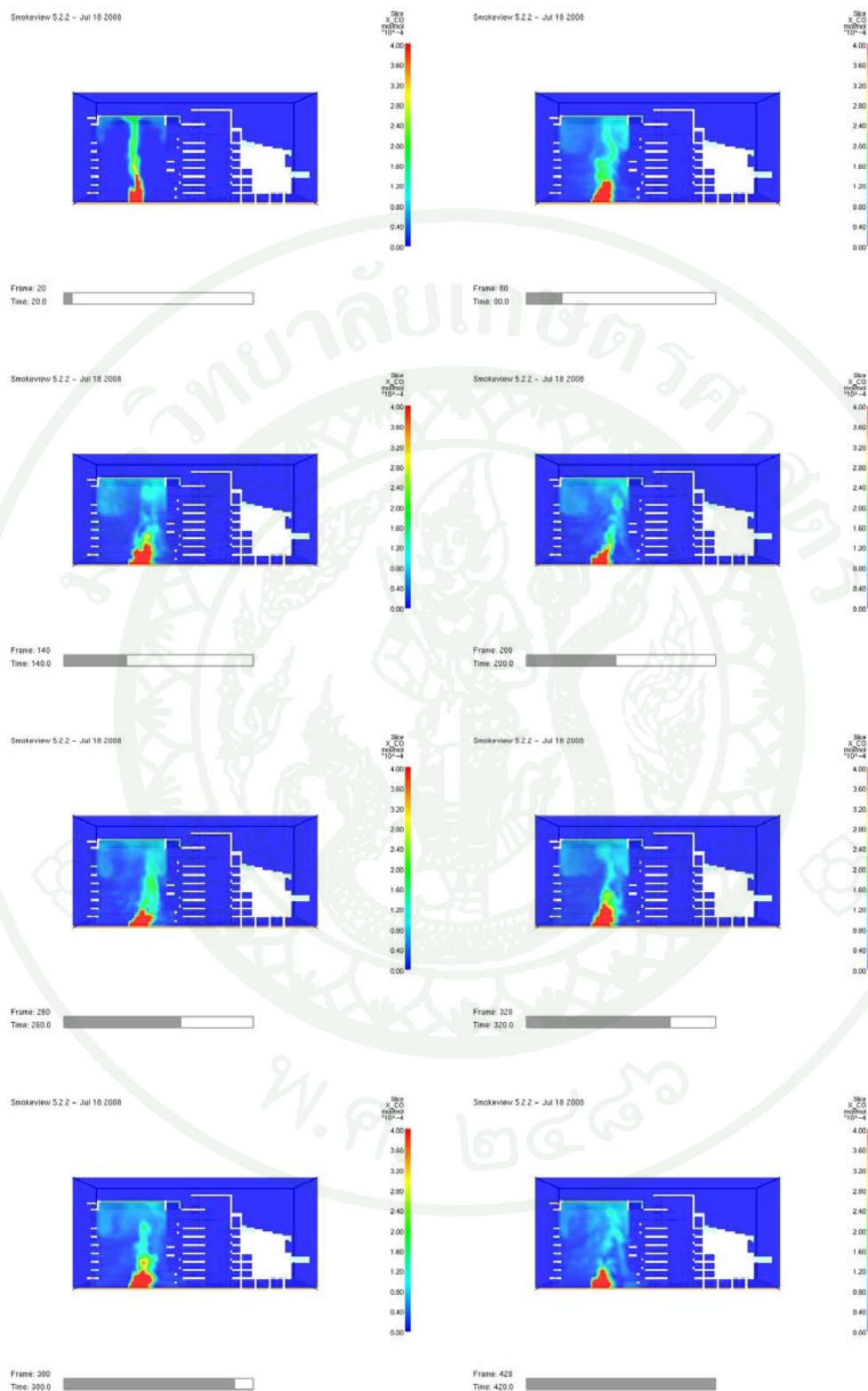
ภาพที่ 113 การกระจายตัวของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ที่ระนาบผ่านกึ่งกลางโถงสูง atrium กรณี
ที่ 8 (7.1 MW, exhaust fan 184.84×2, smoke reservoir)



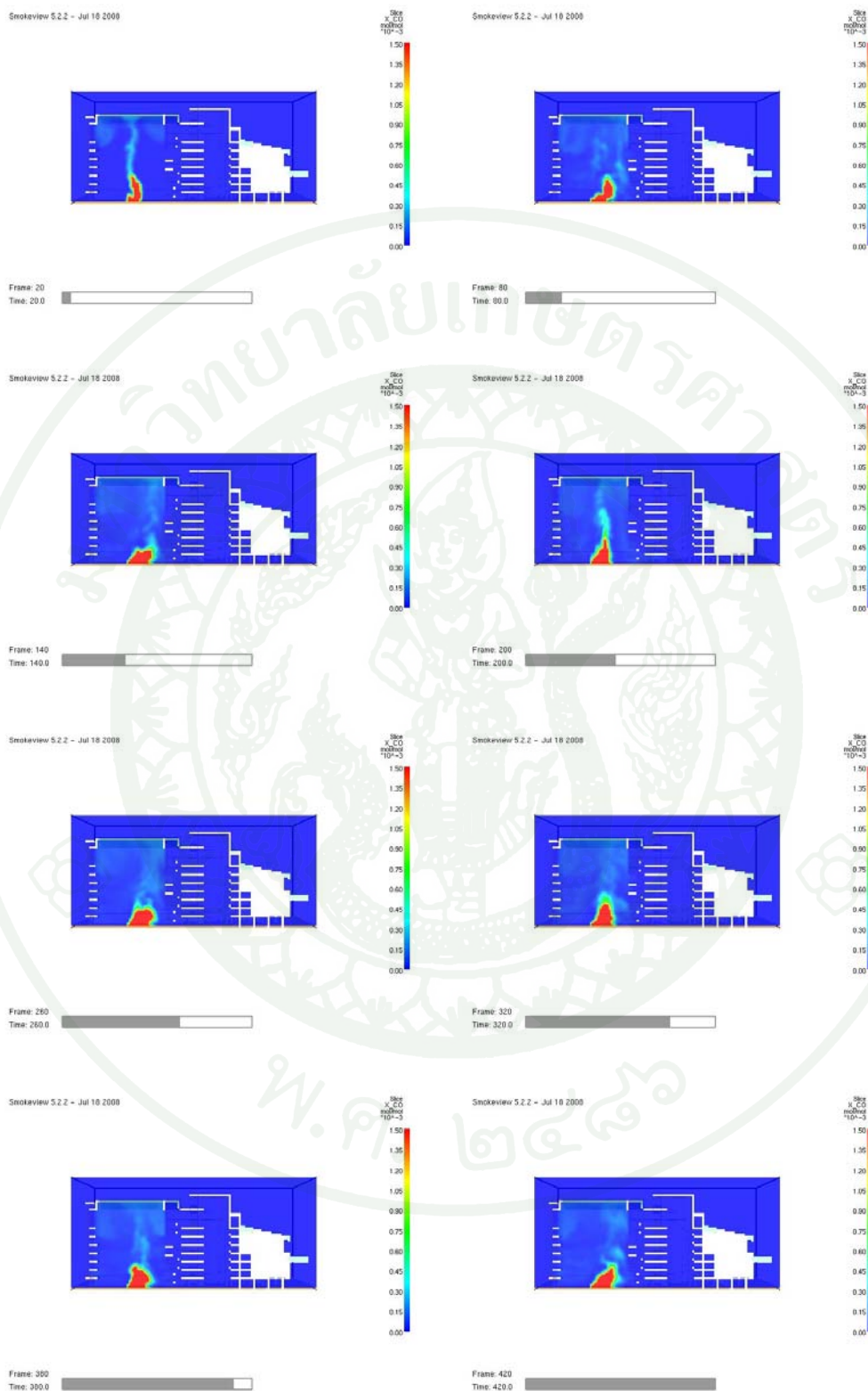
ภาพที่ 114 การกระจายตัวของอุทกาศคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ระนาบผ่านถึงกลางโถงสูง atrium กรณี
ที่ 9 (14.2 MW, exhaust fan 226.33×2, smoke reservoir)



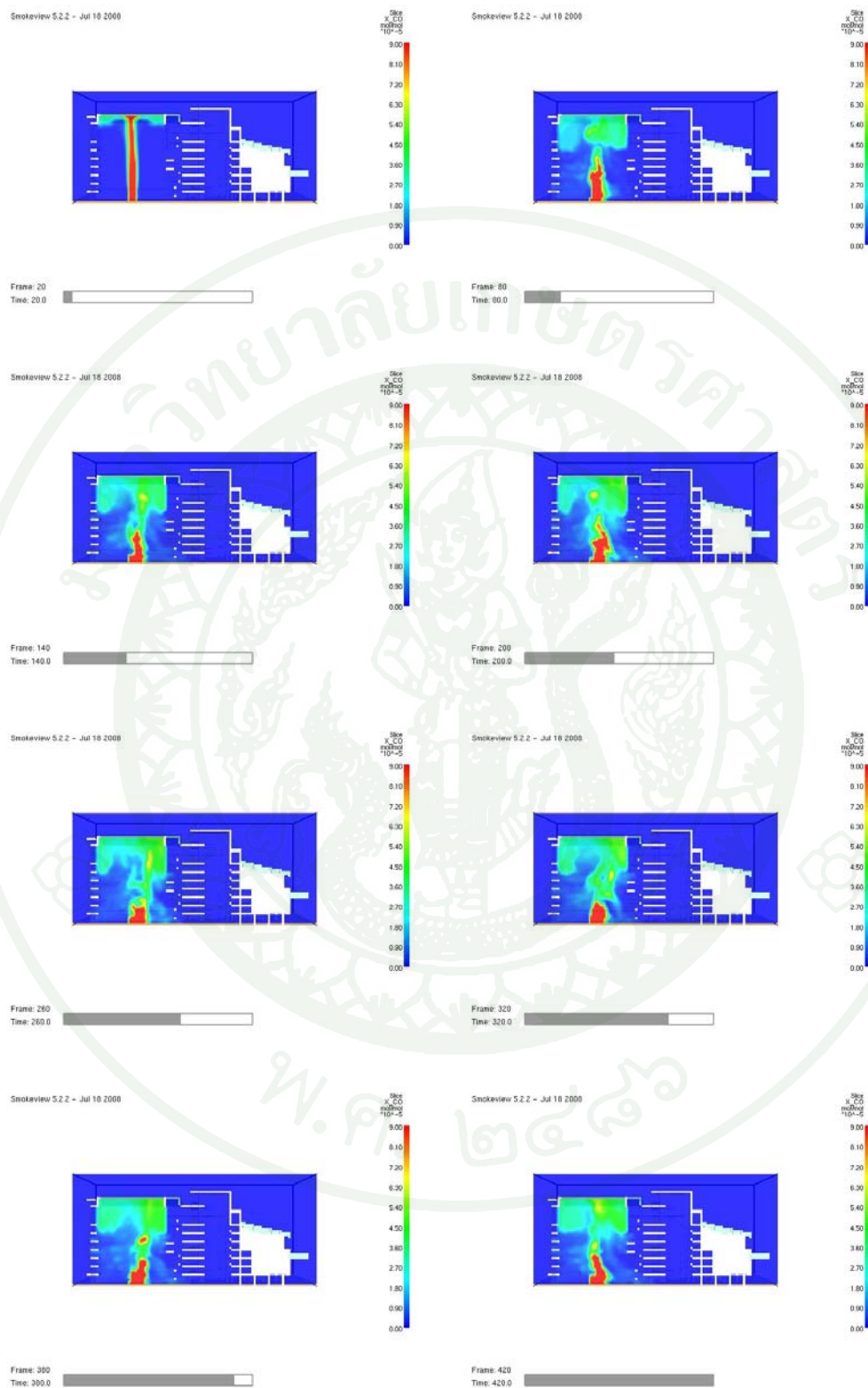
ภาพที่ 115 การกระจายตัวของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ที่ระนาบผ่านกึ่งกลางโถงสูง atrium กรณี
ที่ 10 (2.2 MW, exhaust fan 103.25×2, smoke reservoir)



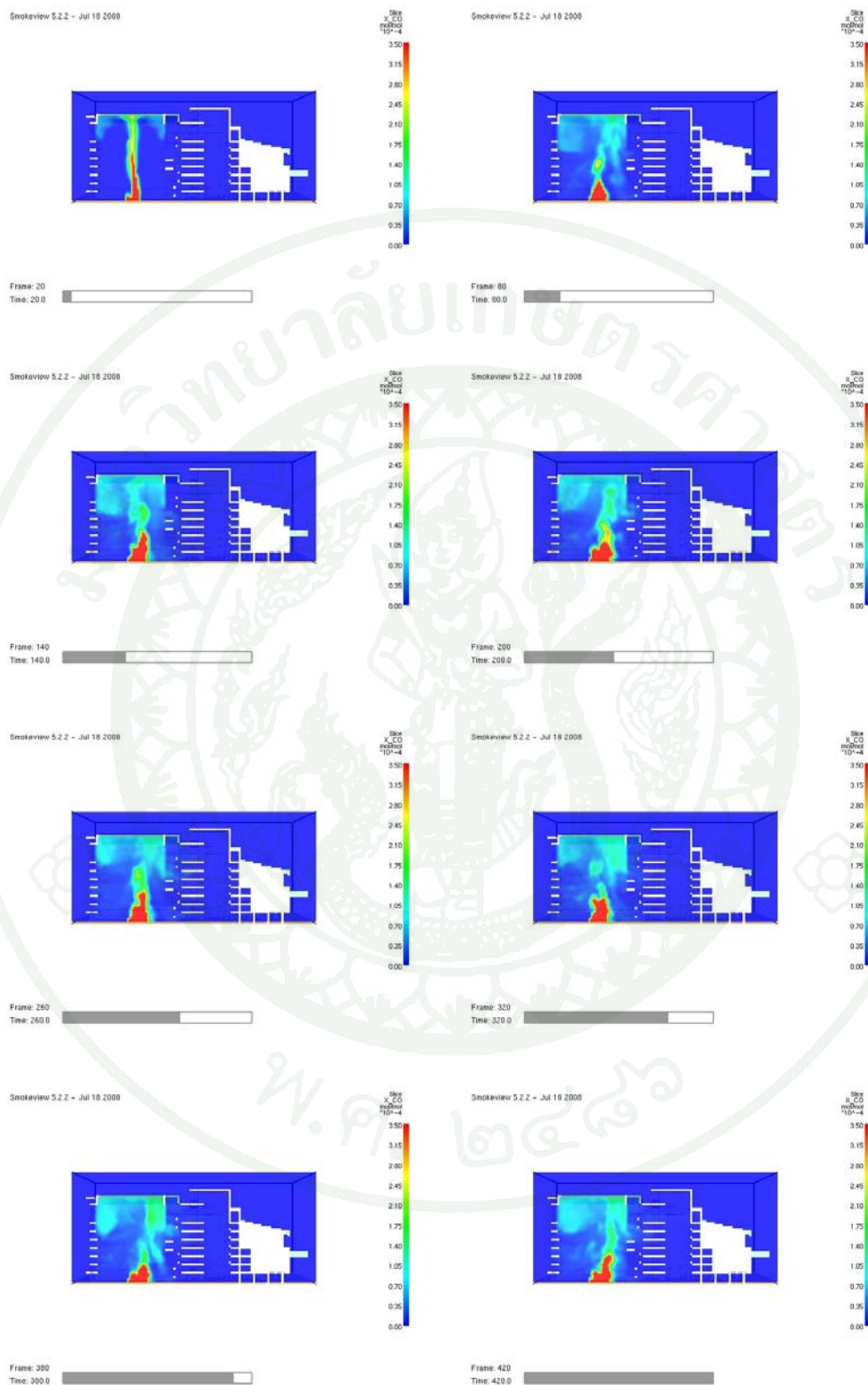
ภาพที่ 116 การกระจายตัวของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ที่ระนาบผ่านกึ่งกลางโถงสูง atrium กรณีที่ 11 (7.1 MW, exhaust fan 145.41×2, smoke reservoir)



