

การศึกษาการระบายควันไฟในโถงสูงของอาคารห้างสรรพสินค้า โดยวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

A Numerical Simulation of Atrium Smoke Ventilation in Department Store Using Computational Fluid Dynamics Programme

กรรณิการ์ รัตนสุนทร¹ ธัญญะ เกียรติวัฒน์² และ ขวลิต กิตติชัยการ³

¹สาขาวิชาวิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

^{2,3}สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

E-mail: kannika.ratta@gmail.com¹, fengclk@ku.ac.th², fengtyk@ku.ac.th³

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอผลการศึกษาระบบระบายควันไฟในอาคารห้างสรรพสินค้า โดยศึกษาการจำลองสถานการณ์การเกิดเพลิงไหม้โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปพลศาสตร์อัคคีภัย Fire Dynamics Simulator (FDS) กำหนดให้ต้นเพลิง คือ ห้องเก็บของขนาดใหญ่ของซูเปอร์มาร์เก็ตบริเวณชั้นใต้ดิน กลางโถงสูงบนพื้นชั้นใต้ดิน และร้านค้าบริเวณชั้นเจ็ด ซึ่งเป็นพื้นที่เสี่ยงที่อาจเกิดเพลิงไหม้ได้มากที่สุดสำหรับอาคารห้างสรรพสินค้า เปรียบเทียบกรณีอัตราการปลดปล่อยความร้อนที่ 2 และ 25 เมกะวัตต์ ซึ่งเป็นค่าอัตราการปลดปล่อยความร้อนต่ำสุดและสูงสุดสำหรับการออกแบบระบบระบายควันไฟในโถงสูงตามมาตรฐาน ASHRAE โดยเลือกกรณีที่ผลการจำลองเกิดอันตรายรุนแรงต่อการอพยพหนีไฟมากที่สุดมาใช้ในการออกแบบระบบระบายควันไฟ ซึ่งมี 2 วิธี คือ การใช้พัดลมระบายควันไฟในโถงสูงและการใช้ระบบระบายควันไฟโดยช่องเปิดระบายควันไฟ (Natural venting system) ในการจำลองได้มีการพิจารณาผลที่เกิดจากควันไฟต่อผู้ใช้อาคาร โดยพิจารณาบริเวณพื้นที่ทางเดินชั้นเจ็ดเป็นหลักเนื่องจากเป็นชั้นที่สูงที่สุด หากเกิดเพลิงไหม้ควันไฟจะลอยขึ้นที่สูงผ่านทางช่องเปิดในแนวตั้ง เช่น โถงสูง ดังนั้นชั้นที่สูงที่สุดจะเป็นชั้นสะสมควัน ในการศึกษาจะคำนึงถึงปัจจัยหลักต่อการอพยพหนีไฟ คือ อุณหภูมิของพื้นที่ทางเดินชั้นเจ็ด, ค่าการมองเห็นเส้นทางหนีไฟบริเวณชั้นเจ็ดและความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์หน้าประตูหนีไฟชั้นเจ็ด โดยในการจำลองด้วยโปรแกรม FDS เลือกใช้ขนาดกริด 0.5 เมตร และอุณหภูมิเริ่มต้นของการจำลองคือ 40 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิในอาคารห้างสรรพสินค้าเมื่อระบบปรับอากาศหยุดทำงานในประเทศไทย จากผลการจำลองพบว่า อัตราการปลดปล่อยความร้อนที่ 25 เมกะวัตต์เป็นอันตรายต่อการอพยพหนีไฟ โดยตำแหน่งต้นเพลิงที่เป็นอันตรายที่สุดอยู่ที่ ต้นเพลิงบริเวณร้านค้าชั้นเจ็ด ซึ่งทำให้ค่าการมองเห็นเส้นทางหนีไฟต่ำที่สุด เมื่อติดตั้งระบบระบายควันไฟจะพบว่า ระบบระบายควันไฟโดยช่องเปิดระบายควันไฟ สามารถระบายควันไฟได้ดีกว่าระบบพัดลมระบายควันไฟ โดยสามารถระบายควันไฟออกจากอาคารได้มากกว่า แต่ใช้พื้นที่ในการติดตั้งมากกว่าและมีข้อจำกัดมากกว่า กล่าวคือ หากต้นเพลิงอยู่เยื้องหรือไม่ตรงกับช่องเปิดระบายควันไฟจะทำให้ประสิทธิภาพของการระบายควันไฟลดลง

คำสำคัญ :

โถงสูง ห้างสรรพสินค้า พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

Abstract

This paper presents a study of Atrium smoke ventilation of Department Store using PyroSim 2017 programme (Fire Dynamic Simulator Software). Three fire sources which were big storage room of supermarket on basement, center of atrium on basement and the shops on 7th floor were considered. All these sources released heat at a minimum rate of 2 MW and a maximum rate of 25 MW. In the simulation, attention had been paid to the smoke on the 7th floor which is the highest floor of the building. Due to buoyancy force, smoke will flow up and be collected at the roof of the top floor. Temperature distribution of smoke, visibility of fire exits and concentration of Carbon Monoxide on the 7th floor were studied. The grid size used in this study was 0.5 m and the initial room temperature inside the building was 40°C which was taken place in the summer when the air conditioning system stopped working. From the results obtained, it was found that the worst case which is very dangerous to the people working and shopping in the building is when the heat release rate is at 25 MW and fire source is at the shop on 7th floor. When the smoke exhaust system was applied, it was found that the natural venting system is better than mechanical exhaust fan system for this Department Store building. This is because natural venting system can exhaust smoke to outside building faster than mechanical exhaust fan system and can lower the temperature of smoke and soot more.

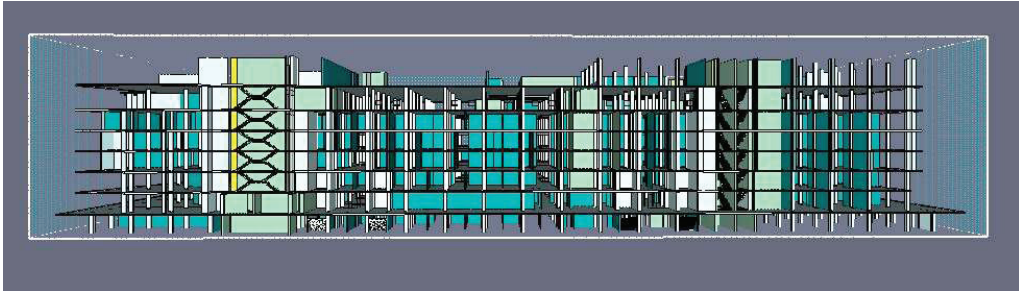
Keywords :

Atrium; Department Store; Fire Dynamics

1. บทนำ

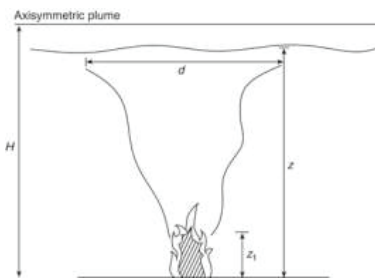
ปัจจุบันห้างสรรพสินค้าเป็นสถานที่ที่ได้รับความนิยมมากในทุกเพศ ทุกกลุ่มอายุ ห้างสรรพสินค้าเป็นแหล่งรวบรวมสินค้าต่างๆ และศูนย์อำนวยความสะดวกไว้ร่วมกัน เช่น ร้านอาหาร ธนาคาร โรงภาพยนตร์ โรงเรียนกวดวิชา สถานที่ออกกำลังกาย เป็นต้น ส่งผลให้มีผู้คนเข้าไปใช้งานในห้างสรรพสินค้าทุกวันเป็นจำนวนมาก กิจกรรมต่างๆ ที่เกิดขึ้นในห้างสรรพสินค้าล้วนมีความเสี่ยงในการเกิดเพลิงไหม้ได้ทั้งสิ้นหากไม่มีการจัดการป้องกันที่ดีพอ พื้นที่ใช้งานที่มีความเสี่ยงสูงต่อการเกิดอัคคีภัยได้แก่ ห้องครัว ห้องเก็บของ ห้องไฟฟ้า ห้องเครื่อง เป็นต้น

เมื่อเกิดเหตุเพลิงไหม้ขึ้นในบริเวณห้างสรรพสินค้าย่อมส่งผลกระทบต่อลูกค้าหรือพนักงานซึ่งเป็นผู้ใช้อาคาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาคารห้างสรรพสินค้า ซึ่งมีผู้ใช้อาคารหนาแน่นและไม่คุ้นเคยต่อเส้นทางอพยพ ค่าอุณหภูมิของควันไฟ ความเข้มข้นของแก๊สพิษ และความมืดทึบของควันไฟ จะส่งผลกระทบโดยตรงต่อการอพยพหนีไฟของผู้ใช้อาคาร งานวิจัยนี้ใช้โปรแกรมสำเร็จรูปด้านพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณมาจำลองการเกิดเพลิงไหม้บริเวณโถงสูงของอาคารห้างสรรพสินค้าดังแสดงในภาพที่ 1 โดยจะทำการจำลองและวิเคราะห์รูปแบบการกระจายตัวของควันไฟเพื่อหาวิธีการระบายนไฟที่เหมาะสมสำหรับอาคารนี้



ภาพที่ 1 แสดงด้านหน้าของอาคารห้างสรรพสินค้าที่ใช้ในการจำลองเมื่อไม่แสดงผนังภายนอก

สำหรับควันไฟที่เกิดกลางพื้นที่ (Axisymmetric Plume) ต้นเพลิงจะอยู่กลางพื้นที่และแผ่รังสีความร้อนออกทุกทิศทุกทางและดึงอากาศข้างเคียงเข้ามาทุกทิศทุกทาง ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ควันไฟเกิดกลางพื้นที่ [4]

อัตราการปลดปล่อยความร้อนโดยการพาความร้อน (Convective Heat Release Rate), $\dot{E}_c$ คำนวณจาก

$$\dot{E}_c = 0.7 \dot{E} \quad (1)$$

$$Z_f = 0.166 \dot{E}_c^{2/5} \quad (2)$$

อัตราการเกิดมวลควันไฟ ($\dot{m}_s$ (kg/s)) คำนวณจาก

$$Z > Z_f, \dot{m}_s = 0.071 \dot{E}_c^{1/3} Z^{5/3} + 0.0018 \dot{E}_c \quad (3)$$

อัตราการเกิดปริมาตรควันไฟ ($\dot{Q}_s$ (m³/s)) คำนวณจาก

$$Z > Z_f, \dot{Q}_s = 0.059 \dot{E}_c^{1/3} Z^{5/3} + 0.0015 \dot{E}_c \quad (4)$$

$\dot{E}$ คือ อัตราการปลดปล่อยความร้อนของกองเพลิง (kW)

Z คือ ความสูงของระดับควันไฟ (m),

Z_f คือ ความสูงจำกัดของไฟ (m),

โดยส่วนมากกรณีที่เกิดขึ้นคือ $Z > Z_f$
อุณหภูมิของควันไฟ คำนวณได้จาก

$$T_s = T_0 + \frac{K_s \dot{E}_c}{\dot{m}_s C_p} \quad (5)$$

T_s คือ อุณหภูมิของควันไฟ (K),

T_0 คือ อุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม (K),

K_s คือ Fraction of convective heat release contained in smoke layer,

C_p คือ ความจุความร้อนจำเพาะของควันไฟ (kJ/kg·°C)

โดยในการตรวจวิเคราะห์จะวิเคราะห์และแสดงผลตามข้อกำหนดด้านความปลอดภัยจากมาตรฐาน National Fire Protection Association (NFPA) ที่กำหนดปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อผู้ใช้อาคารสำหรับระบบควบคุมควันไฟ ได้แก่ อุณหภูมิเฉลี่ยของช่องทางเดินที่เชื่อมสู่ทางหนีไฟซึ่งต้องไม่เกินกว่า 49 องศาเซลเซียส, ระยะการมองเห็นสัญลักษณ์เส้นทางหนีไฟซึ่งต้องไม่น้อยกว่า 30 เมตร, ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ซึ่งไม่ควรมีความมากกว่า 1500 ppm จึงจะปลอดภัยต่อผู้ใช้อาคาร [1] [2]

2. วิธีดำเนินการ

2.1 การจำลองพลศาสตร์อัคคีภัย

โปรแกรมจะจำลองพฤติกรรมของการไหลของควันได้เพดาน โดยการแก้สมการอนุพันธ์เชิงย่อยประกอบด้วยสมการที่ 6 ถึง 9 ดังนี้

สมการอนุรักษ์มวล (Conservation of Mass Equation)

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot \rho \vec{u} = 0 \quad (6)$$

สมการอนุรักษ์มวลย่อย (Conservation of Species Equation)

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho Y_i) + \nabla \cdot \rho Y_i \vec{u} = \nabla \cdot \rho d_i Y_i + \dot{m}_i''' \quad (7)$$

สมการอนุรักษ์โมเมนตัม (Conservation of Momentum Equation)

$$\rho \left(\frac{\partial \vec{u}}{\partial t} + (\vec{u} \cdot \nabla) \vec{u} \right) + \nabla p = \rho \vec{g} + \vec{f}_b + \nabla \tau_{ij} \quad (8)$$

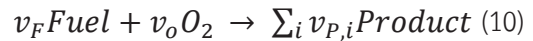
สมการอนุรักษ์พลังงาน (Conservation of Energy Equation)

$$\frac{D \vec{u} T}{Dt} = \frac{\partial T}{\partial t} + \vec{u} \cdot \nabla T \quad (9)$$

โดยที่ ρ คือ ความหนาแน่น, $\vec{u}$ คือ เวกเตอร์ความเร็ว, Y_i คือ เศษส่วนโดยมวลของมวลย่อยที่ i , d_i คือ สัมประสิทธิ์การแพร่มวลของมวลย่อยที่ i , $\dot{m}_i'''$ คือ อัตราการทำปฏิกิริยาต่อปริมาตรมวลย่อยที่ i , p คือ ความดัน, $\vec{g}$ คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงโลก, $\vec{f}_b$ คือ แรงภายนอกที่กระทำต่อการไหล, τ_{ij} คือ แรงเค้นเฉือน, T คือ อุณหภูมิ

การจำลองพฤติกรรมของการไหลแบบปั่นป่วนของการเผาไหม้ใช้วิธี Large Eddy Simulation (LES) ซึ่งใช้ Subgrid Scale Model ของ Smagorinsky แก้ปัญหา โดยแบบจำลองพลศาสตร์อัคคีภัย (FDS) ใช้แบบจำลองการเผาไหม้สัดส่วนสารผสม (Mixture

fraction combustion) โดยสมมติฐานว่าอัตราการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงกับอากาศ ถูกควบคุมโดยอัตราการผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศ (Mixing controlled combustion) และทันทีที่เชื้อเพลิงกับอากาศผสมเข้าด้วยกันจะทำปฏิกิริยากันอย่างรวดเร็ว (Infinitely fast chemical reaction) เกิดก๊าซผลิตภัณฑ์จากการเผาไหม้โดยสมบูรณ์ (Stoichiometric combustion) รูปแบบทั่วไปของปฏิกิริยาการเผาไหม้ ดังสมการ 10 ถึง 12



$$Z_m = \frac{s Y_F - (Y_o - Y_o^\infty)}{s Y_F^l + Y_o^\infty} \quad (11)$$

$$S = \frac{v_o M_o}{v_F M_F} \quad (12)$$

โดยที่ Z_m คือ Mixture fraction, Y_F คือ เศษส่วนโดยมวลของเชื้อเพลิง, Y_F^l คือ เศษส่วนโดยมวลของเชื้อเพลิงจากแหล่งกำเนิด, Y_o คือ เศษส่วนโดยมวลของออกซิเจนในอากาศ, Y_o^∞ คือ เศษส่วนโดยมวลของออกซิเจนต่อเชื้อเพลิงที่ทำปฏิกิริยาโดยสมบูรณ์

2.2 การสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรมพลศาสตร์อัคคีภัย

การสร้างแบบจำลองอาคารทางสรรพสินค้า ใช้โปรแกรม Pyrosim 2017 โดยมีโปรแกรม FDS ใช้ในการคำนวณและโปรแกรม Smokeview ใช้สำหรับการแสดงผล อาคารใช้ในการจำลอง 8 ชั้น มีขนาด 90 x 170 x 36.525 เมตร รวมพื้นที่ทั้งหมดของอาคาร คือ 119,327 ตร.ม. ซึ่งมีโถงสูงเชื่อมต่อกันตั้งแต่พื้นชั้นหนึ่งถึงพื้นชั้นเจ็ด อาคารมีทั้งสิ้น 3 บันไดหนีไฟ ดังแสดงในภาพที่ 3c ทำการศึกษากิริยาที่เหมาะสมกับการจำลอง พบว่าที่กิริยขนาด 0.5 เมตร เป็นขนาดที่มีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของอุณหภูมิต่ำที่สุด ดังตารางที่ 1