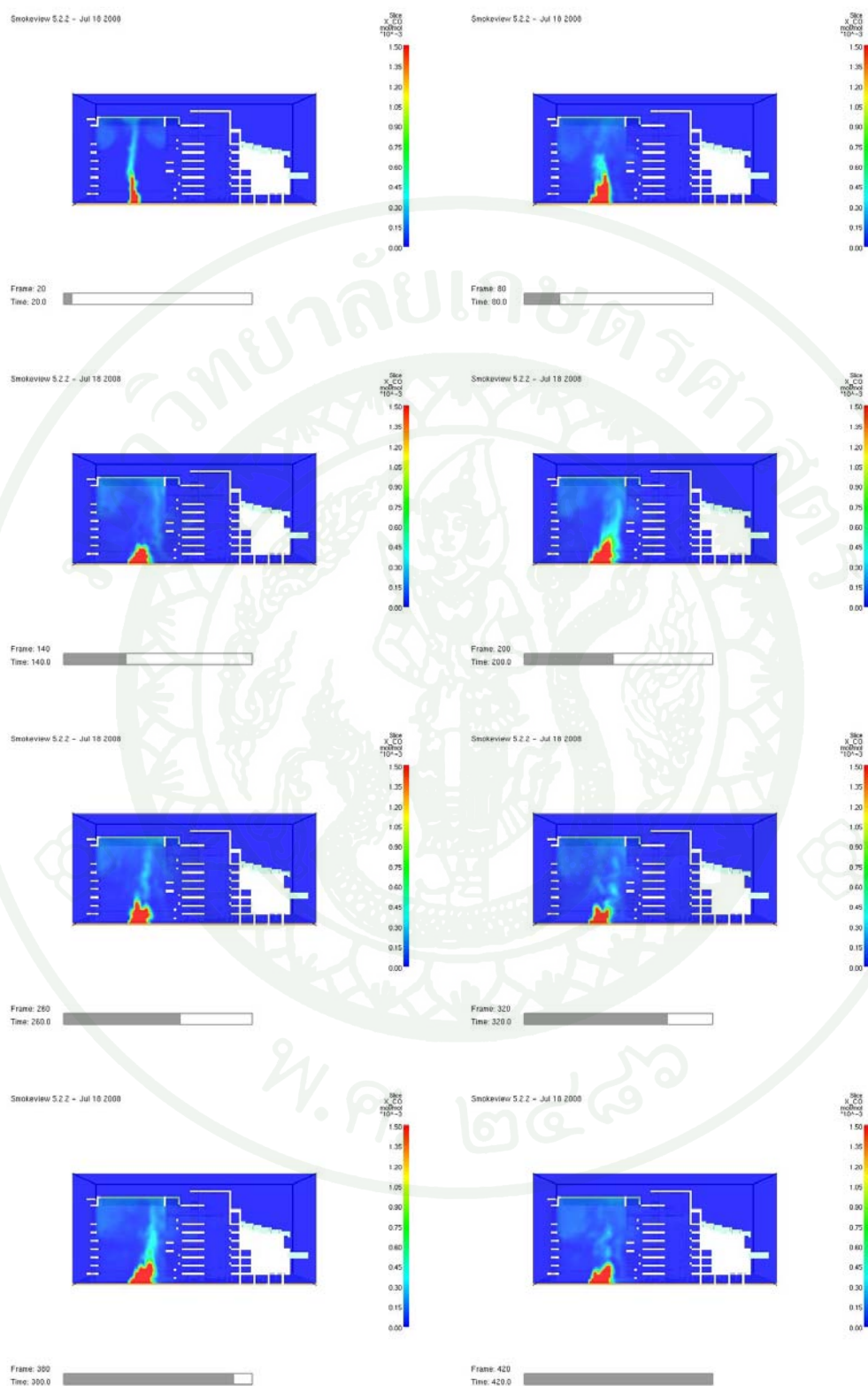
ภาพที่ 117 การกระจายตัวของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ที่ระนาบผ่านกึ่งกลางโถงสูง atrium กรณี
ที่ 12 (14.2 MW, exhaust fan 176.51×2, smoke reservoir)



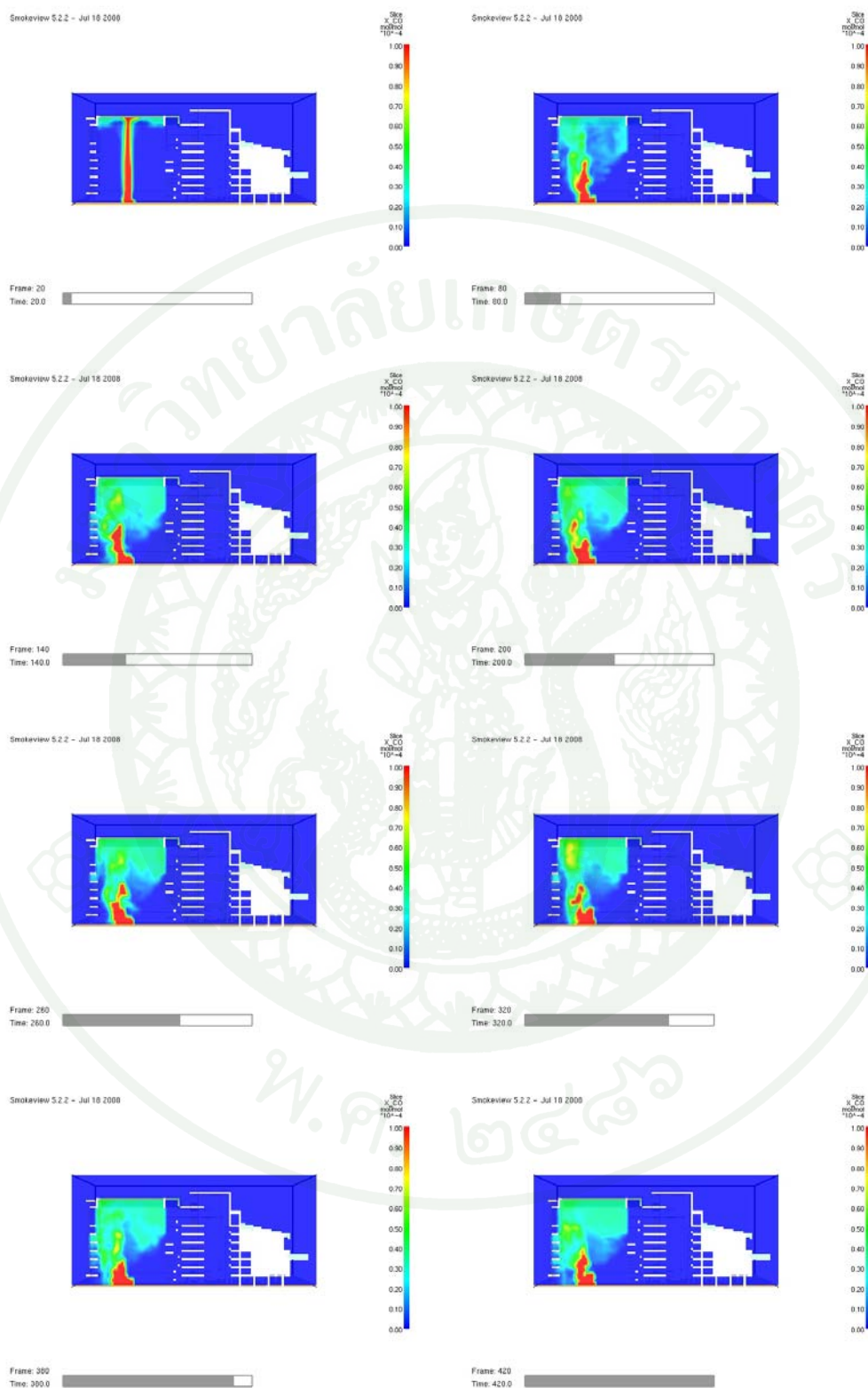
ภาพที่ 118 การกระจายตัวของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ที่ระนาบผ่านถึงกลางโถงสูง atrium กรณี
ที่ 13 (2.2 MW, exhaust fan 83.05×2 , smoke reservoir)



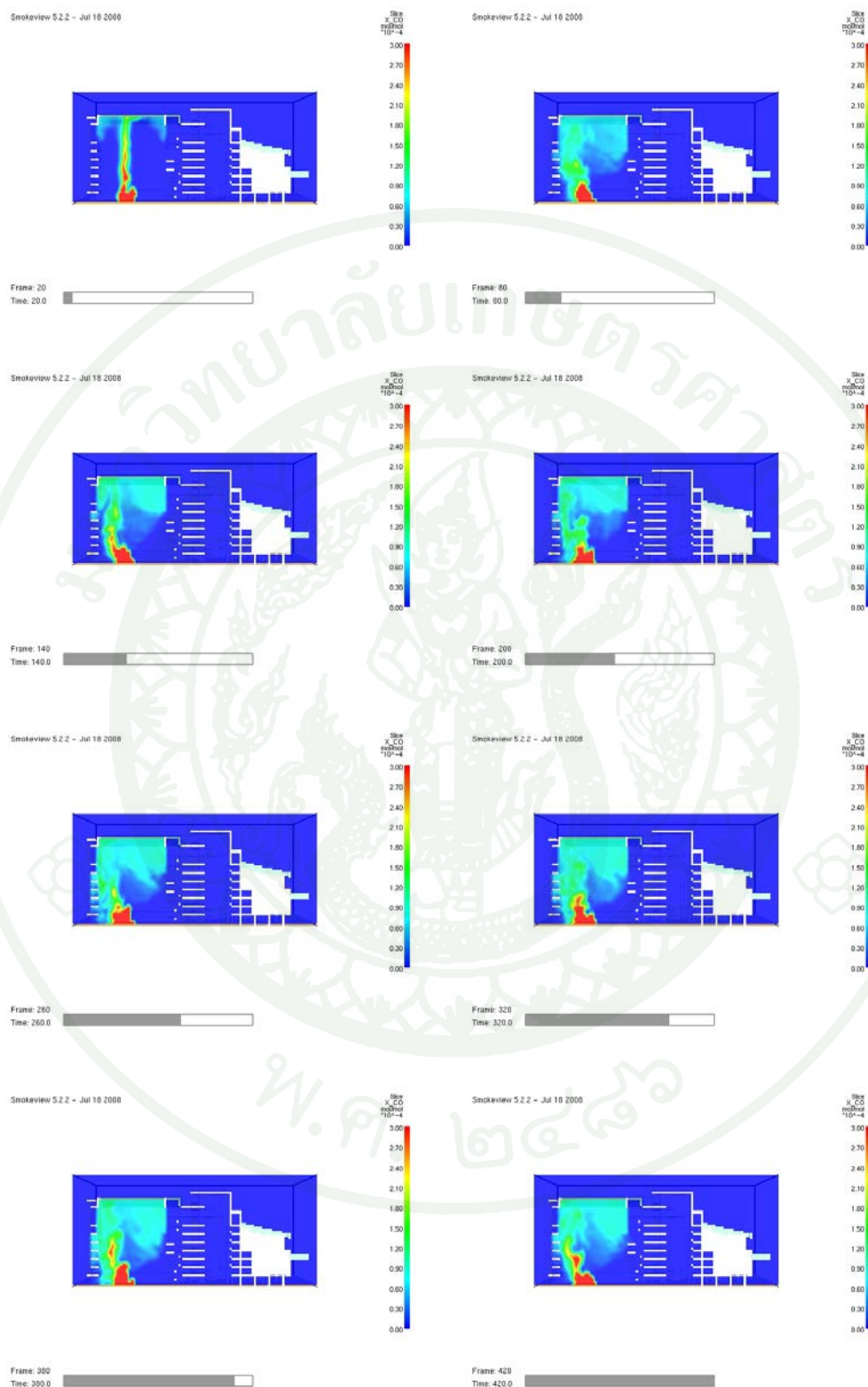
ภาพที่ 119 การกระจายตัวของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ที่ระนาบผ่านกึ่งกลางโถงสูง atrium กรณี
ที่ 14 (7.1 MW, exhaust fan 116.4×2, smoke reservoir)



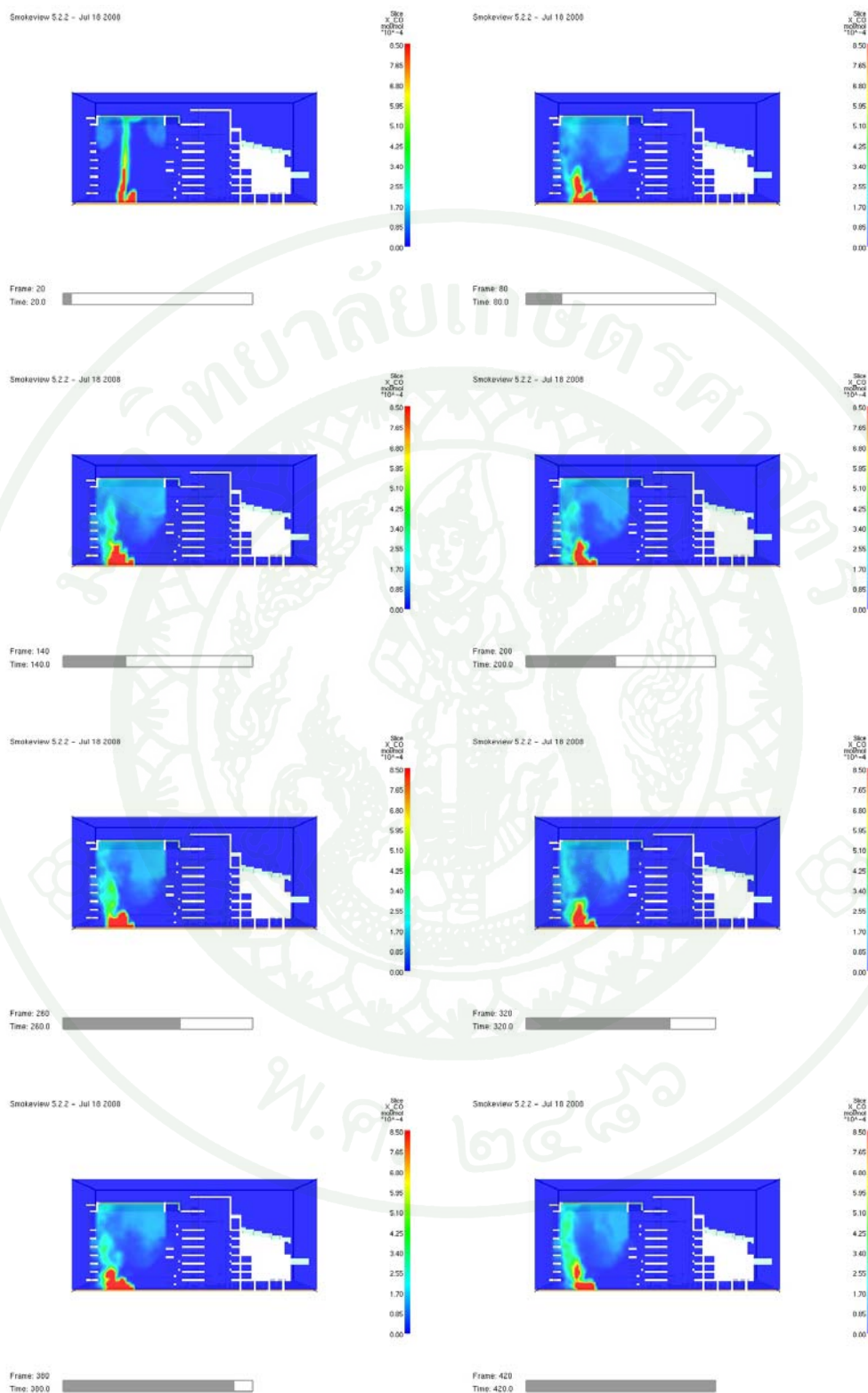
ภาพที่ 120 การกระจายตัวของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ที่ระนาบผ่านกึ่งกลางโด่งสูง atrium กรณี
ที่ 15 (14.2 MW, exhaust fan 140.88×2, smoke reservoir)