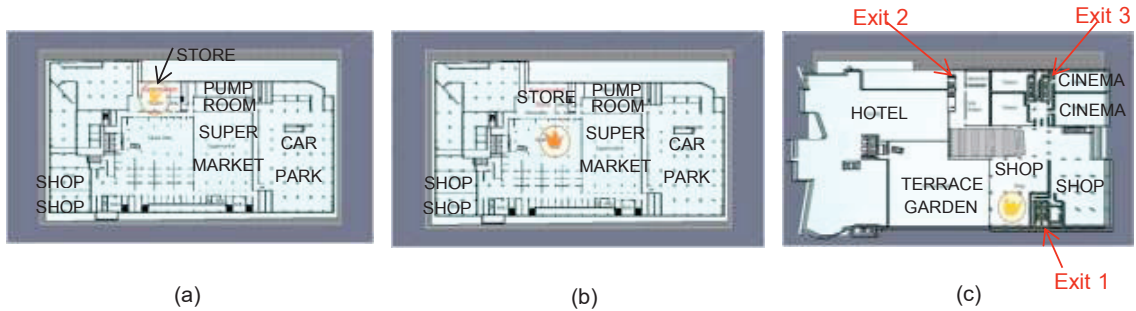
ตารางที่ 1 แสดงขนาดของกริด,ระยะเวลาในการจำลอง และค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างกริด

กริด ที่	จำนวนกริดใน			จำนวนกริด ทั้งหมด	ขนาดกริด (เมตร)			CPU	ค่าเฉลี่ย
	แนวแกน				ΔX	ΔY	ΔZ	Time	เปอร์เซ็นต์
	X	Y	Z					(ชั่วโมง)	ความแตกต่าง
1	190	100	40	760,000	1.00	1.00	1.00	21	-
2	212	112	45	1,068,480	0.90	0.90	0.90	33	5.01
3	238	125	50	1,487,500	0.80	0.80	0.80	38	2.41
4	272	142	58	2,240,192	0.70	0.70	0.70	88	5.01
5	316	166	66	3,462,096	0.60	0.60	0.60	93	3.20
6	380	200	80	6,080,000	0.50	0.50	0.50	194	3.38
7	475	250	100	11,875,000	0.40	0.40	0.40	402	2.04

สมมติฐานการศึกษาเปรียบเทียบผลแตกต่างกรณีที่อัตราการปลดปล่อยความร้อนเท่ากันแต่บริเวณที่เกิดเพลิงไหม้ต่างกันและศึกษาระบบระบายควันไฟในโถงสูงที่เหมาะสมสำหรับอาคารห้างสรรพสินค้า โดยอ้างอิงจากมาตรฐานข้อมูลต่างๆ ที่เป็นที่ยอมรับระดับสากล โดยกำหนดขนาดของกองเพลิงใช้ข้อมูลจาก ASHRAE 2007 (Fire and smoke management) [3] ซึ่งกำหนดให้ขนาดของกองเพลิงที่ใช้ในการออกแบบระบบระบายควันของโถงสูง คือ อย่างน้อย 2 เมกะวัตต์ และรุนแรงที่สุด คือ 25 เมกะวัตต์ การกำหนดตำแหน่งต้นเพลิงพิจารณาจากพื้นที่ที่มีโอกาสเกิดเพลิงไหม้ได้มากที่สุด คือ ห้องเก็บของขนาดใหญ่ของซูเปอร์มาร์เก็ต เพราะเป็นแหล่งที่มีเชื้อเพลิงจำนวนมาก, กลางโถงสูงบนพื้นที่ชั้นใต้ดิน เพราะเป็นบริเวณกว้างที่นิยมใช้จัดงานแสดงสินค้าหรือจัดกิจกรรมต่างๆ และร้านค้าบริเวณชั้นใต้ดิน ซึ่งมี

แนวโน้มจะเป็นร้านอาหาร ทำให้มีการใช้ครัวซึ่งเป็นแหล่งต้นเพลิงที่พบบ่อยครั้งในการเกิดเพลิงไหม้ที่ห้างสรรพสินค้า ดังแสดงในภาพที่ 3a ถึง 3c โดยติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ, อุปกรณ์วัดความมืดทึบของควันและ อุปกรณ์วัดค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (โดยค่าเริ่มต้นของการจำลอง คือ 0 ppm) บริเวณทางเดินและหน้าบันไดหนีไฟชั้นใต้ดินเนื่องจากอาคารมีโถงสูงทะลุตลอดความสูง ที่ชั้นสูงสุดจะได้รับผลกระทบมากที่สุดเนื่องจากเป็นบริเวณที่ควันไฟสามารถลอยขึ้นไปสะสมตัวเป็นอันดับแรก ผู้ใช้อาคารที่อยู่บริเวณชั้นใต้ดินจึงมีโอกาสได้รับผลกระทบมากที่สุดและเป็นชั้นที่อยู่ห่างไกลเมื่ออพยพออกนอกอาคารมากที่สุด

สรุปกรณีศึกษาได้ทั้งหมด 10 กรณี แสดงในตารางที่ 2



ภาพที่ 3 (a-c) แสดงตำแหน่งต้นเพลิงทั้ง 3 ตำแหน่ง คือ (a) ห้องเก็บของขนาดใหญ่ของซูเปอร์มาร์เก็ตชั้นใต้ดิน, (b) กลางโถงสูงบนพื้นที่ชั้นใต้ดิน และ (c) ร้านค้าบริเวณชั้นเจ็ด