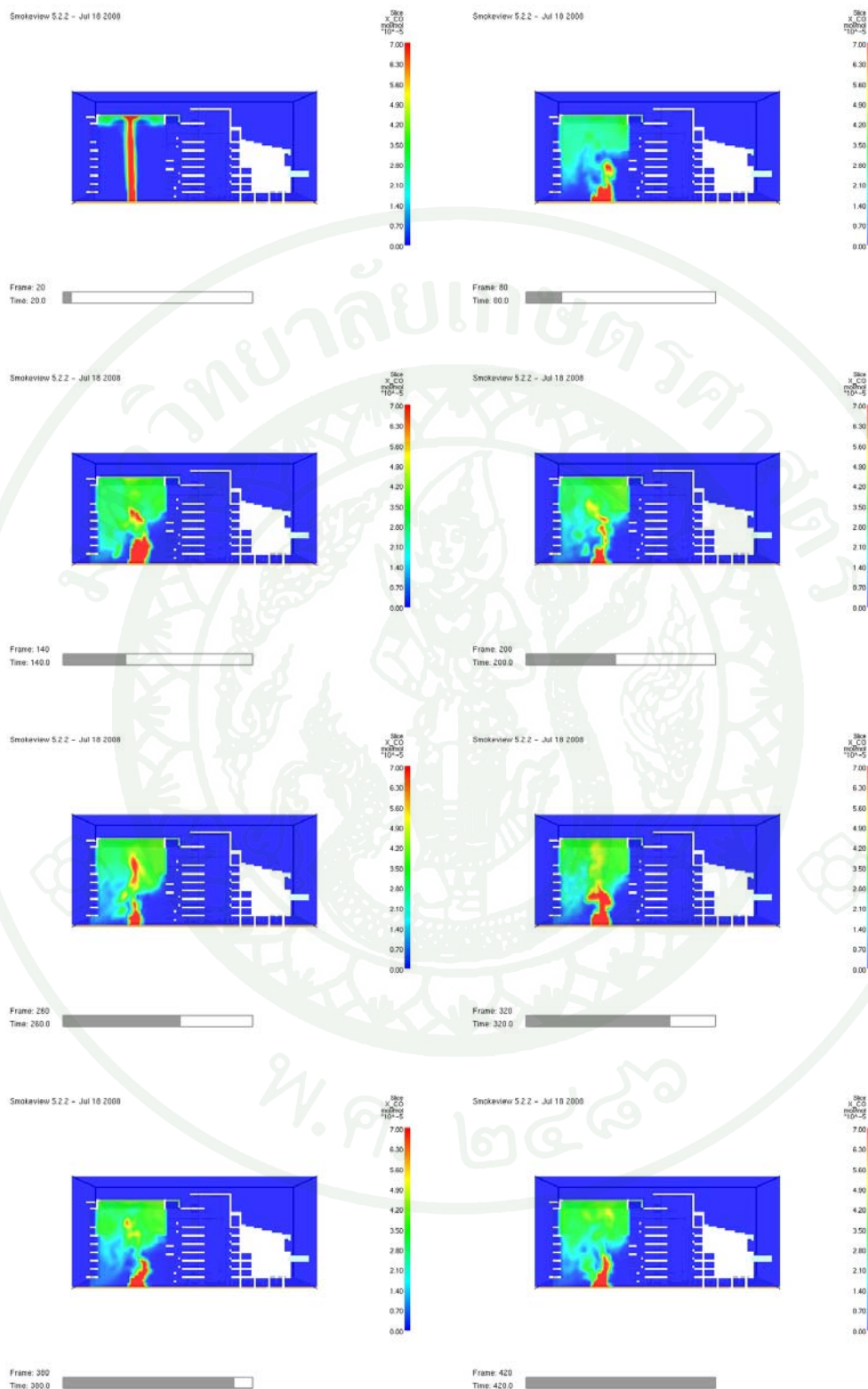
ภาพที่ 121 การกระจายตัวของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ที่ระนาบผ่านกึ่งกลางโถงสูง atrium กรณี
ที่ 16 (2.2 MW, exhaust fan 83.05×2, smoke reservoir, closed windows)



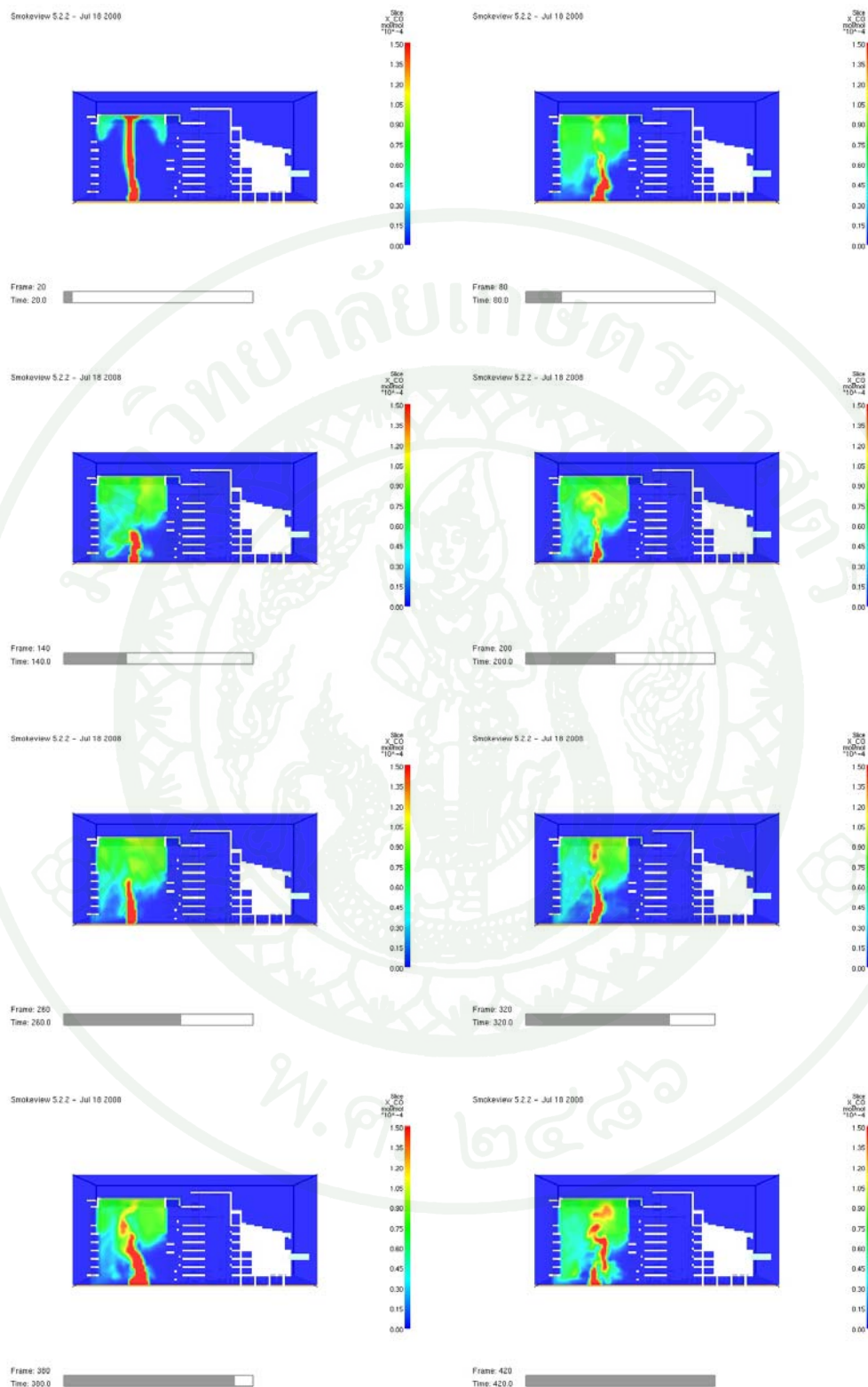
ภาพที่ 122 การกระจายตัวของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ที่ระนาบผ่านกึ่งกลางโถงสูง atrium กรณี
ที่ 17 (7.1 MW, exhaust fan 116.4×2, smoke reservoir, closed windows)



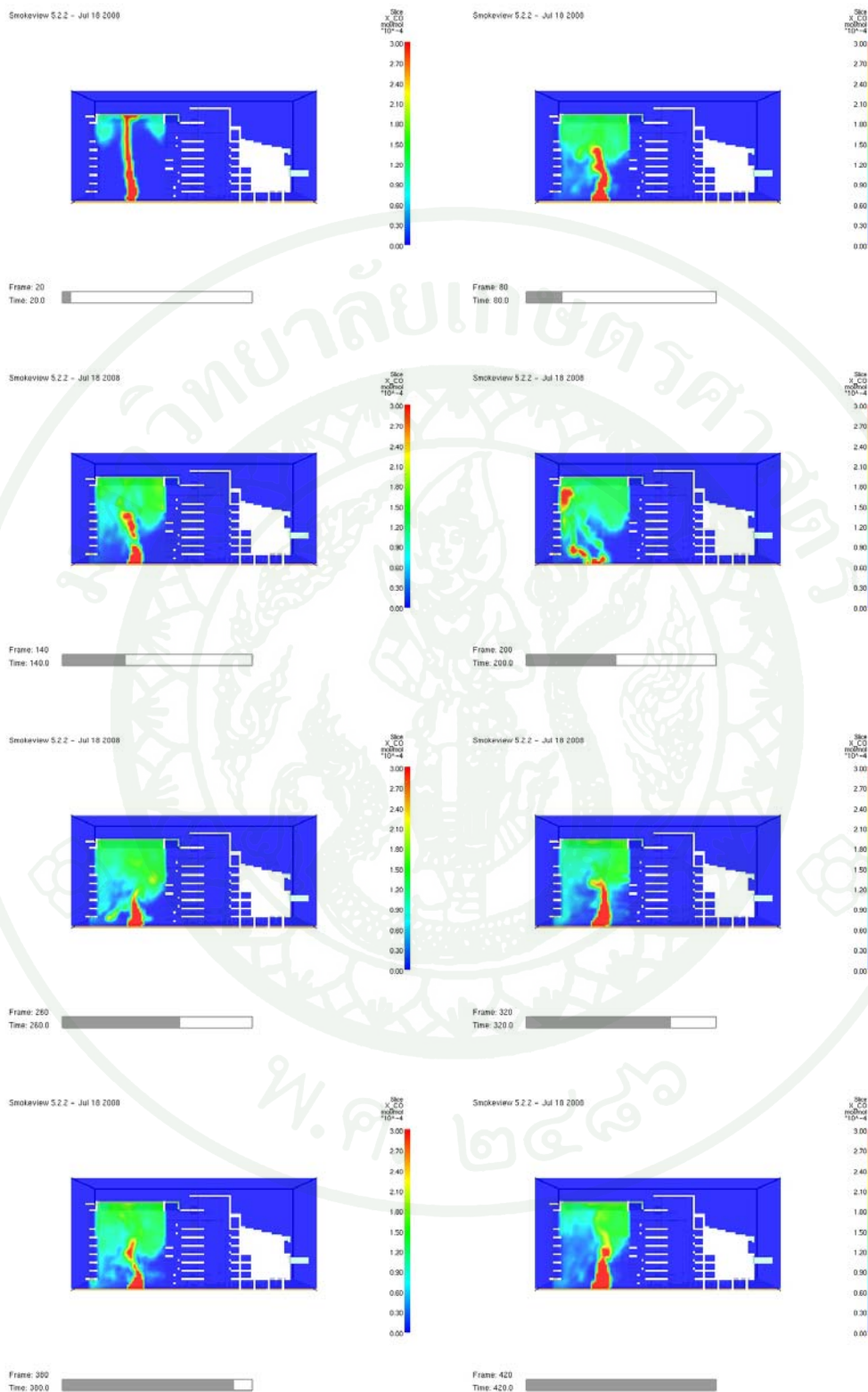
ภาพที่ 123 การกระจายตัวของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ที่ระนาบผ่านถึงกลางโถงสูง atrium กรณี
ที่ 18 (14.2 MW, exhaust fan 140.88×2, smoke reservoir, closed windows)



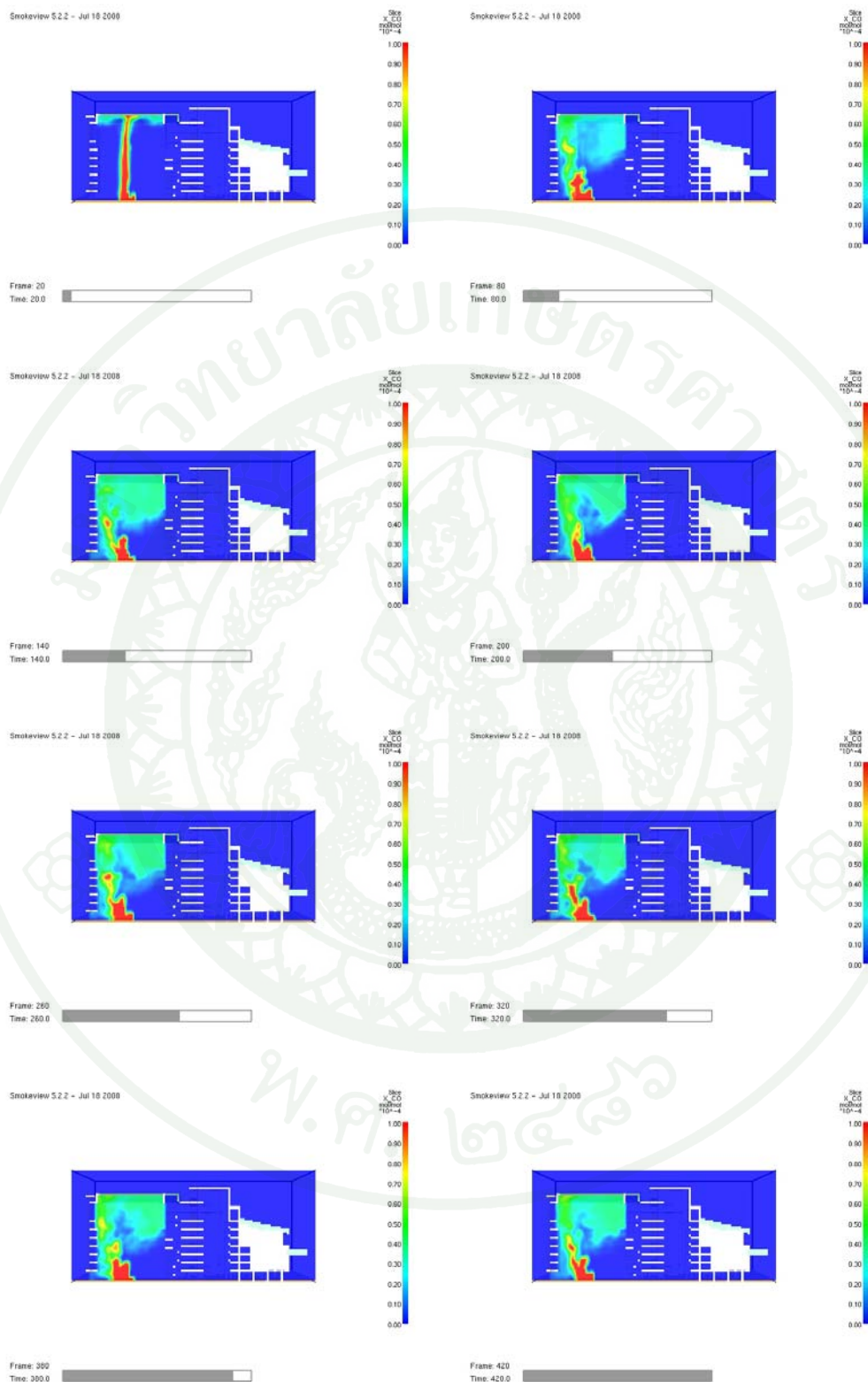
ภาพที่ 124 การกระจายตัวของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ที่ระนาบผ่านกึ่งกลางโถงสูง atrium กรณี
ที่ 19 (2.2 MW, exhaust fan 83.05×2 , smoke reservoir, curtain)