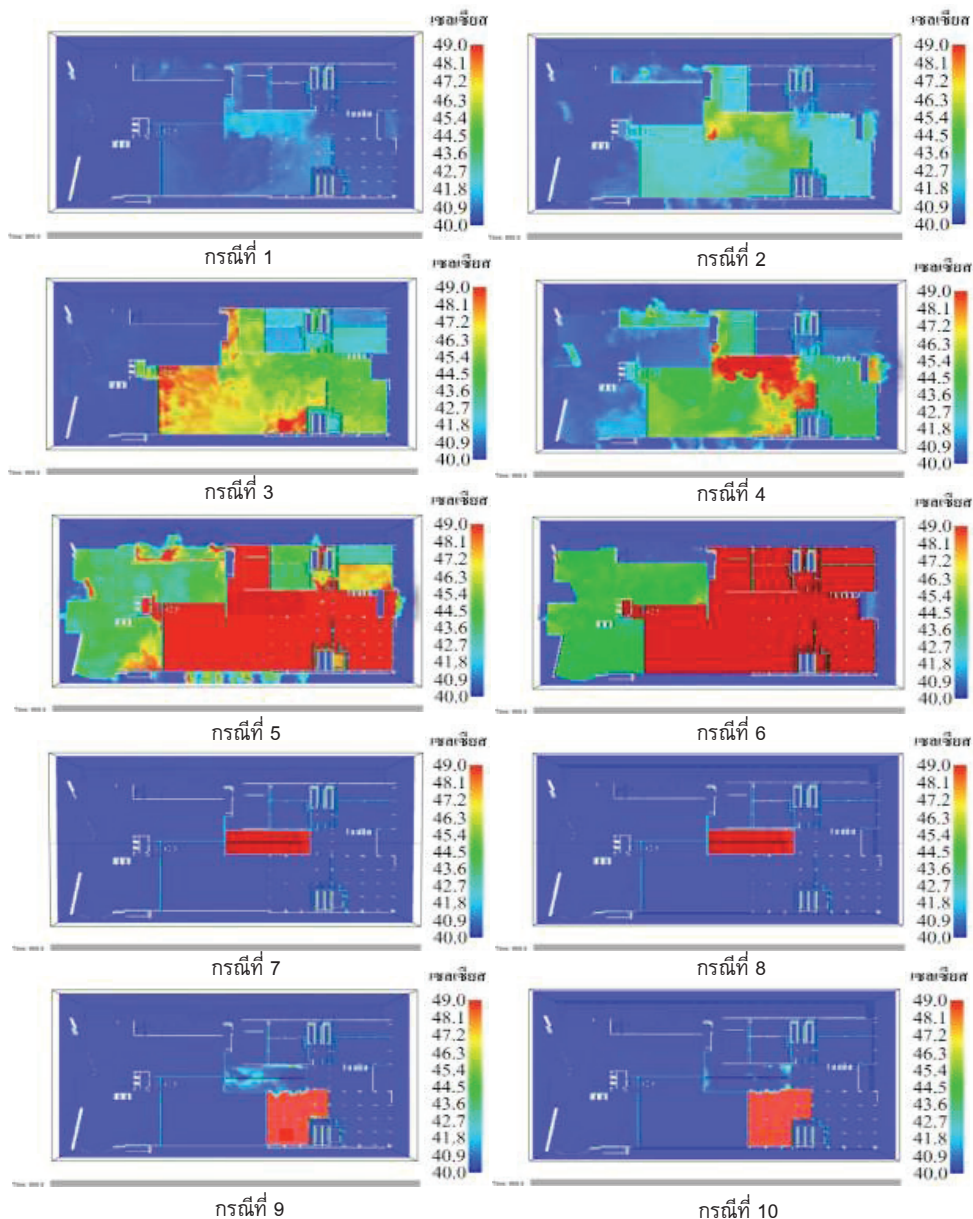
ตารางที่ 2 กรณศึกษาทั้งหมดในงานวิจัยนี้

กรณี	อัตราการปลดปล่อย พลังงานความร้อน ของต้นเพลิง (เมกะวัตต์)	ชั้น	ตำแหน่งต้นเพลิง	ชนิดของระบบควบคุม ควันไฟ
1	2	BM	ห้องเก็บของขนาดใหญ่ของซูเปอร์มาร์เก็ต	ไม่มี
2	2	BM	กลางโถงสูง	ไม่มี
3	2	7	ร้านค้า	ไม่มี
4	25	BM	ห้องเก็บของขนาดใหญ่ของซูเปอร์มาร์เก็ต	ไม่มี
5	25	BM	กลางโถงสูง	ไม่มี
6	25	7	ร้านค้า	ไม่มี
7	25	BM	กลางโถงสูง	ช่องเปิดระบายควันไฟ
8	25	BM	กลางโถงสูง	พัดลมระบายควันไฟ
9	25	7	ร้านค้า	ช่องเปิดระบายควันไฟ
10	25	7	ร้านค้า	พัดลมระบายควันไฟ

3. ผลการศึกษา

3.1 การกระจายตัวของอุณหภูมิควันไฟบริเวณพื้นที่ทางเดินชั้นเจ็ดเมื่อเกิดเพลิงไหม้

ภาพที่ 4 แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิควันไฟบริเวณพื้นที่ชั้นเจ็ดเมื่อเกิดเพลิงไหม้ เนื่องจากชั้นเจ็ดเป็นชั้นสูงสุดและได้รับผลกระทบมากที่สุด ตารางที่ 3 แสดงผลการกระจายตัวของอุณหภูมิควันไฟบริเวณดังกล่าว



ภาพที่ 4 แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิควันไฟบริเวณพื้นที่ชั้นเจ็ดเมื่อเกิดเพลิงไหม้ทั้ง 10 กรณี

ตารางที่ 3 แสดงผลการกระจายตัวของอุณหภูมิ
คว้นไฟบริเวณพื้นที่ทางเดินชั้นเจ็ดเมื่อเกิด
เพลิงไหม้

กรณี	บริเวณพื้นที่ที่อุณหภูมิสูงเกิน 49 องศาเซลเซียส
1	ไม่มี
2	บริเวณช่องเปิดของโถงสูงบางส่วน
3	บริเวณต้นเพลิงและขอบอาคาร
4	ช่องเปิดของโถงสูงและพื้นที่ใกล้เคียง
5	ทั่วบริเวณ ยกเว้นบริเวณที่มีการปิดล้อม
6	ทั่วบริเวณ
7	ช่องเปิดของโถงสูง
8	ช่องเปิดของโถงสูง
9	บริเวณทั่วทั้งร้านค้าต้นเพลิง
10	บริเวณทั่วทั้งร้านค้าต้นเพลิง

จากภาพที่ 4 พบว่าพื้นที่ทางเดินชั้นเจ็ดที่มีอุณหภูมิเกิน 49 องศาเซลเซียส ได้แก่กรณีที่ 3, 4, 5, 6, 9 และ 10 (กรณีที่ 7 และ 8 เป็นข้อยกเว้นเนื่องจากอุณหภูมิเกิน 49 องศาเซลเซียส เกิดบริเวณช่องเปิดโถงสูงเท่านั้น ซึ่งไม่สามารถใช้เป็นทางเดินได้) พิจารณากรณีที่ 4, 5, 6 เกิดจากต้นเพลิงมีอัตราการปลดปล่อยความร้อนสูง ส่งผลให้คว้นมีอุณหภูมิสูงตามไปด้วย เมื่อเทียบกับกรณีที่ 1, 2, 3 ซึ่งมีอัตราการปลดปล่อยความร้อนต่ำกว่า ในกรณีที่ 4 คือ บริเวณช่องเปิดของโถงสูงและพื้นที่ใกล้เคียงเล็กน้อย เนื่องจากต้นเพลิงอยู่ห่างไกลจากชั้นเจ็ด คว้นที่ลอยขึ้นมาตามโถงสูงมีปริมาตรอากาศในการแลกเปลี่ยนความร้อนมาก อากาศจึงพาความร้อนออกไปจากกลุ่มคว้นไฟได้มาก จึงส่งผลให้อุณหภูมิของคว้นที่ลอยขึ้นมาอุณหภูมิไม่สูงเท่ากรณีที่ต้นเพลิงอยู่บริเวณชั้นเจ็ดโดยตรง ในกรณีที่ 5 คือ ทั่วบริเวณยกเว้นบริเวณที่มีการปิดล้อม เนื่องจากต้นเพลิงมีอัตราการปลดปล่อยความร้อนสูง ส่งผลให้อุณหภูมิของคว้นไฟสูงและทำให้ปริมาตรคว้นไฟมาก เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงกว่าอากาศมาก คว้นไฟจึงลอยตัวขึ้นตามช่องเปิดโถงสูงด้วยแรงลอยตัว

โดยไม่มีสิ่งกีดขวาง ทำให้คว้นไฟแพร่กระจายปกคลุมทั่วพื้นที่ได้ในระยะเวลาอันรวดเร็ว แต่เนื่องจากต้นเพลิงอยู่ไกลจากพื้นที่ทางเดินชั้นเจ็ด ทำให้ความหนาแน่นของคว้นไฟถูกทำให้เจือจางด้วยอากาศในโถงสูง ดังนั้นบริเวณที่มีการปิดล้อม คว้นไฟจึงแพร่ตัวเข้าไปได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น ในกรณีที่ 6 คือ ทั่วชั้นเจ็ด เนื่องจากต้นเพลิงอยู่บริเวณร้านค้าที่ชั้นเจ็ด และมีอัตราการปลดปล่อยความร้อนสูงมาก ปริมาตรอากาศชั้นเจ็ดเพียงชั้นเดียวไม่สามารถพาความร้อนออกจากคว้นไฟได้มากนัก ดังนั้นคว้นไฟจะยังคงมีอุณหภูมิสูง และปริมาตรมาก จะลอยขึ้นสู่เพดานชั้นเจ็ดและสะสมด้วยแรงลอยตัว เนื่องจากไม่มีช่องเปิดให้คว้นไฟระบายออก ดังนั้นคว้นไฟจะเข้าปกคลุมทั่วพื้นที่ได้ในระยะเวลาอันรวดเร็ว ถึงแม้จะเป็นพื้นที่ปิดล้อมแต่หากไม่สมบูรณ์คว้นไฟซึ่งมีความหนาแน่นสูงก็สามารถแพร่เข้าไปปกคลุมพื้นที่นั้นได้ เมื่อพิจารณากรณีที่ 3 ซึ่งมีตำแหน่งต้นเพลิงเดียวกับกรณี 6 จะพบว่าถึงแม้ต้นเพลิงจะมีอัตราการปลดปล่อยความร้อนต่ำ ก็สามารถทำให้พื้นที่บางส่วนมีอุณหภูมิเกิน 49 องศาเซลเซียสได้ เนื่องจากตำแหน่งต้นเพลิงอยู่ใกล้พื้นที่ที่พิจารณา คือ ทางเดินชั้นเจ็ด ดังนั้นนอกจากอัตราการปลดปล่อยความร้อนแล้ว ตำแหน่งของต้นเพลิงก็มีผลต่อการกระจายคว้นและความร้อนเช่นกัน ส่วนกรณีที่ 9 และ 10 ถึงแม้จะมีการติดตั้งระบบระบายคว้น แต่เนื่องจากเป็นร้านค้าต้นเพลิงจึงทำให้คว้นไฟขยายตัวครอบคลุมทั่วทั้งห้อง เมื่อระบบระบายคว้นทำงานจึงสามารถควบคุมคว้นไฟให้ไม่ขยายตัวไปสู่บริเวณอื่นๆ ได้ สังเกตได้จากบริเวณช่องเปิดโถงสูงนั้นอุณหภูมิยังคงมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิอากาศแสดงว่าคว้นไฟไม่มีการขยายตัวและปกคลุมพื้นที่อื่น อย่างไรก็ตามจะมีบางส่วนของช่องเปิดโถงสูงที่อุณหภูมิสูงกว่า 40 องศาเซลเซียส เนื่องจากระบบระบายคว้นไฟติดตั้งที่หลังคาบริเวณเหนือช่องเปิดโถงสูง ทำให้คว้นไฟถูกระบายจากร้านค้าชั้นเจ็ดผ่านช่องเปิดโถงสูงและถูกระบายออกนอกอาคาร