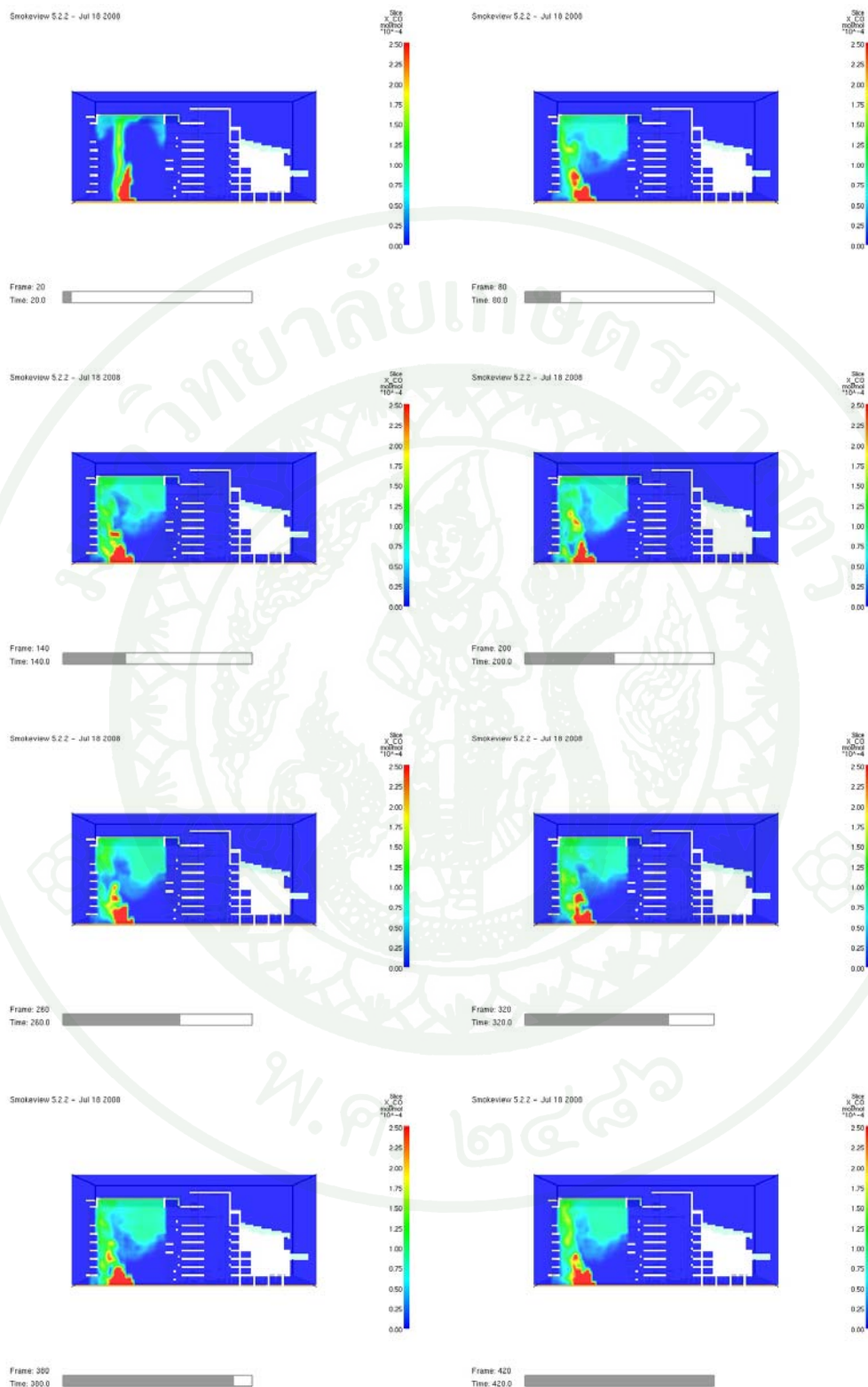
ภาพที่ 125 การกระจายตัวของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ที่ระนาบผ่านกึ่งกลางโถงสูง atrium กรณี
ที่ 20 (7.1 MW, exhaust fan 116.4×2, smoke reservoir, curtain)



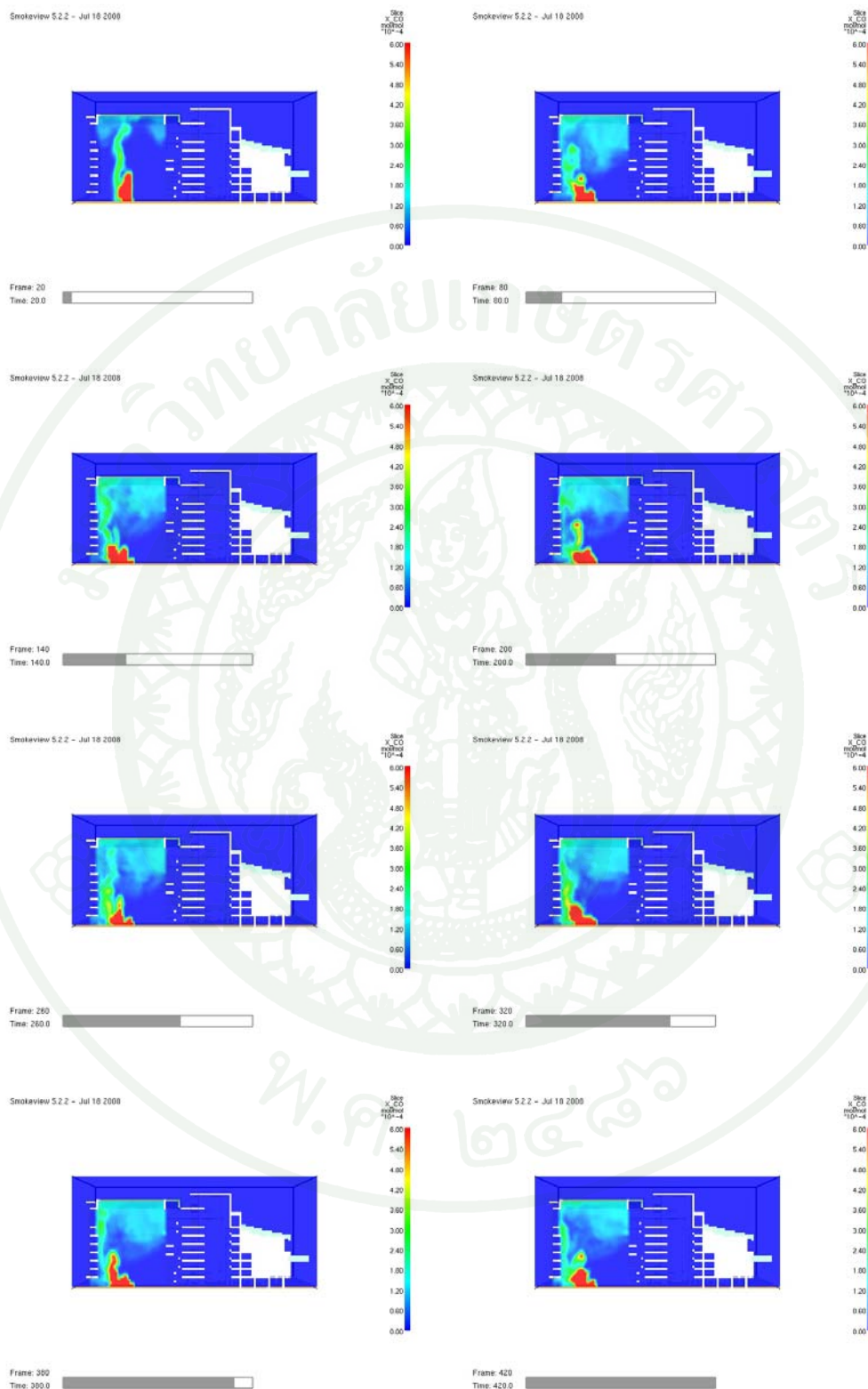
ภาพที่ 126 การกระจายตัวของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ที่ระนาบผ่านถึงกลางโถงสูง atrium กรณี
ที่ 21 (14.2 MW, exhaust fan 140.88×2, smoke reservoir, curtain)



ภาพที่ 127 การกระจายตัวของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ที่ระนาบผ่านกึ่งกลางโถงสูง atrium กรณี
ที่ 22 (2.2 MW, exhaust fan 83.05×2, smoke reservoir, curtain, closed windows)



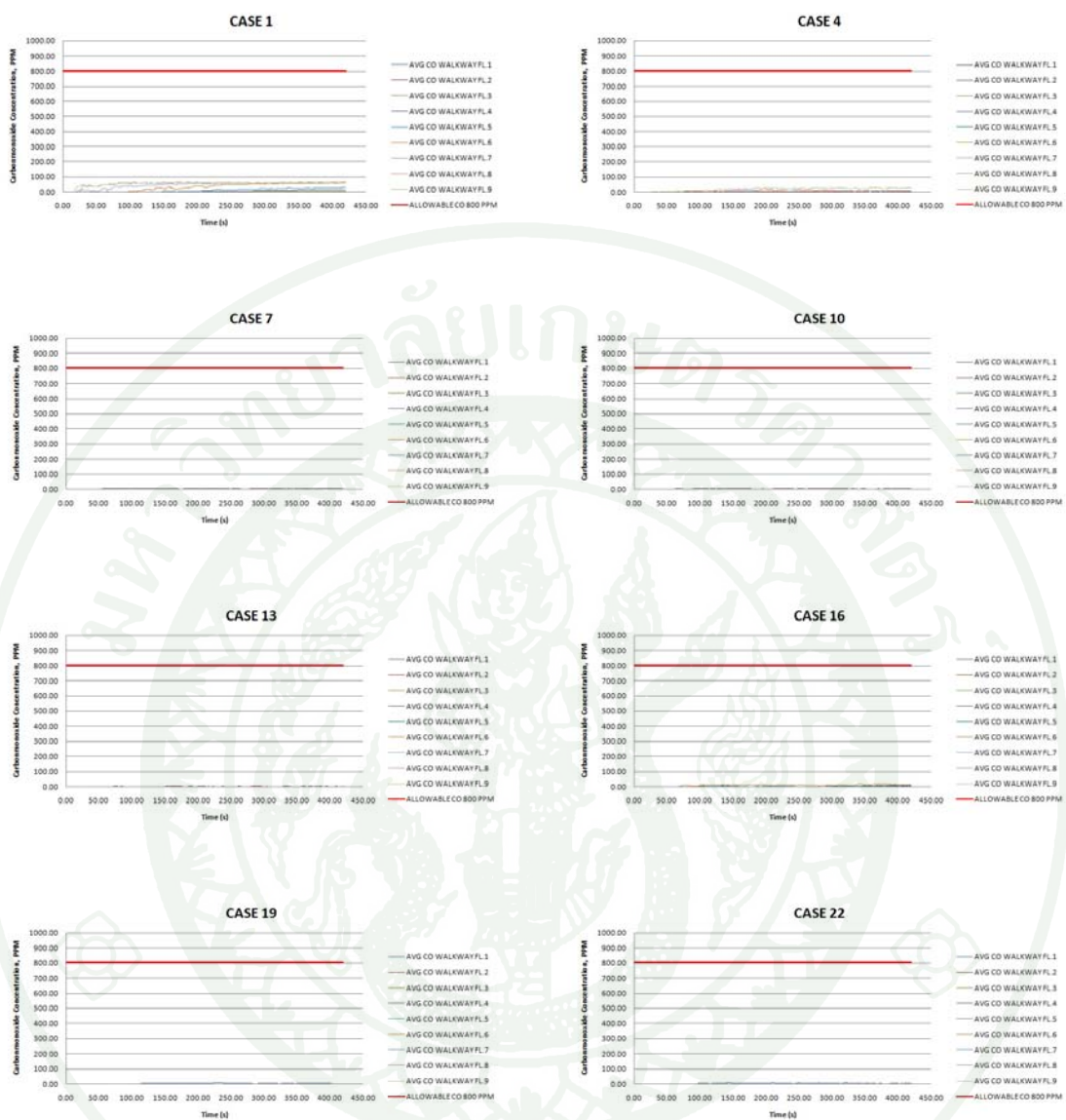
ภาพที่ 128 การกระจายตัวของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ที่ระนาบผ่านกึ่งกลางโถงสูง atrium กรณี
ที่ 23 (7.1 MW, exhaust fan 16.4×2, smoke reservoir, curtain, closed windows)



ภาพที่ 129 การกระจายตัวของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ที่ระนาบผ่านถึงกลางโถงสูง atrium กรณี
ที่ 24 (14.2 MW, exhaust fan 140.88×2, smoke reservoir, curtain, closed windows)

ตารางที่ 19 ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เฉลี่ยบริเวณทางเดินไปสู่ทางหนีไฟที่อัตราการปล่อยความร้อนของกองเพลิงขนาด 2.2 MW

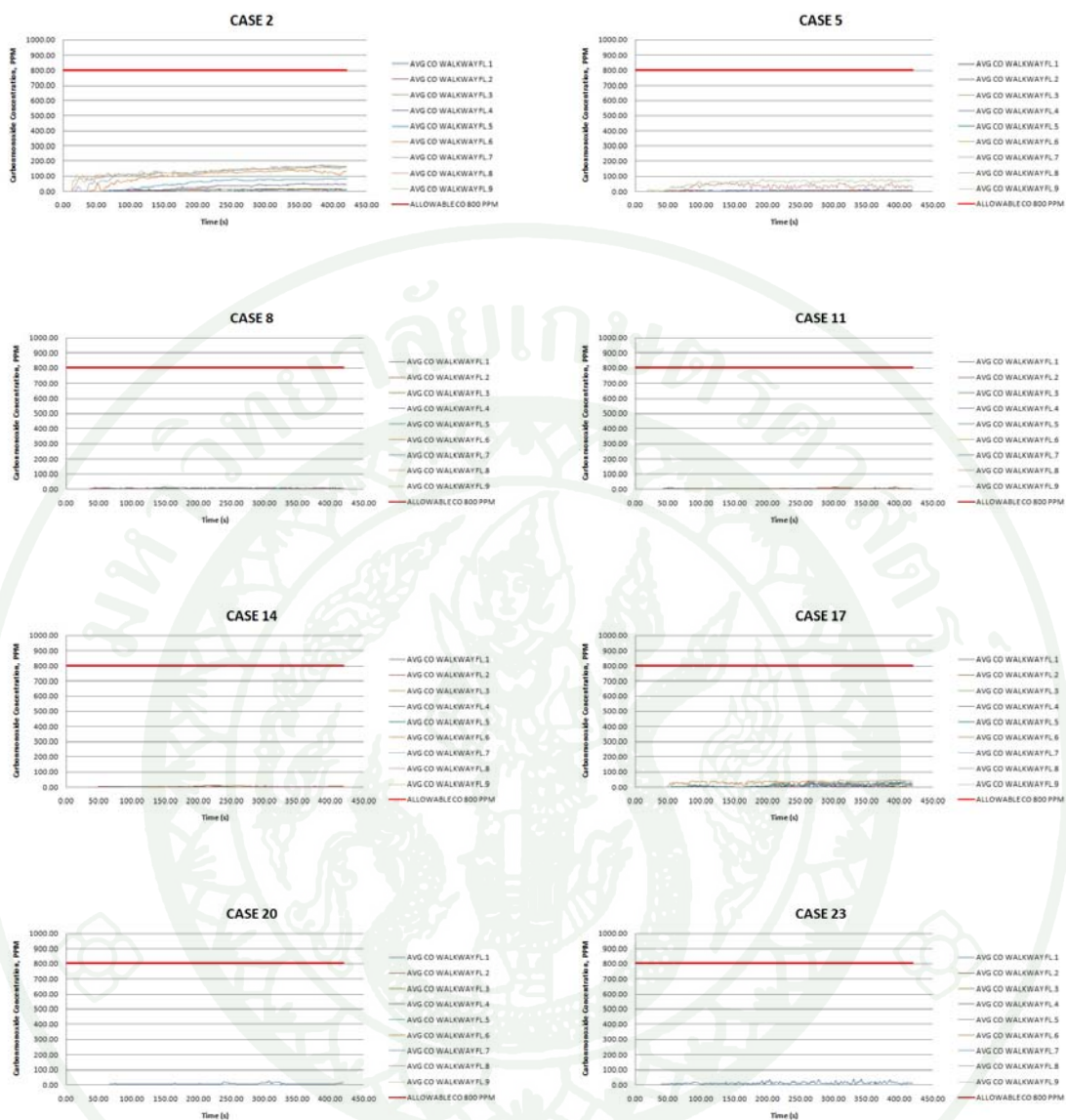
กรณีที่	ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เฉลี่ยบริเวณทางเดินไปสู่ทางหนีไฟ (PPM)								
	ชั้น 1	ชั้น 2	ชั้น 3	ชั้น 4	ชั้น 5	ชั้น 6	ชั้น 7	ชั้น 8	ชั้น 9
1	2.20	2.94	3.50	8.16	18.94	50.30	58.64	60.12	59.41
4	2.79	2.05	0.48	0.63	0.61	1.00	1.20	10.96	24.22
7	2.31	1.85	0.37	0.32	0.36	0.62	0.00	0.00	0.00
10	1.74	1.81	0.43	0.44	0.68	0.85	0.00	0.00	0.00
13	1.62	1.28	0.31	0.83	0.74	1.06	0.00	0.00	0.00
16	0.51	1.15	3.92	2.72	3.58	11.14	0.00	0.00	0.00
19	2.81	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
22	3.46	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00



ภาพที่ 130 ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เฉลี่ยบริเวณทางเดินไปสู่ทางหนีไฟที่อัตราการปล่อยความร้อนของกองเพลิงขนาด 2.2 MW

ตารางที่ 20 ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์เฉลี่ยบริเวณทางเดินไปสู่ทางหนีไฟที่อัตราการปล่อยความร้อนของกองเพลิงขนาด 7.1 MW

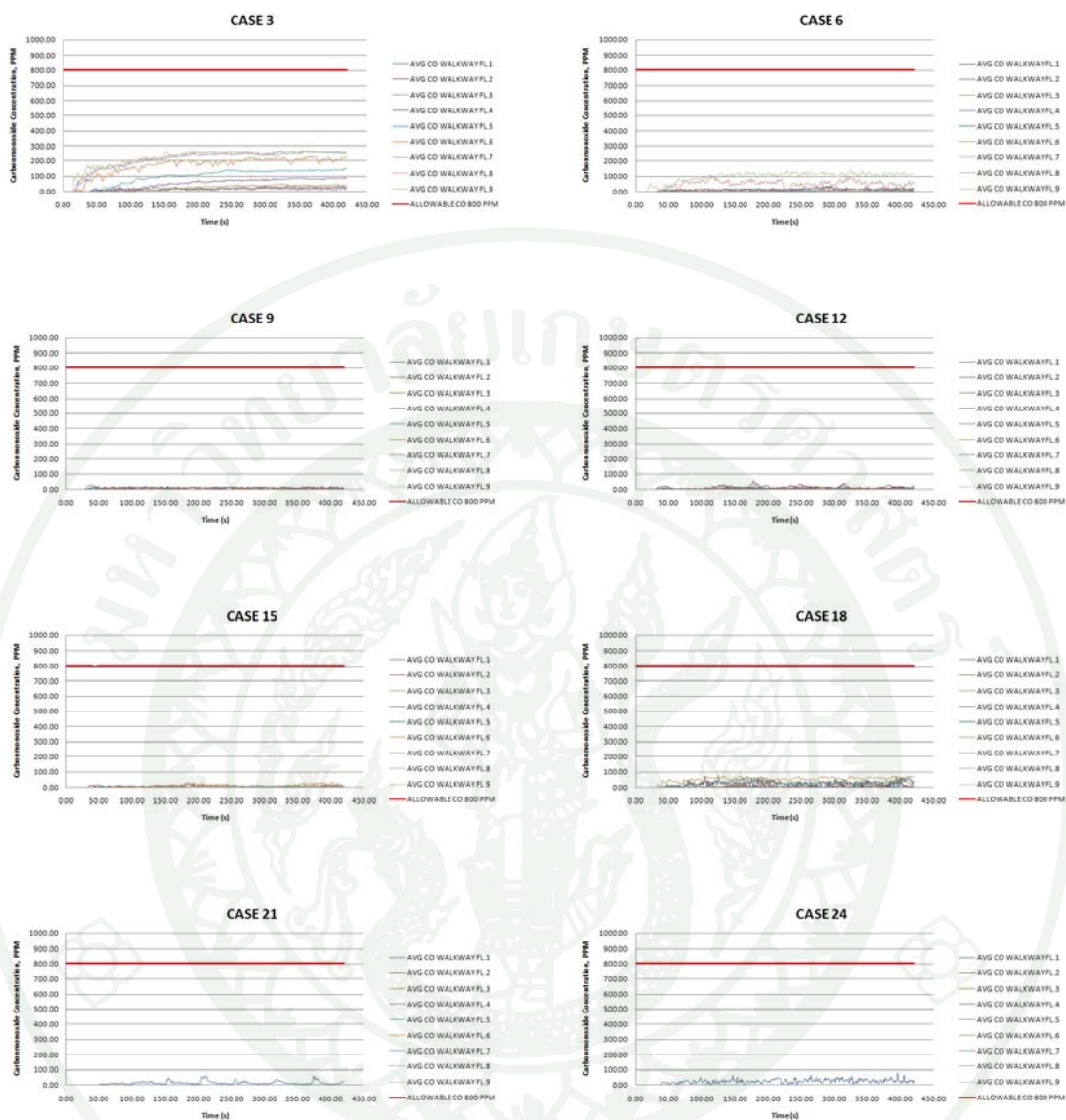
กรณีที่	ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์เฉลี่ยบริเวณทางเดินไปสู่ทางหนีไฟ (PPM)								
	ชั้น 1	ชั้น 2	ชั้น 3	ชั้น 4	ชั้น 5	ชั้น 6	ชั้น 7	ชั้น 8	ชั้น 9
2	9.21	12.69	15.18	38.10	74.06	128.10	145.79	152.36	149.29
5	7.96	6.63	1.69	2.11	2.69	4.43	2.58	32.38	67.15
8	5.73	5.78	1.32	1.50	1.74	1.19	0.00	0.00	0.00
11	4.97	5.18	1.29	1.90	2.60	2.09	0.00	0.00	0.00
14	3.30	4.74	1.47	3.16	2.06	6.56	0.99	3.08	0.01
17	3.32	8.16	17.24	16.67	20.31	35.10	0.00	0.00	0.00
20	6.62	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
23	13.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00



ภาพที่ 131 ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เฉลี่ยบริเวณทางเดินไปสู่ทางหนีไฟที่อัตราการปล่อยความร้อนของกองเพลิงขนาด 7.1 MW

ตารางที่ 21 ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์เฉลี่ยบริเวณทางเดินไปสู่ทางหนีไฟที่อัตราการปล่อยความร้อนของกองเพลิงขนาด 14.2 MW

กรณีที่	ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์เฉลี่ยบริเวณทางเดินไปสู่ทางหนีไฟ (PPM)								
	ชั้น 1	ชั้น 2	ชั้น 3	ชั้น 4	ชั้น 5	ชั้น 6	ชั้น 7	ชั้น 8	ชั้น 9
3	16.64	24.20	36.15	75.87	134.15	203.59	246.59	256.65	251.99
6	18.52	16.20	3.75	4.38	4.50	10.12	6.33	49.97	115.05
9	9.58	9.76	1.93	1.45	2.00	2.10	0.00	0.00	0.00
12	10.80	14.12	3.47	5.86	4.63	3.42	0.00	0.00	0.00
15	6.30	8.19	3.89	5.78	5.30	13.51	2.01	10.20	6.56
18	4.46	11.46	23.71	24.90	30.92	55.31	0.00	0.00	0.00
21	13.98	0.00	0.00	0.00	0.02	0.07	0.09	0.04	0.00
24	27.53	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00



ภาพที่ 132 ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เฉลี่ยบริเวณทางเดินไปสู่ทางหนีไฟที่อัตราการปล่อยความร้อนของกองเพลิงขนาด 14.2 MW

วิจารณ์

ผลจากการจำลองเหตุการณ์การเกิดเพลิงไหม้ภายในอาคารนวัตกรรมการจัดการและการท่องเที่ยว มหาวิทยาลัยบูรพา จังหวัดชลบุรี กรณีเกิดเหตุการณ์ร้ายแรงที่สุดพบว่า

1. กรณีที่อาคารไม่มีระบบควบคุมควันไฟติดตั้งเมื่อเกิดเหตุเพลิงไหม้ควันร้อนที่เกิดขึ้นจะแพร่กระจายไปยังเส้นทางอพยพหนีไฟของอาคารทำให้ผู้ใช้อาคารไม่สามารถอพยพไปยังบันไดหนีไฟได้ โดยเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวอุณหภูมิของควันไฟภายในช่องทางเดินชั้น 9 บริเวณที่ติดกับโถง atrium ซึ่งเป็นชั้นสูงสุดของอาคารมีอุณหภูมิเฉลี่ย 40.16 63.71 และ 91.67 องศาเซลเซียส ที่กองเพลิงขนาด 2.2 7.1 และ 14.2 MW ตามลำดับ ซึ่งสำหรับกรณีกองเพลิง 7.1 และ 14.2 MW เป็นอุณหภูมิสูงกว่า 49 องศาเซลเซียส ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐาน NFPA 130 ที่ต้องป้องกันอุณหภูมิเฉลี่ยภายในช่องทางเดินที่เชื่อมต่อไปสู่ทางหนีไฟของทุกชั้นไม่ให้สูงกว่า 49 องศาเซลเซียส และควันไฟที่เกิดขึ้นจากกองเพลิงทุกขนาดได้เข้าปกคลุมเต็มช่องทางเดินทุกชั้น ซึ่งไม่เป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐาน NFPA 101 ที่ต้องทำให้ความสูงของท้องควันเหนือพื้นชั้นสูงสุดที่เชื่อมต่อกับโถง atrium มีความสูงอย่างน้อย 1.85 เมตร ตลอดเวลาการอพยพ ส่วนความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ภายในช่องทางเดินของชั้น 9 8 และ 7 สำหรับกรณีที่อาคารไม่มีระบบระบายควันและระบบควบคุมควันไฟใดๆ สำหรับกองเพลิงมีขนาด 2.2 7.1 และ 11.4 MW มีค่าอยู่ในช่วง 60 150 และ 250 ppm ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าค่าที่กำหนดโดยมาตรฐาน NFPA 130

2. เมื่อทำการปรับปรุงระบบควบคุมควันไฟภายในอาคารนวัตกรรมการจัดการและการท่องเที่ยว มหาวิทยาลัยบูรพา จังหวัดชลบุรี โดยอ้างอิงมาตรฐาน NFPA 92B และมาตรฐาน NFPA 204 ด้วยการติดตั้งระบบควบคุมควันไฟแบบเครื่องกลโดยใช้พัดลมระบายควันพบว่า

2.1 เมื่อติดตั้งระบบควบคุมควันไฟโดยติดตั้งพัดลมระบายควันเพียงอย่างเดียวโดยไม่มีการติดตั้งบ่อกักควัน (smoke reservoir) เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวอุณหภูมิของช่องทางเดินที่ชั้น 9 ของอาคารบริเวณที่ติดกับโถง atrium สำหรับการจำลองกรณีกองเพลิงขนาด 2.2 และ 7.1 MW มีอุณหภูมิเฉลี่ย 30.50 และ 39.88 องศาเซลเซียส ซึ่งต่ำกว่า 49 องศาเซลเซียส เป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐาน NFPA 130 แต่ในขณะที่การจำลองกรณีกองเพลิงขนาด 14.2 MW อุณหภูมิเฉลี่ยของช่องทางเดินชั้น 9 ของอาคารบริเวณที่ติดกับโถง atrium มีอุณหภูมิ 50.71 องศาเซลเซียส ซึ่งสูงกว่า 49 องศาเซลเซียส ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐาน NFPA 130 แต่อย่างไรก็ดีเมื่อพิจารณาเรื่องการควบคุมระดับความสูงของท้องควันเหนือพื้นชั้นสูงสุดที่เชื่อมต่อกับ

โถง atrium พบว่ากองเพลิงทุกกรณีเมื่อมีการติดตั้งพัฒมระบายควันโดยไม่มีการติดตั้งบ่อกักควัน ไม่สามารถระบายควันออกเพื่อรักษาระดับความสูงของห้องควันให้มีความสูงอย่างน้อย 1.85 เมตร ได้ ควันไฟที่เกิดขึ้นได้เข้าปกคลุมเต็มช่องทางเดินทุกชั้นของอาคาร ซึ่งไม่เป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐาน NFPA 101