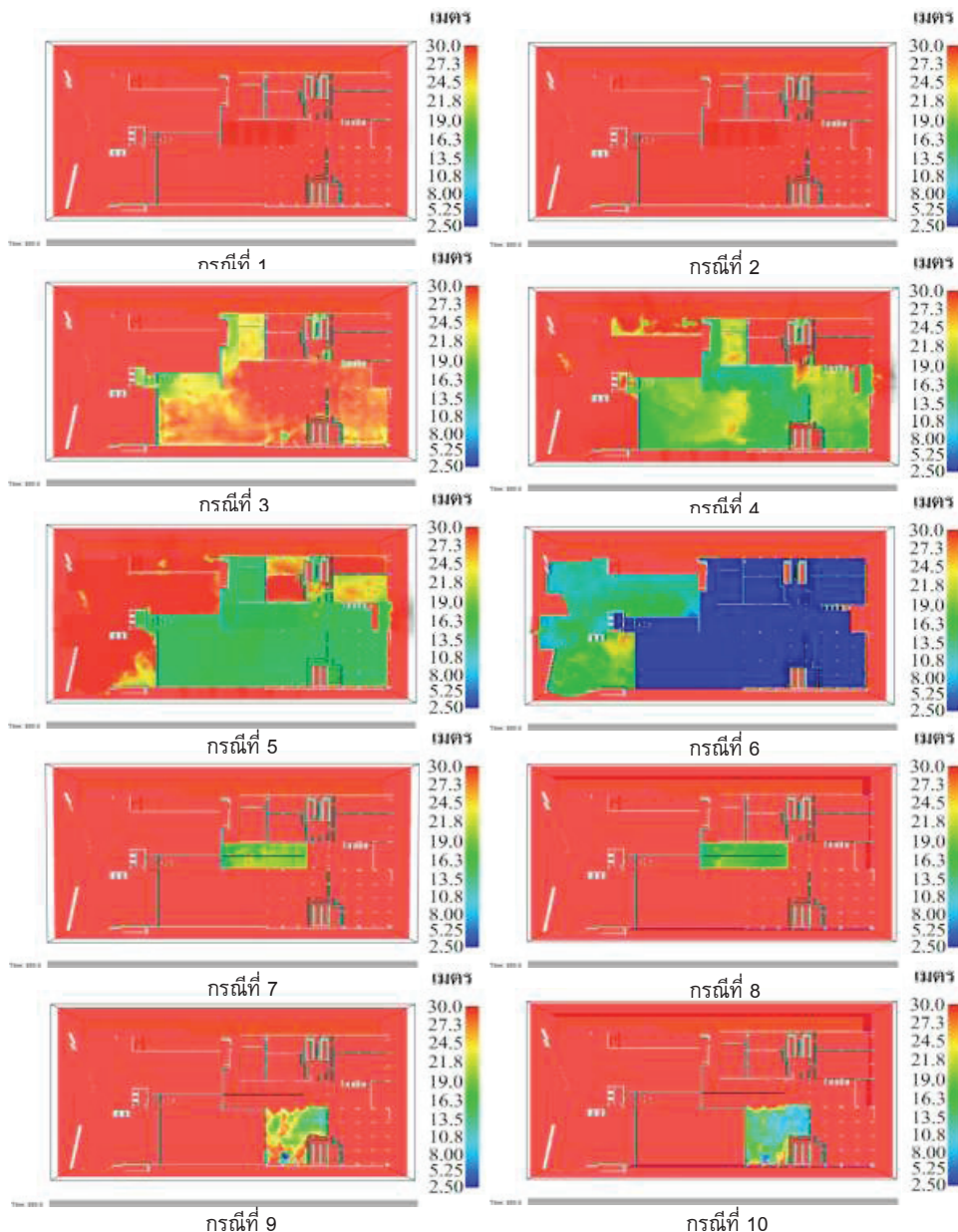
ทางด้านหลังคา อาคารบางส่วนในบริเวณช่องเปิด โถงสูงจึงมีการแลกเปลี่ยนความร้อนกับควันไฟทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นเล็กน้อย

กรณีที่พื้นที่ทางเดินชั้นเจ็ดที่มีอุณหภูมิเกิน 49 องศาเซลเซียส จะเป็นอันตรายต่อผู้ใช้อาคารตามข้อกำหนดของมาตรฐาน National Fire Protection Association (NFPA) เนื่องจากควันที่มีอุณหภูมิสูง

จะมีผลต่อระบบหายใจของมนุษย์ ทำให้เนื้อเยื่อระบบทางเดินหายใจและปอดถูกทำลายได้ ซึ่งได้แก่กรณี 4, 5, 6

3.2 การกระจายตัวของเขม่าควันไฟซึ่งส่งผลต่อค่าการมองเห็นเส้นทางหนีไฟบริเวณชั้นเจ็ด

การจำลองการกระจายตัวของเขม่าควันไฟสามารถแสดงผลได้ดังแสดงในภาพที่ 5 และตารางที่ 4



ภาพที่ 5 แสดงการกระจายตัวของเขม่าควันไฟซึ่งส่งผลต่อค่าการมองเห็นเส้นทางหนีไฟบริเวณชั้นเจ็ดทั้ง 10 กรณี

ตารางที่ 4 ผลการกระจายตัวของเขม่าควันไฟ
ซึ่งส่งผลกระทบต่อค่าการมองเห็นเส้นทางหนีไฟ
บริเวณชั้นเจ็ด

กรณี	ระยะ การ มองเห็น ที่ต่ำสุด (เมตร)	บริเวณที่ระยะการมองเห็นต่ำ กว่า 30 เมตร
1	30.0	ไม่มี
2	30.0	ไม่มี
3	22.8	ทั่วบริเวณ ยกเว้น ช่องเปิด ของโถงสูงและพื้นที่ใกล้เคียง ช่องเปิดโถงสูง
4	14.0	ทั่วบริเวณที่ไม่มีการปิดล้อม กันควัน
5	14.0	ทั่วบริเวณที่ไม่มีการปิดล้อม กันควัน
6	2.5	ทั่วบริเวณ แม้แต่บริเวณ ที่มีการปิดล้อมกันควัน หากปิดล้อมกันควันไม่สมบูรณ์ เช่น ประตูเปิดค้าง
7	20.0	ช่องเปิดของโถงสูง
8	20.0	ช่องเปิดของโถงสูง
9	2.5	บริเวณทั่วทั้งร้านค้าชั้นเพลิง
10	2.5	บริเวณทั่วทั้งร้านค้าชั้นเพลิง

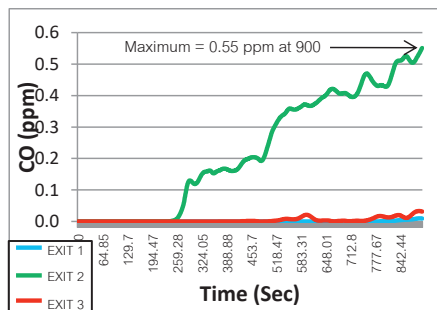
จากภาพที่ 5 พบว่าระยะการมองเห็นเส้นทาง
หนีไฟต่ำกว่า 30 เมตร ได้แก่กรณีที่ 3, 4, 5, 6, 9
และ 10 (กรณีที่ 7 และ 8 เป็นข้อยกเว้นเนื่องจาก
ระยะการมองเห็นเส้นทางหนีไฟต่ำกว่า 30 เมตร
เกิดบริเวณช่องเปิดโถงสูงเท่านั้น ซึ่งไม่สามารถใช้