2.2 อัตราการระบายควันของพัฒมระบายควันที่เหมาะสมสำหรับกองเพลิงทุกขนาดควรกำหนดให้เป็นไปตามอัตราการระบายควันกรณีห้องควันอยู่เหนือพื้นที่ 7 คือห้องควันสูงจากระดับพื้นที่ชั้นล่าง 23.45 เมตร ทั้งนี้นอกจากจะเป็นไปตามมาตรฐาน NFPA 92B หัวข้อ 4.4.1.1 ที่ระบุการออกแบบความหนาของชั้นควันให้มีความหนาขั้นต่ำประมาณ 20% ของความสูงพื้นที่ถึงเพดานแล้วยังพบว่าการกำหนดให้ห้องควันอยู่ที่เหนือพื้นที่ 9 และ 8 ซึ่งห้องควันอยู่ที่ 31.15 และ 26.85 เมตรตามลำดับจะเป็นอัตราการระบายควันที่จะทำให้เกิดปรากฏการณ์ plugholing ซึ่งสังเกตได้จากควันไฟมีการเอียงตัวออกด้านข้างไม่ลอยตัวขึ้นไปในแนวดิ่ง

2.3 การติดตั้งระบบควบคุมควันไฟโดยติดตั้งพัฒมระบายควันให้เป็นไปตามอัตราการระบายควันกรณีห้องควันอยู่เหนือพื้นที่ 7 มีบ่อดักควันครอบคลุมตั้งแต่ระดับชั้นคาเฟ่ลงมาถึงระดับพื้นที่ชั้น 7 และทำการปิดประตูด้านหลังอาคารร่วมด้วย สำหรับกองเพลิงทุกขนาดก็ยังไม่พบว่าระบบทั้งหมดก็ยังไม่เพียงพอที่จะทำให้ผู้ใช้อาคารที่ชั้น 6 5 4 3 และ 2 สามารถอพยพไปยังบันไดหนีไฟได้เนื่องจากควันไฟยังมีการแพร่กระจายไปปกคลุมโดยลำควันที่เอียงไปทางด้านหน้าต่างที่ได้ทำการปิดไว้

2.4 การติดตั้งระบบควบคุมควันไฟโดยติดตั้งพัฒมระบายควันเป็นไปตามอัตราการระบายควันกรณีห้องควันอยู่เหนือพื้นที่ 7 มีบ่อดักควันครอบคลุมตั้งแต่ระดับชั้นคาเฟ่ลงมาถึงระดับพื้นที่ชั้น 7 และทำการติดตั้งม่านกันควันรอบโถง atrium ของชั้น 2 ถึง 6 ร่วมด้วย สำหรับกองเพลิงทุกขนาด พบว่าระบบทั้งหมดดีขึ้นมากจนเพียงพอที่จะทำให้ผู้ใช้อาคารตั้งแต่ชั้นที่ 9 จนถึงชั้นที่ 2 สามารถอพยพไปยังบันไดหนีไฟได้เนื่องจากไม่มีควันไฟแพร่กระจายไปปกคลุม ยกเว้นชั้นที่ 1 บริเวณประตูด้านหลังอาคารที่มีควันไฟม้วนจากเพดานโถง atrium ลงมาปกคลุมบริเวณดังกล่าว

2.5 การติดตั้งระบบควบคุมควันไฟโดยติดตั้งพัฒมระบายควันเป็นไปตามอัตราการระบายควันกรณีห้องควันอยู่เหนือพื้นที่ 7 มีบ่อดักควันครอบคลุมตั้งแต่ระดับชั้นคาเฟ่ลงมาถึงระดับพื้นที่ชั้น 7 และทำการติดตั้งม่านกันควันรอบโถง atrium ของชั้น 2 ถึง 6 ร่วมกับการปิดประตูด้านหลังของอาคารพร้อมกันด้วย สำหรับกองเพลิงทุกขนาดพบว่าระบบทั้งหมดดีขึ้นเพียง

พอที่จะทำให้ผู้ใช้อาคารตั้งแต่ชั้นที่ 9 จนถึงชั้นที่ 2 สามารถอพยพไปยังบันไดหนีไฟได้เนื่องจากไม่มีควันไฟแพร่กระจายไปปกคลุม ยกเว้นผู้ใช้อาคารชั้นที่ 1 บริเวณประตูด้านหลังอาคารที่มีควันไฟม้วนจากเพดานโถง atrium ลงมาปกคลุมเฉพาะแต่สำหรับกองเพลิงขนาด 7.1 และ 14.2 MW ส่วนกองเพลิงขนาด 2.1 MW ไม่มีปัญหาควันไฟม้วนลงมาปกคลุม

2.6 ในกรณีที่อาคารติดตั้งระบบระบายควันและระบบควบคุมควันไฟแล้วพบว่าระดับก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ภายในช่องทางเดินมีน้อยมากและเข้าใกล้ 0 ppm



สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. กรณีที่เกิดเพลิงไหม้บริเวณกึ่งกลางโถงสูงของอาคารนวัตกรรมการจัดการและการท่องเที่ยวมหาวิทยาลัยบูรพาโดยไม่มีระบบควบคุมควันไฟ พบว่าควันไฟจะปกคลุมจนเต็มภายในโถงสูงและกระจายตัวไปปกคลุมเส้นทางไปสู่ทางหนีไฟของอาคารชั้นที่ 9 ภายในเวลาน้อยกว่า 20 วินาที แล้วหลังจากนั้นควันไฟจะกระจายตัวต่อจนไปปกคลุมเส้นทางไปสู่ทางหนีไฟของอาคารทุกชั้นภายในเวลารวดเร็ว โดยพบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดของควันไฟบริเวณโถงทางเดินไปสู่ทางหนีไฟมีค่าประมาณ 40.16 63.71 และ 91.67 องศาเซลเซียส จากกองเพลิงขนาด 2.2 7.1 และ 14.2 MW ตามลำดับ ส่วนความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ภายในช่องทางเดินไปสู่ทางหนีไฟ มีค่าอยู่ในช่วง 60 150 และ 250 ppm จากกองเพลิงขนาด 2.2 7.1 และ 14.2 MW ตามลำดับ ซึ่งไม่สูงไปกว่าค่าที่ยอมให้มีได้โดยมาตรฐาน NFPA 130 แต่จะปลอดภัยจากก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์แต่เนื่องจากอุณหภูมิภายในเส้นทางหนีไฟที่มีค่าสูงและควันไฟที่บดบังการมองเห็นจะยังคงทำให้ผู้ใช้อาคารไม่สามารถที่จะอพยพหนีไฟไปสู่บันไดหนีไฟซึ่งถือว่าเป็นสถานที่ปลอดภัยของอาคารได้ ดังนั้นจะเห็นว่าหากไม่มีการติดตั้งระบบควบคุมควันไฟที่ถูกต้องเหมาะสมจะทำให้ผู้ใช้อาคารไม่สามารถอพยพหนีไฟได้หากเกิดเพลิงไหม้ขึ้นจริง

2. เมื่อทำการติดตั้งพัดลมระบายควันตามมาตรฐาน NFPA 92B เพียงอย่างเดียวโดยไม่มีการติดตั้งบ่อกักควันและไม่ได้ทำการติดตั้งม่านกันควัน พบว่าอุณหภูมิภายในโถงทางเดินซึ่งเป็นเส้นทางไปสู่ทางหนีไฟลดลงเมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่ได้ติดตั้งพัดลมระบายควัน โดยจะพบว่ามีเพียงกองเพลิงขนาด 14.2 MW เท่านั้นที่อุณหภูมิภายในโถงทางเดินไปสู่ทางหนีไฟยังคงมีค่าสูงกว่าค่าที่ยอมให้ตามมาตรฐาน NFPA 130 ส่วนความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ภายในช่องทางเดินไปสู่ทางหนีไฟพบว่ามีน้อยมากและเข้าใกล้ 0 PPM ส่วนเมื่อพิจารณาการแพร่กระจายของควันไฟจะพบว่ายังคงมีควันไฟเข้าไปปกคลุมโถงทางเดินซึ่งเป็นเส้นทางไปสู่ทางหนีไฟในอาคารทำให้ผู้ที่ใช้งานในทุกชั้นของอาคารไม่สามารถอพยพเข้าสู่บันไดหนีไฟได้ แสดงให้เห็นว่าการติดตั้งพัดลมระบายควันที่มีอัตราการระบายควันเท่ากับอัตราการเกิดควันเพียงอย่างเดียวจะยังไม่สามารถระบายควันไฟและทำให้ผู้ใช้อาคารไม่สามารถอพยพหนีไฟได้อย่างปลอดภัย

3. เมื่อติดตั้งป้องกันและทำการระบายควันด้วยอัตราการระบายควันที่ทำให้ห้องควันมีความหนาเพียงพอตามมาตรฐาน NFPA 92B โดยไม่ได้ทำการติดตั้งม่านกันควันร่วมด้วย พบว่าอุณหภูมิภายในช่องทางไปสู่ทางหนีไฟของกองเพลิงทุกขนาดลดลงจนต่ำกว่าค่าที่ยอมให้ตามมาตรฐาน NFPA 130 แล้ว แต่ยังคงมีควันไฟเข้าไปปกคลุมเส้นทางไปสู่ทางหนีไฟอย่างหนาแน่นที่ชั้น 2 ถึงชั้น 6 ของอาคารที่ป้องกันไม่ได้ครอบคลุมถึง ทำให้ผู้ใช้อาคารที่ชั้นดังกล่าวไม่สามารถอพยพเข้าสู่อันดามันได้ แสดงให้เห็นว่าการติดตั้งพัฒนาระบายควันที่มีอัตราการระบายควันเท่ากับอัตราการเกิดควันร่วมกับการติดตั้งป้องกันที่เหมาะสมตามมาตรฐาน NFPA 92B แล้วนั้น ก็ยังไม่สามารถระบายควันไฟได้อย่างปลอดภัย

4. เมื่อติดตั้งป้องกันและทำการระบายควันด้วยอัตราการระบายควันที่ทำให้ห้องควันมีความหนาเพียงพอตามมาตรฐาน NFPA 92B รวมทั้งมีการติดตั้งม่านกันควันรอบโดม atrium ที่ชั้น 6 ถึงชั้น 2 ร่วมด้วย พบว่าระบบทั้งหมดดีขึ้นมากจนเพียงพอที่จะทำให้ผู้ใช้อาคารตั้งแต่ชั้นที่ 9 จนถึงชั้นที่ 2 สามารถอพยพไปยังอันดามันได้เนื่องจากไม่มีควันไฟแพร่กระจายไปปกคลุม ส่วนที่ชั้นที่ 1 บริเวณประตูด้านหลังอาคารยังพบว่ามีควันไฟม้วนจากเพดานโดม atrium ลงมาปกคลุมบริเวณดังกล่าว โดยพบว่าหากทำการปิดหน้าต่างด้านหลังของอาคารร่วมด้วยเฉพาะสำหรับกรณีกองเพลิงขนาด 2.2 MW เท่านั้นที่ไม่พบควันไฟม้วนลงมาปกคลุมพื้นที่บริเวณชั้น 1 ดังกล่าว ดังนั้นควรมีการควบคุมจัดเก็บเชื้อเพลิงภายในโดม atrium ไม่ให้มีขนาดเชื้อเพลิงที่มากเกินไปกว่า 2.2MW ร่วมด้วย จึงจะทำให้ระบบระบายควันของอาคารทำงานได้ดีและปลอดภัยที่สุด

ข้อเสนอแนะ

ควรทำการศึกษารูปแบบของระบบควบคุมควันไฟเพิ่มเติมโดยการปรับเปลี่ยนปัจจัยที่อาจมีผลต่อการควบคุมควันไฟ เช่น

1. ศึกษาหาตำแหน่งและจำนวนพัฒนาระบายควันที่จะทำให้ระบบระบายควันมีประสิทธิภาพสูงสุด
2. เปลี่ยนตำแหน่งของการเกิดเพลิงไหม้เพื่อศึกษาการกระจายควันและการควบคุมควันไฟที่เกิดจากเพลิงไหม้ในตำแหน่งนั้น

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย. 2014. **แผนป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยกรุงเทพมหานคร พ.ศ.2553-2557**. กระทรวงมหาดไทย, กรุงเทพฯ.

ณัฐศักดิ์ บุญมี. 2007. การศึกษาพฤติกรรมการไหลของควันได้เพดานอย่างอิสระด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลข, น. 107-119. ใน **วิศวกรรมสาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_____. 2007. การศึกษานาครีดในการจำลองลำควันสมมาตรด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลข, น. 62-69. ใน **การประชุมทางวิชาการ ครั้งที่ 45**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_____. 2011. การจำลองเชิงตัวเลขระบบระบายควันไฟด้วยวิธีธรรมชาติภายในโรงอาคาร. ใน **การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 25**, 19-21 ตุลาคม 2554 จังหวัดกระบี่.

McGrattan, K. 2007. **Fire Dynamics Simulator (Version 5) Technical Reference Guide**. National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland.

_____. and G. Forney. 2007. **Fire Dynamics Simulator (Version 5) User's Guide**. National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland.

Thunderhead Engineering, **PyroSim User Manual 2008**. Available Source: <http://thunderheadeng.com/pyrosim/>, May 29, 2014.

Alpert, R.L. 1972. Calculation of response time of ceiling-mounted fire detector. **Fire Technology** 8: 181-195.

- Delichatsios, M.A. 1981. The Flow of Fire Gases under a Beamed Ceiling. **Combustion and Flame** 43: 1-10.
- Evans, D.D. 1995. Chapter 2-4 Ceiling Jet Flows. In P.J. DiNenno (Ed.). **SFPE Handbook of Fire Protection Engineering**. National Fire Protection Association, Quincy, MA.
- Heskestad, G. 1995. Chapter 2-2 Fire Plumes. In P.J. DiNenno (Ed.). **SFPE Handbook of Fire Protection Engineering**, National Fire Protection Association, Quincy, MA.
- _____. and M.A. Delichatsios. 1987. **The Initial Convection Flow in Fire**. Seventeenth Symposium (International) on Combustion, n.p.
- Jame, G. Q. 1998. **Principles of Fire Behavior**. Thomsom Learning Inc, US.
- Karlsson, B. and J.G. Quintiere. 1999. **Encloser Fire Dynamics**. CRC Press PTR, US.
- McCaffrey, B.J. 1979. **Purely Buoyant Diffusion Flames: Some Experimental Results**. National Bureau of Standards, Gaithersburg, MD.
- Mell, W.E., K. McGratta, and H.R. Baum. 1996. Numerical simulation of combustion in fire plumes. **Twenty-sixth Symposium (International) on Combustion** 26: 1523-1530.
- Smagorinsky, J. 1963. General Circulation Experiments with the Primitive Equations I The Basic Experiment. **Monthly Weather Review** 91: 99-164.
- Mammoser, J. H., and F. Battaglia. 2004. A computational study on the use of balconies to reduce flame spread in high-rise apartment fires. **Fire Safety J.**, 39 (4): 277-296.
- Hadjisophocleous, G., and Y.J. Ko. 2006. Using A CFD Simulation In Designing a smoke Management System in a Building, **Winter Simulation Conference**.

Chang, C., D. Banks, and R.N. Meroney. 2003. Computational Fluids Dynamics Simulation of the Progress of Fire Smoke in Large Space, Building Atria, **Tamkang Journal of Science and Engineering**, 6: 151-157.

Walter, W. Y. and K. C. Wan. 2005. **A New Method for Selecting the Design Fire for Safety Provision**. Available Source: www.engr.ucsb.edu/~yuen/current_paper/design-fireproof.pdf, May 29, 2014.

Mell, W.E., K. McGratta, and H.R. Baum. 1996. Numerical simulation of combustion in fire plumes. **Twenty-sixth Symposium (International) on Combustion** 26: 1523-1530.

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

_____. 2009. **NFPA 92B Guide for Smoke Management System in Mall, Atria, and Large Areas**. National Fire Protection Association, Quincy, Massachusetts.

_____. 2007. **NFPA 130 Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems**. National Fire Protection Association, Quincy, Massachusetts.