เป็นทางเดินได้) เมื่อพิจารณากรณีที่ 3 การมองเห็น
เส้นทางหนีไฟต่ำกว่า 30 เมตร คือ ทั่วบริเวณ ยกเว้น
ช่องเปิดของโถงสูงและพื้นที่ใกล้เคียงช่องเปิดโถงสูง
เนื่องจากบริเวณช่องเปิดโถงสูงมีปริมาตรให้ควันไฟ
ขยายตัวได้มากกว่าบริเวณอื่น ทำให้ความหนาแน่น
ของควันไฟมีค่าลดลง ความเข้มข้นของเขม่าซึ่งบดบัง
การมองเห็นจึงลดลง โดยบริเวณที่มีระยะการมองเห็น
ต่ำสุดที่ 22.8 เมตร คือ บริเวณขอบของอาคาร เนื่องจาก
เป็นบริเวณที่สะสมของควัน, กรณีที่ 4 และ 5 การมอง
เห็นเส้นทางหนีไฟต่ำกว่า 30 เมตร คือ ทั่วบริเวณที่ไม่มี
การปิดล้อมกันควัน โดยระยะการมองเห็นต่ำสุดที่ 14
เมตร อยู่บริเวณช่องเปิดโถงสูงและบริเวณใกล้เคียงที่
เชื่อมต่อกัน เนื่องจากต้นเพลิงมีอัตราการปลดปล่อย
ความร้อนสูง ทำให้มีปริมาตรควันไฟมาก ควันไฟจึง
ลอยตัวขึ้นไปตามโถงสูงและเข้าปกคลุมทั่วทั้งบริเวณ
ชั้นเจ็ด โดยการมองเห็นของกรณีที่ 4 และ 5 จะมี
ความแตกต่างกันที่บริเวณพื้นที่ปิดล้อม เนื่องจาก
กรณีที่ 4 พื้นที่ปิดล้อมยังคงมีค่าการมองเห็นที่
30 เมตร เป็นปกติ แต่กรณีที่ 5 พื้นที่ปิดล้อมบางส่วน
(ห้องด้านขวาบนภาพจำนวน 2 ห้อง) มีค่าการมองเห็น
อยู่ในช่วง 21-24 เมตร จากการวิเคราะห์พบว่า เนื่องจาก
กรณีที่ 4 มีต้นเพลิงอยู่ไกลจากพื้นที่ชั้นเจ็ดมากกว่า
ควันไฟจากต้นเพลิงจึงมีระยะทางในการแพร่จาก
ต้นเพลิงถึงชั้นเจ็ดมากกว่าเมื่อเทียบกับกรณีที่ต้นเพลิง
อยู่กลางโถงสูง ดังนั้นควันไฟจึงมีปริมาตรให้ขยายตัว
มากกว่า ส่งผลให้ความหนาแน่นของควันไฟลดลง
ต่ำกว่ากรณีที่ 5 ในพื้นที่ปิดล้อมที่ไม่สมบูรณ์นี้
จะมีช่องเปิดต่างๆ ซึ่งมีขนาดไม่ใหญ่เมื่อเทียบกับพื้นที่
เช่น บานประตู ดังนั้นหากควันไฟมีความหนาแน่น
ที่สูงมากก็สามารถแพร่เข้าไปในพื้นที่ปิดล้อมได้
สำหรับในกรณีที่ 6 การมองเห็นเส้นทางหนีไฟ
ต่ำที่สุด 2.5 เมตร คือ ทั่วบริเวณ แม้แต่บริเวณที่มี
การปิดล้อมกันควัน หากปิดล้อมกันควันไม่สมบูรณ์

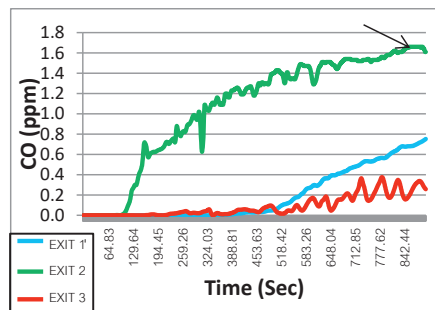
เช่น ประตูปิดไม่สนิท เนื่องจากควันไฟในกรณีนี้มีความหนาแน่นมากจึงสามารถแพร่กระจายเข้าไปในทุกพื้นที่ได้หากมีช่องเปิด เนื่องจากแหล่งต้นเพลิงอยู่บริเวณชั้นเจ็ด ดังนั้นควันไฟจึงสะสมอย่างหนาแน่นทั่วบริเวณเพราะไม่มีช่องเปิดให้ระบายออกนอกอาคาร เมื่อเวลาผ่านไปควันไฟจะยิ่งสะสมตัวมากขึ้นและถูกกดระดับให้ต่ำลงจากชั้นควันใหม่ที่อุณหภูมิสูงกว่า ส่งผลให้ที่ระดับการหนีไฟปกติสูง 2 เมตร จากพื้น มีระยะการมองเห็นเหลือเพียง 2.5 เมตรเท่านั้น ซึ่งเป็นระยะที่ผู้ใช้อาคารทั่วไปจะมองไม่เห็นเส้นทางอพยพ ทำให้ไม่สามารถอพยพเพื่อไปสู่พื้นที่ปลอดภัยได้, กรณีที่ 9 และ 10 การมองเห็นเส้นทางหนีไฟต่ำที่สุด 2.5 เมตร ปรากฏบริเวณต้นเพลิงเท่านั้น ในพื้นที่ทั่วร้านค้า การมองเห็นเส้นทางหนีไฟค่าเฉลี่ย คือ 19 เมตร และ 13.5 เมตร ตามลำดับ เนื่องจากเป็นบริเวณห้องต้นเพลิงซึ่งถูกปิดล้อม ทำให้ควันไฟไม่มีการแพร่

กระจายออกไปสู่บริเวณอื่น สามารถเปรียบเทียบได้กับกรณีที่ 6 ซึ่งไม่มีการปิดล้อม และแสดงให้เห็นว่าการระบายควันสามารถลดเขม่าและความทึบจากควันไฟได้ เพราะระยะการมองเห็นเพิ่มขึ้นจากในกรณีที่ 6 (2.5 เมตร) เป็น 13.5-19 เมตร

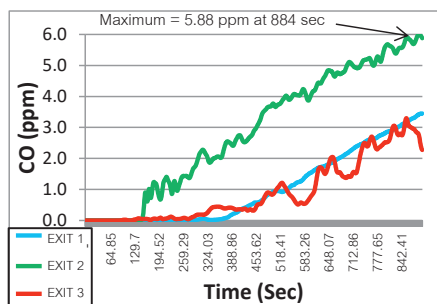
ในการอพยพหนีไฟหากมีระยะการมองเห็นเส้นทางหนีไฟที่ต่ำกว่า 30 เมตร จะถือเป็นอันตรายต่อการอพยพตามข้อกำหนดของมาตรฐาน National Fire Protection Association (NFPA) ซึ่งกำหนดให้ต้องมีระยะการมองเห็นเส้นทางหนีไฟที่ไม่ต่ำกว่า 30 เมตร โดยเฉพาะในพื้นที่ที่ผู้ใช้อาคารไม่มีความคุ้นเคยต่อสถานที่นั้น การมองไม่เห็นเส้นทางหนีไฟจะส่งผลให้ผู้อพยพต้องเสียเวลาในการอพยพมากกว่าที่ควรจะเป็นหรือติดอยู่ในพื้นที่ไม่สามารถอพยพออกจากอาคารได้ เกิดความตื่นตระหนกในฝูงชน เกิดการหกล้ม หรืออาจเกิดการเหยียบกันจนเป็นอันตรายถึงแก่ชีวิตได้



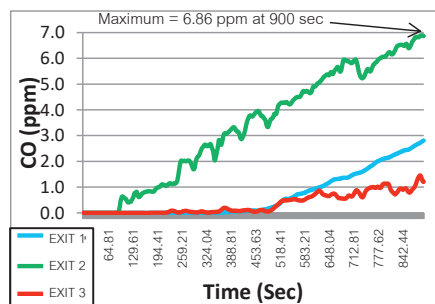
กรณีที่ 1



กรณีที่ 2

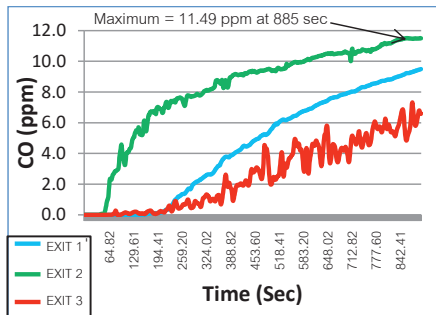


กรณีที่ 3

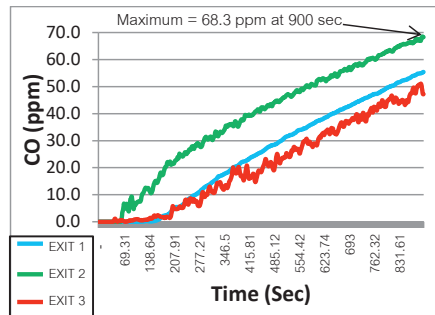


กรณีที่ 4

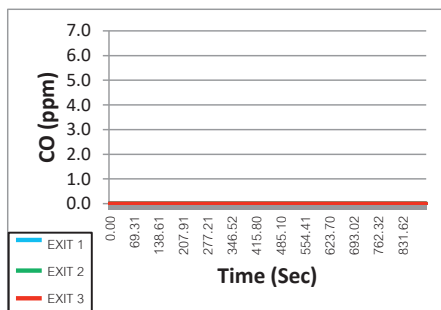
ภาพที่ 6 แสดงค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์หน้าประตูหนีไฟชั้นเจ็ด ทั้ง 10 กรณี