_____. 2007. **NFPA 204 Standard for Smoke and Heat Venting**. National Fire Protection Association, Quincy, Massachusetts.





ภาคผนวก ก

รายละเอียดการคำนวณระบบควบคุมควันไฟตามมาตรฐาน NFPA 204

รายละเอียดการคำนวณระบบควบคุมควันไฟตามมาตรฐาน NFPA 204

รายละเอียดของโถง atrium ที่ใช้ในการคำนวณหาขนาดพัดลมระบายควันไฟ

ค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้ในการคำนวณดังนี้

- ขนาดของโถง atrium กว้าง 11.50 เมตร ยาว 27.75 เมตร สูง 32.85 เมตร
- อัตราการปล่อยพลังงานความร้อนของกองเพลิง $\dot{Q}$ เท่ากับ 7,100 kW
- พื้นที่กองเพลิง (A) เท่ากับ 4 ตารางเมตร
- ความสูงของห้องควันไฟ (Z_s) เท่ากับ 23.45 เมตร (สูงจากพื้นชั้น 7 เท่ากับ 1.85 เมตร)
- ความหนาของชั้นควันสะสม (d) เท่ากับ 9.40 เมตร
- อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส
- ค่าสัมประสิทธิ์ความร้อนจำเพาะ (C_p) เท่ากับ 1.004 kJ/kg.K

วิธีการคำนวณ

คำนวณหาอัตราการปล่อยพลังงานความร้อนโดยการพา (heat release rate: $\dot{Q}_c$)

$$\dot{Q}_c = 0.7 \times (7100) = 4970 \text{ kW}$$

คำนวณหาเส้นผ่านศูนย์กลางกลางกองเพลิง

$$D_{eq} = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} = 2.26 \text{ m}$$

คำนวณหาความสูงเฉลี่ยของเปลวไฟจากสมการที่ (32)

$$L = -1.02 D_{eq} + 0.235 \dot{Q}^{2/5} = -1.02(2.26) + 0.235(7100)^{2/5} = 5.85 \text{ m}$$

คำนวณหาความสูงเสมือนของกองเพลิงจากสมการที่ (33)

$$Z_0 = 0.083\dot{Q}^{2/5} - 1.02D = 0.083(7100)^{2/5} - 1.02(2.26) = 0.58 \text{ m}$$

ใช้สมการ (30) ในการคำนวณหาอัตราการเกิดคัน $\dot{m}_p$ เนื่องจาก $Z_s = 23.45 > L = 5.85$

$$\begin{aligned} \dot{m}_p &= \left[0.071\dot{Q}_c^{1/3} (Z_s - Z_0)^{5/3} \right] \left[1 + 0.027\dot{Q}_c^{2/3} (Z_s - Z_0)^{-5/3} \right] \\ &= \left[0.071(4970)^{1/3} (23.45 - 0.58)^{5/3} \right] \left[1 + 0.027(4970)^{2/3} (23.45 - 0.58)^{-5/3} \right] \\ &= 232.80 \text{ kg/s} \end{aligned}$$

คำนวณหาค่าขนาดของพัลลมาระบายคัน

คำนวณหาอุณหภูมิคันไฟ (T_p)

$$T_p = T_o + \frac{K\dot{Q}_c}{C_p \dot{m}_p} = 298 + \frac{(0.5)(4970)}{(1.004)(232.8)} = 308.63 \text{ K}$$

อัตราการระบายคันสูงสุดโดยใช้พัลลมาระบายคันโดยไม่เกิดปรากฏการณ์ plugholing ($V_{\max}$)

$$\begin{aligned} V_{\max} &= 4.16\gamma d^{5/2} \left(\frac{T_p - T_o}{T_o} \right)_0^{1/2} = 4.16 \times 1 \times (9.4)^{5/2} \times \left(\frac{308.63 - 298}{298} \right)^{1/2} \\ &= 212.87 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

เมื่อความหนาแน่นของคันไฟ $= 1.18 \text{ kg/m}^3$

$$V_{\max} = 212.87 \times 1.18 = 251.18 \text{ kg/s}$$



การเขียนโครงสร้างของอาคารด้วยโปรแกรม PyroSim แล้วนำไปคำนวณด้วยโปรแกรม FDS

การทำงานของโปรแกรมแบบจำลองพลศาสตร์อัคคีภัย (Fire Dynamics Simulator, FDS) ได้ใช้หลักการของการแบ่งห้องหรืออาคารออกเป็นส่วนเล็ก ๆ ในลักษณะที่เรียกว่า “computational cell” หรือ “grid” เพื่อใช้คำนวณความหนาแน่น ความเร็ว อุณหภูมิ ความดัน และความเข้มข้นของแก๊สในแต่ละส่วนเล็ก ๆ โดยใช้กฎการอนุรักษ์มวลและพลังงานช่วยในการคำนวณ แต่เนื่องจากโปรแกรม FDS เป็นโปรแกรมที่เขียนคำสั่งในการสร้างแบบจำลองด้วยคำสั่งแบบตัวอักษร ซึ่งขั้นตอนในการเขียนคำสั่งมีความเข้าใจยากเนื่องจากไม่มีรูปร่างเป็นกราฟฟิคให้เห็น ดังนั้นผู้วิจัยจึงใช้โปรแกรม PyroSim ซึ่งสามารถเขียนคำสั่งในการสร้างแบบจำลองด้วยรูปแบบกราฟฟิค แล้วจึงแปลงข้อมูลกราฟฟิคที่สร้างโดยโปรแกรม PyroSim เป็นไฟล์คำสั่งของ FDS เพื่อทำการคำนวณด้วยโปรแกรม FDS และวิเคราะห์ผลจากภาพเสมือนด้วยโปรแกรม SmokeView การสร้างแบบจำลองสามารถอธิบายพอสังเขปได้ดังนี้

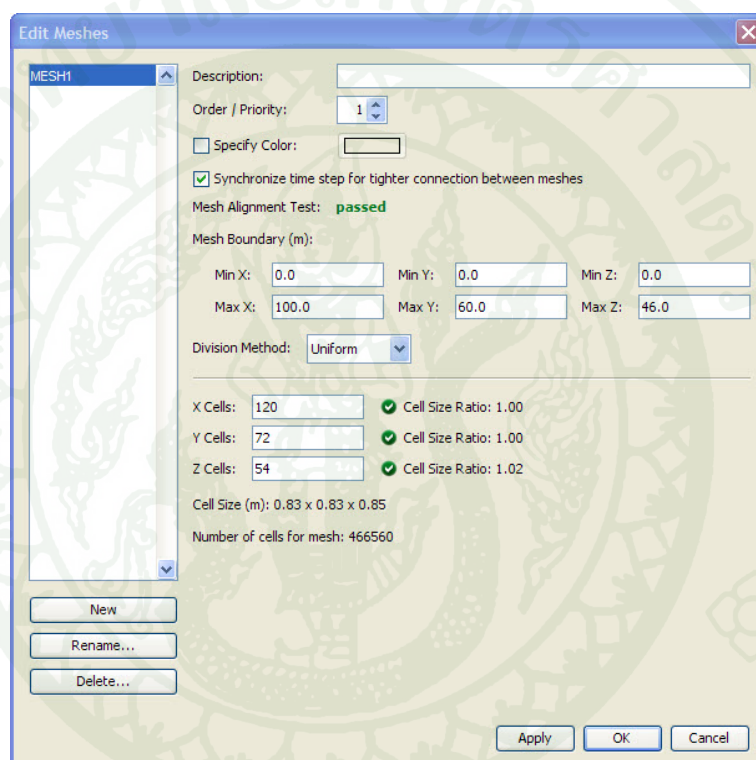
1. การสร้างโดเมนการคำนวณ

เนื่องจากอาคารอาคารนวัตกรรมการจัดการและการท่องเที่ยว มหาวิทยาลัยบูรพา จังหวัดชลบุรีเป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก มีขนาดกว้าง 50 เมตร ยาว 85 เมตร สูง 9 ชั้นที่มีความสูงจากระดับพื้นดินถึงระดับพื้นชั้นดาดฟ้า 34.30 ม. และในงานวิจัยต้องการศึกษาการระบายควันไฟภายในตัวอาคารทั้งหลังจากกรณีการเกิดเพลิงไหม้ภายในอาคารบริเวณกึ่งกลางโถง atrium ดังนั้นการกำหนดโดเมนการคำนวณจะต้องกำหนดให้มีปริมาตรครอบคลุมตัวอาคารไว้ทั้งหมด โดยผู้วิจัยได้กำหนดโดเมนการคำนวณ 100 เมตร, ยาว 60 เมตร และ สูง 46 เมตร ซึ่งสามารถครอบคลุมตัวอาคารทั้งหมดได้ สำหรับขั้นตอนการสร้างโดเมนการคำนวณและขนาดปริมาตรจำกัดที่จะใช้คำนวณโดยโปรแกรม PyroSim จะเริ่มต้นที่ menu bar ของโปรแกรมจากนั้น เลือก Model/Edit Mesh แล้วกดปุ่ม New ซึ่งจะปรากฏหน้าต่าง Edit Mesh ขึ้นมาตามภาพผนวกที่ ข1 จากนั้นทำตามขั้นตอนดังนี้

1.1 กำหนดขนาดโดเมนการจำลอง ในแต่ละแกนที่ Mesh Boundary (m) โดยใช้ค่า Min $X = 0$, Max $X = 100$, Min $Y = 0$, Max $Y = 60$, Min $Z = 0$ และ Max $Z = 46$ เพื่อให้ขนาดโดเมนครอบคลุมตัวอาคารนวัตกรรมการจัดการและการท่องเที่ยว มหาวิทยาลัยบูรพา จังหวัดชลบุรีได้ทั้งอาคาร

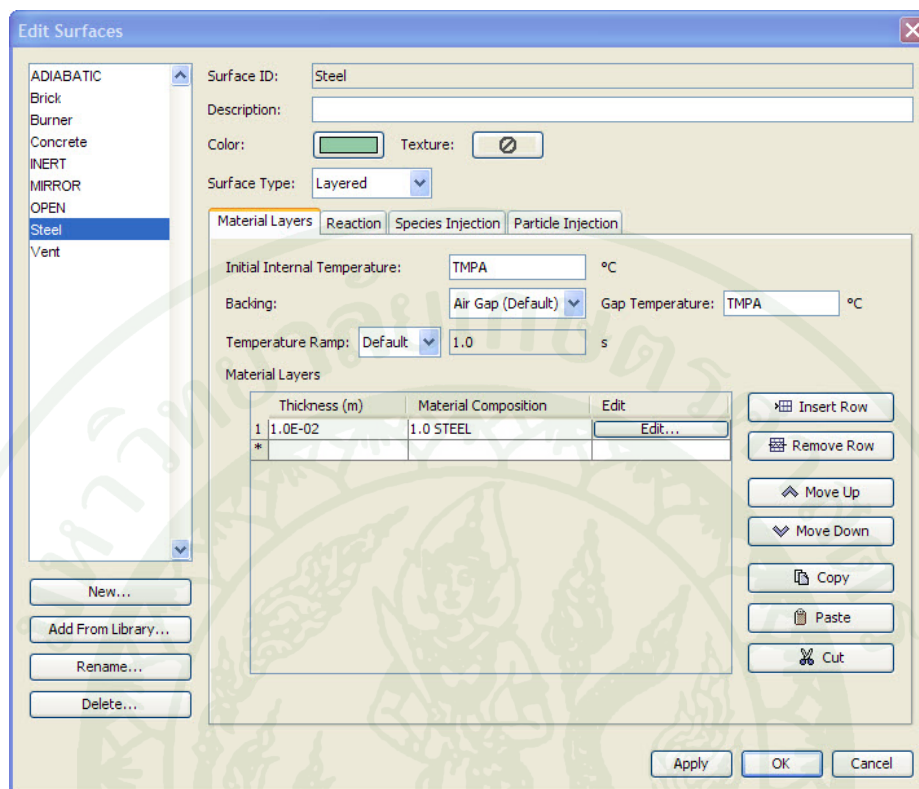
1.2 แบ่งปริมาตรจำกัดที่ต้องการในแต่ละแกน โดย X Cells = 120, Y Cells = 120 และ Z Cells = 120 ตามผลการศึกษาในหัวข้อ 1.4 ผลกระทบของกริดต่อผลการจำลอง (Grid Refinement Study)

1.3 โปรแกรมจะคำนวณขนาดปริมาตรจำกัด (Cell Size) ให้อัตโนมัติที่ $0.83 \times 0.83 \times 0.85$ (m) จำนวนปริมาตรจำกัด 466,560 ปริมาตร



ภาพผนวกที่ ข1 การกำหนดขนาดโดเมนการจำลอง

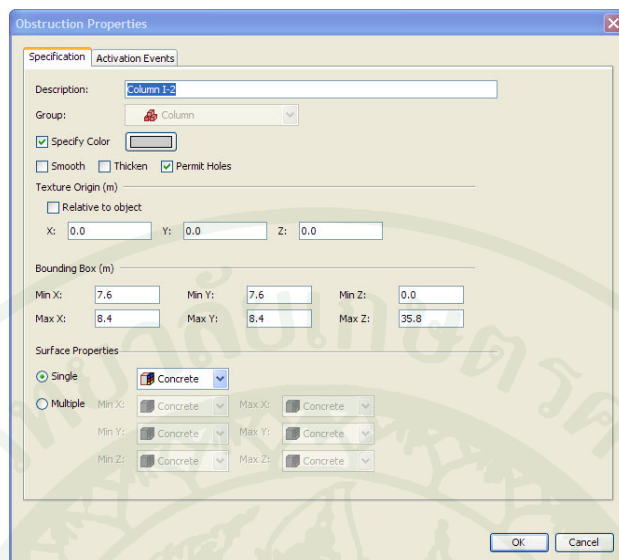
2. กำหนดคุณสมบัติของโครงสร้างของอาคารต่างๆ เช่น พื้น กำแพง บันได ฯลฯ รวมทั้งกองเพลิง (Burner) และ พัดลมระบายควัน (Vent) โดยไปที่ Menu Bar เลือก Model/Edit Surface Properties แล้วกดปุ่ม Add From Library เพื่อเลือกคุณสมบัติของวัสดุที่ต้องการจะใช้ในแบบจำลอง เช่น วัสดุคอนกรีต วัสดุเหล็ก เป็นต้น



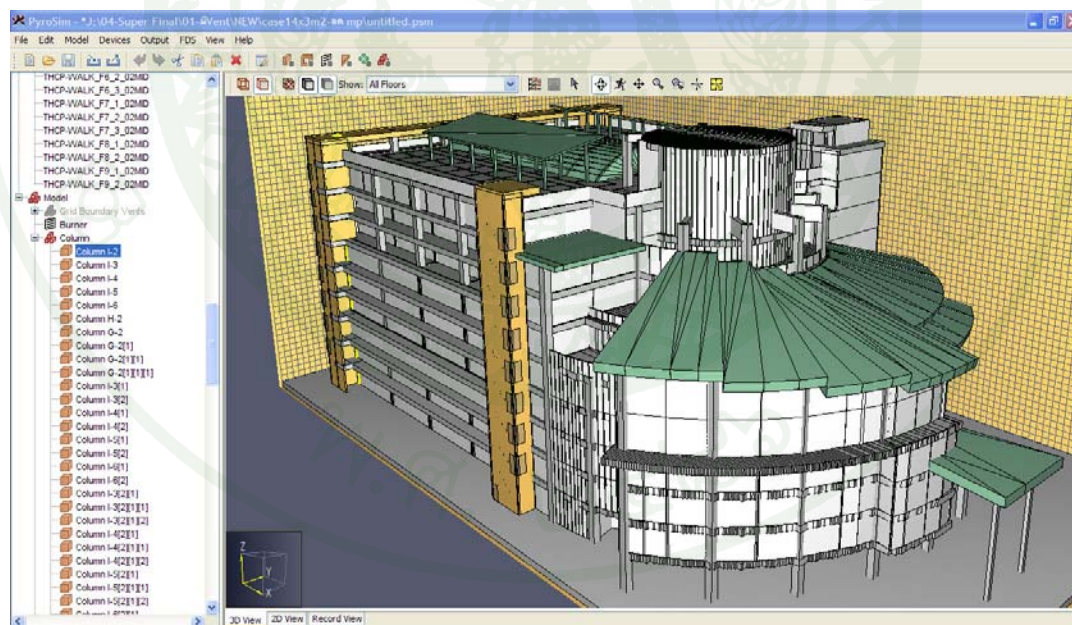
ภาพผนวกที่ ข2 การกำหนดคุณสมบัติของโครงสร้างของอาคารต่างๆ