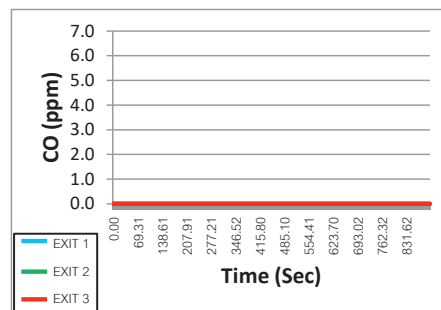
กรณีที่ 5



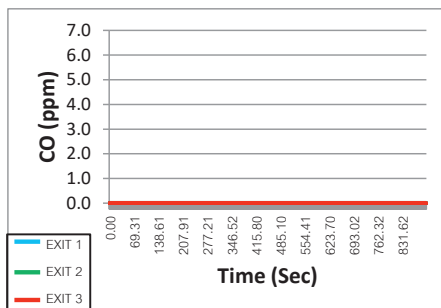
กรณีที่ 6



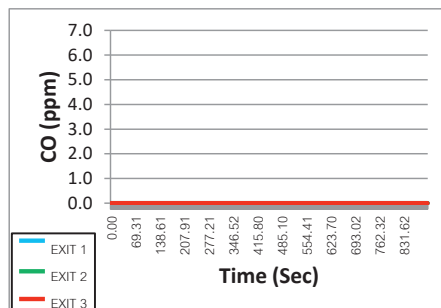
กรณีที่ 7



กรณีที่ 8



กรณีที่ 9



กรณีที่ 10

ภาพที่ 6 แสดงค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์หน้าประตูหนีไฟชั้นเจ็ด ทั้ง 10 กรณี

ภาพที่ 6 แสดงค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์หน้าประตูหนีไฟชั้นเจ็ด ซึ่งพบว่า ไม่มีกรณีใดที่ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยเกินกว่า 1,500 ppm ซึ่งเป็นค่าตามข้อกำหนดของมาตรฐาน National Fire Protection Association (NFPA) เนื่องจากพื้นที่อาคารที่ทำการจำลองมีขนาดใหญ่ทำให้ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์

ถูกเจือจางด้วยอากาศซึ่งมีปริมาณมาก ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์จึงมีความเข้มข้นต่ำ เมื่อพิจารณาค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในแต่ละกรณี พบว่าค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์แปรผันตามเวลา เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์จะเพิ่มขึ้นตาม เมื่อ

เปรียบเทียบกรณีตำแหน่งต้นเพลิงเดียวกันจะพบว่า อัตราการปลดปล่อยความร้อนที่ 25 เมกะวัตต์ จะมีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์สูงกว่าอัตราการปลดปล่อยความร้อนที่ 2 เมกะวัตต์ ประมาณ 10 เท่า และเมื่อเปรียบเทียบกรณีอัตราการปลดปล่อยความร้อนเท่ากัน พบว่ากรณีต้นเพลิงที่ร้านค้าบริเวณชั้นเจ็ด มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์สูงที่สุดจากทั้ง 3 กรณี โดยค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์สูงกว่ากรณีต้นเพลิงกลางโถงสูงบนพื้นที่ชั้นใต้ดินประมาณ 5 เท่า และสูงกว่ากรณีต้นเพลิงที่ห้องเก็บของขนาดใหญ่ของซูเปอร์มาร์เก็ตชั้นใต้ดินประมาณ 10 เท่า เพราะกรณีต้นเพลิงกลางโถงสูง และกรณีต้นเพลิงที่ห้องเก็บของขนาดใหญ่ของซูเปอร์มาร์เก็ตชั้นใต้ดินอยู่ไกลจากบริเวณชั้นเจ็ด ซึ่งเป็นชั้นที่ติดตั้งตัววัด เนื่องจากความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ในควันมีค่าสูงจึงแพร่ไปหาอากาศซึ่งมีค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ต่ำกว่า ทำให้ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์เจือจางลง กล่าวได้ว่าค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์จะแปรผกผันกับระยะทางของต้นเพลิง

หากพิจารณาดำแหน่งของบันไดหนีไฟ พบว่าค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ของบันไดหนีไฟ 2 (Exit 2) มีค่าสูงที่สุดจากสามบันไดหนีไฟ ถึงแม้ว่าบันไดหนีไฟ 2 (Exit 2) และ 3 (Exit 3) จะอยู่ในตำแหน่งใกล้เคียงกันแต่มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ต่างกันประมาณ 2-10 เท่า แล้วแต่กรณีจำลอง จากการวิเคราะห์พบว่า บันไดหนีไฟ 3 ซึ่งมีการปิดล้อมมากกว่า บันไดหนีไฟ 2 จะส่ง

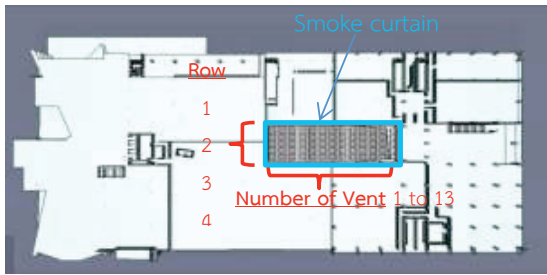
ผลให้บริเวณทางเข้าสู่อันโถงหนีไฟ 3 มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ต่ำกว่าบันไดหนีไฟ 2 ซึ่งไม่มีการปิดล้อม เพราะได้รับผลของควันไฟโดยตรง ค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์จึงสูงกว่า

เมื่อติดตั้งระบบระบายควันไฟในโถงสูงจำเป็นต้องติดตั้งม่านกันควันเพื่อกักควันให้พัดลมทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ม่านกันควันยังช่วยป้องกันควันแพร่กระจายไปในพื้นที่อื่นได้อีกด้วย ดังปรากฏในกรณีที่ 7, 8, 9, 10 ซึ่งผลการจำลองพบว่า ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์หน้าประตูหนีไฟชั้นเจ็ดเป็นศูนย์ เนื่องจากควันถูกกักไว้ในบริเวณโถงสูง ทำให้ผู้อพยพปลอดภัยจากค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ของควันไฟ

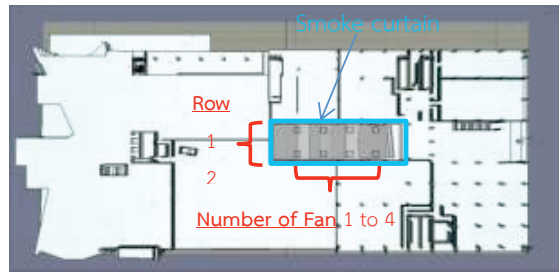
ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ที่สูงเกินกว่า 1,500 ppm เป็นค่าตามข้อกำหนดของมาตรฐาน National Fire Protection Association (NFPA) หากสูดดมเข้าไปเกินระยะเวลา 5 นาที จะส่งผลให้ผู้อพยพหมดสติ เนื่องจากก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์จะไปจับตัวกับเม็ดเลือดแดง ปิดกั้นการรับก๊าซออกซิเจนเข้าสู่ร่างกาย ส่งผลให้ร่างกายมีแรงง่วงซึมและหมดสติได้ ดังนั้นก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์จึงถือเป็นก๊าซพิษที่อันตรายมากต่อการอพยพหนีไฟ

3.4 ปริมาตรการระบายควันไฟของระบบระบายควันไฟ (Volumetric flow rate of smoke, m^3/s)

ภาพที่ 8 และ 9 แสดงปริมาตรควันไฟที่ไหลผ่านช่องเปิดระบายควัน โดยในภาพจะแสดงปริมาตรควันไฟที่ไหลผ่านในแต่ละช่องโดยบอกค่าเฉลี่ยปริมาตรที่ไหลผ่านและค่าปริมาตรสูงสุดที่ไหลผ่านในช่องนั้น ณ เวลาหนึ่ง

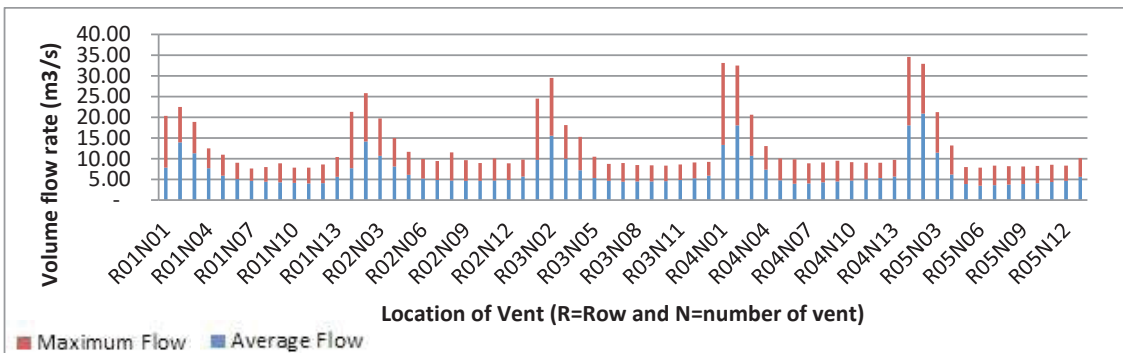


(a)

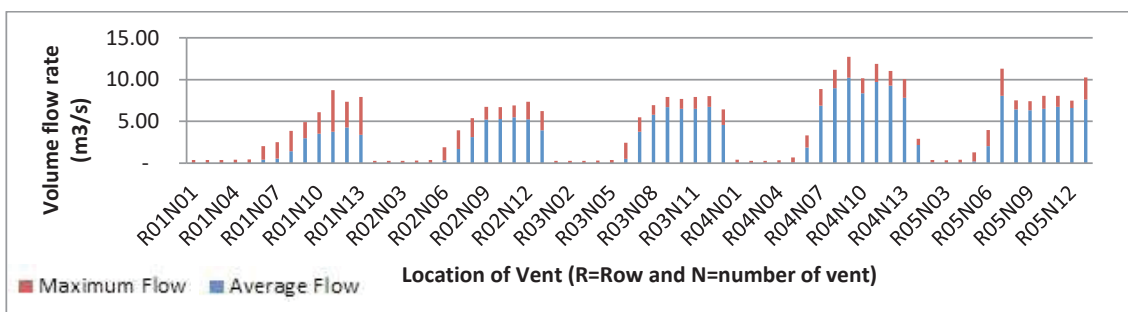


(b)

ภาพที่ 7 (a-b) แสดงตำแหน่งการติดตั้งช่องเปิดระบายควันไฟ,
แสดงตำแหน่งการติดตั้งพัดลมระบายควันไฟ



ภาพที่ 8 ภาพแสดงปริมาณการระบายควันผ่านช่องเปิด
กรณีที่ 7 (ปริมาณการระบายควันเฉลี่ยรวม = 440.0 m³/s)



ภาพที่ 9 ภาพแสดงปริมาณการระบายควันผ่านช่องเปิด
กรณีที่ 9 (ปริมาณการระบายควันเฉลี่ยรวม = 208.0 m³/s)

จากภาพที่ 7 แสดงตำแหน่งการติดตั้งระบบระบายควันไฟ ซึ่งในงานวิจัยนี้มีการติดตั้ง 2 แบบ คือ ติดตั้งช่องเปิดระบายควันไฟ และติดตั้งพัดลมระบายควันไฟ พร้อมม่านกันควันบริเวณรอบโถงสูง ชั้น 2-7 ภาพที่ 8 ซึ่งแสดงปริมาณการระบายควันไฟผ่านช่องเปิด ในกรณีที่ 7 จะพบว่าช่องเปิดที่ 1-3 สามารถระบายควันไฟได้สูงที่สุดจากแต่ละแถว เนื่องจากบริเวณที่ติดตั้งระบบระบายควันไฟอยู่เยื้องจากช่องเปิดโถงสูงซึ่งเป็นปัจจัยทางสถาปัตยกรรมทำให้ลำควัน (Plume) ลอยขึ้นด้วยแรงลอยตัวขึ้นมาตรงกับตำแหน่งช่องเปิดที่ 1-3 จึงระบายควันไฟออกได้โดยทันที ควันไฟที่เหลือจะไหลไปตามเพดานและถูกระบายไปในช่องเปิดอื่นๆ ของแถว จากภาพที่ 9 (กรณีที่ 9) จะพบว่าช่องเปิดที่ 7-13 สามารถระบายควันไฟได้มากกว่าช่องเปิดที่ 1-6 เนื่องจากต้นเพลิงอยู่บริเวณร้านค้าชั้นเจ็ด ซึ่งติดกับช่องเปิดโถงสูงเพียงครึ่งเดียว ทำให้ควันไฟที่เกิดขึ้นถูกระบายออกทางช่อง 7-13 ซึ่งใกล้กับห้องต้นเพลิงมากกว่า เนื่องจากช่องเปิดมีจำนวนมากการสะสมตัวของควันไฟโดยการไหลไปตามเพดานจึงลดลง ส่งผลให้ควันไฟไหลไปถึงช่องเปิดที่ 1-6 ไม่มากนัก, กรณีที่ 8 และ 10 ซึ่งใช้พัดลมระบายควันไฟสามารถทำงานได้คงที่จากการคำนวณอาคารต้องการปริมาณการระบายควัน 389.5 m³/s กรณีที่ 7, 8 และ 10 สามารถระบายควันได้ตามที่อาคารต้องการ ยกเว้นกรณีที่ 9 ซึ่งระบายควันได้ 208.0 m³/s น้อยกว่าความต้องการของอาคาร แสดงว่าระบบระบายควันโดยพัดลมระบายควันสามารถทำงานได้ทุกสถานการณ์ไม่ขึ้นกับตำแหน่งของต้นเพลิง แต่ระบบระบายควันโดยช่องเปิดระบายควันประสิทธิภาพของการระบายควันขึ้นอยู่กับปัจจัยของต้นเพลิงแหล่งกำเนิดควัน พิจารณาจากกรณีที่ 7 ช่องเปิดระบายควันสามารถระบายควันได้มากกว่าการใช้พัดลมระบายควันในกรณีที่ 8 แต่

กรณีที่ 9 ปริมาณการระบายควันต่ำกว่า กรณีที่ 10 เมื่อเปรียบเทียบระบบระบายควันไฟโดยช่องเปิดระหว่างกรณีที่ 7 และ 9 จะพบว่าอัตราการปลดปล่อยความร้อนเท่ากันแต่ตำแหน่งต้นเพลิงแตกต่างกันส่งผลให้ประสิทธิภาพของการระบายควันแตกต่างกัน แม้อยู่ในสภาวะแวดล้อมเหมือนกัน

4. สรุป

จากการศึกษาพบว่าได้ข้อสรุปดังนี้

1. เมื่อเปรียบเทียบกรณีอัตราการปลดปล่อยความร้อนเท่ากัน พบว่ากรณีต้นเพลิงที่ร้านค้าบริเวณชั้นเจ็ด จะเป็นอันตรายต่อการอพยพหนีไฟสูงที่สุดจากกรณีต้นเพลิงทั้งสามตำแหน่ง
2. เปรียบเทียบกรณีอัตราการปลดปล่อยความร้อนเท่ากัน พบว่าการติดตั้งระบบระบายควันไฟโดยวิธีช่องเปิดระบายควันไฟ (Natural Vent) สามารถระบายควันไฟได้มากกว่าวิธีทางกล แต่ใช้พื้นที่ในการติดตั้งมากกว่า และมีข้อจำกัดมากกว่า
3. ปริมาณพัดลมระบายควันไฟที่คำนวณจากกรณีต้นเพลิงกลางโถงสูงบนพื้นที่ชั้นใต้ดิน ซึ่งให้ปริมาณควันสูงสุดจากทั้งสามตำแหน่งต้นเพลิงเพียงพอที่จะระบายควันไฟในกรณีต้นเพลิงที่ร้านค้าบริเวณชั้นเจ็ดด้วย

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] NFPA101 Life safety code. 2015 Edition
- [2] NFPA130 Standard for fixed guideway transit and passenger rail systems.2014 Edition
- [3] Ashare standards & guideline, Fire and smoke management (2007)
- [4] SFPE hand book of fire protection engineer. Fifth edition.

- [5] John HK, Jame A.M. (2002). PRINCIPLE OF SMOKE MANAGEMENT. United States of America.
- [6] Hollman JP (1976). Heat Transfer. McGraw-Hill, New York.
- [7] YAO HW, DONG WL, LIANG D, Arnd R, LAI JW (2011). Simulation of Full-scale Smoke Control in Atrium, pp. 608-613. In The 5th Conference on Performance-based Fire and Fire Protection Engineering.
- [8] Li SC, Chen Y, Chen X, Jing GG (2011). Engineering Numerical Simulation on the Amount of Make-up Air for Mechanical Smoke Exhaust in Atrium. In The 5th Conference on Performance-based Fire and Fire Protection Engineering.
- [9] ชัยพฤกษ์ สุฤทธิกุล. 2551. การศึกษาพฤติกรรมการแพร่กระจายของควันเนื่องจากเพลิงไหม้ภายในโรงไฟฟ้า ด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลข. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- [10] เอกชัย แก้วกาญจนดิษฐ์. 2553. การศึกษาการระบายควันไฟในโถงสูง อาคารภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลข. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.