3. สร้างโครงสร้างส่วนต่างของอาคารลงในโปรแกรม PyroSim โดยใช้วิธีคำสั่งแบบกราฟิก (Graphic) ซึ่งต้องกำหนดตำแหน่ง และชนิดของวัสดุสำหรับโครงสร้างนั้นๆ โดยไปที่ Menu Bar เลือก Model/New Obstructions จากนั้นกำหนดตำแหน่งของส่วนโครงสร้างนั้นตามค่าพิกัดที่อ้างอิงกับค่าพิกัดของโดเมนการคำนวณที่สร้างไว้ตามข้อ 1 ลงในช่อง Boundary Box (m) รวมทั้งกำหนดคุณสมบัติของโครงสร้างนั้นที่แถบ Surface Properties

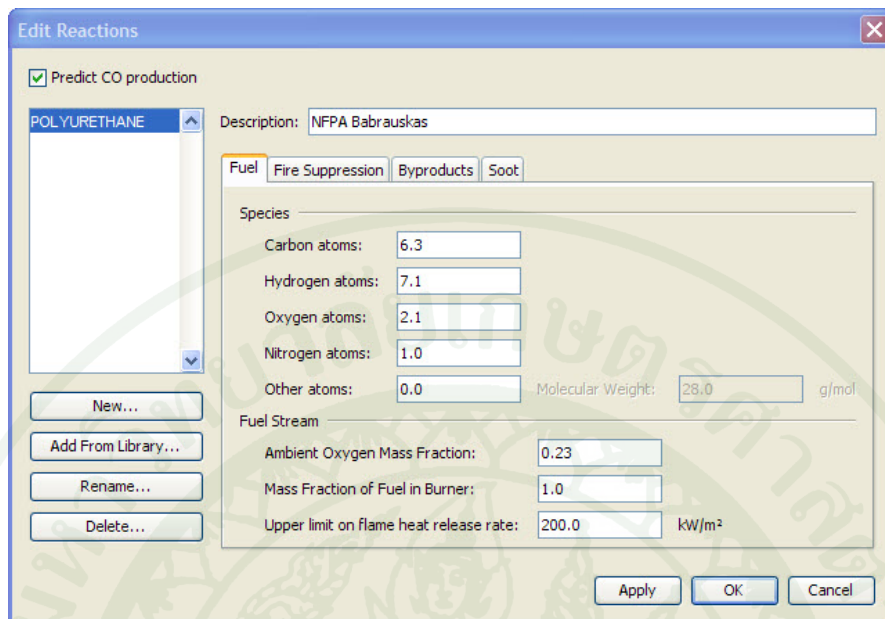
4. กำหนดคุณสมบัติของเชื้อเพลิงใน Reaction Manager โดยไปที่ Menu Bar เลือก Model/Edit Reaction จะเปิดหน้าต่าง Edit Reactions ตามภาพผนวกที่ ข5 กดปุ่ม Add From Library ซึ่งในงานวิจัยนี้กำหนดเชื้อเพลิงเป็น Polyurethane



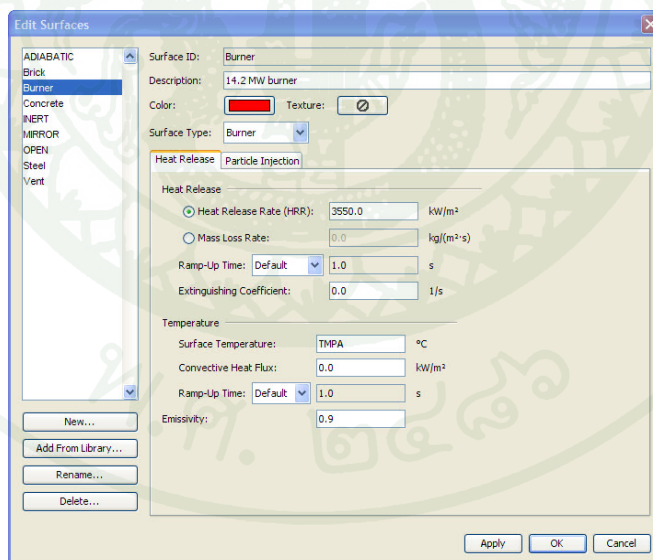
ภาพผนวกที่ ข3 การสร้างโครงสร้างส่วนต่างของอาคารลงในโปรแกรม PyroSim



ภาพผนวกที่ ข4 แสดงภาพโครงสร้างของอาคารที่สร้างเรียบร้อยแล้วโดยโปรแกรม PyroSim



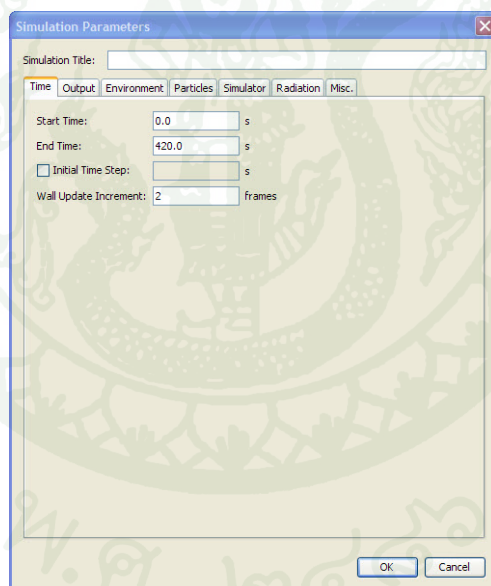
ภาพผนวกที่ ข5 แสดงภาพการกำหนดคุณสมบัติของเชื้อเพลิง



ภาพผนวกที่ ข6 กำหนดอัตราการปล่อยพลังงานความร้อนของกองเพลิง

5. กำหนดอัตราการปล่อยพลังงานความร้อนของกองเพลิง (Heat Release Rate, HRR) โดยไปที่ Menu Bar เลือก Model/Edit Surfaces จะเปิดหน้าต่าง Edit Surfaces ตามภาพผนวกที่ ข6 กดเลือก Burner กองเพลิงที่ใช้ในการจำลองมีพื้นที่คงที่ 4 ตารางเมตร จากนั้นทำการแปรผันค่าอัตราการปล่อยพลังงานความร้อนต่อพื้นที่ (HRRPUA: Heat Release Rate Per Unit Area) เพื่อให้ได้อัตราการปล่อยพลังงานของกองเพลิง 2.2 7.1 และ 14.2 MW ตามลำดับ ซึ่งในภาพผนวกนี้เป็นกรณีที่กองเพลิงมีอัตราการปล่อยพลังงานความร้อน 14.2 MW ดังนั้นที่ Option Box ของ Heat Release Rate จะต้องป้อนค่าเป็น 3,550 kW/Sq.m.

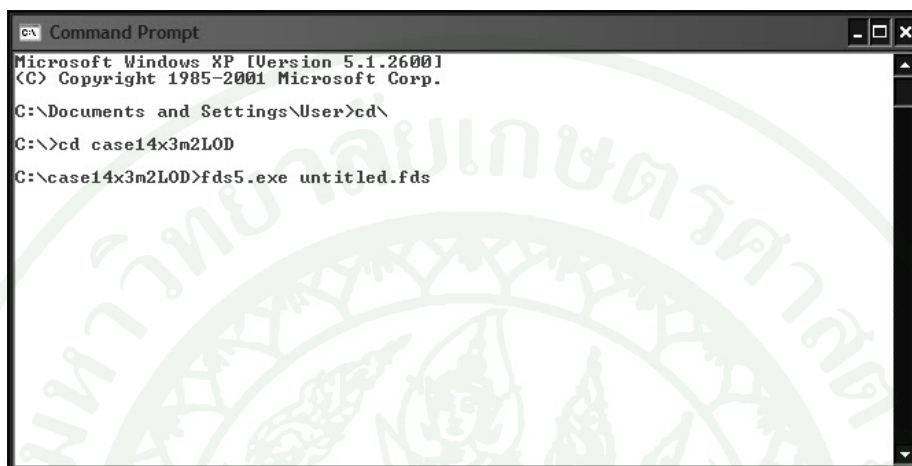
6. กำหนดเวลาในการจำลองเหตุการณ์เพลิงไหม้ของแบบจำลอง โดยไปที่ Menu Bar แถบ FDS/Simulation Parameters จะเปิดหน้าต่าง Simulation Parameters ตามภาพผนวกที่ ข7 ป้อนค่า 420 Sec ซึ่งเป็นเวลาที่งานวิจัยนี้ทำการจำลองเหตุการณ์เพลิงไหม้ (Simulation Time)



ภาพผนวกที่ ข7 กำหนดเวลาในการจำลองเหตุการณ์เพลิงไหม้

7. แปลงไฟล์จาก PyroSim ให้เป็นไฟล์สำหรับโปรแกรม FDS โดยหลังจากสร้างโครงสร้างของอาคาร และ กำหนดพารามิเตอร์ต่างๆ เรียบร้อยแล้ว จึงทำการแปลงไฟล์ ให้เป็นไฟล์ที่สามารถนำไปใช้กับคำนวณโดยโปรแกรม FDS โดยไปที่ Menu Bar เลือก FDS/FDS Run เพื่อให้โปรแกรม PyroSim สร้างไฟล์นามสกุล .fds ขึ้นมา

8. การนำไฟล์นามสกุล .fds ที่ได้จากข้อ 7 ไปคำนวณด้วยโปรแกรม FDS โดยเลือกที่ Command Prompt แล้วเลือกไปยังที่อยู่ของไฟล์ จากนั้นสั่งทำการคำนวณด้วยคำสั่ง fds5.exe ตามด้วยชื่อไฟล์ .fds ตามที่แสดงในภาพผนวกที่ ข8

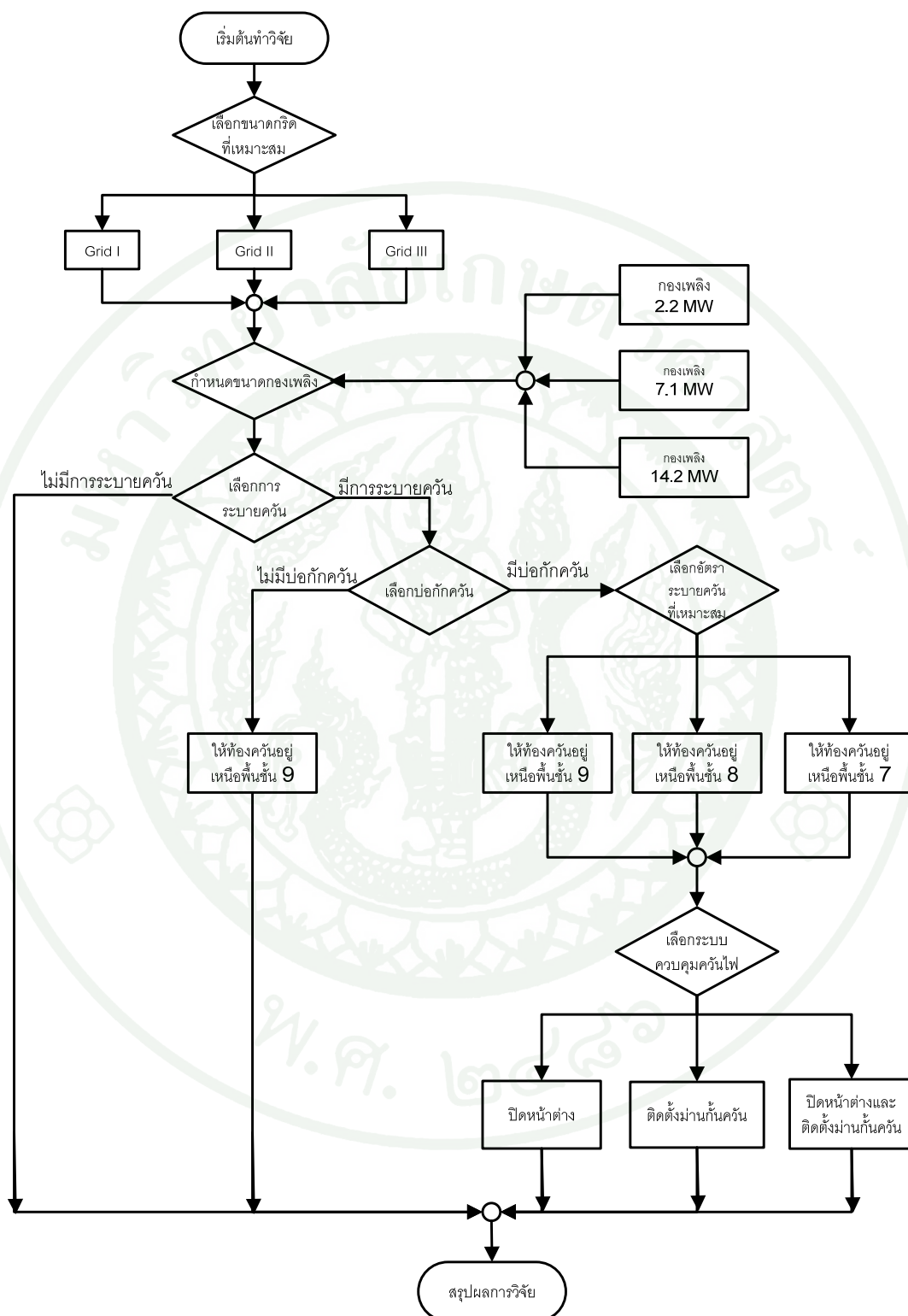


```

C:\ Command Prompt
Microsoft Windows XP [Version 5.1.2600]
(C) Copyright 1985-2001 Microsoft Corp.
C:\Documents and Settings\User>cd\
C:\>cd case14x3m2LOD
C:\case14x3m2LOD>fds5.exe untitled.fds
  
```

ภาพผนวกที่ ข8 การนำไฟล์นามสกุล .fds ไปคำนวณด้วยโปรแกรม FDS





ภาพผนวกที่ ค1 ขั้นตอนการทำวิจัย (Flowchart)

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ	นายวีรวัฒน์ หงษ์ทอง
เกิดวันที่	29 พฤษภาคม 2520
สถานที่เกิด	อำเภอคูสิด กรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	วศ.บ. (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วศ.บ. (วิศวกรรมโยธา) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บธ.บ. (การจัดการงานก่อสร้าง) มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช น.บ. มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช
ตำแหน่งปัจจุบัน	ผู้จัดการโครงการ
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	บริษัท ไทคอน อินดัสเทรียล คอนเน็คชั่น จำกัด (มหาชน)